

Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa

Wojciech ANIGACZ Eugeniusz ZAKOWICZ

OCHRONA ŚRODOWISKA

podręcznik dla studentów kierunków
technicznych i przyrodniczych

Opole, 2003 r.

Spis treści

Nr rozdziału	Tytuł	Nr str.
	Spis treści	3
	Skróty, jednostki, symbole, użyte w tekście	11
	Przedmowa	23
1.0.	Wiek Ziemi.	25
1.1.	Wpływ ważniejszych osiągnięć techniki na środowisko naturalne.	25
1.2.	Budowa Ziemi.	28
1.3.	Podział dziejów Ziemi.	32
1.4.	Skład chemiczny Skorupy Ziemskiej.	35
2.0.	Atmosfera Ziemska	39
2.1.	Budowa atmosfery	39
2.2.	Bilans energii słonecznej	46
2.3.	Skład powietrza atmosferycznego	48
2.4.	Zanieczyszczenie powietrza	49
2.4.1.	Ogólna charakterystyka zanieczyszczeń powietrza	49
2.4.2.	Zanieczyszczenia z procesów spalania paliw energetycznych	50
2.4.3.	Zanieczyszczenie powietrza przez zakłady przemysłowe	51
2.4.4.	Zanieczyszczenie powietrza przez pojazdy mechaniczne	53
2.4.5.	Zanieczyszczenie biologiczne powietrza	54
2.5.	Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko	54
2.5.1.	Przemiany zanieczyszczeń w atmosferze	54
2.5.2.	Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na ludzi i zwierzęta	56
2.5.3.	Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rośliny	60
2.6.	Zmiany składu powietrza w wyrobiskach górniczych i wykopach budowlanych	62
2.6.1	Powietrze kopalniane	62
2.6.1.1.	Promieniotwórcze składniki powietrza kopalnianego	68
2.6.1.2.	Metan.	68
2.7.	Zagrożenie gazowe przy wykonywaniu wykopów budowlanych i w kopalniach odkrywkowych	70
2.8.	Oddziaływanie zanieczyszczeń na klimat	71
2.8.1.	Efekt szklarniowy	71
2.8.2.	Smog	71

2.8.3.	Dziura ozonowa	72
2.8.4.	Inne oddziaływania zanieczyszczeń.	72
2.9.	Ochrona przed zanieczyszczeniami powietrza	72
2.9.1.	Urządzenia odpylające	72
2.9.2.	Ograniczenie emisji związków siarki do powietrza	76
2.9.2.1.	Usuwanie tlenków azotu	77
2.9.3.	Usuwanie innych zanieczyszczeń powietrza	78
2.10.	Wyniki badań zanieczyszczeń powietrza w niektórych regionach Polski	78
2.10.1.	Rezultaty badań	79
2.11.	Zanieczyszczenie fizyczne powietrza	82
3.0.	Hydrosfera.	89
3.1.	Wody mórz i oceanów.	89
3.1.1.	Znaczenie wody.	94
3.2.	Krążenie wody w przyrodzie.	94
3.2.1.	Wody podziemne w bilansie obiegu.	100
3.2.2.	Infiltracja i czynniki nią rządzące.	103
3.2.2.1.	Wody infiltracyjne.	103
3.2.2.2.	Opady atmosferyczne.	106
3.2.2.2.1.	Charakterystyka opadów.	106
3.2.2.3.	Wody kondensacyjne.	109
3.2.2.4.	Wody juvenilne.	110
3.2.2.5.	Wody reliktowe.	111
3.2.2.6.	Wody metamorficzne.	112
3.2.3.	Charakterystyka wód podziemnych.	112
3.2.3.1.	Woda w strefie aeracji.	113
3.2.3.2.	Woda w strefie saturacji.	118
3.2.4.	Rodzaje wód podziemnych	123
3.2.4.1.	Inne własności hydrogeologiczne skał.	126
3.2.5.	Źródła	130
3.2.5.1.	Nieskoncentrowane wypływy wód podziemnych.	134
3.2.6.	Związki hydrauliczne wód podziemnych z wodami powierzchniowymi.	134
3.2.6.1.	Odływ podziemny	134
3.2.6.1.1.	Wsiąkanie wody opadowej	135
3.2.6.1.2.	Ruch wody w poziomie wodonośnym	137
3.2.6.2.	Odływ podziemny do rzek i jezior	140

3.2.6.3.	Odływ podziemny do mórz.	143
3.3.	Budowa i właściwości chemiczne i fizyczne wody.	145
3.3.1.	Ogólna charakterystyka roztworów wodnych.	148
3.3.1.1.	Roztwory rzeczywiste	148
3.3.1.2.	Roztwory koloidalne	150
3.4.	Pojęcie zanieczyszczenia wód i ochrony jakościowej wód.	156
3.4.1.	Skład i zanieczyszczenia wód.	157
3.4.1.1.	Zanieczyszczenia wód opadowych.	158
3.4.1.2.	Zanieczyszczenia wód podziemnych.	158
3.4.1.3.	Zanieczyszczenia wód powierzchniowych	159
3.4.1.3.1.	Zanieczyszczenia wód lądowych	159
3.5.	Wskaźniki jakości wody.	167
3.5.1.	Chemiczne wskaźniki jakości wody.	169
3.5.2.	Wskaźniki bakteriologiczne	173
3.5.3.	Wskaźniki biologiczne	174
3.6.	Podział wód powierzchniowych według czystości.	175
3.7.	Woda do picia i do celów przemysłowych.	185
3.7.1.	Woda do picia i gospodarstwa domowego.	185
3.7.2.	Woda dla przemysłu spożywczego.	193
3.7.3.	Woda dla zakładów, w których wymagania sanitarne nie odgrywają roli.	193
3.7.4.	Woda dla przemysłu garbarskiego.	193
3.8.	Samoczyszczanie i oczyszczanie wód zanieczyszczonych.	193
3.8.1.	Oczyszczanie ścieków metodą rolniczego wykorzystania.	198
3.9.	Eutrofizacja wód.	201
3.10.	Uzdatnianie wody.	201
3.10.1.	Procesy fizyczno-mechanicznego uzdatniania wody.	203
3.10.2.	Fizyko-chemiczne procesy uzdatniania wody.	205
3.10.2.1.	Koagulacja.	205
3.10.2.2.	Flokulacja.	206
3.10.2.3.	Odżelazianie wody.	209
3.10.2.4.	Usuwanie manganu (odmanganianie)	210
3.10.2.5.	Zmiękczenie wody.	211
3.10.2.6.	Demineralizacja wody.	213
3.10.2.7.	Odsalanie wody.	216
3.10.2.8.	Polepszenie właściwości fizycznych wody.	217
3.10.2.9.	Dezynfekcja wody.	218

3.10.2.10.	Zabezpieczenie odpowiedniej ilości fluorków w wodzie.	220
3.10.3.	Procesy biologiczne.	201
4.0.	Gleba.	223
4.1.	Geneza gleby.	224
4.2.	Składniki gleby.	226
4.2.1.	Faza stała gleby.	226
4.2.1.1.	Substancje mineralne.	226
4.2.1.2.	Substancje organiczne.	227
4.2.2.	Faza płynna gleby.	228
4.2.3.	Powietrze glebowe.	229
4.3.	Właściwości gleby.	230
4.4.	Mikroelementy.	230
4.5.	Kompleks sorpcyjny.	231
4.6.	Woda w glebie.	232
4.7.	Degradacja gleby.	233
4.7.1.	Degradacja gleby w wyniku erozji wodnej i wietrznej.	236
4.7.2.	Degradacja spowodowana tzw. zmęczeniem gleby.	244
4.7.3.	Degradacja gleby wywołana związkami chemicznymi i innymi toksynami.	245
4.8.	Ubytki gleb z powodu wyłączenia z produkcji rolniczej.	251
4.9.	Rolnictwo konwencjonalne i alternatywne (ekologiczne i integrowane)	253
4.10.	Wpływ środowiska glebowego na zdrowie człowieka.	255
4.11.	Pestycydy.	260
4.11.1.	Zoocydy.	261
4.11.2.	Fungicydy – środki grzybobójcze.	262
4.11.3.	Regulatory wzrostu roślin.	263
4.11.4.	Herbicydy.	264
4.12.	Biologiczne metody ochrony roślin.	265
4.13.	Metabolizm pestycydów.	266
4.14.	Ochrona gleb w budownictwie.	267
4.15.	Wyniki badań radioaktywności cezu – 137 w grzybach z lasów opolszczyzny	268
4.16.	Ocena wpływu zakładu produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych na środowisko gruntowo-wodne w rejonie opolskim	268
5.0.	Obieg materii w ekosystemie.	271

5.1.	Cykl biogeochemiczny węgla.	271
5.2.	Cykl biogeochemiczny azotu.	273
5.3.	Cykl biogeochemiczny fosforu.	275
5.4.	Cykl biogeochemiczny siarki.	277
6.0.	Odnawialne źródła energii.	281
6.1.	Podział odnawialnych źródeł energii	281
6.1.1.	Energia słoneczna i jej zasoby.	282
6.1.2.	Energia geotermalna.	283
6.1.3.	Energia oddziaływań grawitacyjnych.	283
6.1.4.	Techniczne możliwości wykorzystania energii odnawialnych	283
6.2.	Energia wody.	284
6.2.1.	Energia pływów.	286
6.2.2.	Energia fal.	287
6.2.3.	Energia prądów morskich.	288
6.2.4.	Energia dyfuzji	288
6.3.	Energia wiatru.	289
6.4.	Energia promieniowania słonecznego.	290
6.4.1.	Metody konwersji i wykorzystania energii promieniowania słonecznego.	291
6.4.1.1.	Pasywne systemy wykorzystania energii słonecznej	292
6.4.1.2.	Aktywne systemy wykorzystania energii słonecznej – kolektory i stawy słoneczne.	294
6.4.1.2.1.	Kolektory słoneczne.	294
6.4.1.2.1.1	Nowe typy kolektorów słonecznych	302
6.4.1.2.2.	Stawy słoneczne.	305
6.5.	Przetwarzanie energii słonecznej na pracę.	305
6.5.1.	Silnik Stirlinga.	306
6.5.2.	Silnik Ericssona.	309
6.5.3.	Wysokotemperaturowy system zdecentralizowany.	310
6.5.4.	Wysokotemperaturowy system scentralizowany.	311
6.6.	Niskotemperaturowa energia termiczna mórz i oceanów.	311
6.7.	Energia geotermalna.	314
6.7.1.	Występowanie i wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce	319
6.8.	Ogniwo fotowoltaiczne.	324
6.9.	Biomasa.	326
6.9.1.	Biopaliwa.	327
6.9.2.	Inne wykorzystanie energetyczne biomasy.	329

6.9.3.	Biogaz.	329
6.10.	Wodór.	330
6.10.1.	Ogniwo wodorowo-tlenowe.	331
6.11.	Elektrownie z generatorami MHD.	333
7.0.	Ogólne zasady rekultywacji terenów zdegradowanych	335
7.1.	Biotechniczne zabiegi związane z rekultywacją terenów zdegradowanych.	336
7.2.	Rekultywacja zwałów.	337
7.3.	Zabezpieczenie środowiska wód podziemnych.	338
7.4.	Zagospodarowanie odpadów komunalnych i przemysłu rolnospożywczego.	339
7.4.1.	Składowanie odpadów na wysypiskach	339
7.4.1.1.	Kompostowanie odpadów.	339
7.4.1.2.	Metody technologiczne kompostowania.	340
7.4.2.	Spalanie odpadów	341
7.4.3.	Nowe technologie unieszkodliwiania odpadów	342
7.4.3.1.	Odgazowanie odpadów	342 343
7.4.4.	Fermentacja metanowa	344
7.4.5.	Utylizacja zużytych opon samochodowych w piecach obrotowych do wypału klinkieru	345
7.5.	Degradacja terenów spowodowanych odkrywką eksploatacją węgla brunatnego.	347
7.5.1.	Rekultywacja nieużytków.	350
7.6.	Składowiska odpadów paleniskowych.	352
7.6.1.	Rekultywacja składowisk paleniskowych.	353
7.6.2	Rekultywacja terenów zdegradowanych przez imisję zanieczyszczeń chemicznych.	354
7.6.2.1.	Toksyczne oddziaływanie zanieczyszczeń chemicznych (mineralnych) na środowisko	355
7.6.2.2.	Zakwaszenie gleb	356
7.6.2.3.	Alkalizacja gleb.	357
7.6.2.4	Zasolenie gleb	357
7.6.2.5.	Zanieczyszczenie gleb przez środki transportu i substancje ropopochodne.	358
7.6.2.6.	Zanieczyszczenie gleb azotem	358
7.6.2.7.	Zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi	359

8.0.	Monitoring środowiska przyrodniczego.	361
9.0.	Najważniejsze przepisy prawne	363
9.1.	Ochrona powietrza	363
9.2.	Przepisy prawne dotyczące ochrony przed hałasem i wibracjami	364
9.3.	Przepisy prawne dotyczące promieniowania	365
9.4.	Przepisy prawne dotyczące ochrony wód	366
9.5.	Przepisy prawne dotyczące ochrony gleb	369
9.6.	Przepisy prawne dotyczące ochrony lasów	369
9.7.	Przepisy prawne dotyczące ochrony żywności	370
9.8.	Przepisy prawne dotyczące ochrony środowiska przed odpadami	370
10.0.	Wykaz tabel	373
11.0.	Wykaz rysunków	376
12.0	Literatura	379
12.1.	Literatura cytowana	379
12.2.	Literatura dodatkowa	383
12.3.	Wybrane strony internetowe	385

10

*

0.2. Skróty, jednostki, symbole, użyte w tekście.**Wykaz jednostek podstawowych i pochodnych do rozdziału 1:**

Jednostki podstawowe:

Długość – metr [m],

Masa – kilogram [kg],

Czas – sekunda [s],

Temperatura – kelwin [K],

Natężenie prądu – amper [A].

Jednostki pochodne.

Praca, energia – dżul [$J = N \cdot m, 1m^2 \cdot kg/s^2$],

Moc, strumień energii – wat [$W = J/s, 1m^2 \cdot kg/s^3$],

Ciepło, energia – dżul [$J = N \cdot m, 1m^2 \cdot kg/s^2$],

Ciepło właściwe – dżul / (kilogram x kelwin) [$J/kgK, 1m^2 / s^2K$],

Gęstość strumienia energii – wat / metr kwadratowy [$W/m^2, 1kg/s^3$]

Pole powierzchni – metr kwadratowy [m^2],

Objętość – metr sześcienny [m^3],

Prędkość liniowa – metr na sekundę [m/s],

Przyspieszenie liniowe – metr / kwadrat sekundy [m/s^2],

Gęstość – kilogram na metr sześcienny [kg/m^3],

Siła – niuton [N] = [$(kgm)/s^2$]

Ciśnienie – paskal Pa – niuton/metr kwadratowy [N/m^2] = [$kg/(ms^2)$],

Ciężar właściwy – niuton / metr sześcienny [N/m^3] = [$kg/m^2 \cdot s^2$]

Przedrostki do tworzenia nazw i symboli

mnożnik	przedrostek	skrót
10^{18}	eksa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10^1	deka	da
10^{-1}	decy	d
10^{-2}	centy	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

h – stała Plancka $h = 6,6617 \cdot 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]}$,

ν - częstotliwość fali [Hz],

λ - długość fali, m.

Wykaz skrótów i symboli oraz jednostek do rozdziału 2:

$$\text{Ciśnienie (P)} = \frac{\text{sila (nacisk)}}{\text{powierzchnia}} = \frac{\text{masa} \times \text{przyśpieszenie(ziemskie)}}{\text{powierzchnia}}$$

Normalne przyspieszenie ziemskie (g) liczono dla 45° szerokości geograficznej i na wysokości poziomu morza (0 m wysokości), $g = 980,665 \text{ cm/s}^2$.

W przypadku cieczy i gazów:

Ciśnienie (P) = wysokość, (głębokość) słupa cieczy (h) x ciężar właściwy (ρ)

Jednostki ciśnienia:

Dawne – ciśnienie powietrza na poziomie morza (0 m wysokości) równoważne ciśnieniu 760 mm słupa rtęci, zwane ciśnieniem normalnym.

760 mm Hg = 760 Tr (torów) = 1atm (atmosfera fizyczna) = 101325 Pa

(w układzie SI) = $101325 \text{ N/m}^2 = 1013,25 \text{ hPa} = 1013250 \text{ dyn/cm}^2$,

750,06 mm Hg = 1000 mb (milibar) = 1b (bar) = $100000 \text{ N/m}^2 = 1000 \text{ hPa}$,

1 mm Hg = 1,3332 mb \implies 1 mb = 0,75006 mm Hg; 1 mHg = 1,3332 hPa = $133,32 \text{ N/m}^2$,

1at (atmosfera techniczna) = $\frac{1\text{kG}}{1\text{cm}^2}$, odpowiada ciśnieniu 10 m wysokości

słupa wody czystej, wywieranemu na pole podstawy o powierzchni 1 cm^2

1at = 98066,5 Pa = 980,665 hPa \approx 736 mm Hg = 735,56 mm Hg (Tr),

1 atm = 760,00/735,56 at = 1,0332 at.

Aktualnie obowiązujące:

1Pa (paskal) = $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg/m} \cdot \text{s}^2$

1hPa (hektopaskal) = 100 Pa = $100 \text{ N/m}^2 = 0,75 \text{ mm Hg}$

750,06 mm Hg = 1000 hPa, zatem 1000 hPa = 1000 mb = 100000 N/m^2 ,

760 mm Hg = 1013,25 hPa = 101325 Pa

Słup rtęci o wysokości 76 cm i masie właściwej $13,5955 \text{ g/cm}^3$ ma masę 1033,22 g. Po pomnożeniu: $1033,22 \text{ g} \times 9806,65 \text{ m/s}^2$ otrzymujemy wartość $1013,25 \text{ hPa} = 1013250 \text{ (g} \times \text{cm)} / (\text{s}^2 \times \text{cm}^2) = 1013250 \text{ dyn/cm}^2$.

Stała słoneczna $S = 2 \text{ cal/ min} \cdot \text{cm}^2 = 1,395 \text{ kW/m}^2$

h – stała Plancka, $h = 6,6617 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

ν - częstotliwość fali, Hz

λ - długość fali, m

- 1 \AA – angstrom, $10^{-8}\text{ cm} = 10^{-10}\text{ m}$
 1 nm – nanometr, 10^{-9} m
 $1\text{ }\mu\text{m}$ – mikrometr, 10^{-6} m
 1 mm – milimetr, 10^{-3} m
 1 m – metr, 10^0 m
 1 km – kilometr, $10^3\text{ m} = 1000\text{ m}$
- q_1 – ilość ciepła docierająca od Słońca do powierzchni 1 cm^2 Ziemi w ciągu 1 minuty,
 q_2 – ilość ciepła wypromieniowana do atmosfery z powierzchni 1 cm^2 Ziemi w ciągu 1 minuty,
 q_1, q_2 – liczono dawniej w kaloriach (cal), $1\text{ cal} = 4,1868\text{ J}$ (dżuli), aktualnie jednostki q podaje się w dżulach [J], watach/ m^2 lub kWh/m^2 ;
 $1\text{ cal}/\text{cm}^2 = 696\text{ W}/\text{m}^2$,
ppm – parts per million – 1 część na milion części, udział składnika w milionowych częściach,
 τ – okres połowicznego rozpadu izotopu promieniotwórczego [s, dni, lata],
 t, T – temperatura w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$], Kelwina [K],
 C – stężenie składnika [g/m^3 powietrza],
NDS – najwyższe dopuszczalne stężenie [mg/m^3 powietrza],
MDS – maksymalne dopuszczalne stężenie [mg/m^3 powietrza],
 v – prędkość wiatru [m/s],
 Δ – względny ciężar właściwy, liczony względem powietrza,
 M – masa cząsteczkowa [g],
 ρ – gęstość [kg/m^3 , g/cm^3],
 ν – częstotliwość [Hz (herc) = $1/\text{s}$ (okres)],
 J – natężenie dźwięku – ilość energii przenoszona w ciągu 1s przez 1 m^2 powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali [W/m^2]
 J_o – próg słyszalności,
 J_m – próg bólu (natężenie maksymalne),
 λ – głośność, wrażenie słuchu,

$$\lambda = c \log J, \quad \lambda = c \log \frac{J_m}{J_o}, \quad \frac{J}{J_o} = 10^{12}$$

1B – 1 bel, 1/12 skali logarytmicznej natężenia dźwięku, jest to logarytm dziesiętny stosunku natężenia głosu J/J_o ,

1B = 10dB (decybeli)

Ton wzorcowy – ton o częstotliwości 1000 Hz/s z progiem słyszalności $J_o=10^{-12}$

J – natężenie dźwięku – ilość energii przenoszona w ciągu 1s przez 1 m^2 powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali [W/m^2]

Bezpieczna dawka promieniowania (dawka ekspozycyjna) – jonizacja powietrza pod wpływem promieniowania X lub γ - jednostka [C/kg] (kulomb / kilogram),

WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne o własnościach rakotwórczych.

O₂ – cząstka tlenu złożona z 2 atomów.

O₃ – ozon, cząstka tlenu złożona z 3 atomów, odmiana alotropowa tlenu.

Warunki normalne – temperatura powietrza 0°C, ciśnienie powietrza 1013,25 hPa

km/h – prędkość wiatru w kilometrach na godzinę.

Wykaz skrótów i symboli oraz jednostek do rozdziału 3:

P – wielkość opadów, liczona w [mm] słupa wody lub w [km³],

E – wielkość parowania, liczona w [mm] słupa wody lub w [km³],

H – całkowity odpływ z lądów do oceanów, liczony w [mm, km³] słupa wody,

H₁ – wielkość odpływu podziemnego, liczony w [mm, km³] słupa wody,

H₂ – wielkość spływu powierzchniowego, liczony w [mm, km³] słupa wody

$H = H_1 + H_2$,

ΔR – zmiana retencji (zmagazynowania) wody,

n – współczynnik porowatości [%],

e – wskaźnik porowatości,

V – objętość całkowita próbki gruntu,

V_p – objętość porów,

V_z – objętość ziaren mineralnych,

K – współczynnik przepuszczalności gruntu, [darcy]

W_e – wskaźnik infiltracji efektywnej,

ξ – potencjał elektrokinetyczny, [mV]

t – temperatura, stopnie Celsjusza [°C],

ρ_s – gęstość właściwa [g/cm³],

ρ_o – gęstość objętościowa [g/cm³],

m – masa próbki gruntu [g],

U – współczynnik równomierności uziarnienia,

d – średnica zastępcza ziaren próbki gruntu [mm],

q – jednostkowy przepływ wody, przekrojem o szerokości 1 m [m³/s]

B – szerokość przekroju poprzecznego w [m],

y – wysokość swobodnego zwierciadła wody w odległości x [m] od brzegu rzeki lub jeziora w [m],

x – odległość punktu pomiarowego od brzegu rzeki lub jeziora [m],

t – wysokość zwierciadła wody słodkiej na mierzei ponad poziomem morza [m],

D – debaj, jednostka momentu dipolowego,

ξ – stała dielektryczna wody, $\xi = 81$,

μ – lepkość dynamiczna, jednostka [cP] – centypuaz, w układzie SI – Pa · s (paskalosekunda) (μ wody o temperaturze 15 °C wynosi ok.0,001 Pa · s, to jest 1,002 cP, a w temp. 20 °C – 1,0050 cP, cP = 0,01 P,
P – puaz, [dyn · s/cm²] lub [g/cm · s]

Przewodnictwo właściwe [S/m] (simens / metr),
pH – odczyn wody, ujemny logarytm ze stężenia jonów wodorowych,
 E_h – potencjał oksydacyjno-redukcyjny [mV],
 K_w – iloczyn jonowy wody, $K_w = [H^+] \cdot [OH^-]$,
Q – natężenie przepływu – ilość cieczy w jednostce czasu, przepływającej przez określoną powierzchnię przekroju [m³/s, m³/min],
T – czas przepływu, [s, min, h],
F – powierzchnia przekroju [m²],
v – prędkość przepływu [m/s, m/min],
 $v = k \cdot i$,
k – współczynnik filtracji w [m/s, m/min],
i – spadek (gradient) hydrauliczny [‰],

$$i = \frac{h_1 - h_2}{l} \text{ lub } i = \frac{H_1 - H_2}{l}$$

h_1, h_2 – wysokość zwierciadła wody podziemnej w 2 punktach pomiarowych, nad nieprzepuszczalnym podłożem w [m],

L, l – odległość między 2 punktami pomiarowymi w [m],

H_1, H_2 – wysokości (rzędne) zwierciadła wody w 2 punktach pomiarowych w [m n. p. m.],

C – stężenie sumy substancji rozpuszczonych w wodzie [g/dm³],

C_i – stężenie jednego składnika rozpuszczonego w wodzie [g/dm³],

Ł – ładunek zanieczyszczeń, odprowadzany do odbiornika (rzeki, jeziora,

$$\text{morza}), \quad \text{Ł} = Q \cdot C, \text{ w } \left[\frac{g}{24h} \right],$$

grupa SH – grupa sulfhydrolova,

BZT₅ – Biochemiczne Zapotrzebowanie Tlenu [mg O₂/dm³] w ciągu pierwszych 5 dni.

Wykaz skrótów i symboli do rozdziału 4:

DL – dosis letalis, dawka śmiertelna, mg/kg masy,

ONZ – Organizacja Narodów Zjednoczonych,

WHO – (ang.) World Health Organization – Światowa Organizacja Zdrowia, powołana w 1949 r., agenda ONZ,

FAO – (ang.) Food and Agriculture Organization of the United Nations,

Organizacja Narodów Zjednoczonych do Spraw Wyżywienia
i Rolnictwa, powołana w 1945 r.,
 GOP – Górnośląski Okręg Przemysłowy,
 GZW – Górnośląskie Zagłębie Węglowe,
 BHC – sześciochlorobenzen,
 DDT – azotox,
 DDD – pochodna azotoxu, powstająca w glebie pod wpływem drobnoustrojów,
 TCA – kwas trójchlorooctowy,
 Bq – (czyt. bekerel) aktywność promieniowana, liczba rozpadów
promieniotwórczych w jednostce czasu, jednostka Bq, $1 \text{ Bq} = 1/\text{s}$,
 T – okres połowicznego rozpadu promieniotwórczego izotopu,
 s.m. – suchej masy.

Objaśnienie skrótów do rozdziału 5:

DNA – kwas dezoksyrybonukleinowy,
 RNA – kwas rybonukleinowy,
 ATP – adenzynotrójfosforan – powszechny przenośnik energii swobodnej.
 Jest to nukleotyd zbudowany z adeniny, rybozy i trójfosforanu.
 m – matrycowy czyli informacyjny,
 t – transportujący,
 r – rybosomowy.

Wykaz jednostek podstawowych i pochodnych do rozdziału 6):

Odnawialne źródła energii

Jednostki podstawowe:

Długość – metr [m],
 Masa – kilogram [kg],
 Czas – sekunda [s],
 Temperatura – kelwin [K],
 Natężenie prądu – amper [A].

Jednostki pochodne.

Praca, energia – dżul [$J = N \cdot m$, $1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}/\text{s}^2$],
 Moc, strumień energii – wat [$W = J/\text{s}$, $1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}/\text{s}^3$],
 Ciepło, energia – dżul [$J = N \cdot m$, $1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}/\text{s}^2$],
 Ciepło właściwe – dżul / (kilogram x kelwin) [J/kgK , $1 \text{ m}^2 / \text{s}^2 \text{K}$],
 Gęstość strumienia energii – wat / metr kwadratowy [W/m^2 , kg/s^3]
 Pole powierzchni – metr kwadratowy [m^2],
 Objętość – metr sześcienny [m^3],
 Prędkość liniowa – metr na sekundę [m/s],
 Przyspieszenie liniowe – metr / kwadrat sekundy [m/s^2],
 Gęstość – kilogram na metr sześcienny [kg/m^3],

Siła – niuton [N] = [(kg·m)/s²]

Ciśnienie – niuton / metr kwadratowy [N/m²] = [kg/(ms²)], paskal Pa

Ciężar właściwy – niuton / metr sześcienny [N/m³] = [kg/m² · s²]

Przedrostki do tworzenia nazw i symboli

mnożnik	przedrostek	skrót
10 ¹⁸	eksa	E
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hekto	h
10 ¹	deka	da
10 ⁻¹	decy	d
10 ⁻²	centy	c
10 ⁻³	mili	m
10 ⁻⁶	mikro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹²	piko	p
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹⁸	atto	a

h – stała Plancka $h = 6,62617 \cdot 10^{-34}$ [J · s],

v – częstotliwość fali [Hz],

λ - długość fali,

a(z łac.) – rok.

I. Skale termometryczne:

1. skala termodynamiczna albo Kelvina,
2. skala Celsjusza,
3. skala Fahrenheita,
4. skala Reaumura,
5. skala Rankina.

Skala Fahrenheita, wynaleziona przez gdańskiego fizyka w 1714 r., jest rozpowszechniona w krajach anglosaskich i w USA. Punkt 0° skali Fahrenheita, oznacza górny koniec słupa rtęci termometru umieszczonego w mieszaninie równych części śniegu i salmiaku. Temperatura topnienia czystego lodu wynosi 32 °F, a wrzenia wody 212 °F. Zatem $212^\circ - 32^\circ = 180^\circ\text{F}$.

Skala Celsjusza (szwedzkiego astronoma), wynaleziona w 1742 r. oznacza 100 – stopniową skalę, gdzie temperatura topnienia lodu wynosi 0°C, a wrzenia wody 100 °C przy ciśnieniu powietrza 760 mmHg. Oznacza to, że 100 °C

odpowiada 180°F , czyli 1°C odpowiada $9/5^{\circ}\text{F}$, a różnica punktów zerowych wynosi 32°F . Zależności między obydwo ma skalami można wyrazić wzorem:
 $t^{\circ}\text{C} = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32^{\circ})$, $t^{\circ}\text{F} = 9/5(t^{\circ}\text{C}) + 32$.

Francuski fizyk Reaumur w 1731 r. wprowadził trzecią skalę, w której temperatura topnienia lodu odpowiada 0°R , zaś wrzenia wody 80°R . Skali tej używano w Europie środkowej do początku XX w. Współczynnik zależności między obydwo ma skalami wynosi $4/5$ lub $5/4$, albo $0,8$ i $1,25$.

Przeliczenie jednostek z jednej skali na drugą wykonuje się wg wzoru:

$$t^{\circ}\text{C} = t^{\circ}\text{R} + \left(\frac{t^{\circ}\text{R}}{4}\right) \quad \text{np.: } 80^{\circ}\text{R} + \left(\frac{80^{\circ}\text{R}}{4}\right) = 80^{\circ}\text{R} + (20^{\circ}\text{R}) = 100^{\circ}\text{C}$$

$$t^{\circ}\text{R} = t^{\circ}\text{C} - \left(\frac{t^{\circ}\text{C}}{5}\right) \quad \text{np.: } 100^{\circ}\text{C} - \left(\frac{100^{\circ}\text{C}}{5}\right) = 100^{\circ}\text{C} - (20^{\circ}\text{C}) = 80^{\circ}\text{R}$$

$$\text{lub } 80^{\circ}\text{R} \cdot 1,25 = 100^{\circ}\text{C}$$

$$100^{\circ}\text{C} \cdot 0,80 = 80^{\circ}\text{R}$$

Zatem $1^{\circ}\text{R} = 1,25^{\circ}\text{C}$ oraz $1^{\circ}\text{C} = 0,8^{\circ}\text{R}$.

Skala termodynamiczna, zwana absolutną lub Kelvina [K], zaproponowana w 1848 r. jest obowiązującą skalą w układzie SI, jest podobna do skali 100 stopniowej Celsjusza, z tą różnicą, że nie ma temperatur ujemnych. Jej zero jest zerem absolutnym. Punkt topnienia lodu wynosi $273,15\text{ K}$, zaś wrzenia wody $373,15\text{ K}$. Stała różnica $273,15$ wynika z doświadczenia: gaz ogrzewany w zamkniętym naczyniu, w którym utrzymujemy jednocześnie stałe ciśnienie, ulega rozszerzeniu. Określonym wzrostom temperatury odpowiada określony wzrost objętości gazu. Mówimy o współczynniku rozszerzalności gazu przy stałym ciśnieniu. Współczynnik ten wynosi $\frac{1}{273,15}$ i jest jednakowy dla

wszystkich gazów. Zatem objętość gazu V_0 oznacza objętość w temperaturze 0°C , a przy temperaturze $t^{\circ}\text{C}$ objętość V_t wynosi odpowiednio:

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273,15} t\right).$$

Podobnie przy ogrzewaniu gazu przy zachowaniu stałej jego objętości stwierdzamy wzrost jego ciśnienia zgodnie z takim samym prawem. Jest to współczynnik wzrostu prężności (ciśnienia) przy stałej objętości, równy też

$$\frac{1}{273,15}.$$

Stąd dla odpowiedniej temperatury t ciśnienie wyniesie;

$$P_t = P_o \left(1 + \frac{1}{273,15} t\right) = P_o \frac{273,15 + t}{273,15}$$

Gdy temperatura spadnie do $-273,15$ °C ciśnienie spadnie do zera. Cząsteczki gazu (powietrza) przestaną się poruszać, a punkt $-273,15$ °C stanowi zero absolutnej skali temperatur (Kelvina). Odpowiada to temperaturze $-459,72$ °F w skali Fahrenheita.

Zależności między skalą Kelvina a skalą Celsjusza albo skalą Fahrenheita wynoszą:

$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$ lub $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$ oraz dla skali Fahrenheita

$\text{K} = (^{\circ}\text{F} - 32)5/9 + 273,15$ K.

Skala Rankina stosowana jest w USA. Temperaturę liczymy od zera bezwzględnego (absolutnego). Stopnie tej skali odpowiadają wielkością skali Fahrenheita. Temperaturze 100 °C (wrzenia wody) odpowiada w skali Rankina wielkość $671,72$ °R.

II. Przemiany termodynamiczne:

Przemiana izotermiczna (prawo Boyle'a – Mariotte'a):

$T = \text{const}$, temperatura stała, zmienna objętość i ciśnienie gazu.

Masa gazu stała, $m = \text{const}$.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1} \text{ lub } V_1 \cdot p_1 = V_2 \cdot p_2 = \text{const}$$

Przemiana izobaryczna (prawo Gay – Lussaca):

$P = \text{const}$, ciśnienie stałe, zmienna temperatura i objętość gazu.

Masa gazu stała, $m = \text{const}$.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ lub } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const}$$

Przemiana izochoryczna (prawo Charlesa):

$V = \text{const}$, objętość stała, zmienna temperatura i ciśnienie gazu.

Masa gazu stała, $m = \text{const}$.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ lub } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{const}$$

1) Przemiana izotermiczna.

W stałej temperaturze objętość właściwa gazu zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do ciśnienia. Inna definicja: w stałej temperaturze iloczyn ciśnienia bezwzględnego i objętości stałej ilości m gazu doskonałego jest wielkością stałą. Gdy $T = \text{const}$, $p \cdot V = \text{const}$,
gdzie: $V = m \cdot v$; m - masa gazu, v - objętość właściwa gazu, V - objętość gazu (przemiana izotermiczna).

2) Przemiana izobaryczna (prawo Gay – Lussaca).

$p = \text{const}$, ciśnienie stałe, zmienna temperatura i objętość gazu. Przy stałym ciśnieniu $p = \text{const}$ gaz ogrzewany lub ochładzany zwiększa lub zmniejsza swoją objętość na każdy stopień o $1/273$ w odniesieniu do objętości jaką posiadał w temperaturze 0°C .

$$V_1 = V_o + \frac{t_1}{273,15} V_o = V_o \left(1 + \frac{t_1}{273,15}\right) = V_o \frac{T_1}{T_o}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ lub } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const}, \text{ gdy } p = \text{const}.$$

Stosunek objętości tej samej masy gazu do jego temperatury bezwzględnej jest stały przy zachowaniu stałego ciśnienia. Objętość tej samej ilości gazu zmienia się przy stałym ciśnieniu wprost proporcjonalnie do temperatury bezwzględnej.

3) Przemiana izochoryczna (prawo Charlesa).

$V = \text{const}$, objętość stała, zmienna temperatura i ciśnienie gazu. Jeśli objętość gazu doskonałego jest stała, to jego ciśnienie bezwzględne zmienia się wprost proporcjonalnie do jego temperatury bezwzględnej

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \text{ lub } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{const}$$

Wzrost temperatury pewnej określonej ilości gazu zawartego w pewnej stałej objętości przejawia się w zwiększeniu ciśnienia, które ten gaz wywiera.

Jednostki ciśnienia:

1) atmosfera fizyczna Atm odpowiada ciśnieniu 760 mm Hg .

$$\gamma_{\text{Hg}} = 13\,600 \text{ kG/m}^3, p = 13\,600 \cdot 0,760 = 103332 \text{ kG/m}^2,$$

$$1 \text{ Atm} = 1,03332 \text{ kG/cm}^2 = 1,03332 \text{ at}.$$

2) atmosfera techniczna $\text{at} \approx 736 \text{ mm Hg}$, $p_a = 13\,600 \cdot 0,736 = 10000 \text{ kG/m}^2$,

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kG/cm}^2, 1 \text{ at} = 735,56 \text{ mm Hg}.$$

3) układ SI, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$; $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$, $1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyn/cm}^2$

$$1 \text{ bar} \text{ odpowiada ciśnieniu } 750 \text{ mm Hg}, 1 \text{ bar} = 13600 \cdot 0,75 = 1,02 \text{ kG/cm}^2$$

III Lepkość.

Lepkością nazywamy zdolność płynów (cieczy i gazów) do przenoszenia naprężeń stycznych przy wzajemnym przemieszczaniu elementów poruszających się z różnymi prędkościami. Powstają przy tym siły tarcia wewnętrznego styczne do kierunku przemieszczania, zwane siłami stycznymi. Siły te są tym większe, im większa jest lepkość (wiskoza) płynu i im większe są różnice prędkości między sąsiednimi elementami (warstewkami) płynu. Stosunek sił stycznych do powierzchni, na której działają, określa naprężenie styczne:

$$\tau = \frac{T}{F}.$$

Zgodnie z wzorem Newtona naprężenia styczne są proporcjonalne do przyrostu prędkości w kierunku normalnym (prostopadłym) do przepływu (gradientu prędkości): $\tau = \mu \frac{dv}{dn}$ [N/m², kG/m²]

Współczynnik proporcjonalności μ jest miarą lepkości i nazywa się dynamicznym współczynnikiem lepkości.

W układzie jednostek technicznym i SI ma on wymiar:

$$\mu = \tau \frac{dn}{dv} \text{ [kGs/m}^2\text{; N s/m}^2\text{]}, \text{ a w układzie fizycznym (CGS)}$$

$$\mu = \tau \frac{dn}{dv} \left[\frac{\text{dyna} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = \frac{\text{dyna} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} = 1 \text{ poise} \right]$$

Przeliczenie z jednego układu na drugi:

$$1 \text{ poise} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} = 0,0102 \frac{\text{kG} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 0,1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$1 \frac{\text{kG} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 98,1 \text{ poise}$$

W układzie SI jednostką lepkości jest Pa x s (paskalosekunda)

Ponieważ:

$$1 \text{ N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \frac{1000 \text{ g} \cdot 100 \text{ cm}}{\text{s}^2} = 10^5 \text{ dyn},$$

$$\text{dyna} = 1 \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ cm}}{\text{s}^2}, \quad 1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2} = \frac{10^5 \text{ dyn}}{10000 \text{ cm}^2} = \frac{10 \text{ dyn}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 10^6 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}, \quad 1 \frac{\text{kG}}{\text{cm}^2} = \frac{1000 \text{ g} \cdot 980,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}{1 \text{ cm}^2} = 9,806 \cdot 10^5 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2}$$

1 Atm (atmosfera normalna) = 760 mm Hg = 101325 Pa = 1013250 dyn/cm².

Lepkość cieczy oznacza się za pomocą wiskozymetrów mierząc czas przepływu określonej ilości badanej cieczy oraz czas przepływu takiej samej ilości cieczy wzorcowej, której lepkość znamy. Zachodzi przy tym zależność:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{d_1 \cdot t_1}{d_2 \cdot t_2}$$

gdzie:

μ – lepkość dynamiczna,
 d – gęstość cieczy,
 t - czas przepływu.

Stosunek dynamicznego współczynnika lepkości do gęstości nazywamy kinematycznym współczynnikiem lepkości ν .

Wymiary ν w układzie technicznym i SI:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\frac{\text{kG} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}}{\frac{\text{kG} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] = \left[\frac{\frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}}{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$$

W układzie fizycznym

$$1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = 1 \text{stokes} = 0,0001 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 10000 \text{stokes}$$

Lepkość zależy głównie od temperatury, nieznacznie od ciśnienia. Dla powietrza przy ciśnieniu 0,05 – 20 barów lepkość jest praktycznie niezmienna. Przy ciśnieniu 50 barów lepkość jest większa o 10%, przy ciśnieniu 2000 barów o 100 % większa niż przy ciśnieniu 0,05 – 20 barów. Lepkość cieczy nie ulega zmianie w granicach umiarkowanych zmian ciśnienia, zwiększa przy bardzo dużych ciśnieniach. Zmianę lepkości wody w zależności od temperatury wyznacza się ze wzoru:

$$\mu = \frac{\mu_o}{1 + 0,0337t + 0,00022t^2},$$

μ_o – lepkość w temperaturze 0°C.

Lepkość powietrza zależnie od temperatury wyznacza się ze wzoru:

$$\mu = \mu_o \left(1 + \frac{1}{273,15} \right)^{0,76}$$

Ze wzrostem temperatury lepkość wody maleje, natomiast lepkość powietrza rośnie.

Przedmowa

Oddany do rąk Czytelnika niniejszy podręcznik zawiera wybrane zagadnienia z zakresu szeroko pojętej ochrony środowiska i rekultywacji. Dotyczy on problemów przyrody nieożywionej i przewidziany jest dla studentów kierunków technicznych Politechnik, a może być też przeznaczony dla kierunków przyrodniczych Uniwersytetu, szczególnie studentów geologii i geografii. Główną uwagę poświęcono na zagadnienia zanieczyszczenia i ochrony powietrza, wody i gleby oraz rekultywacji. Jeden z rozdziałów omawia wybrane elementy wykorzystania zasobów energii odnawialnej. W podręczniku omówiono szerzej podstawowe zagadnienia podziału i bilansu cieplnego atmosfery, obiegu wody na globie, powstawania i rozwoju gleb. W związku z tym podano też podstawową literaturę, gdzie omawia się dokładnie powyższe zagadnienia. Pełne zrozumienie procesów powstawania zagrożeń i ich wpływu na środowiska przyrodnicze wymaga dobrej znajomości podstawowych dziedzin wiedzy jak fizyka i chemia, zwłaszcza niektórych ich działów. Dodatkowo przedstawiono jednostki obowiązującego układu SI oraz starsze jednostki układu technicznego tak, aby można było w pełni skorzystać ze starszych, cennych opracowań, kiedy nie stosowano powszechnie układu SI. Celem łatwiejszego posługiwania się podano zależności liczbowe między jednostkami układu technicznego i układu SI. Pamiętać trzeba, że układ dziesiętny (metryczny) stosowany jest w Europie kontynentalnej dopiero od czasów Rewolucji Francuskiej zatem niewiele ponad 200 lat. W Anglii i krajach anglosaskich oraz w USA stosuje się powszechnie inne jednostki.

Zagrożenia, jakie człowiek stwarza środowisku przyrodniczemu, oraz ich skutki, są bardzo różnorodne. Dotyczą one różnych komponentów środowiska: roślinności, zwierząt, powietrza, wody i gleby. Zagrożenia te dotyczą też samego człowieka. Procesy zachodzące w atmosferze, hydrosferze i litosferze charakteryzują się niezliczoną liczbą wzajemnych powiązań. Ich niedostateczne rozpoznanie między różnymi komponentami środowiska przyrodniczego powodować może szereg nieprzewidzianych i niekorzystnych zmian np. w obiegu wody. Konsekwencje tych zmian są bardzo rozległe i przykre: niedobór wody lub jej nadmiar, często zanieczyszczenie jej dotyczą już wielkich obszarów i dużej liczby ludzi. Ostatnie lata uświadomiły zagrożenia związane z narastającym globalnym ociepleniem klimatu wskutek wzrostu stężenia w atmosferze dwutlenku węgla i innych gazów, zwanych umownie „cieplarnianymi”. Fakt ten dotyczy całej kuli ziemskiej. Zanieczyszczenie środowiska przez DDT jest stwierdzane ciągle, nawet w obszarach polarnych, odległych przecież od miejsc jego stosowania. Podobnie

rozległy jest zasięg skażeń radioaktywnych, spowodowanych wybuchami jądrowymi w atmosferze i awariami reaktorów. Zakwaszone deszcze stanowią przyczynę degradacji jezior skandynawskich. Źródła tego zakwaszenia opadów upatruje się w zanieczyszczeniach atmosferycznych powstających na Wyspach Brytyjskich i w krajach Zachodniej Europy. Gwałtowność zdarzeń atmosferycznych w ostatnim półwieczu przypisuje się przemianom klimatycznym spowodowanym zwiększoną emisją CO₂ do atmosfery (efekt cieplarniany). Zmiany sposobu użytkowania ziemi – od trzebieży lasów przez wprowadzenie gospodarki rolnej i hodowlanej, po urbanizację i rozwój przemysłu – wpływają na zmiany bilansu cieplnego i wodnego wielkich obszarów i przyczyniają się też do pogorszenia jakości wody oraz przyśpieszają procesy erozji gleb.

Autorzy składają serdeczne podziękowanie prof. dr hab. Stanisławowi Stańce za opracowanie bardzo cennej i wnikliwej recenzji, która pozwoliła uniknąć nieścisłości i przerostów treści podręcznika. Dziękujemy również pracownikom Zakładu Geotechniki i Geodezji – dr inż. Pawłowi Fedczukowi i mgr inż. Marianowi Byrskiemu za niektóre, cenne uwagi. Szczególne słowa podziękowania kierujemy do pierwszej Czytelniczki maszynopisu – mgr inż. Elżbiety Kokocińskiej-Pakiet za pomoc przy korekcie i zestawieniu aktów prawnych. Technikom – Pani Urszuli Śmieji i Panu Andrzejowi Lewczakowi serdecznie dziękujemy i zawdzięczamy przepisanie tekstu z rękopisu oraz wykonanie rysunków i tabel. Wobec rozległości materiału nie ustrzeżono się z pewnością błędów i usterek. Wszelkie uwagi od Użytkowników zostaną życzliwie przyjęte. Prosimy je kierować do redaktorów naukowych lub na adres internetowy jednego z autorów anigacz@po.opole.pl. W kolejnych wydaniach podręcznika planujemy rozszerzenie jego treści o kreatywną rolę geodezji w ochronie środowiska, która ze względów redakcyjnych nie znalazła się w niniejszym wydaniu.

Niechaj ten podręcznik dobrze służy Czytelnikom.

Autorzy.

1.0. Wiek Ziemi.

1.1. Wpływ ważniejszych osiągnięć techniki na środowisko naturalne.

Zdaniem astronomów Galaktyka, w której żyjemy, zwana Układem Drogi Mlecznej powstała ok. 10 mld lat temu. Słońce wchodzące w skład tej Galaktyki istnieje ok. 5 mld lat, a Ziemia ok. 4,5 mld lat. Słońce jest gwiazdą, która wydziela energię docierającą do planet układu słonecznego, w tym do planety Ziemi. Pierwsze ślady życia, jakich zdołano doszukać się na Ziemi, pochodzą sprzed 3,8 mld lat, a szczątki pierwszych ssaków znane są z pokładów liczących nie więcej niż 200 mln. lat. Gatunek *Homo sapiens* czyli człowiek rozumny pojawił się na Ziemi ok. 500 tys. lat temu [42].

Człowiek ten początkowo czerpał z przyrody tylko środki niezbędne do życia, a więc głównie pokarmy i korzystał z naturalnych kryjówek. Bardzo szybko nauczył się jednak wykorzystywać przyrodę nie tylko do zaspokojenia podstawowych potrzeb życiowych, ale także do zapewnienia sobie coraz wyższego komfortu. W tej sytuacji często naturalne korzystanie z dóbr przyrody przekształcało się w ich rabunkową eksploatację.

Dowody archeologiczne wskazują, że w najstarszych państwach świata starożytnego istniało już zorganizowane rolnictwo. Przy uprawie zbóż na Bliskim Wschodzie i w starożytnym Egipcie wykorzystywano już wody rzeczne do nawadniania pól uprawnych. Około 1250 r. p.n.e. poznano już wytop żelaza, które wyparło stosowane dotychczas narzędzia z brązu. Najstarszymi narzędziami były narzędzia z krzemienia i drewna oraz kości, potem z brązu (stopu miedzi i cyny). W starożytnym Rzymie znano już zaprzęgi konne, budowano drogi i akwedukty tj. wodociągi, sprowadzając z odległości około 70 km z gór wodę do Rzymu.

W XIII w. n.e. na Zachodzie Europy wynaleziono proch czarny, znany uprzednio Chińczykom. W wieku VII i VIII Grecy stosowali już broń zapalną, w postaci tzw. "ognia greckiego", którym bronili się przed obcymi flotami próbującymi zająć Konstantynopol. Wynalazek prochu czarnego jako środka miotającego broni palnej pomógł Hiszpanom w opanowaniu rozległych terytoriów w Ameryce Południowej i Środkowej, i na wywóz do Europy dużych zasobów złota, srebra oraz kamieni szlachetnych. Celem rabunkowej gospodarki stał się zysk materialny, znacznie przekraczający rzeczywiste potrzeby człowieka. Szczególnie duże rozmiary osiągnęła eksploatacja bogactw naturalnych wraz z gwałtownym rozwojem techniki, który został zapoczątkowany wynalezieniem w roku 1782 maszyny parowej.

Ojczyzną pierwszej rewolucji przemysłowej była pod koniec XVIII w. Anglia. Tutaj James Watt zbudował pierwszą maszynę parową do napędu pomp, którymi odwadniano kopalnię węgla kamiennego. James Watt z zawodu był kowalem. W 1805 roku Amerykanin Fulton zbudował pierwszy statek o napędzie parowym. Ze swym wynalazkiem zwrócił się do Napoleona, który nie umiał docenić wagi wynalazku. W 1825 roku angielski inżynier Stevenson

zbudował pierwszą lokomotywę. Od tego czasu rozpoczęła się epoka kolei i przewozu ludzi i towarów pociągami. Znaczenie kolei do celów militarnych szybko pojął pruski sztab generalny, który wykorzystał ją do szybkiego przetrzutu wojsk w wojnach z Austrią (1866 r.) i Francją (1870/71 r.). Druga rewolucja przemysłowa zaczęła się po 1871 roku. Na czoło państw najbardziej uprzemysłowionych wysunęły się Niemcy i USA, z nowoczesnymi gałęziami przemysłu. Pod koniec XIX w. i na początku XX w. (do 1914 r.) bardzo wiele wynalazków technicznych powstało w tych państwach. W 1861 r. inż. Otto wynalazł silnik spalinowy (benzynowy). W 1885 r. inż. Daimler i Benz zastosowali silnik spalinowy i skonstruowali pierwszy samochód. W 1905 r. Amerykanin Ford zastosował już taśmę mechaniczną do seryjnej produkcji samochodów. Produkowany przez niego samochód Ford T został uznany cudem XX w. Można go oglądać w Muzeum Techniki w Warszawie. W 1831 r. M. Faraday odkrywa zjawisko indukcji elektromagnetycznej, a pod koniec wieku istniały już elektrownie wodne i ciepłone oraz silniki elektryczne i tramwaje. Przy końcu XIX w. wynaleziono nową metodę wytopu stali używając konwertorów Bessemera i pieców martenowskich. W 1895 r. K. Roentgen odkrywa promienie X, czyli rentgenowskie szeroko stosowane później w medycynie. Również odkrycia L. Pasteura i P. Kocha znaczyły milowy krok w rozwoju mikrobiologii i zastosowaniu jej w medycynie. W 1896 r. L. Becquerel, a potem M. Skłodowska - Curie i P. Curie odkrywają, i rozpoznają istotę naturalnej promieniotwórczości. Za te badania otrzymują oni w 1905 r. nagrodę Nobla. W Niemczech fizyk A. Einstein ogłasza na początku XX w. teorię względności i prawo zachowania materii, w postaci słynnego wzoru: $E = m \times c^2$. W XX w. w 1905 r. Marconi buduje pierwszy aparat radiowy, wykorzystując lampy elektronowe, a Amerykanie – bracia Wright dokonują pierwszego lotu samolotem, napędzanym silnikiem benzynowym. W 1897 r. Diesel buduje pierwszy silnik wysokoprężny napędzany ropą naftową. Pod koniec XIX w. zaczyna się na szeroką skalę poszukiwanie i eksploatacja złóż ropy naftowej i gazu ziemnego za pomocą odwiertów. Po 1918 roku w Niemczech dokonano szeregu wynalazków z dziedziny chemii, uzyskując sztuczny kauczuk, benzynę syntetyczną, otrzymywanie amoniaku i kwasu azotowego. Dalsze wynalazki w XX w. to rozszczepienie jądra atomowego, wynalazek telewizji, radaru, rakiet, tranzystora i komputerów oraz stosowanie na szeroką skalę tworzyw sztucznych i aluminium. W medycynie stosowanie sulfonoamidów i antybiotyków od lat 30 i 40 XX w. Od wynalezienia maszyny parowej do czasów współczesnych upłynęło niewiele ponad 200 lat. Jednak w ciągu tych 200 lat, a zwłaszcza po 1945 roku zaszły na Ziemi ogromne zmiany, w wyniku działalności gospodarczej człowieka. Często wpływ rabunkowej gospodarki, różnych budowli ludzkich, rozwijającej się komunikacji, przemysłu i chemizacji rolnictwa na środowisko przyrodnicze stał się w wielu rejonach Ziemi widoczny i zaznacza się w wielu częściach globu.

Wreszcie doszło do tego, że w ciągu XX wieku liczba ludności podwoiła się w ciągu 40 lat i przekroczyła poziom 6 mld.. Nastąpiła eksplozja demograficzna. Zaznaczyło się zanieczyszczenie atmosfery, wód rzecznych, jeziornych i morskich oraz gleb na olbrzymich terenach. Człowiek współczesny dysponuje obecnie technologią, która może zniszczyć cały świat żywy, a nawet samego siebie i całą kulę ziemską. Stąd ochrona przyrody nabiera ogromnego znaczenia, jeśli chcemy przekazać zdrową Ziemię przyszłym pokoleniom [3]. Jednocześnie w krajach biednych liczba ludności wzrasta nadal w bardzo szybkim tempie. Wzrostu produkcji żywności w takim tempie nie obserwujemy i wiele milionów ludzi, a zwłaszcza dzieci umiera corocznie z głodu w krajach afrykańskich [33]. Siłą napędową przemysłu, podobnie jak całej naszej cywilizacji jest energetyka konwencjonalna oparta na paliwach naturalnych: na węglu, ropie i gazie. Produkty spalania tych paliw to pyły, tlenki siarki, azotu i węgla, które zatrują wodę, powietrze i glebę. Zahamowanie dalszej degradacji środowiska naturalnego wiedzie nie tylko przez modernizację energetyki konwencjonalnej. Należy stopniowo eliminować paliwa naturalne, które i tak są już na wyczerpaniu i zastępować je nowymi, niekonwencjonalnymi i odnawialnymi źródłami energii. Istotną poprawę stanu środowiska można także osiągnąć, wprowadzając materiało- i energooszczędne technologie w przemyśle, w budownictwie i w indywidualnych gospodarstwach domowych. Odnawialne źródła energii obejmują energię: wody, wiatru, biomasy, energię promieniowania słonecznego, geotermalną i wiele innych [21].

Zależności i powiązania między wszystkimi kierunkami działalności człowieka nie zawsze mają ilościowy, lecz najczęściej jakościowy charakter. Czasem błahy czynnik, o znaczeniu wydawałoby się małym powoduje wielkie spustoszenie i trudne do odrobienia straty. Przykładem do tej tezy mogą być np.: rewelacyjny środek owadobójczy DDT, pestycydy, freon, sprowadzenie królików do Australii, źle przeprowadzona melioracja, monokultury upraw rolnych, nadmierne nawożenie, budownictwo wielkopłytowe, wycinanie lasów tropikalnych, dodawanie ołowiu do benzyny i wiele innych, przyniosło w końcowym rozrachunku więcej szkód niż korzyści. Wywołane przez energetykę szkody to degradacja naturalnego środowiska przez: pyły i kwaśne deszcze (wyniszczenie lasów), emisja szkodliwych składników spalin (CO , CO_2 , NO_x – efekt cieplarniany), freony (dziura ozonowa), ścieki (zatrucie rzek), kopalnie odkrywkowe (obniżenie poziomu wód gruntowych), wybetonowanie rzek (zachwianie równowagi wodnej), odpady radioaktywne (skażenie terenów) – powodująca w efekcie całkowite wyginięcie niektórych gatunków roślin i zwierząt. W ostatnich kilku dziesięcioleciach następowała konsumpcja energii i skażenie środowiska naturalnego produktami spalania w stopniu wykładniczym [21]. Ubocznych produktów poprodukcyjnych, odpadów konsumpcyjnych pochodzenia technicznego i produktów spalania (pyłu, tlenków azotu, siarki i

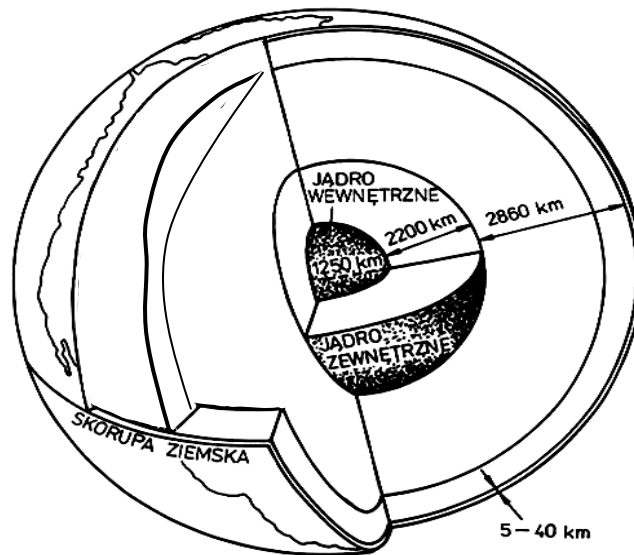
węgla) nie wchłonie już, i nie zregeneruje w całości naturalne środowisko. Samych naturalnych źródeł energii nieodnawialnej (węgla, ropy i gazu) wystarczy jeszcze na kilkadziesiąt lat. W ostatnich latach pojawiła się pewna nadzieja na poprawę tej sytuacji. Instytucje rządowe i pozarządowe wielu krajów, i osoby prywatne podjęły próbę, jeśli nie zrekonstruowania stanu pierwotnego to przynajmniej przeciwdziałanie lub zahamowanie dalszej destrukcji środowiska naturalnego. W oparciu o zdobycze nauki i badania statystyczne podjęto wieloetapową i wszechstronną strategię naprawy. W Polsce wprowadzono zaostrzone przepisy o dopuszczalnej emisji zanieczyszczeń w spalinach; zwiększenie kary za skażenie środowiska i ich egzekwowanie przyniosły już pierwsze efekty. W 1995 r. zmniejszyła się ilość zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska naturalnego w porównaniu do 1990 roku. Zwiększył się obszar parków narodowych, krajobrazowych, rezerwatów i innych terenów będących pod ochroną. Jest to pozytywny trend, który należy kontynuować [21].

1.2. Budowa Ziemi.

Według najnowszych poglądów w budowie wewnętrznej Ziemi wyróżnia się kilka stref o różnej grubości. Średni promień Ziemi wynosi 6371 km, przy promieniu równikowym (a) – 6378,4 km i promieniu biegunowym (b) – 6357,9 km. Zatem $a - b = 20,5$ km.

Powierzchnia Ziemi wynosi 510,083 tyś. km², objętość Ziemi 1083 mld km³, powierzchnia lądów – 184,94 mln km², czyli 28 % powierzchni Ziemi. Masa Ziemi wynosi $59,76 \cdot 10^{20}$ ton. Ciężar właściwy zaś 5,5 g/cm³ [16].

Głob ziemski w swojej historii przechodził różne etapy rozwoju, w których powstawały skały o bardzo zróżnicowanym składzie i budowie. W budowie Ziemi wyróżnia się 3 strefy (geostrefy) (rys.1.1).



Rys.1.1a, 1.1b. Geosfery ; skorupa ziemską o grubości 5-40 km, płaszcz (górny i dolny o grubości 2860 km, jądro zewnętrzne – 2200 km i jądro wewnętrzne o promieniu 1250 km [36].

Płaszcz dolny

Strefa przejściowa

Jądro
zewnętrzne

1. cienką zewnętrzną powłokę zwaną skorupą ziemską. Zbudowana jest ze skał magmowych, osadowych i metamorficznych. Skorupa ziemską wykazuje zmienną grubość. Jej dolna granica sięga 40 km pod kontynentami, a 5-7 km poniżej dna oceanu.
2. płaszcz (górny i dolny) o łącznej grubości 2860 km., do głębokości 100 km sięga górny płaszcz wchodzący wraz ze skorupą w skład litosfery. Płaszcz zewnętrzny rozciąga się do głębokości 1000 km, poniżej do głębokości 2900 km zalega płaszcz wewnętrzny.

3. jądro (zewewnętrzne i wewnętrzne) o łącznej grubości 3450 m. Poniżej granicy 2900 km rozciąga się strefa jądra ziemskiego złożona z dwóch części:

- jądra metalicznego ciekłego, w granicach 2900-5000 km,
- jądra metalicznego stałego, w granicach 5000-6370 km.

Wiadomości o istnieniu sfer o różnych grubościach uzyskujemy z przebiegu fal sejsmicznych. Do bezpośrednich badań mamy tylko niewielką część litosfery, najgłębsze kopalnie sięgają 2,5 km głębokości, zaś wiercenia osiągnęły 12 km głębokości. W Polsce najgłębsze kopalnie sięgają od 900 – 1200 m głębokości. Strefę skorupy Ziemskiej oddziela od płaszczu nieciągłość Mohorovičića na głębokości średnio 33 km. Podłożem skorupy ziemskiej jest płaszcz. Na poziomie 400-413 km wykryto w nim nieciągłość sejsmiczną wydzielając strefę przejściową związaną z przekształceniem materii w stan szklisty [10]. Sprężyste fale sejsmiczne napotykać we wnętrzu Ziemi na warstwy o różnych właściwościach i ulegają na ich granicach załamaniu (refrakcji), oraz odbiciu. Fale podłużne (P – primae) wchodzące w jądro załamują się wewnątrz, w wyniku czego pod tarczą jądra tworzy się strefa cienia. Fale podłużne i poprzeczne (S – secundae), oraz fale powierzchniowe (L – longae) wielokrotnie odbijają się od powierzchni Ziemi. Zmiana kierunku fal sprężystych następuje przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego, różniącego się gęstością i prędkością rozchodzenia się fal. Prędkość fal na granicy z jądrem zewnętrznym, spada z 13,6 do 8 km/s, a w obrębie jądra wewnętrznego wzrasta do ponad 11 km/s. Fale S nie wchodzi w ciekłe zewnętrzne jądro. Przebieg krzywych przebiegu fal P i S wskazuje na występowanie w górnej części płaszczu ośrodka o niskich prędkościach. Granice ośrodków o różnych prędkościach fal sejsmicznych nazywamy nieciągłościami. Dwie ważne nieciągłości dzielą Ziemię na trzy geosfery: skorupę ziemską, płaszcz i jądro o nierównych częściach wynoszących odpowiednio 1,5; 82,3; 16,2 %, całkowitej objętości Ziemi. Płaszcz od jądra oddziela nieciągłość Gutenberga [10].

Jądro Ziemi.

Wobec spadku prędkości fal P na granicy z jądrem zewnętrznym z prawie 14 km/s do około 8 km/s i wobec faktu przechodzenia fal S tylko przez ośrodek stały wnioskujemy, że zewnętrzna część jądra jest w stanie ciekłym (jest to stop Ni-Fe). Jądro wewnętrzne rozpoczyna się na głębokości 5120 km i prędkość fal P wzrasta. Gęstość w jądrze wzrasta do $13 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, a ciśnienie przekracza $218 \cdot 10^8 \text{ Pa}$ (218000 at.).

Płaszcz Ziemi

Płaszcz Ziemi wyznaczają nieciągłości Mohorovičića (Moho lub M) i Gutenberga. Z prędkości fal wynika jego podział na części dolną, przejściową i górną. Różnice w prędkości fal mogą wynikać z różnic temperatury i ciśnienia zmian, w składzie mineralnym i gęstości wskutek fazowych przejść między minerałami oraz lokalnym topnieniem. Górny płaszcz budują trzy warstwy,

górną o wysokiej prędkości fal, grubości 0-50 km, środkową o obniżonej prędkości fal, grubości około 100 km i najgłębszą, jednorodną grubości około 250 km, sięgającą głębokości 400 km. Cała górna warstwa płaszcza górnego wraz z leżącą na niej skorupą ziemską stanowi główne źródło trzęsień Ziemi. Stanowi ona wraz z skorupą ziemską litosferę. Górną warstwę budują minerały – oliwin, piroksen i granat, akcesoryczne spinel i amfibol. Próbkę skał w postaci tzw. ksenolitów spotyka się w kominach kimberlitów diamentonośnych Południowej Afryki. Z górnego płaszcza pochodzą też serpentynity i perydotyty w łańcuchach górskich. Warstwa płaszcza o obniżonej prędkości fal, poniżej litosfery zwana jest astenosferą i przedstawia ośrodek plastyczny wskutek częściowego stopienia, dehydratacji lub obecności wody, w składzie mineralnym. Przy obecności wody następuje przy względnie niskiej temperaturze topnienie oliwinu, piroksenu, plagioklazów i granatu, i obniżenie prędkości fal sejsmicznych. Warstwa środkowa tj. mezosfera znajduje się poniżej astenosfery na głębokości 400-800 km. Składa się z kilku poziomów o gwałtownym wzroście prędkości sejsmicznych. Wynika to z przekształcenia przy wysokim ciśnieniu minerałów skałotwórczych w minerały o większej gęstości z równoczesnym zmniejszaniem się objętości. Oliwin na głębokości 500 km przekształca się w spinel ze stratą objętości 10 % [10].

Skorupa ziemna.

Jest ona zbudowana z dwóch warstw, między którymi jest słabo zaznaczająca się nieciągłość. W warstwie górnej prędkość fal sejsmicznych odpowiada granitowi. W strefie przypowierzchniowej Ziemi występują często granity, gnejsy i łupki krystaliczne. Warstwę górną skorupy ziemskiej nazwano sialiczną lub granitową. Dolna warstwa odpowiada bazaltowi lub gabrowi, zwana jest warstwą bazaltową lub gabrową, czasem maficzną. Maksymalną grubość skorupy – 70 km stwierdzono pod Himalajami i płaskowyżem Tybetu. Skorupa ziemna pod oceanem zbudowana jest z trzech warstw o łącznej grubości 5-8 km. Warstwę górną o niskiej prędkości fal tworzą osady głębokowodne o grubości 300-400 m w Pacyfiku i 600-700 m w Atlantyku. Poniżej spoczywa fundament grubości do 800 m o średniej prędkości fal, zbudowany z potoków lawy bazaltowej z przewarstwieniami zbitych osadów. Warstwa dolna zwana bazalną (oceaniczną) grubości 4,1-5,8 km wykazuje gęstość i prędkość właściwą dla bazaltów. Bazalt oceaniczny tworzy się w procesie spredingu tj. w obszarze rozprzestrzeniania się dna oceanicznego na grzbietach środkowo oceanicznych. W strefie podoceanicznej brak skał, które budują skorupę pod kontynentami.

1.3. Podział dziejów Ziemi.

Podział wieku Ziemi (na podstawie S. Cieślińskiego, 1969 - [10]). Tabela 1.1.

Era	Okres	Epoka	Przybliżony czas trwania (w mln lat)	Przybliżony wiek (w mln lat)	Typowe skały w Polsce
Kenozoik	Czwartorzęd	Holocen		(0,01)	Tworzenie terasów zalewowych i nadzalewowych, osady piaszczysto-gliniaste, torfowiska wysokie.
		Plejstocen	2	(1,800) 2	4 zlodowacenia w Polsce, osady rzeczne, lodowcowe i rzeczno – lodowcowe, na południu Polski lessy.
	Trzeciorzęd	Pliocen Miocen	24	(25)	Na Niziu ropy poznańskie, bazalty-Góra Świętej Anny, , złoża siarki, gips, sól, (Wieliczka), formacja węgla brunatnego, piaski, ropy, lignity.
		Oligocen Eocen Paleocen			Paleogen
Mezozoik	Kreda	Górna Dolna	78	(135) 143	Kreda lubelska. Piaskowce, margle, wapienie, kreda pizująca, fosforyty, ropy, piaskowce, margle, w Tatrach wapienie.

	Jura	Górna (malm) Środkowa (dogger) Dolna (lias)	69	(190) 212	Wapienie, margle. ----- Piaskowce, ily z rudami Fe, wapienie. ----- Piaskowce, łupki, wapienie, margle, rudy Fe.
	Trias	Górny (kajper) Środkowy (wapień muszlowy) Dolny (pstry piaskowiec)	35	(225) 247	Iły, łupki, piaski, piaskowce (wycofywanie się morza). ----- Wapienie dolomity z kruszcami cynku i ołowiu, margle – transgresja morska nie obejmująca Sudetów. ----- Piaskowce, zlepieńce, margle-poza Sudetami i Śląskiem panuje morze.
Paleozoik	Perm	Cechsztyń P ₂ Czerwony spągowiec P ₁	42	(270) 289	Iły, anhydryt, sól, wapienie, dolomity, rudy cynku i ołowiu, łupki miedzionośne; złoża ropy naftowej i gazu ziemnego - niemal cała Polska zostaje zalana morzem. ----- Skały wulkaniczne, wapienne zlepieńce, piaskowce. Polska lądem, w Sudetach i krakowskim, wulkanizm.
	Karbon	Górny C ₂ Dolny C ₁	78	(350) 367	Granit Karkonoszy, Strzelina, Strzegomia i Tatr Wysokich, wapienie węglowe; złoża węgla kamiennego. W Sudetach i Górach Świętokrzyskich ruchy górotwórcze. ----- Wapienie, łupki, piaskowce zlepieńce. Na Śląsku i w północno-wschodniej Polsce morze.

Paleozoik	Dewon	Górny D ₃ Środkowy D ₂ Dolny D ₁	49	(400) 416	Szarogłazy, wapienie, łupki. ----- Wapienie, dolomity, margle. ----- Piaskowce, Morze w Górach Świętokrzyskich i Sudetach Wschodnich, zalew morski w Sudetach Środkowych.
	Sylur	Górny S ₂ Dolny S ₁	30	(430) 446	Łupki, szarogłazy. W Sudetach i Górach Świętokrzyskich pogłębiające się morze. ----- Wapienie łupki. Wydźwignięcie Gór Świętokrzyskich. W Sudetach ruchy górotwórcze.
	Ordowik	Górny O ₃ Środkowy O ₂ Dolny O ₁	63	(500) 509	Szarogłazy, piaskowce, łupki. ----- Wapienie. ----- Zlepieńce, piaskowce, łupki Góry Świętokrzyskie i Sudety zalane morzem.
	Kambr	Górny Cm ₃ Środkowy Cm ₂ Dolny Cm ₁	66	(600) 575	3) Kwarcyty, piaskowce. w Sudetach podmorski wulkanizm. ----- 2) Łupki, piaskowce. ----- 1) Wapienie, piaskowce. W Górach Świętokrzyskich ruchy górotwórcze.
Proterozoik	Górny Środkowy Dolny	1930	(1500) 2485	W Sudetach: gnejsy, kwarcyty, marmury, łupki krystaliczne.	
Archaik	Górny Dolny		(ok. 3000) 4600	Gnejsy, łupki krystaliczne. W Sudetach metamorfizm i działalność magmowa.	

Skały skorupy ziemskiej powstały w różnych okresach tworzenia się Ziemi. Wiek Ziemi szacuje się na ponad 4 miliardy lat. Do określenia i badania wieku Ziemi stosuje się różne metody. Jedną z nich jest metoda wieku bezwzględnego, polegająca na zjawisku okresowego połowicznego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Jest to czas, w którym połowa ilości atomów danego pierwiastka ulega rozpadowi. Znając okres połowicznego rozpadu danego pierwiastka np.: ^{40}K -1,5 miliardów lat, ^{238}U -4,5 miliardów lat, ^{14}C -5730 lat, można z dużą dokładnością określić wiek skały zawierającej pierwiastek promieniotwórczy. Wiek względny skały w sensie określenia "skała młodsza lub starsza" określa się metodami paleontologicznymi. Bada się szczątki organizmów zwierząt i roślin zwane skamieniałościami przewodnimi. Niektóre ich gatunki występują w warstwach jednego wieku, co pozwala uszeregować chronologicznie poszczególne warstwy skalne. Podział wiekowy Ziemi opracowano na podstawie wieku określonego metodą paleontologiczną, skorygowanego badaniami radioaktywnymi. Dane liczbowe wskazują na ogrom czasu, jaki upłynął na ukształtowanie się aktualnego stanu Ziemi. W Polsce występują skały wszystkich okresów geologicznych. Stanowią one podłoże budowlane różnych obiektów, są wykorzystywane jako materiał budowlany i zawierają cenne surowce mineralne. Jednak utwory starsze występują bezpośrednio na powierzchni terenu w obszarach górskich. Na przeważającym obszarze Polski utwory starsze są przykryte płaszczem młodszych utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych [10].

Należy zaznaczyć, że utwory czwartorzędu poza rejonami górskimi pokrywają prawie całą powierzchnię Polski (80 %). Podłoże czwartorzędu w Polsce stanowią głównie utwory trzeciorzędu, głównie miocenu i pliocenu. We wschodniej części kraju, na obszarze lubelskim i białostocko – suwalskim oraz we wschodniej części Mazur oprócz trzeciorzędu występują w podłożu margle górnej kredy. Osady czwartorzędowe odznaczają się dużą zmiennością zarówno w profilu pionowym jak i rozmieszczeniu poziomym. Pod względem genezy można je podzielić na trzy grupy: osady akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej, osady akumulacji wodnej - rzeczne, jeziorne i bagienne oraz osady akumulacji eolicznej – lessy i piaski wydmowe.

1.4. Skład chemiczny skorupy ziemskiej (wg. Winogradowa [24]).

Wobec dostępu do bezpośrednich badań i pomiarów tylko utworów skorupy ziemskiej jej skład chemiczny (litosfery) został dobrze poznany. Przytoczone niżej wartości dotyczą 24 pierwiastków pospolitych.

Przeciętny skład litosfery.

Tabela 1.2.

Lp.	Pierwiastki pospolite	Procenty wagowe	Pierwiastki rzadsze	Rząd wielkości procentu wagowego
1	Tlen O	47,00	Nikiel Ni, Lantan Le, Miedź Cu, Neodym Nd, Lit Li	$5 \cdot 10^{-3}$
2	Krzem Si	29,50		
3	Glin Al	8,05	Niob Nb, Gal Ga, Azot N, Kobalt Co, Ołów Pb, Tor Th, Bor B, Skand Sc, Prazeodym Pr, Gadolin Gd, Samar Sm	10^{-3}
4	Żelazo Fe	4,65		
5	Wapń Ca	2,96		
6	Sód Na	2,50		
7	Potas K	2,50	Dydym Dy, Argon A, Beryl Be, Cez Cs, Iterb Yb, Erb Er, Uran U	$5 \cdot 10^{-4}$
8	Magnez Mg	1,87		
9	Tytan Ti	0,45		
10	Wodór H	0,145	Cyna Sn, Tantal Ta, Brom Br, Terb Tb, Arsen As, Holm Ho, German Ge, Wolfram W, Europ Eu, Molibden Mo, Hafn Hf, Tal Tl, Lutet Lu	10^{-4}
11	Mangan Mn	0,100		
12	Fosfor P	0,093		
13	Fluor F	0,066		
14	Bar Ba	0,065		
15	Siarka S	0,037		
16	Stront Sr	0,034	Antymon Sb, Jod J, Tul Tu, Ind Jn, Kadm Cd, Rteć Hg, Srebro Ag	10^{-5}
17	Węgiel C	0,023		
18	Chlor Cl	0,017		
19	Cyrkon Zr	0,017		
20	Rubid Rb	0,015	Selen Se, Pallad Pd, Ruten Ru, Bizmut Bi	10^{-6}
21	Wanad V	0,009		
22	Chrom Cr	0,008	Platyna Pt, Osm Os, Złoto Au, Rad Rh, Iryd Ir, Tellur Te, Ren Re	10^{-7}
23	Cynk Zn	0,008		
24	Cer Ce	0,007		
			Krótkotrwałe pierwiastki promieniotwórcze	$< 10^{-7}$

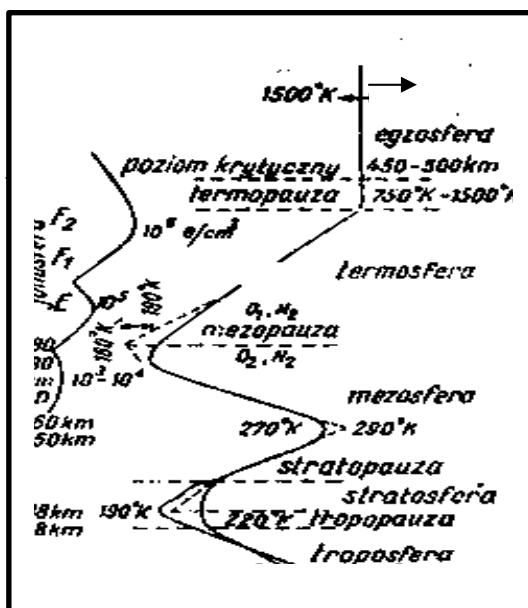
Powierzchnia Ziemi jest miejscem, gdzie stykają się ze sobą trzy sfery geochemiczne o różnym stanie skupienia: litosfera-stała, hydrosfera-płynna (ciekła), atmosfera-gazowa. Pomiedzy tymi sferami zachodzą ustawiczne reakcje geochemiczne i właśnie to graniczne środowisko umożliwia rozwój życia organicznego. Do procesów życiowych roślin, zwierząt i ludzi niezbędne jest współdziałanie geochemicznych składników wszystkich tych trzech sfer. Wszystkie istoty żywe potrzebują do życia wody z hydrosfery, pewnych mineralnych składników pobieranych z litosfery oraz tlenu i bezwodnika

węglowego z atmosfery. We współdziałaniu między tymi trzema sferami przebiegają ożywione reakcje wymienne. Charakteryzują osobliwe środowisko, które wyróżnia się nazwą biosfery, czyli sfery życia. Żyjące organizmy pobierają z otaczających sfer geochemicznych pierwiastki niezbędne do życia, i potrzebne do budowy komórek i tkanek. Pierwiastki te nazywamy biofilnymi. Należą do nich niemetalce: węgiel, wodór, tlen, azot, fosfor i siarka, niezbędne do budowy wszystkich żywych tkanek i do procesów przemiany materii. Pospolite pierwiastki metaliczne wapń, potas, sód, żelazo i magnez są też ważne dla życia. Pierwiastki śladowe (mikroelementy) występują w organizmach w znikomej ilości, ale są niezbędne do prawidłowego przebiegu pewnych skomplikowanych procesów życiowych. Brak mikroelementów w glebie lub w pożywieniu zakłóca normalny wzrost lub powoduje degenerację i choroby roślin, zwierząt i ludzi. Należą do nich Cu, Mn, J, B i Co i inne. Pierwiastki biofilne krążą dzięki procesom życiowym w biosferze i to powoduje ich szybki obieg w przyrodzie. Wiele z nich tylko przy współdziałaniu biosfery dochodzi do tak znacznego wzbogacenia, że tworzą złoża np.: węgla, fosforu i siarki – prawie wyłącznie pochodzenia organicznego; a wapnia, żelaza i jodu bardzo często [29].

2.0. Atmosfera ziemska.

2.1. Budowa atmosfery.

Atmosfera jest powłoką gazową otaczającą powierzchnię Ziemi i chroniącą ją przed wpływem z zewnątrz. Atmosferę tworzy mieszanina gazów. W mieszaninie tej występują składniki w stałym procencie oraz zmienne w czasie i rozkładzie przestrzennym domieszki. Skład atmosfery wyróżnia się dużą stałością, lecz stan gazu zależy również od parametrów jakimi są temperatura, ciśnienie i gęstość. Z tego względu wyróżniamy w atmosferze kilka odrębnych warstw, co przedstawia tabela 2.1. Podział atmosfery na warstwy został też przedstawiony w ujęciu graficznym na rysunku 2.1. Najważniejszym kryterium podziału były zmiany temperatury, w jednych następuje spadek, w innych wzrost temperatury ze zwiększaniem się wysokości powyżej powierzchni Ziemi.



Rys.2.1. Podział atmosfery na warstwy w ujęciu graficznym [29], wg. Prof. Passendorfera

Warstwy w atmosferze wykazują różne właściwości fizyczne. Troposfera jest warstwą przylegającą bezpośrednio do powierzchni Ziemi i wykazuje zmienną grubość zależnie od położenia geograficznego. Sięga ona do wysokości 8-10 km w rejonach polarnych i wznosi się do 18 km, nad równikiem. W średnich szerokościach geograficznych wysokość jej sięga od 10-13 km ponad powierzchnią Ziemi. Mimo, że w porównaniu do całej atmosfery jest bardzo cienka, zawiera w sobie $\frac{3}{4}$ całkowitej jej masy i jest głównym siedliskiem

czynników tworzących pogodę, chociaż wyjaśnienia niektórych faktów trzeba szukać w procesach zachodzących w wyższych warstwach. Charakterystyczne cechy troposfery to intensywna wymiana ciepła z powierzchnią globu, silne mieszanie mas powietrza w ruchach poziomych i pionowych, koncentracja całego niemal zasobu pary wodnej i towarzyszących przemian energii, spadek temperatury ku górze, oceniany średnio na $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Na granicy warstwy w tropopauzie najniższa temperatura przypada na równik, gdzie sięga ona od -70°C do -80°C tworząc pierścień chłodnego powietrza, gdy w średnich szerokościach temperatura wynosi -50°C . W troposferze występują chmury i odbywają się ruchy pionowe powietrza. Do zmiennych czynników troposfery oprócz temperatury należą też wiatry, zachmurzenie, opady i ciśnienie. Wszystkie te czynniki w całym zakresie ich zmienności tworzą klimat.

Decydujący wpływ na zmiany czynników klimatycznych wywiera energia promieniowania słonecznego. Stosunki klimatyczne ulegają w troposferze określonym zmianom, czego dowodem były okresy zlodowaceń. Ostatni z nich czwarty skończył się na ziemiach Polski około 20 tys. lat temu [8].

Między okresami zlodowaceń panowały okresy znacznego ocieplenia, zwane interglacjami. Nie brak poglądów, że obecna epoka jest też interglacją.

Stratosfera jest warstwą sięgającą do wysokości 25-50 km od powierzchni globu. Prądy pionowe w tej części słabną. Przebieg temperatury jest też odmienny. Z początku obserwujemy izotermię – temperatura wynosi -50°C na wysokości 25 km. Następnie temperatura wzrasta do 0°C wskutek obecności tam warstwy ozonu. Mimo małej koncentracji ozon pochłania duże ilości energii słonecznej w ultrafioletowej części widma, i chroni nas przed szkodliwym wpływem tego promieniowania. Ma to ogromne znaczenie dla życia organicznego na Ziemi. Warstwa przejściowa - stratopauza występuje na wysokości 50-55 km. Temperatura w niej wynosi 0°C do 10°C . Warstwa trójatomowego tlenu (ozon) jest charakterystyczna dla górnej części stratosfery i stratopauzy [8,29].

Mezosfera sięga od 55 km do 80 km wysokości. Rozpoczyna się w niej ponowny stały spadek temperatury wraz z wysokością, na wysokości 75–80 km temperatura wynosi -70°C do -80°C . Mezopauza rozciąga się na wysokości 80-85 km. Ponowna inwersja temperatury zaczyna się powyżej 80 km.

Termosfera jest warstwą sięgającą do wysokości 500 km; temperatura wzrasta w niej do 1500°C . Osobliwością tej warstwy jest zdolność do przewodzenia prądów elektrycznych (czasem już od wysokości 60 km), dzięki obecności zjonizowanych cząstek, dlatego górną część mezosfery i dolną część termosfery nazywamy jonosferą. Przewodnictwo elektryczne wiąże się z jonizacją atomów (odrywanie elektronów od jądra) pod wpływem promieniowania nadfioletowego Słońca, które na tej wysokości jest bardzo intensywne. Od jonosfery odbijają się fale radiowe. Tylko bardzo krótkie fale radiowe (od 1 cm – 15 m długości) przenikają przez jonosferę. W tym zakresie możliwe jest

sterowanie z Ziemi satelitami i w ogóle utrzymywanie kontaktu z przestrzenią kosmiczną. Jonosfera wywiera wpływ na pole magnetyczne Ziemi, a zarazem jest miejscem występowania zjawisk optycznych jak zorza polarna i świecenie nocnego nieba. Pod wpływem silnego działania promieniowania słonecznego na tej wysokości zachodzi dysocjacja cząsteczek tlenu (już od poziomu 90 km) i azotu (powyżej 220 km), w związku z czym ulega zmianie ciężar cząsteczkowy powietrza [29].

Protosfera sięga powyżej 500 km wysokości. Głównym składnikiem są protony. Egzosfera wyróżnia się bardzo małą gęstością materii; możliwe jest rozpraszanie się uchodzących z niej cząstek w przestrzeń międzyplanetarną. Przyjmujemy, że górna granica warstwy przypada na wysokości 2000 – 3000 km, przechodząc w przestrzeń kosmiczną przy koncentracji cząstek $1/\text{cm}^3$.

Istnieją poglądy, że atmosfera sięga na wysokość 10000 – 20000 km.

Jej temperaturę oszacowano na 1500-2000 K. Prawdopodobieństwo pokonania przez cząsteczki siły ciężkości i ucieczki zależy od ich ciężaru atomowego, najłatwiej rozpraszają się składniki najlżejsze jak wodór i hel. Przy wysokiej temperaturze egzosfery mogły one opuścić tę część atmosfery.

Magnetosfera to bardzo oddalone od Ziemi regiony, w których o stanie fizycznym ośrodka decyduje pole magnetyczne Ziemi. Pole to jest przyczyną wytwarzania się kilku specjalnych stref o kształcie pierścieni nad równikowym pasem globu. Strefy te są rezerwuarami naładowanych cząstek, które bez zderzeń krążą po spiralnych orbitach dookoła kuli ziemskiej. Noszą one miano radiacyjnych stref Van Allena, kolejno na wysokościach 1,5; 3 oraz 5 do 7 promieni ziemskich. Są one wypełnione cząstkami o rozmaitych energiach, najniższa strefa zawiera cząstki o największych wartościach energii. Strefy radiacyjne wzbogacają się w cząstki po wybuchach plazmy słonecznej, która w postaci chmur naładowanych cząstek, niosących własne zamrożone pole magnetyczne, wędruje ku Ziemi, a pustoszeją zaś, gdy wskutek zakłóceń i związanych z tym wahań pola magnetycznego Ziemi, uwięzione w strefach cząstki “wyciekają” u ich krańców w kierunku okolic biegunowych, powodując jednocześnie powstawanie zjawiska zorzy polarnej.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że ze wzrostem wysokości szybko maleją ciśnienie i gęstość atmosfery. Na wysokości 0 km (poziomu morza) ciśnienie wynosi 760 mm Hg, a gęstość 1190 g/cm^3 (kg/m^3), a już na wysokości 10 km odpowiednio 201 mm Hg i 420 g/cm^3 [29]. W jednostkach układu SI wynosi to odpowiednio 1013,0 hPa i 280 hPa.

Budowa atmosfery wg [14]

Tabela 2.1.

Warstwa główna, wysokość zalegania w km	Warstwa przejściowa	Dodatkowe warstwy	Cechy charakterystyczne
1) Troposfera Od 0 km do 6 km nad biegunem do 18 km. nad równikiem, w Polsce do 10 – 12 km.	Tropopauza 18-20 km	1) warstwa przypowierzchniowa o wysokości kilku mm. Brak piono- wych ruchów powietrza. 2) powierzchniowa warstwa turbulencyjna kilka m w nocy kilkadziesiąt m, w dzień. Silne pionowe ruchy atmosfery o charakterze turbulencji 3) Planetarna warstwa graniczna – do 100 m wysokości zimną nocą - inwersja temp., ciepło płynie od atmosfery do pow. Ziemi – do 2000 m w ciągu gorącego dnia silna turbulencja, ciepło płyne od pow. Ziemi do atmosfery.	Ciągła pionowa wymiana masy usuwająca trwale gazy cięższe od powietrza. Zjawisko obiegu wody, stały pionowy spadek temperatury ze wzrostem wysokości - średnio 0,65 °C na 100 m. Średnia roczna temperatura powietrza przy powierzchni Ziemi na równiku 27 °C, nad biegunem –23 °C. Na granicy troposfery i stratosfery temperatura powietrza wynosi nad równikiem –70°C, nad biegunem płn. – 45°C latem i - 65°C zimą. Pionowy gradient temperaturowy powietrza, zmienia się w czasie i przestrzeni od 0,004 K/m do 0,008 K/m. Troposfera zawiera 80 do blisko 90 % masy atmosfery. W 1 m ³ powietrza przy powierzchni Ziemi jest 2,7x10 ²⁵ cząsteczek gazu. Prawie cała masa wody atmosferycznej zawarta jest w troposferze (nieznaczne ilości wody są wyżej w stratosferze i odgrywają tam bardzo ważną rolę w procesach fotochemicznych). Całkowity ciężar atmosfery wynosi 5,27x10 ¹⁸ kG. Na powierzchni Ziemi 51x10 ¹⁴ m ² na poziomie morza wywiera atmosfera ciśnienie 10333 kG/m ² =1,0333 kG/cm ² czyli 1013,25 hPa lub 1013,25 mbar. Atmosfera zawiera około 13700 km ³ wody w postaci pary wodnej, jako ważnej domieszki, głównie zmagazynowanej w troposferze

3) Mezosfera od 55 km do 80 km wysokości			<p>Sięga do 80 km wysokości. Występuje stały spadek temperatury powietrza. Na 80 km wysokości osiąga minimalną wartość w całej atmosferze tj. -100°C. Występują pionowe ruchy powietrza wskutek pionowego spadku temperatury. W górnej części mezosfery występują chmury. Zbudowane z kryształków lodu, zwane obłokami świecącymi. W warstwie atmosfery od powierzchni Ziemi do górnej granicy mezosfery 80 km mieści się 99,999 % całej masy atmosfery. Z 1mln części atmosfery tylko 10 części jest ponad mezosferą czyli w termosferze.</p>
2) Stratosfera od 20 km do 50 – 55 km	Stratopauza od 50 do 55 km	<p>Ozonosfera na wysokości 25- 55 km. Ozon występuje w zakresie 10-50 km, przy maksimum koncentracji 23 km.</p>	<p>Część najniższa 20-25 km jest izotermiczna o bardzo niskiej temperaturze zwłaszcza latem nad równikiem (-50°C). Wzrost temperatury powyżej 25 km. Na poziomie 50-55 km temperatura 0°C i więcej. Brak pionowych ruchów mas powietrza wskutek wzrostu temperatury. Wzrost temperatur wynika z pochłaniania przez ozon promieniowania słonecznego w paśmie 200-300 nm i promieniowania ziemskiego w paśmie 9,7 μm. Jest to warstwa ozonosfery. Niewielka ilość pary wodnej tworzącej cienkie chmury na wysokości 20-25 km zbudowane z kropelek przechłodzonej wody, widoczne nocą-są to obłoki iryzujące. Łącznie w troposferze i stratosferze znajduje się 99,5 % masy całej atmosfery.</p>

4) Termosfera do 500 km wysokości		Jonosfera od 60 do 300km	<p>Wzrost temperatury z wysokością, przekraczającą wartość 1000 K.</p> <p>Wyróżniamy dwie podwarstwy. Jonosferę (z występującymi jonami) i egzosferę (warstwa zewnętrzna), w której gazy, zwłaszcza wodór uciekają z niej w przestrzeń kosmiczną. W jonosferze powietrze jest bardzo rozrzedzone. Na wysokości 100 km w 1m³ jest 10 mln razy mniej cząstek gazu, na 600 km. wysokości 10¹² razy mniej cząstek gazu niż przy powierzchni Ziemi. Promieniowanie krótkofalowe Słońca ($\lambda < 200$ nm.), powoduje jonizację cząsteczek i atomów gazów atmosferycznych. Przebiega tu tworzenie się elektronów i jonów dodatnich (zjonizowanych cząstek i atomów) oraz proces odwrotny – ich ponowne łączenie się. Strumień promieniowania ultrafioletowego ulega zmianie w ciągu dnia, w nocy nie istnieje. Jonizacja zależy od gęstości powietrza. Elektrony przemieszczają się ku górze, w dolnej części jonosfery pozostają jony dodatnie jako cięższe. W jonosferze wyróżniamy 3 warstwy:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Warstwa D na wysokości 60 – 90 km, złożona pierwotnie z dodatnich jonów NO⁺, O⁺₂, jonów ujemnych O⁻₂ i elektronów. Powstaje pod wpływem promieni ultrafioletowych o fali $\lambda=121,6$ nm i promieniowania X o fali $\lambda= 0,6$ nm. Jony ulegają kolejnym reakcjom z cząsteczkami obojętnymi i powstają „grona” jonów jak np. NO₃⁻ (H₂O) n, gdzie obojętne cząsteczki są doczepiane do jonów. Jest to złożony układ różnorodnych jonów. W dzień istnieje w niej równowaga fotochemiczna, w nocy przeważa proces rekombinacji i warstwa D częściowo lub całkowicie zanika. Przeciętnie temperatura powietrza wynosi 250 K. 2) Warstwa E. Powstaje w wyniku promieniowania ultrafioletowego o falach długości $\lambda < 102,6$ nm i $\lambda < 91,1$
-----------------------------------	--	--------------------------	---

4) Termosfera			<p>nm. Przeważają w niej jony cząsteczkowe NO^+ i O_2^+ oraz wolne elektrony. Występuje na wysokości około 110 km. W ciągu dnia znajduje się w równowadze fotochemicznej, w nocy przebiegają procesy mieszania i dyfuzji. Temperatura wynosi około 250 K.</p> <p>3) Warstwa F. Powstaje w wyniku działania promieniowania ultrafioletowego, o długości fali 10-80 nm. Przeważają w niej jony atomowe O^+, N^+. Dzieli się na dwie warstwy F1 i F2 występujące na wysokościach odpowiednio 170 i 300 km. Temperatury wynoszą 700 i 1500 K. W warstwie F2 występuje maksimum koncentracji elektronów, osiągając wartość $10^{12}/\text{m}^3$ – jest ono około 500 razy większe niż w warstwie D. W warstwach E i F brak jonów ujemnych. Tylko w warstwie D występują jony ujemne.</p>
5) Egzosfera górna granica sięga 3000 – 5000 km		Egzosfera	<p>Bardzo rozrzedzona warstwa atmosfery, gdzie średnia droga swobodna cząsteczek wynosi kilkadziesiąt km. Przy powierzchni ziemi wynosi ona 10^{-7}m ($0,1\mu\text{m}$). Cząsteczki praktycznie się nie zderzają, ale poruszają się po torach balistycznych w polu grawitacyjnym. W atmosferze ziemskiej do wysokości 100 km następuje efektywne mieszanie tak, że ta warstwa ma jednorodny skład chemiczny (pomijając domieszki) i nazywamy ją homosferą. Warstwa leżąca wyżej zwana heterosferą wykazuje przewagę procesów dyfuzji, a skład jej zmienia się wraz ze wzrostem wysokości (gazy o większym ciężarze cząsteczkowym zalegają niżej, a lżejsze gazy występują wyżej).</p>
6) Magneto-sfera powyżej 5000 km wysokości			

2.2. Bilans energii słonecznej.

Promieniowanie słoneczne kształtuje fizyczny stan atmosfery i stanowi główne źródło energii dla wszystkich procesów, i wyjściowy etap wszelkich przemian energii. Ocenę promieniowania określamy podając jego natężenie. Natężenie promieniowania jest to ilość energii padającej w jednostce czasu, na jednostkową, prostopadłą do promieni powierzchnię. Jednostką jest $J/cm^2/min$.

Promieniowanie słoneczne ulega w atmosferze różnym procesom, prowadzącym do jego osłabienia. Wyjściowe natężenie nazywa się stałą słoneczną i nie ulega ono mierzalnym wahaniom. Zmiany w natężeniu promieniowania Słońca przy powierzchni Ziemi zależą od kąta padania promieni na element płaszczyzny poziomej oraz od wzajemnego oddziaływania promieniowania i atmosfery. Promieniowanie słoneczne ulega w atmosferze rozpraszaniu i pochłanianiu. Atmosfera złożona z cząstek o różnej wielkości jest ośrodkiem niejednorodnym. Wiązka równoległych promieni biegnących od Słońca ulega rozproszeniu we wszystkich kierunkach. Cząsteczki gazów atmosfery rozpraszają fale krótkie, a więc fale niebieskie i fioletowe znacznie silniej niż długie – czerwone. Dlatego niebo w pogodny dzień ma barwę błękitu. Para wodna i CO_2 pochłaniają podczerwoną część widma. Około 34 % energii dostarczanej przez Słońce jest tracone wskutek rozproszenia i odbicia w przestrzeń zewnętrzną, 19 % kształtuje strukturę atmosfery i ulega w niej pochłonięciu, pozostałe 47 jednostek dociera do powierzchni globu, by uczestniczyć tam w różnorodnych procesach przemiany materii, łącznie z procesami geologicznymi, a w rezultacie ogrzewać tę powierzchniową warstwę. Łącznie 66 jednostek zostaje zaabsorbowanych i wypromieniowanych z powrotem w przestrzeń kosmiczną w postaci promieniowania długofalowego. Tych 66 jednostek daje impuls do powstania południkowej składowej cyrkulacji atmosfery, spełniającej rolę czynnika transportującego nadmiar energii z okolic równikowych ku biegunom [29].

Promieniowanie słoneczne, zamienione częściowo na energię cieplną, podwyższa temperaturę powierzchniowych warstw Ziemi, zarówno lądowych jak i wodnych, a także dolnych warstw troposfery. Dzięki temu istnieją na Ziemi warunki do życia. Energia ta decyduje zarówno o ruchach cząstek atmosfery, a więc i o procesach meteorologicznych, kształtujących pogodę i w ogóle warunki klimatyczne. Ilość energii promienistej docierającej do powierzchni Ziemi zależy od szerokości geograficznej i kulistości Ziemi. Najwyższe wartości promieniowania przypadają na niskie szerokości geograficzne, najniższe na wysokie szerokości geograficzne, gdzie kąt padania promieni słonecznych jest mały. Ziemia otrzymuje od Słońca energię, a z drugiej strony sama oddaje ciepło atmosferze. Energia promienista przekształcona w ciepło ulega pochłanianiu przez warstwę powierzchniową Ziemi. Różnica pomiędzy pochłanianiem energii (q_1), a jej wypromieniowaniem (q_2) określa bilans promieniowania. Bilans jest dodatni pomiędzy 30° stopniem

szerokości geograficznej północnej, a 30° szerokości południowej. W tej strefie ilość dopływającej energii przewyższa ilość energii wypromieniowanej ($q_1 > q_2$). W pobliżu 35° szerokości północnej i południowej bilans wyrównuje się, i jest to bilans zerowy ($q_1 = q_2$). Dla strefy powyżej 35° do 90° szerokości północnej i południowej bilans jest ujemny ($q_1 < q_2$). Różnice w ogrzewaniu powierzchni Ziemi zilustrują wartości q_1 .

Powierzchnia 1 cm² w ciągu jednej minuty otrzymuje ciepła:

- na równiku 0,339 cal,
- na 30° szerokości geograficznej – 0,297 cal,
- na 60° szerokości geograficznej – 0,193 cal,
- na biegunie – 0,140 cal.

W układzie SI 1 cal = 4,1868 J [16].

Bilans promieniowania decyduje o temperaturze powierzchni Ziemi. Średnia roczna temperatura powierzchni Ziemi wynosi 27 °C. Wahania na półkuli północnej sięgają od 46,5 °C (od –7,5 °C na biegunie do 39 °C na równiku), zaś na półkuli południowej 58°C (odpowiednio od –20 °C do 38 °C). Średnia temperatura powietrza mierzona 2 m nad powierzchnią Ziemi wynosi 14,1°C przy wahaniami: od –20,5 °C do 26 °C na półkuli północnej i od – 33 °C do 25 °C na półkuli południowej. Na wszystkich szerokościach geograficznych temperatura powierzchni wody jest wyższa od temperatury powietrza przeciętnie o 2,6 °C. Różnicę tę powoduje duże ciepło właściwe wody [8,29].

Na rozkład temperatur powietrza wpływa nie tylko promieniowanie słoneczne, ale też i ruchy powietrza, które działają wyrównująco. Bezpośrednią przyczyną ruchów powietrza są różnice ciśnień atmosferycznych. Duże zagęszczenie powietrza w strefach wysokiego ciśnienia prowadzi do przepływu mas powietrza w stronę stref niskiego ciśnienia. Z analizy średnich ciśnień wynika, że obszary wysokiego ciśnienia przypadają na 40° szerokości północnej i 30° szerokości południowej, a obszary niskiego ciśnienia na szerokościach 60°. Ogólnie ciśnienie spada od biegunów ku równikowi. Te ogólne różnice baryczne wywołują ogólnoziemską cyrkulację powietrza. Istnieje cyrkulacja pozioma (przypowierzchniowa), od wyżów barycznych do niżów i cyrkulacja pionowa: wznoszenie się ciepłego powietrza nad równikiem (o mniejszej gęstości) i opadanie nad zwrotnikami i biegunami (zimnego o wyższej gęstości) [4,29].

W wyższych warstwach troposfery cyrkulacja pozioma wykazuje przeciwny kierunek niż w niskich. Ruch obrotowy Ziemi wywiera też wpływ na kierunki ruchów powietrza. Odchyła on ruchy powietrza na półkuli północnej na prawo, a na półkuli południowej na lewo [29].

Jedynie w strefie przyrównikowej wiatry wieją w kierunkach wynikających wyłącznie z różnicy ciśnień. W strefie międzyzwrotnikowej wyróżniamy stałe ruchy powietrza: pasaty (wiatry dolne) i antypasaty (wiatry górne), które decydują o znacznej stałości pogody w tym rejonie [8]. W strefie Oceanu

Indyjskiego i Pacyfiku obserwujemy cyrkulację monsunową, o kierunkach wiatru zmieniających się zasadniczo w zależności od poru roku. Przyczyną monsunów są różnice ciśnień powietrza nad morzami i lądami. Monsuny występują też na średnich szerokościach geograficznych. Tam obserwuje się również inwazję ciepłego powietrza zwrotnikowego, oraz zimnego polarnego, jak i związaną z tym większą zmienność pogody. W Azji monsuny letnie przynoszą z nad morza wiatry z chmurami, z których powstają nieraz katastrofalne opady. Na ruchy powietrza wywiera również pewien wpływ ukształtowanie terenu jak też właściwości fizyczne dolnych warstw troposfery (tj. gęstość, temperatura i wilgotność powietrza, a ostatnio również stan jego zanieczyszczenia). Zjawiska meteorologiczne wywierają wielki wpływ na rozprzestrzenianie się czy koncentrowanie się zanieczyszczeń w atmosferze. Najważniejsze znaczenie ma prędkość i kierunek wiatrów. Od prędkości wiatru zależy stężenie zanieczyszczeń w rejonie jego źródła. Przy prędkości wiatru do 12 km/h istnieją warunki do koncentrowania się zanieczyszczenia wokół źródła emisji [8]. Przy większej szybkości wiatru zanieczyszczenia będą się rozprzestrzeniać ze zwiększoną prędkością na większym obszarze. Przy planowaniu budowy jakiegoś zakładu przemysłowego należy brać pod uwagę przeważające kierunki i szybkość wiatru lokalizując ten zakład. Określając kierunek wiatru mamy na uwadze skąd on wieje, wiatr zachodni oznacza, że wieje on z zachodu na wschód. Wiatry nawet silne mogą być przyczyną niebezpiecznej koncentracji zanieczyszczeń np. w rejonach górskich i podgórskich gdzie wiatry wiejąc wzdłuż dolin powodują ich koncentrację na krańcach. Wzgórza mogą hamować prądy powietrzne i utrudniać rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń, i powodować ich koncentrację w rejonie ich emisji. Zarówno wiatry, jak i temperatura mogą decydować o szybkim oczyszczeniu rejonu emisji zanieczyszczeń. Rozgrzane powietrze nad miastem czy innym ośrodkiem zanieczyszczeń wznosi się, a na jego miejsce napływa czyste powietrze z zewnątrz [8, 26].

2.3. Skład powietrza atmosferycznego.

Badane przy powierzchni Ziemi powietrze atmosferyczne jest mieszaniną gazów i składa się głównie z azotu, tlenu, argonu i innych składników, których udział nie przekracza dziesiątych części procenta (wodór, neon, krypton i inne). W wyższych częściach atmosfery następuje już rozdział grawitacyjny poszczególnych składników (najlżejszych). Poza stałymi składnikami, występują też inne składniki emitowane do atmosfery w wyniku działania samej przyrody lub wskutek gospodarczej i przemysłowej działalności człowieka. Te domieszki są zanieczyszczeniami powietrza. Składniki zanieczyszczenia powietrza mogą występować w 3 stanach skupienia, jak: gazy i pary, cząstki ciał stałych i cieczy. Udział tych składników jest zmienny w czasie i różny w różnych punktach atmosfery. Przekroczenie średnich

zawartości stałych składników powietrza jest uważane za jego zanieczyszczenie. Średni skład czystego powietrza atmosferycznego w odniesieniu do jego składników stałych podaje tabela 2.2. [26]

Średni skład powietrza atmosferycznego, wg [26]. Tabela 2.2.

Nazwa składnika		Udziały w ppm (1 część na milion części)	
		Objętościowo	Wagowo
Azot	N ₂	780 900,00	755 400,00
Tlen	O ₂	209 500,00	231 500,00
Argon	A	9 300,00	12 800,00
Dwutlenek węgla	CO ₂	300,00	460,00
Neon	Ne	28,00	12,50
Hel	He	5,20	0,72
Metan	CH ₄	2,20	1,20
Krypton	Kr	1,00	2,90
Podtlenek azotu	N ₂ O	1,00	1,50
Wodór	H ₂	0,50	0,03
Ksenon	Xe	0,08	0,36

Z tabeli 2.2. wynika, że procentowa zawartość azotu wynosi 78,09 % obj., a tlenu 20,95 % obj., argonu 0,93 % obj., CO₂ 0,03 % obj.

2.4. Zanieczyszczenie powietrza.

2.4.1. Ogólna charakterystyka zanieczyszczeń powietrza.

Jakościowo składniki zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego mogą występować wg stanu skupienia jako gazy i pary, do których należą: aldehydy, amoniak, związki arsenu, tlenki węgla, węglowodory lotne alifatyczne i aromatyczne, chlorowodór, fluorowodór, siarkowodór, tlenki siarki i azotu, kwasy, zasady organiczne, ozon. Jako cząstki ciał stałych i cieczy spotykamy: popiół lotny zawierający tlenki metali, siarczany, chlorki, węglany, azotany, krzemiany itp., węgiel, kwas siarkowy, substancje smołowe zawierające wodór, węglowodory aromatyczne wielopierścieniowe, fenole itp.. Ilość rodzajów zanieczyszczeń w powietrzu jest duża, a ich szkodliwość zależy od wielu czynników jak: właściwości chemiczno-toksyczne, stan skupienia, stopień dyspersji, stężenie i czas oddziaływania, stan pogody itp. [22,26].

Według pochodzenia dzielimy zanieczyszczenia na:

- a) gazy odlotowe i pyły odprowadzane do atmosfery, jako produkty spalania paliwa w zakładach energetycznych (elektrownie ciepłe i elektrociepłownie) i w gospodarstwach domowych,
- b) gazy i pyły odprowadzane do atmosfery w zakładach produkcyjnych podczas różnych procesów technologicznych,
- c) gazy i pyły powstające podczas eksploatacji pojazdów samochodowych,

- d) zanieczyszczenia powietrza wywołane obecnością drobnych ciał biologicznych i mikroorganizmów,
- e) zanieczyszczenia fizyczne jak hałas, wibracje, termiczne i promieniowanie jonizujące.

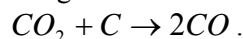
Ciecze tworzące zanieczyszczenie chemiczne i biologiczne w powietrzu występują w postaci pary lub mgły. Warunkiem utrzymania się ciał stałych i cieczy w powietrzu jest odpowiedni stopień rozproszenia (dyspersji), przy czym czynnikiem dyspersyjnym jest powietrze [26].

Gdy cząstki fazy rozproszonej mają wymiary do 0,1nm nazywamy układy takie aerozolami, gdy są większe to suspensoidami (zawieszonymi). Zależnie od wielkości utrzymują się długo w powietrzu lub opadają. Pyły są istotnymi wskaźnikami zanieczyszczenia powietrza. Ich stężenie i ilość, która opadnie na Ziemię w określonym czasie decyduje o zanieczyszczeniu powietrza. Dotychczas zidentyfikowano w powietrzu ponad 100 substancji i związków pochodzących z rozmaitych źródeł zanieczyszczenia. Niektóre z nich wchodzi ze sobą w reakcje chemiczne (głównie pod wpływem promieniowania słonecznego) i tworzą wtórne zanieczyszczenia o mniejszej lub większej szkodliwości, niż zanieczyszczenia pierwotne. Zaliczamy do nich tzw. utleniacze, a ściślej układy redox, które powstają wtórnie na skutek reakcji fotochemicznych. Zaliczamy do nich ozon (O_3), dwutlenek azotu, formaldehyd, akroleinę i najważniejszy – azotan nadtlenu acetylu (ang. PAN- peroxy acetyl nitrate), działający drażniąco na błony śluzowe oka. Odory są tworzone przez niektóre substancje chemiczne o nieprzyjemnym zapachu, niezależnie od tego czy są toksyczne czy nie, i wywołują złe samopoczucie [26].

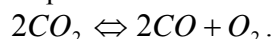
2.4.2. Zanieczyszczenia z procesów spalania paliw energetycznych.

Spalanie paliw stałych, ciekłych lub gazowych powoduje odprowadzanie do atmosfery związków chemicznych szkodliwych dla otoczenia. Jako paliwa energetyczne stosowane są w Polsce: węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny. Energia jądrowa jest szerzej wykorzystywana w innych krajach np. we Francji 75,7 % energii elektrycznej wytwarzają elektrownie atomowe. Paliwa stałe, oprócz głównych składników jak węgiel, wodór i siarka, zawierają też niepalne składniki mineralne. Tworzą one żużel lub pyły w czasie spalania. Mogą one ulegać dalszemu mechanicznemu rozdrobieniu tworząc pyły dyspersyjne o rozdrobieniu koloidalnym. Wskutek wysokich temperatur w procesie spalania mineralne składniki częściowo odparowują i potem sublimują. Produkty tych przemian są unoszone z gazem spalinowym i po obniżeniu temperatury kondensują, tworząc pyły koloidalne. Kondensacyjny charakter mają też sadze (cząstki węgla), które powstają wskutek rozpadu cząstek węglowodorów zawartych w paliwach stałych i ciekłych. Ilość i charakterystyka pyłów w czasie spalania paliwa ciekłego zależy od rodzaju paliwa i warunków spalania. Pyły i sadze

zawierają różne substancje chemiczne, m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) jak: benzopiren, benzoperylen oraz metale ciężkie jak: beryl, ołów, cynk i inne. Beryl i WWA wykazują silne własności rakotwórcze. Elektrownie ciepłownicze spalając węgiel o zawartości popiołu około 15 % emitują pyły w ilości ok. 12 g/kg paliwa. W paleniskach domowych ilość pyłu wynosi 33 g/kg paliwa [26]. Spalanie paliw energetycznych dostarcza gazów i par do atmosfery. Przy całkowitym spalaniu węgiel z paliwa ulega utlenianiu do CO₂, przy niepełnym spalaniu powstaje toksyczny CO. Przy przepływie przez wysokie warstwy gorącego węgla wytworzony początkowo CO₂ może ulegać redukcji do CO wg schematu:



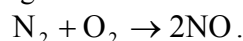
W wysokich temperaturach zachodzi też dysocjacja termiczna:



W paleniskach przemysłowych wskutek stosowania dmuchaw ulega spalaniu na CO₂ ponad 98 % węgla z paliwa. Przy spalaniu paliw stałych i ciekłych głównym składnikiem zanieczyszczenia powietrza jest SO₂. Siarka w paliwie występuje w postaci związków organicznych i nieorganicznych (piryt FeS₂), i przy spalaniu powstaje SO₂ z domieszką SO₃.

Część siarki nieorganicznej z paliwa jest wiązana w żużlu i pyłe. W Polsce występuje siarka w ilości 1 % w węglu kamiennym, co przy rocznym spalaniu 100 mln ton węgla spowoduje emisję 2 mln ton SO₂ do atmosfery.

Spalanie paliw w wysokich temperaturach (>1500°C) powoduje tworzenie się tlenku azotu wg schematu:



Powstanie tlenków azotu zależy od temperatury i stosunku N₂ : O₂ w gazie, w którym przebiega reakcja. Zmniejszenie współczynnika nadmiaru powietrza powoduje obniżenie emisji NO. Szacunkowo w Polsce w 1970 roku emisja NO_x przy spalaniu paliw wyniosła 10⁶ ton/rok. Przy wykorzystaniu pyłu węglowego w paleniskach przemysłowych zawarte w spalinach tlenki azotu pochodzą w około 75 % z azotu zawartego w paliwie, a 25 % pochodzi z reakcji N₂ i O₂ jako składników powietrza [26].

2.4.3. Zanieczyszczenie powietrza przez zakłady przemysłowe.

Zanieczyszczenia te są uzależnione od ilości spalanego węgla dla celów przemysłowych, rodzaju przemysłu i stosowanej w zakładach technologii. Zakłady pracujące wg starych technologii wytwarzają szczególnie dużo zanieczyszczeń.

a) Przemysł materiałów budowlanych.

Główne zanieczyszczenia stanowią pyły. Pochodzą one głównie z przemysłu cementowego i wapienniczego. Procesy kruszenia, mielenia i transportu to główne źródła zapylenia. Dalszymi źródłami są suszarki, piece cementowe i

młyny. Przy prawidłowej produkcji cementu emisja pyłu cementowego powinna wynosić 1 %. Około 80 % emisji pyłów pochodzi z kominów pieców cementowych.

b) Przemysł metalurgiczny.

Niezależnie od rodzaju wytwarzanego metalu istnieje wiele wspólnych procesów, jak: przygotowanie rud metalu, transport, kruszenie, mielenie i prażenie. Wszystkie te procesy powodują zapylenie powietrza. Przy procesach metalurgicznych wytwarzają się ogromne ilości odpadów. Przy produkcji 1 tony metalu wytwarza się 3 – 6 ton odpadów [26].

Koksownie węgla są bardzo uciążliwym źródłem zanieczyszczenia powietrza. Pyły i gazy przy wypychaniu koksu z komór zagrażają zdrowiu personelu i okolicznych mieszkańców. Spiekalnie, wielkie piece i piece elektryczne emitują toksyczne składniki, jak CO i SO₂. W hutach miedzi z rud siarczkowych CuS w piecach prażalniczych emitowane są pyły, SO₂ i SO₃.

Produkcji glinu towarzyszą pyły i gazy: CO₂, SO₂ i HF. Fluorki sodu, wapnia i glinu są stosowane jako topniki w metalurgii. W toku produkcji następuje uwalnianie się fluoru i jego emisja do atmosfery. Przemysł metalurgiczny, oprócz gazów takich, jak: CO, SO₂, F emituje też pyły zawierające metale ciężkie jak: Pb, Cu, Fe, Zn i Cd oraz węglowodory aromatyczne (koksownie), działające szkodliwie na zdrowie pracowników i mieszkańców ośrodków wysoko uprzemysłowionych.

c) Przemysł chemiczny.

Fabryki kwasu siarkowego emitują SO₂ oraz mgły kwasu siarkowego. Również przemysł celulozowy i petrochemiczny emitują SO₂. Związki fluoru emitują też do atmosfery fabryki nawozów fosforowych, huty szkła i wytwórnie emalii. Roczna emisja fluoru w Polsce wynosi około 17 000 ton. Przemysł produkcji kwasu azotowego, produkcji barwników azowych, materiałów wybuchowych i nawozów sztucznych emitują duże ilości tlenków azotu. Część tlenków azotu w atmosferze powstaje podczas wyładowań atmosferycznych. Przemysł włókien sztucznych, zwłaszcza wiskozowych emituje toksyczne gazy, jak: SO₂, H₂S i CS₂, H₂S i CS₂ są silnie toksyczne. Mogą powodować trwałe uszkodzenie układu nerwowego [26,44]. H₂S w powietrzu może pochodzić też z oczyszczalni ścieków. Wtedy towarzyszą mu substancje, takie jak: merkaptany (tiole), tioetery (CH₃ – S – CH₃) i dwusiarczki. Są to substancje odorowe, działające nieprzyjemnie na powonienie.

Jako najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) H₂S w powietrzu przyjmuje się koncentrację 30 min. (Sd30 = 0,06 mg/m³) i dopuszczalne 24 godz. (Sd24 = 0,02 mg/m³ powietrza). W przemyśle tworzyw sztucznych szkodliwe dla zdrowia są monomery (np. pary styrenu). Jednorazowe średnie stężenie w ciągu 2 min. wynosi dla par styrenu 0,02 mg/m³ powietrza.

d) Przemysł skórzany.

Rozpuszczalniki organiczne wchodzące w skład klejów obuwniczych mogą zanieczyszczać powietrze. Rozpuszczalnikami do klejów są estry, chlorowane węglowodory alifatyczne, benzen, toluen, cykloheksan itp..

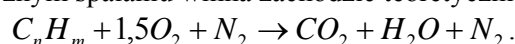
Niebezpieczeństwo może stanowić siarczek sodowy (Na_2S), który jest stosowany do odwłoszenia skór, i jest potem składnikiem ścieków, a w przypadku awarii lub zakwaszenia ścieków ulega rozkładowi do H_2S , a ten stanowi zanieczyszczenie powietrza [26,44].

2.4.4. Zanieczyszczenie powietrza przez pojazdy mechaniczne.

Pojazdy mechaniczne są napędzane głównie silnikami spalinowymi. Duża liczba samochodów w ruchu jest głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza w dużych miastach. W silniku spalinowym spalanie węglowodorów można przedstawić w uproszczeniu:

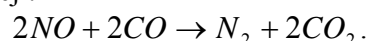


Przy stechiometrycznym spalaniu winna zachodzić teoretycznie reakcja:



W rzeczywistości wskutek niepełnego spalania i reakcji w wysokich temperaturach silnik spalinowy emituje też CO , NO_2 , węglowodory, wodór, tlen, SO_2 , aldehydy i pyły (głównie sadzę) oraz związki ołowiu. Maksymalną moc uzyskuje silnik przy współczynniku nadmiaru powietrza równym 0,9. Jest to niekorzystne ze względu na emisję zanieczyszczeń. Przy współczynniku nadmiaru powietrza 1,1 maleje w gazach spalinowych ilość węglowodorów, CO i NO_x , ale spada moc silnika.

Silniki wysokoprężne (Diesla) emitują mniejsze ilości zanieczyszczeń niż silniki benzynowe. W czasie biegu jałowego silniki wydzielają więcej szkodliwych składników niż w czasie pracy (jazdy). Dla zmniejszenia ilości zanieczyszczeń stosuje się katalizatory powodujące dopalanie spalin. Związki ołowiu jako dodatki antydetonacyjne do benzyny, zmniejszają sprawność stosowanych katalizatorów. Klasyczne katalizatory ograniczają tylko emisję CO i C_nH_m nie zmniejszając emisji tlenków azotu, dlatego celem jest doprowadzenie do reakcji:



Zapewniają tę reakcję katalizatory miedziowo – chromowe lub katalizatory warstwowe złożone z warstw niklu i platyny na tlenku glinu. Efektywność ich spada, gdy spaliny zawierają związki ołowiu i pyły. Spaliny silników benzynowych zawierają ołów pochodzący z termicznego rozkładu czteroetylołowiu. Pojazdy samochodowe w wyniku spalania wytwarzają pyły oraz powodują dodatkowo wzrost zapylenia przez pyły poderwane powtórnie z jezdni. Ponadto powstają pyły wskutek ścierania się opon i klocków hamulcowych, w których stosowano domieszkę azbestu. Szkodliwą formą zapylenia dla organizmu ludzkiego jest pył zawieszony, o wielkości cząstek do

7 μm . Toksyycznym składnikiem pyłu zawieszonego jest 3,4 benzopiren (WWA), przyjęty jako wskaźnik substancji rakotwórczych w powietrzu [26]. Jego ilość nie powinna przekraczać 15 mg/m^3 powietrza. Zawartość zanieczyszczeń w powietrzu miast jest zmienna w czasie i proporcjonalna do zmian natężenia ruchu pojazdów. W nocy zanieczyszczenia są dużo mniejsze niż w ciągu dnia. Zanieczyszczenia w mieście są zależne od rodzaju zabudowy, szerokości jezdni i warunków przewietrzania ulic. Przy prędkości wiatru ponad 4 m/s następuje przewietrzanie ulic [26].

2.4.5. Zanieczyszczenie biologiczne powietrza.

W powietrzu spotykamy drobne ciała biologiczne i mikroorganizmy, takie jak: nasiona, igielki, pyłki roślin, spory pleśni, drożdży, bakterii, wirusów, jajeczek owadów i cyst pierwotniaków. Mogą też występować aerozole bakteryjne z urządzeń sanitarnych, z oczyszczalni ścieków itp. Mogą one być przenoszone przez wiatr, prądy powietrza i mieć długi okres życia. Aerozole są szkodliwe dla człowieka, szczególnie dla dróg oddechowych. Pyłki roślinne i niektóre substancje chemiczne mogą wywołać schorzenia alergiczne u ludzi [26,44].

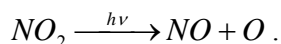
2.5. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko.

2.5.1. Przemiany zanieczyszczeń w atmosferze.

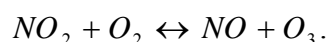
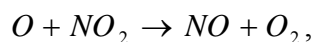
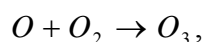
Zanieczyszczenia ulegają rozprzestrzenianiu się zależnie od ruchu mas powietrza, zwłaszcza prędkości i kierunku wiatru, pionowego gradientu temperatury i mieszania się przyziemnej warstwy atmosfery. Opady atmosferyczne zwłaszcza krople deszczu zmniejszają zapylenie. Niektóre zanieczyszczenia mogą ulegać unieszkodliwieniu. Powstały z utlenienia SO_2 kwas siarkowy reagując z pyłami CaO i MgO tworzy nietoksyczne siarczany Ca i Mg . CO utleniany jest do CO_2 lub reaguje z wodą dając CO_2 i H_2 . Ozon też utlenia CO do CO_2 . CO może być sorbowany przez glebę, gdzie w obecności wody, organizmy beztlenowe redukują go do metanu CH_4 , zaś bakterie tlenowe zawarte w glebie utleniają go do CO_2 . Pod wpływem zjawisk fizyczno – chemicznych ilość zanieczyszczeń w powietrzu zmienia się w czasie, stężenie ich maleje, następuje samooczyszczanie się atmosfery.

Zanieczyszczenia w atmosferze ulegają też przemianom fizycznym i chemicznym, w wyniku których powstają nowe związki bardziej toksyczne od związków wyjściowych. Mimo obecności kilku tlenków azotu w powietrzu tylko tlenek azotowy (NO) i dwutlenek azotu (NO_2) odgrywają istotną rolę w atmosferze. NO powstający przy spalaniu paliw kopalnych jest utleniany do bardziej toksycznego NO_2 , a ten utleniany do N_2O_5 , który w obecności pary wodnej tworzy kwas azotowy HNO_3 .

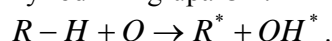
Reakcje fotochemiczne tlenków azotu w atmosferze można przedstawić:



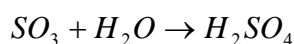
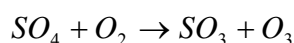
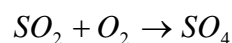
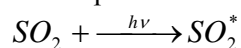
Dwutlenek azotu absorbuje światło słoneczne, o długości fali 3000 – 4000 \AA ($1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$), następuje rozerwanie jednego z wiązań w cząsteczce tlenu. Uwolniony atom tlenu reaguje z cząsteczką tlenu tworząc ozon lub z cząsteczką NO_2 .



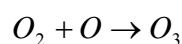
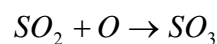
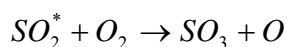
Z przebiegu ostatniej reakcji odwracalnej wynika, że ozon O_3 będzie się wytwarzał aż do zaniku NO_2 w atmosferze. Gdy w atmosferze są obecne węglowodory i SO_2 następuje reakcja wytworzonego atomu tlenu z cząsteczką organiczną, i powstaje wolny rodnik i grupa OH.



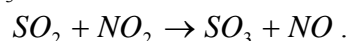
SO_2 ulega w atmosferze utlenianiu w procesie fotochemicznym i katalicznym. W reakcji fotochemicznej z mieszaniny SO_2 i O_2 , pod działaniem fali 3,130 \AA następuje rozkład SO_2 . Przy wysokim stężeniu O_2 w porównaniu do SO_2 powstaje ozon i SO_3 . Reakcje można przedstawić następująco:



Inne wyjaśnienie reakcji polega na tworzeniu się jedno-atomowego tlenu z reakcji wzbudzonego SO_2^* :



Katalicznie działają V_2O_5 i Fe_2O_3 obecne w atmosferze na utlenienie SO_2 do SO_3 . W obecności NO_2 i NO dwutlenek siarki ulega reakcji fotolizy ze stałą szybkością i powstaje SO_3 .

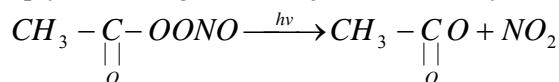


Reakcje SO_2 z węglowodorami dają związki o nieprzyjemnym zapachu i toksycznym działaniu. Przy obecności pary wodnej w atmosferze i NO_2 powstaje kwas siarkowy H_2SO_4 . Kwas siarkowy w powietrzu tworzy mgłę rozpraszającą światło, a w mieszaninie z węglowodorami nienasyconymi wytwarzają się duże ilości aerozolu [26].

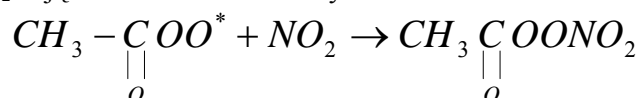
Najważniejsze związki powstają w reakcji fotochemicznej tlenków azotu z węglowodorami. NO_2 ma większy współczynnik absorpcji światła słonecznego, zaś węglowodory absorbując fale świetlne tworzą wolne rodniki. Węglowodory

nienasycone i aldehydy znajdują się w powietrzu wskutek niecałkowitego spalania paliw w silnikach spalinowych. Węglowodory nienasycone ulegają utlenieniu i powstają ketony i aldehydy. Te zaś absorbując fotony dają wolne rodniki. Wolne rodniki reagują z tlenem z powietrza tworząc nadtlutki, w przypadku ketonu powstaje nadtlutek acetylu $CH_3 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}OO$.

Ten ostatni reaguje z tlenkiem azotu dając azotyn nadtlutku acetylu, który rozpada się pod wpływem energii świetlnej na tlenek acetylu i NO_2 .



W dalszej reakcji rodników z tlenem wytwarza się ozon i rodniki, które w reakcji z NO_2 dają azotan nadtlutku acetylu:



Azotan nadtlutku acetylu (ang. PAN – peroxy acetyl nitrate) jest związkiem toksycznym, i silnie podrażnia oczy i skórę. Jest on głównym składnikiem tzw. smogu utleniającego. Obok PAN występuje jeszcze w mniejszych ilościach z rodnikiem C_2H_5 – azotan nadtlutku propionylu (PPN) oraz z rodnikami wyższymi, które są kilkakrotnie bardziej toksyczne od PAN. Istnieje związek pomiędzy wzrostem utleniaczy w powietrzu atmosferycznym ($500 \mu/m^3$), a nasileniem częstości ataków astmy i schorzeniami układu oddechowego.

2.5.2. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na ludzi i zwierzęta.

Określenie wpływu zanieczyszczeń powietrza na organizmy ludzkie jest złożone i zależy od wielu czynników, jak: wiek, warunki bytowo – mieszkaniowe, charakter pracy zawodowej, indywidualna odporność, warunki klimatyczne, biometeorologiczne itp. Zależnie od skutków, jakie powoduje przebywanie w nim ustalono cztery kategorie jakości powietrza [26]:

Kategoria I – powietrze, w którym nie występują zanieczyszczenia w stężeniach powodujących jakkolwiek szkodliwość lub uciążliwość dla człowieka w dowolnym okresie czasu.

Kategoria II – powietrze, w którym stężenie zanieczyszczeń powoduje w określonym czasie podrażnienie organów sensorycznych, ograniczenie widoczności, szkodliwy wpływ na roślinność i inne niekorzystne oddziaływania na otoczenie.

Kategoria III – powietrze, w którym zanieczyszczenia występują w stężeniach mogących zakłócić ważne funkcje życiowe organizmu lub powodować schorzenia.

Kategoria IV – powietrze, w którym stężenie zanieczyszczeń może powodować w określonym czasie chorobę lub nawet śmierć.

Najważniejszym parametrem w ocenie czystości powietrza jest ustalenie maksymalnych dopuszczalnych stężeń (MDS) poszczególnych substancji. Ustala się je eksperymentalnie na zwierzętach laboratoryjnych i w ograniczonym zakresie na ludziach [26]. Z ludźmi używa się substancji o znanych własnościach toksycznych i przy zastosowaniu takich stężeń, które nie spowodują nieodwracalnych zmian w organizmie. Jako wymierne wskaźniki przyjmuje się np. czas reakcji oka ludzkiego, zapach, pieczenie, podrażnienie oczu i skóry. Badania na zwierzętach polegają na wyznaczeniu stężeń, które powodują wyraźne zmiany chorobowe lub śmierć. Wyniki te ekstrapoluje się według współczynników przeliczeniowych i wyznacza stąd stężenia toksyczne dla ludzi. Badania te dotyczą jednego składnika zanieczyszczenia powietrza. W powietrzu występuje jednocześnie kilka zanieczyszczeń, które działając synergicznie wywołują szkodliwe skutki nawet przy ilościach zanieczyszczeń mniejszych od stężeń dopuszczalnych. Ponadto prowadzone są badania statystyczne występowania chorób lub skażeń w terenie o określonym zanieczyszczeniu powietrza [26].

W oparciu o te badania można opisać oddziaływanie typowych zanieczyszczeń powietrza na organizm ludzki. Tlenek węgla CO jest drugą co do szkodliwości po cyjanowodorze substancją toksyczną pod względem skutków toksycznego oddziaływania. Jest absorbowany przez organizm wyłącznie przez płuca stąd przenika do krwi i tworzy z hemoglobina addycyjny związek – karboksyhemoglobine; blokując miejsca w cząsteczce hemoglobiny, które służą do transportu tlenu przez krew. Jest gazem bezbarwnym, bez smaku i zapachu, o względnym ciężarze właściwym 0,97 tzn. jest nieco lżejszy od powietrza. Ciężar cząsteczkowy 28, jego gęstość w warunkach normalnych wynosi 1,25 kg/m³ i trudno rozpuszcza się w wodzie – w temperaturze 0°C rozpuszcza się w wodzie 3,3 % CO. Jest gazem wybuchowym w granicach stężeń 12,5 % - 75 %. Największa siła wybuchu następuje przy koncentracji 30 %. Temperatura zapłonu wynosi 630 – 810 °C. Hemoglobina ma 250 do 300 razy większe powinowactwo z tlenkiem węgla niż z tlenem. Powoduje on obniżenie zawartości oksyhemoglobiny i traci ona zdolność przenoszenia tlenu z płuc do tkanek. Następuje niedotlenienie tkanek, a przede wszystkim morfologiczne zmiany w mózgu i mięśni sercowym. Krew człowieka może wchłonać do 300 cm³ CO. Stopień zatrucia organizmu jest uwarunkowany ilością hemoglobiny związanej z CO, co zależy od jego stężenia w powietrzu i czasu działania [28,44]. Człowiek zatruty CO ma barwę twarzy wiśniową lub siną. Przepisy w kopalniach głębinowych nie zezwalają na przebywanie ludzi w atmosferze zawierającej więcej niż 0,002 % tlenu węgla.

Przyjmuje się, że zawartość 50 ppm (58 mg/m³) jest groźna dla ludzi,

a stężenie około 15 mg/m^3 (14 ppm) może spowodować wzrost śmiertelności w przypadku schorzeń serca [28, 44].

Dwutlenek siarki SO_2 jest gazem bezbarwnym o bardzo silnym drażniącym zapachu i kwaśnym smaku. Jego względny ciężar właściwy wynosi 1,489, ciężar cząsteczkowy 64,07, a gęstość w warunkach normalnych $1,93 \text{ kg/m}^3$. W temperaturze 20°C w jednej objętości wody rozpuszcza się 40 objętości SO_2 tworząc kwas siarkawy H_2SO_3 . Jest wyczuwany przy stężeniu 0,0005 %. Przy stężeniu 0,0002 % silnie podrażnia błony śluzowe, zwłaszcza oczu. W zetknięciu z błonami śluzowymi dróg oddechowych tworzy kwas siarkawy, który niszczy tkankę. Zawartość jego w ilości 0,05 % jest niebezpieczna dla życia nawet wtedy gdy działa bardzo krótko. Dopuszczalna zawartość SO_2 w powietrzu wynosi 0,0007 % [28]. SO_2 powoduje szkodliwe skutki, głównie wskutek uszkodzenia dróg oddechowych; przy dłuższym działaniu i stężeniu około 14 mg/m^3 występują wyraźne objawy zaburzeń funkcji układu oddechowego u ludzi. W okręgach przemysłowych, przy dużym zapyleniu SO_2 nawet w mniejszych stężeniach powoduje statystycznie stwierdzony wzrost śmiertelności u osób ze schorzeniami płuc i serca. SO_2 wpływa na przemianę węglowodanową w organizmie ludzkim, na zmiany w poziomie cukru, syntezę glikogenu, na osłabienie przemiany białkowej, obniżenie ilości witaminy B i kwasu askorbinowego.

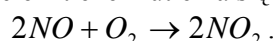
Dwusiarczek węgla CS_2 działa toksycznie na człowieka wskutek, rozpuszczania lipidów komórkowych, zwłaszcza bogatej w lipidy tkanki nerwowej co powoduje uszkodzenie układu nerwowego. Występuje chwiejność nastroju, niekiedy zaburzenia psychiczne. Charakterystycznym objawem zatrucia jest uszkodzenie nerwu wzrokowego, objawiające się widzeniem przez mgłę.

Siarkowodor H_2S jest trzecim gazem pod względem toksycznego oddziaływania na ludzi (po HCN i CO). Jest on gazem bezbarwnym, o słodkim smaku i charakterystycznym zapachu zgniłych jaj. Dzięki zapachowi odczuwamy jego obecność już przy stężeniu 0,0001 %. Względny ciężar właściwy H_2S wynosi 1,19 czyli jest cięższy od powietrza, ciężar cząsteczkowy 34,09, a gęstość w warunkach normalnych $1,52 \text{ kg/m}^3$. W temperaturze 0°C w jednej objętości wody rozpuszcza się 4,4 objętości gazu. Jest gazem palnym, pali się niebieskim płomieniem, a w granicach stężeń 4,3 – 46 % tworzy z powietrzem mieszaninę wybuchową. H_2S ogrzewany ulega dysocjacji termicznej i powstaje siarka (pył) i wodór. H_2S może uszkodzić zależnie od stężenia narządy węchowe. Działa toksycznie po przeniknięciu do krwi na układ nerwowy wywołując ogólne zatrucie. Jego duże stężenie uszkadza nerwy, działa na enzymy oddechowe porażając ośrodek oddechowy i doprowadza do śmierci. Przede wszystkim działa na błony śluzowe powodując nieżyt nosa, łzawienie oczu, bóle i zawroty głowy, nudności i wymioty. Konsekwencje dla zdrowia i życia zależnie od stężenia H_2S są następujące [28, 44]:

- 0,01 – 0,015 % - po kilku godzinach oddychania pojawiają się u człowieka oznaki słabego zatrucia,
- 0,02 % – po 5 – 8 min następuje silne podrażnienie oczu i gardła,
- 0,05 % - nie następuje śmierć, ale jest to graniczna zawartość nie grożąca jeszcze utratą życia,
- 0,1 – 0,15 % - śmierć następuje bardzo szybko [28,44].

Przy stężeniu 5 000 ppm (0,5 %) po dwóch do trzech oddechach człowiek traci przytomność - następuje zablokowanie oddychania. Dopuszczalna zawartość H₂S w powietrzu wynosi 0,0007 %, co w przybliżeniu odpowiada 10 mg/m³ powietrza [28].

Tlenki azotu występują w powietrzu głównie jako NO i NO₂. Tlenek azotu jest gazem bezbarwnym, o gęstości 1,34 kg/m³ ostro atakującym błony śluzowe, zwłaszcza oczu. W kontakcie z tlenem utlenia się do NO₂:



W powietrzu małe stężenia NO nie powodują uchwytanych, szkodliwych skutków w organizmie ludzkim. Dwutlenek azotu NO₂ jest brunatno-czerwony, ostro pachnący i ma gęstość 2,041 kg/m³. Toksycznie działa na człowieka. Nadzwyczaj silnie podrażnia błony śluzowe oczu, nosa, ust oraz płuca, pobudza do wymiotów, powodując ból głowy i kaszel, a nawet zapalenie płuc i śmierć. Stężenie NO₂ około 190 mg/m³ jest śmiertelne dla większości zwierząt doświadczalnych. Powoduje zmiany w pęcherzykach płucnych. Charakterystyczną cechą zatrucia tlenkami azotu jest wystąpienie żółtego zabarwienia skóry i włosów, zsinienie warg i końca nosa, oraz podwyższona temperatura ciała. Patologiczne działanie tlenków azotu na płuca przejawia się dopiero po upływie pewnego czasu. Podczas oddychania występują tylko kaszel i podrażnienie błon śluzowych, a brak groźniejszych objawów. Przy silnym zatruciu śmierć następuje po 20 – 30 godzinach [28].

Największa bezpieczna zawartość tlenków azotu wynosi 0,004 %. Przy stężeniu 0,02 do 0,08 % śmierć następuje po bardzo krótkim czasie. Przy stężeniach 0,01 – 0,02 % istnieje duże niebezpieczeństwo dla życia. Dopuszczalna normami [28] zawartość tlenków azotu w powietrzu wynosi 0,00025 %. Osobom, które uległy zatruciu tlenkami azotu nie wolno wykonywać sztucznego oddychania [28]. Ozon O₃ wpływa głównie na układ oddechowy. Stężenie około 6 mg/m³ (3 ppm) powoduje u zwierząt doświadczalnych krwotoki, zmiany w płucach i w wątrobie, i w obrazie morfologicznym krwi, co prowadzi w większości przypadków do śmierci.

Fluor i jego związki w powietrzu mogą wywoływać symptomy fluorozy u zwierząt i ludzi. Są one związane ze zmianami w gospodarce wapniem i jodem. Powstają zgrubienia i guzy na kościach, i zachodzą zmiany w zębach. W okolicy Konina, po uruchomieniu huty aluminium emitującej F, z powodu fluorozy ginęły konie i krowy, a całkowicie pszczoły [26].

Pyły obecne w powietrzu są szkodliwe dla człowieka w różnym stopniu. Szkodliwość pyłu zależy w jakim stopniu wnika on do układu oddechowego, od stopnia zatrzymania (retencji) pyłu przez drogi oddechowe, od jego składu chemicznego, od oddziaływania na żywą tkankę, od wymiaru cząstek pyłowych i od stopnia jego usuwania z układu oddechowego. Cząstki pyłu o średnicy powyżej 10 μm są zatrzymywane w przedsionku i jamie ustnej, a przy oddychaniu ustami wnikają głębiej do krtani. Cząsteczki pyłu 5 – 10 μm są prawie całkowicie zatrzymywane w górnych odcinkach układu oddechowego, poniżej 5 μm zatrzymywane są w niewielkim stopniu. Pyły o wymiarach 1,0 μm i mniejszych są najbardziej szkodliwe i zatrzymywane są w pęcherzykach płucnych. Obok stężenia zapylenia powietrza, wielkości cząstek pyłu, o ich toksyczności decyduje głównie skład chemiczny. Pyły zawierające związki wapnia, magnezu i żelaza są mało szkodliwe. W rejonach uprzemysłowionych w pyłach zawarte są węglowodory aromatyczne, jak: benzopiren, perylen, benzoperylen oraz metale, jak: ołów, beryl, kadm, cynk itp. i ich związki. Metale ciężkie z pyłów wnikają łatwo do organizmu przez układ oddechowy. Ołów powstały ze spalania benzyny w silnikach, ulega kumulacji w ustroju, najwięcej ołowiu odkłada się w kościach jako $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, w wątrobie, w nerkach, w śledzionie i w krwi. Nadmierna jego zawartość we krwi i tkankach powoduje zaburzenia procesów biochemicznych decydujących o stanie zdrowia. Ołów powoduje zmiany w syntezie hemoglobiny, krwi i skraca żywotność krwinek czerwonych. Stężenie ołowiu we krwi obwodowej powyżej 0,4 ppm uważa się za toksyczne, ale i niższe stężenie we krwi powoduje inaktywację niektórych enzymów i zaburzenia niektórych czynności fizjologicznych. Istnieje związek pomiędzy stężeniem ołowiu we krwi, a opóźnionym rozwojem umysłowym dzieci. Związki berylu pochodzące ze spalania węgla wykazują właściwości rakotwórcze. W powietrzu miast w pyłach stwierdzono radioaktywne pierwiastki tj.: stront - Sr^{90} i cez - Cs^{137} [26].

2.5.3. Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na rośliny.

Szata roślinna jest jednym z elementów środowiska przyrodniczego, w którym żyje człowiek. Warunkuje ona utrzymanie równowagi biologicznej. Zieleń w mieście ochrania ludzi przed szkodliwym działaniem kurzu, sadzy i trujących substancji lotnych zawartych w powietrzu. Drzewa i krzewy zwiększają wilgotność powietrza, łagodzą różnicę temperatur, osłaniają od wiatru i tłumią częściowo hałas. Wzbogacają atmosferę w tlen i usuwają częściowo z atmosfery dwutlenek węgla. Zieleń w mieście spełnia rolę miejsca wypoczynku po pracy i miejsca dla odprężenia psychicznego. Ujemny wpływ zanieczyszczeń powietrza na roślinność jest łatwo widoczny w okęgach przemysłowych. Zasięg i rozmiar szkód wyrządzanych poszczególnym roślinom zależy od wielu czynników: od charakteru, rodzaju, i stężenia popiołów i gazów w powietrzu, od warunków meteorologicznych,

ukształtowania terenu, rodzaju gleby, okresu rozwojowego roślin i odporności gatunkowej. Najbardziej wrażliwe na zanieczyszczenia powietrza są drzewa szpilkowe (jodła, świerk, sosna) i drzewa owocowe. Pojedyncze substancje są mniej szkodliwe niż ich mieszaniny z innymi substancjami w powietrzu. Mogą wtedy powstawać nowe związki chemiczne, bardziej toksyczne dla roślin, lub może występować zjawisko synergetycznego oddziaływania. Szczególnie szkodliwe dla roślin są tlenki siarki, CS_2 , H_2S , organiczne związki siarki, arsen, związki fluoru i chlor [26].

Dwutlenek węgla CO_2 jest zanieczyszczeniem przy stężeniu ponad $300\text{ cm}^3/\text{m}^3$ powietrza. Jest to ilość minimalna dla roślin. Przy asymilacji CO_2 rośliny muszą mieć niezbędne warunki zewnętrzne, jak: dostateczna ilość światła, obecność chlorofilu i wody. Produktem ubocznym fotosyntezy jest wolny tlen O_2 wydzielany przez rośliny do atmosfery. W ostatnim stuleciu stwierdzono wzrost CO_2 w atmosferze z 0,033 % do 0,041 %, co może spowodować zakłócenie równowagi pomiędzy procesami fotosyntezy, a procesami wytwarzającymi CO_2 [26].

Związki siarki stanowią zanieczyszczenia najsilniej oddziałujące na roślinność. SO_2 obniża intensywność procesów fotosyntezy i oddychania, i powoduje zmiany w gospodarce wodnej rośliny. SO_2 wnika do wnętrza liści, wchodzi w reakcję z substancjami zawartymi w komórkach, wiąże żelazo i magnez zawarte w chloroplastach, eliminując je z procesów fotosyntezy. Obumierają wtedy całe grupy komórek, co widać w postaci odbarwionych plam na liściach. Z drzew iglastych największą odporność na działanie SO_2 stwierdzono u modrzewia japońskiego, dość wytrzymała jest sosna czarna i niektóre gatunki świerków (świerk kłujący), a z jodeł jodła jednobarna i kaukaska. Z drzew liściastych odporne na wyższe stężenie SO_2 okazały się topole, dąb czerwony, lipa drobnolistna, klon, kasztanowiec, bez czarny i olchy.

Dwutlenek azotu w normalnych stężeniach w powietrzu nie powoduje uszkodzenia roślin. Przy wyższych stężeniach i długim okresie działania na rośliny powoduje, obumieranie drzew, zwłaszcza iglastych. Drzewa liściaste są bardziej odporne na działanie tlenków azotu.

Ozon i PAN jako utleniacze powodować mogą przy dłuższym działaniu uszkodzenie roślin.

Związki fluoru. HF działa na rośliny podobnie jak SO_2 . Niszczy on aparat asymilacyjny roślin i powoduje obumieranie roślin. Rośliny pobierają fluor przez liście, a gromadząc go w organach asymilacyjnych stanowią z kolei zagrożenie dla ludzi i zwierząt. Występują duże różnice we wrażliwości roślin na fluor.

Pyły oddziałują podobnie, ale słabiej na rośliny. Osadzają się na liściach, ograniczają działanie promieni słonecznych i zmniejszają proces fotosyntezy. Po osadzeniu na powierzchni gleby psują jej strukturę, wzbogacając ją w różne

mikro- i makroelementy mniej lub więcej pożyteczne lub wręcz szkodliwe dla roślin [26,22].

2.6. Zmiany składu powietrza w wyrobiskach górniczych i wykopach budowlanych.

2.6.1. Powietrze kopalniane.

Powietrzem kopalnianym nazywa się mieszaninę gazów i par wypełniających podziemne wyrobiska górnicze. W wyrobiskach tych powietrze atmosferyczne ulega licznym zmianom. Zmiany zachodzą w wyniku oddziaływania czynników naturalnych (wydzielanie się gazów ze skał, gruntów albo gleby, reakcje chemiczne itp.) i technologicznych (praca maszyn z silnikami spalinowymi, roboty strzałowe itp.). Jeśli nieznacznie zmieniają one skład powietrza atmosferycznego, to nazywamy go powietrzem świeżym, w przeciwnym wypadku występuje powietrze zużyte. Zmiany powietrza prowadzą do zmniejszenia ilości tlenu, i zwiększenia ilości azotu i dwutlenku węgla oraz pojawienia się w powietrzu metanu, tlenku węgla, tlenków azotu i siarki, siarkowodoru i pyłów. Równocześnie rośnie wilgotność i temperatura powietrza. Zmiany składu gazów spotykamy nie tylko w kopalniach głębinowych, ale też w kopalniach odkrywkowych i przy prowadzeniu wykopów dla celów budownictwa. W glebie przebiegają różne procesy chemiczne i biochemiczne, w wyniku których spada zawartość tlenu, a pojawia się dwutlenek węgla, siarkowódór, metan, amoniak i inne. Stąd też obserwujemy zatrucia ludzi przy wykonywaniu wykopu, kończące się niejednokrotnie śmiercią. Gazy wchodzące w skład powietrza kopalnianego można podzielić na trzy grupy [28]:

- a) gazy konieczne do życia (tlen),
- b) gazy obojętne dla organizmu człowieka (azot, metan, gazy szlachetne, CO₂ do 1 % zawartości w powietrzu),
- c) gazy toksyczne (tlenek węgla, tlenki azotu, H₂S, dwutlenek węgla powyżej 1 % zawartości w powietrzu).

Własności tych gazów podano w tabeli 2.3.

Własności gazów występujących w powietrzu kopalnianym Tabela 2.3.

Gaz	wzór	Masa cząsteczkowa M	Gęstość ρ [kg/m ³]	Gęstość względna Δ
Suche powietrze		28,97	1,2931	1,0
Tlen	O ₂	31,99	1,4289	1,1
Azot	N ₂	28,013	1,2505	0,967
Dwutlenek węgla	CO ₂	44,01	1,9770	1,52
Argon	Ar	39,948	1,7839	1,379
Tlenek węgla	CO	28,01	1,2514	0,97
Siarkowódór	H ₂ S	34,08	1,5394	1,19

Dwutlenek siarki	SO ₂	64,07	1,9267	1,489
Metan	CH ₄	16,04	0,7175	0,554
Wodór	H ₂	2,016	0,0899	0,069
Para wodna	H ₂ O	18,02	0,8190	0,633

Tlen

Jego gęstość jest 1,1 razy większa od gęstości powietrza. Jest gazem bezbarwnym, bez smaku i zapachu, łatwo łączy się z innymi gazami i ciałami stałymi. Rozpuszczalność tlenu w wodzie o temperaturze 0 °C wynosi 5 %. Tlen nie pali się, jest jednak konieczny do podtrzymania palenia. Zależnie od prędkości przebiegu reakcji tlenu z innymi pierwiastkami wyróżniamy:

- utlenianie, czyli powolne łączenie się,
- palenie, czyli łączenie się ze zjawiskiem światła,
- wybuch, tj. bardzo szybkie palenie się połączone ze zjawiskiem huku.

Procesy te, obok wydzielania się metanu, CO₂ i azotu, oddychania ludzi, pracy silników spalinowych przyczyniają się do spadku ilości tlenu w powietrzu. Najlepsze nasycenie krwi tlenem zachodzi przy ciśnieniu parcjalnym 21331 N/m², co pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym (760 mmHg) odpowiada 21 % zawartości tlenu w powietrzu. Zgodnie z przepisami górniczymi zawartość tlenu w powietrzu w miejscu pracy nie może być niższa niż 19 % [28].

Nagły brak tlenu lub znaczny spadek jego stężenia w powietrzu wywołuje utratę przytomności, a następnie śmierć. Wobec obniżonego stężenia tlenu w powietrzu rozwija się narastające niedotlenienie organizmu z szybkością zależną od stężenia tlenu. Obniżenie normalnego stężenia tlenu (zależne od spadku procentowego) wywołuje w organizmie ludzkim następujące skutki:

- 17 % – pojawiają się objawy głodu tlenowego, podczas intensywnej pracy tętno ulega przyspieszeniu, człowiek doznaje zawrotów głowy i uczucia duszności,
- 12 – 16 % występuje znaczne zmniejszenie zdolności do wysiłku fizycznego i jest zaburzona koordynacja ruchów,
- 5 – 10 % pojawiają się mdłości, wymioty, utrata przytomności, następuje śpiączka.

Przy jeszcze mniejszej ilości tlenu pojawiają się drgawki, oddech staje się przerywany, po czym oddychanie zupełnie ustaje, a w kilka minut ustaje też czynność serca i następuje zgon. W razie całkowitego przerwania zaopatrzenia krwi w tlen jest jeszcze możliwy powrót do życia jeśli, przerwa ta nie trwa dłużej niż 8 min. u ludzi młodych, i 3 do 4 minut u ludzi starszych. Należy wtedy zastosować sztuczne oddychanie i ewentualnie masaż serca, a jednocześnie nieprzytomnego przenieść w miejsce gdzie jest normalne stężenie tlenu w powietrzu.

Azot.

W stanie wolnym jest zasadniczym składnikiem atmosfery. Powietrze zawiera też ślady azotu w formie związanej tj. w postaci amoniaku NH_3 powstającego podczas gnicia substancji organicznych oraz w postaci tlenków azotu. Azot jest gazem bezbarwnym, bez zapachu i bez smaku, nieco lżejszy od powietrza (gęstość względna 0,967). Jest gazem obojętnym słabo rozpuszczalnym w wodzie. Człowiek ulega w azocie uduszeniu, ale sam azot jest konieczny do normalnego oddychania. Powietrze kopalniane wzbogaca się w azot w wyniku robót strzałowych oraz w wyniku gnicia substancji organicznych. Niektóre odmiany węgla zawierają gazy z azotem podobnie, jak złoża soli potasowych, w których stanowi czasem 80 % i więcej ogólnej objętości wszystkich zawartych w nich gazów. Czasem azot razem z metanem wydziela się w postaci fontann gazowych ze szczelin w węglu kamiennym. Również ze skał otaczających złoża wypływa azot [28]. Azot mimo, że jest obojętny dla życia ludzkiego, wskutek wzrostu jego ilości wypiera tlen z powietrza i może doprowadzić do uduszenia. Pierwsze oznaki głodu tlenowego pojawiają się przy stężeniu azotu 83 %, a przy stężeniu 93 % następuje bardzo szybko śmierć [28].

Dwutlenek węgla.

CO_2 jest gazem bezbarwnym, bez zapachu, o smaku słabo kwaśnym. Jest 1,52 razy cięższy od gęstości powietrza. Dlatego gromadzi się przy spągu, w zagłębieniu spągu lub w upadowych o małej intensywności przewietrzania. CO_2 łatwo rozpuszcza się w wodzie, w temperaturze 273°K i ciśnieniu 101323,20 N/m^2 (760 mmHg), w 100 objętościach wody rozpuszcza się 179,7 objętości CO_2 . Jego gęstość wynosi $1,96 \text{ kg/m}^3$. W powietrzu kopalnianym wzrasta zawartość CO_2 wskutek oddychania ludzi, pracy silników spalinowych, robót strzelniczych, rozkładu substancji organicznych i nieorganicznych, powolnego utleniania niektórych kopaliny użytecznych, wydzielania się go ze szczelin, oraz pożarów i wybuchów [28].

Wydzielanie CO_2 ze skał następuje na skutek:

- regularnych i powolnych wypływów,
- obfitych wypływów w postaci fontann gazowych,
- nagłych wypływów ogromnych ilości gazu w krótkim czasie, z towarzyszeniem wyrzutów bardzo dużych ilości miału węglowego.

Wyrzuty CO_2 spowodowały wiele katastrof górniczych w kopalniach francuskich, dolnośląskich i niemieckich. Zawartość CO_2 1-2 % nie jest szkodliwa dla zdrowia. Jego stężenie większe od 2 % powoduje zaburzenie czynności oddechowych. Oddech staje się dwa razy szybszy, co zwiększa uciążliwość pracy. Przy 4 % ilości CO_2 w powietrzu pojawiają się bóle i zawroty głowy, szum w uszach, wzrost ciśnienia krwi i niepokój. Przy zawartości 5 % CO_2 oddech jest trzykrotnie szybszy i staje się bardzo ciężki (objawy duszności), przy 6 % ilości występują silne objawy duszności i osłabienia, a przy 7 % pojawiają się bóle głowy i ogólna ociężałość. Powyżej

8 % występuje utrata przytomności, sinica, porażenie oddychania. W dużych stężeniach CO₂ i równoczesnym braku tlenu następuje utrata świadomości i śmierć w ciągu 5-10 minut [28,44]. Stężenie CO₂ w powietrzu powyżej 4 % utrudnia wydalenie CO₂ wytwarzanego w procesie oddychania (w powietrzu wydychanym przez ludzi stężenie CO₂ wynosi 4 %). W tym stężeniu CO₂ dostaje się do krwi zmniejszając w niej zawartość tlenu. Zaczyna on wtedy działać szkodliwie na centra układu nerwowego powodując w nich nieodwracalne zmiany. Przepisy nie zezwalają na stężenie CO₂ większe niż 1 % w wyrobiskach górniczych [28].

Tlenek węgla.

W normalnych warunkach CO tworzy się w kopalniach węgla w bardzo małych ilościach. W większych ilościach powstaje tam, gdzie zachodzi proces palenia się przy małym dopływie tlenu. Zapach, który przypisuje się CO, pochodzi od produktów destylacji węgla, które pojawiają się podczas pożarów. Głównymi źródłami CO w kopalniach są pożary podziemne i wybuchy pyłu, roboty strzałowe oraz silniki spalinowe. Może też powstać podczas rozkładu oleju kompresorowego pod działaniem wysokiej temperatury i dostać się do przodka wraz ze sprężonym powietrzem. Dlatego do sprężarek należy używać olejów mineralnych o wysokiej temperaturze zapłonu i oczyszczać sprężone powietrze. Mechanizm toksycznego działania CO i jego własności chemiczne i fizyczne podano wcześniej [28,44].

Tlenki azotu.

Tlenki azotu powstają podczas robót strzałowych i stanowią mieszaninę NO, NO₂, N₂O₄ i N₂O₅. Związki NO i NO₂ opisano wcześniej. Czterotlenek dwuazotu N₂O₄ ma względny ciężar właściwy 3,18, ciężar cząsteczkowy 92,02 i gęstość w warunkach normalnych 4,11 kg/m³. W wyższych temperaturach rozpada się na NO₂



W kopalniach nie wolno stosować do robót strzałowych amonitów z zawartością wilgoci powyżej 0,5 %. Ma to na celu zmniejszenie ilości tlenków azotu. Dla przyspieszenia pochłaniania tlenków azotu przez wilgoć stosuje się rozpylanie wody lub roztworu sody w przodku. Dopiero po przewietrzeniu wyrobiska po strzałach wolno do niego wchodzić.

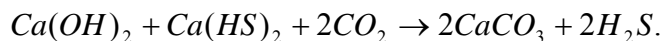
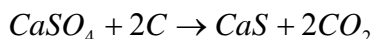
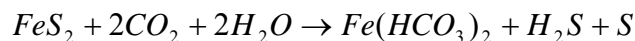
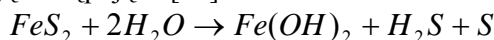
Dwutlenek siarki.

SO₂ występuje w powietrzu kopalnianym bardzo rzadko. Tworzy się podczas pożarów i strzelania materiałami wybuchowymi zawierającymi siarkę lub podczas strzelania w skałach o dużej zawartości siarczków. Czasem wydziela się razem z metanem. W niebezpiecznych ilościach SO₂ powstaje w czasie pożarów i wybuchów pyłu w kopalniach siarczków. Własności SO₂ i oddziaływanie na organizm ludzki opisano wcześniej.

Siarkowodór.

Jego pochodzenie może być nieorganiczne lub organiczne. W kopalni tworzy się podczas gnicia substancji białkowych, zawierających związki siarki albo z rozkładu pirytu (FeS_2) i gipsu ($CaSO_4$).

Reakcje przebiegają następująco [33]:



Rozkład pirytu powodują woda lub kwas węglowy. Ubocznym produktem jest wodór. Rozkład gipsu następuje pod wpływem bakterii (siarkowych) i węglowodorów (głównie metanu).

Na temat powstawania H_2S z siarczanów istnieją dwie teorie. Według pierwszej H_2S powstaje podczas redukcji siarczanów za pomocą substancji organicznej (węglowodorów, głównie metanu) w wyniku czysto chemicznej reakcji (na drodze nieorganicznej). Według drugiej istotną rolę w procesie tworzenia H_2S odgrywają mikrobiologiczne procesy redukcji siarczanów przez bakterie siarkowe z wykorzystaniem substancji organicznych w charakterze źródła energii dla nich. Redukcja jonu siarczanowego przez węglowodory (metan) przebiega wyłącznie w temperaturze powyżej $200\text{ }^\circ\text{C}$ [46].

Badania laboratoryjne wykazały, że redukcja siarczanu na drodze nieorganicznej przy temperaturach poniżej $200\text{ }^\circ\text{C}$ nie zachodzi, zatem dla temperatur niższych od $200\text{ }^\circ\text{C}$ redukcję siarczanów do H_2S powodują tylko bakterie siarkowe. W procesie redukcji siarczanów przez bakterie następuje rozdział izotopów siarki ^{32}S i ^{34}S , który zmienia się w czasie. W końcowym etapie następuje wzbogacenie H_2S w cięższy izotop ^{34}S , którego jest w nim więcej niż w wyjściowym siarczanie. Największa różnica w składzie izotopowym siarki między H_2S i SO_4^{2-} występuje przy bardzo powolnej redukcji nieograniczonej ilości siarczanu. W obszarach o ograniczonym dopływie siarczanów przy długim rozwoju bakteryjnej redukcji siarczanów pierwsze porcje powstającego H_2S będą wzbogacone, a ostatnie zubożone w lekki izotop ^{32}S w porównaniu z wyjściowym siarczaniem. Można też wyznaczyć prędkość przechodzenia siarczanów do wody i ich ilość [46]. Siarkowódz powstały z rozkładu gipsu będzie zawierał domieszkę metanu (palnego i wybuchowego gazu) [47]. Siarkowódz występuje w wodach złożowych i ulega z nich degazacji przechodząc do powietrza. Również w gazach postrzałowych występują ślady H_2S . W kopalniach soli H_2S wydzielają się ze szczelin skał. W dużych ilościach występuje w wodach złożowych w kopalni siarki w rejonie Tarnobrzegu. W wodach występuje w postaci

niezdysocjowanego H₂S i kwaśnych siarczków. Wskaźniki działania gazów trujących na organizm ludzki podaje tabela 2.4. – wg [28].

Wskaźniki działania gazów trujących na organizm ludzki Tabela 2.4.

Czas i stopień działania	Zawartość gazów w powietrzu [%]				
	CO ₂	CO	SO ₂	H ₂ S	NO ₂
Wartości dopuszczone przepisami	1	0,002	0,0007	0,0007	0,00025
Działanie w ciągu kilku godzin bez większego wpływu na organizm	0,5-1	0,008	0,0008-0,001	0,0015	0,002
Oznaki słabego zatrucia lub podrażnienia błon śluzowych w ciągu 2-3 godzin	2-3	0,01-0,05	0,002	0,005-0,008	0,003
Niebezpieczeństwo poważnego zatrucia w ciągu 0,5 – 1 godziny	4-5	0,2-0,3	0,005-0,018	0,04-0,06	0,008
Niebezpieczeństwo dla życia przy krótkotrwałym działaniu	8-10	0,5-0,8	0,08	0,08-0,1	0,015-0,02

Wodór H₂ jest gazem bezbarwnym, o względnym ciężarze właściwym 0,07 i gęstości w warunkach normalnych 0,09 kg/m³. Jest ponad 14 razy lżejszy od powietrza. Jest gazem palnym i wybuchowym, o granicach wybuchowości 4 - 74 %. W wodzie rozpuszcza się w ilości 2,1 %. Źródłami jego wydzielania są skały, pokłady soli potasowych, węgiel o średnim stopniu zmetamorfizowania oraz ładownie baterii akumulatorów [28].

Amoniak NH₃ powstaje w wyniku bakteryjnego rozkładu substancji zawierających azot. W małych ilościach powstaje też podczas robót strzałowych. Jest gazem bezbarwnym, o charakterystycznym ostrym zapachu. Względny ciężar właściwy wynosi 0,596, czyli jest lżejszy od powietrza. Ciężar cząsteczkowy 17,03, gęstość 0,77 kg/m³. NH₃ dobrze rozpuszcza się w wodzie. Przy stężeniu 30 % tworzy z powietrzem mieszaninę wybuchową. Jest gazem trującym, podrażnia błony śluzowe oraz skórę, a przy większych koncentracjach powoduje obrzęk krtani [28].

Węglowodory ciężkie (etan C_2H_6 , propan C_3H_8 , butan C_4H_{10}) mogą wydzielać się z pokładów węgla mało zmetamorfizowanych oraz w czasie wykonywania robót strzelniczych. Węglowodory są gazami wybuchowymi o dolnej i górnej granicy wybuchowości: etan 3,1 – 15 %, propan 2,2 – 7,4 % i butan 1,5 – 6,5 %. Nadają one powietrzu słabe właściwości narkotyczne.

Akroleina (CH_2CHCOH) jest bezbarwną, łatwo utleniającą się cieczą. Występuje w postaci pary o względnym ciężarze właściwym 1,9. Dobrze rozpuszcza się w wodzie i powstaje w wyniku rozkładu dieslowskiego paliwa pod działaniem wysokich temperatur. Drażni ona błony śluzowe, powoduje zawroty głowy, mdłości, ból żołądka i wymioty. Kilkuminutowe przebywanie w atmosferze o stężeniu 0,014 % akroleiny jest niebezpieczne dla życia. Dopuszczalne stężenie akroleiny wynosi 0,00037 %. [28]

Selen może wystąpić w kopalniach siarki. Jego związki są bardzo trujące. Selenowodor wywołuje zaczerwienienie oczu, kichanie, suchy kaszel oraz katar. Organiczne związki selenu są bardzo silnym truciznami o bardzo intensywnym zapachu czosnku, działającymi na układ nerwowy.

Aldehydy powstają podczas pracy silników spalinowych. Są one trujące, działają na błony śluzowe oczu i dróg oddechowych oraz na centralny system nerwowy. Dopuszczalne stężenie aldehydów wynosi 0,0004 % [28].

2.6.1.1. Promieniotwórcze składniki powietrza kopalnianego.

Przy eksploatacji kopalni (uran, tor) w skład powietrza kopalnianego wchodzi gazowe produkty ich promieniotwórczego rozpadu (emanacji): radon (Rn), toron (Tn), aktynon (An). Produkty te będąc izotopami różnią się jedynie okresem połowicznego rozpadu, który wynosi dla radonu 3,825 doby, dla toronu 54,5 s i dla aktynonu 3,92 s. W związku z tym najgroźniejszy jest radon, gdyż wydzielają się w dużych ilościach z rud i skał, i rozprzestrzenia się na znaczne odległości od źródła promieniowania. Radon powstaje w czasie α rozpadu radu. W przyrodzie radon występuje w niewielkich ilościach w powietrzu, w wodzie i glebie. W wyniku działania promieniowania jonizacyjnego może dojść do choroby popromiennej w formie ostrej lub przewlekłej. Bezpieczną dawką napromieniowania jest $3 \cdot 10^{-5}$ C/kg w ciągu dnia. W celach leczniczych ważne są jony ujemne, stąd w małych ilościach radon znajduje zastosowanie do leczenia chorób: gośćca stawowego, zapalenia kręgosłupa na tle gośćcowym, zapaleń mięśni i nerwów, artretyzmu i podagry, lokalnych zaburzeń naczyń obwodowych i niektórych chorób artretycznych. W Polsce w byłej kopalni uranu "Podgórze" koło Kowar w sztolni 19 a są leczeni pacjenci iniekcjami radonu [28].

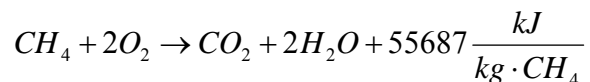
2.6.1.2. Metan

Metan CH_4 stanowi jeden z najbardziej groźnych składników atmosfery kopalnianej, gdyż przy stężeniach 5,3 – 15 % z powietrzem tworzy mieszaninę

wybuchową. Wydzielaniu się metanu towarzyszą gazy: CO₂, N₂, H₂, etan C₂H₄, H₂S, SO₂ i CO. Metan jest gazem bez barwy, smaku i zapachu, o ciężarze cząsteczkowym 16,042. Gęstość metanu wynosi 0,7173 kg/m³, a względny ciężar 0,5549 czyli jest prawie dwa razy lżejszy od powietrza. Ciepło spalania wynosi 55687 kJ z jednego kilograma metanu. Temperatura zapłonu wynosi 923-1023 K i jest uzależniona od zawartości metanu w powietrzu, składu atmosfery, ciśnienia. Temperatura wybuchu wynosi 1773 K. Przy zawartości do 5,3 % metan wypala się w zetknięciu ze źródłem termicznym, w granicach stężeń 5,3 – 15 % następuje wybuch, powyżej 15 % mieszanina jest palna. Proces spalania metanu zależy od składu powietrza. Zmniejszenie ilości tlenu i wzrost ilości CO₂ w powietrzu utrudniają jego spalanie. Metan nie wybuchą gdy zawartość tlenu jest mniejsza od 12 %. Ogrzewany metan ulega dysocjacji termicznej rozkładając się na węgiel (sadza) i wodór. Możliwość wybuchu metanu zależy od kilku czynników:

- odpowiedniej zawartości gazu w powietrzu,
- obecności dostatecznej ilości tlenu i braku większych domieszek gazów obojętnych,
- obecności otwartego płomienia lub innego źródła wysokiej temperatury i odpowiedniego czasu ich działania,
- dostatecznie dużej przestrzeni wypełnionej mieszaniną wybuchową.

Przedział wybuchowości mieszaniny metanu z powietrzem rozszerza się ze wzrostem jej początkowej temperatury i ciśnienia. Przy ciśnieniu początkowym 10⁵ N/m² mieszanina metanu w powietrzu wybuchą przy zawartości metanu od 5,9 do 17,2 %. Reakcja spalania metanu z tlenem jest silnie egzotermiczna i przebiega wg schematu:



Przy zawartości tlenu w powietrzu 21 % odpowiada to 9,5 % ilości metanu, gdyż do utleniania cząsteczki metanu potrzeba dwóch cząsteczek tlenu. Najłatwiej zapala się mieszanina około 8 % metanu. W takich proporcjach wybuch metanu jest najsilniejszy. Charakterystyczną dla metanu cechą jest zapłon z pewnym opóźnieniem. W temperaturze źródła zapłonu 923 K metan zapala się po 10 s, a w temperaturze 1273 K po jednej sekundzie. Fakt istnienia opóźnienia zapłonu jest wykorzystany do stosowania odpowiednich materiałów wybuchowych, dla których czas ochładzania produktów jest, mniejszy od czasu opóźnienia wybuchu.

Metan i inne gazy wykazują zdolność migracji. W górotworze metan występuje w postaci swobodnej i związanej z węglem. Wyróżniamy trzy formy związania gazu z węglem:

- adsorpcję – zagęszczenie cząsteczek gazu na powierzchni węgla wskutek działania sił molekularnego przyciągania,

- absorpcję – przenikanie cząsteczek gazu do wnętrza bez chemicznego wzajemnego powiązania,
- chemisorpcję – chemiczne powiązanie gazu z węglem.

Metan wolny wypełnia pustki i szczeliny w węglu i skałach otaczających. Zależnie od głębokości, a głównie od ciśnienia metanu wzrasta udział metanu wolnego. Głębsze partie złoża są silniej gazonośne. Strefy uskokowe w kopalniach są uznawane za szczególnie zagrożone metanem.

2.7. Zagrożenie gazowe przy wykonywaniu wykopów budowlanych i w kopalniach odkrywkowych.

Stopień zagrożenia gazami w kopalniach odkrywkowych jest dużo mniejszy niż w kopalniach głębinowych. Trzeba uwzględnić system odwadniania kopalni odkrywkowej. Przy górniczym systemie odwadniania kopalń odkrywkowych tj. z udziałem chodników wodnych wykonywanych w pokładzie węgla brunatnego obowiązują te same przepisy BHP jak dla kopalni głębinowych. Natomiast w kopalniach odkrywkowych stosujących studzienny system odwadniania wprowadzono odrębne przepisy BHP od lipca 1989 roku. Studnie odwadniające złoża węgla brunatnego spełniają jednocześnie dwie funkcje [47,48]:

- prowadzą odwadnianie serii nadzłożowej, złożowej i podzłożowej,
- prowadzą degazację pokładu węgla i wód podziemnych, z zawartych w nich gazów.

W kopalniach węgla brunatnego stwierdzono badaniami obecność gazów palnych, toksycznych i wybuchowych takich jak: metanu i jego homologów: etanu, propanu, butanu i pentanu, dwutlenku węgla, siarkowodoru oraz amoniaku, w pokładzie węgla oraz w wodach podziemnych, skąd ulegają one degazacji i przechodzą do powietrza [47]. W kopalniach siarki w rejonie Tarnobrzegu występuje również H_2S . W niektórych studniach występuje on w ilościach ponadnormatywnych, tak, że praca może być wykonywana tylko przy użyciu aparatów tlenowych lub w maskach z pochłaniaczem na H_2S [47]. Przy wykonywaniu wykopów dla celów budowlanych lub kopaniu studni zdarzały się wypadki zatrucia pracowników gazami, kończące się nawet zgonem. W glebie zachodzą reakcje biochemiczne i zawiera ona gazy. Z gleby wydzielają się do wykopu gazy: CO_2 , NH_3 , CH_4 , H_2S . Wskutek wyparcia tlenu i mniejszej jego ilości w wykopie oraz toksycznego działania gazów dochodziło do zatrucia pracowników w trakcie wykonywania wykopu. Dlatego pracownicy powinni znajdować się pod kontrolą osoby dozoru, która w wypadku zasłabnięcia lub zatrucia pracownika wyciąga go z wykopu i udziela mu pierwszej pomocy tj. stosuje sztuczne oddychanie, w wypadku zaprzestania czynności oddechowych, i ewentualnie masaż serca przy zatrzymaniu akcji serca. Następnie poszkodowany powinien zostać przetransportowany do szpitala na dalsze leczenie [44, 47].

2.8. Oddziaływanie zanieczyszczeń na klimat.

Czynnikami modyfikującymi klimat są CO_2 , zanieczyszczenia pyłowe i ciepło z procesów spalania. CO_2 powstaje we wszystkich procesach spalania i oddychania. Połowa wytwarzanego przez człowieka CO_2 jest zużywana przez roślinność, a połowa pozostaje w atmosferze. W XX wieku zaobserwowano wzrost CO_2 z 0,03 na 0,041 % w atmosferze.

2.8.1. Efekt szklarniowy.

Charakterystyczną cechą CO_2 jest przepuszczalność dla krótkofalowego promieniowania Słońca i pochłanianie długofalowego, ciepłego wypromieniowania Ziemi. Efekt ten, jako efekt szklarniowy, może być czynnikiem powodującym wzrost średniej temperatury Ziemi. Wielu autorów sądzi, że efekt szklarniowy jest równoważony osłabieniem promieniowania słonecznego przez zawieszane w powietrzu pyły i aerozole składające się z H_2SO_4 powstałego z utleniania SO_2 , i HNO_3 , powstałego z utleniania tlenków azotu. Znaczne stężenie ołowiu w powietrzu obserwuje się w miastach o dużym ruchu samochodów. Ołów wchodząc w reakcje z jodem znajdującym się w śladowych ilościach w atmosferze tworzy PbI_2 , który sprzyja częstotliwości i intensywności opadów, zwłaszcza śniegu.

2.8.2. Smog.

Drobne pyły i aerozole, będące składnikami zanieczyszczeń powietrza, powodują absorpcję i rozpraszanie światła, co jest związane bezpośrednio z występowaniem mgieł. Ułatwiają one kondensację pary wodnej, dzięki czemu tworzy się mgła przy wilgotności względnej powietrza mniejszej niż 100 %. Źródłem tworzenia się mgły, oprócz pary wodnej, są też węglowodory, NO_2 , SO_2 uważane za główną przyczynę powstawania mgieł inwersyjnych tzw. smogu, który pojawia się po kilkudniowej, nieprzerwanie trwającej ciszy atmosferycznej.

Smog powstaje też wskutek zjawiska inwersji temperatury. Normalnie do 700m wysokości temperatura spada. Na wysokości 700 m (Z_0) występuje warstwa powietrza o dodatnim gradiencie temperatury tzn. w tej warstwie temperatura wzrasta (inwersja temperatury), a następnie powyżej 800 m wysokości następuje spadek temperatury. Zjawisko inwersji temperatury hamuje ruchy pionowe powietrza i ogranicza wnikanie zanieczyszczeń do warstw górnych. W wyniku tego zjawiska wzrasta stężenie zanieczyszczeń w warstwie powietrza leżącego pod warstwą inwersyjną, co stwarza zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Rozróżnia się dwa typy smogu: utleniający i kwaśny. Głównym składnikiem smogu kwaśnego są aerozole kwasu siarkowego. Smog ten występuje np. w Londynie. Składnikami smogu utleniającego, charakterystycznego dla Los Angeles, są: ozon, NO_2 i PAN. Smog kwaśny

pojawia się w miesiącach zimowych (listopad-styczeń), utleniający zaś w miesiącach letnich (lipiec – październik) [22,26].

2.8.3. Dziura ozonowa.

Cienka warstwa ozonowa w górnej części atmosfery pochłania promienie ultrafioletowe i promienie o mniejszej długości fali. Zabezpiecza ona powierzchnię Ziemi przed podwyższeniem temperatury i ochrania organizmy żywe przed działaniem jonizującym promieni słonecznych. Zaobserwowano, że związki chlorowcopochodne, zwłaszcza fluorowęglowodory stosowane w aerozolach i urządzeniach chłodniczych niszczą ozon, w wyniku czego tworzy się obszar pozbawiony ozonu, zwany "dziurą ozonową". Zjawisko niszczenia powłoki ozonowej stwierdzono ostatnio nad Antarktydą. Jednocześnie badaniami za pomocą satelitów zauważono w tym obszarze wzrost ilości CO₂. Przypuszcza się, że obecność dziury ozonowej jest wynikiem działania nie tylko pochodnych węglowodorowych, ale jest też wywoływana przez niezwykle aktywność Słońca. Energia słoneczna wytwarza NO₂, który prowadzi do powstawania związków przyspieszających destrukcję powłoki ozonowej [22,26].

2.8.4. Inne oddziaływania zanieczyszczeń.

Oprócz schorzeń ludzi, zwierząt, niszczenia roślinności, zanieczyszczenia atmosfery wywołują korozję metali, urządzeń i konstrukcji budowlanych, niszczenie odzieży itp.. Korozja metali wykazuje korelację ze stężeniem SO₂ w powietrzu. Związki siarki niszczą też materiały budowlane, takie jak: wapń, marmur, zaprawę murarską, dachówki. Pyły i aerozole zawarte w powietrzu zwiększają zużycie maszyn i mechanizmów, zwłaszcza powierzchni wzajemnie trących o siebie. Pyły i aerozole H₂SO₄ osadzone na linii wysokiego napięcia powodują przebicia na izolatorach. W okręgach silnie uprzemysłowionych szybciej brudzi się odzież i materiały tekstylne, i skraca się czas ich użytkowania [26].

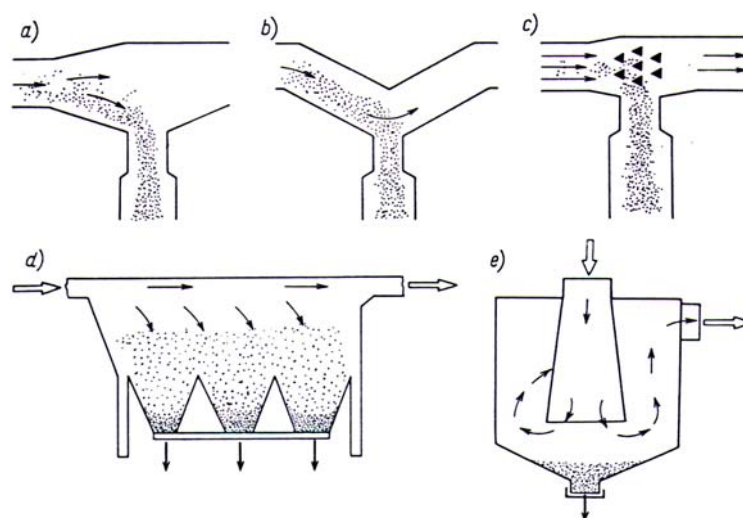
2.9. Ochrona przed zanieczyszczeniami powietrza.

Wytworzone w toku spalania i produkcji przemysłowej toksyczne gazy, pyły i aerozole należy usunąć lub obniżyć ich maksymalną zawartość w gazach odlotowych przed odprowadzeniem ich do atmosfery. Urządzenia do tego celu to: urządzenia odpylające, urządzenia i metody do usuwania toksycznych gazów, jak: związki siarki, tlenki azotu, węglowodory itp.

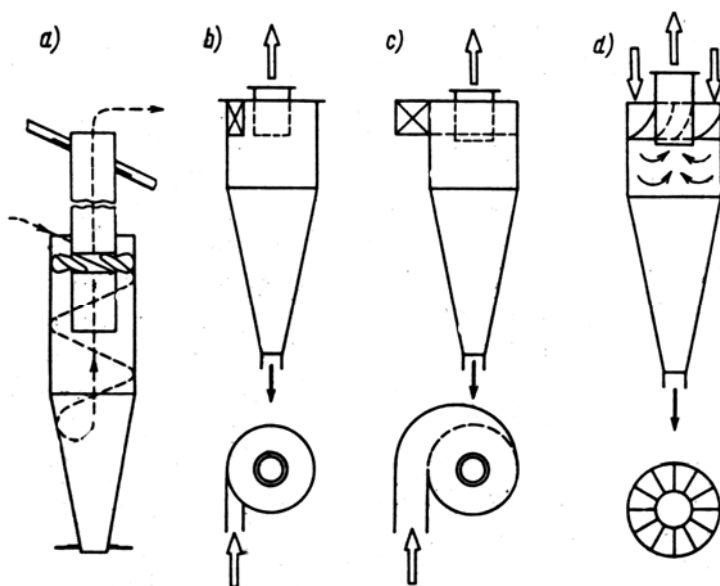
2.9.1. Urządzenia odpylające.

Oczyszczamy gazy z zanieczyszczeń mechanicznych. Wyróżniamy 3 zasadnicze grupy urządzeń: suche urządzenia mechaniczne, mokre urządzenia mechaniczne, elektrostatyczne urządzenia odpylające.

Najważniejszymi odpylającymi urządzeniami w metodzie suchej są cyklony i odpylacze tkaninowe (workowe). W cyklonie, do jego górnej cylindrycznej części (stycznie do obudowy) zostaje doprowadzony z dużą prędkością zapyłony gaz, w wyniku wywołanego ruchu wirowego pod wpływem siły odśrodkowej ziarna pyłów zostają odrzucone na zewnętrzne ścianki cyklonu, po których zsuwają się do umieszczonego na dole zbiornika pyłu [26] (rys.2.2 i rys. 2.3).



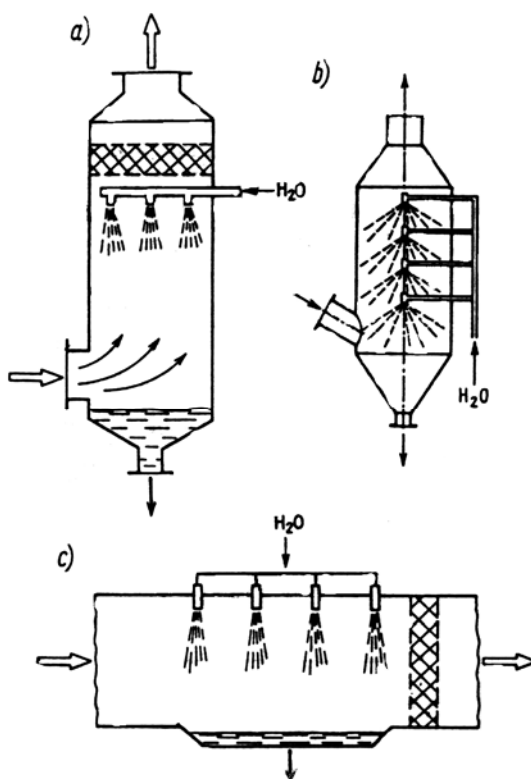
Rys. 2.2. Odpylacze inercyjno – uderzeniowe z wykorzystaniem: a) i d) zmiany prędkości, b) zmiany kierunku, c) przegród, e) zmiany kierunku z wlotem centralnym.



Rys. 2.3. Zasada działania cyklonu (a) i jego rodzaje: b) z wlotem stycznym, c) z wlotem spiralnym, d) z wlotem osiowym [17].

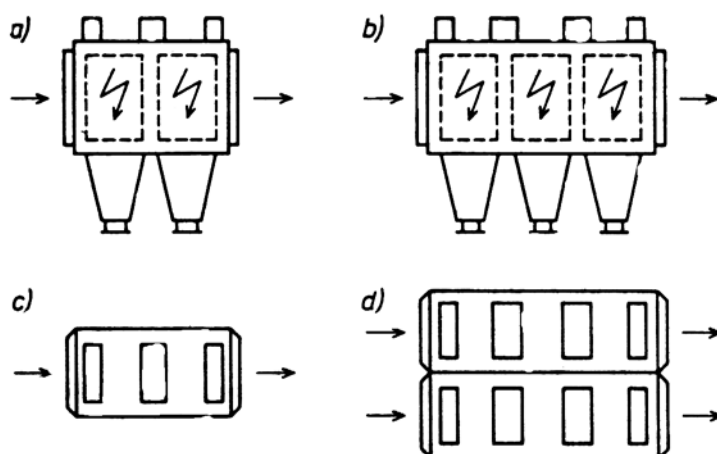
Odpylacze tkaninowe, dzięki wprowadzeniu włókien syntetycznych szklanych i azbestowych, oprócz tkanin bawełnianych, są stosowane do gazów o temperaturze powyżej 200 °C. Są to odpylacze workowe o przekroju prostokątnym lub cylindrycznym.

Do mokrych urządzeń odpylających należą płuczki wieżowe. Zapyłony gaz od dołu doprowadzamy stycznie do cylindrycznej obudowy. W wyniku siły odśrodkowej oddzielane są większe ziarna pyłu. Dalej gaz zapyłony przepływa do góry przez przegrodę z blachy dziurkowanej, nad którą znajduje się warstwa żwiru, kulek szklanych lub pierścieni Raschiga. Natrysk wody następuje przez dysze umieszczone nad przegrodą. W górnej części płuczki umieszczona jest dodatkowa przegroda, z wypełnieniem jak w niższej przegrodzie. Działa ona jako łapacz kropelek wody. Odpylony gaz wędruje ku górze (rys. 2.4.).



Rys. 2.4. Płuczki (skrubery): a) pionowa jednozraszaczowa, b) pionowa wielozraszaczowa, c) pozioma wielozraszaczowa. [17]

Odpylacze elektrostatyczne zostały wprowadzone do użytku najpóźniej. Odpylacz składa się z zespołu dwóch elektrod. Zasilany jest prądem stałym o wysokim napięciu. Ujemny biegun stanowią elektrody wykonane w postaci cienkich drutów, elektrody dodatnie (zbiorcze) w postaci płaskich płyt lub rur. Elektrody ujemne emitują duże ilości elektronów, które jonizują cząstki przepływającego gazu. Elektrony osadzają się na neutralnych cząstkach gazu i ładują go ujemnie. Ujemne jony gazu osadzają się na zawartych w gazie ziarenkach pyłu przekazując im ładunek ujemny. Naładowane ujemnie ziarna pyłu poruszają się w polu elektrycznym w kierunku elektrody dodatniej, osadzają się na niej i po zubożeniu opadają do zbiornika pyłu (rys.2.5.).

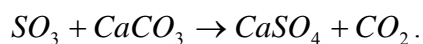
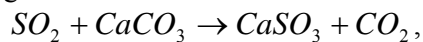


Rys. 2.5. Schematy elektrofiltrów: a) dwustrefowego, b) trzystrefowego, c) jednokomorowego, d) dwukomorowego. [17]

Do usuwania aerozoli można zastosować koagulację. Zachodzi ona na skutek burzliwych (turbulentnych) pulsacji o małej amplitudzie (koagulacja gradientowa), lub pod wpływem fal dźwiękowych (koagulacja akustyczna). Wyróżniamy dwa przypadki koagulacji akustycznej: koagulacja za pomocą fali bieżącej i za pomocą fali stojącej. Ultradźwięki przyspieszają koagulację.

2.9.2. Ograniczenie emisji związków siarki do powietrza.

SO₂ jest najczęstszym zanieczyszczeniem powietrza ze związków siarki, pochodzi głównie ze spalania węgla kamiennego i brunatnego. Ograniczenie emisji związków siarki do atmosfery można uzyskać przez zmianę surowców, technologii, oczyszczanie spalin lub odsiarczanie paliw płynnych, stałych i gazowych. Odsiarczanie gazów spalinowych wobec niskiej wartości otrzymywanego H₂SO₄ jest bardzo kosztowne. Siarka w węglu jest związana organicznie i nieorganicznie jako piryty FeS₂. Usunięcie pirytów według klasycznych metod wzbogacania węgla eliminuje 40-60 % ogólnej ilości siarki w węglu, ale jest kosztowne. Siarkę organiczną można usunąć za pomocą rozpuszczalników organicznych, lecz koszty wykluczają takie rozwiązanie. Wykonywane są badania spalania węgla i ziaren wapnia w warstwie fluidyzacyjnej. Przy spalaniu węgla siarka ulega utlenianiu i powstaje SO₂. Wytworzony SO₂ jest częściowo utleniany do SO₃. Gazy SO₂ i SO₃ reagują z wapieniem zgodnie ze schematem:



Powstają wtedy CaSO_4 i CaSO_3 . Najprostsze i najtańsze są metody odsiarczania gazów spalinowych. Oczyszczanie spalin z SO_2 dzieli się na metody:

1. absorpcyjne:
 - a) metody mokre – używając wodnych zawiesin tlenków, węglanów wapnia i magnezu, węglanu sodowego, siarczynów sodu i amoniaku, tlenku cynku, amin alifatycznych i aromatycznych,
 - b) suche – medium sorpcyjne stanowią CaO , MgO , Mn_2O_3 i CuO , $\text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$, CaCO_3 , NH_3 gazowy.
2. adsorpcyjne:
 - a) mokre – adsorpcja i utlenianie na koksie aktywowanym,
 - b) suche – przepuszczanie przez półkoks, węgiel aktywny, tlenki metali, silikażel.

Siarczek węgla CS_2 usuwa się przez sorpcję w roztworze morfoliny, sorpcję w olejach, na węglu aktywnym lub przez konwersję katalityczną CS_2 do tlenków siarki i siarkowodoru oraz przez dopalanie (utlenianie) H_2S i CS_2 w obecności katalizatora.

SO_2 i SO_3 oraz HF , SiF_4 , tlenki azotu można usuwać z gazów na anionicie otrzymany z m-fenylanodwuaminy. Metody adsorpcyjne polegają na sorpcji SO_2 w adsorberach wypełnionych warstwą węgla aktywnego. W wyniku sorpcji i utleniania gazy zostają pozbawione SO_2 . Razem z parą wodną w gazach spalinowych wytworzony w adsorberze rozcieńczony kwas siarkowy zostaje odprowadzony do zateżenia. Do adsorpcji SO_2 zastosowano rudę darniową (zawiera 40-60 % uwodnionego $\text{Fe}(\text{OH})_3$ z domieszką Na_2CO_3), która wykazała pięciokrotnie większą zdolność adsorpcyjną niż wapno odpadowe i tlenek magnezowy. H_2S i CS_2 gazów odlotowych można usunąć metodami adsorpcji, absorpcji lub spalania termicznego i katalitycznego, przy użyciu katalizatorów platynowych, wanadowych, chromowych i manganowych. CS_2 absorbuje się w olejach węglowodorowych lub w oleju krezolowym. H_2S usuwamy z powietrza metodą adsorpcji przy użyciu Al_2O_3 lub węgla aktywnego.

2.9.2.1. Usuwanie tlenków azotu.

Usuwanie lub obniżanie stężenia tlenków azotu w gazach odlotowych następuje w skutek katalitycznego rozkładu, adsorpcji na sorbentach stałych, absorpcji.

Z metod absorpcyjnych stosuje się absorpcję tlenku azotu w zawiesinie $\text{Mg}(\text{OH})_2$ w wyniku, której powstaje azotan magnezowy $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. W metodzie katalitycznej gazy odlotowe zawierające tlenki azotu są traktowane gazowym amoniakiem. Następuje redukcja tlenków do wolnego azotu. Na katalizatorze następuje też utlenianie amoniaku tlenem z gazów odlotowych do azotu. Obecnie stosowane są za granicą urządzenia umożliwiające jednoczesne usuwanie tlenków azotu i tlenków siarki z gazów odlotowych [26].

2.9.3. Usuwanie innych zanieczyszczeń powietrza.

Powietrze z par rozpuszczalników organicznych można oczyścić przez: katalityczne spalanie na warstwie katalizatora platynowego, miedziowego lub miedziowo-cynkowego, spalanie płomieniowe w temperaturze 700 °C przy użyciu gazu ziemnego, adsorpcję na węglu aktywnym. Jako produkty otrzymujemy CO₂ i H₂O (para wodna). Powietrze przepływa przez adsorber wyłożony węglem aktywnym, na którym zostają zaadsorbowane pary rozpuszczalników. Regeneracja złoża węglowego polega na bezpośrednim ogrzaniu go przepływającą parą wodną o temperaturze ca 200 °C. Desorbowane rozpuszczalniki wraz z parą wodną przechodzą do kondensatora, gdzie następuje wykraplanie i rozdzielanie pary wodnej i rozpuszczalników. Zmniejszenie ilości gazów spalinowych z samochodów nastąpi przez wprowadzenie samochodów napędzanych energią elektryczną czerpaną z akumulatorów.

Oczyszczanie powietrza z mikroorganizmów prowadzi się metodami, jak: zastosowanie wysokich temperatur, wysokich ciśnień, naświetlanie promieniami ultrafioletowymi, działanie substancjami chemicznymi, filtracja przy użyciu filtrów biologicznych (wymiary bakterii 0,5 – 40 μm, wirusów 0,1 – 0,001 μm), elektrostatyczne oddzielanie zanieczyszczeń biologicznych.

2.10. Wyniki badań zanieczyszczeń powietrza w niektórych rejonach Polski.

Wobec podjęcia i podpisania przez Polskę międzynarodowych umów zaczęto prowadzić w naszym kraju politykę proekologiczną stwarzając jednolity system monitoringu. Niezbędnym do tego celu środkiem było przyjęcie metodyki CORINAIR dla oznaczenia CO₂ i innych gazów cieplarnianych, jako narzędzia do szacowania emisji zanieczyszczeń dla celów:

- raportowania zgodnie z konwencją dotyczącą rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń na dalekie odległości (LRTAP),
- raportowania dla gazów cieplarnianych, zgodnie z wymogami konwencji o ochronie klimatu.

Dla Europy przyjęto 1990 rok jako rok bazowy do porównań przyszłych i przeszłych zmian emisji zanieczyszczeń do powietrza. Firma "Atmoterm" z Opola, której pracownica W. Pazdan [31] jest krajowym ekspertem CORINAIR mianowaną przez Komisję Wspólnoty Europejskiej na to stanowisko, wykonała inwentaryzację emisji zanieczyszczeń w metodzie CORINAIR i przedstawiła raport w języku angielskim "POLAND CORINAIR'90" przekazując go do Brukseli do Dyrektoriatu Środowiska Komisji Unii Europejskiej CECDGXI oraz do Departamentu Ochrony Powietrza i Powierzchni Ziemi MOSZNiL (obecnie: Ministerstwo Środowiska) w Warszawie. Podane dalej wartości pochodzą z materiałów firmy "Atmoterm" opublikowanych przez W. Pazdan [31].

W systemie CORINAIR stosuje się podział na 11 sektorów (grup) analizy źródeł powstawania emisji zanieczyszczeń powietrza, jak:

1. elektrownie, elektrociepłownie i ciepłownie zawodowe,
2. ciepłownie i kotłownie lokalne i osiedlowe,
3. procesy spalania w przemyśle,
4. procesy produkcyjne,
5. wydobycie i dystrybucja paliw,
6. zastosowanie rozpuszczalników,
7. transport drogowy,
8. inne pojazdy i urządzenia,
9. zagospodarowanie i unieszkodliwienie odpadów,
10. rolnictwo,
11. przyroda.

W inwentaryzacji obowiązuje 8 grup zanieczyszczeń:

1. SO₂ dwutlenek siarki jako suma SO₂ i SO₃,
2. NO₂ dwutlenek azotu jako suma NO₂ i NO₃,
3. NMVOC nie metanowe lotne związki organiczne, jako grupa związków węgla, lotnych w warunkach normalnych, do których wchodzi też halony i freony.
4. CH₄ metan,
5. CO tlenek węgla,
6. CO₂ dwutlenek węgla,
7. N₂O podtlenek azotu,
8. NH₃ amoniak.

W metodyce występują dwa typy emitorów:

LPS – duże źródła punktowe,

AS – źródła powierzchniowe.

2.10.1. Rezultaty badań.

W 1990 w Polsce zużyto ogółem paliw 4140976027 (GJ) tj. 100 %:

W tym paliw stałych 70,59 % tj. 2993053998 (GJ)

paliw ciekłych 15,37 % tj. 636342995 (GJ)

paliw gazowych 14,4 % tj. 581579034 (GJ).

Emisja zanieczyszczeń spowodowanych przez poszczególne sektory:

Tabela 2.5.

Sektor	Wielkość w [Mg]							
	SO ₂	NO _x	NMVOC	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃
1.	1588950	492620	2320	2320	68020	1544450	14620	940
2.	443940	43410	991140	93760	1343340	62630	4230	210
3.	1005630	348260	10620	16100	3389450	147340	6090	310
4.	93710	75290	88330	8960	122470	3890	12620	35390
5.	0	0	51360	2914060	0	0	0	0
6.	1	0	230080	0	0	0	0	0
7.	75420	243110	2047690	4120	2132890	19580	720	140

8.	64820	159090	72710	1120	89780	11670	320	20
9.	750	83450	168710	813970	224980	2080	1540	43130
10.	0	0	34130	1861090	0	0	93600	458470
11.	0	510	290100	391520	17970	13290	21320	42320
Razem:	3273220	1445740	1295190	6107020	7388900	414930	155060	580930

Udział emisji z Polski w emisji Europy przedstawia się następująco dla poszczególnych substancji:

- 1) amoniak – 10,1 %, inne państwa 89,9 %,
- 2) podtlenek azotu 8,2 %,
- 3) dwutlenek węgla 8,7 %,
- 4) tlenek węgla 10,5 %,
- 5) metan 13,4 %,
- 6) niemetanowe lotne związki organiczne 6 %,
- 7) tlenek azotu 8 %,
- 8) dwutlenek siarki 11,7 %.

W skali Europy Polska zajęła miejsce w emisji zanieczyszczeń:

- 1) SO₂ – 3 miejsce po Niemczech i W. Brytanii,
- 2) NO_x – 5 miejsce po Niemczech i W. Brytanii, Włoszech i Francji,
- 3) NMVOC – 6 miejsce po Niemczech, Francji, W. Brytanii, Włoszech i Hiszpanii,
- 4) CH₄ – 1 miejsce,
- 5) CO – 4 miejsce po Francji, Niemczech i Włoszech,
- 6) CO₂ – 5 miejsce po Niemczech i W. Brytanii, Włoszech i Francji,
- 7) N₂O – 6 miejsce po Francji, Niemczech, Grecji, W. Brytanii, i Hiszpanii,
- 8) NH₃ – 3 miejsce po Niemczech i Francji,

Według podziału terytorialnego w 1990 roku emisja zanieczyszczeń wynosiła w województwie opolskim [Mg]:

- 1) SO₂ – 53 000,
- 2) NO_x – 53 000,
- 3) NMVOC – 49 000,
- 4) CH₄ – 53 000,
- 5) CO – 53 000,
- 6) CO₂ – 53 000,
- 7) N₂O – 53 000,
- 8) NH₃ – 20 000.

Województwo Opolskie należy do trzeciej grupy pod względem emisji SO₂, CO, czwartej grupy emisji: NO_x, NMVOC, CH₄, CO₂, N₂O, NH₃. Grupy pierwsza i druga oznaczają mniejsze stężenie emitowanych zanieczyszczeń. Województwo Katowickie zostało zaliczone do czwartej grupy przy emisji wszystkich ośmiu zanieczyszczeń.

2.11. Zanieczyszczenie fizyczne powietrza.

Należą do nich hałas, promieniowanie, radioaktywne wibracja, fale elektromagnetyczne. Hałasem nazywamy każdy niepożądany i nieprzyjemny dźwięk dochodzący do narządu słuchu. Dokuczliwość i szkodliwość hałasu zależy nie tylko od wysokiego tła natężenia dźwięku, ale i od występowania dźwięków o charakterze impulsywnym. Głosem nazywa się zjawisko wyczuwalne zmysłem słuchu, polegające na rozchodzeniu się fali podłużnej, sprężystej w powietrzu lub innym środowisku. Ucho ludzkie rozróżnia jedynie fale głosowe w granicach częstotliwości od 16 do 30 razy/sek. (13 – 30 Hz) do około 20000 razy/sek. (20 kHz). Drgania o częstotliwości ponad 20 kHz nazywamy ultradźwiękami, o częstotliwości mniejszej od 16 Hz infradźwiękami. Te są niesłyszalne dla człowieka. Ultradźwięki wykazują wiele właściwości, których fale głosowe nie posiadają. Można je skupić w wąskie wiązki kierunkowe. Można je wytwarzać w dużych natężeniach dzięki czemu mogą być nośnikami dużych ilości energii. W substancjach przez które przechodzą, powodują powstawanie silnych zagęszczeń i rozrzedzeń w odstępach równych połowie długości fali. Ultradźwięki są stosowane w technice do określania współczynnika sprężystości, do pomiaru głębokości mórz, wykrywania uszkodzeń w materiałach, do przyspieszania reakcji chemicznych, do wykrywania łodzi podwodnych w morzu oraz wykrywania ławic ryb. Również mają zastosowanie w biologii i medycynie. U niektórych zwierząt powodują przyspieszenie bicia serca, a długo działając są zabójcze dla bakterii, owadów i zwierząt. W mięśniach i nerwach fale ultradźwiękowe wywołują trwałe uszkodzenie, mogą niszczyć białe i czerwone krwinki i zmienić strukturę komórek. Ucho odróżnia najlepiej dźwięki o częstotliwości od 1 do 5 kHz. Fale akustyczne rozchodzą się w powietrzu kuliście we wszystkich kierunkach. Ich

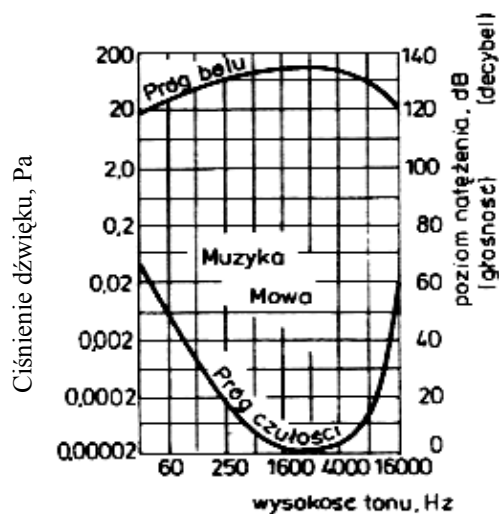
energia i natężenie dźwięku w różnych punktach zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości od źródła dźwięku. W każdym dźwięku ucho rozpoznaje trzy charakterystyczne cechy: natężenie, wysokość i barwę. Natężenie dźwięku zależy od wartości amplitudy drgania, od właściwości przewodnika (ośrodka) fal i od kąta ustawienia powierzchni odbierającej dźwięk do kierunku rozchodzenia się dźwięku. Wysokość dźwięku zależy od częstotliwości drgań. Fizyczną miarą wysokości dźwięku jest częstotliwość tj. liczba drgań w ciągu jednej sekundy. Jednostką częstotliwości jest jeden herc ($1\text{Hz} = 1$ cykl). Barwa dźwięku zależy od źródła. Dźwięki o tej samej wysokości wydawane przez różne źródła (np. skrzypce, trąbka) różnią się między sobą wskutek nałożenia się na ton podstawowy wyższych tonów harmonicznym, co powoduje zniekształcenie fali podstawowej charakterystycznej dla danego dźwięku.

Ze słyszalnością głosu (dźwięku) wiążą się dwa pojęcia: wielkość natężenia fali dźwiękowej tj. energii, jaką ta fala niesie ze sobą w zależności od amplitudy drgań i subiektywna wielkość natężenia słuchowego odbieranego przez narząd słuchu. Wrażenia słuchowe zależą nie tylko od natężenia głosu ale i od czułości ucha, która jest różna dla różnych częstotliwości.

Natężeniem dźwięku nazywamy ilość energii, jaka jest przenoszona w ciągu jednej sekundy przez 1 m^2 powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali. Jednostką natężenia dźwięku jest 1 W/m^2 . Czułość ucha jest bardzo duża, może ono słyszeć tony o natężeniu 10^{-11} W/m^2 .

Progiem słyszalności nazywamy najniższą wartość energii danej fali głosowej, o ustalonej częstotliwości drgań, przy której ucho zaczyna słyszeć głos.

Progiem bólu nazywamy taką wartość energii głosowej, przy której ucho zaczyna odczuwać ból. Próg słyszalności i próg bólu zależą od częstotliwości drgań i czułości ucha. Rozpiętość między nimi jest bardzo wielka i dochodzi do 10^{12} Hz. Czułość ucha zmienia się dla tonów o różnych częstotliwościach. Dolny próg słyszalności wyznaczają najniższe natężenia, przy których dźwięk jest słyszalny. Najwyższe natężenie głosu, przy których dźwięk jest jeszcze słyszalny, ale wiąże się z nim wrażenie bólu. Jest to górny próg słyszalności, czyli próg bólu. Po przekroczeniu tej wartości natężenia następuje uszkodzenie organu słuchu. Obszar między dolną a górną granicą słyszalności jest obszarem słyszalności.



Rys. 2.6. Obszar słyszalności ucha ludzkiego wg [11].

Ucho jest najczulsze dla częstotliwości około 3000 Hz, słyszy tony o natężeniu słabszym niż 10^{-11} W/m². Dla częstotliwości najniższych około 35 Hz ucho jest około 100 mln., a dla częstotliwości najwyższych około 20 kHz, około 100 tysięcy razy mniej czułe niż dla częstotliwości 3000 Hz. Ucho ludzkie potrafi rozróżnić około 300 tys. tonów, których częstotliwości różnią się o ułamki procenta. Zależność między słyszalnością, a natężeniem dźwięku ujemuje równanie:

$$\lambda = c \log J$$

λ – głośność, wrażenie słuchu,

c – stała,

J – natężenie dźwięku.

Posługujemy się nie wartością bezwzględną J , lecz względną opartą na stosunku J/J_0 , w którym J_0 oznacza natężenie początkowe czyli zerowe. Przyjmuje się, że J_0 jest progiem słyszalności, zaś próg bólu natężeniem maksymalnym J_m , stąd:

$$\lambda = c \log \frac{J}{J_0}.$$

Stosunek natężenia J_m/J_0 wynosi 10^{12} . Logarytmiczną skalę natężenia dźwięku podzielono na 12 części i jako jednostkę przyjęto 1/12 skali, nazywając ją belem. Bel jest logarytmem dziesiętnym stosunku natężenia głosu J_m/J_0 . Z określenia logarytmu wynika, że bel określa wykładnik potęgi, do której należy podnieść liczbę 10, aby otrzymać wartość wyrażenia J/J_0 , gdzie J_0 – próg słyszalności.

Zatem dla 1 bela - $J_1/J_0=10=10^1$,

dla 2 bel - $J_1/J_0=100=10^2$,
 dla 3 bel - $J_1/J_0=1000=10^3$,
 dla n bel - $J_1/J_0=10^n$.

Jednostką mniejszą od bel jest 1decybel [dB]=0,1bel.

Dla określenia głośności wprowadzono jednostkę wzorcową, ton o częstotliwości 1000 Hz/s, względem której wyznacza się wrażenie subiektywne ucha, dla innych tonów, przyjmując dla jednostki wzorcowej próg słyszalności $J_0=10^{-12}$ W/m². Głośność innych tonów [dB] wyraża się :

$$\lambda = 10 \log \frac{J}{J_0}.$$

Przy natężeniu tonu 10^{12} razy większym od jego słyszalności, głośność odpowiada 12 belom, czyli 120 decybelom. Hałas jest mieszaniną (zbiorowiskiem) dźwięków o różnych częstotliwościach. Zalecenie normalizacji międzynarodowej i krajowej nakazują przy określaniu hałasu posługiwanie się jednostką poziomu dźwięku wyrażoną w dB(A). Poziom dźwięku jest korygowany poziomem ciśnienia akustycznego, w celu przybliżenia wyniku pomiaru do właściwości odczucia dźwięku przez organ słuchu. Do pomiaru poziomu dźwięku (hałasu) stosuje się mierniki posiadające mikrofon i odpowiednio wycechowaną skalę. Przy pomiarach używa się korektorów o charakterystycznych częstotliwościach, oznaczonych literami A,B,C. Zależnie od rodzaju użytego korektora poziom dźwięku oznacza się jako dB(A), dB(B), dB(C). Wg skali międzynarodowej przyjmuje się liczby odpowiadające natężeniu dźwięków pochodzących z różnych źródeł.

- 130 dB – próg bólu. Powyżej 130 dB dźwięk jest tak intensywny, że zamiast go słuchać odczuwa się ból (odpowiada mu hałas silnika odrzutowego słyszany z bliska, start rakiety),
- 120dB – silnik samolotu odrzutowego w odległości 4m,
- 100dB – silnik motocyklowy przy najwyższym natężeniu,
- 90 – 100 dB – maszyny tkackie i dziewiarskie,
- 80dB – głośna muzyka radiowa w zamkniętym pomieszczeniu,
- 75dB – samochód ciężarowy,
- 60dB – maszyna do pisania, samochód osobowy,
- 50dB – hałas uliczny,
- 30dB – spokojna ulica,
- 10dB – szelest liści przy łagodnym wietrze, szept,
- 0dB – próg słyszalności. Można go uzyskać jedynie w laboratorium, gdzie wymagana jest idealna cisza i w przestrzeni międzyplanetarnej.

Uwzględniając uciążliwości i szkodliwość dla zdrowia podzielono hałasy na dwie grupy:

- a) hałasy o poziomie poniżej 35 dB(A) – nieszkodliwe dla zdrowia,

b) hałasy o poziomie powyżej 35 dB(A) – szkodliwe dla zdrowia, działają na układ nerwowy. Stopień szkodliwości zależy od poziomu hałasu.

Hałas wywołuje u człowieka uczucie głębokiego niezadowolenia, protestu psychicznego, krzywdy i działa deprymująco na psychikę. Ludzie pracujący lub mieszkający w hałaśliwym otoczeniu wykazują zwiększoną podatność na choroby serca, chorobę wrzodową żołądka, nerwicę, zakłócenie snu, gorsze samopoczucie i choroby psychiczne. Skutki szkodliwości hałasu są uzależnione od indywidualnej wrażliwości osób i okoliczności występowania hałasu. Polska norma PN-70/B-02151 “Akustyka Budowlana” określa dopuszczalny poziom hałasu w ciągu dnia 35 – 50 dB(A) i 30 – 35 dB(A) w ciągu nocy. Według kryteriów Międzynarodowej Organizacji Standardów za dopuszczalne poziomy hałasu zewnętrznego otrzymuje się wartości: dla terenów o zabudowie niskiej typu osiedlowego 45-55 dB(A) w dzień i 35 – 45 dB(A) w nocy.

Hałas jest problemem nie tylko dla zakładów przemysłowych, ale czynnikiem dokuczliwym dla ludności w miastach. Za dokuczliwy hałas uznajemy, hałas wywołany przez samochody, tramwaje, pociągi i samoloty. W mieście występują też hałasy wewnątrz osiedlowe oraz hałasy wewnątrz budynków mieszkalnych spowodowane wadliwym funkcjonowaniem instalacji wodnokanalizacyjnych, c.o., hydroforów, dźwigów i zsyków. Poziom hałasu od instalacji i urządzeń w budynku może wynosić w ciągu dnia od 30 do 40dB(A), nocą zaś od 25 do 30dB(A). Istnieją dwa sposoby walki z hałasem. Pierwszy polega na zmniejszeniu głośności samych źródeł, drugi na ograniczeniu rozchodzenia się hałasu w środowisku. W związku z tym trasy komunikacyjne powinny przebiegać z dala od osiedli mieszkaniowych. Odległość linii komunikacyjnej od budynków mieszkalnych winna wynosić 100 m lub należy stosować budynki ochronne, jak: sklepy, magazyny, garaże. Częściowo zmniejszają poziom hałasu pasy zieleni wzdłuż tras komunikacyjnych, o 5-10 dB(A). Arterie komunikacyjne winny być umieszczone w wykopach. Należy wyodrębnić trzy strefy: miejsce pracy, miejsce zamieszkania i miejsce wypoczynku, w których będą inne normy dopuszczalnego poziomu hałasu.

Najlepsze efekty zwalczania hałasu i wibracji pochodzenia komunikacyjnego można osiągnąć przez:

- ograniczenie ruchu pojazdów,
- poprawę stanu nawierzchni ulic i torowisk,
- modernizację konstrukcji wytwarzanych pojazdów mechanicznych (samochody osobowe, ciężarowe, autobusy, tramwaje,
- wprowadzanie urządzeń przeciwhałasowych w pojazdach mechanicznych (izolacja akustyczna, udoskonalane tłumiki wydechu, wtórny obieg spalin),
- prowadzenie linii komunikacyjnych w wykopach tunelach albo tworzenie wokół tras już istniejących barier, ekranów osłon dźwiękochłonnych,
- wykorzystywanie naturalnych barier akustycznych jak depresje, wzniesienia w terenie, fragmenty zalesień, zadrzewień,

- stosowanie w budownictwie konstrukcji i materiałów stanowiących barierę dla hałasu i wibracji (płyty, okna, drzwi, ściany, ściany dźwiękochłonne),
- właściwe rozwiązania akustyczne w planowaniu przestrzennym miast, osiedli, tworzenie obwodnic i objazdów wokół miast,
- poprawianie układu dróg i równomierne ich rozmieszczenie.

Ochronę przed hałasem i wibracjami przemysłowymi można realizować przez:

- wprowadzanie w zakładach przemysłowych tłumików akustycznych, ochronników słuchu (wkładek, nauszników, hełmów ochronnych),
- dobór mało hałaśliwej technologii produkcji, mało hałaśliwych maszyn, urządzeń, instalacji oraz środków transportu,
- zastosowanie automatyzacji, robotyzacji i hermetyzacji produkcji hałaśliwej, szczególnie uciążliwej dla środowiska,
- wykonywanie zabezpieczeń antywibracyjnych i przeciwhałasowych w postaci fundamentów, drzwi, okien, ekranów dźwiękochłonnych,
- stosowanie obudów dźwiękochłonnych na hałaśliwe urządzenia i maszyny oraz wibroizolatorów w postaci podkładek pod urządzenia,
- wykorzystywanie płyt dźwiękochłonnych z wełny mineralnej, pianki poliuretanowej, folii polietylenowej, gumy piankowej,
- optymalizację warunków pracy (właściwa odzież ochronna, skrócony do 6 godzin czas pracy, profilaktyka lekarska),
- stworzenie odrębnych norm dopuszczalnego hałasu w strefie pracy, w strefie zamieszkania oraz w miejscu wypoczynku,
- wprowadzenie systemu powszechnej atestacji akustycznej technologii i środków produkcji oraz urządzeń i instalacji technicznych zgodnie z wymaganiami norm dopuszczalnych poziomu hałasu i wibracji.

3.0. Hydrosfera

3.1. Wody mórz i oceanów.

Wodną powłokę Ziemi nazywamy hydrosferą. Woda skupia się w skałach, w rzekach i jeziorach oraz głównie w oceanach i morzach. Powierzchnia mórz i oceanów wynosi 361 mln km² i zajmuje 70,5% powierzchni globu. Wody mórz i oceanów obejmują 96,5 % całości hydrosfery. Woda morska zawiera średnio 35 ‰ soli, ma niższy punkt zamarzania, większe przewodnictwo elektryczne i większe ciśnienie osmotyczne niż woda słodka. Wody na lądach obejmują tylko 2 % masy hydrosfery. Woda morska ma zdolność wytrącania zawieszin przyniesionych przez rzeki. Wywołują to głównie: chlorek magnezu i siarczan wapnia zawarte w wodzie morskiej. Większość mętów przynoszonych przez rzeki do morza wytrąca się przy brzegu. Woda jest uniwersalnym rozpuszczalnikiem i największą gęstość osiąga czysta woda w temperaturze ~ 4 °C. Na dnie jezior gromadzi się woda o tej temperaturze, a powierzchniowa lżejsza jej warstwa zamarza. Woda morska słona wykazuje temperaturę zamarzania –2 °C i zwiększa swą gęstość, aż do punktu zamarzania. Na dnach oceanów polarnych spotykamy wodę o temperaturze –1,7°C. Skład wody morskiej podaje tabela 3.1. (wg Greena 1959) [29].

Skład wody morskiej wg [29] Tabela 3.1.

Składnik	% wag.	Składnik	% wag.
Tlen O	85,70	Węgiel C	0,0028
Wodór H	10,80	(HCO ₃)	0,014
Chlor Cl	1,90	Brom Br	0,0065
Sód Na	1,05	Stront Sr	0,0008
Siarka S	0,09	Bor B	0,00048
(SO ₄)	0,25	Krzem Si	0,0003
Magnez Mg	0,13	Fluor F	0,00013
Wapń Ca	0,04	Lit Li	0,00002
Potas K	0,038	Rubid Rb	0,000012

Skład procentowy ważniejszych składników w jonach i zawartość soli w gramach zawartych w 1kg wody morskiej podaje tabela 3.2.

Zawartość soli w wodzie morskiej, wg [29]

Tabela 3.2.

Skład procentowy w jonach				Zawartość soli w 1 kg wody morskiej, [g]; (udział soli [%])			
Cl	55,29	Na	30,59	NaCl	27,21 (77,8)	K ₂ SO ₄	0,86 (2,5)
Br	0,19	K	1,11	MgCl ₂	3,81 (10,9)	CaCO ₃	0,12 (0,3)
SO ₄	7,69	Ca	1,20	MgSO ₄	1,66 (4,7)	MgBr ₂	0,08 (0,2)
CO ₃	0,21	Mg	3,72	CaSO ₄	1,26 (3,6)	Ogółem	35,00 100)

Woda morska zawiera jeszcze wiele innych pierwiastków, w niewielkiej ilości, jak: J, F, Si, Br, As, Zn, Fe, Mn, Al, Sr, Au i inne. Niektóre z nich występują w większych ilościach w organizmach morskich np. jod występuje w dużej ilości w glonach morskich, krzem stanowi tworzywo szkieletów radiolari, okrzemek i gąbek. Szkielety niektórych radiolari zbudowane są ze strontu. Zasolenie mórz wykazuje wahania. Na równiku, gdzie padają deszcze zenitalne, jest ono mniejsze; większe na zwrotnikach i maleje ku biegunom. Wskutek wysokiej temperatury i silnego parowania Morze Śródziemne ma duże zasolenie, a szczególnie Morze Czerwone (40 ‰). Inne morza np. Bałtyk mają zasolenie bardzo małe (w okolicy Helu 7 ‰), a woda Zatoki Botnickiej ma niemal charakter wody słodkiej. Wpływa na to chłodny klimat i duża ilość słodkich wód z rzek. Różnice w zasoleniu powodują powstanie prądów wyrównawczych, np. dołem z Morza Śródziemnego płynie prąd słonej wody do Atlantyku, zaś górą przedostaje się słabo zasolona woda z Atlantyku do niego. Wierzchem odpływa słabo zasolona woda z Bałtyku do Morza Północnego, natomiast dołem płynie ciężka, słona woda do Bałtyku. Istnienie życia organicznego w morzach zależy od głębokości, do której dochodzi światło. O głębokości decyduje w dużym stopniu zawiesina zawarta w wodzie morskiej. Gdy zawiesina występuje w znacznej ilości woda morska ma kolor zielony, natomiast czysta woda jest niebieska. Kolor niebieski oznacza wodę morską pozbawioną planktonu. Promienie słoneczne ulegają w wodzie nierównomiernej absorpcji. Promienie żółte zostają w połowie zaabsorbowane już na głębokości 1m. Tylko część promieni słonecznych padających na powierzchnię oceanu przenika w głąb, a część ich ulega odbiciu. Ilość odbitego światła i ile światła przeniknie w głąb zależy od kąta padania promieni słonecznych. Im większy jest ten kąt, tym mniej energii świetlnej odbija się od powierzchni i więcej jej przenika w głąb oceanu. Przy pionowym padaniu promieni słonecznych do wody przenika około 98 % padającego na jej powierzchnię promieniowania, przy kącie padania 0 °C (Słońce znajduje się na horyzoncie), – promienie

ulegają niemal całkowitemu odbiciu). Strumień światła przenikający do wody morskiej ulega osłabieniu w wyniku selektywnego pochłaniania i rozpraszania. Najbardziej pochłaniane jest światło czerwone, którego zasięg ogranicza się tylko do głębokości 15 – 20 m, światło żółte dochodzi do 100 m., a światło zielone do 250 m. Największy zasięg mają promienie niebieskie i zielononiebieskie. Głębokość przenikania światła jest ograniczona przez mętność ośrodka, wywołaną obecnością zawiesin w wodzie i ma na nią wpływ także zasolenie wody morskiej. Istnieje zależność między barwą wody morskiej, a jej przezroczystością. Poszczególne kolory wody morskiej określają jej przezroczystość:

- szafirowa 35 m,
- niebieska 27 m,
- zielononiebieska 18 m,
- niebieskozielona 12 m,
- zielona 9 m,
- brunatna 2 m.

Maksymalna głębokość, do której dochodzą promienie fotochemicznie czynne wynosi 600 m. Zupełny zanik światła występuje na głębokości 1700 m. Przez cały dzień otrzymuje światło tylko górna 300 metrowa warstwa wody. Plankton roślinny utrzymuje się tylko do 350 m głębokości. Flora asymilująca żyje w górnej 80 metrowej warstwie, a poniżej 80 m żyją już tylko nieliczne okrzemki. Wody prześwietlone (strefa fotyczna) dzieli się na warstwy: eufotyczną i dysfotyczną. Warstwa eufotyczna to w pełni prześwietlone wody powierzchniowe, w których zachodzą procesy fotosyntezy. Powstaje w niej materia organiczna i jest wydzielany tlen. Zasięg tej warstwy zmienia się od kilku metrów w zanieczyszczonych wodach przybrzeżnych do około 100 m w skrajnie ubogich wodach oceanicznych. Warstwa dysfotyczna znajduje się tylko w zasięgu światła rozproszonego i sięga do głębokości 350 m – 450 m. Poniżej zalegają ciemne wody afotyczne. Morza o barwie zielonej są obszarami biologicznie produktywnymi.

Woda morska zawiera dużo tlenu. Część jego pochodzi z atmosfery, a część wytwarzają rośliny. W powietrzu stosunek tlenu do azotu wynosi 21:79, a w wodzie morskiej jest on korzystniejszy dla tlenu, którego ilość rośnie do 30 – 35%. Ilość tlenu spada ze wzrostem temperatury wody. W litrze wody przy 0 °C rozpuszcza się 10,19 cm³ tlenu, przy 10 °C – 7,87 cm³, przy 20 °C – 6,36 cm³. Ze wzrostem zasolenia maleje ilość tlenu. Cyrkulacja wody wpływa na zawartość tlenu w wodzie morskiej. Woda powierzchniowa nasycona tlenem zstępuje w głąb i woda morska aż do największych głębokości zawiera tlen niezbędny do utrzymania życia organicznego. Szczątki organiczne opadłe na dno zostają utlenione i nie następuje zatrucie wody siarkowodorem. W Morzu Czarnym, gdzie nie ma takiej cyrkulacji, nie istnieje życie organiczne, a w strefie przydennej pojawia się H₂S. W wodzie morskiej znajdują się znaczne

ilości CO₂. Jest on częściowo w postaci wolnej, a częściowo związany w formie węglanów. Ogólna zawartość CO₂ w wodzie morskiej wynosi ponad 45 cm³/dm³, z tego jedynie około 0,3 cm³ przypada na wolny CO₂, reszta występuje w postaci węglanów. Jego ilość wzrasta ze spadkiem temperatury. Zimne wody obszarów arktycznych, które mogą pochłaniać więcej CO₂ wykazują niedosyt tego gazu. Wody tych obszarów są nienasycone CaCO₃. Gdy wody z zimnych obszarów dostaną się w obszary cieplejsze, gdzie zmniejsza się rozpuszczalność CO₂, następuje przesycenie wody węglanem wapnia, i wtedy wytrąca się on bezpośrednio z wody morskiej. W ten sposób powstają osady wapienne w wyniku bezpośredniego wytrącenia z wody morskiej. Cała zawartość CO₂ w wodzie morskiej jest 25 razy większa od jego zawartości w atmosferze. Dla rozwoju świata organicznego ma znaczenie rozmieszczenie temperatur wody. W morzach zachodzą złożone procesy cieplne. Głównym źródłem ciepła powierzchniowej warstwy wody jest promieniowanie słoneczne (bezpośrednie i rozproszone). Mniejsze znaczenie mają też: ciepło wód lądowych, ciepło opadów atmosferycznych (opady cieplejsze niż powierzchniowa warstwa wody na obszarze ich występowania), ciepło uzyskane w efekcie wymiany wód (ciepłe prądy morskie). Dzięki dużej pojemności cieplnej wody morskie pochłaniają rocznie około 29,7 x 10¹⁹ kcal energii słonecznej tj. blisko 80% promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi. Połowę promieniowania pochłania powierzchniowa warstewka wody grubości 1 cm, a na głębokość 40 m dociera tylko 10 % tego promieniowania. Dopływowi ciepła do wód towarzyszy jego ubytek wskutek wypromieniowania z powierzchni oceanu (około 80% pochłanianej przez ocean energii słonecznej jest zużywane na parowanie) i turbulentnej wymiany z atmosferą. Temperatura wody morskiej zależy od ogrzania jej przez Słońce. Do ogrzania 1 cm³ wody o 1 °C potrzeba 0,93 cal, a do ogrzania 1 cm³ piasku tylko 0,6 cal., czyli o 1/3 mniej. W obiegu ciepła w oceanie odgrywają rolę ruchy adwekcyjne zachodzące w wodzie. Wskutek małego przewodnictwa cieplnego ogrzewanie lub oziębianie głębiej leżących warstw wody odbywa się głównie przez mechaniczne mieszanie wód wywołane falowaniem, pływami oraz prądami morskimi. Średnie temperatury roczne wód powierzchniowych oceanu wynoszą +17,4 °C (na półkuli północnej +19,2 °C, na półkuli południowej +16 °C) i są o 3 °C wyższe od temperatury lądów. Wody powierzchniowe Oceanu Spokojnego mają średnią roczną temperaturę +18,3 °C, Oceanu Indyjskiego +17 °C, Oceanu Atlantyckiego +16,9 °C. Wartość średniej rocznej temperatury wód powierzchniowych zmienia się od +35 °C w zatokach i morzach strefy równikowej do -1,9 °C w morzach strefy polarnej. Temperatury powierzchniowe wody morskiej rosną ku równikowi, osiągając tam wartość 28 °C, która prawie nie ulega zmianie w ciągu roku. Ku północy i południowi temperatury spadają i jednocześnie rośnie amplituda ich wahań. Roczne amplitudy temperatury dochodzą w strefie zwrotnikowej do 2,6 °C, w średnich

szerokościach geograficznych do 4–8 °C (w morzach szelfowych np. u południowych wybrzeży Bałtyku dochodzą do 17–18 °C). Dobbowe amplitudy temperatury w wodach otwartych sięgają do 0,2 °C, w wodach przybrzeżnych do 1–2 °C. Najwyższe temperatury notujemy w niektórych morzach zamkniętych i otoczonych rozpalonym kontynentem np. w Morzu Czerwonym. Temperatura wód morskich obniża się wraz z głębokością, z wyjątkiem obszarów arktycznych, gdzie wzrasta. Do głębokości kilkudziesięciu metrów na równiku i do około 100 m w średnich szerokościach geograficznych powierzchniowa warstwa wody morskiej dzięki dobremu wymieszaniu jest mniej więcej jednorodna termicznie. Poniżej temperatura wody zaczyna gwałtownie spadać (jest to strefa termokliny) do głębokości 1000 – 1200 m. Środek termokliny przypada zwykle w pobliżu izotermi 8-10 °C i leży na głębokości 500 – 1000 m. Termoklina kończy się tam, gdzie temperatura wody spada poniżej 5 °C. Poniżej głębokości 1500 m temperatura wody jest prawie stała. W większych głębiach temperatury spadają szybko, różnice między szerokościami geograficznymi wyrównują się. Na dnie oceanów panują równomierne temperatury, średnio –1 do +3 °C, bez względu na szerokość geograficzną, co jest wywołane wielką gęstością słonej wody. W morzach, gdzie brak swobodnego połączenia z oceanem panują odmienne stosunki. W Morzu Śródziemnym aż do dna panuje temperatura 12,7°C; morze to jest odcięte od Atlantyku podwodnym progiem uniemożliwiającym swobodną komunikację z oceanem. Woda oziębiająca się zimą do temperatury 12,7 °C opada w Morzu Śródziemnym na dno wypierając wodę cieplejszą. Z upływem czasu cały basen Morza Śródziemnego zapełnił się wodą o tej temperaturze, która odpowiada temperaturze na wysokości progu. Wnioskujemy stąd, że niskie temperatury dna oceanów są wywołane cyrkulacją wody, która płynie z obszarów polarnych. Początkowo jest to woda powierzchniowa o niskiej temperaturze, która zbliżając się ku obszarom równikowym schodzi w głąb. Ma to ogromne znaczenie, gdyż ta woda powierzchniowa przynosi ze sobą tlen niezbędny dla świata organicznego, który dzięki temu może istnieć nawet w wielkich głębiach oceanu. Wody oceaniczne w całej swej masie są chłodne (średnia temperatura +3,8 °C). W oceanie ciepło gromadzi się w rejonach zwrotnikowych, a jest oddawane w szerokościach umiarkowanych i polarnych. Powoduje to złagodzenie klimatu; w niskich szerokościach geograficznych z oceanu nad ląd przenoszone jest chłodniejsze powietrze, a w wysokich nad kontynenty docierają cieplejsze masy powietrza. Jednocześnie prądy oceaniczne przenoszą ciepło pochłaniane w rejonach zwrotnikowych oceanu w kierunku wysokich szerokości geograficznych, łagodząc klimat stref umiarkowanych i polarnych. Ocean jest głównym akumulatorem ciepła słonecznego; magazynuje około 76×10^{22} kcal. Warstwa 10 cm wód oceanicznych zawiera 4 razy więcej ciepła niż cała atmosfera.

3.1.1. Znaczenie wody.

Woda w przyrodzie nie występuje w stanie czystym – zawsze zawiera różne związki chemiczne: stałe, ciekłe i gazowe. Jest ona składnikiem ciała ludzkiego, zwierzęcego i roślin. Nasiona roślin suszonych na powietrzu zawierają 6,5 – 14 % wody, zielone części roślin 70-80 %, owoce mięsiste 85-95 %, jarzyny 77-93 %, ziemniaki 75-76 %, zwierzęta kręgowce 66-76 %, ryby 42-79 %, ślimaki 85 %, meduzy 98 %. W organizmie człowieka dorosłego występuje 60-65 % wody, u noworodka – 73 %. Osobnik dorosły o ciężarze około 70 kg posiada około 46 litrów wody, w tym we krwi i limfie około 3 – 4 litrów, resztę w postaci układów koloidalnych. W wodzie jest rozpuszczone białko. Woda umożliwia przebieg reakcji biochemicznych w organizmie. W soku komórkowym roślin woda transportuje składniki odżywcze i utrzymuje tkanki w stanie pewnego napięcia tzw. turgor. Utrata 20 % wody przez człowieka powoduje odwodnienie organizmu i śmierć. Woda stanowi środowisko życiowe licznych gatunków zwierząt, makroorganizmów i roślin, jest surowcem konsumpcyjnym dla ludzi i zwierząt lądowych. Człowiekowi służy do utrzymywania higieny osobistej, higieny miast i osiedli. Wskutek procesów życiowych i wyparowywania wilgoci (pot) człowiek dorosły winien uzupełnić straty wody wypijając około 2 litrów wody dziennie.

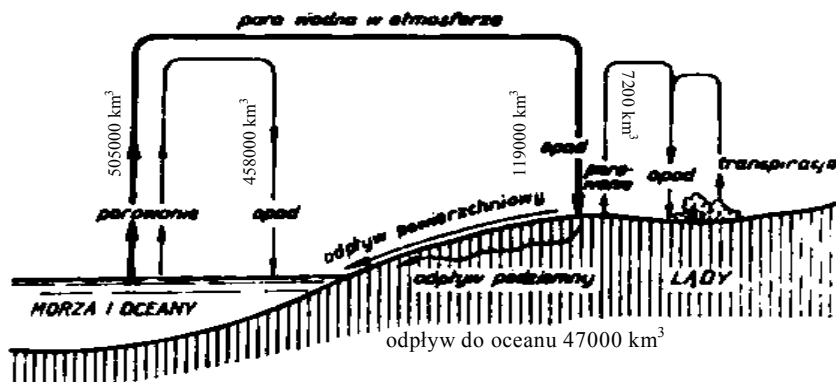
Woda stanowi czynnik regulacji klimatu, powodując łagodne stopniowe zmiany temperatury, decyduje o lokalizacji osiedli ludzkich, służy jako środek transportu i pomaga w usuwaniu nieczystości z miast i osiedli. W przyrodzie spełnia trzy ważne funkcje: jest materiałem budulcowym żywych organizmów, medium transportującym materię (substancje chemiczne w roślinach, substancje zawieszone i rozpuszczone w ciekach) i energię (prądy oceaniczne i cyrkulacja atmosfery) [14]. W gospodarce przemysłowej jest wykorzystywana woda jako surowiec chemiczny np. do otrzymywania wodoru i tlenu, do wyrobu piwa, innych alkoholi i konserw. Służy też do prowadzenia różnych procesów technologicznych w przemyśle i do prac w gospodarstwie domowym. W elektrowniach ciepłych jest stosowana do zasilania kotłów parowych i do celów chłodniczych. W rolnictwie służy do nawadniania upraw i usuwania nieczystości.

3.2. Krążenie wody w przyrodzie.

Pod wpływem aktywności Słońca, obrotu Ziemi i siły ciężenia woda na naszym globie przenikająca atmosferę, hydrosferę i litosferę znajduje się w ciągłym ruchu [18]. Hydrosfera jako wodna powłoka Ziemi obejmuje wody atmosferyczne, powierzchniowe i podziemne w postaci gazowej, ciekłej i stałej. Wody hydrosfery gromadzą się w oceanach, morzach, jeziorach, rzekach, bagnach, pokrywie śnieżnej, lodowcach i zbiornikach wód podziemnych. Zapasy wodne hydrosfery są stałe, nie ulegają zmianie i szacuje się je na około 1,4 mld km³ – tabela 3.3.

Podstawę tych zasobów stanowi woda mórz i oceanów (96,5 %); wody podziemne obejmują 1,7 % zasobów wodnych hydrosfery, 2,3 % stanowią wody występujące na powierzchni lądów, a więc lodowce, stała pokrywa śnieżna, jeziora, bagna i rzeki; 0,001 % zasobów wody hydrosfery występuje w atmosferze w postaci pary wodnej, woda glebowa obejmuje też 0,001 % zasobów wodnych hydrosfery, a 0,0001 część zasobów wodnych hydrosfery stanowi woda występująca w biosferze (tabela 3.4.). Hydrosfera jest głównie powłoką słoną, gdyż tylko 2,5 % jej zasobów wodnych czyli 35 mln km³ stanowią wody słodkie – tabela 3.4. W tej ilości 68,7 % zasobów wód słodkich magazynują lodowce i wieczne śniegi. Drugim co do wielkości zbiornikiem wód słodkich hydrosfery są wody podziemne w strefie aktywnej wymiany, tj. do głębokości około 100 m, które gromadzą 30 % zasobów wód słodkich. Hydrosfera jest w ciągłym ruchu wiążącym jej wszystkie części: oceany, morza, rzeki, jeziora, wilgoć glebową, wody podziemne i wodę atmosferyczną. Zjawisko ciągłego przemieszczania się wody między atmosferą, hydrosferą i litosferą nazywamy krążeniem lub obiegiem wody w przyrodzie. Zachodzi ono w strefie obejmującej troposferę i wierzchnią warstwę skorupy ziemskiej tj. sięga od około 0,8 km litosfery do około 16 km atmosfery i stanowi zamknięty cykl obiegu wody, zwany cyklem hydrologicznym. Najważniejszym czynnikiem powodującym krążenie wody w przyrodzie jest energia cieplna Słońca; dzięki niej zachodzi parowanie i unoszenie cząstek wody w górę do atmosfery. Zmiany atmosferyczne prowadzą do powstawania chmur, a z nich opadów, które pod wpływem siły ciężkości spadają na powierzchnię mórz i lądów. Głównym źródłem dopływu wilgoci do atmosfery są oceany i morza. Po wpływem promieniowania słonecznego woda z powierzchni mórz i oceanów paruje, dostarczając atmosferze wilgoci, która następnie w postaci pary wodnej i chmur jest transportowana z masami powietrza nad kontynenty, gdzie ulega kondensacji (skraplaniu) w postaci opadów atmosferycznych. Z ogólnej sumy opadów prawie 80 % trafia bezpośrednio do oceanów i mórz, tylko 20 % trafia na kontynenty. Z lądów woda wraca częściowo do atmosfery wskutek parowania ze zwierciadła wód śródlądowych, parowania z powierzchni lądów i transpiracji roślin. Część wód opadowych na lądzie spływa powierzchniowo w postaci potoków i rzek z powrotem do oceanów. Inna część wód opadowych wsiąka do gruntu i przenika do wód podziemnych wzbogacając zasoby wód gruntowych i podziemnych. Wody podziemne znajdują się w ruchu i dają odpływ podziemny ku różnym naturalnym odbiornikom wody (źródła, bagna, rzeki, jeziora, morza). Część wód opadowych pobierają rośliny i podlega ona potem transpiracji do atmosfery (rys.3.1).

12,900 km³



Rys. 3.1 Obieg wody w przyrodzie [33]

Część wód opadowych w postaci śniegu, lodu i lodowców (górnich i kontynentalnych) jest zatrzymywana (retencjonowana) na powierzchni i okresowo jest wyłączona z obiegu. W każdym ogniwie obiegu cząsteczka wody przynajmniej dwukrotnie zmienia stan skupienia: z fazy gazowej w ciekłą lub stałą i z powrotem w gazową. Cykl hydrologiczny krążenia składa się z fazy atmosferycznej i fazy kontynentalnej. Faza atmosferyczna obejmuje parowanie wody, przenoszenie pary wodnej w atmosferze i jej kondensację. Faza kontynentalna (lądowa) obejmuje: opad atmosferyczny, odpływ powierzchniowy, wsiąkanie, odpływ podziemny i różne formy retencji wody. W cyklu hydrologicznym rozróżniamy obieg duży tj. obieg wody między oceanem, atmosferą i kontynentem, oraz obieg mały tj. krążenie wody między atmosferą i kontynentem lub atmosferą i oceanem. W małym obiegu woda krąży: ocean (parowanie) – atmosfera (para wodna) – opad do oceanu, lub opad na lądzie – parowanie z lądu – para wodna w atmosferze i ponownie opad na lądzie.

Wody krążące w przyrodzie w ogólnej swej masie pozostają ilościowo bez zmian (obieg zamknięty). Istnieją jednak teorie, które suponują, że wody na globie stale przybywa – należy do nich np. teoria o wodach juvenilnych wydobywających się po raz pierwszy na powierzchnię Ziemi z jej wnętrza [5]. Według Pencka [5] przychód wód juvenilnych w ciągu 1000 lat może podnieść poziom oceanów o 2,8 mm. Teoria hydrogenezy, wysunięta ostatnio przez brytyjskiego astrofizyka de Turwille'a, mówi, że Słońce wysyła stale gazowe strugi protonów tj. dodatnio naładowanych jąder atomów wodoru; nasilenie tego procesu jest szczególnie duże w okresie wzmożonej aktywności Słońca. W skomplikowanym mechanizmie działania pola magnetycznego Ziemi i pasów van Allena protony te po znalezieniu się w atmosferze Ziemi wchodzi w reakcję chemiczną z tlenem tworząc cząsteczki wody [16]. Według obliczeń od początku istnienia globu ziemskiego (4 mld lat) ilość powstałej na tej drodze wody jest mniej więcej równa objętości wszystkich oceanów; jednak przychód

roczny w skali całego globu jest znikomo mały. W praktyce przyjęto, że ilość wody krążącej w przyrodzie na całym globie jest niezmienna, a źródłem wody w cyklu hydrologicznym na globie jest opad. Co roku w dużym obiegu wody uczestniczy około 577000 km^3 wody, co odpowiada około 0,04 % zasobów wodnych hydrosfery (tabela 3.5.). W tej ilości 80% wody biorącej corocznie udział w dużym obiegu wilgoci uczestniczy w małym obiegu wody między oceanem i atmosferą, a 20 % w małym obiegu między atmosferą a kontynentami. Ogólny bilans obiegu wody można przedstawić w postaci prostego równania, które podał Penck:

$$P = H + V$$

gdzie: P - oznacza wielkość opadów,

H – odpływ całkowity,

V – całkowite parowanie z powierzchni lądów i oceanów.

Wartości do tego wzoru są danymi z wieloletnich obserwacji. Bilans wodny globu ziemskiego charakteryzuje równowaga między parowaniem wód a opadem atmosferycznym. Każdą fazę cyklu hydrologicznego można opisać własnym bilansem wodnym. Równanie bilansu wodnego lądowej fazy cyklu hydrologicznego ma postać:

$$P_k - E_k - H_k = \Delta R_k$$

gdzie: P_k – całkowity opad atmosferyczny na obszary lądów,

E_k (= V) – całkowite parowanie z powierzchni lądów,

H_k – całkowity odpływ z lądów do oceanu,

ΔR_k – zmiany retencji wody na lądach.

Równanie bilansu wodnego oceanicznej fazy cyklu hydrologicznego ujmuje wzór:

$$P_o - E_o + H_k = \Delta R_o$$

gdzie : P_o – całkowity opad atmosferyczny na powierzchnię oceanu,

E_o – parowanie z powierzchni oceanu,

H_k – całkowity dopływ wód z kontynentów,

ΔR_o - zmiany retencji wody w oceanie.

Liczbowe ujęcie bilansu wodnego globu ziemskiego i faz lądowej i oceanicznej podano w tabeli 3.5. Faza lądowa obiegu wody wykazuje przewagę opadu atmosferycznego nad parowaniem; nadwyżkę stanowi odpływ z kontynentów do mórz. Faza oceaniczna cyklu hydrologicznego charakteryzuje się przewagą parowania nad opadem; powstały niedobór jest uzupełniany dopływem z lądów. Teoretycznie woda w hydrosferze jako całości wymienia się przeciętnie co 2800 lat; co oznacza, że średnio każda cząstka wody w ciągu roku około 40 razy wyparowuje i 40 razy kondensuje. Tempo wymiany wody w poszczególnych ogniwach jej obiegu jest jednak różne. Na całkowitą wymianę wody w Oceanie Światowym w procesie parowanie – opad potrzeba byłoby około 4000 lat (tabela 3.6.). Wymiana wód podziemnych jest jeszcze powolniejsza – średnio około 5000 lat. Najaktywniejsze w ogniwie podziemnym są wody zasilające

cieki – okres ich wymiany wynosi kilka lat. Wody podziemne głębszych warstw wodonośnych są jeszcze mniej ruchliwe – ich okres wymiany szacuje się na kilka milionów lat. Najaktywniejsza z wód związanych z litosferą jest wilgoć glebowa – jej całkowita wymiana zasobów następuje co 1 rok.

W wypadku rzek wymiana wody odbywa się bardzo szybko od 12 do 25 dni. Okres wymiany wód jeziornych szacuje się na 3 lata. Czas wymiany całkowitej objętości lodowców sięga 8000 lat. Woda atmosferyczna ulega wymianie co 8 dni (tabela 3.6.). Wszystkie dane liczbowe dotyczące hydrosfery należy traktować jako orientacyjne i szacunkowe, gdyż są oparte na niepełnych i niejednorodnych materiałach [5].

Zapasy wodne hydrosfery, wg [5]

Tabela 3.3.

Rodzaje wód	Objętość [tys. km ³]	Zapasy wodne [%] w stosunku do ogólnej objętości
Wody Oceanu Światowego	1 338 000	96,5
Wody podziemne (w tym wody w strefie aktywnej wymiany do 100m głębokości)	23 400 10 530	1,7 0,76
Wody glebowe	16,5	0,001
Lodowce i stała pokrywa śnieżna	24 064,1	1,74
Marzłoc trwała	300	0,022
Jeziora	176,4	0,013
Bagna	11,47	0,0008
Rzeki	2,12	0,0002
Para wodna w atmosferze	12,9	0,001
Woda biologiczna	1,12	0,0001
Ogółem wody hydrosfery	1 385 984	100

* Zapasy wód podziemnych gromadzą się w 3 strefach:

- aktywnej wymiany; sięga do głębokości 100 m; wody tej strefy są zasilane opadami lub wodami powierzchniowymi i są drenowane przez źródła, bagna, rzeki, jeziora,
- o utrudnionej cyrkulacji; sięga od 100 m do poziomu morza,
- o zredukowanej wymianie; sięga od poziomu morza do głębokości 2000 m.

Wody słodkie hydrosfery, wg [5]

Tabela 3.4.

Część hydrosfery	Objętość wody słodkiej [tys. km ³]	% ogólnej objętości wód słodkich
Lodowce i stała pokrywa śnieżna	24064,1	68,7
Marzłość trwała	300	0,86
Wody podziemne	10530	30,1
Jeziora (słodkie)	91	0,26
Wody glebowe	16,5	0,05
Bagna	11,47	0,03
Rzeki	2,12	0,006
Para wodna w atmosferze	12,9	0,04
Woda biologiczna	1,12	0,003
Ogółem wody słodkie hydrosfery	35029,21	100

Bilans wodny globu ziemskiego, wg [5]

Tabela 3.5.

Elementy bilansu wodnego	Objętość wody (km ³)	% ogółu sumy wody biorącej udział w obiegu
Ocean Światowy (faza oceaniczna)		
Opad atmosferyczny Po	458 000	79,4
Parowanie E _o	505 000	87,5
Dopływ z lądu H _k	47 000	8,1
Kontynenty (faza lądowa)		
Opad atmosferyczny P _k	119 000	20,6
Parowanie E _k	72 000	12,5
Dopływ do oceanu H _k	47 000	8,1
Kula ziemiska		
Opad atmosferyczny P	577 000	50,0
Parowanie E	577 000	50,0

Czas wymiany wody w poszczególnych ogniwach hydrosfery [5]

Tabela 3.6.

Element hydrosfery	Średni czas wymiany (przebywania pojedynczej cząsteczki wody)
Ocean światowy	4000 lat
Wody podziemne (do 2 km głębokości), w tym w strefie aktywnej wymiany	Średnio 300-500 lat Od kilku do kilkudziesięciu lat

Wody glebowe	14 dni do 1 roku
Lodowce	Średnio 8000 lat
Jeziora	Średnio 3-5 lat
Bagna	Kilka lat
Rzeki	Średnio 12-13 dni
Para wodna	Średnio 8-10 dni
Woda biologiczna	Średnio 7 dni

Łądowną część hydrosfery stanowią wody podziemne i wody powierzchniowe. Wody powierzchniowe mogą występować w formie punktowej, liniowej i obszarowej [5].

Wody podziemne są związane z litosferą. Ich pochodzenie może być różne; mogą to być wody:

- infiltracyjne,
- kondensacyjne,
- juwenilne,
- reliktowe,
- metamorficzne,
- i poligenetyczne stanowiące mieszaninę co najmniej 2 rodzajów wód [33].

3.2.1. Wody podziemne w bilansie obiegu.

Krażenie wody w przyrodzie jest procesem stałym. Lokalnie może ono ulegać przyśpieszeniu lub zwolnieniu, a ilość wody biorącej w nim udział może wykazywać roczne wahania. W warunkach panujących współcześnie na całym globie ziemskim ilość ta jest prawdopodobnie mniej więcej stała i da się ująć w bilans obiegu przedstawiony jako równowaga między ilością opadów i ilością wody parującej do atmosfery. Próbowano obliczyć ten bilans w stosunku rocznym, lecz dotychczas uzyskane liczby mają charakter szacunkowy.

Liczby przedstawione w tabeli 3.3. i 3.7. wskazują na dominujący udział słonych wód oceanicznych w zasobach globu. Wśród wód nieoceanicznych 75 % stanowią wody słodkie lodowców, pozostała zaś część przypada głównie na wody podziemne. Około połowa z nich bierze udział w cyklu hydrologicznym.

Warto zwrócić uwagę na znaczenie wód podziemnych, w bilansie i zasobach wodnych Polski (tabela 3.8.). W pozycji "ubytki" odpływ naturalny gruntowy wynosi 32,7 km³, co stanowi 17,1 % rozchodu wód w Polsce. Oznacza to, że ponad połowa wód odpływająca z terytorium kraju na krótszy lub dłuższy czas staje się wodą podziemną. Próbę przybliżonego określenia wód podziemnych słodkich w Polsce podaje Z. Pazdro [33]. Przyjmuje orientacyjnie, że średnio występują one do głębokości 300 m. Przy założeniu, że co najmniej trzecią część tworzą utwory zawierające wodę wolną w ilości 10 % ich objętości otrzymujemy dla powierzchni 312000 km² ilość wód słodkich orientacyjnie

3088 km³. Interesujące jest porównanie objętości wód podziemnych słodkich z objętością wód w rzekach i jeziorach polskich. Według A. Szpindora (1974) [33], ilości te wynoszą w [km³]:

- jeziora 33,0;
- większe zbiorniki sztuczne 2,36;
- stawy rybne 0,60;
- rzeki przy stanie średnim 1,3;
- razem 37,26 km³.

Porównanie tych liczb daje orientacyjny, ale wyrazisty obraz znaczenia wód podziemnych [33].

Okres retencjonowania wód podziemnych jest niewspółmiernie dłuższy od czasu retencji wód powierzchniowych. Przy objętości 3088 km³ wód podziemnych biorących udział w odpływie i jego średniej rocznej wysokości 32,7 km³ średni czas wymiany słodkich wód podziemnych wynosi ponad 90 lat. Wody podziemne uczestniczące w cyklu hydrologicznym to w zasadzie wody infiltracyjne. Dlatego proces infiltracji zasługuje na szersze omówienie.

Przybliżony rozkład wód globu ziemskiego (wg H. Bouwera, 1978)-[33]

Tabela 3.7.

Rodzaje wód	Objętość w tysiącach km ³	Procent całkowitej ilości wody
Woda atmosferyczna	13	0,001
Wody powierzchniowe:		
Słona woda oceanów	1 320 000	972
Słona woda jezior i mórz śródlądowych	104	0,008
Słodka woda jezior	125	0,009
Słodka woda rzek i kanałów	1,25	0,0001
Słodkie wody lodowców i pokryw lodowych	29 000	2,15
Woda biomasy	50	0,004
Woda pod powierzchnią ziemi:		
Woda glebowa i strefy aeracji	50	0,005
Woda podziemna do głębokości 0,8 km	4 200	0,31
Woda podziemna od głębokości 0,8 do 4,0 km	4 200	0,31
Łącznie (około)	1.360 000	100,0

Porównanie danych w tabeli 3.6. z danymi z tabeli 3.3. wykazuje na dość znaczną zbieżność całkowitej ilości wód w globie ziemskim, obliczoną przez różnych badaczy.

Bilans wodny Polski w roku średnim (wg. A. Tuszki, 1962) [33]

Tabela 3.8.

Przychód (zasilanie)			Rozchód (ubytki)		
Oznaczenie	km ³	%	Oznaczenie	km ³	%
Z opadów atmosferycznych	186,2	97,3	Odływ rzekami do morza:		
			a) bezpośredni powierzchniowy	24,6	12,9
Z rzek płynących z zagranicy	5,2	2,7	b) pośredni:		
			- naturalny gruntowy	32,7	17,1
			- ze zrzutów wody pompowanej	1,3	0,6
			- zużycie wody na parowanie, transpirację i potrzeby gospodarcze	132,8	69,9
Razem	191,4	100,0	Razem	191,4	100,0

Retencja powierzchniowa i glebowa wynosi 36,6 km³, a gruntowa 76,5 km³. Odływ powierzchniowy i podziemny wynosi 58,6 km³. Użytkowe zasoby wód podziemnych Polski oceniono w 1977 roku w Państwowym Instytucie Geologicznym na 13,7 km³/rok.

Stanowią one około 60 % naturalnych zasobów odnawialnych wód podziemnych, których okres użytkowania w ilości 24,5 km³/rok zależy od ogólnego stanu zagospodarowania wodnego kraju, a zwłaszcza poprawy jakości wód powierzchniowych, regulacji odpływu i racjonalnej eksploatacji wód podziemnych. W 1976 roku globalny pobór wód w Polsce wynosił 13,7 km³, z tego 2,3 km³ stanowiły wody podziemne (tj. 16,8 %). W tej ilości gospodarka komunalna zużyła 1,0 km³ wód, przemysł zużył 1,0 km³ a rolnictwo 0,3 km³. Oprócz tego odbywał się niekontrolowany pobór wód podziemnych w trakcie odwodnień górniczych i budowlanych, który szacowano na 2,0 km³ na rok. Dlatego w latach 1976 i 1977 rzeczywisty pobór wód podziemnych wynosił około 4,3 km³/rok, co stanowi około 31 % zasobów eksploatacyjnych całego kraju [35].

3.2.2. Infiltracja i czynniki nią rządzące.

Obserwacje wskazują, że między stanem wód podziemnych, a opadami atmosferycznymi istnieje związek. W okresie obfitych deszczy lustro wody w studniach podnosi się, zaś w czasie posuchy opada. Podobnie ilość wody wpływającej ze źródła zmienia się zależnie od ilości opadów. Opady atmosferyczne zasilają zbiorowiska wód podziemnych dzięki infiltracji. Wody podziemne powstają dzięki wsiąkaniu czyli infiltracji opadów atmosferycznych do przepuszczalnych warstw skalnych. Wody te nazywamy wodami infiltracyjnymi lub meteorycznymi. Część wód podziemnych powstaje z kondensacji pary wodnej zawartej w powietrzu wypełniającym pory i wolne przestrzenie w glebie, gruntach i skale. Wody te zwiemy kondensacyjnymi. Z badań gorących źródeł, szczególnie w obszarach czynnego lub młodego wulkanizmu wynika, że część wód podziemnych stanowią hydrotermalne roztwory będące pomagmowymi resztkami wydzielonymi w ostatnim etapie procesu krzepnięcia magmy. Są to wody juvenilne.

W głębokich wierceniach w poszukiwaniu ropy naftowej napotyka się wody, otoczone zewsząd warstwami nieprzepuszczalnymi. Uważa się te wody za resztki dawnych mórz lub za stare wody infiltracyjne. Nazywamy te wody reliktowymi lub szczątkowymi.

Podczas termicznej metamorfozy skał niektóre minerały uwodnione, jako nietrwałe w podwyższonej temperaturze ulegają przeobrażeniu i wydzielają wodę. Wodę tę zwiemy metamorficzną. Wody różnego pochodzenia, krążąc w środowisku skalnym mogą mieszać się ze sobą i tworzyć wody poligenetyczne.

3.2.2.1. Wody infiltracyjne.

Największą grupą wśród wód podziemnych i największą ilościową są wody infiltracyjne. Odsetek wody opadowej infiltrującej w głąb Ziemi waha się w bardzo szerokich granicach i zależy od szeregu czynników. Należą do nich:

- 1) Przepuszczalność gruntów i skał czyli zdolność do przewodzenia wody. Im więcej szczelin, porów i innych próżni w skałach tym lepiej one przepuszczają, i tym więcej w nie wsiąknie wody. Jeśli opad atmosferyczny trafi na obszar zbudowany ze skał przepuszczalnych ma lepsze warunki do infiltracji. Skały nieprzepuszczalne utrudniają infiltrację lub wręcz ją uniemożliwiają. Obszarów na których nie zachodzi infiltracja jest mało, gdyż na powierzchni Ziemi występuje prawie zawsze cieńszy lub grubszy płaszcz zwietrzliny skalnej, w postaci luźnych lub sypkich utworów jak gruz, piasek, glina piaszczysta itp., które łatwo przepuszczają wodę. Luźna zwietrzlina, która pokrywa skały nieprzepuszczalne, wchłania wodę opadową dopóty, dopóki nie zostanie nią nasycona. Po nasyceniu traci zdolność retencyjną i więcej wody nie przyjmuje.
- 2) Urzeźbienie terenu. Silnie urzeźbiony teren o dużych deniwelacjach i pochyłościach np. w górach, powoduje szybki spływ wody po powierzchni. W tych warunkach infiltracja nawet przy istnieniu skał przepuszczalnych

jest słaba. Natomiast na terenach równinnych warunki infiltracji są lepsze, jeśli podłoże jest dostatecznie przepuszczalne.

- 3) Temperatura powietrza. W każdej temperaturze odbywa się parowanie wody, ale szybkość parowania w powietrzu jest tym większa, im wyższa jest temperatura. Wyższa temperatura powietrza ułatwia i przyspiesza parowanie wody opadowej infiltracyjnej. Wpływa ujemnie na ilość wody infiltrującej.
- 4) Nienasycony wilgotności powietrza. Jest on jedną z miar wilgotności powietrza. Powietrze wykazuje ograniczoną pojemność pary wodnej zależną od ciśnienia i temperatury. W określonej temperaturze i ciśnieniu parowanie wody w powietrzu będzie trwało tak długo, aż nastąpi stan nasycenia powietrza parą wodną. Zawiera ono wtedy największą ilość pary wodnej, jaką w danych warunkach może w sobie pomieścić. Parę taką nazywamy – nasyconą natomiast znajdującą się poniżej stanu nasycenia – nienasyconą. Para wodna nasycona ma największą prężność E jaką może mieć w danej temperaturze. W tej samej temperaturze para nienasycona będzie mieć oczywiście prężność mniejszą e . Nienasyconym wilgotności powietrza nazywamy różnicę między prężnością pary wodnej nasyconej w dowolnej temperaturze, a prężnością pary nienasyconej w tym momencie w powietrzu o tej samej temperaturze: $d = E - e$. Nienasyt wyrażamy w hPa. Im większy jest nienasyt pary wodnej w powietrzu tym więcej może ono pomieścić w sobie pary wodnej. Nienasyt zwiększa parowanie czyli jest ujemnym czynnikiem dla infiltracji. Na pustyniach, gdzie powietrze jest bardzo suche i wykazuje wysoki nienasyt często prawie cały opad paruje od razu z powrotem do atmosfery i nic z niego nie pozostaje na infiltrację. Odwrotnie – powietrze wilgotne bliskie stanu nasycenia lub nasycone parą wodną zmniejsza lub uniemożliwia parowanie wody, a wtedy jest ono czynnikiem sprzyjającym infiltracji.
- 5) Pokrycie szatą roślinną. Gęsta szata roślinna hamuje powierzchniowy spływ wody, a nawet magazynuje ją między pędami i tym samym stwarza lepsze warunki infiltracji. Szczególnie doniosłą rolę odgrywają lasy o gęstym podszyciu i runie leśnym. Ponadto dzięki nagromadzeniu dużej ilości próchnicy i korzeniom drzew wchodzącym głęboko pod ziemię przepuszczalność gleby leśnej i jej wodochłonność są znacznie większe niż gleby na polu ornym lub łące. Jednak rośliny w okresie wegetacyjnym, a szczególnie lasy, pobierają dla swych procesów życiowych bardzo duże ilości wody; w Polsce np. las sosnowy 25 – 30% opadów, bukowy 33 – 45 %.
- 6) Nasycenie wodą środowiska skalnego. W czasie długotrwałych opadów atmosferycznych infiltrująca woda może tak dalece wypełnić, czyli nasycić wolne przestrzenie w skale, gruncie lub glebie, że infiltracja ustaje. Dzieje się to tam, gdzie nie zbyt głęboko leży pod warstwą przepuszczalną

- warstwa nieprzepuszczalna. Pamiętać należy, że opad efektywny (powyżej 40 mm) występuje rzadko. Stąd też przez znaczną część roku gleby i skały wykazują niedosyt wilgotności. Zewnętrznym objawem całkowitego nasycenia wodą są okresowe mokradła, bagniska i błota.
- 7) Przemarzanie gruntu. W ciągu zimy grunt przemarza do głębokości kilkunastu – kilkudziesięciu centymetrów. W czasie krótkotrwałej odwilży lub na wiosnę, gdy grunt wewnątrz jeszcze nie odtajał infiltracją wód pochodzących z topnienia śniegów lub opadów deszczowych albo wcale nie zachodzi, albo przynajmniej jest utrudniona.
 - 8) Działalność człowieka. Na infiltrację wpływa również działalność ludzka. Wycinanie lasów wzmacnia spływ powierzchniowy, orka wiosenna i jesienią spulchnia glebę i ułatwia wsiąkanie wody, zabudowa terenu w miastach z gęstą siecią ulic prawie zupełnie uniemożliwia infiltrację itp. Wiele czynników wpływa na infiltrację wód opadowych. Te czynniki mogą się wzajemnie nakładać przez co proces infiltracji staje się skomplikowany i zróżnicowany ilościowo w czasie i przestrzeni. Odsetek opadów atmosferycznych infiltrujących w głąb waha się najczęściej w granicach od 16 – 25 %. Dla krajów środkowej i zachodniej Europy wynosi on rocznie 19,3 %, dla Polski 18,2 %, ale na obszarach czynnej eksploatacji węgla w Zagłębiu Górnosląskim około 40 %, lokalnie nawet 50 %. Przyjmując wartość 0,2 za średni stosunek wody infiltrującej do opadów w skali światowej otrzymujemy średni rozrząd opadów atmosferycznych na kontynentach jak w niżej podanej tabeli 3.9.

Średni rozrząd opadów na lądach (wg Wundta. [33]) Tabela 3.9.

Opady	99 000 km ³	100,0%
Parowanie	66 000 km ³	62,6%
Spływ powierzchniowy	17 200 km ³	17,4%
Infiltracja i odpływ podziemny	19 800 km ³	20,0%

Dane przytoczone przez Wundta [33] są oparte na pomiarach opadów na stacjach opadowych, gdzie mierzono je deszczomierzami Hellmanna. Są to więc opady minimalne i nie uwzględniają one wód pochodzących z kondensacji utajonej. Tabela 3.3. uwzględnia już wody z kondensacji utajonej. Oprócz wód opadowych w pewnych warunkach infiltrują też wody rzek, jezior, zbiorników i kanałów wodnych. Wiek wód pochodzenia infiltracyjnego jest zróżnicowany. Liczyć go można od godzin lub dni w przypadku płytko zalegających wód szczelinowych. Występujące na głębokości kilkuset metrów wody rozległych basenów artezyjskich wykazują wiek kilkudziesięciu tysięcy lat. Wody piasków Carizzo w Teksasie osiągają 5000 – 30000 lat, pod pustynnymi obszarami Bliskiego Wschodu 10000 – 33000 lat, w Basenie Londyńskim ponad 25000

lat (H. Bouwer, 1978 – [33]). W Polsce, w Gdańskim zbiorniku artezyjskim występują wody infiltrujące ze schyłku ostatniego glacjału. Podobnego wieku są też wody w oligoceńskich utworach mazowieckiej niecki artezyjskiej i w skałach triasowych Opola [33].

3.2.2.2. Opady atmosferyczne.

Głównym źródłem zasilającym w wodę kontynenty są opady atmosferyczne. Woda opadowa, która spadła na ich powierzchnię, częściowo:

- paruje, zależnie od temperatury powietrza i gruntu przy danej wilgotności atmosfery i sile wiatru,
- wsiąka, tyle ile zdoła wciągnąć w pory gleby siła grawitacji, pokonując opory stawiane przez grunt i po pewnym czasie dochodzi do wód podziemnych, a za ich pośrednictwem dostaje się do źródeł, rzek, jezior w postaci odpływu podziemnego,
- spływa po powierzchni trafiając po pokonaniu szorstkości gruntu do rzek, którymi odpływa do mórz.

3.2.2.2.1. Charakterystyka opadów.

W atmosferze ziemskiej, głównie w troposferze znajduje się para wodna. Jej ilość w powietrzu zależy od temperatury i ciśnienia powietrza. Po przekroczeniu tzw. punktu rosy nadmiar pary wodnej (ponad stan nasycenia) ulega skropleniu. Przejście pary wodnej w stan ciekły nazywamy kondensacją pary wodnej, zaś bezpośrednie przejście ze stanu stałego w gazowy nazywamy sublimacją. Kondensacja pary wodnej w atmosferze może następować:

- na powierzchni Ziemi lub na przedmiotach znajdujących się na Ziemi lub pod nią,
- w najniższych przyziemnych warstwach atmosfery,
- na pewnej wysokości nad Ziemią.

Produkty kondensacji pary wodnej, spadające na powierzchnię Ziemi, a także unoszące się w powietrzu i osiadające na przedmiotach, są nazywane opadami atmosferycznymi. Te formy opadów atmosferycznych, które w postaci ciekłej lub stałej spadają na powierzchnię Ziemi, a więc deszcz, śnieg, krupa i grad, nazywa się opadami pionowymi. Te zaś formy, które tworzą się w wyniku kondensacji pary wodnej na powierzchni Ziemi, a więc szron, rosa, szadź, gołoledź nazywamy opadami poziomymi lub osadami [5].

Przyczyną powstawania opadów atmosferycznych jest ochładzanie atmosfery prowadzące do kondensacji pary wodnej. Ochładzanie atmosfery powstaje w strefach frontalnych, związanych z niżem lub w wyniku konwekcji; może też być spowodowane wznoszeniem się mas powietrza nad masywami górskimi. Wielkość i rozkład opadów zależą od ogólnej cyrkulacji atmosfery. W średnich szerokościach geograficznych są one związane głównie z przechodzeniem frontów. Opady atmosferyczne są podstawowym źródłem wody zasilającym

łądy. Wielkość tego elementu, jego rozkład czasowy i przestrzenny odgrywa istotną rolę w kształtowaniu stosunków wodnych na Ziemi; od niego zależy między innymi charakter sieci hydrograficznej [5]

Opady pionowe.

Deszcz jest to opad atmosferyczny pochodzący z chmur, mający postać kropeł wody o przeciętnej średnicy 0,5–5 mm, maksymalnej 7–8 mm, które opadając swą siłą ciężkości zrównoważyły siłę prądów wstępujących. Mniejsze krople deszczu średnicy poniżej 0,5 mm unoszone w dużych ilościach przez wiatr stanowią mżawkę.

Śnieg jest to opad kryształów lodu tworzących często delikatne rozgałęzione formy w postaci sześciennych gwiazdek średnicy – 12 mm i więcej. Gdy temperatura powietrza jest bliska 0°C, kryształki łatwo się zlepiają w duże płaty. Krupa jest to opad białych nieregularnych bryłek średnicy 2-5 mm. Ta postać opadu powstaje w temperaturze bliskiej 0°C przy silnym porywistym wietrze, najczęściej późną jesienią lub wczesną wiosną.

Grad jest to opad w postaci stałej występujący w półroczu letnim przeważnie podczas burz; gradziny są nieforemnymi bryłkami lodu średnicy od 5 do 50 mm i więcej [5].

Opady poziome (osady).

Rosa jest to osad powstały wskutek zetknięcia się wilgotnego powietrza z zimnym podłożem. Para wodna zawarta w powietrzu ulega kondensacji, osiadając w postaci drobnych kropełek wody na powierzchni chłodnej. Warunkiem koniecznym do występowania rosy są pogodne bezwietrzne wieczory i ranki w ciepłym półroczu. Według szacunków w szerokościach umiarkowanych osad rosy daje średnio rocznie 10 – 20 mm opadów, natomiast w strefie zwrotnikowej ta postać opadu tworzy się jeszcze obficie do 50 mm [5].

Szron jest to osad w postaci lodowych kryształków często przybierających postać igiełek. Powstaje w podobnych warunkach jak rosa, tylko przy ujemnej temperaturze powietrza.

Sadź (szadź) jest srebrzystobiałym krystalicznym nalotem w postaci łatwo osypujących się nici, utworzonych przez oziębienie mgły. Pojawia się w czasie mroźnej pogody, gdy napływ cieplejszego powietrza spowoduje powstawanie mgły.

Gołoledź jest to gładki, przezroczysty lub matowy osad lodowy występujący na powierzchni gruntu, gałęziach drzew, dachach itp. w wyniku osiadania mgły lub spadania opadu złożonego z silnie przechłodzonych kropeł. Grubość warstwy gołoledzi sięga niekiedy wielu cm. Z hydrologicznego punktu widzenia istotną sprawą jest forma opadów atmosferycznych. Opady ciekłe biorą natychmiast udział w procesach hydrologicznych, zaraz po osiągnięciu powierzchni terenu. Śnieg natomiast może zalegać na powierzchni terenu bardzo długo; bierze udział w cyklu hydrologicznym zwykle dopiero podczas wiosennych roztopów.

Wielkość i rozkład opadów atmosferycznych na globie ziemskim jest wynikiem rozkładu zachmurzenia i ilości zawartej pary wodnej w chmurach. Jej zawartość maleje wraz ze wzrostem szerokości geograficznej i w miarę oddalania się od zbiorników wodnych. W rozkładzie opadów na Ziemi zaznacza się wyraźna strefowość związana z położeniem geograficznym obszaru; największe roczne sumy opadów przypadają w pasie równikowym, najmniejsze – w obszarach podbiegunowych. Strefowość ta jest jednak zakłócona wpływem działalności cyklonowej w przeważających kierunkach wiatru oraz przez rozkład lądów i mórz, a także ukształtowania terenu. Ze wzrostem odległości od oceanu następuje spadek wilgotności powietrza, a tym samym zmniejszenie wielkości opadów. Wzrost wysokości nad poziomem morza sprzyja kondensacji pary wodnej w powietrzu, stąd wraz ze wzniesieniem terenu wzrasta wysokość opadów. Zjawisko to ujmuje tzw. gradient hipsometryczny opadów. Obejmuje on szeroki zakres: od około 500 do 2500 mm na 1 km wysokości [18]. Wzrost wysokości opadów z wysokością jest obserwowany tylko do pewnej określonej (różnej w różnych regionach górskich) wysokości nad poziomem morza, od której następuje inwersja opadów, czyli zmniejszanie się ich wysokości w miarę dalszego wzrostu wysokości nad poziomem morza. Na rozkład opadów na terenach górskich ma wpływ również ekspozycja stoku. Strona nawietrzna otrzymuje więcej opadów wskutek skraplania się pary wodnej zawartej w masie powietrza natrafiającej na pasmo górskie. Po stronie zawietrznej masywu górskiego tworzy się natomiast tzw. cień opadowy, charakteryzujący się znacznie mniejszą wielkością opadów [5]. Pomiary opadów pionowych, czyli deszczu, śniegu, krupy i gradu wyraża się w milimetrach słupa wody nagromadzonej w jednostce czasu (doba, miesiąc, rok). Pomiary wykonuje się w posterunkach opadowych na wysokości 1m (w górach 1,5 m) nad terenem z powierzchnią recepcyjną na 200 m². Do pomiarów grubości warstwy śnieżnej używa się śniegowoskazów (laski śniegowej, łąty śniegowej, walca śniegowego). Opad zmierzony na posterunku opadowym różni się od opadu, który faktycznie trafia na powierzchnię gruntu. Ocenia się, że błędy systematyczne związane z niedokładnością przyrządu, spowodowane silnym mrozem i zwilżaniem wewnętrznej ścianki deszczomierza, na terenach nizinnych Polski wynoszą w ciągu roku 15-30 % mierzonej sumy opadów, a w terenach górskich są jeszcze większe [5].

3.2.2.3. Wody kondensacyjne.

Między ilością nasyconej pary wodnej w powietrzu a jego temperaturą istnieje ścisła zależność.

Masy nasyconej pary wodnej w powietrzu o różnej temperaturze wg.[33]
Tabela 3.10.

Temperatura powietrza t [°C]	Masa pary nasyconej [g/m ³]	Temperatura powietrza t [°C]	Masa pary nasyconej [g/m ³]
30	30,3	5	6,8
25	23,0	0	4,9
20	17,3	-5	3,2
15	12,8	-10	2,1
10	9,4		

W tabeli 3.10., podano temperatury powietrza i odpowiadające im masy nasyconej pary wodnej w 1m³ powietrza. W określonej temperaturze powietrze nie może zawierać więcej pary wodnej, niż to wynika ze stanu nasycenia. Jeśli ilość pary wodnej przekracza stan nasycenia, jej nadmiar zostaje wydzielony przez skraplanie, czyli kondensację. Dzieje się to wtedy, gdy powietrze ochłodzi się poniżej temperatury rosy tj. poniżej temperatury, przy której para wodna w powietrzu osiąga stan nasycenia. Powstają wówczas opady unoszące się w powietrzu jak mgły lub chmury, opady jawne czyli pionowe, jak deszcz lub śnieg, wreszcie opady utajone zwane też poziomymi albo osadami atmosferycznymi jak rosa, szron lub sadz. Opady atmosferyczne tworzą się na powierzchni ochłodzonego wskutek nocnego wypromieniowania gruntu, roślin lub jakichkolwiek przedmiotów w momencie, gdy ciepłe powietrze stykające się z nimi ochładza się poniżej punktu rosy. Ilość rosy może być dość znaczna. W środkowej Europie waha się ona w granicach 8 – 30 mm rocznie, a może niekiedy przekraczać nawet 50 mm. Zjawisko powstawania rosy stanowi punkt wyjścia dla teorii o kondensacyjnym pochodzeniu wód podziemnych. Ogłosił ją w 1877 r. austriacki badacz O. Volger, negując przy tym infiltracyjne pochodzenie wód podziemnych.

Rosyjski gleboznawca A.F. Lebediew w latach 1912 – 1930 opracował teorię kondensacji pary wodnej w glebie. Wywody jego są też słuszne do skał.

Jeśli wilgotność względna powietrza glebowego wynosi 100 % najmniejsze obniżenie jego temperatury musi spowodować termiczną kondensację pary wodnej. Rozkład temperatur w glebie jest różny w profilu pionowym, a także zmienny w czasie. W lecie i w ciągu dnia górne warstwy gleby w skutek promieniowania słonecznego silnie nagrzewają się, podczas gdy niższe są chłodniejsze. W zimie, a także w nocy górne warstwy są chłodniejsze niż dolne. Wskutek tego prężność pary wodnej w poszczególnych warstwach gleby jest różna. Występują też różnice między prężnością pary wodnej powietrza atmosferycznego i glebowego. Te różnice są motorem, który powoduje ruch pary wodnej (lecz nie powietrza) z ośrodków o wyższej do ośrodków o niższej prężności. Przemieszczanie się pary wodnej odbywa się z powietrza atmosferycznego do gleby i pomiędzy poszczególnymi warstwami gleby.

Nasycona para wodna trafiając w środowisko o niższej temperaturze musi ulegać kondensacji i zmieniać się w krople wody, które ściekają w dół i mogą zasilać zbiorniki wody podziemnej. Pewne ilości wód podziemnych powstają zaniem Lebediewa na drodze kondensacji pary wodnej w skałach. Obserwacje i pomiary wykonywane w południowej części Ukrainy wykazały, że w ciągu roku powstaje tam warstwa wody podziemnej w wysokości 66 – 80 mm, co odpowiada 18 – 23 % opadów atmosferycznych. Ilości wód powstające pod powierzchnią Ziemi w wyniku termicznej kondensacji pary wodnej są szacowane różnie – od kilku do 100 mm rocznie. Niektórzy badacze uważają ich ilość za zbliżoną lub nawet większą od ilości dostarczonej przez rosę.

3.2.2.4. Wody juvenilne.

W 1902r. geolog austriacki E. Suess wprowadził pojęcie wód juvenilnych, rozumiejąc przez to wody w skorupie ziemskiej, które pochodzą z ostygającej magmy. Część tych wód wydobywa się na powierzchnię Ziemi po raz pierwszy i włącza się w ogólny obieg. Magma jest gorącym, ciekłym stopem krzemianowym silnie nasyconym gazami i parami, wśród nich parą wodną. Proces krzepnięcia magmy rozpada się na 4 stadia. W stadium pierwszym czyli ortomagmowym składniki lotne podporządkowane są składnikom stopionym i nie wykazują zbyt dużej prężności. W tym stadium odbywają się początkowa i główna krystalizacja minerałów skałotwórczych, która wyczerpuje prawie zupełnie ciekłe składniki. Pod koniec stadium pozostają już resztki magmowe (ługi pokryształizacyjne) wzbogacone w składniki lotne i rzadsze pierwiastki, które nie brały udziału w dotychczasowej krystalizacji. Resztkowa masa magmowa wchodzi teraz w pomagmowy okres krystalizacji.

W drugim stadium, czyli pegmatytowym, pozostały stop krzemianowy jest silnie rozcieńczony i przesycony parami i gazami, szczególnie parą wodną.

Trzecie stadium - pneumatolityczne- wykazuje przewagę par nad innymi składnikami. Pary o temperaturze 400 – 600 °C są silnie przegrzane i ograniczone do znacznie mniejszej przestrzeni niż pierwotnie. Wykazują maksymalną prężność. Przenikają one razem z rozpuszczonymi w nich niektórymi składnikami w otoczenie krzepnącego ogniska magmowego, gdzie ochładzając się dają początek mineralnym złożom pneumatolitycznym. W czwartym stadium – hydrotermalnym – następuje dalsze ochładzanie się pozostałych resztek. Przy spadku temperatury, poniżej krytycznej temperatury wody 374,15 °C, para wodna ulega skropleniu. Środowisko pomagmowe przechodzi teraz w stan gorących roztworów wodnych, zawierających w sobie jeszcze niektóre składniki pochodzenia magmowego. Roztwory hydrotermalne, krążą we wszelkich szczelinach skał skorupy ziemskiej, a przechodząc do stref coraz chłodniejszych, wydzielają z siebie rozpuszczone składniki mineralne. Miejscami roztwory te docierają do powierzchni Ziemi, gdzie jako

wody juvenilne pojawiają się w gorących źródłach i gejzerach. Jednak nie wszystkie gorące źródła dostarczają wody pochodzenia juvenilnego. Często woda opadów atmosferycznych infiltruje bardzo daleko w głąb ziemi, tam nagrzewa się i mineralizuje dzięki rozpuszczeniu w sobie minerałów, po czym przedostaje się znów ku powierzchni Ziemi i wypływa w źródłach. Występowanie wód juvenilnych przywiązane jest prawdopodobnie do obszarów czynnego i wygasającego młodotrzeciorzędowego wulkanizmu. Gorące źródła i gejzery Islandii zawierają mniej niż 2 % wód juvenilnych, reszta zaś przypada na wody infiltracyjne. Wiek wód juvenilnych odpowiada wiekowi procesów pomagmowych, w których one powstawały [33].

3.2.2.5. Wody reliktowe.

Na większych głębokościach spotyka się wody silnie zmineralizowane, które występują pod grubymi seriami warstw nieprzepuszczalnych i nie mają żadnej łączności hydraulicznej z powierzchnią Ziemi. Wody takie nazywamy reliktowymi czyli szczątkowymi. Wśród nich wydzielamy dwa odmienne typy genetyczne: wody sedymentacyjne i kopalne wody infiltracyjne [33]. Wody sedymentacyjne to wody dawnych osadów morskich lub jeziornych. Osad piaszczysty, tworzący się na dnie morza jest początkowo silnie nawodniony. W toku diagenetyki występuje kompaktacja i odwodnienie osadu. Jednak w korzystnych warunkach woda pierwotnych osadów może się w nich zachować i przetrwać przez szereg okresów geologicznych. Występuje to wtedy, gdy nawodniony osad zostaje szybko pokryty warstwami młodszych osadów nieprzepuszczalnych np. ilów. Wtedy całkowite odwodnienie może być utrudnione, zwłaszcza gdy niżej leżące warstwy są również nieprzepuszczalne. Gdy w trakcie późniejszych etapów rozwoju geologicznego te osady morskie z zawartą w nich wodą sedymentacyjną znajdą się głęboko pod powierzchnią Ziemi i będą szczelnie izolowane od innych warstw, istnieją warunki do ich przechowania. Skład chemiczny wód sedymentacyjnych odbiega znacznie od składu wody morskiej. Spowodowane jest to długim przedziałem czasu przebywania wody w środowisku skalnym i jego wpływem, procesami przeobrażenia hydrochemicznego. Do wód takich zaliczamy solanki naftowe tj. wody towarzyszące złożom ropy naftowej i gazu ziemnego. Kopalne wody infiltracyjne są to dawne wody pochodzenia infiltracyjnego, które dzięki np. ruchom tektonicznym zostały odcięte od systemu krążenia i znalazły się głęboko pod powierzchnią Ziemi w stanie izolacji i stagnacji. Ulegają one też daleko idącej mineralizacji. W toku dalszych procesów geologicznych wody reliktowe mogą wyjść ze stanu izolacji i na nowo uzyskać kontakt z powierzchnią Ziemi i włączyć się w system krążenia wód. Wiek wód sedymentacyjnych reliktowych odpowiada wiekowi osadów, w których one przetrwały. Gdy są to kopalne wody infiltracyjne, to są one młodsze od skał w

których występują. Nazywamy je wodami reliktowymi epigenetycznymi. Wiek wód reliktowych wynosi setki i dziesiątki milionów lat [33].

3.2.2.6. Wody metamorficzne

W czasie metamorfozy termicznej minerały nietrwałe w wyższych temperaturach ulegają przeobrażeniu, przy czym uwolnione zostają grupy hydroksylowe OH, wchodzące w ich skład. Proces ten zwiemy dehydroksylacją. Podlegają mu hydrokrzemiany z grupy minerałów ilastych. Kaolinit przeobraża się w andaluzyt i kwarc, i wydziela się przy tym woda.



Wody metamorficzne, mimo że pochodzą z głębi skorupy ziemskiej, nie są wodami juwenilnymi. Grupy hydroksylowe wchodzące w skład minerałów, pochodzą z atmosfery lub z hydrosfery i zostały związane w procesie wietrzenia pierwotnych minerałów, a następnie zostały pogrążone wraz z nimi w głąb skorupy ziemskiej. Wody metamorficzne mogą ruchem wstępującym docierać w pobliże powierzchni Ziemi i tu mieszać się z wodami innego pochodzenia [33].

3.2.3. Charakterystyka wód podziemnych.

Wody podziemne występujące w hydrosferze, zwłaszcza te, które uczestniczą w cyklu hydrologicznym, pochodzą w większości z opadów atmosferycznych. Woda atmosferyczna wsiąkając w podłoże skalne natrafia na pewnej głębokości na strop warstwy nieprzepuszczalnej, który stanowi spąg wód podziemnych. Utworami nieprzepuszczalnymi będą wśród skał osadowych ły i gliny. Powyżej spągu wszystkie pory i szczeliny skalne oraz próżnie są całkowicie wypełnione wodą wolną do pewnej wysokości tworząc strefę saturacji (strefę nawodnioną). Ponad tą strefą występuje strefa aeracji (napowietrzona). W strefie saturacji woda wolna pod wpływem siły grawitacji może przesączać się w dół lub płynąć z miejsc wyższych ku niższym np. po upadzie warstw. Przekazuje ona ciśnienie hydrostatyczne, a w przypadku jego różnicy przemieszcza się do miejsc o niższym ciśnieniu. Zatrzymana na stropie warstwy nieprzepuszczalnej woda zaczyna wypełniać wszystkie próżnie i jej poziom podnosi się w miarę dopływu dalszych ilości wody. Granicą obydwu stref jest zwierciadło wody podziemnej. Stanowi ono górny poziom, do którego wznosi się wolna woda zawarta w środowisku skalnym. Na granicy strefy saturacji i aeracji poziom ten wyznaczony jest zasięgiem próżni wypełnionych wolną wodę. Zwierciadło wód podziemnych wyznacza tu powierzchnia, na której ciśnienie wody w porach lub szczelinach jest równe ciśnieniu atmosferycznemu. Utworami przepuszczalnymi, w których pory, próżnie i szczeliny są wypełnione wolną wodą, będą wśród skał osadowych np. piaski,

żwiry, spękane piaskowce, zlepieńce oraz wapienie czy dolomity i rumosz skalny [33].

3.2.3.1. Woda w strefie aeracji.

Strefę aeracji (nienasycenia) tworzy przypowierzchniowa część utworów skalnych, w której współistnieją stałe cząstki skały, woda i powietrze. Strefa aeracji obejmuje utwory geologiczne od powierzchni terenu do głębokości, na której występuje już tylko skała i woda tj. do zwierciadła (lub lustra) wód podziemnych. Miąższość strefy aeracji jest różna: od kilku centymetrów do ponad 100 m. Najmniejszą miąższość strefa aeracji osiąga na obszarach bagiennych (niekiedy brak jej tu zupełnie), największą w górach i na pustyniach. W tej strefie woda występuje w 3 stanach: stałym, ciekłym i gazowym tj. jako para wodna, woda związana chemicznie, woda związana fizycznie, woda kapilarna i woda wolna grawitacyjna (trwale lub przemijające skupiska wody zawieszanej) [33].

Para wodna.

Para wodna występuje w powietrzu glebowym. Przemieszcza się ona w strefie aeracji biernie wraz z powietrzem glebowym pod wpływem zmian ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności lub aktywnie – na skutek dyfuzji, dzięki występowaniu gradientu prężności. W czasie przemieszczania się przeobraża się para wodna w inne postacie wody dzięki kondensacji i sorpcji. Kondensacji pary wodnej sprzyja zwłaszcza temperatura ujemna.

Woda związana chemicznie tzw. krystalizacyjna jest składnikiem niektórych związków i minerałów glebowych np. gipsu, wodorotlenków żelaza, tlenków krzemu. Nie rozpuszcza ona składników pokarmowych i jest niedostępna dla roślin. Fizycznie na formę stałą i nie bierze udziału w krążeniu wody w przyrodzie [5].

Woda związana fizycznie jest to woda związana siłami molekularnymi z cząstkami gleby. Jej ilość w strefie aeracji decyduje o możliwości przemieszczania się wody grawitacyjnej w głąb ku wodom podziemnym. Woda związana fizycznie z ziarenkami skał okrywa je mikroskopijnymi warstewkami, ma ograniczone możliwości ruchu, nie odcieka pod wpływem siły grawitacji. Ze względu na możliwości ruchu wody związanej fizycznie wyróżnia się jej dwie postacie: wodę higroskopową i wodę błonkową.

Woda higroskopowa. Z działania sił molekularnych wynika adsorpcja tzn. zdolność do skupienia lub zagęszczenia na powierzchni ciała stałego drobin gazów, par lub różnych rodzajów jonów z roztworów. Zjawisko to zachodzi na granicy dwóch stykających się z sobą faz – stałej i gazowej lub stałej i ciekłej. W zjawisku adsorpcji mogą działać siły przyciągania międzycząsteczkowego, międzyatomowego i elektrycznego. Zdolności adsorpcyjne mają ciała o dużym stopniu dyspersji czyli rozdrobnienia: ciała koloidalne i sproszkowane oraz silnie porowate. Mają one ogromną powierzchnię jednostkową. Cząstki

koloidalne i ziarna mineralne adsorbują w strefie aeracji drobiny pary wodnej bezpośrednio z powietrza. Powstaje w ten sposób woda higroskopijna. Wydziela się przy tym ciepło zwane ciepłem zwilżania. Wskazuje ono na ogromną siłę wiązania wody higroskopijnej. Zdolność adsorbowania pary wodnej czyli wodochłonność higroskopijna zależy od wielkości ziarna w skale i pozostaje w odwrotnym stosunku do jego średnicy. Im drobniejsze są cząstki skały, tym większe są ich zdolności adsorpcyjne. Najbardziej adsorbują wodę cząstki koloidalne i ziarna frakcji iłowej. W żwirach wynosi ona do 0,05 %, w piaskach do 1 %, w piaskach pylastych 7 %, w glinach i iłach do 20 % [5].

Woda higroskopijna związana jest z ziarnami mineralnymi najsilniej. Jej usunięcie wymaga suszenia próbki gruntu w temp. 105-110⁰ C przez kilka godzin. Otacza ona ziarno częściowo (higroskopijność niepełna) lub całkowicie (higroskopijność pełna) warstwą grubości około $2,76 \cdot 10^{-2}$ mikrometra i ma właściwości zbliżone do sprężystego ciała stałego. Woda higroskopowa nie ma zdolności ruchu, ma dużą gęstość – około 2g/cm^3 , zamarza w temperaturze – 78⁰ C, nie przekazuje ciśnienia hydrostatycznego, nie rozpuszcza innych substancji, nie może być pobierana przez rośliny: przemieszcza się jedynie w postaci pary wodnej w zależności od zmian temperatury oraz wilgotności powietrza.

Woda błonkowata tworzy warstewki wody znajdujące się dalej od powierzchni ziarna niż otoczka wody higroskopowej. Po osiągnięciu stanu maksymalnej wilgotności higroskopijnej proces adsorpcji drobin wody z pary wodnej zostaje przerwany, trwa jednak dalej proces wiązania wody przez ziarna mineralne. Wiązaniu teraz ulegają drobiny pochodzące z ciekłej wody. Wiązanie odbywa się dzięki siłom elektrycznym ze strony cząstek mineralnych, które oddziałują przyciągająco na spolaryzowane drobiny wody, mające charakter dipolów. Wokół ziaren mineralnych tworzy się woda związana, zwana błonkowatą. Otacza ona ziarno wraz z wodą higroskopową w postaci błonki. Wyróżnić można w niej 2 warstwy: wewnętrzną i zewnętrzną. Warstewka wewnętrzna jest bardziej trwale związana, leży bezpośrednio na warstwie wody higroskopowej i ma prawie takie same właściwości jak ona. Warstwa zewnętrzna jest luźniej i słabiej związana z ziarnem mineralnym. Woda tej warstwy (zewewnętrznej) jest cieczą o gęstości zbliżonej do zwykłej wody. Jej temperatura zamarzania jest niższa od 0 °C i tym niższa, im cieńsza jest błonka. Nie przenosi ona ciśnienia hydrostatycznego. Woda błonkowata ma pewną ograniczoną zdolność rozpuszczania. Jej właściwości zbliżają się do właściwości zwykłej wody ciekłej w miarę oddalania się od powierzchni ziarna mineralnego. Grubość błonek wody jest różna, nie przekracza jednak 0,5 μm. Gdy dwa ziarna mineralne otoczone błonkami o różnej grubości zetkną się ze sobą, woda z błonki grubszej przemieszcza się na błonkę cieńszą tak długo, dopóki grubość obydwu błonek i napięcie na ich powierzchni nie zostaną wyrównane. Zdolność wiązania wody błonkowej przez skałę nazywamy wodochłonnością molekularną. Zależy ona

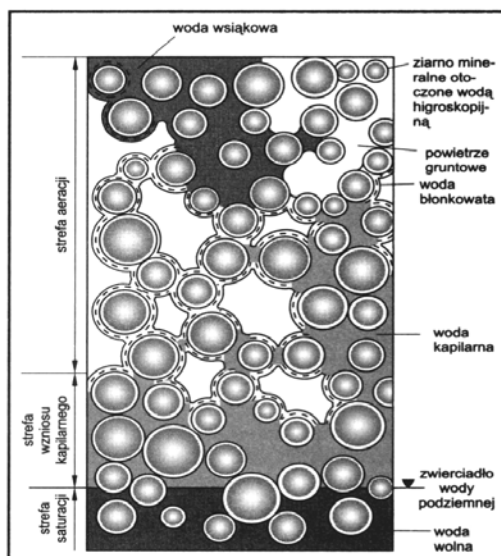
od charakteru mineralnego cząstek, występowania w nich ładunku elektrycznego, stopnia spolaryzowania wody, stężenia rozpuszczonych w niej substancji. Ilość wody błonkowej zawartej w skale, zwana wilgotnością molekularną zależy od podanych czynników, ale decydującą rolę odgrywa tu średnica ziaren. W tych samych warunkach wilgotność molekularna jest większa, im bardziej rozdrobnione są ziarna – tabela 3.11

Zależność wilgotności molekularnej od średnicy ziaren wg [33]

Tabela 3.11.

Średnice ziaren w milimetrach	Maksymalna wilgotność molekularna w % masy suchej skały
1,0 – 0,50	1,57
0,50 – 0,25	1,60
0,25 – 0,10	2,73
0,10 – 0,05	4,75
0,05 – 0,005	10,18
< 0,005	44,85

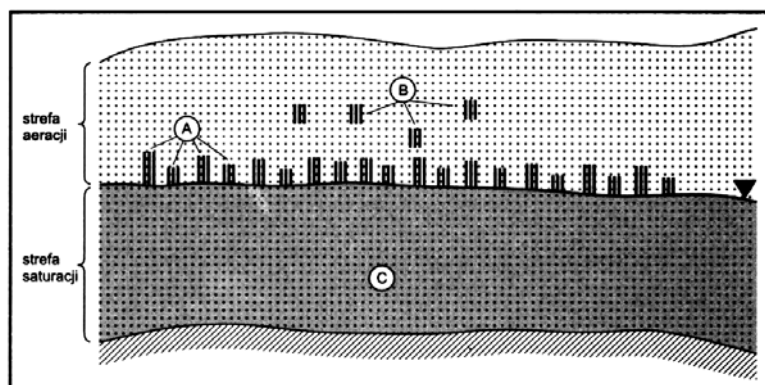
Woda kapilarna jest formą występowania wody w strefie aeracji pośrednią między wodą związaną fizycznie i wodą wolną grawitacyjną. Objawem działania sił molekularnych jest zjawisko włoskowatości, które polega na podnoszeniu się lub opadaniu poziomu cieczy w bardzo wąskich rurkach tzw. kapilarach zanurzonych w cieczy. W skałach mających wąskie szczelinki lub kanaliki woda podnosi się jak w naczyniach włoskowatych powyżej swego zwierciadła swobodnego (rys 3.2).



Rys. 3.2. Główne rodzaje wody w strefie aeracji i saturacji [33].

Wodę taką nazywamy kapilarną. Jej występowanie w porach i szczelinach jest wywołane napięciem powierzchniowym wody. Przyczyną wzniosu kapilarnego są siły działające na granicy ciała stałego i cieczy. W cieczech i ciałach stałych występują siły spójności. W wyniku ich działania zewnętrzna czyli swobodna powierzchnia cieczy podlega działaniu ciśnienia wewnętrznego cieczy, która dla wody wynosi 10700 atm ($\approx 10,84 \cdot 10^8 \text{ Pa}$). Cząsteczki w warstwie powierzchniowej tworzą rodzaj sprężystej i kurczliwej błonki znajdującej się w stanie napięcia, gdyż siły spójności starają się zmniejszyć powierzchnię cieczy. Gdy powierzchnia cieczy jest zakrzywiona występuje dodatkowe ciśnienie zwane włoskowatym, które jest tym większe, im mniejszy jest promień krzywizny. Cząsteczki ciała stałego wywierają na cząsteczki cieczy siły przyciągania i starają się je przyciągnąć [33]. Wysokość wzniosu kapilarnego (podniesienie się wody w przewodach kapilarnych) zależy od średnicy włoskowatych (wąskich) porów i szczelin, w których znajduje się woda. Im drobniejsze są kanaliki w gruncie, tym woda w kapilarach podsiąka wyżej. Woda kapilarna występuje w pobliżu strefy saturacji. Może także występować jako woda kapilarna zawieszona, powstaje wówczas, gdy wody opadowe przenikają do porów o charakterze kapilarnym (średnica porów mniejsza od 1-3 mm) lub także w wyniku szybkiego opadania zwierciadła wód wolnych i oderwania się tych wód od strefy wzniosu kapilarnego. Proces włoskowatego podciągania wody w skałach i gruntach nazywamy kapilarnością czynną, a utrzymywanie się wody kapilarnej po obniżeniu zwierciadła przy zachowaniu

jej maksymalnej wysokości nazywamy kapilarnością bierną. Prędkość wznoszenia się wody kapilarnej jest różna w różnych skałach. Zależy ona od średnicy porów i przewodów kapilarnych, zatem od wymiarów ziaren i jest mniejsza im skała jest drobnoziarnista. Całkowitą ilość wody zawartą w strefie wzniosu kapilarnego nazywamy wilgotnością kapilarną. Woda kapilarna występuje w stanie płynnym, wykazuje dużą ruchliwość, przemieszcza się od wilgotności większej do mniejszej, i to w kierunku pionowym i poziomym, dzięki czemu może uzupełniać zapas wód w warunkach intensywnej transpiracji roślin i parowania z powierzchniowej warstwy gruntu. Aktywnie rozpuszcza i transportuje rozpuszczone sole i drobne zawiesiny.



Rys. 3.3. Rodzaje wody kapilarnej: A – woda kapilarna związana ze zwierciadłem wody podziemnej (strefa wzniosu kapilarnego), B – kapilarna woda zawieszona, C – woda wolna [32,33].

Woda wolna (grawitacyjna) w strefie aeracji występuje głównie w postaci wody wsiąkowej tj. wody przemieszczającej się w głąb utworów skalnych do wód podziemnych. Obecność jej w strefie aeracji wiąże się z wielkością i częstotliwością opadów atmosferycznych oraz rozpuszczalnością skał w tej strefie. Woda wsiąkowa zapełnia większe tzw. niekapilarne przestwory skalne i przesuwa się w głąb pod wpływem siły grawitacji. Ruch ten występuje po uprzednim wypełnieniu wszystkich kapilarów glebowych.

W strefie aeracji może także występować woda wolna zawieszona. Powstaje ona wtedy, gdy w strefie tej występują soczewki skał nieprzepuszczalnych (gliny i ropy), na których zatrzymuje się i gromadzi woda wsiąkowa. Woda wolna zawieszona porusza się we wszystkich kierunkach: wyparowuje, spływa na wszystkie strony soczewki i w pewnej części przesiąka do wód podziemnych. Strefa aeracji jest też nazywana strefą wietrzenia i utleniania ze względu na zachodzące w niej procesy fizyczne i chemiczne, którym sprzyja przemieszczająca się w niej woda grawitacyjna. W czasie długo trwałej posuchy woda zawieszona – zwłaszcza, gdy znajduje się blisko powierzchni ziemi –

może częściowo lub nawet całkowicie wyparować lub zniknąć. Takie pojawiające się i znikające wody zawieszane nazywamy przemijającymi. W strefie aeracji wydzielić można podstrefę wód glebowych. Zajmuje ona przestrzeń od powierzchni Ziemi w dół do zasięgu najdłuższych korzeni roślin. Grubość jej jest różna i zależy głównie od klimatu, rodzaju roślinności i samej gleby. Jest to specyficzne środowisko, w którym zachodzą procesy glebotwórcze, jak akumulacja produktów wietrzenia, rozkład substancji roślinnej przy ograniczonym dostępie powietrza i współdziałaniu bakterii glebowych. Powstaje tu humus, czyli próchnica składająca się ze skomplikowanych ciał koloidalnych. Przebiegają też procesy ługowania, hydrolizy i redukcji. W procesach glebotwórczych czynny udział bierze woda. W glebie występuje ona w różnych postaciach – jako para wodna, woda higroskopijna błonkowata, kapilarnie zawieszona, wsiąkowa, a także w drobnych skupiskach wody wolnej zawieszanej. Wody glebowe są niezbędne dla życia i rozwoju świata roślinnego. Wodami tymi zajmują się agrohydrologia i gleboznawstwo.

3.2.3.2 Woda w strefie saturacji.

Strefa saturacji, czyli strefa nasycenia, jest to ta część środowiska skalnego, w której wszystkie puste przestrzenie między ziarnami skały są wypełniane wodą wolną grawitacyjną. Nie wszystkie skały mają zdolność akumulowania i przewodzenia wolnej wody. Warunkiem tej zdolności są własności hydrogeologiczne; wśród nich dwie o zasadniczym znaczeniu. Jedną z własności jest istnienie w skałach różnego rodzaju próżni jak: pory, pęknięcia, szczeliny, kawerny, kanały itp. Tylko w nich może gromadzić się woda. Zależnie od istoty tych próżni wyróżniamy:

- porowatość; w skałe występuje sieć drobnych próżni i kanalików między poszczególnymi ziarnami mineralnymi,
- szczelinowatość, wynikająca z istnienia w skałe szczelin pochodzenia tektonicznego i wietrzeniowego.
- krasowatość, która obejmuje próżnie powstałe wskutek krasowego ługowania niektórych skał przez wodę.

Drugą własnością hydrogeologiczną skał jest przepuszczalność hydrauliczna, zwana wodoprzepuszczalnością. Jest to zdolność do przewodzenia wolnej wody tzn. umożliwia jej ruch w skałe przy różnicy ciśnień hydrostatycznych. Ruch wody jest możliwy, gdy poszczególne próżnie komunikują się ze sobą. Stopień przepuszczalności określamy objętością wody przepływającej w jednostce czasu przez określony przekrój skały i przy określonej różnicy ciśnień hydrostatycznych. Im większe są przewody wewnątrz skały, którymi płynie woda, tym lepsza jest przepuszczalność. Jednak, gdy wymiary próżni są bardzo małe, że całe ich światło jest objęte strefą działania sił międzycząsteczkowych, to woda w nich zawarta zostaje związana i staje się niezdolna do ruchu.

Zjawisko to zachodzi np. w ilach. Miarą przepuszczalności hydraulicznej skał i gruntów jest parametr – współczynnik filtracji “k”. Ma on wymiar L/T z jednostkami metr/sekundę, centymetr/sekundę, metr/godzinę, metr/dobę.

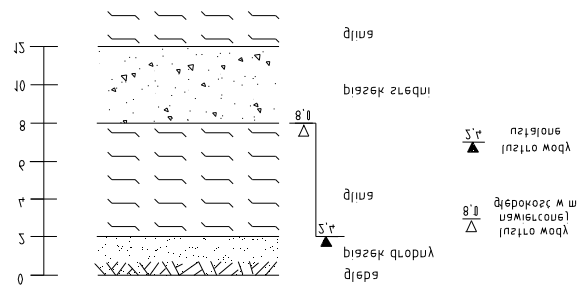
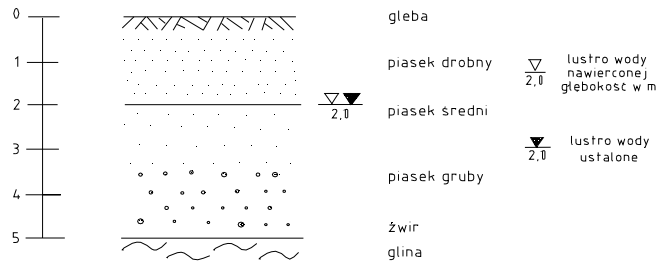
Inne własności hydrogeologiczne są pochodnymi w/w. Należą do nich:

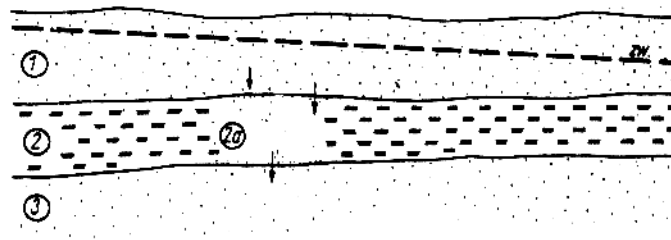
- wodochłonność, czyli zdolność do pochłaniania przez skałę wody,
- odsączalność, tj. zdolność do oddawania przez nasyconą skałę wody wolnej pod wpływem sił grawitacji [33].

Własności te mają decydujący wpływ na zasilanie, ruch i drenaż wód, zasobność i wydajność warstw wodonośnych, na reżim wód itp. Wymienione własności mogą być pierwotne i wtórne. Pierwotne własności wynikają z genezy skały, tzn. tworzą się równocześnie z jej powstaniem. Porowatość piasku powstaje już w momencie sedymentacji ziaren kwarcu na dnie zbiornika osadowego. Pierwotna własność może ulec zmniejszeniu lub całkowicie zaniknąć wskutek działających procesów geologicznych. Wskutek diagenety i cementacji przy przejściu w piaskowiec zmniejsza się porowatość piasku. Piaskowiec może całkowicie stracić swą porowatość przy metamorfozie i przy przejściu w kwarcyt. Kompakcja, cementacja i metamorfoza to procesy geologiczne, przy których maleją własności hydrogeologiczne [33]. Wtórne własności powstają w wyniku procesów geologicznych działających na gotowe już skały, które wcześniej ich nie miały. Początkowo zbity i szczelny wapień jest nieprzepuszczalny. W wyniku wietrzenia fizycznego znacznie on pękać, to wnika jąca w szczeliny woda wywoła procesy skrasowienia i masyw wapienny będzie przepuszczać przez siebie ogromne ilości wody. Wtórne własności hydrogeologiczne wywołują lub je powiększają następujące procesy: wietrzenie skał, ługujące działanie wody i ciśnienie tektoniczne. W strefie saturacji wokół ziaren skalnych występuje też woda związana. Ilość wody wolnej w strefie saturacji zależy od wielkości wolnych przestrzeni w skale. Górną granicą tej strefy jest zwierciadło wód podziemnych. Miąższość strefy saturacji jest zmienna w czasie i zależy od wielkości, i ciągłości zasilania jej wodami grawitacyjnymi. Utwory zawierające wolną wodę nazywamy utworami wodonośnymi. Strefa saturacji pojawia się w utworze wodonośnym wtedy, gdy jest on podesłany utworem nieprzepuszczalnym lub trudno przepuszczalnym. Przestrzeń skały porowej lub szczelinowej zatopionej w wodzie nazywa się poziomem wodonośnym. Często poziomy wodonośne mają układ piętrowy. W poziomie wodonośnym woda porusza się w kierunku zgodnym z nachyleniem zwierciadła. W niektórych strukturach ruch wody odbywa się pod wpływem różnicy ciśnień hydrostatycznych. Nie wszystkie wody w strefie saturacji są w ruchu; pewna ich część np. w zagłębieniach w utworach podścielających może znajdować się w stanie bezruchu. W utworach wodonośnych, które zawierają wodę podziemną znajdującą się w ruchu, można wydzielić trzy strefy poziome: zasilania, spływu i drenażu [33]. Strefą zasilania nazywa się obszar, na którym warstwa wodonośna wychodzi na powierzchnię terenu i gdzie następuje

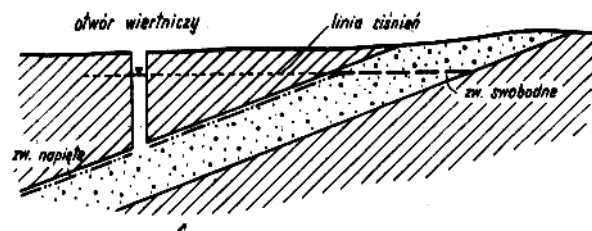
przeziąkanie (infiltracja) wód opadowych lub powierzchniowych (z rzek i jezior). Zasilanie może też pochodzić z dopływu wód podziemnych z niżej położonych poziomów wodonośnych. Charakterystyczną cechą tej strefy jest pionowy ruch wód: od powierzchni do podstawy warstwy wodonośnej [33].

Strefa spływu obejmuje tę część warstwy wodonośnej, gdzie woda przemieszcza się od strefy zasilania do strefy drenażu, nie ulegając przy tym zmianom ilościowym. Cechą charakterystyczną tej strefy jest poziomy ruch wód. Strefą drenażu jest ta część warstwy wodonośnej, gdzie następuje całkowity lub częściowy odpływ wód podziemnych do sieci powierzchniowej (źródeł, bagien, rzek, jezior, mórz) lub do głębszych poziomów wodonośnych. Zwierciadło wód podziemnych może być swobodne, czyli jest nad nim pewna miąższość tej samej warstwy geologicznej, nie zatopiona wodą wolną; w przestrzeni tej zwierciadło może się ewentualnie podnosić przy zwiększonym zasilaniu. Jest to zwierciadło, które kształtuje się pod wpływem siły ciężkości. Może być ono także napięte, czyli wymuszone przez spąg warstwy nadległej (rys. 3.4.)





Rys. 3.4. a,b,c Warstwa wodonośna o zwierciadle wody swobodnym (a), napiętym (b), swobodnym, z oknem hydrogeologicznym sedimentacyjnym (c) [33].



Rys. 3.4d. Warstwa wodonośna o zwierciadle wody swobodnym i napiętym [33].

Przestrzenny obraz zwierciadła wód podziemnych można przedstawić za pomocą hydroizohips, hydroizobat i hydroizopiez.

Hydroizohipsy są to linie łączące punkty o jednakowej wysokości swobodnego zwierciadła wody podziemnej w stosunku do poziomu morza.

Hydroizobaty są to linie łączące punkty odpowiadające jednakowym głębokościom od powierzchni terenu do swobodnego zwierciadła wody podziemnej. Mapa hydroizobat jest mapą miąższości warstwy suchej (aeracji).

Hydroizopiezy są to linie łączące punkty o jednakowych wielkościach ciśnienia piezometrycznego tj. wysokościach, do których wznosi się zwierciadło wód napiętych.

Wody podziemne poziomów wodonośnych drenowanych przez wody powierzchniowe i mające z nimi kontakt hydrauliczny nazywa się wodami potamicznymi. Natomiast te wody podziemne, które tego kontaktu nie mają tj. nie zasilają wód powierzchniowych i nie są przez te wody zasilane, nazywamy wodami apotamicznymi [5].

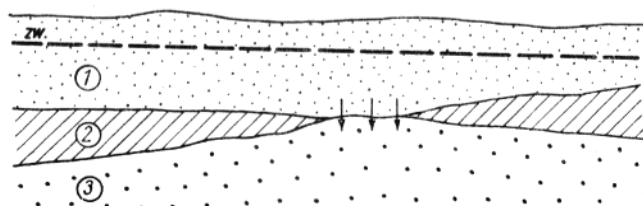
3.2.4. Rodzaje wód podziemnych.

Ze względu na głębokość występowania wody podziemne dzielimy na [33]:

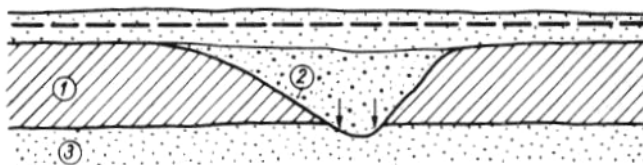
- wody przypowierzchniowe,
- wody gruntowe,
- wody wgłębne,
- wody głębinowe.

Wody przypowierzchniowe tzw. hipodermiczne są to wody podziemne, które występują na bardzo małych głębokościach od powierzchni terenu. Zwierciadło tych wód występuje najczęściej tuż pod powierzchnią terenu (do kilkudziesięciu centymetrów) i praktycznie jest pozbawione strefy aeracji. Lokalnie wody te tworzą zabagnienia. Wody przypowierzchniowe są silnie zanieczyszczone, reagują na zmiany pogodowe. Występują najczęściej w zagłębieniach terenu, na niskich tarasach rzecznych, w pobliżu jezior. Odpływ wód przypowierzchniowych jest minimalny. Parowanie z powierzchni ich zwierciadła jest duże.

Wody gruntowe (freatyczne) są oddzielone od powierzchni terenu mniej lub bardziej miększą strefą aeracji. Wody te są bezpośrednio zasilane przez wody opadowe i powierzchniowe. Zwierciadło tych wód jest na ogół swobodne i wykazuje duże wahania okresowe. Kształt tego zwierciadła w średnich szerokościach geograficznych naśladuje w przybliżeniu rzeźbę terenu. Głębokość występowania wód gruntowych jest bardzo różna: w obniżeniach terenu występuje zazwyczaj płytko, miejscami mogą wypływać na powierzchnię w postaci źródeł i wycieków, tworząc obszary zabagnione; na obszarach położonych wyżej, zwierciadło ich występuje na znacznych głębokościach, nawet do kilkudziesięciu metrów. Na terenie kraju wody gruntowe występują przeważnie w utworach czwartorzędowych, głównie w osadach polodowcowych i aluwialnych. Wody wgłębne są to wody podziemne, które występują w warstwach wodonośnych przykrytych skałami trudno przepuszczalnymi. Obszar ich występowania jest zazwyczaj większy od obszaru zasilania. Zasilanie tych wód odbywa się drogą infiltracji opadów atmosferycznych na wychodniach warstw wodonośnych lub pośrednio przez szczeliny uskokowe, albo różnego rodzaju okna hydrogeologiczne, czyli przerwy w utworach nieprzepuszczalnych występujących w stropie warstwy z wodami wgłębnymi. Są to okna hydrogeologiczne erozyjne lub sedymentacyjne. O oknie erozyjnym mówimy wówczas, gdy w wyniku erozji uległa zniszczeniu warstwa nieprzepuszczalna, a na jej miejscu osadziły się utwory przepuszczalne. Gdy natomiast w stropie warstwy wodonośnej występują fałdalne zmiany utworów, jest to okno sedymentacyjne (rys.3.5).

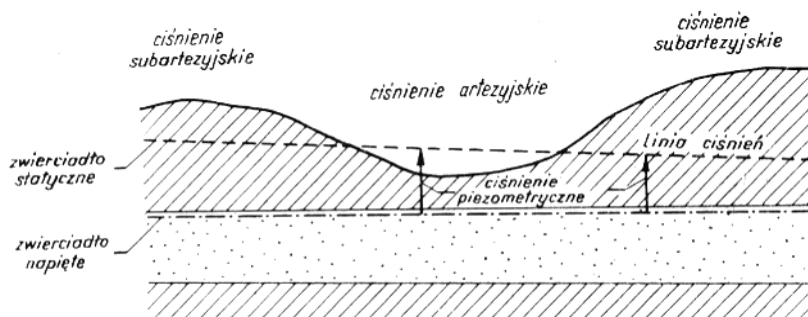


Rys.3.5.a.Okno hydrogeologiczne sedimentacyjne.[33]



Rys.3.5.b.Okno hydrogeologiczne erozyjne.[33]

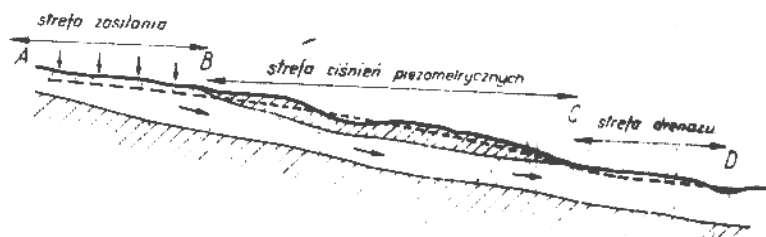
Wody w głębie mogą być też zasilane wodami z innych poziomów wodonośnych przesączającymi się przez podścielające lub przykrywające je utwory o niskiej przepuszczalności. Występuje to wtedy, gdy ciśnienie w warstwie wód głębszych jest niższe od ciśnień w warstwach wodonośnych wyżej lub niżej położonych. Zwierciadło wód głębszych jest na ogół napięte, jego kształt jest wymuszony przez spąg warstwy nadległej. Są to więc wody pod ciśnieniem (wody naporowe), czyli takie wody, których zwierciadło po nawierceniu warstwy wodonośnej podnosi się powyżej stropu tej warstwy. Gdy wznios zwierciadła sięga powierzchni terenu lub powyżej niej mówimy, że są to wody artezyjskie, jeżeli jej nie osiąga są to wody (warunki) subartezyjskie.



Rys.3.6.a. Ciśnienie artezyjskie, subartezyjskie [33].

Wody pod ciśnieniem biorą także udział w krążeniu. W każdej warstwie wodonośnej pod ciśnieniem można też wydzielić 3 strefy: zasilania, ciśnień piezometrycznych i drenażu. Strefę zasilania stanowią najwyżej położone części

warstwy wodonośnej. W tej strefie następuje zasilanie poziomu wodonośnego, którego zwierciadło jest swobodne. Strefa ciśnień piezometrycznych obejmuje te obszary, na których warstwa wodonośna jest przykryta utworami nieprzepuszczalnymi napinającymi zwierciadło wód głębszych. Ciśnienie piezometryczne wód jest tym wyższe, im większa jest różnica między wysokością stropu warstwy wodonośnej w danym miejscu a rzędną strefy zasilania. Poziom piezometryczny obniża się w kierunku strefy drenażu, gdyż w tym kierunku spada ciśnienie. Strefa drenażu to obszar, gdzie następuje odpływ podziemny i gdzie zwierciadło wód ma znów charakter swobodny.



Rys.3.6b. Strefy zasilania, ciśnień piezometrycznych i drenażu. [33]

Wody artezyjskie mogą występować w nieckach (synklinach) i monoklinach. Spotyka się je również w utworach czwartorzędowych, szczególnie w utworach polodowcowych, w których te same utwory wodonośne w jednych obszarach występują na powierzchni, w innych natomiast przykrywa je glina zwałowa. Baseny artezyjskie są różnej wielkości; do największych należą baseny: Dakoty (USA), moskiewski, dniewrowski – doniecki, paryski. W Polsce najbardziej znana jest niecka mazowiecka [33].

Wody głębinowe są to wody podziemne znajdujące się głęboko pod powierzchnią Ziemi i są od niej całkowicie odizolowane kompleksami utworów nieprzepuszczalnych; są to na ogół wody relikto- we. Nie biorą one udziału w krążeniu wód (w cyklu hydrologicznym). Są to wody nieodnawialne i znajdują się w bezruchu. Wody te są na ogół silnie zmineralizowane, często są to cieplice. Uwzględniając rodzaj skał, w których woda występuje, wody podziemne dzielimy na: warstwowe, szczelinowe i krasowe [33]. Wody warstwowe (porowe) wypełniają pory skalne tworząc warstwy wodonośne. Wody szczelinowe występują w spękanych skałach osadowych, magmowych i metamorficznych. Szczeliny mogą mieć różną genezę, różny kształt, różną wielkość i układ. Ilość wód szczelinowych zależy od gęstości szczelin. Gęsta i wzajemnie przecinająca się sieć szczelin sprzyja połączeniu wód w jeden system, chociaż zwierciadło wód szczelinowych nie ma charakteru ciągłego. Ruch wody w szczelinach odbywa się w zmiennym kierunku i z różną prędkością, zarówno pionowo jak i poziomo. Jest on przyporządkowany tektonice i ciśnieniu hydrostatycznemu. Zasilanie wód szczelinowych może być

bezpośrednio, gdy szczeliny dochodzą do powierzchni i woda opadowa może bezpośrednio spływać w ich głąb. Może też być zasilanie pośrednie, gdy szczeliny są przykryte utworami przepuszczalnymi np. zwietrzeliną, osadami piaszczystymi. Zwierciadło wód szczelinowych jest na ogół swobodne. Wody szczelinowe występują na różnych głębokościach; przypowierzchniowe i płytkie głównie w szczelinach wietrzeniowych, szczelinowe wody wglębne na ogół w szczelinach tektonicznych. Wody krasowe występują w próżniach, kanałach i kawernach powstających w wyniku ługowania wapieni, dolomitów, gipsów, anhydrytów oraz halitu. Różnią się one od wód szczelinowych głównie wielkością próżni, w których występują. Są zasilane bezpośrednio przez opady atmosferyczne lub wody powierzchniowe. Miejsca, w których wody powierzchniowe gubią się w krasie, są nazywane ponorami.

W układzie krążenia wód krasowych wyróżnia się ruch pionowy zasilający i ruch poziomy, wyprowadzający wody krasowe na powierzchnię często w postaci wywierzyisk [5].

3.2.4.1. Inne własności hydrogeologiczne skał.

Decydujące znaczenie dla kierunku i prędkości przepływu wody w gruncie (we wnętrzu skały) mają własności hydrogeologiczne tj. następujące czynniki;

- wolne przestrzenie różnego rodzaju w skałach tj. pory, szczeliny, pęknięcia, kawerny i kanały czyli porowatość ogólna,
- przepuszczalność skał, czyli możliwość ruchu wody wolnej.

Dla wodoprzepuszczalności skał najważniejsze znaczenie odgrywają wolne przestrzenie występujące między ziarnami mineralnymi lub skalnymi w postaci porów. Największą porowatością odznaczają się skały osadowe okruchowe, o strukturze ziarnistej. Kształt i wielkość porów zależą od kształtu i rozmiarów ziaren skalnych i sposobu ich ułożenia. Im mniejsze ziarna i im bardziej zaokrąglone, tym większe są wolne przestrzenie między nimi. Im mniejsza różnorodność uziarnienia, tym większe są wolne przestrzenie między nimi. Skały różnoziarniste mają zwykle mniejszą porowatość, gdyż małe drobiny skalne lokują się między większymi ziarnami. Skały złożone z odłamków ostro kanciastych (kruszywo łamane) cechują się mniejszymi porami, gdyż okruchy skalne ściślej przylegają do siebie [33].

Ze względu na wielkość porów dzielimy je na:

- pory nadkapilarne o średnicy powyżej 0,5 mm, co umożliwia wolnej wodzie spływanie w głąb pod wpływem siły grawitacji,
- pory kapilarne o średnicy w granicach 0,002 – 0,5 mm, w których woda może się wznosić jak w naczyniach włoskowatych,
- pory subkapilarne o średnicy mniejszej od 0,002 mm, gdzie woda jest związana siłami cząsteczkowymi.

Porowatość skał określamy liczbowo za pomocą dwóch czynników: współczynnika i wskaźnika porowatości (tabela 3.12).

Zależności liczbowe między współczynnikiem n i wskaźnikiem porowatości e , wg [33] Tabela 3.12.

n [%]	e	e	n [%]
1	0,01	0,1	9,1
10	0,11	0,3	23,1
20	0,25	0,5	33,3
30	0,43	0,7	41,2
40	0,66	1,0	50,0
50	1,00	2,0	66,7
60	1,50	3,0	75,0
80	4,00	5,0	83,3

Współczynniki porowatości n różnych rodzajów skał, wg [33] Tabela 3.13.

Rodzaj skały	Współczynnik porowatości w [%]	Rodzaj skały	Współczynnik porowatości w [%]	Rodzaj skały	Współczynnik porowatości w [%]
Gleba	45-65	Lessy	40-65	Martwica wapienna	20 – 30
Torf	76-89	Piaski	20-48	Fylity	0,5 – 10
Węgiel	0,1-6,0	Piaskowce	0,9-28,0	Marmury	0,1 – 6,0
Muły świeże	50-90	Szarogłazy	0,4-1,0	Kwarcyty	0,008 – 3,5
Iły plastyczne	35-70	Żwiry	20-55	Gnejsy	0,02 – 2,5
Iły zwarte	18-35	Margle łąkowe	20-32	Bazalty	0,2 – 3,0
Iłołupki	0,5-15	Margle ilaste	20-49	Porfiry	0,4 – 6,0
Gliny	24-42	Kreda piszcząca	3-55	Granity	0,2 – 2,2
Lessy gliniaste	25-35	Wapienie i dolomity zbite	0,2-7,0		

Współczynnik porowatości n jest stosunkiem objętości próżni (wszystkich porów) V_p do całkowitej objętości cząstek stałych i porów, liczony w procentach.

$$n = \frac{V_p}{V} \cdot 100 [\%] , \text{ lub } n = \frac{V - V_z}{V} \cdot 100 [\%]$$

gdz: $V = V_p + V_z$, V – objętość całej próbki skalnej w $[\text{cm}^3]$, V_p – objętość porów w $[\text{cm}^3]$, V_z – objętość ziaren w $[\text{cm}^3]$.

Wskaźnik porowatości e jest stosunkiem objętości porów V_p do objętości stałych cząstek skały V_z i przedstawia się wzorem:

$$e = \frac{V - V_z}{V_z} = \frac{V_p}{V_z}$$

Znając jeden z tych wskaźników możemy wyliczyć drugi z zależności [27]:

$$n = \frac{e}{1 + e}, \text{ lub } e = \frac{n}{1 - n}$$

Laboratoryjnie można określić współczynnik i wskaźnik porowatości przez oznaczenie gęstości właściwej ρ_s i gęstości objętościowej ρ_o skały suchej przy zachowaniu naturalnej objętości. Gęstość właściwa skały jest to stosunek masy próbki do jej objętości bez porów:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_z},$$

gdzie:

ρ_s – gęstość właściwa w $[\text{g}/\text{cm}^3]$,

m_s – masa próbki skały w $[\text{g}]$ wysuszonej w temperaturze 100°C ,

V_z – objętość ziaren (próbki bez porów) w $[\text{cm}^3]$.

Gęstość objętościowa jest to stosunek masy próbki skały do jej objętości łącznie z porami i innymi próżniami:

$$\rho_o = \frac{m_s}{V}, V_z = \frac{m_s}{\rho_s}, V = \frac{m}{\rho_o},$$

gdzie:

ρ_o – gęstość objętościowa w $[\text{g}/\text{cm}^3]$,

m_s – masa suchej próbki, wysuszonej w temperaturze 100°C w $[\text{g}]$,

V – objętość suchej próbki skały w $[\text{cm}^3]$, stąd

$$n = \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_s} \cdot 100 \%, \quad e = \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o}$$

Gęstość właściwą oznacza się wg normy PN – 75/B – 04481, a gęstość objętościową wg normy PN – 75/B – 04481.

Skały o współczynniku porowatości n mniejszym od 1% zaliczane są do bardzo szczelnych, mieszczących się w granicach 1 – 5 %, do skał mało porowatych, od 5 % do 15 % średnio porowatych, a powyżej 15 % o dużej porowatości (tabela 3.13).

Ważnym zagadnieniem przy określaniu przepuszczalności skał jest badanie uziarnienia skał tzn. badanie ich składu granulometrycznego. Luźne skały okruchowe składają się z ziaren o różnej wielkości. Wg wymiarów okruchów skalnych dzielimy grunty na grupy, zwane frakcjami w określonych przedziałach wielkości. Zgodnie z normą PN-74/B-02480 wyróżnia się następujące frakcje:

- kamienista – średnica odłamków ponad 40 mm,
- żwirowa – ziarna o wymiarach 2 - 40 mm,
- piaskowa – ziarna o wymiarach 0,05 – 2 mm,
- pyłowa – ziarna o wymiarach 0,002 – 0,05 mm,
- ilowa – drobiny o wymiarach poniżej 0,002 mm.

Stopień zróżnicowania gruntów pod względem wielkości ziaren przedstawia się w postaci współczynnika równomierności, uziarnienia, wg wzoru:

$$U = \frac{d_{60}}{d_e}$$

gdzie:

U – współczynnik równomierności uziarnienia,

d_{60} – średnica zastępcza, odpowiadająca zawartości 60 % ziaren całości próbki,

d_e – średnica miarodajna, tzn. efektywna średnica ziaren, poniżej której 10 % masy próbki stanowią ziarna mniejsze, a 90 % większe niż średnica miarodajna.

Ze względu na wartość współczynnika równomierności uziarnienia skały dzieli się na trzy grupy:

a – równomiernie uziarnione tzn. $U < 5$

b – nierównomiernie uziarnione przy $5 < U < 15$

c – bardzo nierównomiernie uziarnione dla $U > 15$.

Najwyższe wartości współczynnika równomierności uziarnienia wykazują ility, gliny, piaski gliniaste i ilaste, najniższe natomiast – piaski i żwiry rzeczne oraz lessy. Pochylenie krzywej uziarnienia ukazuje nam również stopień zróżnicowania ziaren materiału skalnego, im jest ono mniejsze tym bardziej jednolite jest uziarnienie skały. Zdolność skał do przewodzenia wody przez system porów i kanalików nazywamy przepuszczalnością hydrauliczną i określamy objętością przepływającej wody w jednostce czasu przez dany przekrój skały przy określonej różnicy ciśnień hydrostatycznych. Objętość (natężenie) przepływającej wody Q przez określony przekrój skały równa się iloczynowi powierzchni skały F i prędkości przepływającej wody V:

$$Q = F \cdot V,$$

gdzie:

Q – [m³/h]

F – [m²]

V – [m/h]

Dla stałej prędkości ilość przepływającej wody jest wprost proporcjonalna do wielkości przekroju tzn. im większe są w skałach pory, szczeliny i kanaliki, tym większa przepuszczalność hydrauliczna. Ogólna objętość porów nie ma jednak bezpośredniego wpływu na przepuszczalność, gdyż przy dużej ilości małych porów może być nawet objętościowo większa niż odpowiadająca dużej porowatości, a mimo to skała może być nieprzepuszczalna. Niektóre skały o dużym współczynniku porowatości jak np. iły lub gliny są nieprzepuszczalne, gdyż woda w porach subkapilarnych związana jest siłami między cząsteczkowymi i nie może swobodnie przepływać.

Zależnie od stopnia przepuszczalności skały dzielimy na:

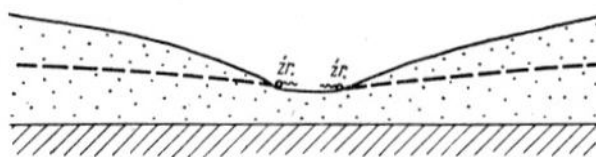
- nieprzepuszczalne (iły i gliny zwięzłe),
- słabo przepuszczalne (muły i lżejsze gliny),
- przesączalne (lessy i grunty pylaste),
- przepuszczalne (piaski i żwiry),
- łatwo przepuszczalne (grube żwiry) [33].

3.2.5. Źródła

Źródła należą do obiektów punktowych występowania na powierzchni wód podziemnych. Stanowią one naturalne wypływy wód podziemnych i są przejawem krążenia wody na pograniczu retencji podziemnej i odpływu. Decydujący wpływ na występowanie obiektów punktowych wywierają: budowa geologiczna, rzeźba terenu i klimat. Do obiektów punktowych zalicza się skoncentrowane i nie- skoncentrowane wypływy wód podziemnych, tj. źródła, młaki, wycieki i wysięki.

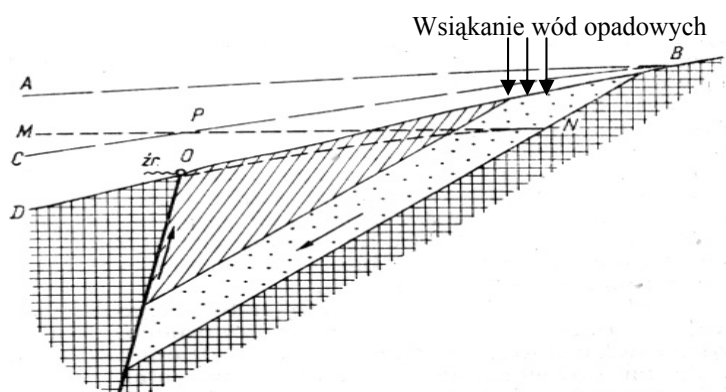
Źródłem jest samoczynny i skoncentrowany wypływ wody podziemnej na powierzchnię terenu. Występują one w tych miejscach, gdzie powierzchnia topograficzna przecina warstwę wodonośną lub statyczne zwierciadło wody podziemnej. Ich występowanie jest w znacznym stopniu zależne od klimatu. Występują wyłącznie w strefie klimatu wilgotnego, umiarkowanego wilgotnego i subniwального. W obszarach subpolarnych, gdzie występują marzłota trwała, brak jest źródeł, gdyż woda nie wsiąka w zamrożone podłoże i odpływa wyłącznie powierzchniowo. W obszarach półsuchych i suchych, źródła nie występują; zwierciadło wód podziemnych leży zbyt głęboko, aby mogły tworzyć się źródła, spływowe zwłaszcza stale funkcjonujące. Zależnie od rodzaju siły powodującej wypływ wody tj. od stanu napięcia zwierciadła wody podziemnej zasilającej źródło, wyróżniamy: źródła spływowe, źródła podpływowe i źródła lewarowe [5].

Źródła spływowe, czyli descenzyjne, grawitacyjne lub zstępujące, charakteryzują się tym, że woda wypływa z nich pod wpływem siły ciężkości, płynie z góry w dół. Zwierciadło zasilającej je warstwy wodonośnej jest pochylone w stronę źródła.



Rys.3.7. Źródło warstwowe descenzyjne [33].

Źródła podpływowe, zwane też ascenzyjnymi, wstępującymi lub artezyjskimi, cechują się tym, że woda wypływa z nich pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego; płynie z dołu ku górze. Są to naturalne wypływy wód artezyjskich lub wód szczelinowych.



Rys.3.8. Źródło uskokowe, ascenzyjne. [33]

Źródła lewarowe tzw. intermitujące lub syfonowe, charakteryzują się tym, że woda z nich wypływa okresowo z kanału lewarowego na zasadzie ssania. W szczelinach krasowych woda sphywa do większej kawerny, podnosi się jej poziom do wysokości szczeliny wylotowej. W momencie przepływu wody szczeliną nastąpi jej zassanie i samoczynne przepompowanie ponad przeszkodą. Przepływ wody ustaje z chwilą przedostania się do szczeliny powietrza. Po ponownym wypełnieniu zbiornika (lewara) nastąpi znowu wypływ wody [5]. Ze względu na warunki geologiczne, w jakich występują źródła, a ściślej na rodzaj przewodów wyprowadzających wodę na powierzchnię terenu, wydziela się źródła warstwowe, szczelinowe i krasowe. Źródła warstwowe wypływają z utworów porowych i są zasilane przez występujące w tych utworach wody podziemne. Występują one w różnych sytuacjach topograficznych. Spotykamy je w miejscach, gdzie nastąpiło nacięcie w wyniku erozji warstwy wodonośnej – źródło warstwowo – erozyjne. Występują też na granicy warstwy przepuszczalnej i nieprzepuszczalnej, gdy przetnie je powierzchnia

topograficzna. Źródło wypływa wtedy na kontakcie utworu trudno przepuszczalnego z wodonośnym – źródło warstwowo – kontaktowe. Gdy podścielający kontakt warstwy przepuszczalnej z wodonośną jest pochylony w kierunku przeciwnym do kierunku spływu wód podziemnych, występują źródła przelewowe. Źródła warstwowe mogą występować też w tych miejscach, gdzie nastąpi nagle zmniejszenie przepuszczalności utworów warstwy wodonośnej lub zmniejszenie jej miąższości. Nazywamy te źródła warstwowo – zaporowymi. Sytuacja taka często występuje w dolinach i stożkach napływowych. Wydajność źródeł warstwowych zależy od wielkości zasilania warstwy wodonośnej i przepuszczalności utworów. Na ogół nie są one zbyt wydajne. Większe wydajności mogą mieć źródła warstwowe drenujące wody artezyjskie. Źródła szczelinowe wyprowadzają wody krążące w szczelinach skał litych. Jeśli szczeliny mają kontakt z powierzchnią terenu, wówczas gromadząca się w nich woda podziemna może wypływać tworząc źródło lub zespół źródeł. Wypływ wody może odbywać się pod wpływem grawitacji lub pod ciśnieniem hydrostatycznym. Źródła szczelinowe są różnej wielkości i wykazują zmienną wydajność zależną od wielkości zasilania opadem atmosferycznym. Niektóre z nich są źródłami pulsującymi: wypływ wody odbywa się z niewielkimi sekundowymi lub minutowymi przerwami. Są to źródła podpływowe, przyczyną pulsacji wypływu jest piasek, zatykający ujście szczeliny; gdy ciśnienie hydrostatyczne nie może przewyciężyć oporu stawianego przez korek piaskowy, wypływanie ustępuje; gdy ciśnienie wzrośnie do wartości potrzebnej do usunięcia korka, następuje wypływ w formie wytrysku.

Źródła uskokowe wyprowadzają wodę szczelinową poprzez strefę uskokową biegnącą przez warstwy nieprzepuszczalne albo wzdłuż płaszczyzny uskokowej rozgraniczającej warstwy wodonośne i nieprzepuszczalne. Źródła tego typu zawierają często wody o podwyższonej temperaturze (wody termalne) i mineralizacji (wody mineralne). Wykazują one stałą wydajność. Źródła krasowe występują w skałach podlegających krasowieniu przez przesiąkające i krążące wody. Spotykamy je w szczelinowych naturalnych utworach wapiennych. Krążąca w szczelinach i próżniach skalnych woda może w obniżeniach terenowych wydostawać się na powierzchnię tworząc źródło. Często są to źródła lewarowe lub artezyjskie. Źródła krasowe, które dają początek ciekom, nazywamy wywierzyskami. Są one bardzo wydajne np. wywierzyska Vaucluse we Francji dają do 120 m³/s, źródła na Florydzie 10–23 m³/s, w polskich Tatrach do 3 m³/s. Ze względu na położenie i stosunek do morfologii terenu wyróżniamy źródła:

- zboczowe (stokowe), położone na zboczach dolin,
- krawędziowe wypływające u podnóża krawędzi morfologicznej; odmianą ich mogą być źródła klifowe, występujące u podnóża klifów podmorskich,
- tarasowe, wypływające u podnóża tarasów rzecznych,

- przykorytowe i korytowe, wypływające w korycie rzecznym,
- grzbietowe, występujące na grzbietach.

Ze względu na przyczynę powodującą podziemne piętrzenie wody i wypływ jej na powierzchnię terenu źródła dzielimy na zaporowe i przelewowe [33].

Ze względu na charakter litologiczny utworów, w których występują, źródła dzielimy na:

- skalne, bijące bezpośrednio z niezwiętrzałych skał,
- rumoszowe, wypływające z pokrywy zwietrzelinowej o dużych okruchach skalnych,
- zwietrzelinowe, wypływające z pokrywy zwietrzelinowej złożonej z drobnych okruchów skalnych,
- morenowe, wypływające z utworów morenowych,
- sandrowe, wypływające na obszarach sandrowych,
- osuwiskowe, bijące z czoła jęzora osuwiskowego i prowadzące wodę z warstw występujących ponad osuwiskiem,
- deluwialne, drenujące deluwia.

Cechy fizyczno – chemiczne wody mogą stanowić też podstawę podziału źródeł. Ze względu na temperaturę wody źródła dzielimy na zwykłe (o temperaturze wody do 20 °C) i termalne (o temperaturze wody ponad 20 °C). Ze względu na mineralizację wody wyróżniamy źródła: ultra słodkie, o zawartości poniżej 0,1g substancji mineralnych w 1dm³ wody), słodkie (o mineralizacji 0,1 – 0,5 g/dm³), akratepegi (o mineralizacji 0,5 – 1,0 g/dm³) i mineralne (zawierające ponad 1g substancji mineralnych rozpuszczalnych w 1dm³ wody). Źródła mineralne dzielimy zależnie od składu chemicznego wody na: solankowe, siarczanowe, szczawy i inne [5]. Z podziału hydrologicznego tj. ze względu na trwałość wypływu źródła dzielimy na stałe (czyli ze stałym odpływem) i okresowe (drenują wody podziemne jedynie w okresie ich wysokich stanów). Szczególnym rodzajem źródeł są gejzery i źródła gazujące, związane z obszarami czynnego wulkanizmu. Gejzery są to źródła, które w regularnych lub nieregularnych odstępach czasu wyrzucają z otworu gorącą wodę i parę wodną. Gejzer jest zasilany głównie wodą z powierzchni Ziemi; gromadzi się ona w głębokim przewodzie, w którym jest silnie ogrzewana od dołu przez ognisko wulkaniczne. W dolnej części przewodu temperatura wody przekracza 110 °C. Woda znajduje się pod ciśnieniem całego słupa wody, dlatego też nie może wrzeć, zanim nie osiągnie temperatury wrzenia także w górnej części przewodu. W momencie gdy to nastąpi, woda w dolnej części przewodu zamienia się w parę wodną i gwałtownie wypycha wysoko w górę znajdującą się ponad nią warstwę wody. Ta ochłodzona na powierzchni spływa z powrotem do przewodu i zjawisko się powtarza. Gejzery występują na Islandii, Kamczatce, Nowej Zelandii i w Stanach Zjednoczonych (Park Yellowstone). Źródła gazujące, czyli pieniawy, są to źródła wyprowadzające wodę zgazowaną, czyli mieszaninę wody i gazu, którym jest najczęściej CO₂

pochodzenia juvenilnego, rzadziej metan CH_4 . Wyływ wody zgazowanej jest stały (odwrotnie niż w gejzerach). W postaci źródeł gazujących występują najczęściej wody wodorowęglanowe zmieszane z CO_2 , tzw. szczawy. Do źródeł gazujących zalicza się też soffioni, są to wyziewy pary wodnej, siarkowodoru i CO_2 . Występują one w Toskanii (płn. Włochy) i w Polsce w Dusznikach Zdroju..

3.2.5.1. Nieskoncentrowane wyływy wód podziemnych.

Młaki są to powierzchniowe, rozlewne (nie skoncentrowane) wyływy wody podziemnej zatorfione lub zabagnione, dające na ogół odpływ. Występują one tam, gdzie następuje zahamowanie swobodnego odpływu podziemnego, głównie przez pokrywą zwietrzelinową. Wydobywająca się na powierzchnię woda podziemna nie może w całości odpłynąć, nasycza warstwę przypowierzchniową wokół miejsca wyływu, powodując zabagnienie terenu i rozwój roślinności hydrofilnej czyli wodolubnej. Młaki dają często początek ciekom powierzchniowym. Powszechnie występują w górach [5]. Wyciek jest to nie skoncentrowany wyływ wód podziemnych; jest to bardzo słaby, przeważnie powierzchniowy, rzadziej liniowy, wyływ wody podziemnej z odsłoniętej warstwy wodonośnej lub zwietrzeliny skalnej, dający na zewnątrz widoczny odpływ. Wycieki występują na ogół na zboczach dolin lub bezpośrednio w korytach rzecznych. W górach występują na skalnych stokach; wyciek na stromym zboczu, gdzie woda skapuje kroplami nazywamy wykapem [5]. Najmniejsze lokalne nawilgocenie powierzchni Ziemi wodą podziemną bez odpływu jest nazywane wysiękiem. Wysięk jest to miejsce słabego powierzchniowego sączenia wód podziemnych z utworów luźnych lub odsłoniętych szczelin powodującego zawilgocenie terenu bez widocznego odpływu na zewnątrz. Bilans wodny wysięku zamyka się po stronie rozchodu albo wyłącznie przez parowanie (wysięk ewaporacyjny), albo przez infiltrację wody w grunt tuż obok wysięku (wysięk infiltracyjny), albo przez oba te procesy łącznie (wysięk infiltracyjno – ewaporacyjny).

3.2.6. Kontakty hydrauliczne wód podziemnych z wodami powierzchniowymi.

W procesie odpływu wód powierzchniowych wyróżnia się dwie jego drogi:

- 1) powolny ale stały dopływ wód podziemnych,
- 2) szybki, nieregularny spływ powierzchniowy do sieci wodnej.

3.2.6.1. Odpływ podziemny.

W procesie odpływu podziemnego wyróżnia się dwie fazy:

- a) fazę wsiąkania wody opadowej w glebę i przesiąkania przez nią ruchem w przybliżeniu pionowym,
- b) fazę odpływu podziemnego.

3.2.6.1.1. Wsiąkanie wody opadowej.

Wsiąkanie wody w glebę i przesiąkanie przez nią, odbywa się w strefie napowietrzenia (aeracji). Proces ten odbywa się pod wpływem siły ciężkości. Opory napotymane przez wodę wsiąkającą są większe niż, te które napotykają krople deszczu spływając po powierzchni Ziemi. Opór wsiąkającej w grunt wodzie stawiają cząsteczki stałe w postaci ziaren i koloidów oraz cząsteczki wody unieruchomione przez przyciąganie i przywieranie do cząsteczek stałych (siły międzycząsteczkowe). Od rodzaju i ilości tych związanych molekularnie cząsteczek wody (tj. od wilgoci glebowej) zależą chwilowe warunki wsiąkania. Ilość wilgoci jest zmienna i zależy od warunków pogodowych; maleje w okresie suszy, wzrasta na skutek kondensacji pary wodnej i w czasie opadów i roztopów. Zależnie od stanu wilgoci glebowej będzie woda opadowa albo wsiąkała w głąb Ziemi, albo w postaci spływu powierzchniowego odpłynie do sieci wód powierzchniowych. Jeśli gleba jest sucha, wsiąkająca w grunt woda opadowa jest zużywana na zwilżanie gleby, pęcznienie koloidów zatem na uzupełnienie wilgoci glebowej (głównie wody błonkowej i kapilarnej) do stanu wilgotności odpowiadającej połowej pojemności wodnej (stan, w którym gleba utrzymuje maksymalną ilość wody kapilarnej bez jej przejścia w formę grawitacyjną).

Podział skał wg przepuszczalności wg [5] i [33]

Tabela 3.14.

Charakter przepuszczalności	Współczynnik przepuszczalności [darcy]	Współczynnik filtracji [m/s]
Bardzo dobra: rumosz, żwir	powyżej 100	powyżej 10^{-3}
Dobra: piaski: grube, średnie	100 – 10	$10^{-3} - 10^{-4}$
Średnie: piaski drobne	10 – 1,0	$10^{-4} - 10^{-5}$
Słabe: piaski pylaste	1,0 – 0,1	$10^{-5} - 10^{-6}$
Półprzepuszczalne: gliny, namuły	0,1 – 0,001	$10^{-6} - 10^{-8}$
Nieprzepuszczalne: ropy, ropy	poniżej 0,001	powyżej 10^{-8}

Po osiągnięciu tego stanu zaczyna się proces przesiąkania wody wolnej pionowo w dół do strefy saturacji, zwany infiltracją). Jako wsiąkanie rozumiemy łącznie uzupełnianie wilgoci glebowej i proces infiltracji tj. przenikanie w głąb wody grawitacyjnej. Infiltracja w górnej części swej drogi jest hamowana przez parowanie, a głównie przez transpirację, która sięga do głębokości najdłuższych korzeni [33].

Infiltracja zachodzi w czasie deszczu i podczas roztopów. Ilość wody infiltrującej w głąb Ziemi zależy głównie od przepuszczalności utworów powierzchniowych i intensywności opadu. Przepuszczalność utworów powierzchniowych określa zależność przewodzenia wody; miarą jej jest szybkość pionowego ruchu wody przy pełnym nasyceniu i pod normalnym

ciśnieniem. Stopień przepuszczalności skał określa się za pomocą współczynnika przepuszczalności ośrodka porowatego zwanego darcy, kiedy 1 cm^2 przekroju przepuści w ciągu 1 s, 1 cm^3 cieczy o lepkości 1 centypuaza przy różnicy ciśnień 1at na długości 1 cm [33]. Bardzo dobrą przepuszczalność wykazują żwiry i piaski gruboziarniste (tab. 3.14.), półprzepuszczalne są gliny, namuły i ropy piaszczyste. Utwory bardzo dobrze przepuszczalne chłoną opad np. piaski bez roślinności wchłaniają 58 % opadu pojawiającego się na ich powierzchni, a utwory trudno przepuszczalne utrudniają jego infiltrację. O ilości wody opadowej infiltrującej w głąb Ziemi decyduje też wysokość, rozkład, natężenie i charakter opadów. Opady ciekłe infiltrują wtedy, gdy przepuszczalność gruntu jest większa od intensywności deszczu [5].

W przeciwnym przypadku woda opadowa uzupełnia retencję powierzchniową i formuje spływ powierzchniowy. Rozlewne, długotrwałe deszcze lub obfite roztopy mogą spowodować chwilowe całkowite nasycenie gleby wodą, aż do stanu maksymalnej pojemności i wówczas następne porcje wody zasilającej powierzchnię gruntu nie będą już wsiąkać i uformują spływ powierzchniowy. O roli innych czynników klimatycznych tj. temperatury i wilgotności powietrza wspomnieliśmy już wcześniej (pkt. 3.2.2.1). Przesuszonej powierzchniowej warstwy gleby zachowuje się jak warstwa nieprzepuszczalna; trwa to do chwili nasycenia jej wodą. Przy długotrwałych opadach atmosferycznych obszary o niezbyt miększej strefie aeracji mogą ulec całkowitemu nasyceniu i infiltracja ustaje. Infiltrująca w głąb Ziemi woda opadowa dociera po pewnym czasie (w warunkach krajowych od 3 do 70 godzin) do zwierciadła wód podziemnych. Jest ona głównym źródłem zasilania czyli alimentacji tych wód zwłaszcza w klimacie wilgotnym. Im klimat jest bardziej suchy tym mniejsze jest znaczenie tego źródła w zasilaniu wód podziemnych. O ilości wody, która drogą infiltracji opadu atmosferycznego dociera do poziomu wodonośnego, informuje wskaźnik infiltracji efektywnej w_e . Jest to stosunek wysokości warstwy wody efektywnie infiltrującej do wysokości średnich opadów rocznych w wieloleciu P ; wyraża się go w procentach lub ułamku dziesiętnym. Biorąc pod uwagę wielkość wskaźników infiltracji efektywnej wydzielono w Polsce niżowej cztery klasy infiltracji [33], o czym informuje tabela 3.15. Przeważnie wynosi on 16-25 %.

Klasy infiltracji na obszarze Polski niżowej, wg [33].

Tabela 3.15.

Klasa	Warunki filtracji	Wskaźnik infiltracji efektywnej w_e	Rodzaj utworu
I	Bardzo dobre	0,30	Żwiry i piaski wodnolodowcowe, sandrowe, wydmore, rzeczne, tarasów akumulacyjnych, piaski pokrywowe
II	Dobra	0,25	Piaski i żwiry moreny czołowej, piaski i żwiry glacialne
III	Średnia	0,20	Piaski i mułki tarasów zalewowych deluwia piaszczyste, piaski pylaste
IV	Zła	0,05	Gliny zwałowe, ily i mułki zastoiskowe, deluwia gliniaste

3.2.6.1.2. Ruch wody w poziomie wodonośnym.

Po dojściu wody opadowej do zwierciadła wód podziemnych warunki ruchu wody zmieniają się ze względu na wypełnienie nią wszystkich porów skał i zdolności do wytwarzania ciśnienia hydrostatycznego przekazywanego powierzchniowym obiektom hydrograficznym (źródłom, rzekom, zbiornikom wodnym, bagnetom). Kształt zwierciadła wód podziemnych alimentowanych opadem atmosferycznym zależy od miąższości strefy aeracji i przepuszczalności utworów tworzących tę strefę. Im większa jest przepuszczalność, tym zwierciadło wody podziemnej jest bardziej płaskie i im głębiej ono zalega, tym bardziej jego kształt zależy od topografii warstwy podścielającej. Kształt zwierciadła wód podziemnych zależy też od wielkości zasilania infiltracyjnego. Im obfitsze jest zasilanie, tym zwierciadło wód podziemnych jest bardziej wypukłe; przy obfitym zasilaniu infiltracyjnym zwierciadło wód podziemnych dąży do powtarzania kształtu powierzchni zasilającej, czyli powierzchni terenu. Stan zwierciadła wód podziemnych jest zmienny w czasie. Po obfitych opadach lub roztopach zwierciadło wody podnosi się; w przypadku braku opadów obniża się. Reakcja zwierciadła wody podziemnej na zwiększone zasilanie jest opóźniona, wynosi od kilku dni do kilkunastu tygodni, a nawet miesięcy. To opóźnienie jest wywołane stopniem przepuszczalności strefy aeracji i długością drogi infiltracji (miąższością tej strefy). Najszybciej na wzrost zasilania reaguje zwierciadło wód szczelinowych i krasowych, ze znacznym opóźnieniem zwierciadło wód porowych, mniejszym w przypadku żwirów i piasków gruboziarnistych, większym w przypadku zapiaszczonych glin. Poziom wodonośny ma pewną miąższość i jego zwierciadło (w klimacie wilgotnym) jest nachylone ku bazie drenażu, którą jest źródło, koryto ciekłu, zbiornik wodny. Ruch wody w poziomie wodonośnym odbywa się pod wpływem różnicy ciśnienia wywieranego na dowolną powierzchnię poziomą położoną pod pochyłym zwierciadłem. Przyczyną ruchu

jest spadek hydrauliczny (pochylenie zwierciadła), a prędkość tego ruchu jest wprost proporcjonalna do tangensa kąta nachylenia zwierciadła, przy czym współczynnik proporcjonalności k jest zwany współczynnikiem filtracji. Zależność tę ujmuje wzór Darcy'ego, czyli tzw. liniowe prawo filtracji. Ma ono postać:

$$v = k \cdot i,$$

gdzie:

v – prędkość filtracji, [m/s, m/h, lub m/dobę]
 k – współczynnik filtracji, [m/s, m/h, lub m/dobę]
 i – spadek hydrauliczny

$$i = \frac{h_1 - h_2}{l} [\text{‰}]$$

h_1 – wysokość (rzędna) zwierciadła wody, w przekroju 1

h_2 – wysokość (rzędna) zwierciadła wody, w przekroju 2

l – odległość między przekrojem 1 i 2, [m].

Przy spadku hydraulicznym $i = 1$ prędkość filtracji jest równa współczynnikowi filtracji, $v = k$.

Podstawowe znaczenie dla ruchu wody w gruncie ma współczynnik filtracji, charakteryzujący stopień przepuszczalności utworów budujących strefę saturacji. Utwory, których współczynnik filtracji jest większy niż 10^{-3} cm/s, są uważane za wodonośne. Współczynnik filtracji charakteryzuje też własności wody, płynącej w strefie saturacji. [33].

Ruchem wód w utworach wodonośnych kierują utwory trudno przepuszczalne. W poziomie wodonośnym o zwierciadle swobodnym stanowią one jego spąg; w przypadku wód wgłębnych nakrywając od góry zwierciadło tych wód, wymuszają jego ugięcie [33]. Ilość przepływającej wody podziemnej oblicza się wykorzystując wzór Darcy'ego.

$$Q = F \cdot v$$

gdzie:

Q – natężenie (ilość) przepływającej wody, [m^3/s],
 F – powierzchnia przekroju, którym płynie woda, [m^2]
 v – prędkość filtracji, [m/s]; $v = k \cdot i$.

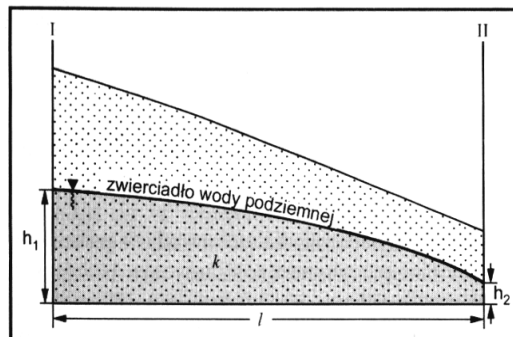
Początkowo należy obliczyć natężenie przepływu jednostkowego tj. tę ilość wody, która przepływa w jednostce czasu przez poprzeczny przekrój warstwy wodonośnej o szerokości 1 m, czyli;

$$q = k \cdot i \cdot h \cdot B_1$$

gdzie:

q – jednostkowy przepływ wody, [m^3/s],
 h – wysokość warstwy wodonośnej, [m],
 B_1 – szerokość przekroju (1m),

k – współczynnik filtracji, [m/s].
 i – spadek hydrauliczny, liczba niemianowana.



Rys.3.9. Obliczanie objętości przepływu wody podziemnej w jednorodnej warstwie wodonośnej; I, II –piezometry, h_1 , h_2 – miąższość warstwy wodonośnej, k – współczynnik filtracji, l – odległość między piezometrami. [33]

Gdy miąższość warstwy jest zmienna, należy wyliczyć jej średnią wartość

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

Zależność ta oznacza jednocześnie jednostkową powierzchnię przekroju o szerokości 1 m.

Spadek hydrauliczny wyliczamy z zależności

$$i = \frac{h_1 - h_2}{l}$$

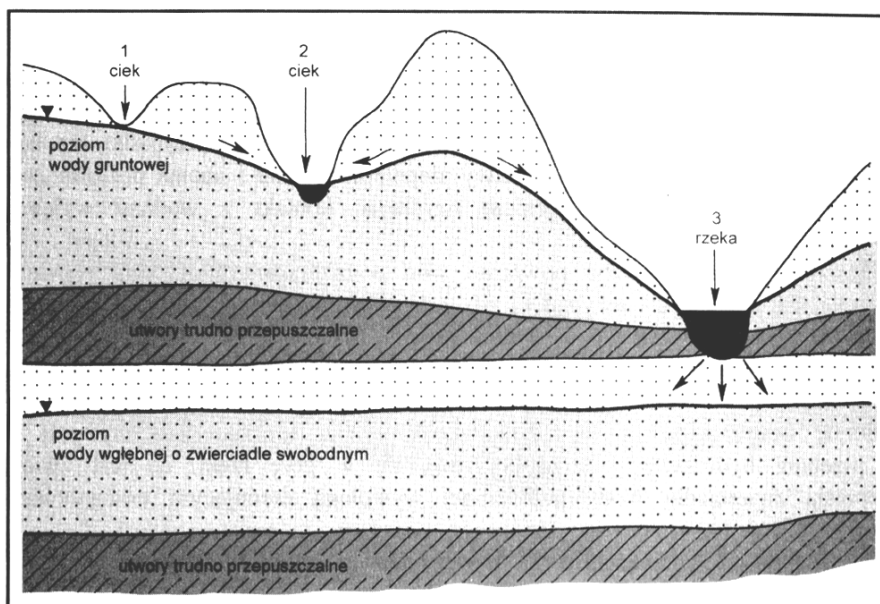
gdzie: l – odległość między przekrojem 1 i 2, w których wysokości zwierciadła wody wynoszą odpowiednio h_1 , h_2 [m]. Podstawiając te zależności (h , i) do wzoru na natężenie przepływu jednostkowego otrzymuje się:

$$q = k \cdot \frac{h_1 - h_2}{l} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} = k \cdot \frac{(h_1 - h_2)^2}{2l}$$

Całkowitą ilość przepływającej wody na badanej szerokości przekroju poprzecznego B w jednostce czasu otrzymujemy z zależności $Q = q \cdot B$ [m³/s] [33].

3.2.6.2. Odpływ podziemny do rzek i jezior.

W klimacie wilgotnym końcowym etapem filtracji jest drenowanie poziomu wodonośnego przez sieć hydrograficzną. Oznacza to odpływ wód podziemnych do rzeki i jezior. Ilość wody płynącej w rzece składa się z dwóch członów: podziemnego odpływu z drenażu z poziomu wodonośnego i powierzchniowego spływu. W okresie posuszonym w korycie rzeki płyną tylko wody pochodzące z drenażu poziomu wodonośnego. W niektórych regionach kontakt wód podziemnych, szczelinowych i porowych z rzekami i jeziorami jest bezpośredni; rzeki i jeziora nacinają drenowane warstwy wodonośne (rys.3.10).



Rys.3.10. Związki hydrauliczne cieków powierzchniowych i wód podziemnych: [5]

1. ciek okresowy, występuje okresowo kontakt z wodami gruntowymi,
2. ciek stały zasilany przez wody gruntowe,
3. ciek stały zasilany przez wody gruntowe i zasilający wody głębsze.

Przy normalnym drenowaniu swobodne zwierciadło wody podziemnej, przy wypływie do koryta rzeki lub misy jeziornej, przybiera kształt paraboli o równaniu

$$y^2 = \frac{2 \cdot q \cdot x}{k}$$

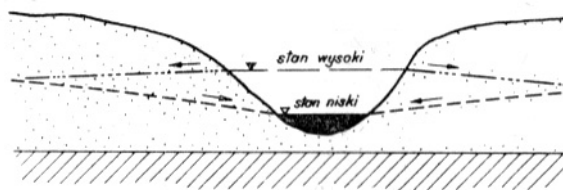
gdzie:

- y – wysokość swobodnego zwierciadła wody, [m],
- x – odległość od brzegu rzeki, [m],

q – wielkość zasilania podziemnego ciekłu lub jeziora [m^3/s] na jednostkę długości brzegu,

k – współczynnik filtracji zasilającej warstwy wodonośnej [m/s].

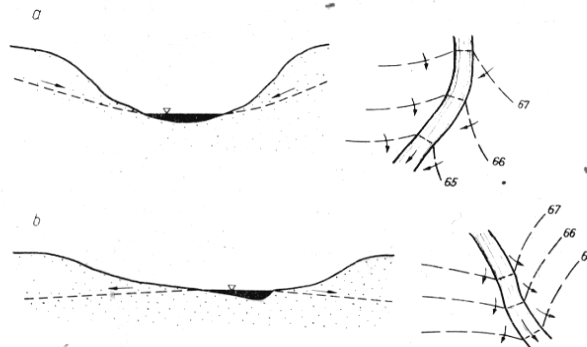
Po dojściu do rzeki (jeziora) wzdłuż tak ukształtowanego zwierciadła kończy się podziemna droga wody opadowej. Bezpośredni związek hydrauliczny wód podziemnych z wodami powierzchniowymi istnieje wtedy, gdy kontakt tych wód jest swobodny. Występuje to wówczas, gdy warstwa podścielająca poziom wodonośny znajduje się poniżej koryta ciekłu lub misy jeziornej (rys.3.10). Od głębokości nacięcia warstwy wodonośnej zależy, czy sieć hydrauliczna jest stała czy okresowa. Jeśli koryto ciekłu jest wcięte w utwory nieprzepuszczalne i z warstwą wodonośną zasilaną opadami atmosferycznymi na drodze infiltracji ma tylko okresowo bezpośredni związek hydrauliczny, to związek ten występuje tylko podczas wysokich stanów wód powierzchniowych (rys.3.10). Istnieją też ciekły, które w ogóle nie mają bezpośredniego kontaktu z wodami podziemnymi, gdyż ich koryta są tak głęboko wcięte w utwory nieprzepuszczalne, że nawet przy maksymalnym stanie wód powierzchniowych nie istnieje kontakt bezpośredni z warstwą wodonośną zasilaną opadem atmosferycznym. Na zboczu doliny występują tylko źródła. Możliwe są też przypadki, że koryto ciekłu lub misa jeziorna przecina warstwy nieprzepuszczalne i nacina poziomy wodonośny o zwierciadle napiętym i uzyskuje kontakt z wodami wgłębny (rys.3.12).



Rys. 3.11a Rzeka drenująca i alimentująca poziom wodonośny. Stan niski w rzece – wody podziemne płyną do rzeki. Stan wysoki w rzece – wody z rzeki zasilają warstwę wodonośną. [33]

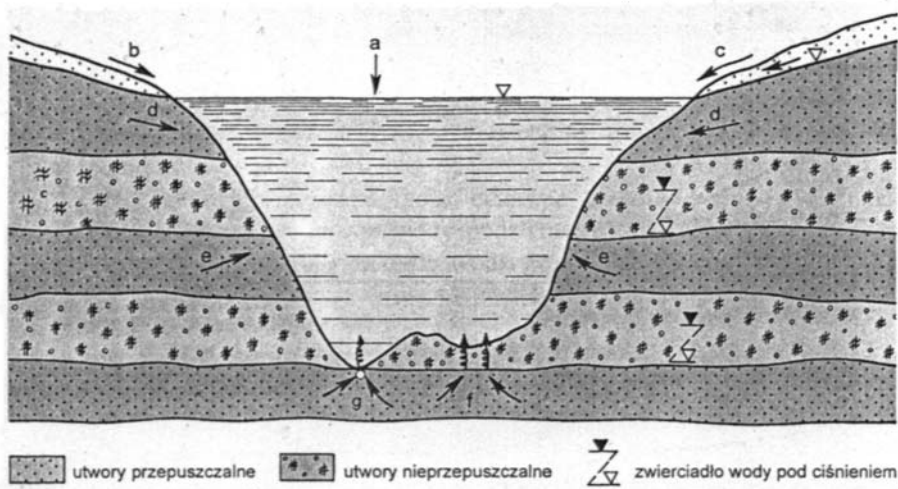
Istnieją trzy rodzaje kontaktów wód podziemnych z wodami powierzchniowymi. Najczęściej rzeka jest zasilana przez wody podziemne. Oddają one dwustronnie rzece wzdłuż jej biegu część swoich zasobów. Rzeki drenują warstwy wodonośne i nazywamy je drenującymi. Zwierciadło wód podziemnych obniża się w stronę koryta ciekłu i na brzegu wiąże się bezpośrednio z lustrem wody w rzece. Hydroizohipsy wyginają się w górę rzeki, co jest związane z depresją zwierciadła wody podziemnej wywołaną drenującym oddziaływaniem rzeki (rys.3.11a). Na niektórych odcinkach rzeka może oddawać część swej wody do poziomu wodonośnego i zasilać w ten sposób wody podziemne. Jest to rzeka infiltrująca lub alimentująca. Zwierciadło

wody gruntowej obniża się dwustronnie od koryta cieką na zewnątrz, hydroizohipsy są wygięte w dół rzeki (rys.3.11b).



Rys. 3.11.b Układ hydroizohips przy rzece drenującej (a) i rzece alimentującej (b).

Występują też przypadki, kiedy rzeki drenują i jednocześnie zasilają wody podziemne (rys.3.11a). Zależnie od wysokości stanu wody w rzece może ona być na przemian drenująca i zasilająca (np. w okresie wezbrań wiele rzek drenujących staje się rzekami zasilającymi). Charakter rzeki może zmieniać się zarówno w czasie, jak i z biegiem rzeki. Rzeka w swoim biegu może przejść z drenującej w zasilającą, jeśli zwiększy się nagle szerokość doliny, rzeka przetnie wychodnie skał szczelinowych lub zwiększy się gwałtownie miąższość aluwiołów (osadów rzecznych). Drenowanie poziomów wodonośnych przez jeziora jest bardziej złożone. Przy dużej głębokości jezior zasilanie ich przez wody podziemne może mieć znaczne rozmiary, gdyż oprócz wód gruntowych mogą uczestniczyć też inne, głębsze poziomy wodonośne (rys.3.12).

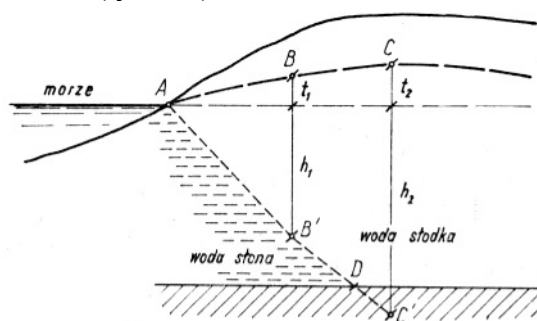


Rys. 3.12. Rodzaje zasilania jezior. [5].

W ten sposób w jeziorze wydostają się na powierzchnię wody, które względem rzek są apotamiczne. W klimatach suchych w strefie podzwrotnikowej i we wnętrzach lądów strefy umiarkowanej, gdzie parowanie przeważa nad opadem, sytuacja kształtuje się inaczej. Bezpośrednie zasilanie wód podziemnych opadami atmosferycznymi może być tylko chwilowe. Głównym źródłem zasilania wód podziemnych stają się rzeki allochtoniczne. Zwierciadło wód gruntowych w pobliżu tych rzek układa się również według równania krzywej depresji, lecz o kształcie odwróconym [5].

3.2.6.3. Odpływ podziemny do mórz.

Kontakt infiltracyjnych wód podziemnych z wodą morską zależy od rodzaju skał budujących wybrzeże morskie. Jeśli są to skały przepuszczalne, woda morska infiltruje w głąb lądu i na drodze przepływu napotyka spływające ku morzu wody podziemne słodkie. W strefie ich kontaktu wytwarza się swoista równowaga między lżejszą wodą słodką (u góry) i cięższą wodą słoną (u dołu); w pasie przybrzeżnym pod słodką wodą spływającą z lądu zalega słona woda morska (rys.3.13).

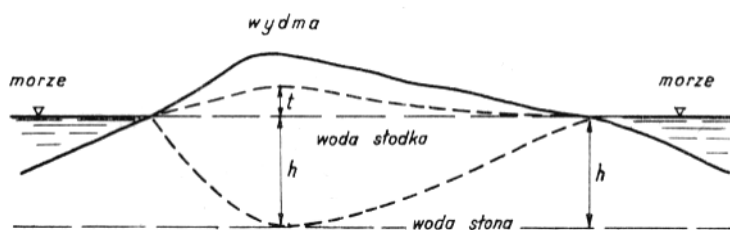


Rys.3.13. Zasięg słonej wody przy jednostronnej infiltracji. [33]

Układ taki jest przejawem wglębnego zasilania lądu przez morze [33]. Głębokość występowania wody słodkiej w strefie przybrzeżnej „h” jest funkcją wysokości zwierciadła słodkiej wody gruntowej „t” i ciężaru właściwego wody morskiej „ ρ_m ”:

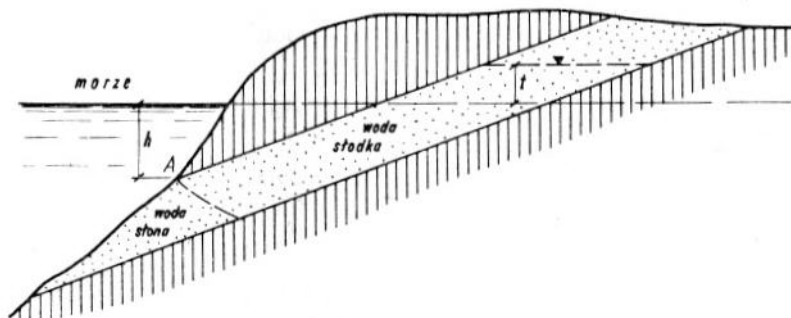
$$h = \frac{t}{\rho_m - 1}.$$

Pod wyspą lub mierzeją woda morska zalega głębiej, a woda podziemna infiltracyjna tworzy na niej pływającą soczewkę (rys.3.14).



Rys.3.14. Stosunek wód słodkich do słonych na mierzei [33].

Jest ona tym grubsza, im mniejsza jest gęstość wody morskiej. W okresie wilgotnym soczewka jest grubsza, zaś w czasie suszy słona woda morska wypiera od dołu wodę słodką i jest ona cieńsza. Kształt soczewki wody słodkiej zależy od kształtu jej zwierciadła (rys.3.13) Zasięg wody morskiej w głąb lądu jest ograniczony stropem utworów nieprzepuszczalnych. Granicę tą można wyznaczyć w przybliżeniu ze wzoru wyżej podanego znając rzędne zwierciadła wody słodkiej w kilku punktach przekroju prostopadłego do brzegu morza oraz głębokości stropu warstwy nieprzepuszczalnej. Linia AB'B (rys.3.13) oznacza przecięcie płaszczyzny rozgraniczającej wodę słodką i słoną ze stropem warstwy nieprzepuszczalnej. Jeśli w strefie przybrzeżnej znajdują się warstwy wodonośne ograniczone warstwami nieprzepuszczalnymi, które mają swoje wychodnie w dnie morza, zasięg infiltrującej w te warstwy wody morskiej zależy od stosunku ciśnienia wody słodkiej na podmorskiej wychodni do ciśnienia wody morskiej (rys.3.15).



Rys.3.15 Słona woda na podmorskiej wychodni warstwy wody gruntowej [33].

Woda morska wnika w warstwę wodonośną wtedy, gdy $t < h(\rho_m - 1)$, i to tym dalej, im większa będzie różnica obu ciśnień [33]. Morze stanowi główną bazę drenażu dla wód podziemnych, zwłaszcza wód wgłębnych, apotamicznych dla większości rzek i jezior. Drenuje ono te poziomy wodonośne bezpośrednio lub

drogą pośrednią przez przesączenie, jeśli panujące w drenowanych warstwach wodonośnych ciśnienie jest większe od wywieranego przez słup wody morskiej.

3.3. Budowa i właściwości chemiczne i fizyczne wody.

Woda jest jedną z najbardziej zadziwiających substancji znajdujących się w przyrodzie. Wiele jej właściwości różni się wartościowo i to znacznie, od innych substancji występujących w przyrodzie i uczestniczących w procesach ważnych dla funkcjonowania biosfery. Niektóre z jej właściwości zmieniają się pod wpływem temperatury i ciśnienia całkiem inaczej niż u innych substancji (np. gęstość wody nie zawsze maleje ze wzrostem temperatury, największa gęstość występuje w temperaturze 3,98 °C). Jest ona jednym z najbardziej uniwersalnych rozpuszczalników występując w przyrodzie we wszystkich trzech stanach skupienia: lód, woda ciekła i para wodna. Spełnia trzy ważne funkcje w przyrodzie: jest materiałem budulcowym żywych organizmów, medium transportującym materię (substancje chemiczne w roślinach, substancje zawieszone i rozpuszczone w ciekach) i energię (prądy oceaniczne i cyrkulacja atmosfery). Większość właściwości wody wynika z jej budowy cząsteczkowej – jest to związek jednego atomu tlenu i dwóch atomów wodoru o wzorze H_2O . Wagowo dominuje tlen (88,81 %), a wodór występuje podrzędnie (11,19 %). Ponieważ występują trzy naturalne trwałe izotopy tlenu: ^{16}O , ^{17}O i ^{18}O we wzajemnych stosunkach 99,759 : 0,037 : 0,204 oraz 2 trwałe izotopy wodoru: 1H zwanym protem oraz 2H zwanym deuterem D i jeden promieniotwórczy izotop wodoru 3H zwany trytem mamy do czynienia z 36 odmianami izotopowymi cząsteczek wody o masie cząsteczkowej od 18 do 24. Izotop promieniotwórczy wodoru – tryt powstaje w atmosferze w warunkach naturalnych w wyniku promieniowania kosmicznego. Izotopy wodoru występują w proporcjach: 99,985 : 0,015 : $4 \cdot 10^{-13}$. W przyrodzie mamy znaczną przewagę izotopów lekkich. Cząsteczki wody zwykłej, o ciężarze cząsteczkowym 18 stanowią 99,73 % wszystkich cząsteczek wody. Pozostałe 0,27 % przypada na cząsteczki wody ciężkiej. Pomiar gęstości wody w przyrodzie wykazały, że wody o różnej genezie, występujące w różnych środowiskach, mają różny skład izotopowy. Największą gęstość mają wody strefy gorącej (oceaniczne, słonych jezior), najmniejszą wody opadowe i czasem wody źródlane stref wulkanicznych. Ponadto woda krystalizacyjna wielu materiałów ma nieco większą gęstość niż woda zwykła $^1H_2\ ^{16}O$, co może wskazywać na krystalizację z przesyconych roztworów wzbogaconych w ciężkie izotopy tlenu i wodoru. Nieco większą gęstość ma też woda zawarta w organizmach żywych, co wiąże się z intensywniejszym wyparowywaniem z nich wody zwykłej. Główną przyczyną dyferencjacji izotopowej wody jest parowanie. Prężność pary wodnej wody ciężkiej jest nieco niższa niż wody zwykłej o masie cząsteczkowej 18. Najwięcej deuteru znajduje się w wodach oceanicznych, gdzie zgodnie z zawartościami standardowymi (SMOW) jego

ilość wynosi 0,02 %. Dużo deuteru, bo około 30 % więcej niż przeciętnie, występuje w wodzie Morza Martwego, co wiąże się z intensywnym parowaniem i małą ilością dopływów. Naturalne stężenia wody ciężkiej występującej w przyrodzie nie mają ujemnego wpływu na organizm ludzki. Wyższe stężenia wywołują natomiast objawy toksyczne, związane ze zmianami osmotycznymi i zmianami napięcia powierzchniowego błon komórkowych. Pojedyncza cząsteczka wody H_2O jest asymetryczna w sensie przestrzennego rozmieszczenia atomów wodoru i tlenu. Cząsteczka wody ma budowę nieliniową, kąt między wiązaniami $H - O - H$ jest równy $104,52^\circ$. Każde z tych wiązań jest spolaryzowanym wiązaniem atomowym, z przewagą ładunku dodatniego przy atomie wodoru, cząsteczka ma duży moment dipolowy, $6,16 \text{ C m}$ (tj. $1,85 \text{ D}$). W centrum każdej cząsteczki znajduje się atom tlenu obdarzony ujemnym ładunkiem, zaś dodatnio naładowane atomy wodoru znajdują się na osiach skierowanych względem siebie pod kątem $105^\circ 3'$ (dla pary wodnej). W modelu elektrostatycznym przyjęto, że 3 jądra atomów tworzą trójkąt równoramienny z 2 protonami w podstawie i tlenem w wierzchołku. Odległość atomów wodoru od tlenu wynosi $0,9658 \text{ \AA}$ (tj. $0,0996588 \text{ nm}$), a odległości obu atomów wodoru od siebie – około $1,54 \text{ \AA}$ [23]. Występuje asymetryczne rozmieszczenie ładunków elektrycznych, co powoduje wyraźną biegunowość cząsteczki wody. W pewnym przybliżeniu można cząsteczkę wody uważać za kulę o promieniu $1,38 \text{ \AA}$, a jej średnica wynosi $2,76 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$). Wysoka wartość momentu dipolowego sprawia, że woda ma bardzo dużą wartość stałej dielektrycznej $\xi = 81$. Właściwość ta sprawia dużą zdolność wody do rozpuszczania wielu minerałów. Przyciąganie między atomem H jednej cząsteczki i atomem O drugiej cząsteczki prowadzi do asocjacji cząsteczek H_2O w stanie stałym i ciekłym. Skupisko cząsteczek H_2O utrzymuje się dzięki występowaniu wiązań wodorowych. Atom wodoru znajdujący się między dwoma atomami tlenu można uważać jednakowo związany z oboma atomami tlenu. Odległość $O - - O$ wynosi około $0,275 \text{ nm}$, więcej niż podwójna normalna odległość w wiązaniu $O - H$ tj. $0,09658 \text{ nm}$. Dzięki wiązaniom wodorowym powstaje olbrzymia cząsteczka, w której każdy atom jest otoczony czterema atomami wodoru, ale tylko połowa z nich należy do niego. Badaniami rentgenowskimi stwierdzono, że atomy tlenu są rozmieszczone w narożach regularnego czworościanu (tetraedru). Dzięki budowie tetraedrycznej struktura lodu jest trójwymiarowa, a nie płaska dwuwymiarowa [23].

Dipolowy charakter pojedynczych cząsteczek wody i występowanie wiązań wodorowych ułatwia polimeryzację cząsteczek, czyli łączenie się pojedynczych cząsteczek w wielocząsteczkowe asocjacje. Asocjacje cząsteczek wody, zwłaszcza lodu, mają tendencję do zachowania układów tetraedrycznych, w których każda cząsteczka wody otoczona jest czterema innymi cząsteczkami. Liczba asocjujących cząsteczek zależy od temperatury. W temperaturze 0°C wynosi ona najczęściej 6, a w niższych temperaturach 8. Przebudowa

mniejszych polimerów wody w większe przy przejściu wody ciekłej w lód powoduje zwiększenie objętości lodu w stosunku do wody o około 10 %. Lód charakteryzuje się luźną siecią przestrzenną o symetrii heksagonalnej, przy zachowaniu tetraedrycznej struktury wewnętrznej poszczególnych cząstek. Stopnienie lodu pod wpływem temperatur wyższych od 0 °C powoduje rozpad sieci przestrzennej kryształów lodu i sprzyja ściślejszemu upakowaniu cząsteczek, co wywołuje wzrost gęstości wody w stosunku do lodu. Największą gęstość ma woda w temperaturze około 4 °C, powyżej której z powodu wzrastającego ruchu termicznego cząsteczek, mimo dalszego rozpadu asocjacji, gęstość wody stopniowo się zmniejsza. Z dalszym wzrostem temperatury aż do 100 °C zmniejsza się tendencja do tworzenia wysoko spolimeryzowanych cząstek wody. Objętość właściwa wody maleje wraz ze wzrostem temperatury, osiągając minimum w temperaturze 4 °C. W tej temperaturze gęstość wody jest największa. Ciepło właściwe wody jest najniższe przy 27 °C i podobnie jak ciepło topnienia jest anomalnie wysokie. Wyjątkowym zjawiskiem jest też obniżanie się temperatury zamarzania przy wzroście ciśnienia, wysokie wartości napięcia powierzchniowego, ciepła parowania, stałej dielektrycznej i momentu dipolowego. Występują też wyższe, niż wynikałoby to ze składu i masy cząsteczkowej, wartości temperatury wrzenia i zamarzania wody. Anomalie właściwości wody uwarunkowane są głównie dipolowym charakterem pojedynczej jej cząsteczki i zróżnicowanymi systemami asocjacji cząsteczek w roztworach wodnych. Właściwości fizyczne wody zestawiono w tabeli 3.16. Cząsteczka wody bardzo rzadko ulega dysocjacji (1 cząsteczka na 10 milionów) tworząc jon hydroksylovowy OH⁻ i jon wodorowy H⁺. Gdyby jednak nie było tej znikomej dysocjacji to wiele ważnych procesów i reakcji nie zachodziłoby.

Właściwości fizyczne wody, wg [23]

Tabela 3.16.

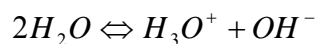
Masa cząsteczkowa	18,016
Temperatura topnienia lodu przy ciśnieniu 1,01325 · 10 ⁵ Pa	0,0 °C
Temperatura wrzenia wody przy ciśnieniu 1,01325 · 10 ⁵ Pa	100,0 °C
Temperatura krytyczna wody	374,65 °C
Objętość krytyczna wody	0,00326 m ³ /kg
Ciśnienie krytyczne wody	22,12 · 10 ⁴ Pa
Gęstość lodu w temperaturze 0 °C, przy ciśnieniu 1,01325 · 10 ⁵ Pa	0,9167 g/cm ³
Gęstość wody przy ciśnieniu 1atm, w temperaturze 0 °C	0,999 841 g/cm ³
4 °C	0,999 972 g/cm ³
20 °C	0,998 230 g/cm ³

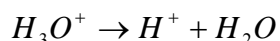
Gęstość maksymalna w temperaturze 3,98 °C	1,000 000 g/cm ³
Ciepło topnienia w temperaturze 0°C	79,70 cal/g
Ciepło parowania w temperaturze:	
0 °C	597,30 cal/g
25 °C	583,00 cal/g
100 °C	539,10 cal/g
Współczynnik lepkości dynamicznej w temperaturze:	1,972 cP
0 °C	
20 °C	1,005 cP
20,2 °C	1,000 cP
100 °C	0,284 cP
Napięcie powierzchniowe w temperaturze:	
0 °C	75,64 N/m
25 °C	71,97 N/m
100 °C	8,85 N/m
Stałe dielektryczne w temperaturze:	
0 °C	87,8
20 °C	81,0
25 °C	78,3
Przewodnictwo właściwe czystej wody	0,015 · 10 ⁻⁶ S/m
Przewodnictwo właściwe w temperaturze:	
0 °C	1,5 · 10 ⁻⁶ S/m
25 °C	6,2 · 10 ⁻⁶ S/m

3.3.1. Ogólna charakterystyka roztworów wodnych.

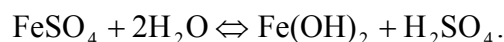
3.3.1.1. Roztwór rzeczywisty.

Jako roztwór wodny rozumiemy jednorodną mieszaninę cząsteczek i jonów rozpuszczonych substancji i wody oraz produktów ich wzajemnego oddziaływania. Zależnie od wielkości cząsteczek rozpuszczonych związków dzielimy je na właściwe roztwory rzeczywiste o średnicy $d < 10^{-7}$ cm, a więc o wielkości odpowiadającej pojedynczym cząsteczkom chemicznym oraz roztwory koloidalne o cząsteczkach wielkości $> 10^{-7}$ do 10^{-5} cm. W postaci właściwych roztworów wodnych mogą występować zarówno jony, jak i cząsteczki niezdysonowane. W roztworach wodnych przebiegają jednocześnie procesy asocjacji i dysocjacji cząsteczek wody, W wyniku asocjacji powstają $(H_2O)_n$, a produktem drugiego procesu przebiegającego zgodnie z reakcją:



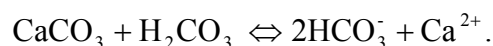


są uwodnione jony H^+ oraz jony hydroksylowe OH^- . Stopień dysocjacji wody zupełnie czystej jest mały, zaś stała dysocjacji elektrolitycznej w temperaturze 22 °C wynosi $1,8 \cdot 10^{-16}$. Iloczyn jonowy wody $K_w = [H^+] \cdot [OH^-]$ zależy od temperatury, w konsekwencji następuje zmiana wartości pH odczynu obojętnego, w temperaturze 0° C wynosi $pH = 7,47$, a w 60° C $pH = 6,51$. Substancje obecne w roztworach wodnych dysocjują podobnie jak woda. Przy dysocjacji cząsteczek w ilości >60 % mówimy o silnych elektrolitach, w ilości mniejszej od 60 % zdysocjonowanych cząsteczek są to elektrolity słabe. Przy rozpuszczaniu ciał stałych w wodnych roztworach właściwych mogą być obecne jony i cząsteczki niezdysonowane. Przejście jonów do wody z pozostających z nią kontaktów minerałów jest wynikiem oddziaływań elektrycznych dipoli wody na te minerały. Przy większej energii oddziaływania H_2O na minerał niż jego energia sieci krystalizacyjnej następuje oderwanie jonów z minerału i jego przejście do roztworu wodnego. Szybkość procesu rozpuszczania minerałów zależy od temperatury, im wyższa temperatura tym więcej rozpuści się minerał. Szybkość tego procesu zwiększają też procesy utleniania, hydrolizy i kwaśnej hydrolizy. Obecność wspólnych jonów wpływa też na rozpuszczalność np. rozpuszczalność $NaCl$ maleje, gdy w roztworze są obecne jony Na^+ lub Cl^- . Jony wyrwane z sieci krystalizacyjnej minerałów przechodząc do roztworu wodnego są natychmiast otaczane cząsteczkami H_2O , tworzącymi tzw. otoczkę hydratacyjną, zwykle trwale związane z jonem. Poza akwajonami (zhydrytyzowanymi jonami) podczas procesu rozpuszczania w wodzie mogą tworzyć się zhydratyzowane pary jonowe i jony kompleksowe. Podczas rozpuszczania ciał stałych nie mających struktury krystalicznej, poza jonami do roztworu mogą przechodzić niezdysonowane cząsteczki, które są otaczane również otoczkami hydratacyjnymi, zwykle słabiej z nimi związanymi, niż przy jonach. Proces rozpuszczania ciał stałych jest ograniczony, a określa go iloczyn rozpuszczalności. W roztworach nienasyconych dominuje rozpuszczanie, a ze wzrostem mineralizacji rośnie udział krystalizacji. W roztworach nasyconych istnieje dynamiczna równowaga między tymi procesami. W roztworach wodnych zachodzi proces hydrolizy substancji rozpuszczonych pod wpływem zdysocjonowanych cząsteczek H_2O (H^+ i OH^-). Związki te w różnym stopniu ulegają hydrolizie; jedne z nich, np. węglany żelaza – łatwo, inne np. krzemiany – jedynie w małym stopniu. Proces hydrolizy siarczanu żelaza przebiega zgodnie z reakcją:



W efekcie środowisko ma kwaśny odczyn od H_2SO_4 .

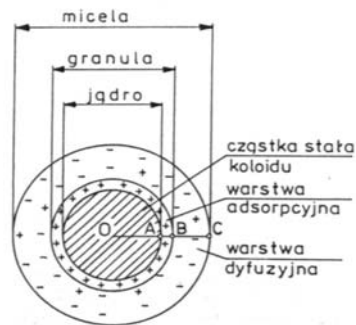
W wodach zawierających kwasy przebiegać może kwaśna hydroliza np.



Zarówno zwykła jak i kwaśna hydroliza zwiększa intensywność rozpuszczania ciał stałych. Rozpuszczalność gazów w wodzie opisuje prawo Henry - Daltona, tzn. masa rozpuszczonej każdej składowej mieszaniny gazów jest wprost proporcjonalna do ciśnienia cząsteczkowego gazu nad roztworem. Rozpuszczalność gazów w wodzie zwiększa się ze wzrostem ciśnienia cząsteczkowego danego gazu nad roztworem. Rozpuszczalność gazów w wodzie zwiększa się ze wzrostem ciśnienia, a maleje ze wzrostem temperatury i stężenia soli w wodzie. Wody naturalne zawierają najczęściej następujące gazy: CO₂, O₂, H₂S i N₂, znacznie rzadziej CH₄, NH₃ i inne gazy np. gazy szlachetne. Gazy rozpuszczane w wodzie z reguły występują w postaci obojętnych niezdisocjonowanych cząsteczek. W postaci jonowej mogą być obecne wówczas, gdy zachodzą reakcje między cząsteczkami H₂O i gazu, jak w przypadku CO₂, H₂S i NH₃.

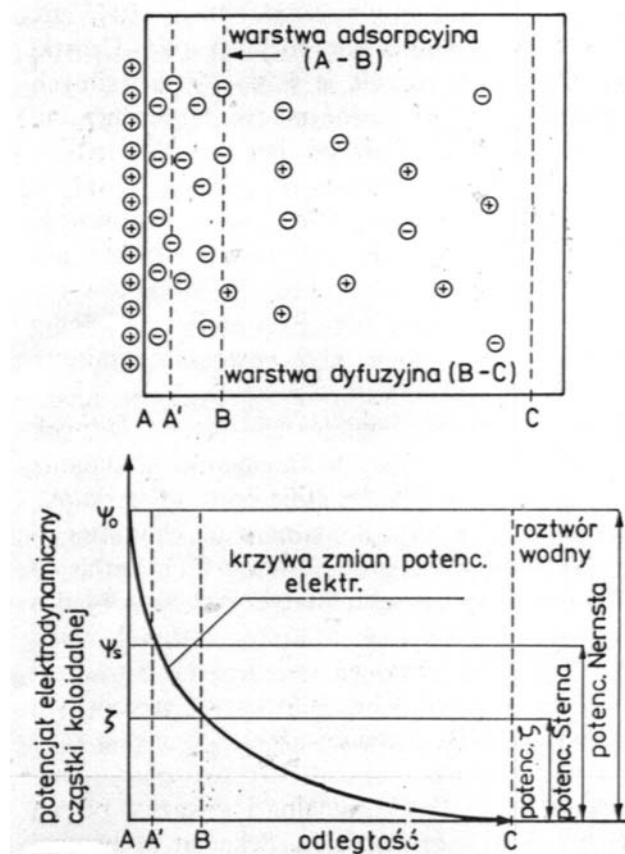
3.3.1.2. Roztwory koloidalne.

Roztwory te tworzą cząsteczki i jony o średnicy 10⁻⁷ – 10⁻⁵ cm, większe cząstki to zawiesiny, mniejsze zaś to substancje rozpuszczone. Cząstki koloidalne charakteryzują się bardzo dużą powierzchnią, wobec silnych oddziaływań z wodą mogą ulegać hydratacji tj. sorbować na swojej powierzchni cząsteczki wody i takie koloidy nazywamy hydrofilowymi. Koloidy hydrofilowe są trwalsze w środowisku wodnym, niż koloidy hydrofobowe - te nie mają zdolności hydratacyjnych. Trwałość koloidów jest różna i zależy głównie od: wartości pH, Eh (potencjału oksydacyjno – redukcyjnego), temperatury, stężenia i rodzaju koloidu, obecności związków organicznych (stabilizujących koloidy) oraz zasolenia wody. Przy dużym zasoleniu (rzędu kg/m³) występowanie koloidów jest ograniczone, gdyż następuje zjawisko wysalania. Koloidy w wodach naturalnych mają najczęściej ujemny ładunek elektryczny, i są to głównie aniony związków organicznych, krzemionka koloidalna i substancje ilaste. Rzadziej występują koloidy dodatnie i amfoteryczne tj. zmieniające znak ładunku elektrycznego. Cząsteczki koloidalne mają charakterystyczną budowę – rysunek 3.16).



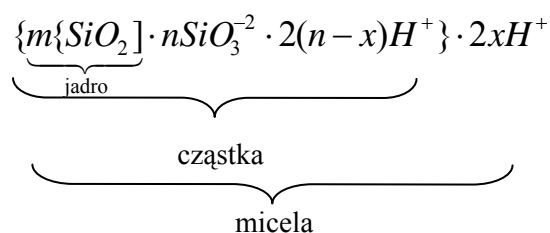
Rys.3.16. Budowa cząsteczki koloidalnej wg [15].

W wodach naturalnych w wyniku oddziaływań elektrostatycznych wokół jąder cząsteczki koloidalnej tworzą się dwie warstwy złożone z jonów i dipoli wody ułożonych w uporządkowany sposób. Do jądra przylega trwale związana siłami adsorpcji warstwa adsorpcyjna, której sumaryczny ładunek (o znaku przeciwnym do znaku jądra) nie równoważy ładunku jądra. W zrównoważeniu pomagają jony o tym samym znaku obecne w roztworze i tworzące warstwę dyfuzyjną. Jony warstwy dyfuzyjnej nie są trwale związane z cząsteczką koloidalną i wykazują pewną ruchliwość wzrastającą w miarę oddalania się od jądra koloidu. Schemat podwójnej warstwy cząsteczki koloidalnej oraz zmianę potencjału przedstawia rysunek 3.17.

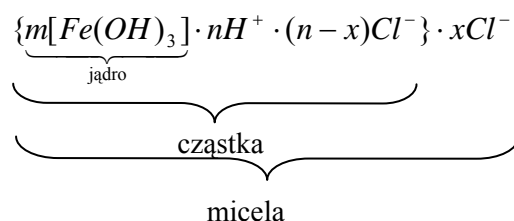


Rys. 3.17. Podwójna warstwa cząstki koloidalnej wg [15].

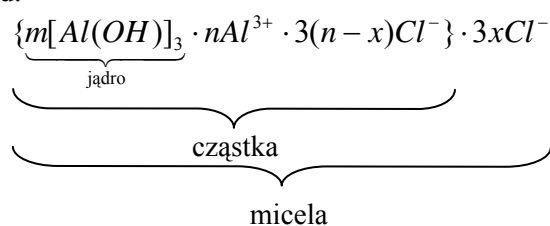
Ładunki elektryczne jonów w warstwie adsorpcyjnej i dyfuzyjnej nie równoważą ładunków elektrycznych o przeciwnym znaku rozmieszczonych na powierzchni i w bezpośrednim sąsiedztwie jądra. Między warstwą adsorpcyjną i ruchomą częścią warstwy dyfuzyjnej powstaje różnica potencjału elektrokinetycznego tzw. potencjał, ξ którego wielkość można określić na podstawie np. ruchliwości elektroforetycznej cząstek. Potencjał ξ jest spadkiem potencjału w warstwie dyfuzyjnej, której grubość zwiększa się wraz ze spadkiem stężenia jonów w roztworze. Jony w warstwie dyfuzyjnej są ruchliwe i mogą się wymieniać z jonami obecnymi w roztworze. Potencjał elektrokinetyczny ξ jest zawsze mniejszy od potencjałów Sterna i Nernsta. Jako przykład podano skład micel kilku zoli występujących w wodach. Micela zolu SiO_2 ma budowę:



Ujemny układ koloidalnej cząstki kwasu krzemowego wywołuje dysocjacja cząsteczki H_2SiO_3 . Micelę zolu $Fe(OH)_3$ otrzymaną z hydrolizy $FeCl_3$ można przedstawić następująco:



Micela zolu $Al(OH)_3$ zhydrolizowanego w obojętnym środowisku z $AlCl_3$ ma skład:



Zole $Al(OH)_3$ i $Fe(OH)_3$ mają ładunek dodatni. Wartość potencjału ξ decyduje o przebiegu wielu reakcji w wodach, a przede wszystkim o stabilności koloidów. Ze wzrostem potencjału ξ zwiększa się stabilność układu koloidalnego, a więc większe są siły odpychające działające między cząsteczkami. Potencjał koloidów stabilnych wynosi około ± 70 mV, przy wartości ± 30 mV rozpoczyna się koagulacja cząstek koloidalnych, a koagulacja szybka ma miejsce, gdy potencjał ξ zbliża się do zera. Przy wartości $\xi = 0$ zanika warstwa dyfuzyjna. Przeciwnie do sił odpychania elektrostatycznego działają międzycząsteczkowe siły van der Waalsa dążące do łączenia cząsteczek. Działają one na bardzo małą odległość 1 – 50 nm i ich skutki mogą być zauważalne dopiero po pokonaniu tzw. „wału energetycznego” – bariery energetycznej. Jedną z cech układu koloidalnego stanowią ruchy Browna. Są to skutki zderzeń cząstki koloidalnej z cząsteczkami wody. Przy dużych wymiarach cząstek liczba zderzeń ze wszystkich stron równoważy się, a przy

małych wymiarach cząstki koloidalnej występuje duża fluktuacja w liczbie zderzeń. Zderzenia wzajemne cząstek mogą powodować zbliżanie się ich na taką odległość przy której może dojść do trwałego połączenia się cząstek. Proces jest jednak bardzo wolny, z uwagi na małą częstotliwość zderzeń prowadzących do zbliżenia, przy których już mogą działać siły przyciągania. Układ koloidalny wykazuje efekt Tyndalla, który polega na uginaniu się promieni wiązki światła przepuszczanej przez roztwór koloidalny na cząstkach fazy rozproszonej mniejszych od długości fali. Obserwuje się wtedy smugę świetlną zwaną stożkiem Tyndalla. Koloidy, które adsorbują na sobie warstwę cząsteczek rozpuszczalnika są bardziej stabilne, gdyż wzajemne zetknięcie się cząstek koloidalnych jest wówczas dodatkowo utrudnione.

Koloidy nadające mętność wodom naturalnym są w większości hydrofobowe, podobnie jak $Al(OH)_3$ i $Fe(OH)_3$, a związki humusowe powodujące barwę wody mają charakter koloidów hydrofilowych. Koloidy hydrofilowe mogą tworzyć warstwy ochronne wokół koloidów hydrofobowych, zwiększając ich trwałość. Organiczne warstwy ochronne mogą być utlenione chlorem lub ozonem. W celu ilościowej charakterystyki działania ochronnego koloidów. Zsigmondy wprowadził tzw. „liczbę złotą”, która oznacza najmniejszą liczbę miligramów koloidu ochronnego zabezpieczającą 10 ml 0,1 % formaldehydowego hydrozolu złota przed zmianą barwy z czerwonej na fioletową po dodaniu 1ml 10 % roztworu NaCl. Mętność wód powodują glinokrzemiany i krzemionka koloidalna oraz cząstki glinu i ilów, które są wymywane z podłoża zlewni. Obecność w wodzie bezbarwnych cząstek koloidalnych krzemionki powoduje opalescencję wód (efekt Tyndalla). Najczęściej mętność wód jest powodowana występowaniem obok siebie koloidów i zawiesin. Koloidy, powodujące mętność i opalescencję wód oraz związki humusowe, zwiększające intensywność barwy i utlenialność, mają ujemny ładunek elektryczny. Substancje humusowe są to ciemnoszare, bezpostaciowe związki chemiczne, powstające w glebie w wyniku chemicznych i biologicznych przemian obumarłych szczątków, głównie pochodzenia roślinnego i w procesie humifikacji liści. Zawierają wówczas głównie kwasy fulwowe. Substancje humusowe są to wysokocząsteczkowe związki organiczne zawierające liczne aminokwasy, w tym aromatyczne, heterocykliczne formy azotu, inne węglowodory oraz grupy alkilowe, metoksyłowe, fenolowe, karboksylowe, karbonyłowe, chinoidowe i zasadowe grupy pochodzenia aminokwasowego. Ze względu na ich rozpuszczalność dzielimy je na [15]:

- kwasy fulwowe – rozpuszczalne w wodzie, alkaliach, alkoholu i kwasach mineralnych,
- kwasy humatmelanowe (ulminowe) - rozpuszczalne w etanolu,
- kwasy huminowe – rozpuszczalne w wodnych roztworach alkaliów, szczawianu i fluorku sodowego.

Kononowa dzieli je następująco [15]:

- kwasy huminowe i ulminowe rozpuszczalne w alkaliach,
- kwasy krenowe i apokrenowe (kwasy fulwowe) rozpuszczalne w wodzie,
- kwasy hymatomelanowe – rozpuszczalne w alkoholu,
- huminy i ulminy nierozpuszczalne.

Inni badacze uważają, że kwasy hymatomelanowe rozpuszczają się też w alkaliach. Dotychczas jednoznacznie nie określono wzorów strukturalnych poszczególnych grup, ani ich cech. Najdokładniej zbadano kwasy huminowe. Kwasy huminowe są to słabo dysocjujące kwasy organiczne mające punkt równoważnikowy przy $\text{pH} = 8 - 9$. Masa cząsteczkowa zmienia się od 2000 (dla form dobrze rozpuszczalnych) do 50000 (dla form słabo rozpuszczalnych). Masa cząsteczkowa i skład elementarny zależy od pochodzenia i sposobu frakcjonowania kwasów. Porowata gąbczasta struktura decyduje o ich właściwościach sorpcyjnych. Wskutek solwatacji w roztworach wodnych cząsteczki kwasów zwiększają swoją objętość 25-krotnie. Średnica cząsteczek wynosi 8 do 10 nm. Kwasy fulwowe są silniejszymi hydrofilami. Wykazują jaśniejsze zabarwienie, mniejszą zawartość węgla a większą tlenu niż kwasy huminowe. Są kwasami wielozasadowymi, a ich punkt równoważnikowy leży przy $\text{pH} = 8 - 9$. Ilość grup $-\text{COOH}$ i $-\text{OH}$ decyduje o ogólnej kwasowości. Średnie masy cząstkowe wynoszą 3000 – 6000 i są zbliżone do frakcji kwasów huminowych o najmniejszych masach. Kwasy hymatomelanowe stanowią przypuszczalnie szereg homologicznych związków będących produktami wstępnymi w biosyntezie kwasów huminowych. Są one rozpuszczalne w alkoholu. Trudno je wyizolować w stanie czystym z naturalnych substancji próchnicowych. Huminy zwane też ulminami są nierozpuszczalną formą kwasu ulminowego. Jedynie znane są ogólne zasady budowy substancji humusowych. W wodach substancje humusowe występują w postaci rozpuszczonej, koloidów i jako domieszki nierozpuszczone, o czym decyduje wartość pH . W środowisku kwaśnym lub obojętnym występują głównie jako ujemne koloidy, w alkalicznym środowisku w postaci zdysocjonowanej. Przy $\text{pH} \geq 8$ oddysocjują jony H^+ z grup $-\text{OH}$ i substancje te są całkowicie zdysocjonowane. Przy $\text{pH} = 4,6 - 4,9$ zaczyna się dysocjacja jonów H^+ z grup $-\text{COOH}$. Kwasy hymatomelanowe, częściowo huminowe, huminy i połączenia mineralno – organiczne substancji humusowych i zawiesin mineralnych stanowią główną grupę domieszek nierozpuszczalnych. Rozpuszczone i koloidalne formy tych substancji w wodach naturalnych to głównie kwasy fulwowe i częściowo huminowe oraz ich sole, najczęściej sodowe i potasowe. W wodach powierzchniowych przeważają kwasy fulwowe i ich sole, a w wodach podziemnych – huminowe. Wobec kwasowego charakteru związków humusowych obniżenie pH roztworu zmniejsza stopień ich dysocjacji i obniża potencjał ξ układu koloidalnego. Podwyższenie pH stabilizuje układ koloidalny, zwiększa stopień dysocjacji związków humusowych i pogłębia barwę wody nimi wywołaną. Utlenialność natomiast zmniejsza się ze wzrostem pH .

O utlenialności decydują głównie kwasy fulwowe, o intensywności zabarwienia zaś kwasy huminowe i hymatomelanowe. Przy stałym pH wartości utlenialności i barwy pozostawały w liniowych korelacjach ze stężeniem kwasów humusowych.

3.4. Pojęcie zanieczyszczenia wód i ochrony jakościowej wód.

Przez ochronę jakościową rozumiemy zespół działań technicznych w celu zabezpieczenia środowiska występowania wód podziemnych przed dopływem szkodliwych substancji chemicznych płynnych i gazowych oraz substancji biologicznych pogarszających jakość tych wód aż do stanu toksycznego. Ochrona jakościowa wód stanowi dzisiaj w dobie ogromnego rozwoju przemysłu na świecie i powstających w konsekwencji odpadów produkcyjnych naczelną zadanie współczesnego świata. Na pogorszenie się jakości wód zwrócono uwagę w Europie już w XIX w. Po II wojnie światowej wszystkie kraje europejskie wprowadziły u siebie prawną regulację ochrony wód powierzchniowych. W latach pięćdziesiątych XX w. Europejska Komisja Ekonomiczna ONZ wraz ze Światową Organizacją Służby Zdrowia (WHO), uznały potrzebę powołania międzynarodowej organizacji czuwającej nad czystością wód. Na IV europejskim seminarium inżynierów sanitarnych domagano się wprowadzenia norm jakości wód. Ogólną definicję zanieczyszczenia wód ustaloną w 1954r., której autorem jest C. W. Classen, w Polsce rozpropagował A. Wieczysty [25]. Pod zanieczyszczeniem wody należy rozumieć taką zmianę fizycznych, chemicznych lub biochemicznych właściwości wody w dowolnych zbiornikach służących do ujmowania wody, lub wpuszczenia do nich, ciekłych, gazowych, lub stałych zanieczyszczeń, które wywołują lub mogą wywołać niekorzystny ich stan, lub też powodują, że woda w tych zbiornikach staje się niebezpieczna lub szkodliwa dla zdrowia, bezpieczeństwa lub dobrobytu ludzkich osiedli, a także przy wykorzystaniu tych zbiorników dla potrzeb gospodarczo – pitnych, handlowych, przemysłowych lub gospodarczych we wsiach, następnie dla jakości miejsc odpoczynku, lub innych sezonowych rodzajów eksploatacji, względnie czynią te wody szkodliwymi dla trzody domowej, dzikich zwierząt, ptaków, ryb i innych żyjących w wodzie organizmów”. Definicję tą przyjęła Światowa Organizacja Zdrowia ONZ, a na jej podstawie w wielu krajach świata zaktualizowano przepisy o ochronie wód, bądź wydano nowe przepisy. Przepisy takie wydano też w Polsce. Istniejące przepisy dotyczą ochrony wód powierzchniowych, to jednak mają też znaczenie w ochronie wód podziemnych, w następujących okolicznościach:

- wody rzeczne zasilają poziomy wodonośne przez bezpośrednią infiltrację wglębną.
- ujęcia infiltracyjne pobierają infiltrującą wodę rzeczna,

- wody rzeczne pobierane są do basenów infiltracyjnych dużych ujęć miejskich,
- wody rzeczne przy wysokich stanach są magazynowane w sztucznych zbiornikach podziemnych [25].

Istnieje stały związek hydrauliczny wód rzecznych z wodami podziemnymi i dlatego ochronę wód podziemnych należy wiązać również z ochroną wód powierzchniowych [33].

3.4.1. Skład i zanieczyszczenie wód.

Skład chemiczny wód kształtowany jest przez zjawiska naturalne przebiegające w wodach i zależy od budowy zlewni oraz środowiska gruntowo – skalnego i poziomu zanieczyszczenia cywilizacyjnego rejonu, z którego woda pochodzi. Substancje pochodzenia naturalnego traktowane są jako domieszki, inne antropogeniczne jako zanieczyszczenia. Ze względu na formę występowania zanieczyszczenia można podzielić na: rozpuszczalne, koloidalne i zawieszone. Według oddziaływania na zdrowie ludzkie są to związki szkodliwe (trujące), nieszkodliwe (jeśli nie występują w znacznych ilościach) i pożądane lub niepożądane. Ogólnie dzielimy je na zanieczyszczenia fizyczne, chemiczne, bakteriologiczne i radioaktywne [15]. Zanieczyszczenia fizyczne tworzą nierozpuszczalne substancje stałe kurz i pył, zawiesiny o różnym stopniu rozdrobnienia, drobne cząstki szczątków roślin i zwierząt, gliny i ropy, wytrącone związki koloidalne np. glinu lub żelaza itp. Związki chemiczne są to różne substancje nieorganiczne i organiczne rozpuszczalne i zawieszone w wodzie, które dostają się do wód powierzchniowych i podziemnych razem z wodami opadowymi i ściekami. Występuje tu duża różnorodność substancji chemicznych o różnym stopniu toksyczności.

Zanieczyszczenia bakteriologiczne wywołują obecne w wodzie bakterie i wirusy. Większość z nich jest nieszkodliwa dla zdrowia i odgrywa ważną rolę w samooczyszczaniu się wód powierzchniowych. Oprócz bakterii nieszkodliwych występują też w wodzie bakterie i wirusy chorobotwórcze, wywołujące m.in. choroby przewodu pokarmowego: cholera, czerwonkę, dur brzuszny rzekomy, chorobę Heinego – Mediny. Zanieczyszczenia radioaktywne wód występują w małych ilościach i przeważnie nie stanowią zagrożenia dla człowieka. Większa ilość pierwiastków promieniotwórczych dostaje się ze ścieków radioaktywnych lub opadów radioaktywnych, powstających przy badaniach atomowych, stosowaniu izotopów radioaktywnych i wykorzystaniu ich do badań. Minimalne ilości pierwiastków promieniotwórczych są wypłukiwane z gruntu przez wody. Groźne są ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I i radioaktywny beryl. Beryl wywiera szkodliwe działanie na organy ryb, a szkodliwość zależy od stężenia w poszczególnych organach, nie zaś od ogólnego stężenia w organizmie ryby. Również odpady z elektrowni mogą dostarczać do wód i gruntów pierwiastki promieniotwórcze [26].

3.4.1.1. Zanieczyszczenie wód opadowych.

Wody opadowe zawierają zaabsorbowane gazy: azot, tlen, dwutlenek węgla, tlenki azotu i siarki oraz ciała stałe: sadzę i pyły, na których są osadzone wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). W regionach przemysłowych, w pierwszym okresie trwania opadów, w wodach pojawiają się produkty pochodzenia przemysłowego tj. tlenki arsenu, ołowiu, cynku, fosforu i żelaza. Wody opadowe sorbują z powietrza produkty niecałkowitego spalania produktów naftowych oraz substancje radioaktywne z wybuchów bomb atomowych i termojądrowych. Próbną eksplozję bomb atomowych i termojądrowych odbywały się po 1945 r. i trwały do połowy lat 60-tych XX w. Od połowy lat 60-tych tylko kilka państw (Francja, Chiny, Indie) prowadziło nadal eksplozję bomb atomowych w atmosferze. Główne państwa atomowe (USA, ZSRR, Anglia) zaprzęstały tych eksplozji (1964 r.), podpisując układ o zakazie prób atomowych w atmosferze i kosmosie. Natomiast w wyniku awarii w elektrowni atomowej w Czarnobylu 1986 r. do atmosfery dostały się promieniotwórcze izotopy.

Wody opadowe spłukują z dachów domów i miejskich ulic bakterie, w tym też chorobotwórcze bakterie, oleje, pyły ze ścierania asfaltu i opon samochodowych. W czasie krótkotrwałych, ulewnych deszczów wiele zanieczyszczeń dostaje się do wód opadowych, i dlatego zalicza się je do ścieków [26].

3.4.1.2. Zanieczyszczenia wód podziemnych.

Wody podziemne stanowią główne źródło zaopatrzenia dla większości wodociągów. Najczęściej zawierają one znaczne ilości Fe (do 35 mg/dm³), stąd na stacjach odżelaziania zmniejsza się jego ilość do 0,5 mg/dm³, a nawet mniej. Płytkie wody, głównie gruntowe są zanieczyszczone nawozami chemicznymi. Gleby piaszczyste nie posiadają dużej zdolności sorpcyjnej i dlatego azotany są wypłukiwane z gleby i nie ulegają denitryfikacji. Obojętne fosforany nieorganiczne są trudno rozpuszczalne, ale pod wpływem kwasów organicznych w glebie (cytrynowego) mogą być wypłukiwane jako łatwo rozpuszczalne wodorofosforany. Wielkość wypłukiwania zależy od czasu nawożenia, klimatu, charakteru gleby i jej zdolności sorpcyjnej, przepuszczalności i wartości Eh – potencjału redox. Azotany w wodach podziemnych pochodzą też z rozkładu ciał organicznych zawierających azot, jako końcowy produkt utleniania. Ilość NO₃⁻ powyżej 20 mg/dm³ powoduje methemoglobinemię spowodowaną redukcją NO₃⁻ do NO₂⁻ i utlenieniem Fe⁺² hemoglobiny do Fe⁺³, i przejście hemoglobiny w methemoglobinę, która nie spełnia roli przenośnika tlenu z powietrza do organizmu. Powoduje to, szczególnie u niemowląt, objawy chorobowe z możliwością śmierci. W wielu studniach kopanych stwierdzono stężenie azotanów ponad 20 mg/dm³. Poważne

niebezpieczeństwo dla wód podziemnych stanowią zanieczyszczenia ropą i jej pochodnymi, które dostają się do gruntu i następnie do wód wskutek wypływu ropy naftowej z rurociągu w czasie awarii, zanieczyszczenia gruntu ze stacji obsługi pojazdów mechanicznych i zakładów przerabiających ropę naftową. Również odpady przemysłowe na hałdach stwarzają niebezpieczeństwo zanieczyszczenia, gdyż deszcz wypłukuje z nich do gleby i wód gruntowych szkodliwe substancje chemiczne. Rolnictwo jest kolejnym źródłem zagrożenia wód, gdyż przez obfite stosowanie nawozów mineralnych i środków ochrony roślin np. herbicydów do opylania pól, sadów i lasów powoduje zanieczyszczenie wód. Fermi hodowlane położone na glebach o dużej przepuszczalności (piaski, żwiry) stwarzają zagrożenia dla wód podziemnych wykorzystywanych do picia i gospodarstw domowych przez czerpanie wód ze studni. Duże ilości wód podziemnych wykorzystuje też przemysł, co powoduje obniżenie się lustra tych wód, wskutek czego zaznacza się słabszy rozwój roślin. Oprócz CO_2 wody podziemne zawierają też H_2S wytwarzany w wyniku gnicia białka i wskutek działania przemysłu. Głównym jego źródłem są bakterie anaerobowe redukujące siarczany. Pewne rodzaje wód zawierające H_2S mają znaczenie jako wody lecznicze. Substancje organiczne, głównie humusowe zawarte w wodach ze względu na tworzenie rozpuszczalnych związków kompleksowych z metalami ciężkimi, mogącymi przenikać przez błony komórkowe, uważa się za szkodliwe [26].

3.4.1.3. Zanieczyszczenie wód powierzchniowych.

Wody lądowe i wody mórz przez wieki służyły do odprowadzania różnych odpadów i ścieków. Niewielki wtedy poziom zanieczyszczeń nie stanowił zagrożenia, gdyż wskutek procesu samooczyszczania wód, polegającego na mikrobiologicznym rozkładzie związków organicznych w obecności tlenu, powstawały proste związki nieorganiczne. Zdolność samooczyszczania wód rzecznych i jeziornych była zachowana i wystarczająca. Źródłem tlenu w wodzie jest tlen pobierany z powietrza i tlen wytworzony w procesie fotosyntezy przez rośliny wodne. Obecnie stopień i rodzaj zanieczyszczeń wód powierzchniowych osiągnął takie rozmiary, że liczne rzeki lub pewne ich odcinki zostały przekształcone w kanały ściekowe, a wiele rzek i jezior utraciło zdolność samooczyszczania. Ilość tlenu potrzebna do rozkładu związków organicznych jest niewystarczająca [26].

3.4.1.3.1. Zanieczyszczenia wód lądowych.

Źródłem zanieczyszczenia są wszelkie odpadki z gospodarstw domowych i z przemysłu, metale ciężkie, związki trujące, substancje powierzchniowo czynne doprowadzane ze ściekami, związki wypłukane z gleb, WWA zawarte w sadzach i dymie, które z wodami opadowymi dostają się do wód powierzchniowych. Szkodliwe są zwłaszcza związki odporne na rozkład

biologiczny, gdyż długo utrzymują się w środowisku wodnym. Jako główne zanieczyszczenia występują [26]:

a. Substancje powierzchniowo – czynne (detergenty), stanowiące główny składnik środków piorących, myjących, zwilżających itp. Związki powierzchniowo - czynne z uwagi na ładunek elektryczny dzielimy na: jonowe (anionowe i kationowe) i niejonowe. Do najważniejszych jonowych związków powierzchniowo – czynnych zaliczamy: mydła (są to sole sodowe kwasów tłuszczowych: $C_{15}H_{31}COONa$, $C_{17}H_{35}COONa$), estry kwasu siarkowego i wyższych alkoholi (laurylosiarczan sodowy Pretepon G $CH_3(CH_2)_{10}CH_2OSO_3Na$ oraz tzw. mydła organiczne (otrzymywane z kwasów tłuszczowych i trójetenaloaminy). Środki te są bardziej odporne na twardą wodę niż mydła sodowe, które z jonami Ca^{+2} lub Mg^{+2} tworzą nierozpuszczalne w wodzie mydła, pozbawione właściwości piorących. Silniejsze działanie zwilżające i piorące niż mydła i estry kwasu siarkowego wykazują związki sulfonowe np. alkilobenzenosulfonian sodowy, w którym grupa sulfonowa może być w rodniku arylowym i alkilowym. Związki te mają dobre własności piorące ale wykazują wadę gdyż są bardzo trwałe i nie ulegają biodegradacji czyli rozkładowi mikrobiologicznemu w wodzie. Wprowadzone do środków piorących związki powierzchniowo – czynne (emulgatory) są estrami kwasu fosforowego, cytrynowego, asparaginowego sulfobursztynowego, alkilowanego kwasu adypinowego i alkoholi tłuszczowych. Emulgatory te jako estry ulegają w wodzie rozkładowi na kwasy i alkohole tłuszczowe; tym samym nie zanieczyszczają trwale środowiska wodnego. Kationowe związki powierzchniowo – czynne (odwrócone mydła) są najczęściej chlorkami czwartorzędowych związków azotowych z jednym lub dwoma wyższymi rodnikami alifatycznymi. Najlepsze działanie emulgujące (piorące) wykazują w środowisku kwaśnym. Niejonowe związki powierzchniowo – czynne otrzymuje się z reakcji alkoholi, kwasów tłuszczowych, fenoli z tlenkiem etylenu. O rozpuszczalności i zdolności emulgowania decyduje ilość grup eterowych. Te związki są trudno usuwalne z wody. Toksyczność detergentów w wodzie wydaje się niewielka, jednak wywołują wzrost chorób żołądkowo – jelitowych. Wywierają ujemny wpływ na biocenozę wodną i ułatwiają rozpuszczalność trudno rozpuszczalnych związków toksycznych jak pescytydy i WWA. Ryby są bardziej wrażliwe na detergenty kationowe i niejonowe niż anionowe. Detergent niejonowy gromadzi się w woreczku żółciowym dorsza. Dopuszczalne ilości związków powierzchniowo – czynnych w wodach do picia wynoszą odpowiednio: w USA 0,2 – 0,5 mg/dm^3 , w Czechach <0,2 i w Polsce 0,2 mg/dm^3 . Przeciętnie człowiek wdycha dziennie drogą pokarmową 0,3 – 3,0 mg środków powierzchniowo – czynnych, detergenty zawarte w wodzie pitnej, paście do zębów itp.. Wg badań na ludziach z użyciem związków powierzchniowo – czynnych niejonowych i anionowych (siarczany alkilowe i alkiloarylowe) stwierdzono, że podawane doustnie w ciągu kilku miesięcy

łącznie z pożywieniem w dawce 0,1–15 g nie spowodowały zaburzeń klinicznych, natomiast podawane bez pożywienia wywoływały bóle brzucha. W badaniach na zwierzętach doświadczalnych stwierdzono, że detergenty powodują zmiany poziomu trójglicerydów, zaburzenia fosforylacji, zwiększają wchłanianie innych substancji i zmieniają syntezę białka. Zależnie od rodzaju i stężenia detergentów dochodzi do pęcznienia, rozpuszczania, denaturacji, rozbicia połączeń białkowo-lipidowych i zmian konfiguracji białek, struktur wewnątrzkomórkowych i uszkodzenia enzymów [26].

b. Węglowodory aromatyczne i ich pochodne.

Węglowodory chlorowcopochodne węglowodorów aromatycznych są bardzo rozpowszechnioną grupą związków chemicznych. Dostają się ze ściekami z koksowni, z gazami, z rozpuszczalnikami do wód powierzchniowych. Mogą być też przenoszone z pyłem atmosferycznym i dostają się wód. Śladowe ilości węglowodorów jak: toluen, ksylen, naftalen, antracen, fenantren, benzopiren oraz chlorowanych węglowodorów jak wielochlorowcowo pochodne dwufenylu, DDT, endrin, dieldrin, lindan stosowane jako pestycydy stwierdzono nawet w wodzie pitnej. Największe stężenie WWA jak benzopiren, benzoantracen, piren, perylen wykryto w próbkach wody, gruntu i roślin pobranych w sąsiedztwie dużych zakładów przemysłowych i autostrad. Obok pestycydów w wodzie i w ściekach znajdują się związki, które nie zawsze są usuwane z wody do picia i do kąpielisk. Związki te powodują tworzenie się nowotworów u zwierząt doświadczalnych. Zaliczamy do nich: tiomocznik, tlenek butylenu, pochodne antracenu, pirenu, dwufenylu, benzydynamę, beta naftyloaminę, fenole, 1,2, benzoantracen, 9,10 dwumetyloantracen, 1,2,5,6 dwubenzenoantracen [26].

c. Pestycydy.

Ostatnio wprowadzono do użytku duże ilości środków owadobójczych (insektydów), chwastobójczych (herbicydów), grzybobójczych (fungicydów) i innych. Substancje te są truciznami i oprócz ochrony roślin uprawnych wykazują działania uboczne. Do wód powierzchniowych pestycydy dostają się poprzez opylanie lub opryskiwanie roślin, wskutek splukiwania z roślin i wymywania z gleby oraz ze ściekami z fabryk wytwarzających te związki. Insektydy z grupy chlorowanych węglowodorów wskazują na ich szkodliwy wpływ dla ludzi, korzystających z wód powierzchniowych, ujmowanych do gospodarstw domowych. Ich śladowe stężenie w wodzie jest trudno usunąć przy procesie uzdatniania wody do celów pitnych. W wodzie pestycydy naruszają proces samooczyszczania się zbiorników wodnych, pogarszają ich stan sanitarny i działają toksycznie na ryby. Działanie to jest zróżnicowane i zależne od właściwości fizyczno – chemicznych wody, rodzaju preparatu, gatunku i wielkości ryb. Pochodne fenyloamocznika wywołują w organizmach zwierząt ciepłokrwistych zakłócenie układów wydzielniczych i krwiotwórczych przez blokadę grup – SH krwi. Za dopuszczalne stężenie pestycydu przyjmuje się 0,2

mg/dm³ w wodach powierzchniowych, a dla chlorowcopochodnych fenyłomocznika –0,8 – 1,0 mg/dm³. Przy stężeniu 20 – 200 mg/dm³ pestycydy działają bakteriobójczo na pałeczki okrężnicy, przy mniejszym stężeniu wywierają efekt bakteriostatyczny hamując rozmnażanie się bakterii i innych mikroorganizmów, które uczestniczą w biologicznym samooczyszczaniu się zbiorników wodnych [26].

d. Fenole.

Fenole są bardzo uciążliwym składnikiem ścieków pochodzących z przeróbki paliw stałych i płynnych, z zakładów syntezy organicznej i tworzyw sztucznych. Fenole w wodzie utrudniają, a nawet uniemożliwiają gospodarkę rybną. Ryby w wodzie zanieczyszczonej fenolami mają zapach fenoli i nie nadają się do spożycia. Toksycznie działają fenole wobec ryb przy stężeniach: (w mg/dm³) fenol 6-17, krezole 3 – 15, rezorcyna 34, fluoroglucyna 400 i hydrochinon 0,2. Przy chlorowaniu wody powierzchniowej zawierającej fenol pojawia się smak i zapach chlorofenolu. Intensywność zapachu chlorofenoli jest wielokrotnie większa niż samego fenolu. Obok chlorofenoli powstaje z utlenienia fenolu hydrochinon, który jest bardziej toksyczny od fenolu i działa niekorzystnie na zwierzęta wodne i rośliny [26].

e. Inne substancje organiczne.

Do rzek i jezior są odprowadzane słabo oczyszczone lub nieoczyszczone ścieki z zakładów przemysłu spożywczego jak: mleczarnie, zakłady mięsne, drożdżownie, cukiernie, zakłady produkcji mączki ziemniaczanej itp. W ściekach są zawarte cukry proste i złożone, białka i tłuszcze. Nie są to substancje trujące. Ulegają one łatwo utlenieniu w wodach rzecznych lub jeziornych pobierając tlen rozpuszczony w wodzie. Obniżenie zawartości tlenu poniżej 3 mgO₂/dm³ wody powoduje duszenie się ryb (śnięcie) z powodu jego braku lub za małej ilości. Fosforany i azotany stanowią w jeziorach podstawowe składniki odżywcze dla glonów. Glony potrzebują do swego rozwoju makroelementów: C, H, O, N, P, S, K, Mg, Ca oraz mikroelementów: Fe, Ba, Zn, Cu, Mo, Co. Glony rosną szybko i szybko też obumierają, opadając na dno zbiornika wodnego ulegają mineralizacji do związków nieorganicznych. Fosfor jest składnikiem kwasów nukleinowych, niektórych białek, węglowodanów i jest potrzebny w wielu procesach fizjologicznych. Fosfor uwalnia się z połączeń organicznych w wyniku procesów enzymatycznych. Azot organiczny przekształcany jest do amoniaku przez mikroorganizmy proteolityczne rozkładające białko. Amoniak w warunkach tlenowych ulega utlenianiu do azotanów pod działaniem bakterii nitryfikacyjnych. Azot i fosfor są głównymi substancjami pokarmowymi warunkującymi rozwój biomasy planktonu, zwłaszcza fitoplanktonu, chociaż są badania wskazujące na decydującą rolę innych pierwiastków jak Mo, Fe, K, Cu. Jednak związki N i P rozpuszczalne w wodzie są zasadniczymi składnikami odżywczymi dla organizmów samożywnych. Wynika to ze składu protoplazmy i roli obu tych

pierwiastków w komórkach roślinnych. Wzrost poziomu pokarmowego wód w odniesieniu do N i P definiuje się jako eutrofizację. Jest ona główną przyczyną starzenia się i obumierania jezior. Dzięki nagromadzeniu się substancji organicznych jako składników planktonu, następuje przekształcanie ich na związki nieorganiczne. Te zaś z kolei stają się źródłem substancji pokarmowych dla roślin. Jednocześnie rośnie zużycie tlenu, którego nie starcza dla organizmów wymagających jego dużej ilości. Te organizmy ulegają wymieraniu. Na dnie zbiornika wodnego gromadzi się osad denny w postaci mułu, w którym z braku tlenu przebiegają procesy beztlenowe, zbiornik wypłyca się i stopniowo ulega zamuleniu, i w wyniku długotrwałej i postępującej eutrofizacji może się przekształcić w torfowisko. Siarczany dopływające ze ściekami przyspieszają zamieranie życia biologicznego na skutek eutrofizacji. Ulegają one redukcji w osadzie dennym do H_2S . H_2S przyspiesza obumieranie jezior. Przypuszcza się, że zawartość P w rzekach do $0,1 \text{ mg/dm}^3$, a w wodach jezior do $0,05 \text{ mg/dm}^3$ nie spowoduje eutrofizacji [26].

f. Metale ciężkie.

Rozwój nowoczesnego rolnictwa, kopalnictwa, hutnictwa, energetyki i motoryzacji powoduje zwiększenie ilości metali ciężkich w środowisku, a poprzez skażenie wód, gleby i atmosfery prowadzi do skażenia roślin, zwierząt i człowieka. Badania witamin, składu krwi, fermentów oddechowych, katalizatorów i inhibitorów podkreśliły znaczenie metali ciężkich. Pełnią one w organizmie rolę biogenną i biocydną. Śladowe ilości metali ciężkich w wodzie do picia, odkładane w organizmach żywych mogą wywoływać nienaturalne reakcje u ludzi i zwierząt, gdyż większość tych metali ma silne działanie toksyczne. Śladowe ilości niektórych metali ciężkich występujące w wodzie, glebie i żywności są konieczne dla normalnych procesów biochemicznych [26]. Zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi powoduje zachwianie równowagi biologicznej, hamuje przebieg procesu samooczyszczania się wód i może zagrażać zdrowiu ludzkiemu. Do życia organizmów w wodzie zasadnicze znaczenie ma odpowiednia zawartość Cu, Fe, Co, Zn, Mn, Mo. Rola Cr, Ni nie jest dokładnie poznana. Szkodliwe są Pb, Bi, Ti, Hg, Cd dostarczane ściekami do wód powierzchniowych. Ołów kumuluje się w tkance, powodując zatrucie. Kadm wywołuje anemię, zaś związki arsenu wykazują działanie rakotwórcze. Chrom może powodować raka płuc, chociaż wywiera wpływ na działanie trzustki. Obecnie nie ustalono dopuszczalnych stężeń w wodzie do picia kadmu, ołowiu i rtęci i innych metali i tym samym stopnia ich szkodliwości dla zdrowia i życia. Prowadzi się badania nad ustaleniem organizmu biotestowego dla metali ciężkich. Badania na wrotku (*Philodina acurticornis*) jako na organizmie testowym wykazały, że w wodzie miękkiej toksycznie na niego działają (od najbardziej do najmniej toksycznych): Cd, Hg, Cu, Zn, Ag, Ni, Cr, Pb, Co, a w wodzie twardej: Cd, Cu, Hg, Cr, Pb. Im twardsza woda tym słabsze działanie

toksyczne metali ciężkich. Akumulacja związków Hg przez ryby i mikroorganizmy zależy od czynników środowiska jak: temperatura wody, BZT, stopień zanieczyszczenia rtęcią i rodzaj związku Hg, stężenie Cl⁻ i wartość pH wody [26].

g. Wody podgrzane.

Z elektrowni ciepłych zrucane są do wód powierzchniowych wody podgrzane, stosowane do celów chłodniczych. W efekcie następuje podwyższenie temperatury wód jezior i rzek. Wody podgrzane z Elektrowni Konin odprowadzane do jezior spowodowały wzrost stopnia zarażenia ryb pasożytami przenoszonymi przez ptaki, przyspieszenie wegetacji roślinnej i zwiększenie produkcji fitoplanktonu. Duże ilości glonów i sinic rozwijających się masowo w ciepłej wodzie tworzyły kożuchy na powierzchni wody jezior. Rozwój roślin powodował zarastanie jezior, które zlikwidowano po wprowadzeniu do zbiorników roślinożernych ryb jak tołpyga i amur. Zrzuty podgrzanych wód z elektrowni w Skawinie, Kozienice i Ostrołęka do rzek spowodowały, ogrzanie wód o kilka stopni. Nie spowodowało to pogorszenia jakości wód, chociaż uległy zmianie stosunki tlenowe i azotowe w niewielkim stopniu [26].

h. Zanieczyszczenie wód morskich.

Zanieczyszczenia te są spowodowane:

- przez zagospodarowanie i eksploatację wybrzeża,
- przez zanieczyszczenie wód rzecznych, uchodzących do morza,
- przez zanieczyszczenia ze środków transportu morskiego, głównie zanieczyszczenia ropą naftową,
- zanieczyszczenia ropą naftową z platform wiertniczych (awarie).

Wody mórz i zatok przyjmują ścieki gospodarcze i przemysłowe z miast i osiedli położonych bezpośrednio nad brzegiem morza. Eksploatacja portów morskich powoduje zanieczyszczenie dodatkowo produktami naftowymi. Odprowadzenie ścieków przemysłowych do morza lub zatoki spowodowało zatrucie ryb i ludzi. Znana jest tzw. choroba Minimate (nazwa zatoki w Japonii), charakteryzująca się porażeniem centralnego systemu nerwowego, co objawia się porażeniem narządów ruchu, czucia, mowy i wzroku. Odkryto tę chorobę w Japonii w 1956 r. i spowodowało ją spożycie ryb i skorupiaków skażonych związkami alkilortęciowymi, odprowadzonych z zakładów chemicznych. Wody rzeczne wprowadzają do morza znaczny ładunek związków organicznych (wyrażających się wielkością od kilku do kilkuset tysięcy kg BZT₅/dobę) oraz związków nieorganicznych, co powoduje wzrost zasolenia oraz zwiększa użyźnienie i eutrofizację wód szczególnie mórz zamkniętych. Zanieczyszczenie wód morskich pochodzące od transportu jest spowodowane usuwaniem odpadów olejowych i myciem tankowców (płukanie ładowni na pełnym morzu jest zakazane). Jednak największe zagrożenie

stanowią katastrofy tankowców. W ciągu 12 lat (lata 60 i 70-te XX w.) zatono prawie 200 tankowców i spłynęło do mórz 1,7 mln ton ropy. Ropa naftowa, oleje ciężkie i produkty petrochemiczne nie rozpuszczają się w wodzie i utrzymują się na jej powierzchni, albo osadzają się na wybrzeżu. Powoduje to ostrą i przewlekłą toksyczność organizmów wodnych. Emulgatory stosowane do likwidacji zanieczyszczeń olejowych powodują naruszenie równowagi biologicznej środowiska wodnego, gdyż emulsje olejowe działają na organizmy wodne. Zdyspergowane na powierzchni wody związki olejowe ulegają rozpadowi fotochemicznemu i są rozkładane przez niektóre bakterie na powierzchni, jak i wewnątrz oceanów. Emulsja ropy w wodzie jest dla fauny morskiej bardziej toksyczna niż sam olej i sam emulgator. Bałtyk jest morzem zamkniętym, młodym i płytkim. Jest zanieczyszczony ściekami komunalnymi i jeszcze bardziej groźnymi ściekami przemysłowymi. Ścieki przemysłowe zaznaczają się na wybrzeżu fińskim, szwedzkim, duńskim i niemieckim. Ścieki pochodzą z fabryk przemysłu drzewnego, nawozów sztucznych, papierniczego, chemicznego i innych. W niektórych akwenach zanotowano wzrost stężenia Hg. Przemysłowcy szwedzcy zatopili 7000 ton związków arsenu, a w okresie powojennym zatopiono materiały bojowe, w tym środki paralityczno – drgawkowe. Istnieje podejrzenie, że pojemniki ulegają korozji, gdyż stwierdzono przypadki poparzenia ryb iperytem. W wyniku dopływu do Bałtyku ścieków przemysłowych, komunalnych i agrotechnicznych wzrasta eutrofizacja. Powoduje ją głównie zwiększony dopływ fosforu (2-3 krotny wzrost PO_4^{-3} w ciągu ostatnich 10 lat; dane dotyczą lat osiemdziesiątych XX wieku). W latach 1990 – 2000 dopływ ścieków przemysłowych, komunalnych i agrotechnicznych uległ znacznemu zmniejszeniu. W osadach dennych i przydennych warstwach wody gromadzi się substancja organiczna; wobec braku cyrkulacji pionowej powstaje deficyt tlenowy w wyniku zużycia tlenu na oddychanie organizmów, utlenianie substancji organicznej i utlenianie wytwarzającego się w osadach dennych H_2S . Zawartość O_2 w wodach Bałtyku wzrasta kilkakrotnie dzięki dopływowi silnie natlenionych wód z Morza Północnego. Podtrzymuje to życie w głębinach Bałtyku. Dodatkowo napowietrzanie wód zwiększają jeszcze sztormy. Bałtyk jest zanieczyszczony produktami naftowymi, z płukań zbiorników (wody zęzowe). Żaden port polski nie ma zbiorników do odbioru wód zęzowych i ich oczyszczania. Zatoki Gdańska i Pucka zanieczyszczone są wodami rzek wpływających, ściekami miejskimi i przemysłowymi, w tym nieoczyszczonymi ściekami garbarskimi odprowadzanymi do rzeki Zagórzanki. Stwierdza się zanieczyszczenie plaż nad zatoką i morzem mazutem wyrzuconym przez wodę. Zanieczyszczenie to sięga od paru do kilkunastu kilometrów linii brzegowej. Wśród zanieczyszczeń stwierdza się świeże, półpłynne zdyspergowane węglowodory pochodzące z zatoki lub zbite zanieczyszczenie pozbawione lżejszych frakcji, co świadczy o przemieszczeniu ich wiatrem lub prądami z dalszych rejonów morza [26].

Stwierdzić należy, że największe stężenie zanieczyszczeń, wprowadzonych do atmosfery, wód podziemnych i powierzchniowych oraz gleb nastąpiło w połowie lat 80 – tych XX w. W latach 90 - tych sytuacja uległa wyraźnej poprawie wskutek zmian ekonomicznych, gospodarczych i prawnych. W dorzeczu Odry roczne zużycie wody (powierzchniowej i podziemnej) wynosiło 1,67 mld m³/rok na wszystkie cele komunalne, przemysłowe i rolnicze. Z tego 80 % wód pochodziło ze źródeł powierzchniowych. Ponad 40 % całkowitego zużycia wód przeznaczono na cele komunalne. W 1980 r. przeciętne zużycie wody wynosiło ok. 350 l/osobę/dzień, a w latach 90-tych spadło o 40-50 %. W tym czasie wybudowano nowe oczyszczalnie ścieków. Spadła więc ilość ścieków. Rocznie w dorzeczu Odry odprowadza się 425 mln m³ ścieków (dane z 1996 r.) o wysokiej zawartości substancji organicznych i zawiesin [38]. Większość z nich jest oczyszczana. Od 1980 r. zredukowano ilość ścieków komunalnych i przemysłowych o 60 %. W 1996 r. w kraju 2 km³ ścieków było oczyszczanych, a 0,8 km³ nie oczyszczanych. W dorzeczu Odry w 1996 r odprowadzono 859 mln m³ ścieków oczyszczonych, oraz 250 mln m³ nie oczyszczonych. Mechaniczne lub mechaniczno-biologiczne oczyszczalnie pozwalają usunąć ze ścieków 50-80 % substancji organicznych (BZT₅). Przy zaawansowanej technologii usuwamy ich więcej i usuwamy też związki biogenne. W roku 1995 w górnej i średniej części dorzecza Odry, było w budowie 154 oczyszczalni ścieków o łącznej przepustowości 1024 mln m³ ścieków. W latach 1996-2010 planuje się budowę 11 oczyszczalni o ogólnej wydajności 621 mln m³ ścieków. W nowoczesnych oczyszczalniach można zredukować 78 % związków azotu i 97 % biologicznego zapotrzebowania tlenu (BZT₅) [38]. Ścieki przemysłowe pochodzą w dorzeczu Odry z 833 zakładów przemysłowych, a ich ilość wynosi 340 mln m³ rocznie (łącznie ze ściekami górniczymi). Istnieje tu ponad 400 przemysłowych oczyszczalni ścieków, w większości małych i o niskiej sprawności, prowadząc oczyszczanie mechaniczne bądź mechaniczno-biologiczne. Przy nowoczesnych systemach oczyszczania ścieków przemysłowych jak technologia beztlenowa można uzyskać poziom BZT₅ do 67 % i zawiesin stałych do 77 %, co jest lepszym wynikiem niż w komunalnych oczyszczalniach ścieków. 32 kopalnie węgla kamiennego, 4 kopalnie rud miedzi i jedna kopalnia węgla brunatnego odprowadziły w 1995 r. 82 mln m³ ścieków. Stanowi to 16 % ogólnej ilości ścieków przemysłowych. Wysokie stężenie soli występujące w ściekach kopalnianych jest groźnym źródłem zanieczyszczenia wód. Przy stężeniu do 100 g/dm³ substancji rozpuszczalnych, głównie soli zostaje odprowadzonych rocznie 750 tys. ton chlorków i siarczanów. W latach 1991-1997 ilość wód kopalnianych zmniejszyła się o 15 %. Związki biogenne w rzece określają jej biologiczny stan. Mierzymy tu głównie ilości fosforu i azotu. Pochodzą one ze ścieków domowych i spływu z pól uprawnych. Można zredukować ilość fosforu

o 70 % stosując nowoczesne oczyszczalnie ścieków. W 1985 r. osiadło w Polsce 1,5 mln ton SO₂ (tj. 36 %) rocznej krajowej emisji, pozostała część została z wiatrami uniesiona do innych krajów. Z kolei z krajów sąsiednich (głównie Niemiec, Czech i Słowacji), przeniesione zostało do Polski ok. 1,4 mln ton zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. Oznacza to opad ok. 100 kg SO₂ na mieszkańca rocznie lub 13,4 ton/km² powierzchni. Nowsze dane wskazują, że 63-69 % związków siarki i 85-92 % związków azotu jako zanieczyszczenia atmosferyczne jest importowanych na Dolny Śląsk z krajów sąsiednich [38]. Od połowy lat 80-tych rozpoczęła się kontrola emisji zanieczyszczeń powietrza, a po 1989 r. aż do 1996 roku w wyniku zmian politycznych w państwach sąsiednich emisja SO₂ na tym obszarze uległa zmniejszeniu o prawie 50 %. Metale ciężkie do rzek i osadów dennych dostają się z wypłukiwania zanieczyszczonych gleb i pochodzą też z zanieczyszczeń powietrza. Tylko 8 % wszystkich gleb w dorzeczu Odry wykazuje zanieczyszczenia metalami ciężkimi, a 92 % obszaru dorzecza cechuje stężenie naturalne. W portach Szczecin - Świnoujście występują silnie zanieczyszczone osady dennie. Warstwa mułu organicznego leżąca na piasku jest zanieczyszczona w stopniu umiarkowanym do silnego. Występują tu zanieczyszczenia organiczne takie jak: WWA, PCB (polichlorowane bifenyle) i oleje techniczne. Z metali ciężkich stwierdzono Zn, Cd, Cu, a poziom zanieczyszczenia nimi portu za umiarkowany do silnego. Pozostają one w mule. Stosowane w polskim rolnictwie dawki pestycydów wzrosły w okresie 1975-1989 r. z 0,4 do 1,1 kg/ha. Od roku 1989 nastąpił spadek ich użycia i w 1996 r. szacowano ich zużycie na ok. 0,5 kg/ha. Polska zobowiązała się do zredukowania o 50 % stężenia pestycydów z „międzynarodowej czerwonej listy” obejmującej m.in.: antrazyne, melathion, 2-4-D, sześciochlorobenzen i inne. Nowsze badania wód Bałtyku wskazują, że ich stan obecnie jest lepszy niż wielu zatok Morza Śródziemnego [40]. Jednak wody Bałtyku obecnie nie są tak czyste, jak były przed II wojną światową.

3.5. Wskaźniki jakości wody.

Badaniem określa się rodzaj i ilość zawartych w wodzie substancji, co wskazuje na jej przydatność do określonych celów. Badania wody dzielimy na: fizyczne, chemiczne, bakteriologiczne i biologiczne. Zakres badań wody jest różny i zależy od jej przeznaczenia.

Fizyczne wskaźniki wody służą do określenia właściwości organoleptycznych wody, mogą wskazywać na jej pochodzenie i na rodzaj niektórych zanieczyszczeń. Zaliczamy do nich:

- a) temperaturę wody; zależy ona od pochodzenia wody; wody podziemne mają większą stałość temperatury, a powierzchniowe i zaskórne wykazują duże wahania temperatury, zależnie od pory roku. Optymalna temperatura wody do picia wynosi 7 – 12° C.

- b) zapach i smak wody; te cechy zależą od temperatury, ilości i rodzaju gazów, i substancji rozpuszczonych w wodzie. Pewne substancje nadają wodzie specyficzny smak np. CaSO_4 – gorzko słony, MgSO_4 – gorzki. Na zapach wód naturalnych wpływają substancje pochodzenia organicznego, produkty gnicia i związki wytwarzane przez glony i mikroorganizmy. Zapach może być pochodzenia naturalnego, gdy źródłem jego są żyjące lub martwe mikroorganizmy wodne i gnijące części roślin, lub pochodzenia sztucznego, gdy spowodowany jest przez odprowadzone do zbiorników ścieki (zapach fenolowy, chlorofenolowy). Zapach wody oznacza się wg normy PN/C – 04557 [33].
- c) Mętność i przezroczystość wód naturalnych jest wywołana przez obecne w nich nierozpuszczalne cząstki różnych substancji nieorganicznych jak cząstki gliny, ilu, nierozpuszczalnych węglanów, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ oraz substancji organicznych, a czasem organizmów żywych np. planktonu. Mętność wody oznacza się przez porównanie próbki badanej ze skalą wzorców. Wyznacza się ją w $\text{mg SiO}_2/\text{dm}^3$ wody. Za jednostkę przyjmuje się mętność wywołaną ilością $1 \text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$. Cechą odwrotną do mętności jest przezroczystość wody (PN/C-04583) [33].

Barwa wody wskazuje na rozpuszczone lub zawieszone w niej domieszki jak związki Fe, substancje humusowe, koloidy, substancje barwne doprowadzone ze ściekami oraz organizmy wodne jak glony, okrzemki i sinice. Barwa wody, którą można usunąć przez przesączanie nazywa się barwą pozorną. Intensywność barwy oznacza się kolorymetrycznie (wg PN/C – 04558) wg umownej skali wyrażając w stopniach ($\text{mg Pt}/\text{dm}^3$), $1^\circ=1 \text{ mg Pt}$ (jako chloroplatynian potasowy) i $0,5 \text{ mg Co}$ (jako chlorek kobaltowy) [33].

3.5.1. Chemiczne wskaźniki jakości wody.

Pozwalają one na ocenę jakości wody do stawianych wymogów. Wskazują, czy woda zawiera domieszki szkodliwe dla celów konsumpcyjnych lub przemysłowych. Dzięki temu można zaplanować procesy uzdatniania wody, aby uzyskać jakość wody zgodną z wymogami użytkowników. Do chemicznych wskaźników jakości wody zaliczamy [26]:

- a) odczyn wody tj. wartość pH – dla większości wód naturalnych pH wynosi 6,8 – 7,3. Na odczyn wody wpływa obecność w niej jonów HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , hydrolizujących soli Fe, kwasów humusowych lub zanieczyszczeń ze ścieków przemysłowych. Stałość wartości pH wody ma znaczenie dla większości procesów fizyko – chemicznych i biologicznych przy uzdatnianiu wody. Stałość odczynu wody warunkuje w znacznym stopniu układ buforowy ($\text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^-$), lecz pojemność buforowa jest niewielka.
- b) utlenialność – umowny wskaźnik określający zużycie KMnO_4 przez łatwo utleniające się związki organiczne i nieorganiczne (H_2S , siarczyny, azotyny, Fe^{2+} itp.). Utlenialność wód wynosi od 4 mg O_2/dm^3 dla czystych wód powierzchniowych do kilkuset mg O_2/dm^3 dla wód zanieczyszczonych. Wyższą utlenialność wykazują wody zanieczyszczone ściekami zawierającymi substancje organiczne, które utleniają się pod działaniem KMnO_4 . Są to cukry proste, białka, siarczyny, amoniak. Ich obecność może spowodować zbyt duże zużycie tlenu i w konsekwencji jego brak dla zwierząt wodnych. Obserwujemy wtedy zjawisko śnięcia ryb. KMnO_4 utlenia średnio 50% zawartych w wodzie substancji organicznych i dlatego stosuje się oznaczenie utlenialności metodą dwuchromianową K_2CrO_4 . Utlenialność madmanganianową oznacza się ogrzewając w ciągu 30 min. próbkę wody z nadmiarem mianowanego roztworu KMnO_4 i potem odmiareczkuje się nadmiar KMnO_4 kwasem szczawiowym (PN/C–04569).
- c) zawartość związków azotu - w wodach i ściekach azot występuje jako azot organiczny (N_{org}), albuminowy (N_{alb}), azot amonowy (N_{NH_4}), azotynowy (N_{NO_2}) i azotanowy (N_{NO_3}). Związki nieorganiczne azotu pochodzą z rozkładu substancji białkowych, które dostają się do wód ze ściekami. Azot amonowy i azotanowy może pochodzić z nawozów sztucznych, wskutek wypłukiwania ich z gleby lub być doprowadzony ze ściekami przemysłowymi, jeśli równocześnie z dużą ilością N_{NH_4} woda wykazuje wysoką utlenialność. Obecność w wodzie NH_3 i N organicznego wskazuje na niedawne zanieczyszczenie ścieków, natomiast brak N ograniczonego, a obecność NH_3 , NO_2^- i NO_3^- - na dawne w czasie zanieczyszczenie wód. Obecność samych NO_3^- świadczy o bardzo dawnym zanieczyszczeniu wody. Zawartość N ma znaczenie dla jakości wody zwłaszcza do picia i do celów energetycznych. Duża ilość NH_3 działa korodująco na łopatki turbin wodnych zbudowanych ze stopów Cu. N_{NH_4}

oznacza się odczynnikiem Nesslera – jodortęcianem potasowym K_2HgJ_4 , który z jonem NH_4^+ tworzy złoto pomarańczowy zół. Dokładniejszą metodą jest wytworzenie błękitu indofenolowego z fenolem w obecności alkoholu metylowego i acetonu. Otrzymany barwnik jest niebieski w środowisku alkalicznym, a czerwony w kwaśnym. Jako środka utleniającego można używać chloraminy T i podbromianu sodowego. Azotyny oznacza się kolorymetrycznie, gdyż mają one własności dwuazowania amin aromatycznych najczęściej kwasu sulfanilowego dającego po sprzęgnięciu ze składnikiem biernym barwnik azowy, o intensywności zabarwienia roztworu zależnej od stężenia jonów NO_2^- . Jako składników biernych używa się: β naftolu, α -naftyloaminy, N – 1 naftyloetylenodwuaminy, kwasu SchTMffera, rezorycyny itp. Azotany oznacza się kolorymetrycznie, używając kwasu fenolodwusulfonowego, który ulega nitrowaniu, a po zalkalizowaniu daje żółte zabarwienie. Inną metodą jest redukcja azotanów cynkiem do azotynów i otrzymanie barwników azowych.

- d) twardość wody jest to właściwość wody przejawiająca się zużyciem mydła bez wytworzenia piany. Twardość wody mogą wywołać teoretycznie wszystkie kationy, które z kwasami tłuszczowymi tworzą nierozpuszczalne mydła. Jednak ilość innych kationów, poza Ca^{2+} i Mg^{2+} , jest w wodzie niewielka i nie ma znaczenia praktycznego. Twardość wody określa się ilością rozpuszczonych w niej soli wapnia i magnezu. Twardość wody wyraża się za pomocą stopni twardości:
- 1° ogólnoeuropejski (dawniej niemiecki) – odpowiada on zawartości 10 mg CaO (7,18 mg MgO) w dm^3 wody,
 - 1° francuski – odpowiada zawartości 10 mg $CaCO_3$ w dm^3 wody,
 - 1° angielski – odpowiada zawartości 1grain $CaCO_3$ w galonie wody; 1grain = 0,0648 g, bryt. gallon = 4,546 dm^3
 - ppm (parts per million) – odpowiada zawartości 1 mg $CaCO_3$ w dm^3 wody,
 - mval/l – jednostka międzynarodowa – odpowiada zawartości miligramorównoważnika CaO w dm^3 wody (1mval CaO = 28 mg CaO). Dla łatwiejszego przeliczania jednostek twardości z obcej literatury podano zestawienie tabelaryczne (tabela 3.17)

Zestawienie jednostek twardości wody – wg [26]

Tabela 3.17.

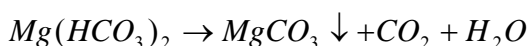
Jednostki	Stopnie twardości
-----------	-------------------

twardości	Ogólno-europejski	Francuski	Angielski	Amerykański	Mval/l
Ogólnoeuropejska	1,000	1,79	1,25	1,04	0,357
Francuska	0,560	1,00	0,70	0,58	0,200
Angielska	0,800	1,43	1,00	0,83	0,286
Amerykańska	0,955	1,71	1,20	1,00	0,342
Międzynarodowa	2,800	5,00	3,50	2,92	1,000

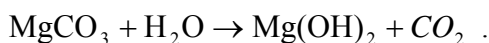
Wyróżnia się:

- twardość ogólną (tw_o) – wyrażającą ogólną zawartość jonów Ca i Mg w wodzie,
- twardość węglanowa (tw_w) – wywołaną obecnością HCO_3^- , $CO_3^{=}$ i OH^- , wapnia i magnezu,
- twardość niewęglanowa (tw_{nw}) – nadają ją wodzie chlorki, siarczany, krzemiany, azotany, fosforany i inne związki Ca, Mg.

Twardość ogólna stanowi sumę twardości węglanowej i niewęglanowej. Twardość wywołaną przez sole wapnia nazywamy wapniową, a przez sole magnezu – magnezową. Istnieje też pojęcie twardości stałej i przemijającej. Twardość przemijająca jest częścią twardości ogólnej, jaką traci woda przez jej zagotowanie w następstwie rozkładu wodorowęglanów wapnia i magnezu.



Twardość stała to twardość wody jaka pozostaje po jej zagotowaniu. Często twardość węglanową nazywa się nieściśle przemijającą, a twardość niewęglanową twardością stałą. Po zagotowaniu wody pozostaje w niej częściowo jeszcze rozpuszczony węglan wapniowy, a w większej jeszcze ilości węglan magnezowy, który dopiero po długotrwałym gotowaniu przechodzi w trudniej rozpuszczalny wodorotlenek Mg.



Wynika stąd, że twardość przemijająca jest mniejsza od twardości węglanowej. Ogólną twardość wody można oznaczyć lub wyliczyć z zawartości Ca i Mg, przeliczając Mg na równoważną ilość Ca. Przybliżoną twardość ogólną wody oznacza się przez miareczkowanie próbki wody roztworem mydła Clarka (PN/C – 045554). Mydło Clarka zawiera 10mg mydła potasowego w 500 ml 56 % spirytusu. Nowszą i dokładniejszą metodą jest oznaczenie twardości ogólnej wapniowej i magnezowej przy

- użyciu soli sodowej kwasu etylenodwuaminoczeroctowego (wersenian dwusodowy, EDTA, komplekson III, Trilon B).
- e) Zawartość chlorków. Z powodu dużej rozpuszczalności są one obecne we wszystkich wodach naturalnych. Mogą pochodzić z wymywania pokładów soli lub ze ścieków odprowadzonych do odbiorników. Woda zawierająca chlorki działa korodująco na żelazo i beton. Zawartość chlorków oznacza się metodą miareczkową dodając do wody azotanu srebrowego, w obecności chromianu potasowego jako wskaźnika.
 - f) Zawartość siarczanów. Siarczany są obecne w wodzie wskutek wymywania skał, wylugowania z gleby i utleniania siarczków i siarkowodoru oraz białka, zawierającego siarkę. Większa ilość SO_4^{2-} w wodzie działa ujemnie na przewodność pokarmową, powoduje korozję betonu i konstrukcji żelbetowych.
 - g) Zawartość żelaza i manganu. Te dwa pierwiastki w wodach naturalnych występują w postaci węglanów, wodorowęglanów, siarczanów, humusanów i fosforanów. Pochodzą z gruntu, ze ścieków, z korozji rur i zbiorników. Są nieszkodliwe pod względem sanitarnym, ale w większych ilościach pogarszają smak wody. Pod działaniem powietrza (tlen) powodują mętnienie wód podziemnych wskutek wytracania się związków trudno rozpuszczalnych. Zawartość żelaza oznacza się kolometrycznie przy użyciu rodanku amonowego lub o – fenantroliny.
 - h) Zasadowość (alkaliczność) wody jest to cecha wynikająca z obecności w niej wodorotlenków, wodorowęglanów i węglanów wapnia, magnezu, potasu i sodu. W wodach naturalnych występuje przeważnie jon HCO_3^- . Zasadowość wody wyraża się też w mval/dm^3 i oznacza przez miareczkowanie 0,1 n kwasem solnym próbki 100 ml wody wobec fenoloftaleiny (zasadowość F $\text{pH} = 8,3$), a następnie wobec oranżu metylowego (zasadowość M, $\text{pH} = 4,3$). Wody naturalne nie wykazują zasadowości wobec fenoloftaleiny, a zawsze wykazują zasadowość wobec oranżu metylowego.
 - i) Sucha pozostałość i straty po prażeniu. Sucha pozostałość jest to ciężar osadu pozostałego po odparowaniu wody i wysuszeniu osadu w temp. 105°C , przeliczona na 1 litr wody. Składają się na nią wszystkie substancje stałe, rozpuszczone i zawieszane w wodzie. Następnie osad praży się w temperaturze $600 - 650^\circ\text{C}$. Straty po prażeniu uważa się za zawartość części organicznych.
 - j) Zawartość fluoru. Wody do picia wymagają zawartości fluoru w ilości $1,0 - 1,2 \text{ mg F/dm}^3$. Zarówno nadmiar jak i niedomiar fluoru jest szkodliwy, zwłaszcza dla uzębienia. Wody powierzchniowe z reguły wykazują niedomiar zawartości fluorków dlatego dodaje się do wody przeznaczonej o picia związki fluorków; jest to końcowy proces uzdatniania wody w wodociągach.

- k) Gazy rozpuszczone w wodzie. Zawsze w wodzie występuje w większej lub mniejszej ilości CO_2 (w granicach $10 - 400 \text{ mg/dm}^3$). Zależnie od pH występuje jako CO_2 rozpuszczony – przy $\text{pH} = 4,5$; jako jon HCO_3^- przy wartości pH $4,5 - 8,4$ i jako CO_3^{2-} przy wartości pH $8,5 - 10,5$. Woda o dużej zawartości CO_2 wykazuje własności korodujące, które wywołują rozpuszczanie wapnia w cemencie, w efekcie znacznie spada wytrzymałość betonu. Tlen obok CO_2 występuje w wodzie w ilości zależnej od ciśnienia cząstkowego i od temperatury (do $14 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$). Jego obecność w wodzie warunkuje procesy biologiczne związane z samooczyszczaniem się wody. Jednocześnie tlen zwiększa intensywność procesu korozji przewodów. W wodach podziemnych i niewielkiej ilości w wodach powierzchniowych pojawia się siarkowodór. Jego ilość i forma występowania zależy od wartości pH wody i od ciśnienia cząstkowego gazu. Nadaje on wodzie nieprzyjemny zapach, powoduje rozwój bakterii siarkowych i wywołuje korozję. W niewielkich ilościach występuje w niektórych wodach leczniczych.
- l) Zawartość pierwiastków śladowych. Zawartość śladowych ilości pewnych pierwiastków (mikroelementów) w wodzie odgrywa bardzo ważną rolę w procesach fizjologicznych w organizmie. Określone ilości tych pierwiastków są optymalne dla ustrojów, większe lub małe ilości są szkodliwe. Zaliczamy do nich: niektóre metale ciężkie, jod, fluor, selen, brom i inne. Rola i ich działanie nie jest całkowicie poznane. Szczególnie trudno jest określić optymalne zawartości poszczególnych mikroelementów dla zdrowia ludzi.
- m) Substancje trujące. Należą do nich występujące w dużych ilościach w wodzie: cyjanki, związki ołowiu, arsenu, rtęci, miedzi, cynku i chromu, i toksyczne związki organiczne. Ich źródłem w wodach są głównie ścieki przemysłowe [26].

3.5.2. Wskaźniki bakteriologiczne.

Prawie zawsze w większej lub mniejszej ilości w wodach naturalnych występują mikroorganizmy i bakterie. Zanieczyszczone bakteriami są szczególnie otwarte zbiorniki wodne, do których spływają wody deszczowe i ścieki. Rozwój bakterii w wodzie zależy od zawartości substancji pokarmowych, warunków termicznych, świetlnych i innych. Dla rozwoju bakterii ważny jest też stopień natlenienia wody. Światło wywiera bardzo szkodliwy wpływ na rozwój wielu bakterii. Mikroorganizmy i bakterie odgrywają ważną rolę w samooczyszczaniu się wód powierzchniowych. Obok nich mogą znajdować się bakterie chorób zakaźnych, a zwłaszcza przewodu pokarmowego (czerwonka, dur brzuszny, paradur, żółtaczką zakaźną, cholera i inne).

Do pełnej oceny wody pod względem sanitarnym – oprócz składu chemicznego – niezbędna jest też ocena bakteriologiczna. Dla oznaczenia ilości bakterii w wodzie nanosi się odmierzoną ilość wody na pożywkę i po określonym czasie, w odpowiedniej temperaturze hoduje bakterie po czym wylicza się ilość wyrosłych na pożywkę kolonii bakterii. Woda źródłana, zabezpieczona przed zanieczyszczeniem, może zawierać w 1cm^3 wody do 200 bakterii, woda studzienna zabezpieczona przed zanieczyszczeniem 10 – 1000 bakterii, niezupełnie zabezpieczona - do 80000 bakterii. Wody jezior zawierają 1500, a wody rzek czystych do 125000 bakterii. Samo bezpośrednie oznaczenie bakterii jest trudne, do charakterystyki wybrano bakterię wskaźnikową – *Bacterium coli* (pałeczkę okrężnicy). Żyje ona w jelicie grubym i jej obecność świadczy o zanieczyszczeniu wody ściekami bytowymi i może oznaczać podejrzenie obecności w wodzie bakterii chorobotwórczych. Charakterystykę bakteriologiczną wody wyraża się jako miano coli – jest to najniższa objętość wody w cm^3 , w której znaleziono jedną bakterię lub jako indeks coli, który określa ilość bakterii w 1dm^3 wody, np.

Woda czysta – miano coli = 100 cm^3 ,

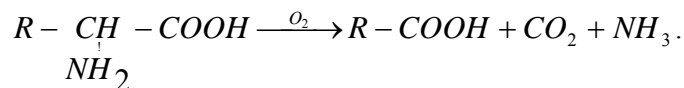
Woda brudna – miano coli = 1 cm^3 .

3.5.3. Wskaźniki biologiczne.

Każdy akwen charakteryzuje żyjąca w nim flora i fauna wodna, której rozwój zależy od zawartości w wodzie substancji odżywczych. Badania fauny i flory zbiornika wodnego często służą jako uzupełnienie fizyko – chemicznej i bakteriologicznej oceny wody. Świat roślinny i zwierzęcy dopasowuje się do stopnia czystości lub zanieczyszczenia zbiornika wodnego. Zależnie od stopnia zanieczyszczenia zbiornika występują odmienne zespoły organizmów wodnych, dlatego organizmy te są uważane za wskaźniki czystości wody lub jej zanieczyszczenia. Podziału wód w oparciu o stopnie zanieczyszczeń i samooczyszczanie dokonali w 1902 r. botanik Kolkwitz i zoolog Marsson. Następnie uzupełnili oni go opisem organizmów charakteryzujących poszczególne stopnie czystości wody. Podział ten jest nadal aktualny ciągle rozbudowywany, udoskonalany i modyfikowany. Organizmy stanowiące wskaźniki czystości i zanieczyszczenia wody dzielimy na kataroby i saproby [26].

Kataroby są to organizmy zasiedlające czyste wody źródlane, saproby – organizmy zasiedlające wszystkie wody słodkie o różnym stopniu zanieczyszczenia. Kolkwitz i Marsson dzielą organizmy saprobowe (saprobionty) na 4 podstawowe grupy: polisaprobowe (w najbardziej zanieczyszczonych wodach), alfa i beta – mezosaprobowe i oligosaprobowe (w najmniej zanieczyszczonych wodach). W strefie polisaprobowej występują bakterie anaerobowe (beztlenowe), bakterie siarkowe i bakterie rozkładające błonnik i tłuszcze, białka i polipeptydy. Strefę umiarkowanego

zanieczyszczenia dzielimy na α i β saprobową. W alfa saprobowej strefie zachodzą procesy redukcyjno – utleniające. Przeważają w niej już bakterie aerobowe (tlenowe) i występują aminokwasy, amidy, amoniak i metan. W strefie tej zachodzi amonifikacja z wydzieleniem amoniaku:



W strefie beta saprobowej dobiega końca rozkład substancji organicznej. Zachodzą tu procesy utleniające przy obecności bakterii aerobowych. Występuje amoniak i azotyny, azotany jako produkty nitryfikacji amoniaku. Strefa oligosaprobowa jest strefą pozbawioną zanieczyszczeń. Istnieją tu już warunki tlenowe i występują azotany jako końcowy produkt rozkładu substancji białkowych.

3.6. Podział wód powierzchniowych według czystości

Do czasu zatwierdzenia ustawy Prawo Wodne z dnia 18.07.2001 r. obowiązywała w Polsce klasyfikacja wód powierzchniowych zależnie od stopnia czystości i ich przeznaczenia. Zasady tej klasyfikacji zostały ogłoszone w Dz. U. z dnia 16.12.1991 r. – Nr 116, Poz. 503 oraz w załączniku do Rozporządzenia MOŚZNiL z dnia 5.11.1991 r. Zgodnie z nią wydzielono 3 klasy czystości śródlądowych wód powierzchniowych:

Klasa I – zaliczono do niej wody przeznaczone do:

- zaopatrzenia ludności w wodę do picia,
- zaopatrzenia przemysłu spożywczego i innych przemysłów wymagających wody o jakości wody do picia,
- hodowli ryb łososiowatych.

Klasa II – zaliczono do niej wody przeznaczone do:

- hodowli ryb innych niż łososiowate,
- zaspokajania potrzeb hodowli zwierząt gospodarskich (pojenie bydła),
- urządzania zorganizowanych kąpielisk, uprawiania sportów wodnych,

Klasa III – zaliczono do niej wody przeznaczone do:

- zaopatrzenia przemysłu za wyjątkiem przemysłu wymagającego wody o jakości wody do picia,
- nawadniania terenów rolniczych wykorzystywanych do upraw ogrodnich oraz do upraw pod szkłem.

Jeśli w wyniku badań bakteriologicznych i chemicznych stwierdzono przekroczenie wielkości dopuszczalnych zawartości składnika w wodzie, to wody takie oznaczono jako pozaklasowe.

Aktualnie, po zatwierdzeniu ustawy Prawo wodne z dnia 18.07.2001 r. zasady w/w klasyfikacji zostały anulowane. W kraju obowiązują przepisy prawne zgodne z tą ustawą i zmianami z dnia 5.12.2002 r. Zgodnie z ustawą „Prawo wodne” Minister Środowiska wydał Rozporządzenie o wymaganiach, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia, o częstotliwości pobierania próbek wody, o metodyce preferencyjnej analiz i sposobie oceny, czy wody odpowiadają warunkom. (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.11.2002 r. Dz. U. Nr 204, poz. 1728 wraz z załącznikami 1-3 dotyczy ono wód powierzchniowych, przeznaczonych do spożycia). Minister Zdrowia, wydał Rozporządzenie z dnia 16.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda w kąpieliskach (Dz. U. Nr 183, poz. 1529 i poz.1530) wraz z załącznikami, anulując część wcześniejszego Rozporządzenia z dnia 4.09.2000 r. Minister Zdrowia wydał Rozporządzenie z dnia 19.11.2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 203, poz.1718). To Rozporządzenie anuluje wcześniejsze Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4.09.2000 r. w sprawie jakości wód do picia.

Minister Środowiska wydał Rozporządzenie z dnia 4.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać morskie wody wewnętrzne i wody przybrzeżne będące środowiskiem życia skorupiaków i mięczaków (Dz. U. Nr 176, poz. 1454). Minister Środowiska wydał Rozporządzenie z dnia 4.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz. U. Nr 176, poz. 1455). Wypada zaznaczyć, że w krajach Unii Europejskiej spożywa się stosunkowo dużo skorupiaków i mięczaków (zwłaszcza w kuchni włoskiej i francuskiej), gdzie potrawy przyrządzane z nich noszą nazwę owoce morza - „frutti di mare”.

Zgodnie z treścią ustawy „Prawo wodne” z 18.07.2001 r. wydzielono w Rozporządzeniu dwa rodzaje wód:

- wody zdatne do hodowli ryb łososiowatych,
- wody zdatne do hodowli ryb karpowatych.

Ogólnie biorąc nowe Prawo wodne nawiązuje do dyrektyw klasyfikacji wód w państwach Unii Europejskiej. Wymagania jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe do celów spożycia podano w tabeli 3.18 a. Częstotliwość poboru próbek wody dla każdego wskaźnika jakości wody zawiera tabela 3.18 b. Obowiązująca aktualnie jakość wód pitnych (po uzdatnieniu) została określona w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002 r. (Dz. U. Nr 203, poz.1718). Podano w nim warunki jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej. Normy jakości wód do picia podane w tym Rozporządzeniu są obowiązujące i zostały przedstawione w tabeli 3.19. i 3.20.

Zgodnie art. 50 ust.1 ustawy z dnia 18.07.2001 r. – Prawo Wodne (Dz. U. Nr 115, poz. 1229 i Dz.U. Nr 154, poz. 1803 oraz z 2002 r Dz.U. Nr 113, poz. 984 i Dz.U. Nr 130, poz. 1112) Minister Środowiska wydał Rozporządzenie z dnia 27.11.2002 r. podane w Dz. U. Nr 204, poz. 1728, w którym określono:

- 1) wymagania, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrywania ludności w wodę do spożycia,
- 2) częstotliwość pobierania próbek wody, metodykę preferencyjną analiz i sposób oceny, czy wody odpowiadają wymaganym warunkom.

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.11.2002 r. ustalono trzy kategorie jakości wód, oznaczone A1, A2 i A3, zależnie od wartości granicznych wskaźników jakości wody, które ze względu na ich zanieczyszczenie muszą być poddane standardowym procesom uzdatnienia, aby uzyskać wodę zdatną do spożycia:

- 1) kategoria A1- woda wymagająca prostego uzdatnienia fizycznego w szczególności filtracji i dezynfekcji;
- 2) kategoria A2 – woda wymagająca typowego uzdatnienia fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania wstępnego, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, dezynfekcji, (chlorowania końcowego);
- 3) Kategoria A3 – woda wymagająca wysoko sprawnego uzdatnienia fizycznego i chemicznego, w szczególności: utleniania, koagulacji, flokulacji, dekantacji, adsorpcji na węglu aktywnym, dezynfekcji (ozonowanie, chlorowanie końcowe).

Próbki wody powinny odzwierciedlać jej jakość przed uzdatnieniem. Częstotliwość poboru próbek wody jest uzależniona od kategorii jej jakości oraz liczby osób korzystających z wodociągu i może ulec zwiększeniu w szczególnych przypadkach. Minimalną roczną częstotliwość pobierania próbek wody podano w załączniku nr 2 do rozporządzenia. Jeśli analiza próbek wody wykaze lepszą jej jakość niż podane wartości graniczne tych wskaźników podane w załączniku nr1 do rozporządzenia, częstotliwość poboru próbek wody i pomiaru wartości tych wskaźników może zostać zmniejszona. Jeżeli woda jest niezanieczyszczona i nie ma ryzyka pogorszenia jej jakości, to nie przeprowadza się regularnego poboru próbek. Dotyczy to też przypadku, gdy wartości wskaźników są lepsze niż wartości graniczne podane dla wód kategorii A1.

Wody spełniają wymagania, jeśli w wyniku poboru próbek w miejscu ich ujmowania w regularnych odstępach czasu z częstotliwością określoną w załączniku nr 2 do rozporządzenia stwierdza się, że:

- 1) w 95 % próbek nie przekroczone właściwych dla danej kategorii jakości wody wartości dopuszczalnych wskaźników oznaczonych w tabeli 3.18. gwiazdką (*), w załączniku nr 1 do rozporządzenia, a w

- 90 % próbek wartości dopuszczalne pozostałych wskaźników jakości wody.
- 2) w odniesieniu do pozostałych 5 % lub 10 % próbek, w których wartości dopuszczalne wskaźników jakości wody zostały przekroczone:
 - a) otrzymane wartości wskaźników z wyjątkiem temperatury, pH, tlenu rozpuszczonego i wskaźników mikrobiologicznych, nie odbiegają więcej niż o 50 % od wartości dopuszczalnych wskaźników jakości wody,
 - b) nie wynika zagrożenie dla zdrowia człowieka,
 - c) w kolejnych próbkach wody pobranych w regularnych odstępach czasu, nie stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnych wskaźników jakości wody.

Przy obliczaniu wartości procentów próbek nie uwzględnia się przekroczeń wartości granicznych wskaźników spowodowanych: powodzią, innymi kłęskami żywiołowymi, wyjątkowymi warunkami pogodowymi jak: intensywne opady atmosferyczne, intensywne topnienie śniegu, albo wysokie temperatury powietrza.

Analizę próbek wody przeprowadza się zgodnie z metodyką preferencyjną analiz podaną w załączniku 3 do rozporządzenia.

W metodyce preferencyjnej analiz uwzględnia się:

- 1) granicę wykrywalności – rozumianą jako stężenie analitu, które powoduje wystąpienia sygnału większego od sygnału ślepej próby o trzykrotności odchylenia standardowego wyznaczonego dla średniej wartości ślepej próby uzyskanej dla 10 pomiarów,
- 2) precyzję rozumianą jako stopień zgodności wyników wielokrotnych analiz tej samej próbki w określonych warunkach; miarą precyzji jest odchylenie standardowe (SD) lub względne odchylenie standardowe (RSD),
- 3) dokładność rozumianą jako stopień zgodności między średnim wynikiem uzyskanym w szeregu powtórzeń, a wartością prawdziwą mierzonej wartości.

Dopuszcza się stosowanie innej metodyki preferencyjnej analiz, niż metodyka preferencyjna określona w załączniku nr 3 do rozporządzenia, jeśli jest ona dokładniejsza od podanej metodyki.

Przy stosowaniu innej metodyki preferencyjnej analiz należy udokumentować jej równoważność lub porównywalność uzyskanych wyników analizy próbek wody z wynikami próbek wody uzyskanych za pomocą preferencyjnych metodyk analiz, określonych w obowiązującym załączniku nr 3 do rozporządzenia.

Pobieranie, utrwalanie, transport i przechowywanie próbek wody do analizy należy wykonywać zgodnie z Polskimi Normami (PN-75/C-04618-03. Woda i ścieki. Nazwy i określenia. Analiza fizykochemiczna; PN-75/C-04618-04. Woda i ścieki. Nazwy i określenia. Użytkowanie i ochrona wód).

Rozporządzenie obowiązuje z dniem 11 listopada 2002 r.
Rozporządzenie to anuluje wcześniej wydane akty prawne dotyczące klasyfikacji wód powierzchniowych i wartości dopuszczalnych wskaźników jakości wód bakteriologicznych i chemicznych.

Wymagania, jakim powinny odpowiadać kategorie jakości wody A1-A3 (wg Załącznika nr 1 do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.11.2002 r. (Dz. U. Nr 204, poz.1728 r.) – tabela 3.18.a.

Tabela 3.18.a..

L.P.	Wskaźniki jakości wody	Jednostki miar	Wartości graniczne wskaźników jakości w				
			A ₁		A ₂		zaleca
			zalecane	Dopuszczalne	zalecane	Dopuszczalne	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	pH		6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	5,5 - 9	5,5 – 9,0	5,5 -
2	Barwa	mg/l	10	2* ²⁾	50	100* ²⁾	

3	Zawiesiny ogólne	mg/l	25	25		30		35
4	Temperatura	°C	22	25* ²⁾	22	25* ²⁾	22	25* ²⁾
5	Przewodność	μS/cm przy 20° C	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	Zapach	Stopień rozcieńczenia przy 25° C	3	3	10	10	20	20
7	Azotany	mg/l	25	50* ²⁾		50* ²⁾		50* ²⁾
8	Fluorki	mg/l	0,7 - 1	1,5*	0,7 - 1,7	1,5	0,7 - 1,7	1,5
9	Żelazo	mg/l	0,1	0,3*	1	2*	1	2
10	Mangan	mg/l	0,05	0,05	0,1	0,1	1	1
11	Miedź	mg/l	0,02	0,05* ²⁾	0,05	0,05	1	0,5
12	Cynk	mg/l	0,5	3*	1	5*	1	5*
13	Bor	mg/l	1	1	1	1	1	1
14	Nikiel	mg/l		0,05		0,05		0,2
15	Wanad	mg/l		1,0		1,0		1,0
16	Arsen	mg/l	0,01	0,05*		0,05*	0,05	0,05*
17	Kadm	mg/l	0,01	0,005*	0,001	0,005*	0,001	0,005*
18	Chrom ogólny	mg/l		0,05*		0,05*		0,05*
19	Chrom ⁺⁶	mg/l		0,02*		0,02*		0,02*
20	Ołów	mg/l		0,05*		0,05*		0,05*
21	Selen	mg/l		0,01*		0,01*		0,01*
22	Rtęć	mg/l	0,0005	0,001*	0,0005	0,001*	0,0005	0,001*
23	Bar	mg/l		0,1*		1*		1*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	Cyjanki	mg/l		0,05*		0,05*		0,05*
25	Siarczany	mg/l	150	250*	150	250*	150	250*
26	Chlorki	mg/l	200	250	200	250	200	250
27	Substancje powie - rzchniowo czynne anionowe	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5

28	Substance powie – ruchniowo czynne niejonowe	mg/l		0,5		1	
29	Fosforany	mg/l	0,4	0,4	0,7	0,7	0,7
30	Fenole (indeks fenolowy)	mg/l		0,001*	0,001	0,005*	0,00
31	Rozpuszczone lub zemulgowane węglowodoru	mg/l		0,05*		0,2*	0,5
32	Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	mg/l		0,0002*		0,0002*	
33	Pestycydy ogółem	mg/l		0,001*		0,0025*	
34	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)	mg/l		25		30	30
35	Tlen rozpuszczony	% nasycenia tlenem	>70	>70	>50	>50	>30
36	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT ₅)	mg/l	<3	<3	<5	<5	<7
37	Azot Kjeldahla	mg/l	1	1		2	3
38	Amoniak	mg/l	0,05	0,5	1,5	1,5*	2
39	Substancje ekstrahowane chloroformem	mg/l	0,1	0,1		0,2	0,5
40	Ogólny węgiel organiczny	mg/l		5		10	
41	Liczba bakterii grupy coli	w 100 ml wody	50	50		5000	5000
42	Liczba bakterii grupy coli typu kałowego (termotolerancyjne)	w 100 ml	20	20		2000	2000
43	Liczba paciorkowców kałowych (enterokoki)	w 100 ml	20	20		1000	1000
44	Bakterie z rodzaju Salmonella	w 5000 ml wody dla A1 w 1000 ml wody dla A2		nico - becne w 5000 ml		nico - becne w 1000 ml	

Objaśnienia:

- 1) Wartości graniczne wskaźników jakości wody oznaczają:
 - najniższą wartość w przypadku wskaźnika w L.P. 35 (nasycenie tlenem)

- najwyższą i najniższą wartość w przypadku wskaźnika w L.P. 8 (fluorki), ustalone w odniesieniu do średniej temperatury rocznej
 - najniższą i najwyższą wartość w przypadku wskaźnika w L.P. 1 (odczyn)
 - najwyższe wartości w pozostałych przypadkach
- 2) Odstępstwa dopuszczalne z powodu wyjątkowych warunków określanych w § 4 ust.2 Rozporządzenia tj. dotyczących pozostałych 5 % lub 10 % próbek, w których zostały przekroczone wartości dopuszczalne wskaźników.

W latach 80-tych stan czystości wód rzecznych pogorszył się. Rzeki Odra i Wisła nie miały już wód o czystości odpowiadających klasie I. Wody Odry na odcinku 2/3 jej długości były bardziej zanieczyszczone niż przewidywały normy dla klasy III wód powierzchniowych. Prowadziły one wody silnie zasolone pochodzące ze zrzutów słonych wód kopalnianych z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Zanieczyszczone były wody Wisły. Ścieki z Trójmiasta zanieczyszczały wody Zatoki Gdańskiej. Do jezior i zbiorników wodnych odprowadzane były nieorganiczne ścieki przemysłowe i komunalne. Stan czystości tych wód oceniano w połowie lat 80-tych jako bliski katastrofy ekologicznej [26]. Sytuacja uległa poprawie w latach 1990-2000. Do wód powierzchniowych w kraju w 1999 r. odprowadzono ogółem 2,7 km³/rok ścieków wymagających oczyszczenia.

W tej ilości było: 2,3 km³/rok ścieków oczyszczonych,

0,4 km³/rok ścieków nie oczyszczonych.

W grupie ścieków oczyszczonych prowadzono oczyszczanie:

- mechaniczne dla 0,9 km³/rok ścieków,
- chemiczne dla 0,1 km³/rok ścieków,
- biologiczne dla 0,9 km³/rok ścieków,
- z podwyższonym usuwaniem biogenów dla 0,4 km³/rok ścieków.

Tak więc odprowadzono 85,9 % ścieków oczyszczonych i 14,1 % ścieków nieoczyszczonych. Ścieki te obejmowały grupę ścieków przemysłowych i komunalnych. Wg badań rejonu ujścia Odry w latach 1999-2001 przez zespół Pracowni Chemicznych Zanieczyszczeń Morza Bałtyckiego Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, pod kierunkiem G. Kowalewskiej stężenia najbardziej groźnych składników PCB (polichlorowane bifenyle) i WWA w osadach dennych utrzymują się na poziomie stężeń, w jakich występują u wybrzeży morskich przeciętnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych rejonów na świecie, a nie tych wyjątkowo silnie zanieczyszczonych [40]. W wielu rejonach przybrzeżnych Morza Śródziemnego obserwuje się wyższe stężenie tych związków niż w Bałtyku. Dodać należy, że rejon ujścia Odry zaliczał się do najbardziej zanieczyszczonych w polskiej strefie Bałtyku [40].

Minimalna roczna częstotliwość pobierania próbek wody dla każdego wskaźnika jakości wody (wg załącznika nr 2 do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.11.2002 r., Dz. U. Nr 204, poz. 1728)

Tabela 3.18.b.

Kategoria jakości wody	Grupa wskaźników jakości wody*	Minimalna roczna częstotliwość pobierania próbek wody z której korzysta:			
		do 10.000 osób	od 10.000 do 30.000 osób	od 30.000 do 100.000 osób	więcej niż 1000.000 osób
1	2	3	4	5	6
A ₁	I	1	1	2	3
	II	1	1	1	2
	III	1	1	1	2
A ₂	I	2	2	4	8
	II	1	1	2	4
	III	1	1	1	1
A ₃	I	2	3	6	12
	II	1	1	2	4
	III	1	1	1	1

*grupy wskaźników jakości wody:

Objaśnienia

Grupa I	Grupa II	Grupa III
Odczyn pH	Żelazo rozpuszczone	Fluorki
Barwa	Mangan	Bor
Zawiesiny ogólne	Miedź	Nikiel

Temperatura	Cynk	Arsen
Przewodnictwo elektroniczne właściwe	Siarczany	Kadm
Zapach	Substancje powierzchniowo czynne	Chrom ogólny
Azotany	Fenole	Ołów
Chlorki	Azot Kjeldahla	Selen
Fosforany	Liczba bakterii grupy coli	Rtęć
ChZT	Liczba bakterii grupy coli – typu kałowego (termotolerancyjne)	Bar
Tlen rozpuszczony (stopień nasycenia)	Ogólny węgiel organiczny	Cyjanki
BZT ₅		Rozpuszczone lub zemulgowane węglowodory
Amoniak		wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
		Pestycydy ogólne
		Substancje ulegające ekstrakcji chloroformem
		Paciorkowce kałowe (enterokoki)
		Bakterie z rodzaju Salmonella

3.7. Woda do picia i do celów przemysłowych.

Woda do picia, obok odpowiedniego składu chemicznego, musi spełniać wymagania sanitarne. Woda do przemysłu badana jest głównie pod kątem składu chemicznego.

3.7.1. Woda do picia i gospodarstwa domowego.

Woda do picia jest jednym ze środków żywnościowych. Nie może zawierać substancji szkodliwych dla zdrowia lub wskazujących na jej zanieczyszczenie składnikami wpływającymi ujemnie na jej smak, zapach lub barwę albo powodujących mętność wody. Zawartość substancji

promieniotwórczych w wodzie nie może przekraczać wartości stężeń określonych odrębnymi przepisami.

Woda pod względem bakteriologicznym powinna odpowiadać następującym warunkom:

1. Woda po uzdatnieniu i dezynfekcji:

- w 100 cm³ wody nie może być ani jednej bakterii grupy coli typu fekalnego.
- liczba kolonii bakterii na agarze odżywczym po 24 godz. w temperaturze 37 °C nie może przekraczać 20 w 1cm³ wody,
- liczba kolonii bakterii na agarze odżywczym po 72 godzinach w temperaturze 22 °C nie może przekraczać 100 w 1cm³ wody (wg Dz. U. Nr 203, poz. 1718, z dnia 19-11-2002).

Woda powinna odpowiadać pod względem właściwości fizycznych i składu chemicznego warunkom określonym w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 19-11-2002 r.

Dane te podano w tabeli 3.19. i 3.20. Obejmuje ono warunki fizykochemiczne wraz z szeregiem zanieczyszczeń wtórnych powstających w czasie uzdatniania wód. W porównaniu do norm podanych w rozporządzeniu z 2000 roku wartości dopuszczalne uległy nieznacznym zmianom. Próbkę wody do badań pobiera się z:

- urządzeń wodociągowych, po zabiegach dezynfekcyjnych,
- indywidualnych ujęć wody zaopatrujących ponad 50 osób lub dostarczających powyżej 10 m³ wody na dobę zwłaszcza wykorzystywanej do celów komercyjnych i publicznych,
- cystern i kontenerów przy awaryjnym zaopatrzeniu ludności w wodę,
- zbiorników w środkach transportu pasażerskiego magazynujących wodę do picia.

Nowsze warunki jakości wód do picia podano w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 4.09.2000 r. Dz. U. Nr 82, poz. 937 z 2000 r. w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarce, woda w kąpieliskach, oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej. Rozporządzenie to obejmowało szerszy zakres wskaźników określających warunki fizykochemiczne jakim powinna odpowiadać woda do picia. Uwzględniło ono szereg nowych wskaźników związanych z zanieczyszczeniami wtórnymi. Przepisy te regulowały jakość wód konsumpcyjnych, a nie wód surowych, po przeprowadzeniu zabiegów uzdatniania. Podawało ono częstotliwość pobierania próbek wody i nawiązywało do Dyrektywy Rady Unii Europejskiej z 1998 r., chociaż nie było w pełni z nią spójne. Ponadto opublikowano "Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia. Tom I. Zalecenia (wyd. II). Zarząd Główny Polskiego Związku Inżynierów i Techników Sanitarnych, nr 749., Warszawa

1998 r. O jakości wody do picia w krajach Unii Europejskiej informuje Dyrektywa Unii Europejskiej 98/83/EC. Council Directive 98/83/EC of 3 November on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, 1998, No. L 330/32, EN, pp. 1-23. Obowiązujące warunki jakości wód do picia (po zabiegach uzdatniania wód) podaje rozporządzenie Ministra Zdrowia z 19-11-2002 roku (DZ.U. Nr 203, poz. 1718) z załącznikami. Określa ono wskaźniki fizykochemiczne jakości wód oraz bakteriologiczne (tab. 3.19 i 3.20).

W porównaniu do norm podanych wcześniej w 2000 roku wartości dopuszczalne uległy nieznacznym zmianom – dopuszczono nieco wyższe wartości niektórych składników zanieczyszczeń.

Warunki organoleptyczne i fizyczno-chemiczne jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze (wg Rozporządzenia M.Z., 2002)

Tabela 3.19.

Nazwa substancji	Tło hydroge- ochemiczne wód użytko- wanych w Polsce	Najwyższe dopuszczalne stężenie w wodach do picia			Uwagi
		Wg Rozporządzenia M.Z. , 2000	Wg Dyrektywy Rady Unii Europejskiej, 1998	Wg Rozporzą- dzenia M.Z. ,2002	
1	2	3	4	5	6
A. Substancje nieorganiczne, mg/L					
Amoniak		0,5**	0,5	0,5 ^{1), 2)}	**wody niechloro- wane-1,5 mg/L (amoniak pochodze- nia natura- lnego)
Antymon		0,005	0,005	0,005	
Arsen		0,01	0,01	0,01	
Azotany (jako NO ₃ ⁻)	0 - 1	50	50	50 ¹⁾	
Azotyny (jako NO ₂ ⁻)	0 – 0,01	0,1	0,5	0,5	
Bar	2 - 50	0,7			
Bor	0,01 – 0,1	1	1	1,0	

Bromiany		0,01	0,01	25; 10 ⁵	10 ⁵ od 2008 r.
Chlor wolny		0,3		0,1 - 0,3 ^x	
Chlorki	2 - 60	250	250	250 ¹⁾	
Chrom	0,001 – 0,02	0,05	0,05	0,05	
Chrom sześć- wartościowy (Cr ⁺⁶)		0,03			
Cyjanki	0 – 5 ; 0 - 10	0,05	0,05	0,05	
Cynk	0,005 – 0,05	3		-	
Fluorki	0,05 – 0,5	1,5	1,5	1,5	
Fosfor jako P ₂ O ₅		5		-	
Glin	0,05 – 0,5	0,2	0,2	0,2	
Kadm	0,001 – 0,005	0,003	0,005	0,03	
Krzemiany (jako SiO ₂)	1 – 30				
Kwasowość	0,2 – 15				wyrażona mmol/L
Magnez	0,5 - 50	50		30 ³⁾ - 125 ³⁾	
Mangan	0,01 – 0,4	0,05	0,05	0,05	
Miedź	0,001 – 0,02	1	2	2,0 ¹⁾ , 4)	
Nikiel	0,001	0,02	0,02	0,02	
Odczyn (pH)	6,5 – 8,5	6,5 – 9,5			
Ołów	0,001 – 0,01	0,01	0,01	0,05 0,025 ⁵⁾ 0,01 ⁶⁾	Ważne ⁵⁾ 2006–2013 ⁶⁾ po 2013
Potas	0,5 - 10				
Przewodność elektryczna na (μS/cm)	200 - 700	2500		2500	Przy 20° C
Rtęć	0,0005 – - 0,003	0,001	0,001	0,001	
Selen		0,01	0,01	0,01	
Siarczany (SO ₄ ⁻²)	5 - 60	250	250	250 ¹⁾	
Siarkowódór [mg/L S]	0 – 0,01				Przepisy sani - tarne: woda bez zapachu
Sód	1 - 60	200	200	200	
Srebro		0,01			

Sucha pozostałość	200 - 500				
Twardość jako CaCO ₃		60 - 500		60 ^{1), 3)} - 500 ¹⁾	
Twardość Ogólna jako CaCO ₃	100 - 400				
Wapń	2 - 200				
Zasadowość	1 - 6				wyrażona w mval/L
Żelazo	0,02 - 5,0	0,2	0,2	0,2	0,2

B. Substancje organiczne, µg/L					
1	2	3	4	5	6
Akryloamid		0,1	0,1	0,10 ⁶⁾	
Aktylonitryl		0,25			
Benzen		1	1	1,0	
Benzo (a)piren		0,0001 - 0,001	0,01	0,01	
Bromodichlorometan		15		15	
Bromoform (tribromo - metan)		50			
Chlorobenzen		20			
Chlorofenole (bez pentachloro - fenolu)		10			wg Rozporządzenia M.Z. (2000) oraz poniżej progu zapachu
Chloroform (trichloro - metan)	0 - 5,0	30		30	
Chlorooctowy kwas		30			
Chloraniny				500	

Chlorany				200	
Chloryny				200	
Czterooctowy kwas		2			
Dibromo-chlorometan		30			
Dichloroetan		3		3,0	
Dichloro-benzen		30			
Dichlorometan		20			
Epichloro-hydryna		0,1	0,1	0,10 ⁶⁾	
Etylobenzen		20			
Etylenu tlenek		2			
Fenol	0 - 1	0,5			
Ftalan dibutyli		20		20	
Formaldehyd		50		50	
Ksyleny		20			
PCB (polichloro - wane bifenyle)		0,5			
Styren		10			
Substancje powie - rzchniowo czynne (anionowe)		200		200	
Tetrachloro - etan	0 - 0,5	10	10 (łącznie z trichloro - etenem)	10 (łącznie z trichloro - etenem)	Wg Dyrektywy (1998) - łącznie z trichloroetenem
Toluen		40			
Trichloro-benzen		20		20	
Trichloroeten	0 - 3	10			
Mikrocystyna LR				1,0 ²⁾	
Σ trichlorobenzonów				20	

Σ trichloroetenu i tetrachloro- etenu				10	
1,2 dichloroetan				3,0	
Tetrachloro- metan				2	
Trichloroalde- hyd octowy				10	
ΣTHM Trichloro - metan		100	100	150, 100 ⁵⁾ - od 2008 r	ΣTHM suma: Chloroform bromo- form bromo- dichchloro- metan, bromochlo- rometan Chloro- metan
ChZT (metoda z KMnO ₄) μg O ₂ /L			5000	5000	Inna nazwa utlenialno- ści wody
Suma wielopie- rścieniowych węglowodorów aromatycznych	0,1	0,1		0,100 ⁹⁾	Benzo(b)fl uoranten
Winyłu chlorek		0,5	0,5	0,50 ⁶⁾	
Pestycydy	0 – 0,1	0,10	0,10	0,10 ⁷⁾	
Suma pestycydów		0,50	0,50	0,50 ⁸⁾	
Warunki organoleptyczne, jakim powinna odpowiadać woda do picia					
Barwa (mg Pt/L)	5 – 20	nie więcej niż 15	akceptowalna przez konsumenta	15	
Mętność (mg SiO ₂ /L)	0 - 1	nie więcej niż 1	akceptowalna przez konsumenta	1	
Organizmy wodne		niewidoczne			
Plamy olejowe		niewidoczne			
Zapach	0 - 1	akceptowany	akceptowany	akcepto-	

				wany	
Radiomuklidy:					
Całkowita dopuszczalna dawka [mSv/r]				0,10	
Tryt [Bg/l]				100	
Zawiesina		niewidoczna			
Inne wskaźniki jakości wody (nie uwzględnione w Rozporządzeniu M.Z. , 2000)					
pH	6,5 – 8,5		$\geq 6,5$ i $\leq 9,5$	6,5 – 9,5 ¹⁾	
Osad (zawiesiny łatwo odpadające)	0				
Potencjał utleniająco – - redukcyjny Eh	- 50 do + 400				
Temperatura (°C)	4 - 20				Przy eksploatacji korzystnie do 8°C
Przewodność $\mu\text{S/cm}$ w 20 °C				2500 ¹⁾	
Smak			akceptowalny	akceptowalny	
Mętność			akceptowalna	1	
Całkowity węgiel organiczny			Brak nienormalnej zmiany		
Radionuklidy: - całkowita dopuszczalna dawka [mSv/r]				0,10	
Tryt [Bq/l]				100	

- 1) wartość powinna być uwzględniona przy ocenie agresywności korozyjnej,
- 2) wody podziemne niechlorowane – 1.5 mg/l,
- 3) wartość zalecana ze względów zdrowotnych,
- 3') nie więcej niż 30 mg/l magnezu, jeśli stężenie siarczanów jest równe lub większe od 250 mg/l. Przy niższej zawartości SO_4^{2-} dopuszczalne stężenie Mg^{++} wynosi 125 mg/l,

- 4) wartość dopuszczalna, jeżeli nie powoduje zmiany barwy wody spowodowanej jej agresywnością,
- 5) zakresy wartości stosuje się zgodnie z §12 Rozporządzenia,
- 6) dotyczy stężenia niezwiązanego monomeru w polimerze, który przenika do wody,
- 7) termin „pestycydy” obejmuje organiczne insektycydy, organiczne herbicydy, organiczne fungicydy, nematocydy, akarycydy, algicydy, rodentocydy, slimcydy, pochodne produkty m.in. regulatory wzrostu oraz ich pochodne metabolity, a także produkty ich rozkładu i reakcji. Podana wartość odnosi się do każdego pestycydu. W przypadku aldryny, dieldryny heptachloru i epoksyheptachloru NDS wynosi 0,03 µg/l,
- 8) wartość oznacza sumę stężeń wszystkich pestycydów oznaczonych ilościowo,
- 9) wartość oznacza sumę stężeń wyszczególnionych związków:
Benzeno(b)fluorantem, benzeno(k)fluorantem, benzeno(ghi)perylen, indeno(1,2,3, - c,d) piren,
- x) w przypadku podania jednej wartości dolna wartość zakresu wynosi zero,
- y) wartość oznaczona w punkcie czerpalnym w konsumenta,
- z) dotyczy wód powierzchniowych.

Warunki bakteriologiczne, jakim powinna odpowiadać woda do picia (wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2002 r.) podaje tabela 3.20

Tabela 3.20

L.P.	Wskaźnik jakości wody	Najwyższa dopuszczalna wartość	
		W próbce wody pobranej w miejscu czerpania przez użytkowników lub podawania wody do sieci	
		Liczba bakterii	Objętość próbki [ml]
1.	Escherichia coli lub bakterie grupy coli typ kałowy	0	100
2.	Bakterie grupy coli*	0	100
3.	Enterokoki (paciorkowce kałowe)	0	100
4.	Clostridia redukujące siarczyny**	0	100
5.	Gronkowce koagulazododatnie	x	x
6.	Ogólna liczba bakterii w 37° C po 24 h	20	1
7.	Ogólna liczba bakterii w 22° C po 72 h	100	1

Objaśnienia:

x – nie oznacza się,

* - dopuszcza się pojedyncze bakterie wykrywane sporadycznie, nie w kolejnych próbkach; do 5 % próbek w ciągu roku,

** - należy badać w wodzie pochodzącej z ujęć powierzchniowych.

3.7.2. Woda dla przemysłu spożywczego.

Woda dla piekarń do sporządzania ciasta i mycia urządzeń winna odpowiadać jakości wód pitnych. Nie może zawierać drożdży i grzybów. Do wyrobu sztucznego lodu powinna być uboga w substancje rozpuszczone, nie może zawierać dużo magnezu, wapnia, a żelaza i manganu mniej niż $0,2\text{mg/dm}^3$. Dla wytwórni konserw mięsnych, owocowych i jarzynowych niepożądane są żelazo i mangan, które mogą barwić artykuły spożywcze. Woda do browarów winna mieć specyficzne własności, od jej jakości zależy smak i jakość piwa. Kładzie się nacisk na odpowiednią zawartość CaSO_4 , NaCl i MgCl_2 , związków Fe i Mn . Do wytwórni drożdży i dla gorzelni woda winna odpowiadać normom wód pitnych [26].

3.7.3. Woda dla zakładów, w których wymagania sanitarne nie odgrywają roli.

Woda do celów budowlanych nie może zawierać agresywnego CO_2 i innych składników, które by ługowały składniki betonu. Dla wytwórni celulozy i sztucznego jedwabiu woda nie powinna zawierać związków Fe i Mn . Podobne wymagania są dla wód stosowanych w papierni. Woda nie może też zawierać substancji organicznych, które ulegają gniciu. Dla przemysłu włókienniczego woda nie powinna być twarda i powinna mieć małą zawartość Fe i Mn .

3.7.4. Woda dla przemysłu garbarskiego.

Zakłady te zużywają duże ilości wód: $35 - 45\text{m}^3$ wody na 1 tonę skór surowych. Potrzebna jest woda miękka tj. $0 - 8^\circ\text{E}$ twardość ($1^\circ\text{E} = 10\text{mg CaO/dm}^3$). Nie może zawierać zawiesin substancji organicznych, bakterii i zarodników bakterii [26].

3.8. Samooczyszczanie i oczyszczanie wód zanieczyszczonych.

Prawie cała ilość wody pobieranej przez ludność do celów komunalnych i przemysłowych, poza małą częścią używaną w obiegach zamkniętych, wraca do wód powierzchniowych (rzecznych lub jeziornych) w postaci wód zużytych, obciążonych różnymi substancjami mineralnymi i organicznymi. Wody zużyte wprowadzone do odbiorników naturalnych można podzielić na ścieki:

- 1) komunalne,
- 2) przemysłowe,
- 3) rolnicze (spływy z terenów rolniczo użytkowanych, głównie z użytków zielonych).

Ilość ścieków komunalnych odpowiada w przybliżeniu ilości wody wodociągowej zużytej w gospodarstwach domowych i do celów komunalnych miast. Należą do nich też ścieki z zakładów użyteczności publicznej z polewania ulic i placów, wody po opadach deszczu i topniejącego śniegu. Ilość ścieków ulega wahaniom zależnie od pory roku, tygodnia i dnia. Ścieki te

zawierają substancje mineralne i organiczne, a wg stopnia rozproszenia składników są to: cząstki rozpuszczone, koloidalne i zawieszone [22].

Całkowitą ilość zanieczyszczeń niesionych przez ścieki określa się ładunkiem zanieczyszczeń; wyrażamy go w postaci iloczynu ilości (natężenia przepływu) i stężenia ścieków (sumy wszystkich składników ścieków). Zatem:

$$L = q \cdot c.$$

Ścieki komunalne zawierają średnio (g/m^3): N – 80; P_2O_5 – 60; K_2O – 20.

Niosą też duże ilości żywych drobnoustrojów: wirusów, bakterii, jaj robaków i innych pasożytów przewodu pokarmowego człowieka. Obok nieszkodliwych bakterii saprofitycznych, występują bakterie i wirusy chorobotwórcze, stąd należy je utylizować. Przykładowo w roku 1983 odprowadzono w Polsce z dużych zakładów przemysłowych i miast do wód powierzchniowych 4,6 mld m^3 ścieków, przy czym 2 mld m^3 stanowiły ścieki nie oczyszczone a 1,6 mld m^3 ścieki oczyszczone niedostatecznie. Wtedy oczyszczano zaledwie 56,5% ścieków [8]. Jednak w 1999 r. odprowadzono już ogółem 2,7 mld m^3 ścieków wymagających oczyszczenia, przy czym 2,3 mld m^3 stanowiły ścieki oczyszczone, a tylko 0,4 mld m^3 ścieki nie oczyszczone. Osiągnięto zatem proporcje 85,9 % ścieków oczyszczonych i 14,1 % ścieków nie oczyszczonych (rocznik GUS za 1999 r.).

Ścieki przemysłowe zawierają bardzo wiele różnych zanieczyszczeń jednocześnie, w tym wiele trujących substancji. Wśród ścieków rolniczych stanowią też problem ścieki gnojowicy spowodowane przemysłowym systemem chowu bydła i trzody chlewnej w dużych fermach. Problemem przy wprowadzaniu ścieków do odbiornika jest ich rozcieńczanie wodą i właściwe wymieszanie. Po zrzucie ścieków do odbiornika wodnego zachodzi w nim zjawisko samooczyszczania wody. Jest to naturalne zjawisko likwidacji zanieczyszczeń, które dostały się do wody, pod wpływem kompleksowego działania procesów fizycznych, chemicznych, biochemicznych i biologicznych. W procesie samooczyszczania wyróżniamy 3 etapy: degradacji, biooksydacji i odnowy (czyli wody czystej).

Etap 1 – proces degradacji (redukcji) przebiega przy braku tlenu, wzrasta ilość H_2S i NH_3 , następuje rozwój grzybów ściekowych, bakterii oraz grup zwierząt (głównie pierwotniaków), które znoszą niedobór tlenu. W osadach dennych osadza się czarny muł o zapachu H_2S zawierający siarczki żelaza.

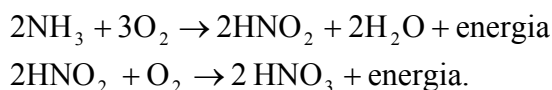
Etap 2 – proces biooksydacji prowadzi do utlenienia produktów rozkładu (wytworzonego w etapie 1). Następuje zanik bakterii, pierwotniaków i grzybów na rzecz autotroficznych glonów. Korzystają one z nagromadzonych soli

mineralnych i CO₂. Składniki ścieków ulegają praktycznie zmineralizowaniu i w rzece pojawiają się wielogatunkowe zespoły organizmów.

Etap 3 – odnowy; ścieki są praktycznie w całości zmineralizowane i w wodzie rzecznej pojawiają się wielogatunkowe zespoły organizmów.

W procesie samooczyszczania wód można wyróżnić zjawiska: sedymentacji zawiesin, sorpcji, utleniania chemicznego i biochemicznej mineralizacji substancji organicznej. Sedymentacja polega na opadaniu na dno substancji stałych zawartych w ściekach. Dzięki niej polepsza się dopływ światła i tlenu, jednocześnie zaleganie znacznych warstw osadu na dnie odbiornika uniemożliwia życie organizmom dennym i powoduje procesy anaerobowe. Ładunek zanieczyszczeń, który może przyjąć odbiornik, musi być dokładnie wyliczony. Procesy sorpcji związków rozpuszczonych i gazów oraz substancje zawieszane stwarzają korzystne warunki dla rozwoju drobnoustrojów biorących udział w samooczyszczaniu. Procesy chemicznego utleniania związków łatwo podlegających utlenianiu, zawartych w wodzie, odciażają procesy biochemiczne, w których jest też zużywany tlen. Biochemiczna mineralizacja substancji organicznej przez drobnoustroje posiada decydujące znaczenie w samooczyszczaniu wód, inne natomiast procesy umożliwiają lub też ułatwiają ten podstawowy proces. Samooczyszczanie jest możliwe tylko wtedy, gdy w odbiorniku ścieków istnieją warunki umożliwiające życie i rozwój drobnoustrojów, głównie tlenowych, które powodują mineralizację. Dla drobnoustrojów tlenowych niezbędne są następujące czynniki: odpowiednie ilości tlenu i rozkładalnych substancji organicznych, które stanowią źródło węgla organicznego, równowaga między ładunkiem wprowadzanych zanieczyszczeń a zdolnością odbiornika do ich likwidacji, brak substancji toksycznych, które niszczą drobnoustroje. Jeśli w odbiorniku brak warunków tlenowych i drobnoustrojów tlenowych, to przeważają w nim procesy anaerobowe, połączone z wydzielaniem pośrednich produktów rozkładu. Produkty procesów anaerobowych są w zdecydowanej większości toksyczne dla roślin wyższych i organizmów wodnych. Mineralizację związków organicznych powodują drobnoustroje tlenowe, jak: bakterie saprofityczne, promieniowe, grzyby, pierwotniaki i glony. Wykorzystują one tlen rozpuszczony w wodzie i rozkładają substancję organiczną zanieczyszczeń, która dla nich jest źródłem energii i budulcem nowej masy komórkowej. Do właściwego przebiegu procesu samooczyszczania wód potrzeba równowagi biologicznej między poszczególnymi grupami drobnoustrojów tlenowych, równowagi fizykochemicznej warunkującej obecność wystarczającej ilości tlenu w wodzie, brak substancji toksycznych, właściwy odczyn wody (wartość pH) i odpowiednia jej temperatura. W ochronie wód nie dążymy do stanu nasycenia, jej tlenem, lecz do zachowania w odbiornikach pewnej jego ilości

niezbędnej do zachowania równowagi biologicznej. Miarą ładunku związków organicznych wprowadzonych lub znajdujących się w odbiorniku jest biologiczne zapotrzebowanie tlenu - BZT. Jest to ilość tlenu wyrażona w mg O_2/dm^3 (mg O_2/l), niezbędna do utleniania biochemicznego zawartych w wodzie związków organicznych w wyniku procesów biochemicznych, przy współdziałaniu drobnoustrojów tlenowych, głównie bakterii. BZT określone w mg O_2/dm^3 charakteryzuje stężenie rozkładalnych związków organicznych, podane w gramach lub kg tlenu określa ładunek tych związków. Ustalono, że proces biologicznego utleniania zanieczyszczeń obecnych w wodzie trwa ok. 20 dni w temperaturze 20°C i przebiega w dwu fazach. W pierwszej fazie następuje hydrolityczny rozkład węglowodanów, białek i tłuszczów z wydzielaniem H_2O , CO_2 i NH_3 . W drugiej fazie, określonej jako nitrifikacja, następuje utlenianie NH_3 do azotynów NO_2^- , a następnie do azotanów NO_3^- wg reakcji:



Najszybciej przebiegają reakcje w pierwszym okresie tj. do 7 dni. Największy pobór tlenu sięgający ok. 70% całego zapotrzebowania występuje w ciągu pierwszych 5 dni. Dlatego jako miarę BZT w obliczeniach przyjmuje się 5 – dniowe biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT₅. Ubytki tlenu rozpuszczonego w wodzie wyrównuje się głównie dyfuzją tlenu z powietrza do wody. Proces ten intensyfikujemy budując kaskady oraz sztucznie natleniamy odbiornik. Właściwy przebieg samooczyszczania wód wymaga zapewnienia warunków tlenowych, korzystnego odczynu wody (pH 6,5 – 8,5) oraz temperatury (nie powinna przekraczać 35°C) oraz braku substancji toksycznych. Oczyszczanie ścieków miejskich polega na stosowaniu procesów sztucznych, ale działających tak samo jak procesy w przyrodzie podczas samooczyszczania środowiska. W stosowanych metodach oczyszczania ścieków stosuje się powszechnie złoża biologiczne i osad czynny. Złoże biologiczne stanowi materiał, na którego powierzchni rozwija się błona biologiczna. Składa się ona z organizmów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, głównie bakterii, które w warunkach tlenowych rozkładają substancje organiczne ze ścieków. Ścieki są w stałym kontakcie z powierzchnią błony biologicznej. Osad czynny jest konglomeratem różnych rodzajów organizmów, głównie bakterii tlenowych, rozkładających substancję organiczną w ściekach. Organizmy te tworzą specyficzne skupiska, najczęściej kłaczkowatej budowy, zwane osadem czynnym. Oczyszczanie ścieków polega na napowietrzaniu ścieków wymieszanych z osadem czynnym, a później następuje oddzielenie kłaczek tego osadu od oczyszczanych ścieków, i zwracaniu osadu czynnego do nowej porcji dopływających ścieków. W trakcie procesu oczyszczania ścieków

następuje przyrost masy osadu czynnego. Nadmiar tego osadu musi być mechanicznie usuwany z obiegu i unieszkodliwiony.

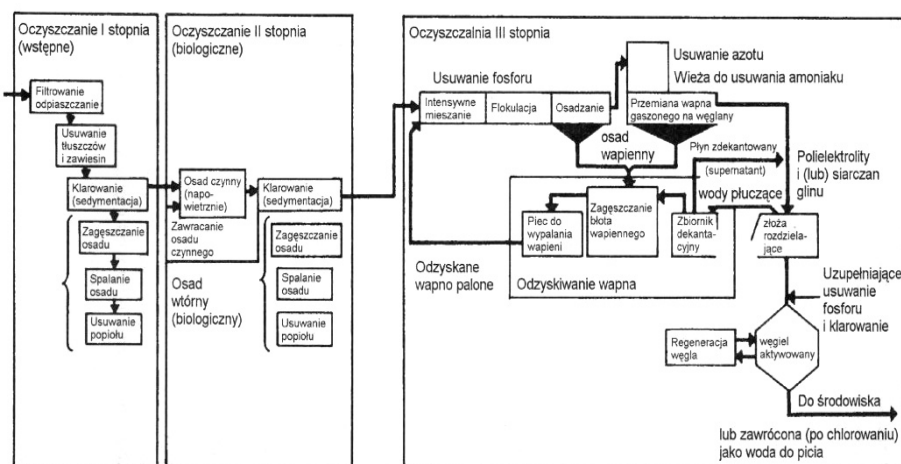
Wyróżnia się 3 stopnie procesu oczyszczania ścieków:

I – wstępne, czyli mechaniczne (filtracja, sedimentacja ciał stałych – następnie palenie lub zakopywanie osadów),

II – biologiczne (rozkład materii organicznej do związków mineralnych),

III – chemiczne (głównie usuwanie fosforanów, azotanów, substancji organicznej itp.).

Nowoczesne oczyszczalnie ścieków mają część mechaniczną i biologiczną. Na część mechaniczną składają się: kraty, piaskowniki, odłuszczacze i osadniki. Metodami mechanicznymi oddziela się zanieczyszczenia fizyczne. W oczyszczalniach ścieków komunalnych stosuje się też procesy biologiczne – jako drugi stopień oczyszczenia – przebiegające w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych. Procesy te są podobne do tych, jakie zachodzą w naturalnych środowiskach wodnych i w glebie podczas mineralizacji związków organicznych. Oczyszczanie trzeciego stopnia jest oczyszczaniem chemicznym. Przy oczyszczaniu ścieków przemysłowych stosujemy (rys.3.18) równolegle szereg procesów, zależnie od charakteru tych ścieków. Jeśli ścieki te są podobne do ścieków komunalnych, to oczyszczanie może być podobne. Gdy ścieki zawierają specyficzne związki to oczyszczamy je tylko metodami fizycznymi i chemicznymi, które wymagają obniżenia stężenia zanieczyszczeń, zmiany odczynu (wartości pH), ochładzania i usunięcia substancji toksycznych itp.



Rys. 3.18. Schemat oczyszczania ścieków [22].

3.8.1. Oczyszczanie ścieków metodą rolniczego wykorzystania.

Jeśli oczyszczane ścieki po drugim stopniu oczyszczenia i samooczyszczania nadal są bogate w związki azotowe, fosforowe, potasowe i składniki wywołujące w odbiornikach gwałtowny wzrost wodorostów i innych organizmów wodnych, to ich wprowadzenie do rzeki spowoduje później szybsze obumarzenie wodorostów i pozbawienie wód rzecznych tlenu. Dlatego jako odbiorniki ścieków uwzględnia się gleby, w których następuje trzeci stopień oczyszczania ścieków. Gleby stanowią korzystne środowisko mineralizacji substancji organicznej, a przede wszystkim sorpcji składników pokarmowych roślin jak fosforany, jony NH_4^+ i inne składniki mineralne oraz powodują skuteczne oczyszczanie ścieków z nie oczyszczonych składników mineralnych podnosząc produktywność gleby. Za przykład rolniczego wykorzystania ścieków i ich oczyszczania mogą służyć dawne pola nawadniane ściekami w pobliżu miast: Łodzi (Puczniewa), Wrocławia i Berlina. Przy rolniczym unieszkodliwieniu ścieków musimy dokładnie poznać warunki hydrogeologiczne nawadnianego podłoża i stosować właściwe rośliny. Zanieczyszczenia nie mogą dostać się w głąb podłoża glebowego. Powierzchnia winna być pokryta odpowiednią roślinnością, a w podłożu gleby istnieć warstwa izolująca, która uniemożliwi dostanie się wód bogatych w składniki chemiczne do wód niższych poziomów. Nie wolno nawadniać ściekami tarasów rzecznych, piaszczystych obszarów sandrowych, przepuszczalnych piasków, utworów porowatych połączonych z niżej leżącym wodonośnym podłożem.

Efektywność “filtru glebowego” zależy od rodzaju gleby (o dużej pojemności sorpcyjnej) oraz pokrywy roślinnej (najczęściej trawy). Ze zbiorem trawy następuje usuwanie mineralnych składników wprowadzonych ze ściekami do gleby. Długotrwałe nawadnianie gleb ściekami powoduje kumulowanie się w nich soli mineralnych. Wolno zatem utylizować rolniczo ścieki jedynie po 2-gim stopniu oczyszczania i ścieki nie mogą zawierać metali ciężkich.

3.9. Eutrofizacja wód.

Wody po 2-gim stopniu oczyszczania zawierają czasem duże ilości soli amonowych, NO_3^- , fosforanów oraz potasu tj. składników pokarmowych roślin. Po wprowadzeniu ich do zbiornika wodnego stają się pożywką dla roślin wodnych, które masowo się rozwijają. Wyprodukowana w zbiorniku wodnym substancja organiczna roślin i zawarte w niej składniki mineralne (N,P,K) są częściowo włączone w obieg materii organicznej, a częściowo odkładane na dnie zbiornika wodnego. Masa roślinna wypłyca zbiornik wodny, a po obumarciu ulega rozkładowi i pochłania wielkie ilości tlenu z wody wskutek jego zużycia przez rozkładające materię organiczną, mikroorganizmy i powoduje objawy identyczne jak ścieki zanieczyszczające wodę. Zjawisko to jest wtórnym zanieczyszczeniem, czyli eutrofizacją wód. Na eutrofizację wód wpływają też spływy powierzchniowe i gruntowe z terenów rolniczych. Ograniczenie eutrofizacji polega na zmniejszeniu dopływu mineralnych składników pokarmowych z oczyszczanych ścieków i hamowaniu tych składników z terenów rolniczych. Racjonalne stosowanie nawożenia i uprawy roślin zmniejszy dopływ czynników z terenów rolniczych. Eliminację z wody związków pokarmowych roślin (tj. III stopień oczyszczenia) można uzyskać za pomocą metod fizycznych, chemicznych lub biologicznych. Fosforany można usunąć z wody dodając do niej związki FeCl_3 lub $\text{Ca}(\text{OH})_2$, które tworzą z fosforanem trudno rozpuszczalne związki. Związki azotowe redukujemy metodami fizyczno chemicznymi i biologicznymi. Po alkalizacji ścieków usuwamy z nich gazowy amoniak. Metody biologiczne polegają na denitryfikacji azotanów. Wykonuje się też rowy wzdłuż linii brzegowej zbiorników chronionych, a wody z rowów kieruje się do oczyszczalni.

3.10. Uzdatanianie wody.

Większość wód powierzchniowych i gruntowych nie nadaje się bezpośrednio do picia i potrzeb przemysłu, gdyż nie odpowiada określonym wymogom jakościowym chociażby ze względu na zawyżone zawartości żelaza czy manganu. Zależnie od przeznaczenia wody poddaje się ją procesom uzdatniania lub oczyszczania. W wyniku tych zabiegów usuwane są zanieczyszczenia czy nadmierne ilości niepożądanych składników i uzyskuje się jakość wody odpowiadającą potrzebom użytkowników (tabela 3.21) [34].

Procesy uzdatniania wody można podzielić na:

- a) procesy fizyczno – mechaniczne jak osadzanie, filtracja, odgazowanie
- b) procesy fizyczno – chemiczne, do których należy: koagulacja, zmiękczenie, demineralizowanie, odżelazianie i odmanganianie, odbarwianie i dezynfekcja,
- c) procesy biologiczne – filtrowanie na filtrach powolnych. Uzdatanianie wody jest szerszym pojęciem i obejmuje np. procesy usuwania twardości wody do kotłów parowych. Oczyszczanie wody jest węższym pojęciem i polega na

przygotowaniu jej do celów pitnych – usuwamy niektóre tylko składniki występujące w nadmiarze.

Elementy oczyszczalni wody z urządzeniami, przez które przechodzi woda surowa [34].

Tabela 3.21.

Lp.	Elementy oczyszczalni wody z urządzeniami, przez które przechodzi woda surowa
1.	Kraty i sита na ujęciu wody powierzchniowej
2.	Wstępne osadniki otwarte i przykryte
3.	Urządzenia do koagulacji wody
4.	Wtórne osadniki
5.	Klarowniki z zawieszonym osadem
6.	Filtry powolne
7.	Filtry pospieszne
8.	Filtry kontaktowe
9.	Filtry o bardzo dużej prędkości filtracji
10.	Odżelaziacze
11.	Odmanganiacze
12.	Urządzenie do odkwaszania wody
13.	Urządzenie do dezynfekcji wody
Lp.	Procesy techniczne
1.	Zatrzymywanie większych zanieczyszczeń mechanicznych – kraty i sита
2.	Zatrzymywanie drobnych zanieczyszczeń mechanicznych – osadniki i klarowniki z bardzo małą prędkością przepływu wody
3.	Osadzanie substancji koloidalnych – koagulacja i przepuszczanie wody przez warstwę zawieszzonego osadu w klarownikach
4.	Filtracja przez złożę piaskowe w różnego rodzaju filtrach
5.	Dezynfekcja wody dla zniszczenia bakterii – zabiegi chlorowania, ozonowania wody
6.	Usuwanie żelaza i manganu za pomocą napowietrzania i filtracji wody
7.	Pompowanie czystej wody do zbiornika
Lp.	Schemat uzdatniania wody gruntowej za pomocą filtrów ciśnieniowych
1.	Ujęcie wody gruntowej
2.	Aerator ciśnieniowy, do którego wtłaczamy sprężone powietrze
3.	Filtr ciśnieniowy: usuwamy z niego ścieki po płukaniu filtrów
4.	Urządzenie do dezynfekcji; doprowadzamy do niego czynnik bakteriobójczy
5.	Pompownia wody czystej do sieci wodociągowej

3.10.1. Procesy fizyczno-mechanicznego uzdatniania wody.

W ich wyniku z wody są usuwane zawieszony w niej ciała i zawiesiny, przez osadzanie ich na kratkach, siatach i osadnikach. Zawiesiny, które nie zostały oddzielone w tych urządzeniach zostają usuwane z wody przez filtrowanie.

Kraty stosujemy wyłącznie przy ujmowaniu wód rzecznych lub z jeziora. Składają się z metalowej ramy i prętów metalowych ustawionych pod kątem ostrym do kierunku prądu wody. Na kratkach są zatrzymywane grube zanieczyszczenia jak liście i gałązki. Zanieczyszczenia te z krat są usuwane ręcznie lub mechanicznie.

Sita są to metalowe ramy z naciągniętą siatką miedzianą lub z innego metalu odpornego na korozję i rdzewienie. Zatrzymują one mniejsze zanieczyszczenia jak kraty i spełniają taką samą rolę.

Mikro sita są wykonane z tkaniny syntetycznej lub z nitek ze stali nierdzewnej o wielkości oczek 10 – 35mm, naciągniętej na bębny obrotowe. Zatrzymują one bardzo drobne zawiesiny, plankton i glony.

Osadniki to urządzenia usuwające z wody zanieczyszczenia bardzo drobne o wielkości poniżej 0,1mm. Cząstki zanieczyszczeń opadają w wodzie z różną szybkością, zależnie od wielkości, kształtu i masy właściwej cząstki, temperatury i lepkości wody. Wg konstrukcji wyróżniamy osadniki poziome, pionowe i odśrodkowe. Mają one przekrój kołowy, lecz ruch wody może być poziomy, pionowy lub odśrodkowy, gdzie woda płynie wzdłuż promienia od środka osadnika do obwodu. Stosujemy je do oczyszczania wód surowych, jak i po ich uzdatnianiu. Prowadzone są też próby z zastosowaniem hydrocyklonów do usuwania drobnoziarnistych zawiesin z wody.

Filtry służą do usuwania z wody zawiesin o średnicy poniżej 0,05mm, substancji koloidalnych i częściowo bakterii. Filtrowanie wody jest najważniejszą i najczęściej stosowaną metodą w uzdatnianiu wody, uprzednio sklarowanej w osadnikach. Stosujemy ją do wód do picia i do potrzeb przemysłu oraz w procesach uzdatniania wody metodą koagulacji, odżelaziania itp.

W skład filtru wchodzi:

- obudowa, której materiał i kształt zależy od rodzaju filtru (stosujemy cegłę, żelbet lub blachę stalową),
- sieć drenażowa zbudowana z rur betonowych lub kamionkowych dziurkowanych, ewentualnie ze specjalnych płyt. Sieć zbiera i odprowadza przefiltrowaną wodę.
- warstwa wypełniająca zwana złożem filtru. Stanowi ją piasek kwarcowy, antracyt, węgiel aktywny lub dwie warstwy np. piasek i antracyt. Zatrzymanie zawiesin zależy od ich wielkości oraz uziarnienia, porowatości i grubości warstwy złoża oraz od szybkości filtrowania. Szybkość filtrowania V jest to stosunek natężenia przepływającej wody Q [m^3/h] przez złożę do jego powierzchni F [m^2].

$$V = \frac{Q}{F} = \frac{m^3/h}{m^2} = \frac{m}{h}$$

W czasie filtrowania wody przebiegają na złożu procesy:

- mechaniczne, gdzie są zatrzymywane zawiesiny na złożu, które działa jak sito,
- adsorpcyjne, polegające na przywieraniu bardzo drobnych zawiesin koloidalnych do ziaren piasku,
- chemiczne spowodowane reakcją między składnikami złoża a wodą jak np. drobno potłuczony marmur lub wapień służące do odkwaszania wody na filtrach lub reakcje zachodzące przy demineralizacji wody na filtrach wypełnionych jonitami,
- biochemiczne wywołane obecnością i rozwojem mikroorganizmów i glonów na powierzchni złoża.

Zależnie od: ciśnienia pod jakim odbywa się filtrowanie, uziarnienia złoża, szybkości filtracji, ilości warstw złoża itp. wyróżnia się różne rodzaje filtrów:

- a) filtry wstępne (prefiltry); są one wypełnione żwirem i gruboziarnistym piaskiem i usuwają one większe zanieczyszczenia. Stosowane są do uzdatniania wody dla przemysłu,
- b) filtry powolne; zatrzymują one mechaniczne zawiesiny w porach (przestrzeniach) między ziarnkami piasku, przy czym główna masa zawiesin zatrzymana jest na górnej kilkucentymetrowej warstwie złoża. Po kilku dniach filtrowania na powierzchni złoża tworzy się błona biologiczna złożona z makro – i mikroorganizmów, która spełnia podstawowe zadanie w pracy filtru. Nad złożem utrzymuje się warstwa wody grubości około 1m,
- c) filtry pośpieszne; ich praca polega na działaniu mechanicznym i adsorpcyjnym. Zawiesiny są zatrzymywane w całym złożu i nie tworzy się błona biologiczna. Wśród filtrów pośpiesznych wyróżniamy: filtry pośpieszne otwarte (grawitacyjne), w których filtracja odbywa się pod wpływem ciśnienia hydrostatycznego słupa wody na złożę; filtry pośpieszne zamknięte (ciśnieniowe). Działają one jak filtry otwarte z tym, że nad warstwę wody doprowadza się powietrze o ciśnieniu 4 – 6 atm. Filtrów tych, z różnymi modyfikacjami używamy w wodociągach komunalnych np. filtry dwuwarstwowe z antracytem,
- d) filtry ciśnieniowe super pośpieszne np. filtr Nikiforowa. W tych filtrach korpus jest podzielony na szereg komór, a każda z nich stanowi odrębny samodzielny filtr. Filtracja odbywa się w kilku komorach, a jedna lub więcej komór jest w tym czasie płukana. Odbywa się w nich z dużą szybkością filtracja, gdyż nie wyłącza się filtru z pracy na czas usuwania zatrzymanych zanieczyszczeń,

- e) filtry kontaktowe, stanowią urządzenie, w którym są zespolone: komora flokulacji, osadnik i filtr pośpieszny otwarty lub ciśnieniowy,
- f) filtr elektromagnetyczny; stanowi go cylindryczny zbiornik z austenicznej stali wypełniony kulkami stalowymi, otoczony elektromagnesem. Pod działaniem pola magnetycznego następuje zatrzymanie zanieczyszczeń ferromagnetycznych (związków żelaza). Filtr jest stosowany w odżelazianiu wody oraz w siłowniach cieplnych, elektrowniach jądrowych i innych instalacjach przemysłowych.

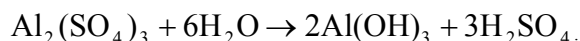
3.10.2. Fizyko – chemiczne procesy uzdatniania wody.

3.10.2.1. Koagulacja.

Przy mechanicznym uzdatnianiu wody usuwamy z niej w osadnikach cząstki o średnicy większej od 0,05mm koloidów ochronnych. Dla wyeliminowania lub obniżenia zdolności ochronnej koloidów dokonuje się ich utleniania chlorując wodę.

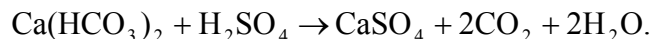
Dotychczasowe obserwacje wskazują, że proces koagulacji jest złożonym procesem, w którym występują 3 elementy: 1)reakcja hydrolizy koagulantu, 2)powstawanie i narastanie kłaczków – czyli flokulacja i 3)sedymentacja. Sam proces kłaczkowania zawiera kilka etapów jak: opalizacja, zmętnienie, powstawanie bardzo dużej ilości małych kłaczków i aglomeracja ich w większe skupienia – zawiesiny.

Do koagulacji używamy najczęściej soli hydrolizujących, a więc soli słabych zasad i mocnych kwasów. Zatem odczyn tych soli jest kwaśny. Jako koagulanty znajdują zastosowanie: siarczan glinowy, glinian sodowy, siarczan żelazowy i chlorek żelazawy oraz koagulant mieszany – chlorek żelazawy i siarczan glinowy. W praktyce stosowane są najczęściej sole glinowe, gdyż przy stosowaniu soli żelaza może dojść do wtórnego zażelazienia wody, dlatego soli żelaza używamy na szeroką skalę do koagulacji ścieków. Przy koagulacji siarczanem glinowym następuje w wodzie jego dysocjacja i hydroliza w odpowiedniej wartości pH wody.



Jony Al^{3+} mogą reagować z substancjami zawartymi w wodzie. Część jonów Al^{3+} jest adsorbowana przez zawiesiny i cząsteczki koloidalne; ujemnie naładowane cząstki są zobojętniane przez Al^{3+} jony. Powstaje koloidalny $\text{Al}(\text{OH})_3$ i wypada on z roztworu wodnego, powodując przejściowo wzrost mętności wody. Osad ten o dużej powierzchni adsorbującej może sorbować koloidalne zawiesiny, które potem można usunąć w osadnikach. Powstały w wyniku hydrolizy siarczanu glinowego kwas siarkowy H_2SO_4 reaguje następnie z $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ i powoduje niekorzystną zmianę twardości

węglanowej wody na twardość niewęglanową i zwiększenie zawartości agresywnego CO₂ w wodzie.



Przy koagulacji wód o niskiej twardości węglanowej należy dodawać substancje neutralizujące wydzielony kwas siarkowy jak Ca(OH)₂, NaOH dla utrzymania optymalnej wartości pH wody. Po koagulacji roztworem AlCl₃ odpowiednio zneutralizowanym dodatkiem Na₂CO₃ osiąga się lepsze rezultaty niż przy koagulacji Al₂(SO₄)₃. Zasadowe sole AlCl₃ są lepiej rozpuszczalne w wodzie niż sole Al₂(SO₄)₃.

Przebieg koagulacji zależy od czynników:

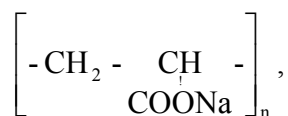
- rodzaju koagulanta,
- dawkowania – w postaci roztworu czy proszku,
- optymalnej dawki – tj. najmniejszej, niezbędnej dawki potrzebnej do prawidłowej koagulacji,
- odczynu wody – wartość pH wywiera wpływ na hydrolizę koagulanta i punkt izoelektryczny,
- ilości i rodzaju zanieczyszczeń,
- temperatury; im niższa temperatura tym wolniej przebiega koagulacja,
- czasu i szybkości mieszania wody z koagulantem. Stosuje się szybkie mieszanie celem szybkiego rozproszania w wodzie dodanego koagulanta i powolne mieszanie, w czasie którego przebiega flokulacja,
- środków ułatwiających flokulację (flokulanty).

3.10.2.2. Flokulacja.

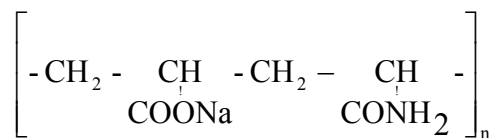
Flokulacja polega na nawarstwieniu początkowo utworzonych kłaczków i adsorpcji przez nie bardzo drobnych zawiesin i cząstek koloidalnych. Koagulant dodany do wody reaguje bardzo szybko, natomiast powstałe w wyniku tego cząstki koloidowe, w celu wytworzenia kłaczków wymagają pewnego czasu. Początkowo masa cząstek jest bardzo mała (niewidoczne gołym okiem) i w związku z tym nie mogą opadać. W następnym etapie występuje opalizacja wskutek powstawania bardzo dużej ilości małych cząstek. Jest to początek powstawania kłaczków. W dalszym ciągu kłaczkowate cząstki łączą się w duże skupiska widzialne gołym okiem, a następnie rozpoczyna się etap opadania kłaczków pod wpływem siły ciężkości (sedymentacja). Związki przyspieszające, a więc skracające czas kłaczkowania i sedymentacji nazywamy flokulantami. Flokulanty stosowane do uzdatniania wody są pochodzenia organicznego i mineralnego. Substancjami wspomagającymi koagulację są: KMnO₄, wapno Ca(OH)₂, kwasy, gliny, bentonit, węgiel. Cząstki koloidalne adsorbują jony z roztworów elektrolitów, tworząc podwójną warstwę elektryczną tj. warstwę adsorpcyjną mocno

przylegającą do powierzchni cząstki i warstwą zewnętrzną (dyfuzyjną). Zależnie od adsorbowanych jonów na powierzchni cząstka może być naładowana ujemnie albo dodatnio. Ze względu na łączenie się cząstek fazy rozproszonej z fazą rozpraszającą koloidy dzielimy na liofilowe i liofobowe. Koloidy liofilowe – cząstki fazy rozproszonej łączą się z cząstkami ośrodka dyspergującego, koloidy ulegają solwatacji w przypadku wody – hydratacji. Solwatacja jest czynnikiem stabilizującym układ koloidalny. Przykładami koloidów liofilowych są: białka, żelatyna, celuloza, skrobia, tanina.

Koagulację koloidów (przejście zolu w żel) mogą wywołać czynniki: dodatek elektrolitu, dodatek koloidu o znaku przeciwnym, ogrzewanie, desolvatacja (dehydratacja), odparowanie lub wymrożenie ośrodka dyspergującego. Koagulacja za pomocą elektrolitów występuje wskutek zmniejszenia się warstwy dyfuzyjnej cząstek fazy rozproszonej. Może wtedy nastąpić zetknięcie się i aglomeracja cząstek. Koloidy hydrofilowe spotykane w wodach naturalnych odgrywają rolę ochronną; dlatego koagulacja ich przebiega trudno i bardzo wolno. Cząstki humusanów są zaadsorbowane na cząstkach gliny lub ilu spełniając rolę ochronną, gdy na roztwór krzemianu sodowego o małym stężeniu działa się związkami kwaśnymi. Krzemionkę aktywowaną można otrzymać z rozpuszczalnej w wodzie odmiany krzemionki (tj. krzemianu sodowego, szkła wodnego) przez zobojętnienie jej do pH poniżej 10,9, przy użyciu kwasu H_2SO_4 , HCl , siarczanu glinowego itp. W kwaśnym środowisku tworzą się coraz większe cząsteczki, zachodzi kondensacja kwasu o – krzemowego z wydzielaniem wielokrzemowego polimeru o malejącej w miarę postępu kondensacji rozpuszczalności w wodzie, aż do przejścia roztworu w żel. Otrzymana krzemionka aktywowana jest typowym flokulantem nieorganicznym, przyspieszającym proces koagulacji, tworzenie się kłaczków i sedymentacji. Jako flokulanty stosowane są: skrobia, żelatyna i flokulanty syntetyczne, do których należą poliakrylan sodowy



znane pod nazwą np. Sedipur A, Krillin 6 oraz otrzymane na bazie poliakrylanu amidosodowego:



o nazwach handlowych np. Separan 2610, Aerofac 3010, PAM – 100 i produkty krajowe: Gigbar, Rokrysol WF – 1, Rokrysol WF – 2.

W procesie koagulacji stosuje się następujące urządzenia:

1. urządzenie do przygotowania roztworu koagulantów i ich dawkowania,
2. urządzenie do mieszania roztworu koagulantów z wodą uzdatnianą (mieszanie labiryntowe, mieszanie mechaniczne),
3. urządzenie do prowadzenia procesu flokulacji (komory flokulacji),
4. osadniki lub klarowniki,
5. filtry pośpieszne.

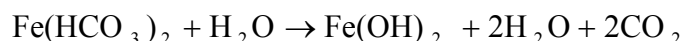
Te urządzenia służą do prowadzenia koagulacji klasycznej czyli objętościowej. Wymaga ona dużych nakładów na budowę urządzeń. Obecnie dąży się do wyeliminowania procesu osadzania i większe zainteresowanie wzbudza koagulacja powierzchniowa. W metodzie tej, obok cech wspólnych z koagulacją objętościową, istnieje istotna różnica. W tej metodzie kieruje się wodę oczyszczoną wraz z koagulantem bezpośrednio na filtry, które z uwagi na sposób działania zwane są filtrami kontaktowymi. Nadal są prowadzone badania procesu koagulacji na filtrach kontaktowych. Przypuszcza się, że podczas filtracji wody przez złoża zachodzą zjawiska: siły międzycząsteczkowe ciał stałych przewyższają analogiczne siły występujące między ciałami stałymi a wodą. W wyniku następuje przyczepianie się i zbijanie silnie zdyspergowanych cząstek stałych na powierzchni złoża filtrującego. Złoże filtracyjne i znaczna większość obecnych w wodzie zanieczyszczeń koloidalnych posiada potencjał ujemny. Siły odpychania elektrostatycznego są prawdopodobnie w dużym stopniu zmniejszane przez sorbowanie na powierzchni, zarówno złoża jak i cząstek koloidalnych, jonów o znakach przeciwnych, jak i cząstek o budowie dipolowej. Potencjał układu złoża cząstki koloidalne wynosi około 20 mV; aby mogło dojść do adsorpcji zanieczyszczeń koloidalnych na powierzchni złoża, powinien on zmaleć do wielkości 0 – 5 mV. Stwarza się warunki, aby siły odpychania elektrostatycznego substancji koloidalnych były mniejsze od sił przyciągania międzycząsteczkowego układu złoża-zanieczyszczenia stałe

Wadą koagulacji powierzchniowej, a właściwie filtrów kontaktowych, jest stosunkowo niska wydajność oraz bardzo ścisłe warunki prowadzenia procesu – gdyż woda niedostatecznie oczyszczona może dostać się do wody czystej. W metodzie elektrokoagulacji nie potrzeba odczynników. Metoda ta polega na bezpośrednim wprowadzaniu do oczyszczanej wody elektrod z glinu lub żelaza. Z elektrod pochodzą dodatnie jony Al^{+3} lub Fe^{+3} . Te jony powodują zmniejszenie ładunku elektrycznego koloidowych cząstek zanieczyszczeń wody i tym samym stwarzają warunki do ich koagulacji. Powstające w wyniku hydrolizy odpowiednie koloidalne, trudno rozpuszczalne w wodzie wodorotlenki, ładują się elektrycznie wskutek adsorpcji jonów zawartych w wodzie. Następnie koloidalne cząstki wodorotlenków i zanieczyszczeń ulegają skupieniu i wytrącają się z roztworu jako osad. Koagulacja znajduje zastosowanie do usuwania z wody koloidów powodujących barwę i mętność

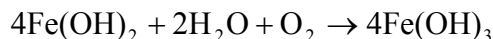
oraz niektórych pierwiastków szkodliwych dla zdrowia jak cynk, ołów i arsen. Przy optymalnych parametrach procesu koagulacji za pomocą $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ uzyskuje się redukcję Zn i Pb poniżej wartości dopuszczalnych w wodzie do picia. W procesie koagulacji zasadniczymi koagulantami i przy użyciu kationowego flokulanta usunięto z wody nawet wirusy. Ostatnio prowadzi się próby nad automatyzacją procesu koagulacji lub niektórych elementów tego procesu [15].

3.10.2.3. Odżelazianie wody.

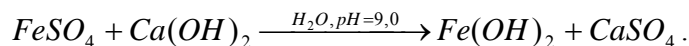
Związki Fe w wodzie mogą pochodzić z gruntu, ze ścieków, z korozji zbiorników i przewodów żelaznych. Wody rzeczne zawierają mniej żelaza niż wody podziemne (do 80 mg Fe/dm^3). Wody podziemne zawierające związki Fe po wydobyciu na powierzchnię są początkowo przezroczyste, później po pewnym czasie pod wpływem tlenu powietrza, mętnieją i wytwarza się kłaczkowaty, brunatny osad $(\text{Fe}(\text{OH})_3)$. Żelazo w wodzie występuje w formie rozpuszczalnego $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ lub FeSO_4 i humusanów żelazawych. Wody żelaziste mają ujemne właściwości jak: nieprzyjemny smak i zapach, wytwarzają szlam w rurociągach i osad w grzejnikach, pozostawiają plamy na pranych tkaninach, wpływają ujemnie na produkty żywnościowe i wyroby przemysłowe wytwarzane przy udziale wód. W wodach żelazistych zbiorników wodnych i przewodach rozwijają się bakterie żelaziste, tworząc gąbczastą masę, zatykającą światło przewodów. Zawartość żelaza w wodzie sprzyja rozwojowi glonów (alg), a te stanowią przeszkodę w eksploatacji urządzeń wodnych. Zasada odżelaziania wody polega na utlenianiu Fe^{+2} do Fe^{+3} i powstaniu $\text{Fe}(\text{OH})_3$, który wytrąca się w postaci osadu. Utlenianie Fe^{+2} zależy od stosunku CO_2 do O_2 w wodzie, od wartości pH, czasu reakcji i stężenia Fe^{+2} w wodzie. Najważniejszymi metodami odżelaziania są: napowietrzanie (aeracja) i filtrowanie, napowietrzanie, nawapnianie i filtracja, koagulacja, przepuszczanie wody przez kationity. Napowietrzanie i filtrowanie stosujemy do wód pozbawionych tlenu (podziemnych), w których występuje Fe w postaci $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Jest on nietrwały i przy napowietrzaniu ulega przy odpowiedniej wartości pH, hydrolizie i utlenianiu:



Wskutek wydzielania się CO_2 równowaga reakcji przesuwana się na prawo i można prawie całkowicie rozłożyć $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Powstający $\text{Fe}(\text{OH})_2$ łatwo utlenia się (przy odpowiedniej wartości pH) do nierozpuszczalnego $\text{Fe}(\text{OH})_3$, który w formie osadu można usunąć z wody.



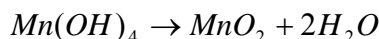
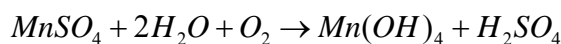
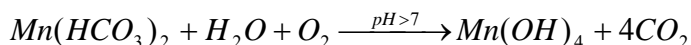
Napowietrzanie wody można prowadzić przez rozdeszczowanie, rozpylanie i włączanie powietrza pod ciśnieniem do wody ewentualnie w tzw. ociekaczach. W niektórych wodach naturalnych żelazo występuje w postaci związków trudno ulegających wytrącaniu jak $FeSO_4$, $FeCl_2$ lub połączeniach żelazoorganicznych. Wtedy do napowietrzania dodaje się wapno, które zobojętnia wydzielające się kwasy na skutek hydrolizy soli Fe^{2+} i zabezpiecza wartość pH konieczną do wytrącania się $Fe(OH)_2$. Dodatek krzemionki do wody wpływa korzystnie na oksydację, ułatwia sedymentację i filtrację



W wodach podziemnych występują często związki organiczne, a wśród nich kwasy humusowe o dużej aktywności chemicznej dzięki obecności w ich cząsteczce grup reaktywnych – COOH i grup – OH. Grupy te umożliwiają tworzenie związków kompleksowych z jonami metali, zwłaszcza z jonami Fe^{2+} . Kompleksy te zwiększają intensywność zabarwień wody. Odżelazianie wody zawierającej te kompleksy nie daje dobrych wyników, gdyż utlenienie Fe^{2+} do Fe^{3+} w kompleksach zachodzi trudno. Wtedy odżelazianie wody prowadzi się przez koagulację solami Al^{3+} lub usunięcie związków humusowych przy użyciu węgla aktywnych. Usuwanie Fe^{2+} za pomocą koagulacji prowadzi się dla wód powierzchniowych łącznie przy usuwaniu mętności i barwy stosując do koagulacji wody $Al_2(SO_4)_3$. Związki Fe występujące w wodzie w postaci jonowej można usunąć przepuszczając wodę zakwaszoną przez kationity. Tym sposobem można obniżyć stężenie Fe do wartości 0,01 mg Fe/dm³.

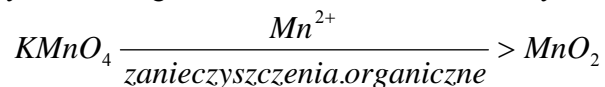
3.10.2.4. Usuwanie manganu (odmanganianie).

W wodach naturalnych mangan występuje jako $Mn(HCO_3)_2$, rzadziej jako $MnSO_4$ i w postaci związków organicznych. Mangan psuje smak wody, a jego większe ilości w wodzie są szkodliwe dla zdrowia. Usuwanie manganu z wody polega na hydrolizie i utlenieniu zawartego w wodzie Mn^{2+} do nierozpuszczalnego związku manganu Mn^{4+}



Szybkość utleniania Mn^{2+} zależy od wartości pH wody i wymaga środowiska bardziej alkalicznego niż utlenienie Fe^{2+} . Prócz pH = 8,5 należy używać silnych środków utleniających lub stosować katalizatory. Katalizatorem jest MnO_2 osadzony na złożu filtracyjnym w postaci błonki na piasku kwarcowym.

Aktywną warstwę MnO_2 uzyskuje się z $KMnO_4$, który jest redukowany przez Mn^{2+} i zanieczyszczenia organiczne w środowisku alkalicznym.



Wytrącony aktywny MnO_2 katalizuje proces utlenienia $Mn(OH)_2$ powstałego z hydrolizy. Mangan usuwa się z wody przez napowietrzanie i filtrację. Ponieważ Mn towarzyszy związkom Fe w wodzie dlatego można go usunąć równocześnie z procesem odżelaziania i na tych samych urządzeniach. Najczęściej wykonuje się dodatkowy zabieg przepuszczania wody przez złożo uaktywnione MnO_2 . Utlenienie Mn^{2+} do Mn^{4+} można przeprowadzić przy użyciu ozonu, który utlenia Fe i Mn do związków nierozpuszczalnych. Mn jest trudniej utlenić niż Fe. Również chlor może być użyty do utlenienia i usuwania Fe i Mn z wody, przy wartości pH = 7,1 do 7,4.

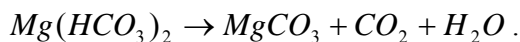
Także metodą biologiczną można usunąć mangan z wody, używając mikroorganizmów wyhodowanych na złożu filtracyjnym i zdolnych do wiązania Mn.

3.10.2.5. Zmiękczenie wody.

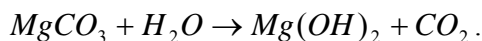
Proces ten polega na całkowitym lub częściowym usunięciu z wody jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} , przez zamianę ich rozpuszczalnych soli na związki trudno rozpuszczalne i wytrącenie ich w postaci osadu lub przez wymianę jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} na kationy nie powodujące twardości wody. Do zmiękczenia wody stosowane są metody:

- termiczna polegająca na podgrzaniu wody do $100^\circ C$ i usunięciu twardości węglanowej i częściowo niewęglanowej,
- strąceniowe przez dodatek do wody $Ca(OH)_2$, który usuwa twardość węglanową oraz przez wprowadzenie Na_2CO_3 usuwającego twardość niewęglanową,
- jonitowa (kationitowa), w której wodę bez zawiesin przepuszcza się przez filtr wypełniony kationitem, który wymienia zawarte w wodzie jony Ca^{+2} , Mg^{+2} i inne na jony Na^+ lub H^+ .

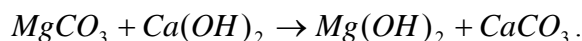
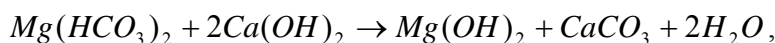
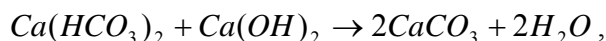
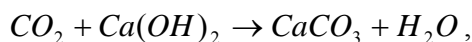
W metodzie termicznej po ogrzaniu wody do temperatury powyżej $70^\circ C$ zachodzi rozkład kwaśnych węglanów zawartych w wodzie:



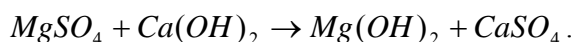
$MgCO_3$ jest dość dobrze rozpuszczalny w wodzie i dopiero po dłuższym czasie zachodzi hydroliza wg schematu:



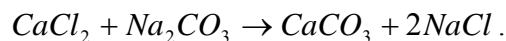
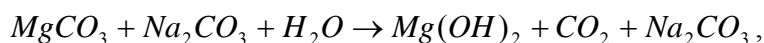
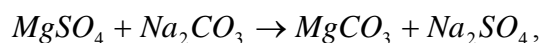
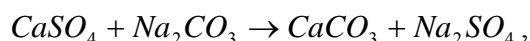
Metody strąceniowe (chemiczne) polegają na dodaniu reagentów do wody, które przeprowadzają rozpuszczalne sole Ca i Mg w związki trudno rozpuszczalne. Metoda zmiękczenia wody przy użyciu wodorotlenku wapniowego (dekarbonizacja) usuwa z niej twardość węglanową:



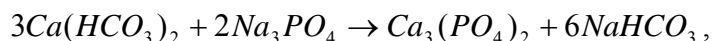
W procesie dekarbonizacji następuje zamiana twardości węglanowej, magnezowej na twardość niewęglanową wapniową, ale twardość niewęglanowa nie ulega zmniejszeniu:

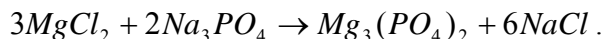
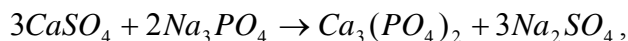
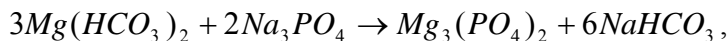


Szybkość procesu dekarbonizacji zależy od temperatury, twardości wody zmiękczonej, zawartości substancji organicznych, sposobu mieszania wody z $Ca(OH)_2$. Najczęściej i powszechnie stosowana jest metoda wapienno sodowa (używając reagentów $Ca(OH)_2$ i Na_2CO_3). Węglan sodowy reaguje ze związkami Ca i Mg wywołującymi twardość niewęglanową:

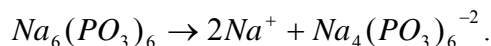


Ponieważ związki $CaCO_3$ i $Mg(OH)_2$ są trochę rozpuszczalne w wodzie metodą tą zmiękcza się wodę do 1,4 – 1,8 mval/dm³. Rozpuszczalność w 20°C wynosi: $CaCO_3$ – 31 mg/dm³, $Mg(OH)_2$ - 9 mg/dm³. Zmiękczenie fosforanami polega na wytrąceniu praktycznie nierozpuszczalnych fosforanów wapnia i magnezu, które mają niskie iloczyny rozpuszczalności. Jako reagenta używamy ortofosforanu sodowego $Na_3PO_4 \cdot 10H_2O$:

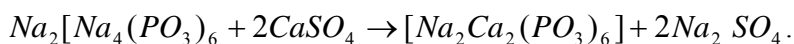
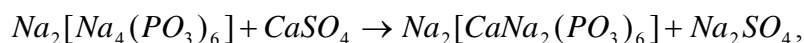




Metodą fosforanową usuwa się twardość węglanową i niewęglanową. Wykazuje ona szereg zalet, nie wymaga dokładnego dawkowania fosforanu, fosforany w wodzie zapobiegają tworzeniu się w wodzie kamienia kotłowego, a nawet powodują jego rozpuszczanie. Z uwagi na koszty, nie stosujemy tej metody do zmiękczenia wody surowej, ale jedynie do usuwania twardości resztkowej pozostałej po wstępnym zmiękczeniu innymi metodami. Zmiękczenie polifosforanami. Polifosforany należą do związków kompleksotwórczych, i z Mg, i Ca tworzą kompleksy rozpuszczalne w wodzie. Jony Ca^{+2} i Mg^{+2} wchodzą do kompleksowego anionu, przestają tworzyć kamień kotłowy i tracą zdolność do reagowania z anionami kwasów tłuszczowych. Należy do nich sześciometafosforan sodowy, o handlowej nazwie Kalgon (Calgon). Zawiera on 65 – 67 % P_2O_5 . Dysocjuje następująco:



W kompleksowym anionie atomy sodu są wymienione na Ca^{2+} lub Mg^{2+} :



Zastosowanie znajdują też inne polifosforany jak trójfosforan sodowy $Na_5P_2O_{10}$ i czteropolifosforan sodowy $Na_6P_4O_{13}$.

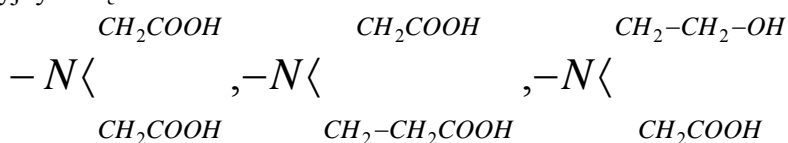
Zmiękczenie wody za pomocą jonitów będzie omówione w procesie demineralizacji wody, gdyż w niej możemy całkowicie usunąć z wody wszystkie jony.

3.10.2.6. Demineralizacja wody.

Demineralizacja wody polega na usunięciu z niej wszystkich jonów. Woda całkowicie zdeminielizowana nie nadaje się do bezpośredniego spożycia, natomiast znajduje zastosowanie do specjalnych celów. Przy destylacji wody w laboratorium otrzymujemy wodę częściowo odmineralizowaną, gdyż z parą wodną przechodzi CO_2 , NH_3 i rozpuszczony Cl_2 . Wodę praktycznie odmineralizowaną możemy uzyskać przy pomocy jonitów. Jonity są to substancje organiczne lub nieorganiczne, nierozpuszczalne w wodzie, mające zdolność do wymiany jonów wchodzących w ich skład na

jony znajdujące się w wodzie. Proces ten polega na reakcji chemicznej między grupami charakterystycznymi jonitów a jonami znajdującymi się w wodzie. Przejście jonów z roztworu do jonitu i z jonitu do roztworu zależy od: rodzaju grup funkcyjnych jonitu i postaci w jakiej one znajdują się, wielkości ładunku elektrycznego jonów reagujących, stężenia elektrolitu, wartości pH wody. Jony o dużym ładunku są silnie przyciągane przez przeciwnie naładowane grupy funkcyjne jonitu i tym trudniej są usuwane w procesie regeneracji jonitu. Jonity wymieniające kationy zwane są kationitami, z wymieniające aniony – anionitami. Kationity (kateksy) dzielimy na kationity silnie kwasowe, mające zwykle grupę sulfonową i kationity słabo kwasowe, posiadające grupę karboksylową (-COOH). Kationity mogą być stosowane w postaci wodorowej i sodowej np. Kationit słabo kwasowy w postaci $K - SO_3^- H^+$ i $K - SO_3^- Na^+$, a kationit słabo kwasowy w postaci:

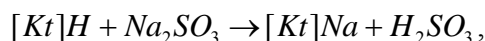
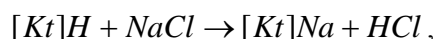
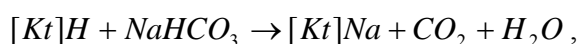
$K - COO^- H^+$ i $K - COO^- Na^+$. K oznacza łańcuch uzyskany przez polimeryzację związków zawierających np. sulfonowany styren lub kopolimer kwasu akrylowego i styrenu. W handlu występują kationity silnie kwasowe pod nazwami: Kationit SD, Wofatit KPS, Permutit RS, Amberlit JR – 120, 122, Dowex 50,50W. Kationity słabo kwasowe mają nazwy: KB-1, Wofatit C, CN, CP, Permutit C, Amberlit JRC-50. Anionity czyli aneksy dzielimy na anionity silnie zasadowe, których grupy charakterystyczne mają czwartorzędowy azot i anionity słabo zasadowe z grupami aryloaminowymi. Anionit silnie zasadowy ma postać wodorotlenkową $An - N^+R_3OH^-$, lub postać chlorkową $An - N^+R_3Cl^-$, anionity słabo zasadowe są w postaci wodorotlenkowej $An - NR_2H^+OH^-$, lub w postaci chlorkowej $An - NR_2H^+Cl^-$. Anionity silnie zasadowe mają nazwy handlowe: Aw – 15, Wofatit SBW, Amberlit IRA – 400, 410, 411, Dowex – 2, Permutit ES, Anionit ES. Anionity słabo zasadowe znane są jako: AN – 1, AN – 2, Wofatit M, Permutit E, Amberlit JR – 45, Dowex 3. Podział jonitów na 4 podstawowe grupy: kationity silnie i słabo kwasowe, anionity silnie i słabo zasadowe jest najważniejszym podziałem wymienniczy jonowych. Każda z tych grup ma inne właściwości i inne zastosowanie. Obok jonitów monofunkcyjnych z jednym rodzajem grup funkcyjnych występują też jonity wielofunkcyjne np. kationity z grupami sulfonowymi i karboksylowymi oraz anionity z grupami amonowymi i aminowymi. Występują też kationity chelatujące posiadające grupy funkcyjne, które tworzą zawiązki chelatowe z metalami. Grupami funkcyjnymi są:



W handlu kationity chelatujące występują pod nazwami: Wofatit C, Lewatit TP – 207, Zeolit.

Jonity znajdują szerokie zastosowanie w analizie chemicznej, technice i technologii uzdatniania wody.

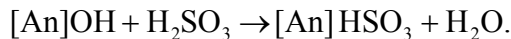
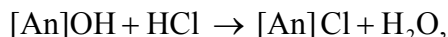
Do demineralizacji wody tj. do usuwania wszystkich kationów używa się kationitów kwasowych w postaci wodorowej, a do usuwania anionów – anionowych silnie zasadowych. Ilość jonów jaką może związać jednostka masy jonitu jest uwarunkowana ilością grup jonogennych w jonicie. Ilość grup zdolnych do wymiany jonowej przypadająca na jednostkę masy lub objętości jonitu nazywamy zdolnością wymienną całkowitą. Praktycznie zdolność wymienna jonitów wyraża się w gramorównoważnikach jonów, jaka jest wymieniana przez 1m³ jonitu w stanie napęczniałym. Demineralizacja wody na jonitach polega na kolejnym przepuszczeniu wody, uprzednio zmiękczonej metodami chemicznymi, najpierw przez silnie kwasowy kationit wodorowy, a następnie przez anionit wodorotlenowy. Na kationicie następuje absorpcja z wody wszystkich kationów:



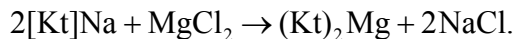
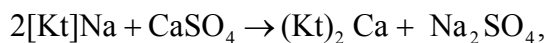
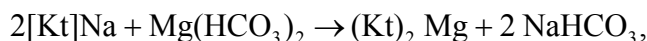
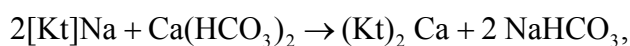
a na anionicie – wszystkich anionów.

Anionity o charakterze słabo zasadowym absorbują tylko aniony silnych kwasów: SO⁻²₄, Cl⁻, NO⁻₃, natomiast anionity o charakterze silnie zasadowym mogą wiązać też aniony słabych kwasów jak: CO⁻²₃, SO⁻²₃.

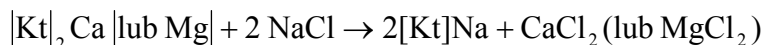
Demineralizacja na anionicie przebiega wg schematu:



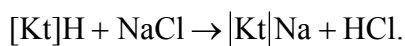
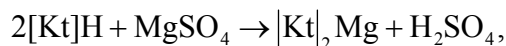
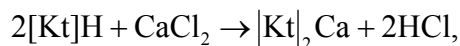
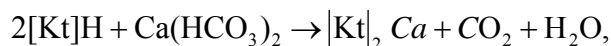
Regenerację kationitu przeprowadza się za pomocą roztworu HCl, a anionitu za pomocą roztworów NaOH lub Na₂CO₃. Zmiękczenie wody (usuwanie jonów Ca⁺² i Mg⁺²), przy pomocy jonitu polega na filtrowaniu przez warstwę kationitu uprzednio oczyszczonej metodami mechanicznymi, zmiękczonej i odżelazionej wody. W przypadku kationitu w postaci sodowej zachodzą reakcje następujące:



Regenerację kationitu przeprowadza się po wyczerpaniu się jego zdolności wymiennej. Przepuszczamy wtedy roztwór soli kuchennej NaCl.



Roztwór płuczący zawierający CaCl_2 i MgCl_2 odprowadza się do ścieków. Tak samo można zmiękczyć wodę za pomocą kationitu w postaci wodorowej. Następuje wtedy obniżenie wartości pH wody wskutek powstania kwasów w filtracji [26]:



Wodę zmiękczoną w wymiennikach odgazowuje się w celu usunięcia CO_2 powstałego przy wymianie z $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

3.10.2.7. Odsalanie wody.

Odsalanie jest to uzyskiwanie wody słodkiej z wody morskiej lub innych wód zasolonych. Szczególnie górnictwo i niektóre gałęzie przemysłu chemicznego powodują zasolenie wód powierzchniowych, odprowadzając do nich ścieki zasolone. Za wodę słodką uważamy wodę o zasoleniu do $0,5\text{g soli/dm}^3$. Wody takie stanowią $0,04\%$ ogólnej ilości wód w stanie ciekłym występujących w przyrodzie. Wody zawierające więcej soli nazywane są słonawymi i wodami słonymi. Należą do nich wody mórz i oceanów. Wody o wysokiej koncentracji soli nazywamy solankami. Odsalanie wody można przeprowadzić kilkoma metodami, jak:

- metodą wielostopniowej destylacji próżniowej,
- metodą elektrodializy,
- metodą odwróconej osmozy (hiperfiltracji),
- metodą wymrażania.

Metoda destylacji była zastosowana najpierw na okrętach parowych. Wykorzystując doświadczenia z eksploatacji wyparek okrętowych zastosowano bardziej wydajną metodę próżniowej destylacji wielostopniowej. Wykorzystuje się wyparki długorururowe i ich modyfikację – wyparki ekspansyjne, oszczędne energetycznie. W metodzie destylacyjnej zapobiega się osadzaniu kamienia kotłowego i należy dobrać odpowiednie materiały konstrukcyjne. Tą metodą pracuje obecnie 90% wszystkich instalacji odsalających różnych typów. Urządzenie odsalające wodę morską znajduje się nad Morzem Kaspijskim, w Hong – Kongu, Kuwejcie, Zatoce Perskiej i na Bliskim Wschodzie. W Polsce w jednej z kopalń węgla kamiennego odsala się wody dołowe, o zawartości ponad 70 g soli/dm^3 . Elektrodializa polega na usuwaniu jonów soli z wody przy

użyciu prądu elektrycznego. Zużycie prądu jest wprost proporcjonalne do zasolenia wody i wynosi około 1 kWh na 1g soli/m³. Najważniejszym elementem elektroanalizatorów są membrany jonowo – wymienne, które są wytwarzane tylko przez niektóre firmy. Tą metodą uzyskuje się 5 % wód pochodzących z odsalania wody i oczyszczania ścieków. Siłą napędową procesu osmozy jest różnica potencjałów chemicznych cząsteczek w roztworach o różnych stężeniach oddzielonych błoną półprzepuszczalną. Potencjał ten jest większy w roztworze o niższym stopniu, wobec czego cząsteczki wody dyfundują w kierunku bardziej stężonego roztworu powodując zjawisko wzrostu ciśnienia osmotycznego. Proces osmozy ustaje z chwilą ustalenia się charakterystycznego ciśnienia osmotycznego, w tym stanie energia potencjalna cząsteczek wody po obu stronach błony jest jednakowa. Jeśli zwiększymy ciśnienie po stronie bardziej stężonego roztworu, to następuje przepływ cząsteczek wody w kierunku przeciwnym tj. od roztworu bardziej stężonego do roztworu słabiej stężonego i zachodzi proces odwróconej osmozy. Hiperfiltrację można określić jako ciśnieniowy proces oddzielenia wody od roztworu przy użyciu błon półprzepuszczalnych. Najczęściej stosowanymi materiałami do wykonywania membran półprzepuszczalnych są acetyloceluloza i poliamidy.

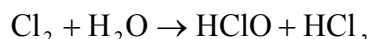
3.10.2.8. Polepszanie właściwości fizycznych wody.

Po koagulacji wody przeznaczonej do picia trzeba często ją odbarwić i usunąć smak i zapach. Do odbarwienia stosuje się przeważnie węgiel aktywny, który dodaje się w postaci proszku do wody jako zawiesinę, bądź stosuje się filtry z węglem aktywnym. Z powodu kosztów węgla aktywnego należy go potem zregenerować. Stosuje się termiczną metodę regeneracji węgla w temperaturze 500 – 800 °C. Stosowanie węgla aktywnego umożliwia usunięcie z wody pestycydów, metylowych związków rtęci, fenoli, detergentów i innych szkodliwych związków. Nieprzyjemne zapachy z wody można usunąć za pomocą ozonu, chloru i jego związków. Ozon dzięki własnościom utleniającym usuwa substancje organiczne oraz toksyczne np. cyjanki. Chlor i dwutlenek chloru działają utleniająco na substancje organiczne, powodujące zapachy: dwutlenek chloru usuwa wszelkie zapachy niezależnie od ich pochodzenia i nie wytwarza chlorofenolu. Metodą napowietrzania wody można usunąć też z niej zapachy, eliminując dodatkowo amoniak. Napowietrzanie stosowane jest jako proces wstępny lub uzupełniający inne procesy.

3.10.2.9. Dezynfekcja wody.

W procesach uzdatniania usuwa się z wody zawiesiny, związki koloidowe i obniża ilość bakterii. Całkowite usunięcie z wody bakterii wymaga dezynfekcji, którą można przeprowadzić metodami fizycznymi i chemicznymi. Jako metody fizyczne stosowane są: podwyższona temperatura, działanie

promieniami ultrafioletowymi i ultradźwiękami. Ogrzewanie wody do temperatury wrzenia i gotowanie w ciągu kilku minut zabija zawarte w niej organizmy żywe. Ze względu na koszty jest ono stosowane w laboratorium, a w technice nie jest stosowane. Promienie ultrafioletowe o długości fal 2000 – 2950 Å, z maksimum skuteczności 2650 Å działają bakteriobójczo na bakterie i wirusy powodując zmiany w komórkach. Do naświetlania stosuje się lampy rtęciowe zanurzone w wodzie lub zawieszane ponad wodą. Fale ultradźwiękowe wytwarzane przez płytki kryształu kwarcu, wykazują zdolność zabijania bakterii. Falom tym przypisuje się działanie wyłącznie mechaniczne i zmianę niektórych właściwości wody. Redukcję ilości bakterii, szczególnie *Bacterium coli*, można uzyskać za pomocą promieniowania laserowego. Metody fizyczne dezynfekcji wody nie zmieniają jej składu fizykochemicznego i właściwości organoleptycznych. Ich zasadniczą wadą jest możliwość wtórnego zakażenia wody, a promienie ultrafioletowe wnikają w głąb wody na niewielką odległość. Do najczęściej stosowanych metod chemicznych zalicza się dezynfekcję za pomocą chloru lub jego związków, za pomocą ozonu lub stosując chlorowanie kombinowane, jak np. chlorowanie z nadmanganianem potasowym. Chlorowanie stanowi najprostszą i najtańszą metodę uzdatniania i dezynfekcji wody. Chlor i jego związki działają silnie utleniająco i bakteriobójczo. Proces chlorowania przeprowadzamy przez bezpośrednie dodanie gazowego chloru do wody. Chlor reaguje w wodzie i otrzymujemy:

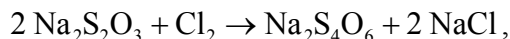


wytworzony kwas podchlorawy ulega dysocjacji

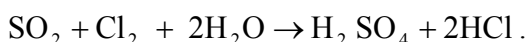
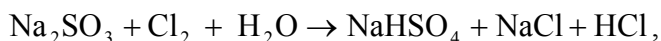


Czynnikami działającymi bakteriobójczo są: wolny chlor, kwas podchlorawy, jego jon ClO^- oraz aktywny tlen, wydzielający się z rozpadu kwasu podchlorowego: $\text{HClO} \rightarrow \text{HCl} + \text{O}$. Obecnie uważamy, że większe działanie bakterio – i wirusobójcze ma HClO niż jon ClO^- . Zamieranie mikrobów w czasie chlorowania zachodzi na skutek dyfuzji podchlorynów do organizmu powodując reakcje chemiczne w procesach metabolicznych (enzymatycznych) albo przez rozpuszczanie ścianek komórek mikroorganizmów lub wskutek obydwu tych działań. Ilość dodawanego chloru do dezynfekcji wody ustala się przez oznaczenie, “zapotrzebowania chloru” tj. najmniejszej ilości wolnego chloru ($\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$), która dodana do litra wody w temperaturze 20°C, po 30 minutach kontaktu chloru z wodą daje zawartość 0,1 $\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$ jako, “pozostałego chloru”. Zapotrzebowanie ustala się w laboratorium i jego wielkość zależy od pochodzenia i czystości wody. Często dajemy dawki większe niż to wynika z obliczeń. Jest to tzw. przechlorowanie wody, które ma na celu poprawienie właściwości organoleptycznych wody. Mały nadmiar chloru można usunąć przez napowietrzanie wody, większe ilości przez

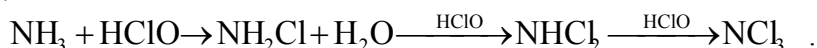
chemiczne wiązanie chloru za pomocą tiosiarczanu sodowego, siarczyny sodowego, SO_2 , węgla aktywnego:



czterotioanian sodowy



Przy chlorowaniu wody, chlor reaguje z NH_3 zawartym w wodzie tworząc monochloroaminę, a w miarę wzrostu stężenia chloru tworzy się trójklorek azotu:



Związki te nadają nieprzyjemny smak wodzie. Podobnie chlor reaguje z fenolami tworząc chlorofenole, nadające wodzie specyficzny smak. Do dezynfekcji wody przeznaczonej do picia stosuje się też (oprócz gazowego chloru): dwutlenek chloru – ClO_2 , podchloryn sodowy $\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, podchloryn wapniowy – $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ oraz związki organiczne zawierające chlor jak: chloroamina T:



Ozonowanie wody. Ozon możemy stosować w procesie uzdatniania i dezynfekcji wody. Przy uzdatnianiu powoduje on destrukcję detergentów, rozkład związków aromatycznych, usuwanie fenoli i produktów jego utleniania jak glikosolu, kwasu szczawiowego, utlenia cyjanki i powoduje rozpad pestycydów. Przy dezynfekcji wody ozonem można liczyć na całkowitą dezynfekcję wirusów m.in. Heine Medina i całkowite zniszczenie bakterii. Ozonowanie wypiera chlorowanie wody jako metoda dezynfekcji. Ozon jest wytwarzany w ozonatorach przez przepuszczanie strumienia powietrza pomiędzy dwoma elektrodami o napięciu 10 000 – 20 000V. W jego wyniku następuje rozszczepienie cząstki tlenu i pod wpływem cichych wyładowań zachodzi kondensacja tlenu atomowego do ozonu. Wytworzony ozon miesza się z wodą w specjalnych kolumnach. Z porównania skuteczności fizycznych i chemicznych metod dezynfekcji wody (metoda termiczna, naświetlanie promieniami UV, promieniami γ i X oraz stosowanie chloru, fluoru, ozonu, jodu, podchlorynów, KMnO_4 i ozonu) wynika, że najbardziej efektywnie działają 2 metody: chlorowanie i ozonowanie. Ekonomicznie najbardziej korzystna jest metoda ozonowania. Do kombinowanych metod dezynfekcji

wody można zaliczyć odkażanie za pomocą ultradźwięków i ozonu. Fale dźwiękowe o częstotliwości 20 kHz wzmagają proces ozonowania wody przez dezynfekcję mikroorganizmów, a jednocześnie wspomagają utlenianie ozonem związków organicznych. Ultradźwięki rozkładają ozon i zwiększają aktywność swobodnych rodników oraz zwiększają przenoszenie międzyfazowego ozonu, przez co jest on lepiej wykorzystany. Woda powierzchniowa pobrana do uzdatniania wymaga po uzdatnieniu jeszcze dezynfekcji przed wprowadzeniem jej do sieci wodociągów, gdyż w procesach uzdatniania wody ilość bakterii zmniejsza się nieznacznie [26].

Wody podziemne są natomiast pozbawione na ogół mikroorganizmów. Jednak w wodach sieci wodociągowej miast korzystających z ujęć wglębnych stwierdzono obecność organizmów żywych i martwych. Wśród organizmów znaleziono 46 gatunki, które dominują wśród organizmów żyjących w rzekach, jeziorach i stawach. W wodzie wodociągowej licznie występowały okrzemki, wrotki, zielenice, sinice i inne.

Martwe organizmy tych gatunków mogły przeniknąć z wód powierzchniowych do wód wglębnych; najmniejszą ilość znaleziono w wodzie wodociągowej ze studni wglębnej, w pobliżu której nie przepływa rzeka. Najmniejsze ilości organizmów w wodzie wodociągowej znaleziono w miastach pozbawionych rzek jak np. Siedlce (2 gatunki), Radom (3 gatunki), a najwięcej w miastach leżących w sąsiedztwie rzek – Skierniewice (14 gatunków), Ostrołęka (16 gatunków). Oprócz organizmów martwych znaleziono też w wodzie organizmy żywe, co świadczy o możliwości ich życia i rozmnażania się w wodzie wodociągowej, dlatego wody ujmowane ze studni wglębnych, oprócz odżelaziania i odmanganiania powinny być też dezynfekowane [26].

3.10.2.10. Zabezpieczenie odpowiedniej ilości fluorków w wodzie.

Wody do picia oprócz Ca, Mg, Fe, Co, B, Si i innych biogennych składników winny zawierać jeszcze J i F. Na zdrowie człowieka wywiera ujemny wpływ brak J i F. Dotąd nie ustalono jak należy je dostarczać do organizmów: czy bezpośrednio, czy też rozpuszczone w wodzie. Źródłem F w wodzie są minerały jak: fluoryt, apatyt, kriolit. Zawartość F w wodzie wynosi 0,05-0,25 mg F/dm³. Zmiany stężenia F w wodzie mogą być wywołane przez przemysł, zwłaszcza huty aluminium, gdzie Al₂O₃ rozpuszcza się w stopionym kriolicie Na₃AlF₆. Związki F wydzielają się do powietrza, po czym zanieczyszczają glebę, wodę i może nastąpić przedawkowanie. Zmniejszenie F w wodzie można osiągnąć przez traktowanie jej Al₂(SO₄)₃, z którym jon F⁻ tworzy trudno rozpuszczalny AlF₃. Odfluorować wodę można przy użyciu soli Mg⁺² i fosforanów. Fluor jest jednym z najważniejszych mikroelementów w metabolizmie. Odgrywa rolę w kształtowaniu się prawidłowego uzębienia. Jego niedobór w wodzie do picia powoduje chorobę zębów. Optymalne stężenie fluoru w wodzie wynosi 0,8 – 1,2 mg F/dm³. Niedobór i nadmiar F są szkodliwe

dla organizmu ludzkiego. W płynach ludzkich występują zróżnicowane ilości F. Fluor jest uważany za truciznę enzymatyczną, a jego kumulacja w ustroju może się ujawnić po kilku latach. Nadmiar fluoru opóźnia proces krzepnięcia krwi, hamuje czynności wielu enzymów komórkowych, wywołuje zaburzenie w przemianie Ca i Mg, powoduje wzrost urodzeń dzieci dotkniętych mongolizmem. Wieloletnie używanie wody do picia o zawyżonej ilości fluoru powoduje tworzenie się plamistego szkliwa zębów. Z badań nad profilaktyką próchnicy zębów uważa się za nieszkodliwą ilość $1,5 \text{ mg F/dm}^3$, i do tego poziomu zaleca się fluorować wodę do picia. W technice do wody wodociągowej dodaje się nasycony roztwór fluorokrzemianu sodowego Na_2SiF_6 , lub czysty kwas fluorokrzemianowy [26].

Resort Zdrowia i Opieki Społecznej zalecił dodawanie związków fluoru do wody we wszystkich wodociągach komunalnych, w których występuje zawartość F niższa od $0,5 \text{ mg F/dm}^3$.

Jon F jest trucizną, a raczej trującym środkiem leczniczym dlatego fluorowanie należy prowadzić tak, aby otrzymać stężenie fluoru w wodzie do picia w wysokości $0,6 - 0,8 \text{ mg F/dm}^3$.

3.10.3. Procesy biologiczne.

Przechodząca przez filtry powolne woda, obok zjawisk fizycznych, fizyko – chemicznych ulega też procesom biologicznym. Na powierzchni złoża filtru wytwarza się tzw. błona biologiczna złożona z makro i mikroorganizmów (bakterii, pierwotniaków, glonów). W błonie biologicznej zachodzą procesy biochemiczne utleniania, mineralizacji substancji organicznej zawartej w wodzie. Węglowodany ulegają utlenieniu do CO_2 i H_2O , w wyniku rozwoju mikroorganizmów, a substancje białkowe rozkładowi do CO_2 , H_2O , NH_3 , azotynów i azotanów. Dzięki procesom biochemicznym zachodzącym na filtrze powolnym polepszają się wskaźniki fizyko – chemiczne i bakteriologiczne wody [26].

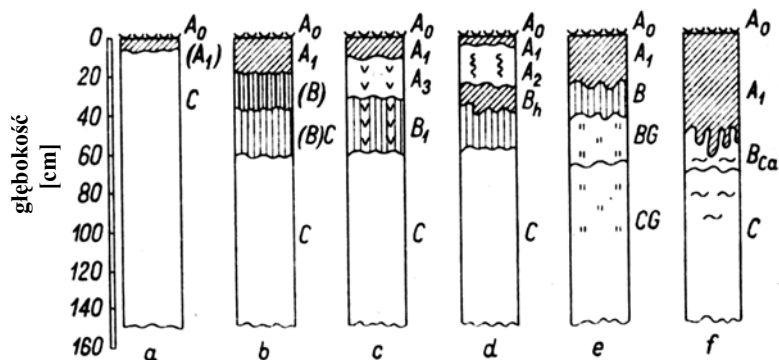
4.0. Gleba.

Jest to integralny składnik ekosystemów lądowych i niektórych płytkowodnych, utworzony z powierzchniowych warstw litosfery specyficznym przekształconych, (i nadal przekształcanych) pod wpływem roślinności i pozostałych czynników glebotwórczych, jest to trójfazowy produkt wzajemnego oddziaływania lito-, hydro-, atmo- i biosfery (materiał mineralny oraz żywa i martwa materia organiczna, ponadto roztwory glebowe i powietrze glebowe), który charakteryzuje się specyficznymi funkcjami, budową, organizacją i dynamiką wewnętrzną; do najważniejszych funkcji gleby należy jej uczestnictwo w produkcji i rozkładzie biomasy, akumulacji próchnicy, przepływie energii przez ekosystemy, magazynowaniu i obiegu pierwiastków biogenicznych oraz wody, a także uczestnictwo w procesach samoregulujących, zapewniających ekosystemom mniejszą lub większą odporność na działanie czynników destrukcyjnych; gleba jest środowiskiem życia dla podziemnych organów roślin oraz dla różnorodnej mikroflory i fauny, którym stwarza określone warunki odżywcze, wodne, tlenowe, termiczne itd. o swoistej dynamice dobowej, sezonowej, rocznej i wieloletniej [6,45]. W procesie rozwoju gleby tworzy się tzw. profil glebowy zróżnicowany na określone poziomy genetyczne, których rodzaj, morfologia, właściwości i wzajemny układ są odbiciem minionych i współczesnych wpływów zmiennego w czasie i przestrzeni środowiska geograficznego (glebotwórczego) i należą do kryteriów rozpoznawczych, wykorzystywanych w systematyce (typologii) gleb. Ze względu na zespół swych fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości duża część pokrywy glebowej Ziemi jest wykorzystywana jako podłoże do produkcji roślin uprawnych będąc warsztatem pracy rolnika [6]. Gleba jest utworem dynamicznym, w którym zachodzą ciągle przemiany związków nieorganicznych w organiczne oraz odwrotnie. Gleba, obok wody i powietrza, stanowi podstawowy składnik środowiska naturalnego człowieka i jest jednym z podstawowych elementów życia na Ziemi. Gleba stanowi zasadnicze źródło zasilania wód opadowych w niezbędne dla życia roślin i zwierząt oraz człowieka, związki mineralne (makro – mikroelementy) i spełnia jednocześnie ważne funkcje sanitarne, dzięki żyjącym w niej drobnoustrojom. Pewne właściwości gleby umożliwiają zatrzymywanie związków chemicznych, które poprzez rośliny mogą wywierać wpływ na warunki zdrowotne zwierząt i ludzi. Obok korzystnych dla zdrowia makro i mikroelementów, gleba sorbuje też toksyczne związki, powstałe głównie w wyniku działalności człowieka. Są nimi m.in. nadmierna ilość metali ciężkich, środków ochrony roślin, które następnie przedostają się do środków spożywczych i mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia. W

glebie przebiegają wszystkie cykle krążenia pierwiastków i związków; może ona przez wiele lat przechowywać trucizny i włączyć je później w odpowiednie ogniwa obiegu kołowego. Z tego względu poznanie cech gleby jest uzasadnione [22,26].

4.1. Geneza gleby.

Pierwszym procesem do wytworzenia gleby jest powstawanie zwietrzliny skalnej w wyniku wietrzenia rys. 4.1.



Ryc.4.1. Budowa profilowa głównych typów gleb: a – gleba początkowego stadium rozwojowego (inicjalna), b – gleba brunatna, c – gleba płowa (lessive), d – gleba bielnicowa, e – czarna ziemia, f – czarnoziem (wg Uggli) [41].

A – poziom akumulacyjny, A₀ – poziom próchnicy leśnej, A₁ – poziom próchnicy organiczno-mineralnej, A₂ – poziom wymywania (w glebach bielnicowych), A₃ – poziom przemycania, B – poziom iluwialny (wymycia) B_h – podpoziom iluwialno-próchniczny, B_{ca} – podpoziom iluwialno-węglanowy, G – poziom glejowy, C – poziom skały macierzystej.

Następuje ono w wyniku rozpadu mechanicznego (fizycznego) i chemicznego skał wskutek działalności energii słonecznej, powietrza, wody i organizmów żywych. Wyróżniamy wietrzenie: fizyczne (mechaniczne), chemiczne i biologiczne [16,29].

Wietrzenie fizyczne wynika z działania czynników: wahań temperatury, zamrażania wody, krystalizacji soli, działania wiatrów, wód bieżących, morskich i lodowców. Wietrzenie chemiczne wywołują wody z aktywnymi czynnikami jak dwutlenek węgla, tlen, kwasy organiczne oraz różne mineralne i organiczne związki. W procesach wietrzenia chemicznego przebiegają następujące podstawowe reakcje: rozpuszczanie, hydroliza, uwodnienie, utlenianie, karbonizacja (powstawanie węglanów), desilikacja (odkrzemianowanie), sorpcja. Produkty poszczególnych reakcji mogą reagować ze sobą i tworzyć różne złożone związki chemiczne. Wietrzenie biologiczne jest wywołane

działaniem niższych i wyższych organizmów roślinnych i zwierzęcych. Najważniejsze działanie ma kwas węglowy, powstający w wyniku oddychania roślin i zwierząt oraz rozkładu substancji organicznej i kwas szczawiowy, cytrynowy i octowy, wytworzony w wyniku działania bakterii, promieniowców, grzybów, mchów i glonów. Kwasy organiczne i produkty przemiany resztek roślinnych tworzą z pierwiastkami skał związki chelatowe, które bardzo przyspieszają procesy wietrzenia [41].

Powstawanie gleb jest związane z pojawieniem się na Ziemi żywych organizmów: działanie korzeni roślin wyższych wpływa na tworzenie się gleb, z resztek obumarłych roślin wytwarza się próchnica, mikroorganizmy mineralizują i humifikują substancję organiczną roślinną i zwierzęcą. Ich aktywność zależy w znacznym stopniu od temperatury i wilgotności gleby. Drobnoustroje jak bakterie, grzyby i promieniowce rozkładając związki organiczne uwalniają pewne ilości energii i substancji mineralnej. Natomiast rośliny wyższe przy syntezie związków organicznych, zużywają energię. Wyższe organizmy zwierzęce, żyjące w glebie rozdrabniają i mieszają resztki roślin z mineralną częścią gleby; szczególnie dużą rolę strukturotwórczą wykazują dżdżownice, ponieważ przez ich przewody pokarmowe przechodzą znaczne ilości gleby (części organiczne i nieorganiczne), przez co przyczyniają się do przetwarzania gruzełków glebowych i przyspieszają tworzenie się koloidów organiczno – nieorganicznych. W znacznym stopniu klimat wpływa na powstawanie gleb. Czynniki takie jak opady i parowanie, temperatura, względna wilgotność powietrza i wiatr, decydują o przebiegu wietrzenia. Od klimatu zależy między innymi przebieg wietrzenia, rodzaj szaty roślinnej, oraz ilość i jakość próchnicy w glebie, dlatego w poszczególnych strefach klimatycznych występują charakterystyczne typy gleb [4,6,14].

Wszystkie rodzaje wody uczestniczą w procesach glebotwórczych. Deszcz, śnieg, lód i lodowce należą do czynników glebotwórczych o charakterze budująco – niszczącym. Znaczna część skał macierzystych gleb naszego kraju jest pochodzenia lodowcowego.

Ukształtowanie terenu jest też ważnym czynnikiem glebotwórczym; wyróżniamy tereny równinne i góryste o różnym nachyleniu terenu. Z rzeźbą terenu jest związana erozja wodna, występująca na terenach nie porośniętych naturalną roślinnością łąkową lub leśną.

Działalność gospodarcza człowieka jest też czynnikiem glebotwórczym. Wskutek działalności przemysłowej ludzi następuje zatrucie gleby i roślin związkami toksycznymi. Zbyt silne osuszanie gleb torfowych może powodować powstawanie nieużytków; meliorowanie gleb polepsza ich właściwości wodno – powietrzne, a nawożenie wapniowe (wapnowanie) zmienia właściwości gleb [22,41].

4.2. Składniki gleby.

Makroskopowo jednolita gleba składa się z trzech faz: stałej, płynnej i gazowej. Substancje stałe stanowią około 50 %, woda 20 – 25 % i powietrze około 25 % masy glebowej [26].

4.2.1. Faza stała gleby.

Faza stała gleby składa się z substancji mineralnych, organicznych i organiczno – mineralnych.

Substancje mineralne są to produkty wietrzenia skał macierzystych i minerałów pierwotnych, o różnych wielkościach cząstek.

W skład substancji organicznej wchodzi: a) próchnica, b) resztki roślinne i zwierzęce w różnym stadium rozkładu, c) organizmy glebowe – niższe i wyższe rośliny i zwierzęta glebowe.

Substancje organiczno – mineralne są to związki kompleksowe i chelatowe produktów pośrednich z rozkładu substancji organicznych z metalami.

4.2.1.1. Substancje mineralne.

Gleba składa się z cząstek (ziarenek, agregatów) różnych wielkości oraz gruzełków, które są skupieniami ziaren glebowych scementowanych koloidami, a zwłaszcza próchnicą. Rozdział stałej masy gleby na frakcje według wielkości ziaren nazywa się składem mechanicznym gleby. Cząstki glebowe uszeregowane wg określonych wymiarów średnic nazywamy frakcjami mechanicznymi. Od składu mechanicznego gleby zależą w znacznej mierze:

- właściwości fizyczne (np. przewodność, ciężar właściwy, przesiąkliwość, struktura, łatwość lub trudność uprawy),
- właściwości chemiczne (zawartość czynnych substancji pokarmowych, zdolności sorpcyjne),
- właściwości biologiczne (charakter przebiegu procesów mikrobiologicznych).

W Polsce obowiązuje skala podziału cząstek glebowych na frakcje mechaniczne, zatwierdzona przez Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Metodą analizy mechanicznej wydziela się frakcje o wymiarach:

- kamienie – powyżej 20 mm,
- żwir 20 – 1 mm,
- piasek gruby 1 – 0,5 mm,
- piasek średni 0,5 – 0,25 mm,
- piasek drobny 0,25 – 0,1 mm,
- pył gruby 0,1 – 0,05 mm,

- pył drobny 0,05 – 0,02 mm,
- ił pylasty gruby 0,02 – 0,005 mm,
- ił pylasty drobny 0,005 – 0,002 mm,
- ił koloidalny < 0,002 mm.

Kamienie i żwir nazywamy częściami szkieletowymi, piaski i pył – częściami ziemistymi, zaś ropy – częściami spławialnymi. Na podstawie procentowej zawartości frakcji mechanicznych, obok utworów kamienistych i żwirowych rozróżniamy:

utwory piaskowe zawierające 0 – 20 % części spławialnych:

- a) piaski luźne do 5 % części spławialnych,
- b) piaski słabo gliniaste zawierające 5 – 10 % części spławialnych,
- c) piaski gliniaste – 10 – 20 % części spławialnych.

utwory pyłowe – zawierające 40 – 50 % części spławialnych i ponad 40 % części pyłowych,

gliny:

- a) gliny lekkie zawierające 20 – 35 % części spławialnych,
- b) gliny średnie zawierające 35 – 50 % części spławialnych,
- c) gliny ciężkie zawierające ponad 50 % części spławialnych,

ropy – utwory zawierające ponad 50 % części spławialnych, mało frakcji piaskowej.

Zależnie od wielkości cząstek glebowych wykazuje gleba różną powierzchnię, jaką tworzą te cząsteczki; np. powierzchnia zbiorowa 1g gleby w [m²] wynosi:

piasek drobny – 0,136

glina lekka – 8,36

glina ciężka - 26,16

ił ciężki – 95,24.

Wielkość powierzchni cząstek glebowych ma duży wpływ na właściwości gleby, zwłaszcza zdolność sorpcji składników wody i innych związków w glebie.

4.2.1.2. Substancje organiczne.

a) Próchnica. W jej skład wchodzi polimeryczne związki:

1. Bitumy (smoły i woski) – wypłukiwane z gleby mieszaniną alkoholi i benzenu,
2. Związki humusowe: kwasy huminowe (próchnicowe) właściwe i fulwokwasy.

Kwasy huminowe powstają w wyniku rozkładu zielonych roślin pod wpływem bakterii tlenowych; zawierają pierścienie aromatyczne i azotowe, heterocykliczne związki organiczne, grupy amidowe, aminokwasy i reszty węglowodorów [26,41].

Fulwokwasy są wielocząsteczkowymi oksykarboksylowymi kwasami humusowymi zawierającymi azot, różniącymi się od kwasów humusowych wielkością cząsteczek i składem chemicznym.

b) Organizmy glebowe. W glebie występują mikro – i makroorganizmy świata roślinnego i zwierzęcego. Należą do nich:

- bakteriofagi – wirusy mogące rozpuszczać komórki bakterii,
- bakterie – różne rodzaje bakterii glebowych, które ze względu na ich funkcje dzielimy na: bakterie rozkładające substancje organiczne bezazotowe, bakterie rozkładające białko i mocznik z wydzielaniem amoniaku (bakterie tlenowe), bakterie nityfikacyjne, utleniające NH_3 do kwasu azotowego (azotanów), bakterie denityfikacyjne powodujące redukcję azotanów do wolnego azotu i amoniaku, bakterie wiążące wolny azot z powietrza, bakterie siarkowe powodujące przy beztlenowym gniciu wydzielanie H_2S lub redukujące siarczany do H_2S ,
- bakterie żelazowe utleniające związki żelazawe do żelazowych,
- bakterie rozkładające trudno przyswajalne dla roślin związki fosforowe,

Promieniowce – organizmy jednokomórkowe, rozkładające celulozę, ligninę, keratynę i inne związki organiczne.

Grzyby – rozkładają substancje organiczne błonnik i białka. W wyniku ich działalności życiowej powstają kwasy organiczne i CO_2 .

Głony – są to rośliny chlorofilowe, żyjące na powierzchni gleby lub skały. Wiążą samodzielnie azot z powietrza.

Pierwotniaki – jednokomórkowe mikroskopijne organizmy zwierzęce. Żywią się resztkami zwierzęcymi i roślinnymi, bakteriami i grzybami.

Nicienie – należą do robaków i są półpasożytami, żywią się substancją organiczną lub innymi robakami.

Wazonkowce – są grupą pośrednią między nicieniami a dżdżownicami. Spełniają w glebie podobną do dżdżownic rolę.

Dżdżownice – przyczyniają się do powstawania porów i podnoszą przewodność gleby. Są one sprzymierzeńcem człowieka w polepszaniu struktury i urodzajności gleb.

Zdaniem Miszustina w 1 g urodzajnej gleby może znajdować się około 2 mld przetrwalników bakterii, 5 mln żywych bakterii, 1 mln promieniowców, 50 tys. grzybów, 50 tys. glonów, 50 tys. pierwotniaków [26].

4.2.2. Faza płynna gleby.

Faza ta składa się z wodnych roztworów rzeczywistych, koloidalnych oraz z zawiesin o bardzo zmiennym składzie jakościowym. Zawiera ona niezbędne dla wzrostu roślin składniki oraz gazy, głównie O_2 i CO_2 . Do koloidów glebowych zalicza się często układy dyspersyjne, zawierające jako fazę rozproszoną cząstki o średnicy mniejszej od 0,001 lub 0,002 mm. Ogólnie dzielimy koloidy glebowe na hydrofilowe i hydrofobowe. Cząstki koloidów hydrofilowych mają znaczne powinowactwo do wody i trudno ulegają koagulacji. Zaliczamy do nich: krzemionkę, humus i niektóre minerały ilaste. Koloidy hydrofobowe odznaczają się słabą hydratacją. Po koagulacji nie ulegają peptyzacji. Zaliczają się do koloidów nieodwracalnych. Należą do nich: $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$ i koloidalnie rozdrobniony $CaCO_3$.

Koloidalna próchnica w glebie spełnia rolę koloidu ochronnego. Utrzymuje ona w dyspersji $Fe(OH)_3$ i $Al(OH)_3$ oraz minerały ilaste współdziała w ten sposób z ich wymywaniem. Związki próchnicze w glebie wykazują właściwości koloidów hydrofilowych. Próchnica dzięki grupom karboksylowym (kwasy humusowe) tworzy sole lub związki kompleksowe z metalami w glebie. Bakterie glebowe są kompleksami ligninoproteinowymi i są koloidami hydrofilowymi i ochronnymi.

Do koloidów nieorganicznych należą rozdrobnione związki nieorganiczne gleby, jak i koloidalny i minerały ilaste. Cechą minerałów ilastych jest zdolność pochłaniania wody, pęcznienia i sorpcja różnych związków chemicznych. Wśród minerałów ilastych wyróżniamy: grupę montmorylonitu (montmorylonit $Al_2Si_4(OH)_2 \cdot H_2O$), grupę kaolinitu (kaolinit $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), grupę uwodnionych mik (hydromuskowit), koloidalną krzemionkę SiO_2 , koloidalny $Al(OH)_3$, koloidalny $Fe(OH)_3$, koloidalny $Ca_3(PO_4)_2$, koloidalnie rozdrobniony $CaCO_3$ i koloidalne związki Mn, koloidalne glinokrzemiany i krzemiany [26, 41].

4.2.3. Powietrze glebowe.

Powietrze glebowe jest czynnikiem wegetacji roślin o znaczeniu jak woda – ilość jego zależy od ilości wody w glebie. Skład powietrza glebowego jest inny niż atmosferycznego i ulega ciągłym zmianom. Zawartość w atmosferze glebowej najważniejszych składników waha się w granicach [26]:

O_2 – 10,4 – 20,0 %

N_2 – 78,8 – 80,2 %

CO_2 – 0,74 – 9,74 %

Oprócz tego występują w atmosferze glebowej produkty mikrobiologicznej przemiany roślin i zwierząt jak NH_3 , CH_4 , i H_2S . Dlatego przy wykonywaniu wykopów w gruntach może dojść do zatrucia, a nawet śmierci pracowników, wskutek wyparcia tlenu przez inne gazy z atmosfery wykopu, o utrudnionej cyrkulacji powietrza.

4.3. Właściwości gleby.

Można wyróżnić właściwości: [26, 41]:

- fizyczne, jak ciężar właściwy, przewodność, przesiąkliwość, strukturę, łatwość lub trudność uprawy,
- chemiczne tj. zawartość czynnych substancji pokarmowych dla roślin, zdolności sorpcyjne,
- biologiczne jak czynność biologiczną gleby, charakter i przebieg procesów mikrobiologicznych.

Dla ochrony środowiska człowieka znaczenie mają: zawartość substancji pokarmowych dla roślin, a pośrednio i dla człowieka, i właściwości sorpcyjne gleby. Naturalna zasobność gleby zależy głównie od rodzaju skały macierzystej, uziarnienia i składu mineralnego. Ogólnie naturalne składniki gleby dzielimy na makro i mikroelementy. Rola mikroelementów w glebie, ich wpływ na wielkość plodów rolnych i na zdrowie człowieka nie jest jeszcze całkowicie wyjaśniona i badana zarówno przez gleboznawców i lekarzy [12,26]. Właściwości sorpcyjne gleby, a głównie zawartość minerałów ilastych i próchnicy decyduje o magazynowaniu w glebie wody i związków chemicznych. Kompleks sorpcyjny gleby zatrzymuje makro – i mikroelementy, uwalniane z minerałów bądź dostarczanych w wyniku nawożenia, co jest zjawiskiem pozytywnym, ale jednocześnie sorbuje też związki toksyczne, szczególnie pestycydy, które mogą przebywać w glebie przez wiele lat i część ich wraca do człowieka w skażonych produktach rolnych.

4.4. Mikroelementy.

Podział mineralnych składników gleby na makro i mikroelementy wynika z ilościowego występowania ich w glebie oraz z funkcji pełnionych w rozwoju roślin. Mikroelementy pełnią rolę katalizatorów w metabolizmie komórkowym, a metale ciężkie wywierają

duży wpływ na stosunki jonowe w komórce roślinnej i zwierzęcej [26].

Dotychczas poznano mikroelementy glebowe:

- bor – odgrywa ważną rolę w gospodarce węglowodanowej roślin, oddziałuje na kwitnienie i owocowanie roślin,

- żelazo – bierze udział w reakcjach oksydoredukcyjnych i wpływa na fotosyntezę,
- mangan – jest aktywatorem szeregu enzymów,
- miedź – reguluje procesy oksydoredukcyjne w roślinie,
- cynk – wpływa na tworzenie auksyn i syntezę białka,
- molibden – związany jest z metabolizmem azotowym roślin.

Inne pierwiastki śladowe w glebie to: Se, J, Co, V, Cr, Ni i inne metale ciężkie.

4.5. Kompleks sorpcyjny.

Kompleks sorpcyjny gleby stanowi zespół czynników, które powodują pochłanianie cząstek, jonów z fazy płynnej i gazowej gleby [26,41]. Należą do nich przede wszystkim koloidy organiczne o dużej zdolności sorpcyjnej dzięki obecności grup COOH i OH, koloidy mineralne, organiczno – mineralne, organizmy glebowe i różne związki obojętne, kwaśne i zasadowe. Wyróżniamy następujące rodzaje sorpcji: mechaniczną, fizyczną, wymienną, chemiczną i biologiczną.

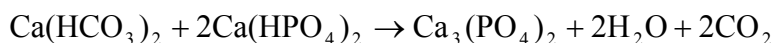
Sorpcja mechaniczna polega na zatrzymaniu w przestrzeniach i kapilarach glebowych zawiesin oraz mikroorganizmów zawartych w roztworach glebowych. Sorpcja mechaniczna zależy od składu mechanicznego gleby, od struktury, wymiarów przestrzeni kapilarnych.

Sorpcja fizyczna, czyli apolarna polega na zdolności fazy stałej gleb do zatrzymywania na powierzchni cząstek gleby, nie zdysocjowanych cząstek związków, jak: gazów i par oraz całych cząstek, mikroorganizmów i zawiesin z roztworów glebowych. Sorpcja fizyczna zależy od napięcia powierzchniowego ośrodka dyspersyjnego i od całkowitej powierzchni cząstek fazy stałej gleby. Sorpcja gazów i par przez gleby jest zależna od rodzaju gleby, rodzaju i właściwości gazów, ciśnienia, temperatury i wilgotności gleby. Sorpcja fizyczna odgrywa dużą rolę przy pobieraniu składników odżywczych przez korzenie roślin i chroni częściowo te składniki przed zbyt dużym wymywaniem ich w głąb gleby.

Sorpcja wymienna, polarna, zwana też sorpcją koloidalno – chemiczną, polega na wymianie jonów z kompleksu sorpcyjnego gleby z jonami zawartymi w roztworach glebowych. Na miejsce jonów wypartych z kompleksu glebowego wchodzi jony z roztworu glebowego. W glebach odbywa się głównie sorpcja kationów; jest ona poza sorpcją biologiczną najważniejszym rodzajem sorpcji. Sorpcja wymienna kationów zależy w znacznym stopniu od struktury sorbentów wchodzących w skład kompleksu sorpcyjnego gleb, wielkości jonów uwodnionych. Najtrudniej z kompleksu sorpcyjnego są wypierane jony Al^{+3} , Fe^{+3} i H^{+} .

Z anionów tylko jony PO_4^{-3} i SO_4^{-2} są w określonych warunkach sorbowane wymiennie przez amfoteryczne koloidy i białka glebowe.

Sorpcja chemiczna. W jej wyniku zachodzą w roztworze glebowym lub na powierzchni kompleksu sorpcyjnego reakcje chemiczne i wytrącają się nierozpuszczalne sole. Znaczenie ma sorpcja anionów kwasu fosforowego, siarkowego i węglowego. Sole azotanów i chlorków są rozpuszczalne w wodzie i nie są sorbowane. W glebach o odczynie obojętnym lub alkalicznym, zasobnych w jony Ca^{+2} , zachodzą reakcje z jonami fosforanowymi (superfosfatu).



roztwór roztwór

W glebach kwaśnych zasobnych, w jony Al^{+3} i Fe^{+3} , tworzą się nierozpuszczalne AlPO_4 i FePO_4 . Reakcje te charakteryzują tzw. uwstecznianie się fosforu w glebie tj. braków fosforanów przyswajalnych dla roślin pomimo nawożenia gleby tymi nawozami [26].

Sorpcja biologiczna polega na wiązaniu przez mikroorganizmy glebowe i korzenie roślin jonów oraz asymilacji różnych składników z powietrza glebowego. Sorpcja ta jest bardzo skomplikowana i obejmuje zjawiska sorpcji fizycznej, chemicznej jak i wymiennej. Sorpcja biologiczna ma szczególne znaczenie przy wiązaniu przez mikroorganizmy azotu z powietrza np. bakterie brodawkowe roślin motylkowych.

4.6. Woda w glebie.

Decyduje ona o wroście roślin i o rozwoju życia organicznego, oraz o jakości próchnicy, szybkości rozkładu szczątków roślinnych i zwierzęcych. Ilość wody zapewnia krążenie roztworów glebowych, wywiera wpływ na stosunki cieplne, wskutek znacznego przewodnictwa ciepła. Pod jej wpływem zmieniają się właściwości fizyczne gleby – następuje zmiana objętości gleby, kurczenie się, pęknięcie przy wysychaniu i rozszerzanie się gleby przy nawilgotnieniu. Ilość wody, jaką gleba może zatrzymać, uzależniona jest od wielu czynników fizyczno – chemicznych, jak: skład mechaniczny, stopień zwięzłości, ilość i rodzaj minerałów ilastych, stan zgrużlenia, zawartość i rodzaj substancji organicznej, ilość i rodzaj kationów wysycających kompleks sorpcyjny, koncentracja roztworu glebowego, temperatura gleby [26]. Każda gleba ma właściwą sobie pojemność wodną. Są one dla danego rodzaju gleby charakterystyczne i stałe.

Wyróżniamy szereg pojemności wodnych gleb, jak:

Maksymalna pojemność wodna, tj. maksymalna ilość wody, jaką gleba może pomieścić w swoich przestrzeniach. Stan taki istnieje tylko przy całkowitym zalaniu wodą powierzchni gleby.

Kapilarna pojemność wodna – jest to ilość wody pobierana przez glebę, która ma bezpośredni kontakt z wodą (lustrem wodnym) na zasadzie podsiąkania kapilarnego (np. wody podskórne).

Wilgotność wędnięcia roślin czyli wilgotność, która pozostaje w glebie, po wyczerpaniu przez rośliny dostępnej dla nich wody.

Maksymalna higroskopijność – jest to zdolność pochłaniania przez glebę pary wodnej z powietrza o wilgotności 96 – 98 %.

Woda w glebie razem z kompleksem sorpcyjnym spełnia zasadniczą rolę w zatrzymywaniu i przemianach substancji chemicznych stanowiących zanieczyszczenie gleb [26].

4.7. Degradacja gleby.

Degradacja gleb oznacza modyfikację jej fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości, pogarszającą biologiczną aktywność środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem produkcji środków żywności, warunków ekologiczno – sanitarnych populacji ludzkich i estetycznych walorów krajobrazu [22]. Degradacja gleby ma wiele form i różne pochodzenie. Każdy czynnik zmniejszający produktywność gleb, aż do całkowitej eliminacji upraw roślinnych, działa degradująco. Do głównych form degradacji gleby należą (wg J. Siuty), [22]:

1) wyjałowienie gleby ze składników pokarmowych i naruszenie równowagi jonowej, 2) zakwaszenie lub alkalizacja środowiska, 3) zanieczyszczenie składnikami o charakterze toksycznym, 4) zasolenie, 5) nadmierny ubytek próchnicy, 6) przesuszenie, 7) zawodnienie, 8) erozja, 9) zniekształcenie struktury, 10) zniekształcenie rzeźby terenu, 11) mechaniczne zniszczenie lub uszkodzenie poziomu próchniczego, 12) zanieczyszczenie mechaniczne, 13) techniczno – przestrzenne rozdrobnienie powierzchni biologicznie czynnej, 14) zanieczyszczenie biologiczne (skażenie).

Według zawartości próchnicy właściwej wyróżnia się stopnie degradacji gleby [22]:

Stopień degradacji gleby:	Zawartość próchnicy [t/ha]
słabo zdegradowane	40- 50
średnio zdegradowane	30-40

zdegradowane	20-30
silnie zdegradowane	10-20
grunty bezglebowe	do 10

Zdegradowane też będą gleby o wysokiej zawartości próchnicy butwinowej (ektohumus) odłożonej na powierzchni Ziemi na skutek zakłóceń w procesach rozkładowych substancji organicznej, spowodowanej zanieczyszczeniami przemysłowymi. W Polsce tereny zdegradowane w bardzo dużym stopniu zajmują 0,5 % powierzchni, w stopniu średnim i małym 2,2 % powierzchni całego kraju. W pobliżu stref zdegradowanych istnieją obszary zagrożone degradacją, o łącznej powierzchni ponad 12 % terenu całego kraju. Razem z małymi obszarami zagrożonymi degradacją ocenia się łączną powierzchnię terenów zdegradowanych w Polsce na 17–20 % powierzchni całego kraju. Największe obszary terenów zdegradowanych i zagrożonych degradacją występują w części południowej i południowo – zachodniej Polski. Są to obszary zagłębi przemysłowych i aglomeracji miejsko – przemysłowych, jak: górnośląski, krakowski, rybnicki, legnicko – głogowski. Mniejsze powierzchnie obszarów zdegradowanych pojawiają się w środkowej i północnej części kraju i należą do nich obszary: tarnobrzeski, tarnowski, łódzki, tomaszowski, bydgosko – warmiński, wrocławski, gdański i szczeciński. Natomiast małe i pojedyncze obszary zdegradowane pojawiają się w środkowo – wschodniej części Polski [22].

W strefach intensywnego oddziaływania przemysłu przetwórczego degradacja przejawia się w 4 formach:

1. Geotechniczna degradacja gleb powodująca zewnętrzne zmiany na powierzchni, czyli zniekształcenie rzeźby terenu. Choć występuje ona na terenie całego państwa, ale największą koncentrację wykazuje na terenach górniczych, budowlanych i miejskich. Zniekształcenia w rzeźbie terenu są spowodowane w wyniku działalności górnictwa odkrywkowego i podziemnego, budownictwa wodnego, drogowego, kolejnictwa oraz zakładania instalacji podziemnych. Powierzchniowe zmiany geotechniczne przyjmują często formy fizycznej degradacji gleb.
2. Fizyczna degradacja gleb polega na zagęszczeniu masy glebowej, pogarszaniu się struktury gleby, nadmiernym odwodnieniu gruntów wywołanych lejem depresyjnym, wadliwej melioracji, zawodnieniu terenu (na skutek osiadania gruntów na terenach górniczych), ciśnieniu zwałowisk nadpoziomowych, osuwisk, oddziaływaniu zbiorników wodnych, działaniu erozyjnym wodnym i wietrznym.

3. Biologiczna degradacja gleb, o charakterze pośrednim, wywołuje szkody poprzez szatę roślinną. Niszczenie szaty roślinnej powoduje zarazem pogorszenie warunków glebowych, zwłaszcza gdy te gleby wykazują dużą podatność na degradację. Formą biologicznej degradacji gleb jest również tzw. zmęczenie gleb, w wyniku czego następuje zatrzymanie procesów glebowych: amonifikacji, nityfikacji, rozkładu substancji organicznej, czasem koncentracja toksycznych związków wytworzonych przez grzyby i bakterie.
4. Chemiczna degradacja gleb przejawia się zakwaszeniem lub nadmierną alkalizacją, naruszeniem równowagi jonowej (składników pokarmowych, roślin), wysoką koncentracją soli w roztworach glebowych (zasolenie), toksyczną koncentracją metali ciężkich, oraz siarki i fluoru oraz związków biologicznie czynnych (węglowodorów, środków ochrony roślin itp.). Degradację gleby mogą też wywołać zanieczyszczenia jej w wyniku nadmiernego stosowania gnojowicy, ścieków komunalnych, odpadów przemysłowych itp. Przy chemicznej degradacji gleb nasila się proces zakwaszenia gleb przez związki siarki (głównie SO_2) w rejonach przemysłowych i częściowo uprzemysłowionych. Naruszenie równowagi jonowej w glebach następuje pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych i jednostronnego nawożenia. Nadmierną koncentrację siarki i metali ciężkich, głównie ołowiu, obserwujemy na terenach przemysłowych, zurbanizowanych i wzdłuż szlaków komunikacyjnych. Zewnętrznym przejawem degradacji gleb jest zmniejszenie lub całkowity brak produkcji biomasy. Gleba, dzięki swoim właściwościom fizycznym, chemicznym i biologicznym, ma duże zdolności regeneracyjne i może długo się opierać czynnikom degradującym. Najmniej odporne na czynniki degradujące są gleby piaskowe oraz wszelkie gleby słabo próchnicze. Im więcej w glebie jest części koloidalnych i organicznych, tym bardziej jest ona odporna na degradację. Każdemu układowi warunków glebowo – klimatycznych odpowiada określony skład gatunkowy roślin. Przy silnie zaawansowanej degradacji środowiska glebowego utrzymują się przy życiu tylko nieliczne gatunki roślin, inne natomiast giną. W takiej sytuacji istnieje konieczność rekultywacji zdegradowanych siedlisk glebowych poprzez odtworzenie lub powiększenie aktywności biologicznej gleby, poprawie wskaźników jakościowych atmosfery, wody, roślinności, powiększeniu walorów klimatycznych, sanitarnych i krajobrazowych okolicy [22].

Odpowiednie przepisy i ustawy konkretyzują zadania z zakresu ochrony, ulepszania i rekultywacji gleb.

4.7.1. Degradacja gleb w wyniku erozji wodnej i wietrznej.

Erozja gleb zaznacza się na obszarach naturalnych i na terenach podlegających działalności górnictwa i przemysłu. Stanowi ona jedną z ważniejszych form degradacji fizycznej.

Erozja gleb jest to zmywanie przez wodę (erozja wodna) lub wywiewanie przez wiatr (erozja wietrzna) cząstek glebowych, głównie z poziomu próchnicznego. Bezpośrednią przyczyną procesów erozyjnych było dawniejsze zniszczenie naturalnej szaty roślinnej przez nadmierne wylesienie, wypas i wprowadzanie na te obszary upraw roślinnych. Obserwacje i pomiary wskazują, że gleba łąkowa jest erodowana 5 razy szybciej niż gleba pod lasem, pod pastwiskiem 10 razy, przy uprawie zbóż – 50 razy, przy roślinach okopowych – 100 razy [22].

W dużym stopniu erozja zależy od składu mechanicznego i typu gleby. Degradacja wskutek erozji rędziny lub gleby nalessowej na terenie pozbawionym pokrywy roślinnej lub na polu kukurydzy nastąpi 1000 razy szybciej niż gleby piaskowej porośniętej lasem. Teren bez roślinności może być nawet 3 i 4 tysiące razy szybciej erodowany niż gleba pokryta roślinnością drzewiastą lub trawiastą. Praktycznie na terenach pokrytych lasem o normalnym zwarcie nie obserwuje się erozji gleb. Nasilenie erozji zależy od układu przestrzennego terenu, wielkości pól i położenia ich w rzeźbie terenu oraz od sposobów użytkowania pola, kierunku orki względem spadku terenu, częstości spulchniania gleby, rodzaju uprawianych roślin itp. Większe nasilenie erozji występuje przy uprawie roślin okopowych, mniejsze zaś przy uprawie roślin zbożowych, traw i roślin motylkowych. (tabela 4.1 i 4.2).

Stan użytkowania gruntów w Polsce wg [22]

Tabela 4.1

Użytkowanie gruntów	w tys. ha	%
Powierzchnia ogólna	31,269	100
W tym:		
użytki rolne	18,741	59,9
las i zadrzewienia	8,906	28,5
wody	828,000	2,6
nieużytki kopalniane	43,000	0,1
tereny:		
komunikacyjne	994,000	3,2
osiedlowe	971,000	3,1
nieużytki	505,000	1,6

Zadania w zakresie ochrony, ulepszenia i rekultywacji gleb [22]

Tabela 4.2.

<u>Ochrona</u>	<p>Maksymalne ograniczenie przeznaczenia gruntów biologicznie czynnych na cele nierolnicze i nieleśne.</p> <p>Ochrona gruntów i ograniczanie chemicznej degradacji gleb przez przemysł i chemizację rolnictwa.</p> <p>Ograniczenie działania erozji wodnej i wietrznej.</p> <p>Przeciwdziałanie przesuszeniu, zawodnieniu i technicznej degradacji gleb.</p> <p>Zagospodarowanie ziemi próchnicznej, torfu, gyttii i innych wartościowych utworów organiczno – mineralnych zalegających na terenach przeznaczonych na cele nierolnicze i nieleśne.</p>
<u>Ulepszanie (melioracja)</u>	<p>Wykonywanie zabiegów melioracyjnych w celu polepszania warunków fizyczno – wodnych gleb uprawnych.</p> <p>Wzbogacanie gleb uprawnych w materię organiczną przez uprawę roślin i nawożenie substancją organiczną.</p> <p>Poprawienie odczynu i wzbogacenie gleb w makro – i mikroelementy.</p> <p>Zabiegi techniczne w celu zwiększenia retencji wodnej i odporności gleb na czynniki erozyjne.</p> <p>Regulacja stosunków wodnych i poprawa rzeźby terenu gleb uprawnych.</p> <p>Przebudowa gleb w celu poprawy właściwości sorpcyjnych i zwiększenie zawartości składników pokarmowych.</p>
<u>Rekultywacja</u>	<p>Ukształtowanie rzeźby terenów zdewastowanych w układzie gruntów najkorzystniejszym dla przyszłego zagospodarowania (wyrównanie powierzchni ukształtowania zboczy i skarp, tworzenie tarasów itp.)</p> <p>Odtworzenie gleb metodami technicznymi, (zwałowanie, dekoncentracja, izolacja, napiaszczanie</p>

	przemywanie). Neutralizacja (wapniowanie, stosowanie popiołu) gruntów toksycznych i użyźnianie gruntów jałowych.
--	--

Nasilenie erozji prowadzi do zmian profilu glebowego i następuje zanieczyszczenie materiałem glebowym powietrza i roślinności w okolicy, gdy występują burze pyłowe np. na piaskach i torfowiskach, lub gdy namuły są osadzane przez spływające wody. Duże nasilenie erozji nastąpiło też (przed podjęciem zabiegów przeciwozyjnych) na obszarach sąsiednich krajów: Czech, Słowacji i Ukrainy. W niektórych częściach Ukrainy o żyznych glebach nawet 90 % gleb użytkowych rolniczo uległo silnej erozji. W Polsce zagrożone erozją są głównie trzy rejony [22].

Pierwszy rejon obejmuje góry i pogórze, drugi rejon wyżyny południowo – wschodnie: Kielecko – Sandomierską, Krakowsko – Częstochowską i Lubelską wraz z Roztoczem (tutaj dominują gleby lessowe). Trzeci rejon jest średnio zagrożony i obszarowo najmniejszy, obejmuje część pojezierzy – Pojezierze Bytowskie i Suwalskie (pagórki morenowe o glebach wytworzonych z piasków słabo gliniastych i gliniastych mocnych) oraz Wysoczyznę Polanowską.

Powierzchniową erozję wodną przedstawia się w 5 – stopniowej skali:

- 1° – erozja słaba, wywołuje tylko niewielkie zmywanie gleby z poziomu próchnicznego, regenerującego się podczas racjonalnej uprawy roli,
- 2° – erozja umiarkowana; powoduje zmniejszenie miąższości poziomu próchnicznego i pogarsza jego właściwości produkcyjne (plonowanie). Wymagane są tutaj już pewne zabiegi przeciw erozyjne: układ pól w poprzek stoku i odpowiednie zabiegi agrotechniczne oraz płodozmiany ochronne (układ pól wzdłuż stoku zwiększa nasilenie procesów erozyjnych);
- 3° – erozja średnia, silnie degraduje poziom próchniczny, często też głębsze poziomy; jest przyczyną tworzenia się rzeźby erozyjnej – sfalowania zboczy, tworzenia wąwozów i dolinek.
- 4° – erozja silna, niszczy przeważnie cały profil glebowy,
- 5° – erozja bardzo silna, niszczy cały profil glebowy, a nawet część skały macierzystej, powodując ukształtowanie się krajobrazu erozyjnego.

Tereny o erozji silnej i bardzo silnej należy objąć kompleksowymi melioracjami przeciwozyjnymi. Silnie zagrożone przez erozję, w stopniu 4 i 5, są góry; w tym Góry Świętokrzyskie oraz południowy i środkowy pas Przedgórze Sudeckiego. Czynnikiem sprzyjającymi erozji są tu urozmaicona rzeźba terenu i duże opady.

Średnio zagrożone, w stopniu 3 i 2, są wyżyny południowo – wschodnie, północny pas Przedgórze Sudeckiego, południowa część północnego Podkarpacia, środkowy i północny pas Pojezierza Pomorskiego oraz północna część Pojezierza Mazurskiego. Obszar zagrożony potencjalną erozją wodną wynosi około 25 % ogólnej powierzchni gleb uprawnych w Polsce tj. około 5 mln ha, w tym 3 mln ha stanowią tereny już erodowane. Pola uprawne o silnej erozji stanowią ok. 1 mln ha. Na tereny górskie i wyżyny lessowe przypada 75 % obszarów erodowanych. Erozją wietrzną zagrożone jest około 11 % powierzchni kraju (tabela 4.3).

Obszar erozji użytków rolnych w Polsce, wg Ziemiński 1968, vide [22]

Tabela 4.3

Część kraju	Ogólna powierzchnia erodowana, [ha]	Obszar gruntów ornych o silnej erozji, [ha]
Karpaty i Sudety	1 000 000	400 000
Pogórze Karpackie i Sudeckie	300 000	100 000
Pojezierza	500 000	100 000
Wyżyny lessowe	1 100 000	350 000
Wyżyny rędzinowe	100 000	50 000
Ogółem	3 000 000	1000 000

Zakresy szkodliwych dla roślin zawartości niektórych pierwiastków śladowych w glebach ^a, roślinach ^b, odpadach przemysłowych ^c i komunalnych, w mg/kg pow. s. m., wg Kabata – Pendias, Piotrowska 1984; Maciak, Liwski, Biernacka 1976 – vide [22].

Tabela 4.4

Pierwiastek	Zawartość w glebach	Zawartość w roślinach		Odpady			
		Najczęściej występująca d	Nadmierne lub toksyczna	Stosowane do wapnowania	Popiół z węgla brunatnego	Popiół z węgla kamiennego	Osady ścieków komunalnych
As	10 – 50	0,02-0,3	5-20	---	3-30	0,8 – 0,9	2 – 60

B	30 – 100	5-40	50- 200	40- 100	90- 1000	20 – 42	15- 1000
Cd	5 – 10	0,05- 05	5-30	0,3- 95	0,7- 7,5	1,4 – 1,7	2- 1500
Cr	100 – 300	0,02- 0,5	5-30	-	10- 50	40 – 116	20- 40600
Cu	50 – 100	5-20	30- 100	2 – 2000	8 – 500	7 – 72	50- 3300
F	200– 1000	0,5- 20	50- 500	-	-	-	2- 740
Hg	1 – 5	0,00 1-0,1	1-3	-	-	-	0,1- 55
Mn	1500 - 1000	20- 200	300- 500	40- 40000	544- 1250	413- 646	60- 4000
Pb	50 – 100	2-10	30- 300	5- 4000	12 – 30	34- 90	50- 3000
Se	5 – 10	0,00 5-0,5	5-30	-	-	-	2-9
U	50 – 100	0,05- 2	5-10	-	1 – 2	-	20- 400
Zn	200 – 300	20- 100	100- 400	16- 2500	15 – 2500	41- 231	700- 49000

- w powierzchniowych poziomach gleb,
- w liściach roślin (stadium kwitnienia),
- dolna wartość odnosi się do gleb lekkich (części spławialnych 20 %), górna wartość do gleb cięższych (części spławialnych 20 %),
- poniżej dolnej wartości może wystąpić deficyt,
- rośliny nie należące do tolerancyjnych gatunków mogą reagować przy tych stężeniach zaburzeniami.

Wisła unosi średnio co 10 min 10 ton gleby bezpośrednio do morza, rocznie 8 mln ton. Warstwa gleby rolniczej (gruba 1-2cm) zostaje zmyta ze zbocza góry najdłużej po 3 latach. W warunkach Polski będzie się mogła odtworzyć dopiero po 200 latach. Razem z erozją gleby następują straty próchnicy i składników pokarmowych.

W USA rzeka Missisipi zabiera rocznie ok. 0,6 mln ton potasu, 22,5 mln ton wapnia, 5,2 mln ton magnezu. Zmycie 18 – centymetrowej warstwy gleby gliniastej (przy spadku terenu 16^o) pokrytej roślinnością trawiastą

i nie tkniętej pługiem wymagałoby w dolinie Missisipi 33600 lat, ale przy uprawie zbóż, gdzie stosujemy orkę, wystarczy tylko 11 lat [22]. Obszary gleb erodowanych tracą też w dużym stopniu zdolności chłonna zasobów wody. Odsłonięcie głębszych, słabszych strukturalnie warstw gleby powoduje powierzchniowy odpływ wód opadowych, często nawet w postaci żywiołowych klęsk powodziowych. Erozja powierzchniowa (wodna) jest często powolna i mało widoczna, lecz jej przebieg i nasilenie jest szczególnie niebezpieczne. Równie niebezpieczna, z rozwiniętą siecią wąwozów na znacznej części naszego kraju, jest erozja wąwozowa. Występuje ona na około 20 % obszaru Polski. Pocięte przez wąwozy są lessowe tereny Wyżyny Kielecko – Sandomierskiej i Lubelskiej wraz z Roztoczem w okolicy Kazimierza, Nałęczowa i Puław. Drugi obszar o rozwiniętej sieci wąwozów stanowi wschodnią część regionu gór i pogórzy: Przemyskiego, Bukowskiego i Dynowskiego. Występują tam gleby podatne na rozmywanie, wytworzone ze skał pyłowych o właściwościach i budowie profilu podobnego do lessów i gleb wytworzonych z gliny. Dominują tam użytki rolne, przy znacznym wylesieniu i niewłaściwym usytuowaniu w rzeźbie terenu dróg gruntowych. Również Płaskowyż Rybnicki jest intensywnie pocięty przez wąwozy. Erozja wąwozowa degraduje najbardziej obszary o najwyższej żyzności. Wąwozy sprawiają wiele utrudnień w gospodarce rolnej przez kształtowanie pól o nieregularnych zarysach. Utrudnia to mechanizację prac agrotechnicznych i transport, a tereny te przekształca w nieużytki. Erozja wąwozowa wpływa też ujemnie na warunki wodne gleby, powoduje przesuszenie lub podmokanie gruntów przyległych do wąwozów oraz zamulanie urządzeń melioracyjnych i deformowanie koryt rzecznych rumowiskiem wyniesionym z wąwozów. Rekultywację i zagospodarowanie gruntów zdegradowanych przez erozję wąwozową można przeprowadzić za pomocą metod podobnych do metod stosowanych w rekultywacji terenów zdegradowanych geotechnicznie, a więc przez:

- biologiczną zabudowę,
- techniczno – biologiczną zabudowę,
- likwidację wąwozów przez ich zasypanie,
- zagospodarowanie wąwozów przez wykonanie zbiorników,
- zagospodarowanie wąwozów: sadownicze, pastwiskowe, lub rekreacyjne

Biologiczna zabudowa polega na zastosowaniu zadarniania i zadrzewiania wąwozów wraz z pasem przykrawędziowym.

Techniczno – biologiczna rekultywacja polega na umocnieniu budowlami hydrotechnicznymi miejsc szczególnie narażonych na rozmywanie oraz na wprowadzeniu trwałej szaty roślinnej (metoda

kosztowna). Likwidacja wąwozów przez zasypanie różnymi utworami jest korzystna, gdyż ułatwia zagospodarowanie i przywraca zdewastowany obszar rolnictwu. Wykonanie zbiorników retencyjnych i retencyjno – kolmatacyjnych dla zagospodarowania wąwozów jest korzystne, lecz wybór i przeznaczenie do tych celów zbiornika zależy od wielkości wąwozu i zlewni, nasilenia procesów erozyjnych i warunków przyrodniczych terenu. Zagospodarowanie wąwozów sadownicze, pastwiskowe lub rekreacyjne uwarunkowane jest ich stanem rozwoju oraz potrzebami i warunkami gospodarczymi. Często trzeba wykonać dodatkowe zabiegi techniczno – biologiczne. Centralna i południowa część Niżu Środkowopolskiego jest najbardziej zagrożona erozją wietrzną. Po nich zagrożone są wyżyny południowo – wschodnie i Podgórze Sudeckie. Na Niżu przeważają gleby lekkie, na wyżynach i pogórzach gleby pyłowe, a urozmaicona topografia i mała lesistość sprzyja erozji. Utwory piaskowe i torfy są najbardziej wrażliwe na erozję wietrzną. Najsilniej ulegają jej piaski luźne i słabo gliniaste oraz przesuszone torfowiska. Niska zawartość w nich składników pokarmowych nie sprzyja rozwojowi roślinności, szczególnie traw i roślin motylkowych umacniających glebę. Erozji wietrznej ulegają też różnego rodzaju hałdy, szczególnie zawierające popiół z elektrowni ciepłych [22]. Burze piaskowe i pyłowe na rozległych obszarach zaoranych stepów północnej Afryki, Bliskiego Wschodu, Azji, Australii czy Ameryki zostały wywołane erozją wietrzną. Erozja wietrzna i wodna zmieniła w przeszłości w nieużytki rozległe obszary żyznych gleb w różnych częściach świata. Gleby martwe lub półmartwe na skutek erozji spotykamy aktualnie na terenach dawnej Persji, w krasowych krajobrazach śródziemnomorskich, na terenach wielu krajów Afryki, Azji, Ameryki, Australii, Nowej Zelandii i Europy. Erozja gleb obniża plony. W Polsce straty z tego powodu wynoszą ok. 1 mln. ton pszenicy (w przeliczeniu) rocznie.

Na glebach mineralnych stosujemy tradycyjne zabiegi przeciwoerozyjne jak: 1) zalesianie, 2) zadarnianie, 3) zakładanie niwelacyjnych progów stokowych, 4) stosowanie orki zgodnie z przebiegiem warstw. Należy też polepszyć strukturalność gleby stosując odpowiednie gatunki roślin i płodozmian. W przypadku gleb próchnicznych (czarnoziemy, mady czarnoziemne oraz gleby brunatne z głębszym poziomem próchnicznym) stosujemy głębszą orkę dla osiągnięcia większej strukturalności. Erozję gleb o mniejszym poziomie próchnicznym zmniejszamy stosując orkę z pogłębiaczem celem utrwalaenia zgruzłonej gleby i powiększenia retencji wodnej. Na glebach torfowych chronimy rośliny przed erozją wietrzną i szybkim rozpylaniem się torfu, gdy gleby są dobrze osuszone. Wtedy występuje zjawisko silnego rozpylania masy torfowej. Wiatr

porywając cząstki torfu obnaża rosnące rośliny a inne zasypuje sypkim torfem. Pył torfowy może zasypać też urządzenia melioracyjne. Szczególnie w maju i w czerwcu, zwłaszcza rośliny warzywne są narażone na erozję wietrzną. Zapobieganie erozji wietrznej polega na stosowaniu zabiegów:

1. Założenie pasów ochronnych z drzew i krzewów.
Drzewa na glebie torfowej sadi się pasami, w odległości 60 – 100 m oraz wzdłuż rowów melioracyjnych. Pasy drzew sadzimy prostopadle do kierunku najczęstszych wiatrów. Nadają się do tego celu różne odmiany wierzby, która w ciągu 4 lat osiąga wysokość 5m. Również topola rośnie szybko. Drzewa iglaste: świerki, jodła i sosna mogą być stosowane: są one przez cały rok zielone dając lepszą osłonę w okresie jesieni i zimy. Drzewa sadi się w dwóch rzędach, w rozstawie 2 – 3 m. Na poprzeczne pasy używamy też roślin o dużej masie zielonej jak: krzaki dzikiej róży, śnieguliczki białej, wierzby itp.
2. Ustawienie płotków ochronnych z desek takich jak do ochrony dróg i torów kolejowych przed śniegiem. Siatki plastikowe lub druciane z zawieszoną folią znajdują też zastosowanie.
3. Stosowanie pasów ochronnych z roślin zbożowych.
Co kilka metrów wysiewa się pas zbóż, który chroni rośliny warzywne lub przemysłowe przez erozją wietrzną. Stosujemy owies, jęczmień, żyto lub pszenicę, zwykle odmiany odporne na mróz i wyleganie. Pas ochronny zbóż ma szerokość 2,5 – 3 m. Pas zbóż może dać ochronę roślinom warzywnym na szerokości ok. 10 m. Stosowany jest też wysiew roślin zbożowych między rzędami chronionej rośliny.
4. Stosowanie materiału roślinnego do pokrycia gleby torfowej.
Na powierzchnię rozpylonej gleby torfowej dodajemy włóknisty materiał organiczny w postaci zielonej masy żyta, jęczmienia lub owsa, który polepsza strukturę i zapobiega rozpylaniu oraz przenoszeniu drobnego torfu przez wiatr.
5. Stosowanie zabiegów agrotechnicznych i melioracyjnych.
Gleby torfowe należy utrzymywać w stanie ścisłym, np. przez częste wałowanie i utrzymywać stale gleby wilgotne. Stosujemy nawadnianie podsiąkowe i deszczowanie. Głębsza orka powoduje wydostanie na powierzchnię warstewki mniej rozłożonego i rozdrobnionego torfu, trudniej wywiewanego potem przez wiatr. Przed erozją wodną umacniamy skarpy rowów wysiewając mieszankę traw lub układając darń. Przed wysiewem mieszanki traw skarpy rowów wyrównuje się i użyźnia dając nawozy sztuczne (NPK). Mieszankę wysiewamy w okresie wegetacyjnym przy

odpowiedniej wilgotności i temperaturze gleby. Do obsiewu skarp rowów na torfach stosuje się mieszankę o składzie: tymotka łąkowa 19 kg/ha, mietlica rozłogowa 9 kg/ha, wiechlina błotna 12,5 kg/ha i koniczyna biało-różowa 7 kg/ha. Celem lepszego zadarnienia w dolnej części skarpy kładzie się darń, a w górnej sieje się mieszankę traw. Skarpy rowów obsiane mieszanką traw chronimy przed erozją wietrzną i wodną stosując nawożenie, wałowanie i wykaszanie traw [22].

4.7.2. Degradacja spowodowana tzw. zmęczeniem gleby.

Zmęczenie gleb jest biologiczną formą degradacji o nieustalonej dotąd całkowicie przyczynie. Pierwszymi objawami zachwiania równowagi biologicznej gleb czyli zmęczenia gleby było prawdopodobnie nagromadzenie się związków zwanych fitotoksynami, wskutek uprawiania tej samej rośliny przez wiele lat. Obserwowano to w przypadku roślin: tytoń lub koniczyna. Wg materiałów FAO na świecie na powierzchni ok. 1,5 mld ha gruntów ornych występuje zjawisko "zmęczenia gleb". Gleby takie charakteryzuje spadek produkcji rolnej o 25 %. Pojawiają się też grzyby toksynotwórcze (*Aspergillus*, *Penicillium* i inne). Toksyny wytworzone przez grzyby "zmęczonych" gleb uważa się za rakotwórcze. W Polsce obserwuje się "zmęczenie" gleb przy długotrwałej uprawie na jednym miejscu tytoniu, chmielu, warzyw oraz w sadownictwie i łąkarstwie. W leśnictwie spotykamy, "zmęczone" gleby, na których występuje trzecie pokolenie jednogatunkowych upraw sosnowych. Dla zabezpieczenia się przed "zmęczeniem" gleb należy stosować właściwy płodozmian, zaopatrzyć gleby w niektóre makro i mikroelementy.

4.7.3. Degradacja gleb wywołana związkami chemicznymi i innymi toksynami.

Do najważniejszych zanieczyszczeń dostających się do gleb, a potem do wód podziemnych należą różne związki chemiczne, m.in.:

- fenole i ich pochodne homologi krezole, jako produkty przeróbki ropy naftowej i destylacji węgla,
- chlorki, siarczany, siarczki, chromiany i w nadmiernych ilościach azotany, azotyny i fosforany,
- tlenki i siarczki metali ciężkich,
- węglowodory chlorowane,
- pochodne kwasów chlorofenoksyoctowych,
- węglowodory nitrowane,
- karboaminy,
- związki fosforoorganiczne,

- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne o dużych właściwościach rakotwórczych, których jest kilkanaście,
- emisje różnych gazów [25]:

Zanieczyszczenie bioorganiczne:

- ścieki komunalne,
- składowiska odpadów organicznych,
- ścieki przetwórstwa rolno-spożywczego,
- różne inne zanieczyszczenia pochodzenia organicznego.

Źródłem tych zanieczyszczeń są niekiedy: zrzuty odpadów w produkcji przemysłowej, nieszczelności instalacji kanalizacyjnych, składowiska różnych odpadów przemysłowych, publiczne śmietniska, nadmierne nawożenie gleb nawozami mineralnymi, emisje gazów przez kominy fabryczne, odprowadzanie różnych ścieków w podłoże geologiczne [25]. Degradacja chemiczna gleb stanowi najważniejszy problem rolnictwa i ochrony środowiska z uwagi na wysokość produkcji żywności i zdrowie mieszkańców. Gleby mają określony zasób zdolności absorpcyjnych do pochłaniania różnych zanieczyszczeń. Przy przekroczeniu tej zdolności dochodzi do chemicznej degradacji gleb. Objawami tej degradacji są: akumulacja w wierzchnich warstwach gleby substancji toksycznych (zwłaszcza pierwiastków śladowych), nadmierne stężenie soli w roztworach glebowych, niedobór lub nadmiar składników pokarmowych roślin i naruszenie między nimi równowagi jonowej. Chemiczne środki ochrony roślin kumulują się w glebie i zachowują swą aktywność przez wiele lat. Związki typu DDT, BHC, Aldrin, Dieldrin, DDD i Heptachlor działają ujemnie na rośliny, hamując rozwój bakterii, asymilujących azot z powietrza lub uniemożliwiając tworzenie się brodawek na korzeniach roślin motylkowych, co zmniejsza asymilację azotu w glebie. Środki chwastobójcze powstrzymują wiązanie wolnego azotu [22]. Oprócz ujemnego działania tych środków na rośliny i organizmy glebowe znaczna ich część przedostaje się do owoców, warzyw i nasion zbóż. Potem człowiek spożywa te zatrute owoce, warzywa i zboża, a nawet mleko i mięso zwierząt żywionych roślinami wyrosłymi na zatrutej glebie: zawierają one też szkodliwe substancje wymienione w tabeli 4.5.

Wykaz dopuszczalnych zanieczyszczeń technicznych w niektórych środkach spożywczych i użytkach (Monitor Polski nr 39 z 16.12.1985, zał. Nr 3 – vide [22].

Tabela 4.5

Lp.	Środek spożywczy lub używka	Cd ^a	As	Pb	Cu	Zn	Sn ^b	Fe
I.	Środki dietetyczne i odżywki							
1.	Mleko w proszku	0,01	0,2	0,1	5,0	40	15	-
2.	Mleczne odżywki w proszku	0,01	0,2	0,1	5,0	40	15	-
3.	Mąki i kasze przeznaczone do produkcji odżywek i preparatów dietetycznych	0,01	0,2	0,15	6,0	30	20	-
4.	Konserwy mięsne i mięsno – warzywne	0,01	0,2	0,2	4	30	20/5 0	-
5.	Inne -zawierające do 20 % s.m. -zawierające pow. 20 % do 50 % s.m. -zawierające pow. 50 % s.m.	0,01 0,01 0,01	0,1 0,1 0,2	0,1 0,1 0,2	2 5 10	5 20 30	15 15 20	- - -
II.	Pozostałe środki spożywcze i używki							
1.	Mleko płynne	0,01	0,1	0,15	0,5	5	20	-
2.	Mleko zagęszczone	0,03	0,2	0,2	5	20	20/ 100	-
3.	Mleko w proszku	0,10	0,2	0,3	5	40	20	-
4.	Sery twarogowe	0,05	0,2	0,5	3	20	-	-
5.	Konserwy mięsne i mięsno – warzywne	0,05 ^d	0,5	1,0	8	50	20/ 100	-
6.	Konserwy drobiowe	0,05 ^e	0,2	0,5	5	20	20/ 100	-
7.	Przetwory rybne	0,05	4,0	1,0	10	50	50/ 100	-
8.	Dżemy, powidła, galaretki, marmolady, soki wysoko słodzone	0,05	0,5	0,5	10	20	20	-
9.	Kompoty	0,03	0,2	0,4	3,5	5	20/ 100	-
10.	Soki pitne	0,03	0,2	0,3	3,5	5	20/ 150	-
11.	Konserwy i marynaty warzywne	0,03	0,2	0,6	5,0	15	20/ 100	-
12.	Koncentrat pomidorowy	0,05	0,2	2,0	15	30	50/ 150	-
13.	Mąki i kasze	0,10	0,2	0,3	6	40		

14.	Pieczywo i makarony	0,10	0,2	0,4	5	40	-	-
15.	Tłuszcze i oleje roślinne	0,05	0,1	0,1	0,1	-	-	1,5
16.	Tłuszcze zwierzęce	0,02	0,1	0,1	0,4	-	-	1,5
17.	Cukier	0,02	0,2	0,5	3	-	-	-
18.	Napoje i wody gazowane	0,03	0,1	0,3	1	5	-	0,5
19.	Inne:							
	- zawierające do 20 % s.m.	0,03	0,2	0,3	4	10	20/ 50	-
	- zawierające 20 – 50 % s.m.	0,05	0,2	0,5	10	20	20/ 100	-
	- zawierające pow. 50 % s.m.	0,10	0,5	1,0	20	50	20/ 100	-

Uwaga:

Jednostki:

- ciała stałe w [mg/kg],
- ciecze w [mg/dm³],

Objaśnienia do tabeli 4.5:

- a – wartości obowiązujące od 1987 r. (grupa I), pozostałe obowiązują (grupa II) od 2001 r.,
- b – wyższa wartość dotyczy środka spożywczego w opakowaniu metalowym, mniejsza wartość dotyczy środka w innym opakowaniu (jeśli podano dwie wartości),
- c – nie dotyczy innych produktów, dla których normy przedmiotowe określają inne wartości ,
- d – z wyjątkiem zawierających wątrobę i nerki,,
- e – z wyjątkiem zawierających wątrobę,
- s.m. - suchej masy.

Maksymalna zawartość katalizatora niklowego Ni [mg/kg] obowiązuje: w tłuszczu utwardzonym 0,4; w margarynie 0,2.

Wiele nowych preparatów ochrony roślin nie jest przebadanych pod względem szkodliwości dla otoczenia. Zaniedbania przy stosowaniu środków ochrony roślin wynikają z przyczyn;

- a) niewłaściwego doboru asortymentu pestycydów,
- b) stosowania zbyt dużej ilości i stężeń preparatów ochrony roślin,
- c) nieprzestrzegania okresów karencji (okresu od zabiegu do zbioru roślin).
- d) stosowania środków nieznanymi lub przeterminowanymi i zepsutymi,
- e) używania wadliwego sprzętu mechanicznego, co prowadzi do nierównomiernego dozowania środków ochrony roślin,
- f) zaniedbania w zakresie techniki stosowania i bezpieczeństwa pracy przy prowadzeniu zabiegów.

W miastach ujemny wpływ na gleby i zieleń wywiera stosowanie dużych ilości soli używanej do usuwania śliskości z ulic i chodników.

W wyniku sztucznego nawodnienia gleb powiększa się areał gleb zasolonych, wskutek zwiększonego parowania i nadmiernej transpiracji roślin na tych polach. Zbyt wysokie nagromadzenie soli w glebie czyli jej nadmiar powoduje giniecie roślin oraz zachwianie równowagi między makro – i mikroelementami. Straty w plonach z gleb częściowo zasolonych sięgają 40 – 60 % np. w Kłodawie [22]. Nieoczyszczone ścieki przemysłowe mogą spowodować zasolenie, a nawet zatrucie gleb przy ich użyciu do nawożenia gleb. Wokół odpadów paleniskowych, wysypisk komunalnych itp. pojawiają się też obszary zasolone. Czynnikiem zatruwającym gleby są rosnące ilości pyłów i gazów emitowanych przez przemysł. W okręgach przemysłowych objawem zatrucia gleb jest tworzenie się nadkładowej próchnicy butwinowej, nawet przy odczynie obojętnym gleb. Zaznacza się zahamowanie działalności organizmów glebowych rozkładających substancję organiczną [22]. Wzrost emisji pyłów i gazów zagraża powierzchni gleb uprawnych i terenów leśnych. Zanieczyszczenie powietrza oddziałuje na powierzchnię ok. 1 mln. ha gleb i może wzrosnąć. Emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych powoduje charakterystyczne ilościowe i jakościowe zamiany w glebie, i tym samym wpływa na kierunek podstawowych procesów biologicznych. Początkowe oddziaływanie zanieczyszczeń zmniejsza zdolność produkcyjną gleby (degradacja względna), a przy długotrwałej akumulacji zmienia ją w całkowity nieużytek (degradacja rzeczywista). Zanieczyszczenia z powietrza zostają bezpośrednio doprowadzone do gleby. Początkowo akumulowane na powierzchni gleby związki chemiczne wywołują spadek plonów, występowanie chorób roślin lub zmiany na powierzchniach roślin. Zmiany w glebie stają się widoczne, gdy nastąpi zupełnie zniszczenie roślinności wyższej i zmiana gleby w nieużytek. Główne źródła zanieczyszczeń atmosfery i pośrednio gleb stwarzają: energetyka i górnictwo, hutnictwo żelaza i metali nieżelaznych, zakłady chemiczne i materiałów budowlanych. Energetyka i górnictwo to głównie koksownie i ciepłownie emitujące gazy i pyły. Z gazów wprowadzane są do gleby lotne związki siarki (SO_2) i związki fluoru (HF). Jako pyły dostają się do gleby związki krzemu i metali: Zn, Cu, Pb, Mg i Cd, które w małych ilościach działają stymulująco na wzrost roślin, w większych zaś trująco. SO_2 ulega w powietrzu utlenianiu do SO_3 i powstania kwasu siarkowego H_2SO_4 pod wpływem katalizującego działania światła słonecznego i śladów tlenków metali. Kwas siarkowy (nawet przy małym stężeniu) wpływa negatywnie na migrację jonów w

glebie i zakłóca obieg składników pokarmowych w roztworze i kompleksie glebowym. Wzrasta kwasowość gleby, a wolne lub wymienne zasady ulegają związaniu w trudno rozpuszczalne siarczany. Gleba jest zubożona w składniki pokarmowe. W pyłach, o różnym składzie, przeważają związki krzemu SiO_2 co powoduje, że w okolicach przemysłowych zwiększa się udział frakcji piaskowej w glebach. Pyły ze spalania węgla kamiennego mogą reagować w glebie alkalicznie, obojętnie lub kwaśno. Wpływają one na właściwości chemiczne i fizyczne gleb, powodując zaszlamowanie wierzchniej warstwy gleby i jej utwardzenie pod wpływem wód opadowych. W wyniku wieloletniego działania gazów i pyłów na gleby leśne następuje obniżenie odczynu warstw wierzchnich gleby i głębszych. W środowisku kwaśnym pierwiastki śladowe stają się formami rozpuszczalnymi, podlegają sorpcji w powierzchniowej warstwie gleby i oddziałują toksycznie na rośliny [22]. Fluor dostaje się do gleby z emisji gazów przez huty aluminium i związany jest z frakcją koloidalną. Występuje w formie związków nieprzyswajalnych dla roślin (HF , KF , CaF_2), zwłaszcza przy pH gleby ponad 6,5. W glebach piaszczystych fluor jest wymywany w głąb profilu i powstają rozpuszczalne fluorokrzemiany. W kwaśnym środowisku F działa toksycznie na rośliny. W Górnośląskim Okręgu Przemysłowym i okolicy Konina – Huty Aluminium stwierdzono zawartość fluoru w glebach 58 mg/100g, a w glebach naturalnych nie zdegradowanych jego ilości wynoszą kilka mg/100 g [22].

Huty żelaza emitują związki siarki (produkcji 1 tony stali towarzyszy emisja 10 kg SO_2) oraz pyły o właściwościach alkalicznych (Ca, Mg, K, Na), oraz znaczne ilości mineralnych związków azotu. W glebach w pobliżu hut żelaza stwierdza się duże ilości Fe, Mn i Al, zwłaszcza w warstwach wierzchnich gleb. Gleby te mają też skłonności do zasolenia. W dużych ilościach pierwiastki te powodują zatrucia drobnoustrojów glebowych. Huty metali nieżelaznych emitują duże ilości Zn, Pb, Mg, Al, Cu, Cd, Na i Ca. Huty miedzi w okolicy Głogowa wywołują trwałą degradację. Zawartość Cu, Zn i S przekracza często 100 razy, a miedzi Cu nawet 500 razy koncentrację w glebach nie skażonych. Gleba jest pozbawiona roślinności i narażona na erozyjną działalność wodną, powstają erozyjne żłobiny do głębokości 1 m. Produkty żywnościowe z terenów narażonych na emisję z hut metali nieżelaznych wykazują wysokie zanieczyszczenia. Zawartość kadmu Cd jest 220 razy większa niż w środowisku naturalnym, cynku Zn 165 razy, ołowiu Pb 134, miedzi 21, niklu 12, fluoru 31, toru 23, uranu 2,4 razy większa niż w roślinach kontrolnych nie zanieczyszczonych. Do produktów żywnościowych przenikają ze skażonego środowiska głównie pierwiastki śladowe, promieniotwórcze (ze spalania węgla i produkcji

nawozów fosforowych), substancje szkodliwe w rodzaju plastyfikatorów, pigmentów, barwników, składników tworzyw sztucznych, materiałów konstrukcyjnych itp. Zatrucia tymi substancjami wywołują większość chorób cywilizacyjnych: układu krążenia, chorób nowotworowych, psychicznych, alergii itp.

Zakłady chemiczne emitujące azot działają głównie na tereny rolnicze i leśne. Azot działa stymulująco na rośliny do pewnej granicy, w nadmiarze działa toksycznie. Wywołuje on eutrofizację wód powierzchniowych. Leśne obszary ulegają zmianom pod wpływem nadmiaru azotu.

Gazy: SO_2 , CO , H_2S , F , HCl i NO_2 działają zawsze ujemnie na gleby i rośliny. Wywołują one zakwaszenie gleb sąsiadujących ze źródłem emisji. W tych glebach jest małe stężenie P, K a duże N i C oraz Fe i Al. Pyły z zakładów chemicznych działają przeważnie zakwaszająco. Pyły, które działają groźnie na gleby, są to związki siarki, chloro pochodne oraz Pb, Cd i Zn. Przemysł materiałów budowlanych emituje pyły wapienne. Głównym źródłem zanieczyszczeń są cementownie. Pyły z cementowni zawierają związki Ca, Si, Al, Mg i K, z niewielką ilością metali ciężkich [22]. Mają one odczyn alkaliczny, uszkodzają liście i zmniejszają asymilację zatykając szparki liści. W dalszej odległości od cementowni pyły zmniejszają kwasowość gleby, powodując neutralizację gleby. W bezpośrednim sąsiedztwie cementowni nadmierna alkaliczność gleb, spowodowana pyłami, może być szkodliwa, z powodu zmniejszenia przyswajalności fosforu. W wyniku długotrwałego działania pyłów cementowych stwierdzono wzrost odczynu gleb z pH 5,5 do 7,8. Skażenie gleb następowało też po awarii reaktorów atomowych. Opady radioaktywnego pyłu zawierającego Sr^{90} , J^{131} lub cezu (Ce^{134} i Ce^{137}) obserwowano po awarii w Czarnobylu w 1986 r. Sr^{90} , o czasie połowicznego rozpadu 28 lat, zachowuje się jak Ca, przechodzi do organizmu i odkłada się w tkankach (szpik kostny). Gleby kwaśne torfiaste zawierają duże ilości Sr z powodu dużej pojemności sorpcyjnej. Pośrednio przez trawy Sr dostaje się do mleka zwierząt, a z nim do organizmu człowieka i może wywołać białaczkę. Skażenie cezem (Ce^{134} , Ce^{137}) o okresie połowkowym 30 lat, stwierdzono w rejonach podgórskich i środkowo – wschodniej Polski [22].

4.8. Ubytki gleb z powodu wyłączenia z produkcji rolniczej.

Nieodwracalne ubytki gleb wraz z dużą ich dewastacją następują wskutek przejmowania dużej powierzchni użytków rolnych na cele nierolnicze, jak: pod budownictwo mieszkaniowe, obiekty przemysłowe, przez górnictwo odkrywkowe i podziemne, pod ośrodki rekreacyjne, szlaki komunikacyjne, lotniska i inne cele, nie związane z produkcją

rolną. Ubytki gleb z tego powodu wynosiły w Polsce: w 1980 r. – 16 281 tys. ha, w 1985 r. – 7686 tys. ha, w 1986 r. – 7710 tys. ha, w 1993 r. – 7683 ha. W 1993 obszary zdewastowane i zdegradowane zajmowały ok. 89 tys. ha. Powierzchnie te są wyłączone z użytkowania rolniczego wskutek działania lejów depresyjnych kopalń, lub zawodnienia na terenach górniczych, składowania toksycznych odpadów przemysłowych oraz zakładania wysypisk odpadów miejskich. Zajmują one duże powierzchnie gleb uprawnych i stwarzają trudności w ich zagospodarowaniu. W wyniku rekultywacji w 1993r. powierzchnia gruntów zdegradowanych uległa zmniejszeniu o ok. 1 tys. ha. Nadal ubytek użytków rolnych w Polsce jest bardzo wysoki (tab.4.6).

W latach 1946 – 1970 obszar użytków rolnych zmniejszył się o 883 tys.ha tj. o 4,3 % powierzchni uprawnej, w latach 1970 – 1986 dalszych 684 tys.ha czyli 3 % wyłączono z produkcji rolnej. Z tej powierzchni ok. 2/3 zalesiono, a 1/3 przekazano pod zabudowę, kopalnictwo surowców, drogi, linie kolejowe itp. W latach 1970 – 1986 powyżej 128 tys.ha powiększyło obszar nieużytków [22]. W wyniku odkrywkowej eksploatacji kopalni powierzchnia gruntów przekształconych wynosi ponad 34,6 tys.ha. Należy przeprowadzić rekultywację nieużytków rolnych i po przemysłowych na powierzchni ok. 90 tys.ha (tabela 4.7).

Po II wojnie światowej powierzchnia lasów w Polsce wzrosła z ok. 21 % do 27,6 %. Liczba ludności wzrastała o 0,8 % rocznie i żywność musiała być produkowana nie tylko na najlepszych glebach, ale i na słabszych gruntach, których jest więcej niż połowa wszystkich użytków rolnych. W 1928 roku na jednego mieszkańca Polski przypadało 0,95 ha użytków rolnych, w 1985r. tylko 0,50 ha, w 1990r. – 0,49 ha przy liczbie ludności ponad 39 mln (tabela 4.8).

Przy przeznaczeniu gleb na cele nierolnicze należy przeznaczać grunty nieproduktywne, piaszczyste mało żyzne. Gleby rolnicze i leśne trzeba chronić, stosować rekultywację gleb zdegradowanych i przeznaczyć jak najwięcej obszarów na potrzeby produkcji rolniczej i leśnej. Trudno liczyć na uzdrowienie gleb zatrutych lub całkowicie zdegradowanych. Przy przejmowaniu gleb na cele nierolnicze należy osobno zdejmować warstwę humusu i osobno ją składować, by później przeznaczyć ją do użytkowania gleb słabych lub rekultywowanych.

Stan i zmiany w kierunkach wykorzystania powierzchni kraju [22].

Tabela 4.6

Wyszczególnienie	1980 r.	1992 r.
------------------	---------	---------

	Ogółem w tys. [ha]	w [%]	Na 1 mieszk. w [ha]	Ogółem w tys. [ha]	w [%]	Na 1 mieszk. w [ha]
Powierzchnia ogólna w tym:	31 268	100	0,88	31 269	100	0,82
Użytki rolne	19 102	61,1	0,54	18 741	59,9	0,49
Lasy i zadrzewienia	8 754	28,0	0,25	8 906	28,5	0,23
Wody	814	2,6	0,02	828	2,6	0,02
Użytki kopalne	37	0,1	0,00	43	0,1	0,00
Tereny: Komunikacyjne	958	3,1	0,03	994	3,2	0,03
Tereny osiedlowe	840	2,7	0,02	971	3,1	0,03
Nieużytki	477	1,5	0,01	505	1,6	0,01
Degradacja gruntów	Bardzo duża i duża		Mała i	Średnia	Zagro- żenie gruntu degra- dacją	
	w tys. [ha]	w [%]	w [tys.]	w [%]	w tys. [ha]	w [%]
Obszar Polski	151,6	0,5	689,1	2,2	3976,7	12,5

Grunty zdewastowane i zdegradowane wymagające rekultywacji i zagospodarowania oraz grunty zrehabilitowane i zagospodarowane, wg [22].

Tabela 4.7

Grunty	1980 pow. w [ha]	1990 pow. w [ha]	1992 pow. w [ha]
Zdewastowane i zdegradowane	109 260	93 679	90 789
Zrehabilitowane (w ciągu roku)	4 424	2 665	2 173
Zagospodarowane (w ciągu roku)	4 332	2 264	1 295

Obszar użytków rolnych na 1 mieszkańca Polski wg [22].

Tabela 4.8

Lata	Ludność kraju	Użytki rolne na 1 mieszkańca (ha)	W tym gleby orne (ha)
1958	28 000 000	0,70	0,55
1969	32 671 000	0,59	0,46
1980	35 377 000	0,53	0,42
1985	37 500 000	0,50	0,40
1992	39 000 000	0,49	0,39

4.9. Rolnictwo konwencjonalne i alternatywne (ekologiczne i integrowane).

Wskutek pogłębiającej się degradacji chemicznej gleb w naszym kraju i pojawieniem się produktów rolnych, zawierających często związki o charakterze toksycznym, wzrasta zainteresowanie i zapotrzebowanie społeczeństwa na żywność o dobrych parametrach jakościowych. Dotychczasowe konwencjonalne (intensywne) rolnictwo o wysokich efektach produkcyjnych (zwłaszcza Zachodniej Europy), wymaga wysokiego zaangażowania energii i przemysłowych środków produkcji. Stosuje się głęboką orkę pól. Te intensywne gospodarstwa specjalizują się w uprawie jednej lub kilku gatunków roślin – monokultur. Przy takiej uprawie roślin jako zabiegi pielęgnacyjne stosuje się tylko chemiczne środki ochrony roślin [22].

Stosuje się intensywne nawożenie mineralne (NPK), ale nie dodaje się mikroelementów i magnezu. Najwięcej stosuje się nawozów azotowych, a nadmiar azotu w glebie pogarsza jakość roślin i powoduje zatrucie wód. Część gospodarstw rolnych nie ma inwentarza żywego, gdyż zajmują się tylko produkcją roślinną. Taki rodzaj gospodarki rolnej stwarza zagrożenie ekologiczne i zdrowotne środowiska. Odmiennym typem gospodarowania może być rolnictwo ekologiczne (organiczne) i rolnictwo integrowane. Rolnictwo ekologiczne lub organiczne dąży do wytworzenia produktów rolnych o lepszych parametrach jakościowych, w tym smakowych. Produkty żywnościowe winny zawierać duże ilości witamin, białka, cukrów i dłużej się przechowywać. Zawartość szkodliwych związków (metali ciężkich, azotanów, azotynów i pozostałości pestycydów) powinna być znacznie niższa od dopuszczalnych norm. Produkty żywnościowe, po badaniach czy spełniają odpowiednie wymogi zdrowotne, otrzymują atest dopuszczalności i jednocześnie podlegają stałej kontroli. Podstawowe zasady produkcji żywności w gospodarstwach ekologicznych są następujące:

- nie stosuje się do nawożenia gleb nawozów mineralnych,

- nawożenie gleb wyłącznie przy użyciu kompostów i obornika wytworzonego we własnym gospodarstwie,
- obniżenie kwasowości gleby uzyskuje się za pomocą mączki wapiennej ze zmielonych skał wapieni i dolomitów,
- nie stosuje się chemicznych środków ochrony roślin,

- zwalczanie chwastów następuje za pomocą metod mechanicznych, a podstawą odporności roślin na choroby jest stosowanie odpornych roślin uprawnych,
- stosuje się biologiczne metody walki ze szkodnikami roślin,
- gospodarstwa rolne mają charakter wielokierunkowy z dużą obsadą kilku gatunków zwierząt,
- gospodarstwa posiadają trwałe użytki zielone do utrzymania stada zwierząt.

Rolnictwo ekologiczne można organizować na terenach chronionych parków krajobrazowych, w rejonach uzdrowisk ponieważ takie gospodarstwa nie powodują skażeń środowiska przyrodniczego. Rolnictwo integrowane stanowi połączenie nowoczesnej technologii ze zrównoważonym korzystaniem ze środowiska przy stosowaniu w ograniczonym zakresie chemizacji. Ten kierunek gospodarowania powinien być dominujący w polskim rolnictwie ze względu na przewagę małych i średnich gospodarstw. Dominującą formą nawożenia gleb są nawozy organiczne, a nawożenie mineralne uzupełnia tylko nawożenie organiczne. Niszczenie chwastów następuje za pomocą metod mechanicznych. Metody biologiczne są stosowane do niszczenia szkodników roślin. Rolnictwo integrowane ma formę wielokierunkową: roślinną i zwierzęcą. Opiera się na bazie paszowej własnego gospodarstwa, wykorzystując łąki i pastwiska. Ten rodzaj gospodarowania zapewnia uzyskanie zdrowej żywności. Wskutek zagrożeń przy produkcji żywności na glebach chemicznie zanieczyszczonych należy realizować restrukturyzację rolnictwa zgodnie z polityką ekologiczną państwa. Należy dostosować użytkowanie gruntów rolnych do miejscowych warunków środowiska. Na obszarach skażonych chemicznie nie należy produkować żywności lecz specjalne uprawy przemysłowych roślin. Zdrową żywność należy też produkować na terenach chronionych, na terenach przyjeziornych i dolin rzecznych. Należy tam zastępować rolnictwo konwencjonalne rolnictwem ekologicznym, usytuowanym na terenach nie zdegradowanych lub słabo zdegradowanych. Restrukturyzacja rolnictwa powinna uwzględniać zmianę technologii i organizacji wytwarzania produktów rolnych. Produkty żywnościowe winny być o najmniejszym stopniu

zanieczyszczenia i należy je poddawać stałej kontroli. Winny być wyznaczone zwarte obszary ekologiczne, gdzie występują warunki do produkcji „zdrowej żywności”. Określić trzeba dla nich zasady nawożenia i stopień skażenia gleb. Odrębnie należy ustalić zasady produkcji rolnej na terenach zdegradowanych, wyznaczyć na nich strefy zagrożenia produktów rolnych, zasady nadzoru w zakresie produkcji żywności, ustalić normy branżowe dla oceny zagrożeń i ustalić zasady przeciwdziałania negatywnym skutkom degradacji gleb (ustalić warunki wapniowania gleb, nawożenia, upraw specjalnych gatunków roślin itp.).

4.10. Wpływ środowiska glebowego na zdrowie człowieka.

Prawidłowy rozwój organizmu ludzkiego, podobnie jak roślin i zwierząt, jest uzależniony również od struktury i składu gleby. Wraz z pożywieniem roślinnym i zwierzęcym otrzymujemy odpowiednią ilość wysoko kalorycznych odżywczych składników, jak: białka, tłuszcze i węglowodany, określonych ilości witamin i substancji mineralnych, niezbędnych do budowy komórek i tkanek. Jakościowy i ilościowy skład substancji organicznych i mineralnych danej gleby, poprzez rośliny, mięso, produkty zwierzęce, wodę przechodzi do człowieka. Wraz z pożywieniem człowiek pobiera składniki zarówno korzystne jak i niekorzystne dla swojego rozwoju. Pierwiastki śladowe biorą udział w procesach biochemicznych, regulują ciśnienie osmotyczne, wchodzą w skład licznych związków organicznych. Te pierwiastki śladowe (mikroelementy) są składnikami białka, enzymów, hormonów i witamin; a ich znaczenie dla zdrowia jest często decydujące. Najczęściej niedobór mikroelementów zaznacza się w pożywieniu roślinnym wyprodukowanym na glebach ubogich w pewne mikroelementy.

Niektóre mikroelementy są toksyczne i są to przeważnie pierwiastki metali ciężkich. Zatrucia mikroelementami pojawiają się wskutek zanieczyszczenia gleb i roślin pyłami przemysłowymi, a przy spożyciu pożywienia następuje zbyt duża akumulacja tych pierwiastków w organizmie. Rola fizjologiczna pierwiastków śladowych jest różna, określenie ich zawartości w pożywieniu nie jest łatwe, zwłaszcza ustalenie zapotrzebowania organizmu na określony mikroelement. Nie ustalono dotąd, w postaci jakich soli, organicznych czy nieorganicznych są te pierwiastki przyswajane przez organizm. Podział mikroelementów na niezbędne i szkodliwe dla zdrowia zmienia się w miarę badań naukowych. Niektóre uznano za zdecydowanie szkodliwe, inne za niezbędne w ilościach śladowych.

Pierwiastki uznane za szkodliwe mogą w pewnych ilościach być tolerowane przez organizm. Zaliczono do nich kadm, arsen, ołów i rtęć (Nikonorow, [26]). Za niezbędne pierwiastki dla organizmu człowieka

uznano: fluor, jod, cynk, cynę, chrom⁺³, kobalt, wanad, mangan, miedź, molibden, selen, nikiel. Niektóre z nich są stałymi składnikami organizmów żywych; w odpowiednich ilościach pełnią one rolę aktywatorów układów enzymatycznych. Za niebezpieczne dla człowieka uznano te metale, które wiążą się z grupami sulfhydrołowymi enzymów, powodując ich dezaminację lub z grupami karboksylowymi aminokwasów, hamując normalną pracę organizmu i powodują schorzenia. Obecnie do niezbędnych mikroelementów zalicza się: kobalt, miedź, cynk, mangan, molibden, jod, selen, nikiel.

Kobalt (Co) jest składnikiem witaminy B, która uczestniczy w powstawaniu krwi. Wiąże się w organizmie z białkiem, aminokwasami, występuje w białku mleka, insulynie, a najczęściej Co wykazuje trzustka, wątroba i szpik kostny. Jony Co aktywują działalność różnych enzymów, zmniejszają poziom cukru we krwi. Jego brak wywołuje anemię, spadek ciężaru ciała, zmniejszenie liczby erytrocytów we krwi.

Miedź (Cu) występuje we wszystkich tkankach w różnych ilościach. Uczestniczy w procesach oddychania tkankowego i procesach oksydo – redukcyjnych jako jon jedno – i dwuwartościowy. Wchodzi w skład enzymów oksydazy kwasu askorbinowego, laktazy, tyrozynazy oraz enzymów przemiany węglowodanów i tłuszczów. Większą ilość miedzi we krwi stwierdza się przy chorobach infekcyjnych, schizofrenii, epilepsji i chorobach tarczycy. Miedź jest zmagazynowana głównie w wątrobie, śledzionie, szpiku kostnym i nerkach, co może prowadzić do zatrucia jej nadmiarem. Dla uniknięcia zatrucia stosuje się podawanie cynku. Prawdopodobnie miedź hamuje proces nowotworowy organizmu. [26].

Cynk (Zn) jest składnikiem komórek organizmów żywych. Jest on częścią składową hormonu insuliny i kilku enzymów. Duża ilość Zn w trzustce działa stymulująco na produkcję insuliny. Enzymy zawierające Zn uczestniczą w metabolizmie białek, węglowodanów (dehydrogenazy, peptydazy, transfosforylasy) i aktywuje działanie wielu enzymów. Badania na zwierzętach wykazały, że niedobór cynku wpływa na czynność serca, wywołuje zapalenie i pęknięcie skóry, powiększenie węzłów limfatycznych, schorzenie nerek i wątroby. Cynk jest antagonistą miedzi i jego nadmiar wypiera miedź z połączeń w organizmie i środowisku. Wywiera on toksyczny wpływ na komórki i sprzyja rozwojowi chorób nowotworowych. Zanieczyszczenie gleby i roślin pyłami cynku z przemysłu wpływa ujemnie na zdrowie ludzi, zwierząt i roślin.

Mangan (Mn) jest aktywatorem wielu enzymów jak proteinaz, peptydaz i arginaz. Niedobór powoduje schorzenia układu kostnego, zaburzenie rozrodczości i depigmentację włosów.

Molibden (Mo) koncentruje się głównie w wątrobie, nerkach i korze mózgowej, spełnia rolę koenzymu wielu enzymów. Jego nadmiar wywołuje niedobór miedzi i schorzenie organizmu.

Jod (J) gromadzi się w gruczole tarczycowym, w śliniankach i w żołądku; współuczestniczy w budowie hormonu tyroksyny. Tyroksyna wpływa na wzrost, dojrzewanie i przemianę węglowodanów. Hormony tarczycy biorą udział przy dezaminacji aminokwasów. Brak jodu lub przy małej zawartości w glebie i w wodzie objawia się m.in. chorobą "endemiczne wole".

Selen (Se) jest istotny dla zdrowia ale nadmiar w organizmie jest trucizną. Pożywienie bogate w białko sprzyja jego wchłanianiu, węglowodany zaś utrudniają. Siarka i arsen zapobiegają zatruciu organizmu przez selen. Bywa nazywany "strażą pożarną organizmu".

Nikiel (Ni) wpływa na procesy utleniania i przemianę węglowodanów. Nadmiar powoduje schorzenia oczu.

Chrom (Cr), szkodliwość jego zależy od wartościowości. Najbardziej szkodliwe są związki sześciowartościowe. Chrom trójwartościowy Cr^{+3} pobudza proces metabolizmu cukrów w organizmie. U ludzi zdrowych stwierdza się stały poziom Cr we krwi co wskazuje na prawidłową gospodarkę cukrami. Dieta ludzi starszych winna być wzbogacona w chrom. Ilość jego nie powinna przekraczać normy $0,01 \text{ mg Cr}^{+3}/\text{dm}^3$. Zwiększenie koncentracji arsenu w organizmie koreluje z większą zachorowalnością na nowotwory i zawały u ssaków, zaś przy prawidłowych ilościach zmniejsza się ilość chorób nowotworowych. Niższa koncentracja selenu we krwi ludności na określonych terenach uważana jest za przyczynę chorób nowotworowych. Wysokie wskaźniki zachorowań na miażdżycę, w niektórych okolicach, są związane ze strukturą gleb o małej zawartości magnezu. Szczury żywione karmą bezmagnezową miały mięsaki grasicy i białaczki limfatycznej lub szpikowej. Bardzo ciekawą książką o wpływie pewnych witamin i mikroelementów na zdrowie ludzi jest publikacja J. Aleksandrowicza, I. Gumowskiej "Kuchnia i medycyna" [1]. Środki spożywcze wykazują obecność wielu metali o działaniu toksycznym, jak: Hg, Cd, Pb, As, Cu,

Zn. Wspomnieć należy o poglądzie słynnego szwajcarskiego lekarza Paracelsusa żyjącego w latach 1493-1541, który stwierdził, że tylko "ilość decyduje o tym, czy działa środek leczniczo czy trująco". Spożycie małej łyżeczki soli kuchennej NaCl przez dorosłych nie powoduje, żadnej szkodliwej reakcji, ale spożycie jej przez małe dziecko (niemowlę) wywoła u niego gorączkę (39 – 40°C), zaś jednokrotne spożycie przez dorosłych dawki 220 g soli wywoła śmierć organizmu. Niestety artykuły żywnościowe są zanieczyszczone pestycydami, które przy dłuższym wprowadzaniu do organizmu wywierają działanie toksyczne. Związki fosforoorganiczne stosowane w rolnictwie wywołują patologiczne zmiany w układzie nerwowym. Są to ciężkie i nieodwracalne uszkodzenia. Chlorowane węglowodory (grupa pestycydów) dostają się drogą pokarmową, drogami oddechowymi i przez skórę (zwłaszcza spoconą), trudno ulegają przemianom metabolicznym i kumulują się w tkance tłuszczowej, wątrobie, mózgu i sercu. W Polsce i w innych krajach znaleziono w tkance tłuszczowej zwierząt i ludzi oraz w produktach żywnościowych następujące ilości DDT, podane w ppm (mg/kg) [26]:

- tkanka tłuszczowa ludzi w Polsce	8,8 – 12,7
- mleko krowie pełne	0,02 – 0,026
- żółtko jaj	1,5 - 1,72
- tłuszcz wieprzowy	1,52 – 2,22
- ryby z jezior	0,48 – 0,63

Ustala się dopuszczalne dzienne pobranie (DDP) pestycydów przez człowieka, czyli taką maksymalną ilość substancji w mg/kg ciała, jaką człowiek może przyjmować przez całe życie, codziennie z pożywieniem bez obawy wystąpienia objawów chorobowych. Komitet ekspertów z międzynarodowej organizacji FAO/WHO ustalił wartości DDP (w mg/kg ciężaru ciała) – [26]:

DDT – 0,005	2,4 D – 0,3
Kapton – 01	ferbam, ziram – 0,005
Karbaryl – 0,02	maneb, zineb – 0,005
Lindan – 0,0125	malation – 0,02

Dla porównania podajemy zawartość pestycydu malation (w mg/kg) w warzywach szklarniowych:

Szczypior – 0 – 22, nać pietruszki 0 – 12,5, sałata 0 – 17,5, koper 0 – 10. Chociaż nawozy mineralne nie są truciznami, jednak ich nadmiar pogarsza jakość plonów. Przy dużym zakwaszeniu gleb i małym nawożeniu organicznym dochodzi do negatywnego działania nawozów.

Przy przewadze potasu nad magnezem w glebie dochodzi do chorób zwierząt, a przy przewapnowaniu (związkami wapnia) gleb następuje chloroza liści, wskazująca na niedobór magnezu lub żelaza w glebie. Z kolei nawozy fosforowe i potasowe, uodporniają rośliny na choroby. Duże dawki nawozów azotowych stosowane do roślin pastewnych (NH_4^+ , NO_3^-) są szkodliwe dla zwierząt, zaś warzywa nawożone krótko przed spożyciem są szkodliwe dla ludzi. Za górną granicę, ilości azotanów w pokarmach przyjęto 250 mg/kg świeżej masy. Niska powinna być zawartość azotanów w warzywach przewidzianych dla niemowląt, gdyż istnieje niebezpieczeństwo methemoglobinemii [26].

4.11. Pestycydy

Chemiczne środki do ochrony roślin przed szkodnikami i pasożytami nazywamy pestycydami, i nie powinny stwarzać zagrożenia dla człowieka, zwierząt domowych, roślin uprawnych i otaczającej fauny. Postulaty te nie są realizowane w praktyce. Sposoby złagodzenia lub zneutralizowania ich toksycznego działania na środowisko nie zostały rozwiązane. W glebie zachodzi koncentracja pestycydów zależnie od ich trwałości i pojemności kompleksu sorpcyjnego gleby. Niektóre pestycydy przebywają w glebie wiele lat. Według ich zastosowania dzielimy pestycydy na:

1. Zoocydy – działające trująco na zwierzęta
2. Fungicydy – środki grzybobójcze i grzybostatyczne,
3. Regulatory wzrostu roślin – trujące dla rośliny,
4. Herbicydy – działające na wzrost roślin,
5. Atraktory – środki zwabiające,
6. Repelenty – środki odstraszające [22].

Toksyczność pestycydów określa się wielkością dawki śmiertelnej DL_{50} . Jest to ilość substancji w pokarmie wyrażona w mg/kg masy ciała zwierzęcia, która zabija 50 % badanych zwierząt, głównie szczurów przy doustnym podaniu pestycydu (p.o.) – “per os”.

Pestycydy dzieli się na 5 klas toksyczności.

Tabela 4.9

Klasa toksyczności	Określenie toksyczności	DL_{50} mg/kg masy
I	Trucizny	Poniżej 50
II		51-150
III	Środki szkodliwe	151-500
IV		501-5000
V	Środki praktycznie nieszkodliwe dla człowieka	Ponad 5000

Kumulowanie się pestycydów w organizmie człowieka określa się na podstawie pozostałości (tolerancja) i okresu karencji.

Tolerancja są to dopuszczalne ilości pestycydu, które bez szkody dla organizmu ludzkiego mogą pozostać w produktach spożywczych. Podaje się wartości w mg/kg lub w ppm (1 część na milion).

Okres karencji oznacza czas, jaki musi upłynąć między zastosowaniem pestycydu, a zbiorem traktowanych nim roślin. Po okresie karencji pestycyd, ulega rozkładowi na substancje nieszkodliwe dla organizmów - stało ciepłych.

4.11.1. Zoocydy.

Dzielimy je na:

- a) insektycydy – środki owadobójcze,
- b) akarycydy – środki niszczące pajęczaki,
- c) nematocydy – środki nicieniobójcze,
- d) moluskocydy – środki ślimakobójcze,
- e) rodentocydy – środki gryzoniobójcze.

Zoocydy dzielimy zależnie od sposobu działania. Zatrucie w wyniku przedostania się zatrutego pokarmu do przewodu pokarmowego człowieka oznacza działanie wewnętrzne lub żołądkowe. Inne zoocydy wnikają poprzez drogi oddechowe (przetchlinki, tchawki). Związki działające kontaktowo wnikają przez naskórek powodując paraliż układu nerwowego i zmiany w układzie enzymatycznym.

Do zoocydów należą związki:

- 1) Nikotynoidy – insektycydy pochodzenia naturalnego, roślinnego otrzymywane przez ekstrakcję z roślin Nicotiana i psiankowatych. Należą do nich: nikotyna (o dawce śmiertelnej dla człowieka 60 mg/kg, piretryny, retenon i anabazyna.
- 2) DDT – w Polsce znany jako Azotox.
- 3) HCN, Linda o nazwach Mglawik L., Owadziak, Pędraczak, Lasochron.
- 4) Toksafen o nazwach Melipax, Toxaphene 50.
- 5) Metoksychlor o nazwie Metox płynny, Muchozol extra – stosowany do zwalczania w zamkniętych pomieszczeniach: komarów, pluskiew, karaczanów, much i innych.
- 6) Chlorfenwinfos o nazwie handlowej Sapecron 50 EC.
- 7) Dichlorofos o nazwach Szklarniak, Winylofos płynny 50.
- 8) Metoloparatın – nazwa Wofotox, Owadofos płynny 50.
- 9) Malation – nazwa Sadofos.
- 10) Karbaryl – nazwa Karbatox, Gamakarbatox
- 11) DNOC – nazwa Nitroson, Krezotol sodowy 50

12) Inhibitory biosyntezy chityny – wywołują zaburzenia w linieniu larw stonki, które nie mogą się odżywiać i przekształcać się w dorosłe osobniki.

Środki gryzoniobójcze (rodentocydy) stosowane często do zwalczania szczurów i nornic. Należą do nich:

13) Ceder – glikozyd otrzymuje się z cebuli morskiej

14) Fosforek cynkowy Zn_3P_2 – ziarno zatrute o barwie czerwonej, silna trucizna dla ludzi i zwierząt.

4.11.2. Fungicydy – środki grzybobójcze.

Są to substancje niszczące lub hamujące wzrost i rozwój grzybów i bakterii wywołujących choroby roślin. Wyróżnia się fungicydy – tj. środki grzybobójcze i bakteriocydy – środki do zwalczania chorób pochodzenia bakteryjnego.

Fungicydy mogą działać: ochronnie, wyniszczające, ochronno – wyniszczająco i terapeutycznie (lecniczo).

Fungicydy ochronne działają zabójczo niszcząc lub hamując rozwój zarodników i grzybni na powierzchni roślin. Fungicydy wyniszczające wnikają na pewną głębokość do tkanek rośliny i tam niszczą rozwijającego się patogena tj. czynnik chorobotwórczy wraz z zakażoną tkanką roślinną. Fungicydy ochrono – wyniszczające stosuje się zapobiegawczo przed zakażeniem roślin, interwencyjnie – w czasie zakażenia lub bezpośrednio po zakażeniu oraz jako środek wyniszczający po inkubacji tj. od okresu zakażenia (infekcji) do ukazania się pierwszych widomych objawów zmian chorobowych na roślinie. Fungicydy terapeutyczne są stosowane do wyleczenia chorej rośliny. Wnikają one do tkanek rośliny, tam przemieszczają się i niszczą lub hamują rozwój organizmów fitopotogennych, bez szkodliwego wpływu na czynności życiowe rośliny.

Jako fungicydy są stosowane:

Ciecz bordoska (miedziowo – wapienna). Jest to zasadowy siarczan miedziowy $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuSO_4 . Otrzymuje się go z $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ i wapna gaszonego jako koloidalną zawiesinę. Stosowana jest do ochrony przeciw mączniakom i w zarażeniu ziemniaka.

Tlenochlorek miedziowy (zasadowy chlorek miedziowy $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – miedzian 50. Stosowany przeciw grzybom i bakteriom fito – i patogennym, w sadach przeciw rakowi bakteryjnemu i zgniliznie drzew pestkowych.

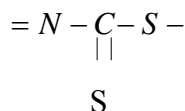
Połączenia organiczne Hg^{+2} i cyny są najliczniejszą, najważniejszą grupą fungicydów. Najsilniej toksyczne są pochodne metylowe i etylowe. Szczególnie aktywne są pochodne z ugrupowaniem = N – Hg – R.

Chlorek etylortęciowy $\text{C}_2\text{H}_5\text{HgCl}$ – zaprawa nasienna ER jest przeznaczona do zaprawiania ziarna siewnego i nasion innych roślin.

Octan fenylortęciowy – zaprawa nasienna R i RG. Toksyczny dla zwierząt i ludzi. Nie jest stosowany do zaprawy nasion motylkowych i zielarskich.

Siarka koloidalna i wielosiarczki wapnia i baru stosowano przeciw mączniakom. Wykazują działanie ochronne i wyniszczające. Wielosiarek barowy jest silnie toksyczny dla zwierząt i ludzi. W żołądku przemienia się w BaCl_2 wchłaniany przez ustrój.

Pochodne kwasu dwutiokarbaminowego mają dużą skuteczność grzybobójczą. Ugrupowanie aktywne ma wiązanie



Zaliczamy tu preparaty pochodne:

- dwualkilodwutiokarbaminian żelaza – ferban i cynku - ziram,
- sole kwasu etylenobisdwutiokarbaminowego – zineb zawierające cynk. W handlu znane jako Cynkotox, o szerokim zakresie działania,
- dwusiarczki tiuramu o nazwach Sadoplone 75 lub Zaprawa nasienna T,GT. Stosowany jako zawiesina do opryskiwania i jako zaprawa półsucha do zaprawiania nasion.

Do grupy pochodnych benzenu należą: sześciochlorobenzen (HCB) – Śnieciotox i pięciochloronitrobenzen PCNB, stosowane do zaprawiania ziaren i dezynfekcji gleby.

Fungicydy układowe są wchłaniane przez rośliny. Przemieszczają się w nich, niszcząc szkodniki na powierzchni i wewnątrz roślin. Wykazują długotrwałe działanie grzybobójcze. Są to połączenia heterocykliczne z różnymi podstawnikami w odpowiednim położeniu w pierścieniach. Należą do nich pochodne benzoimidozolu, pirymidyny i innych.

Również antybiotyki służą do zwalczania grzybów w ochronie roślin. Stosowano cykloheksamid, produkt uboczny przy produkcji streptomycyny. Związki chemiczne jak sulfoniloamidy, sulfatiazyna i inne też wykazują działanie grzybobójcze [26].

4.11.3. Regulatory wzrostu roślin.

Pewne związki chemiczne pobudzają ukorzenie się sadzonek roślin, przeciwdziałają opadaniu bądź przyspieszają dojrzewanie owoców i warzyw lub hamują wzrost roślin bez ujemnego wpływu na podstawowe procesy w roślinie. Herbicydy wykazują działanie fitotoksyczne i są stosowane do zwalczania chwastów.

Do regulatorów wzrostu roślin należą:

- 1) Kwas 3-indoliloctowy (heteroauksyna) – przyspiesza ukorzenie się sadzonek drzew owocowych, krzewów jagodowych i ozdobnych.
- 2) Kwas 1-naftyloctowy – Pomonit wpływa dodatnio na ukorzenie się sadzonek krzewów jagodowych i ozdobnych. Zapobiega opadaniu owoców. Zawiera on sól sodową kwasu: Hormonit (ester metylowy) ogranicza kiełkowanie bulw ziemniaczanych.
- 3) Etylen $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ stosowany do przyspieszania dojrzewania pomidorów, owoców cytrusowych, jabłek i brzoskwiń. Działa narkotycznie, przyspiesza procesy utleniania, zmniejsza zawartość kwasów organicznych i garbników w owocach.
- 4) Chloromekwat (chlorek chlorocholiny) zwany antywylęgaczem. Hamuje wzrost rośliny, a stymuluje wzrost jej grubości. Silnie rozwija się system korzeniowy i wcześniej dojrzewa plon. Pogrubia źdźbło zbóż (pszenicy) i zabezpiecza je przed wyleganiem.

4.11.4. Herbicydy.

Jest to grupa nieorganicznych i organicznych związków chemicznych działających fitotoksycznie na rośliny i stosowana do zwalczania chwastów roślinnych. Mogą działać na wszystkie rośliny (herbicydy totalne) i działać selektywnie tj. niszczyć tylko określone gatunki roślin np. jedno – lub dwuliścienne. Przy dużych stężeniach herbicydy selektywne działają totalnie na wszystkie rośliny. Herbicydy układowe stosowane do gleby niszczą system korzeniowy kiełkujących nasion chwastów [26]. Do herbicydów totalnych zaliczamy chlorany, arseniany, węglowodory aromatyczne, pochodne fenolu. Do herbicydów selektywnych należą pochodne kwasu fenoksyoctowego, fenoksypropionowego, hydrazyt kwasu maleinowego i inne.

Herbicydy nieorganiczne: chloran potasowy $KClO_3$, sodowy $NaClO_3$ i wapniowy $Ca(ClO_3)_2$ są herbicydami totalnymi o działaniu korzeniowym.

Herbicydy organiczne: Istnieje szereg grup wg budowy chemicznej. Pochodne fenoli: pięciochlorofenol (PCP/ $C_6Cl_5(OH)$). Stosowany do niszczenia chwastów dwuliściastych, jako defoliant, insektycyd i fungicyd do impregnacji drewna i konserwacji skór. Toksyczny dla ludzi. Dwunitroalkilofenole: dwunitronylofenol (D.N.B.P) i 2 metylo 4,6 dwunitrofenol (D.N.O.C) działają selektywnie na chwasty dwuliścienne. Wykazują wysoką toksyczność, powodują zaburzenia czynności wątroby i występowanie żółtaczki hemolitycznej.

Pochodne kwasów karboksylowych: sól sodowa kwasu trójchlorooctowego niszczy chwasty jednoliściaste. Sól kwasu dwuchlorometoksybenzoesowego niszczy chwasty dwuliścienne. Kwas trójchlorooctowy (TCA) – CCl_3COOH – nazwa – Antyperz płynny wchłaniany głównie przez korzenie, częściowo przez liście. Niszczy na ogół korzenie roślin.

2,4 – D kwas: 2,4 – dwuchlorofenoksyoctowy, o nazwie Pielik. Przenika do tkanek przez liście i przemieszcza się po całej roślinie. Objawy porażenia to nadmierny rozwój tkanek, wędnięcie i usychanie rośliny. Nie niszczy chwastów jednoliściastych MCPA kwas 4 – chloro – 2 – metylofenoksyoctowy, o nazwie Chwastox płynny. Niszczy chwasty dwuliścienne.

Pochodne tiazyny, chlorotiazyny zwalczają perz w roślinach o długim okresie wegetacji. Pochodne metylotioazyny stosowane są do odchwaszczania upraw o krótkim okresie wegetacji jak zboża, warzywa, rośliny lecznicze.

Atrazyna wnika do roślin przez korzenie i liście, zakłóca proces fotosyntezy. Rozkłada się pod wpływem mikroorganizmów. Podobne działanie wykazuje też symazyna [26].

4.12. Biologiczne metody ochrony roślin.

Szkodniki roślin można też niszczyć metodami biologicznymi używając ich naturalnych wrogów: pasożytów, drapieżców i patogenów (sprawców choroby). Niszczą one szkodniki lub zmniejszają ich liczebność. Do biologicznych czynników ochrony roślin zaliczamy też niektóre ssaki (jeże, krety, nietoperze), owadożerne ptaki, gady, płazy oraz pająki, drapieżne i pasożytnicze owady (biedronkowate, mrówki i inne). Zwierzęta niszczące owady zwiemy entomofagami. W Kalifornii użyto biedronki do likwidacji szkodników drzew cytrusowych. W Polsce wyhodowano i wypuszczono do sadów kruszywka (*Trichogramma* sp.) pasożyta jej owocówki śliwkówki i innych co spowodowało spadek

ilości szkodników i wzrost plonu zdrowych owoców. Owady ulegają różnym chorobom wywołanym przez mikroorganizmy. Bakteria *Bacillus thuringiensis* działa głównie na gąsienice motyli. Wytwarza ona w komórce wegetacyjnej zarodnik i jednocześnie kryształ zbudowany z protein działający toksycznie na organizm owadów; zakażony owad ulega zatruciu. Handlowe preparaty insektycydów produkowane są w formie do opryskiwania lub rozpylania. Stosujemy je w Polsce do ochrony kapusty przed bielinkiem i w zwalczaniu gąsienic innych szkodników.

Wirusy działają silniej od bakterii, działają one selektywnie przeciwko określonej populacji owadów.

Grzyby owadobójcze stosowane są do zwalczania szkodników szklarniowych, głównie przy hodowli warzyw.

Nicienie powodują śmierć owadów w wyniku rozmnażania się bakterii, które współżyją z nicieniami. Nowszą metodą zwalczania szkodników jest wykorzystanie feromonów tj. specyficznych lotnych substancji zapachowych, wydzielanych przez owady w wypadku znalezienia miejsca odpowiedniego do rozwoju następnego pokolenia. Zapachy te są odbierane przez osobniki danego gatunku z dużej odległości. Duża ilość owadów przylatuje do tego miejsca gdzie został wytworzony feromon i można tam ustawić odpowiednie pułapki dla owadów, po ich złowieniu można je zniszczyć. W ten sposób zniszczono w Polsce pachówkę strąkoweczki, szkodnika żerującego na plantacjach grochu. Popularną metodą zwalczania szkodników jest sterylizacja samców, przez stosowanie promieni jonizujących lub środków chemicznych i wypuszczenie ich na tereny zaatakowane przez dany gatunek owadów, co uniemożliwia ich dalszy rozwój. Olejek tymiankowy wykazuje działanie paraliżujące na owady. Olejek jałowca stosowany jest w walce z komarami i muchą domową. Do zwalczania chorób roślin wykorzystuje się antybiotyki. Moczenie nasion w roztworze streptomycyny chroni rośliny takie jak ogórki, marchew, pomidory przed bakteriami. *Tichoderma* np. produkuje antybiotyk glitoksynę, działającą grzybobójczo na grzyby innego rodzaju. Wykorzystuje się go do zwalczania zgnilizny korzeni zbóż, buraków i chorób ziemniaków, zgnilizny ogórków i innych. Do biologicznego zwalczania chwastów w roślinach uprawnych wykorzystuje się owady, żerujące na danym gatunku chwastu. Owadów żerujących na roślinach uprawnych nie można używać do zwalczania chwastów. Również mikroorganizmy znalazły zastosowanie w zwalczaniu chwastów.

4.13. Metabolizm pestycydów.

Na trwałość pestycydów w glebie wpływa wiele czynników. Najważniejszymi z nich są: struktura chemicznej substancji czynnej (najdłużej utrzymują się w glebie pestycydy chloro-organiczne), rodzaj gleby- tj. zawartość piasku, gliny, substancji organicznej i koloidów glebowych, które silnie adsorbują nierozpuszczalne w wodzie pestycydy, odczyn gleby (wartość pH): związki fosforoorganiczne są trwalsze w glebach kwaśnych niż w alkalicznych, warunki klimatyczne, jak temperatura, wilgotność, naświetlenie; przy wyższej temperaturze następuje szybsze ulatnianie się i rozpad chemiczny i biologiczny pestycydów, wilgotność gleby wpływa na związki ulegające hydrolizie, naświetlenie może powodować reakcje fotochemiczne pestycydów chloroorganicznych, karbaminianów i pochodnych kwasu fosforowego, zawartość mikroorganizmów w glebie – bakterie i grzyby zawarte w glebie – powodują metabolizm pestycydów. Dotychczas najczęściej stosowano DDT, którego w ciągu 25 lat zużyto blisko 1,5 mln ton. Do dziś spotyka się go wszędzie na kuli ziemskiej: w wodzie, w glebie, w organizmach ludzi i zwierząt, ryb, w planktonie oceanicznym. Szacuje się jego pozostałość w przyrodzie na 1 mln ton.

DDT i inne chlorowane węglowodory są związkami trwałymi i kumulują się w organizmie, zwłaszcza w tkance tłuszczowej. W glebie pod wpływem drobnoustrojów ulega metabolizmowi na DDD, a u zwierząt i owadów metabolitem DDT jest DDE. Zarówno DDE i DDD rozpuszczają się też w tłuszczach i wykryto je w roślinach. Obecnie szuka się analogów DDT zabójczych dla owadów ale łatwo rozkładalnych biologicznie. Nowsze środki walki z chwastami polegają na stosowaniu mikrofal, nieszkodliwych dla upraw zbóż, a działających na chwasty. We wczesnych fazach rozwoju chwasty mają wyższą wysokość od roślin uprawnych. Wtedy można je razić prądem elektrycznym o napięciu 3 – 10 kV. Jedna elektroda dotyka wierzchołka chwastu, druga zapewnia kontakt z ziemią [26].

4.14. Ochrona gleb w budownictwie.

Wykonując wykopy budowlane należy osobno zdjąć warstwę gleby (grubości do 50 cm), zawierającą humus i osobno ją składować. Można jej potem użyć do szybkiej rekultywacji gruntów składowanych. Osobno zdejmujemy i składowujemy grunty mineralne. Ze względów bezpieczeństwa przy wykonywaniu niewielkich przestrzennie wykopów odkład gruntów winien być po stronie nawietrznej wykopu. Przy przeważających w Polsce wiatrach zachodnich (wiejących z zachodu) wydobyty grunt składowujemy po stronie wschodniej wykopu, czyli stronie nawietrznej. Oczywiście pracownicy w trakcie wykonywania wykopu powinni znajdować się pod kontrolą i opieką osoby dozoru, aby nie

ulegli zatruciu gazami wydobywającymi się z warstw gruntu odsłanianych w wykopie budowlanym. Jeśli wykonuje się wykop na przeprowadzenie robót ulegających zakryciu np. położenie przewodów podziemnych, to do zasypania takiego wykopu używa się wydobytego wcześniej gruntu i gleby, odpowiednio je zagęszczając.

Natomiast, gdy wykop wykonywany jest dla postawienia ław fundamentowych pod przyszłą budowlę, to wydobyty grunt będzie składowany na zwałowisku zewnętrznym. Należy go wtedy rekultywować wg zasad obowiązujących przy rekultywacji zwałowisk zewnętrznych [26].

Warstwę gleby wierzchniej używa się do przywrócenia żyzności na zboczach i wierzchołku zwałowiska zewnętrznego.

4.15. Wyniki badań radioaktywności cezu – ^{137}Cs w grzybach z lasów Opolszczyzny.

Pracownicy Uniwersytetu Opolskiego przedstawili wyniki pomiarów aktywności właściwej ^{137}Cs w próbkach grzybów pobranych w 1998r. w 12 lat po awarii Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu [43]. Z badań tych wynikało, że różne gatunki grzybów wykazują różnice w zdolności do akumulacji ^{137}Cs . Najwyższą aktywność właściwą cezu stwierdzono w próbkach podgrzybka brunatnego (*Xerocomus badius*). Stężenia cezu w podgrzybku korespondują w większości przypadków z rozkładem aktywności cezu na tych terenach. Średnia aktywności ^{137}Cs w badanych próbkach podgrzybka z Opolszczyzny przewyższa ponad sześciokrotnie średnią aktywność cezu dla tego gatunku grzyba w innych częściach Polski.

W wyniku awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu wytworzone izotopy promieniotwórcze razem z opadami radioaktywnymi wnikały w powierzchniowe warstwy gleby i przenikały do roślin, uczestnicząc w łańcuchu troficznym. Do najgroźniejszych pierwiastków promieniotwórczych należały: izotopy ^{131}I , ^{90}Sr , ^{137}Cs i ^{134}Cs . Według ustaleń międzynarodowej konferencji w Wiedniu całkowita aktywność materiału radioaktywnego uwolnionego z reaktora oceniano na około $12 \cdot 10^{18}\text{Bq}$, z czego 6 do $7 \cdot 10^{18}\text{Bq}$ stanowiły gazy szlachetne. Aktywność jodu wynosiła około $3 \cdot 10^{18}\text{Bq}$. Według późniejszych ocen aktywności te wynosiły $^{137}\text{Cs} \approx 0,09 \cdot 10^{18}\text{Bq}$ i $^{134}\text{Cs} \approx 0,06 \cdot 10^{18}\text{Bq}$. Okres połowicznego rozpadu ^{137}Cs wynosi $T = 30,2$ lata a słabszego promieniotwórczego ^{134}Cs , wynosi $T = 29$ lat. Po ośmiu latach od awarii ok. 90 % całkowitej ilości cezu znajdowało się w 10-centymetrowej warstwie gleby, głównie na terenach lasów pozbawionych ingerencji

człowieka. Średnia aktywność cezu w Polsce dla podgrzybka brunatnego wynosiła w 1998r. 373 Bq/kg u świeżych grzybów. Ponieważ świeże grzyby zawierają ok. 90 % wody, więc dla suchej masy odpowiada to aktywności ok. 3730 Bq/kg suchej masy.

Natomiast dla suszonych próbek podgrzybka z lasów Opolszczyzny aktywność właściwa ^{137}Cs wynosiła 37460 Bq/kg, a ^{134}Cs – 378 Bq/kg.

4.16. Ocena wpływu zakładu produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych na środowisko gruntowo-wodne w rejonie opolskim.

W rejonie opolskim przeprowadzono też analizy zanieczyszczenia gruntu oraz wód powierzchniowych i podziemnych w celu określenia wpływu produkcji rur z tworzyw sztucznych na środowisko gruntowo-wodne [9]. Zakład produkuje rury, studzienki i łączniki z polipropylenu i polietylenu dla odwadniania autostrad. Zakład zlokalizowany jest w sąsiedztwie zabudowy zagrodowej i fermy drobiu. W zakładzie produkcja odbywa się w automatycznej linii formierskiej, gdzie granulatu tworzywa zassany z pojemnika do głowicy ulega stopieniu, a następnie formuje się rury, schładza się je i tnie. Opary powstałe w trakcie stopienia tworzywa sztucznego i chłodzenia są odciągane za pomocą wentylatora i po przejściu przez filtr są wypuszczane do powietrza na zewnątrz hali produkcyjnej.

Według polskiego ustawodawstwa produkcja wyrobów z tworzyw sztucznych może pogorszyć stan środowiska. W badaniach terenowych wykonano 7 otworów geologicznych o głębokości 3 m rozpoznając warunki gruntowo-wodne na terenie działki zakładu i w jej najbliższym otoczeniu. Pobrano próbki gruntu oraz wód powierzchniowych i gruntowych najpłytszego poziomu wodonośnego do badań laboratoryjnych. Stopień skażenia gruntów określono na podstawie wyciągów wodnych. W wyciągach wodnych i próbach wody oznaczono wskaźniki zgodnie z wymaganiami zawartymi w rozporządzeniach Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, wytycznych Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska i w prawie ochrony środowiska Unii Europejskiej.

Podłoże gruntowe do głębokości 3m jest reprezentowane przez rzeczne pospółki gliniaste z otoczakami, piaski średnie, drobne i pylaste. Pospółki i piaski średnie tworzą ciągle warstwy, zaś piaski drobne i pylaste lokalne przewarstwienie. Współczynnik filtracji pospółki wynosi $1,2 \cdot 10^{-3}$ m/s, zaś piasku pylastego $6,08 \cdot 10^{-5}$ m/s. Lustro wody zalega na głębokości 1,4-1,6 m. Wyciągi wodne z próbek gruntu wykazują, że w strefie aeracji i saturacji występują głównie lotne fenole (0,07-1,5 mg/dm³), fosforany rozpuszczalne (0,7-1,8 mg/dm³), żelazo (0,4 – 88 mg/dm³), ogólny węgiel organiczny (1,5-11,6 mg/dm³). W wyciągach

wodnych nie oznaczano metali ciężkich (niklu, chromu, kobaltu, cynku, kadmu i rtęci) oraz węglowodorów ekstrahujących się eterem naftenowym. Według klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu wyciągi wodne można kwalifikować do średniej bądź niskiej klasy czystości wód podziemnych. Z uwagi na ołów o stężeniu $0,006-0,035 \text{ mg/dm}^3$ należy zaliczyć je do wód średniej klasy.

Analiza chemiczna wody z potoku wykazała obecności fenoli lotnych $0,18 \text{ mg/dm}^3$ i azotynów $0,08 \text{ mg/dm}^3$, co kwalifikuje ją do wód pozaklasowych. Inne wskaźniki zanieczyszczenia występują, jak w wodach klasy czystości I lub II. Wody gruntowe zawierają azotyny w ilości $0,008 \text{ mg/dm}^3$, co kwalifikuje je do I klasy czystości wód. Stężenie zaś fenoli ($0,11 \text{ mg/dm}^3$), fosforanów ($0,67 \text{ mg/dm}^3$) i żelaza ($1,3 \text{ mg/dm}^3$) odpowiadają warunkom średniej (II) klasy czystości wód podziemnych.

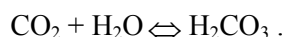
Środowisko gruntowo-wodne na terenie produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych związane jest z rzecznyimi gruntami słabo przepuszczalnymi i pozostaje w kontakcie hydraulicznym z wodami powierzchniowymi pobliskiego potoku i spływu powierzchniowego. Zanieczyszczenia gruntów strefy aeracji i saturacji oraz analizy wód powierzchniowych i gruntowych wskazują, że główne zanieczyszczenie stanowią lotne fenole, fosforany rozpuszczalne i żelazo oraz lokalnie azotyny. Największe stężenia lotnych fenoli, fosforanów rozpuszczalnych i azotynów stwierdzono w sąsiedztwie zbiornika ścieków socjalno-bytowych. Produkcja rur z tworzyw sztucznych nie ma istotnego wpływu na występowanie fenoli w środowisku gruntowo-wodnym [9]. Stężenia fenoli i fosforanów w gruntach i wodach nie są stężeniami toksycznymi dla organizmów zwłaszcza, że fenole ulegają łatwo biodegradacji. Żelazo pochodzi z utworów rzecznych, zaś skażone grunty są wtórnym źródłem zanieczyszczenia środowiska wodnego [9].

5.0. Obieg materii w ekosystemie.

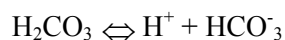
Przemiany materii w ekosystemie stanowią wynik aktywności metabolicznej organizmów występujących w biocenozie. Szlaki, którymi krążą pierwiastki chemiczne pomiędzy organizmami a środowiskiem, noszą nazwę cykli biogeochemicznych. Najlepiej poznano obiegi: węgla, azotu, fosforu i siarki jako głównych biogenów. Przemiany innych pierwiastków są mniej znane. Zapotrzebowanie organizmów żywych na poszczególne pierwiastki jest zróżnicowane. Tylko około 30–40 pierwiastków jest wbudowanych w protoplazmę komórek i na nie istnieje zapotrzebowanie ze strony organizmów. Na inne pierwiastki zapotrzebowanie żywych organizmów jest znacznie mniejsze. Wymiana poszczególnych pierwiastków pomiędzy biomasą roślin i zwierząt, a ich nieożywionym środowiskiem i odwrotnie przebiega z różną szybkością. Poszczególne pierwiastki przechodzą w sposób ciągły przez różne formy związków organicznych i nieorganicznych dzięki przemianom metabolicznym producentów, konsumentów i destruentów [30]. Krążenie każdego pierwiastka nazywamy cyklem biogeochemicznym. W ekosystemie wodnym lub lądowym cykl może się nieco różnić, ale zasady tego krążenia są zawsze te same.

5.1. Cykl biogeochemiczny węgla.

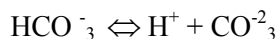
Węgiel w środowisku wodnym występuje w postaci form nieorganicznych i organicznych. CO_2 w wodzie pochodzi albo z dyfuzji z powietrza, albo jest produktem oddychania organizmów, w tym biodegradacji związków organicznych przez bakterie. Czystego CO_2 jest mało, gdyż gaz ten reaguje z wodą tworząc kwas węglowy wg równania:



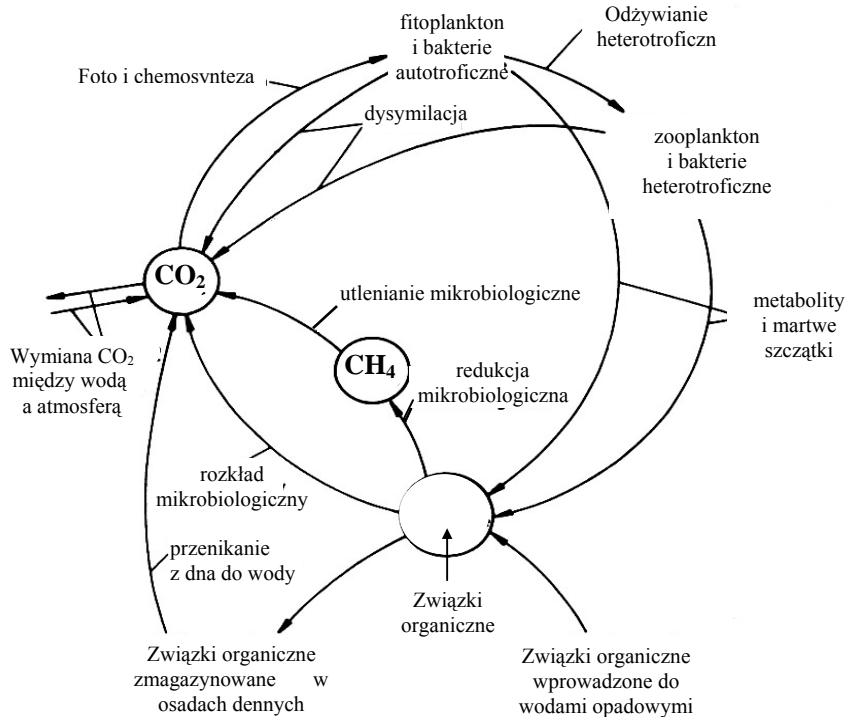
Kwas ten dysocjuje do jonów dwuwęglanowych (wodorowęglowych)



Jony dwuwęglanowe mogą dysocjować do jonów węglanowych:



Dwuwęglany są też ługowane z otaczającej gleby. W postaci organicznej C występuje we wszystkich związkach organicznych, które w wodzie pochodzą z martwych szczątków roślin i zwierząt lub metabolitów wydalanych przez żywe organizmy. Dużo związków organicznych trafia do wód wraz ze ściekami i wodami opadowymi (rys.5.1). Wykorzystanie CO_2 zachodzi podczas foto- i chemosyntezy. Wobec ograniczonego zasięgu chemosyntezy odbywa się to na drodze fotosyntezy. Stąd zależy ono od obecności roślin zielonych w biocenozie.



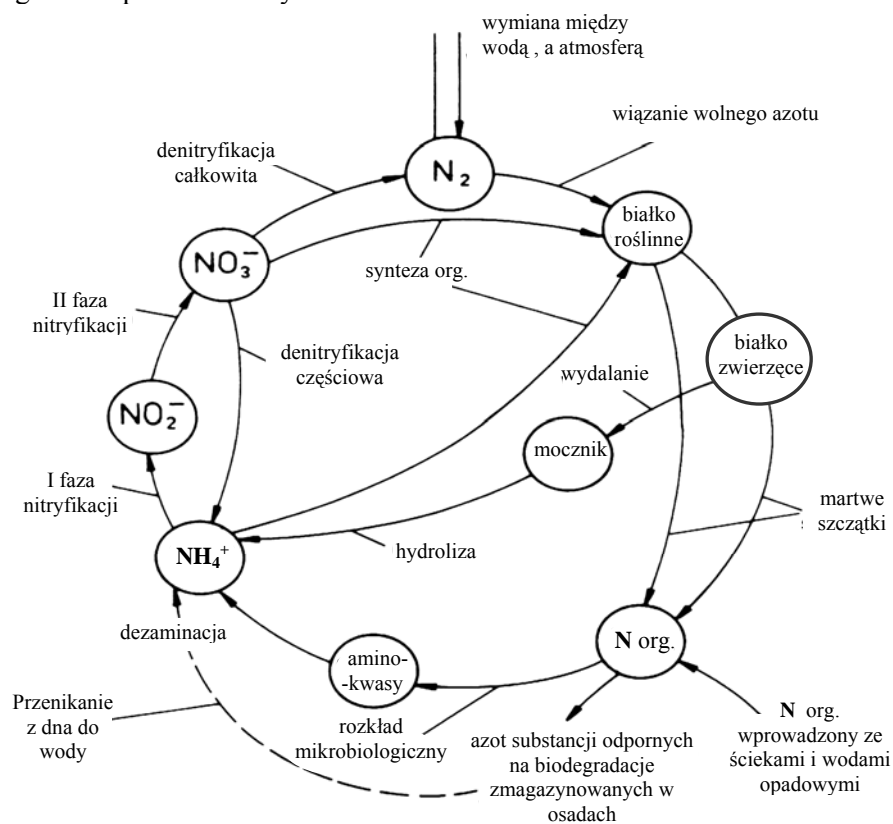
Rys.5.1 Obieg węgla w przyrodzie wg [30].

Niewielka ilość CO₂ może być w warunkach beztlenowych i w obecności bakterii metanowych redukowana do metanu CH₄. Jako gaz lżejszy od wody metan ulatnia się z wody natychmiast do atmosfery. Drugi kierunek przemian stanowi oddychanie wszystkich ustrojów żywych i wydalanie CO₂ oraz tlenowy rozkład materii organicznej przez bakterie heterotroficzne. Bakterie te wykorzystują w pierwszym rzędzie łatwo biodegradowalne związki organiczne, jak: cukry: proste, polisacharydy, białka i aminokwasy, tłuszcze i kwasy tłuszczowe. Inne związki naturalnego pochodzenia, jak związki typu lignin, celulozy, hemicelulozy, i pektyn ulegają trudno rozkładowi mikrobiologicznemu, dlatego w dużych ilościach zalegają w zbiorniku i powoli, w toku przemian drobnoustrojowych, są przetwarzane na humus. Proces ten przebiega tylko w wodach powierzchniowych i glebie. Syntetyczne związki organiczne podlegają też biodegradacji. Jest to jednak proces trudny i powolny; pełny ich rozkład do CO₂, H₂O i ew. innych produktów końcowych, trwa długo. Dzieje się tak z kilku powodów:

- w wodzie powierzchniowej występują substraty pochodzenia naturalnego, które bakterie niszczą najpierw, a dopiero później wykorzystują związki trudniej dostępne,
- substancje pochodzenia przemysłowego (fenole, WWA, pestycydy i inne) są biodegradowane na ogół przez enzymy adaptacyjne. Proces adaptacji nie jest łatwy i wymaga specjalnych warunków,
- związki te są przeważnie truciznami i aby drobnoustroje mogły się zaadaptować do ich biodegradacji, nie mogą występować w zbyt dużych stężeniach [30]

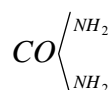
5.2. Cykl biogeochemiczny azotu.

Azot występuje w postaci wolnego gazu - cząsteczki N_2 , w postaci jonu amonowego NH_4^+ , azotynowego NO_2^- i azotanowego NO_3^- , w związkach organicznych jak wolne aminokwasy, peptydy, białka, mocznik i inne. Schemat obiegu azotu przedstawia rys. 5.2.



Rys. 5.2. Obieg azotu w przyrodzie wg [30].

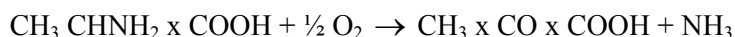
Wolny azot w wodzie pochodzi z dyfuzji z powietrza albo z denitryfikacji tj. procesu redukcji azotanów prowadzonego przez pewne bakterie w warunkach beztlenowych. Wolny azot jest gazem biologicznie nieczynnym, gdyż większość żywych organizmów nie ma zdolności do wbudowania go we własne składniki. Tylko grupa bakterii azotowych wolno żyjących z rodzaju *Azotobacter* i *Clostridium* potrafi wiązać wolny azot. Tak samo bakterie z rodzaju *Pseudomonas* i bakterie purpurowe z rodzaju *Rhodospirillum* mogą wiązać wolny azot. Oprócz bakterii takie uzdolnienia wykazują również glony z rodzaju *Anaebena* i *Nostoc* [30]. Wszystkie pozostałe rośliny wykorzystują głównie azot azotanowy, a w mniejszym stopniu azot azotynowy i amonowy. Ludzie i zwierzęta wyższe wykorzystują azot związany organicznie w białkach roślinnych, jaki jest dostarczany w pokarmach. Białka spożywane przez te organizmy są trawione najpierw do wolnych aminokwasów, które są następnie zużywane do ponownej syntezy zachodzącej w rybosomach na wzorce m RNA. W trakcie przemiany azotowej w organizmach ludzi i niektórych zwierząt (ssaki) powstaje produkt końcowy – mocznik



Związek ten wraz z wodą tworzy mocz. Mocz jest wydalany na zewnątrz i rozkładany do amoniaku i CO_2 , przez bakterie z gatunku *Micrococcus ureae*, *Sporosarcina ureae* i *Urobacillus* sp.

Razem z moczem jest wydalany także drugi produkt przemiany azotowej: kwas moczowy. Jego metabolizm jest podobny do rozkładu zasad purynowych. Martwe szczątki organizmów zawierają azot organicznie związany w postaci białek. Duże ilości białek i innych form azotu organicznego wprowadzają do ekosystemu wodnego ścieki i wody opadowe. Rozkład mikrobiologiczny białek prowadzą bakterie proteolityczne. Produkują one enzymy hydrolizujące białka do polipeptydów, peptydów i aminokwasów. Są to aktywne bakterie z rodzaju: *Pseudomonadaceae*, *Bacillaceae* i *Enterobacteriaceae*. Kończącym produktem hydrolizy białek są wolne aminokwasy. Mogą one być pobrane z wody przez bakterie i jako aminokwasy egzogenne zostać wykorzystane do celów biosyntezy białek [30].

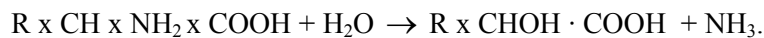
Jednak duża część aminokwasów podlega dalszym procesom mikrobiologicznym, które nazywamy dezaminacją. Polega ona na wyłączeniu-grupy aminowej (NH_2) z aminokwasu, w postaci amoniaku (NH_3). Pozostała reszta jest katokwasem, który może być włączony do procesu oddechowego w komórce jako źródło energii. Dezaminacja następuje w wyniku różnych reakcji enzymatycznych, prowadzonych przez bakterie. W wyniku np. dezaminacji alaniny powstaje kwas pirogronowy.



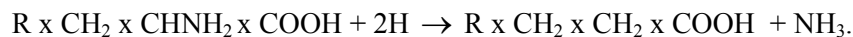
Alanina

kwas pirogonowy amoniak.

W wyniku dezaminacji hydrolytycznej powstaje amoniak i α - hydroksykwas



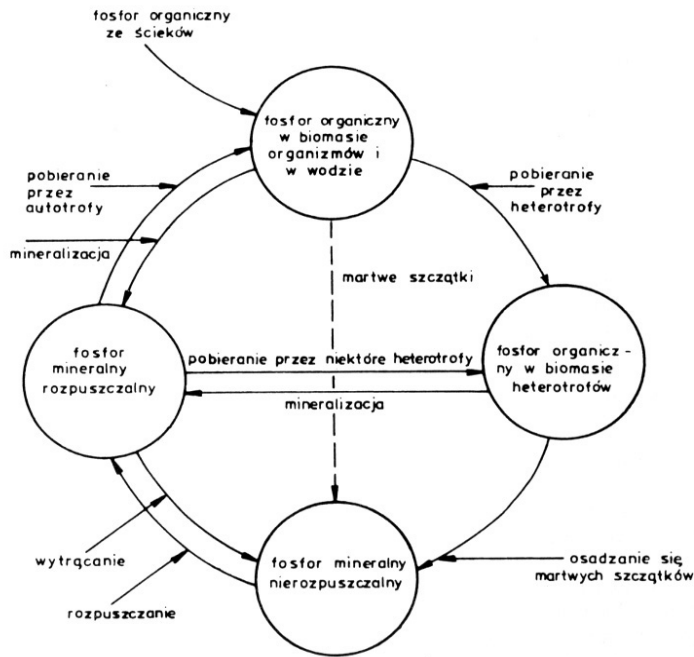
W warunkach beztlenowych dezaminacja jest połączona z redukcją. Przebiega ona wg równania.



Przebiegają też inne reakcje dezaminacji, ale zawsze ich wspólną cechą jest wyłączenie azotu z aminokwasu w formie amoniaku. Sam amoniak jest związkiem toksycznym i gdyby nie było możliwości jego dalszego przekształcania do związków nietoksycznych, stałby się czynnikiem eliminującym organizmy występujące w biocenozie [30]. W naturalnych warunkach amoniak jest natychmiast utleniany do azotanów przez chemosyntetyczne bakterie nitryfikacyjne. Proces ten jest dwufazowy i nazywamy go nitryfikacją. W pierwszej fazie uczestniczą bakterie z rodzaju Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosospira i Nitrosocystis. Utleniają one NH_3 do azotynów. W drugiej fazie nitryfikacji azotyny są utleniane do azotanów. Bakterie nitryfikacyjne drugiej fazy są reprezentowane przez rodzaj Nitrobacter i Nitrocystis. Wytworzenie azotanów kończy obieg azotu w ekosystemie. Azotany są najkorzystniejszym, oprócz soli amonowych, źródłem azotu dla roślin. Bakterie nitryfikacyjne są bardzo wrażliwe na niedobory tlenu rozpuszczonego w wodzie i na wiele różnych trucizn, a nawet na wysokie stężenia związków organicznych. Ważną sprawą jest, by występowały one w biocenozie, gdyż przy ich braku cykliczny obieg azotu zostaje przerwany [30].

5.3. Cykl biogeochemiczny fosforu.

Fosfor jest pierwiastkiem wbudowanym w wiele ważnych składników komórkowych, jak DNA, RNA i ATP (adenozynotrój – fosforan – nukleotyd zbudowany z adeniny, rybozy i trójfosforanu). Bierze też udział w wielu reakcjach metabolicznych. Obieg tego pierwiastka nie jest jeszcze całkowicie poznany.



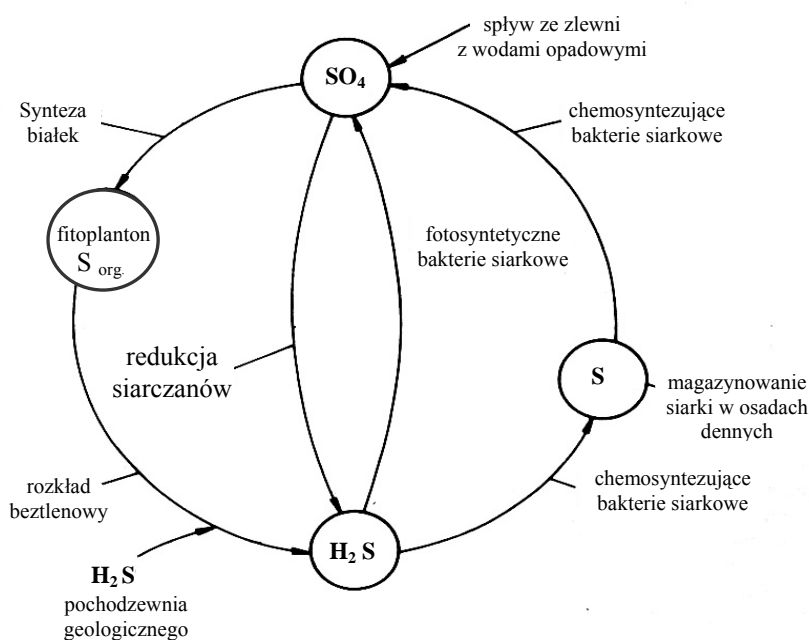
Rys.5.3 Obieg fosforu w przyrodzie [30].

Rysunek 5.3. przedstawia ważniejsze efekty przemian w obiegu fosforu. Fosfor nie występuje równomiernie w przyrodzie, brak go w formie gazowej. Fosfor mineralny występuje w skałach, osadach dennych mórz i oceanów oraz w glebie, przeważnie w formie nierozpuszczalnej. W wyniku procesów wietrzenia i rozkładu, zostają z nich uwolnione rozpuszczalne fosforany. Do rozkładu przyczyniają się pewne procesy metaboliczne, w których powstają produkty końcowe, jak kwasy siarkowy, azotowy lub H_2S . Pod ich działaniem są uwalniane rozpuszczalne ortofosforany – najlepiej przyswajalne i odpowiednie formy fosforu dla roślin. W trakcie procesów biosyntezy i innych przemian metabolicznych rośliny wbudowują fosfor we własne składniki organiczne. Natomiast zwierzęta zdobywają fosfor głównie z pożywienia roślinnego [30]. Organiczne związki fosforu zawarte w biomacie roślin i zwierząt są po ich obumarciu mineralizowane przez bakterie z rodzaju *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Flavobacterium* oraz grzyby z rodzaju *Penicillium*, *Aspergillus* i inne. W procesach biodegradacji fosforanów organicznych uczestniczą enzymy: fosfatazy kwaśne i alkaliczne, a produktem tych reakcji są rozpuszczalne ortofosforany.

5.4. Cykl biogeochemiczny siarki.

W przyrodzie siarka występuje w licznych związkach mineralnych oraz jako siarka elementarna S. Organizmy żywe potrzebują mniej siarki, a więcej węgla, azotu i fosforu. Siarka występuje tylko w trzech aminokwasach: cysteinie, cystynie i metioninie, które wchodzi w skład białek roślinnych, a następnie są przekazywane drogą pokarmową na poziom troficzny konsumentów. Siarka występuje także w koenzymie A, - cząsteczce, która odgrywa ważną rolę w metabolizmie [30].

Po obumarciu roślin i zwierząt organiczne połączenia siarki są biodegradowane i mineralizowane. W procesach tych uczestniczą liczne bakterie heterotroficzne. W warunkach beztlenowego rozkładu powstają merkaptany i siarkowodor, a w warunkach tlenowych produktami końcowymi są siarczany. Obieg siarki w ekosystemie wodnym przedstawia rys. 5.4.



Rys.5.4 Obieg siarki w przyrodzie [30].

Przemian związków siarki dokonują głównie bakterie. Jest to grupa niejednolita, różniąca się od siebie metabolicznie. Zwiemy je ogólnie bakteriami siarkowymi. Najlepiej poznano bakterie z tej grupy należące do rodzaju Thiobacillus. Są to bakterie autotroficzne chemosyntetyzujące i bezwzględne tlenowce; utleniają tiosiarczany, siarkę elementarną, H_2S i siarczki, a nawet siarczyny, do siarczanów. Energię, zdobytą w ten sposób,

żyją na syntezę składników organicznych własnych komórek. Do tego rodzaju należy gatunek *Thiobacillus thiooxidans*. On to, utleniając nieorganiczne związki siarki do utworzenia kwasu siarkowego, powoduje obniżenie odczynu środowiska. W kwaśnym odczynie może żyć i normalnie się rozwija. Inaczej jest z gatunkiem *Thiobacillus thioautotrophicus* – utlenia on nieorganiczne związki siarki wyłącznie w warunkach odczynu neutralnego [30]. Gatunek *Thiobacillus denitrificans*, który w warunkach tlenowych zachowuje się jak inne bakterie tego rodzaju, utlenia siarkę lub jej związki tlenem atmosferycznym. W warunkach beztlenowych natomiast wykorzystuje on azotany jako akceptory wodoru. Redukuje on wówczas azotany do wolnego azotu N_2 . *Thiobacillus denitrificans* utlenia w tych warunkach tiosiarczyny, siarczyny i siarkę elementarną. Inną grupę bakterii siarkowych tworzą nitkowate bakterie z rodzaju *Beggiatoa* i *Thiotrix*. Są to chemoautotroficzne bakterie utleniające związki siarki – H_2S , siarczki i tiosiarczany oraz siarkę elementarną w warunkach tlenowych, wykorzystując energię pochodzącą z tych procesów do asymilacji CO_2 . Charakterystyczną cechą jest gromadzenie się siarki wewnątrz komórek – siarki, będącej produktem tych przemian. W przypadku braku siarkowodoru lub innych połączeń siarki, które mogłyby być wykorzystane do tego celu, bakterie te mogą utleniać siarkę, wcześniej przez siebie zgromadzoną do siarczanów [30].

W przemianach związków siarki, a więc w obiegu tego pierwiastka, biorą udział pewne bakterie fotosyntetyczne. Należą do nich *Thiorhodaceae* - purpurowe bakterie siarkowe. Są one beztlenowcami zdolnymi jednak do fotosyntezy dzięki posiadaniu bakteriochlorofilu (odpowiednika chlorofilu) i czerwonych oraz żółtych karotenoidów. Żyją w obecności siarkowodoru H_2S , który wykorzystują jako donor wodoru do redukcji CO_2 i wytwarzania substancji organicznych. Siarkę, która jest pierwszym produktem tego utlenienia, akumulują w komórkach. Rodzina *Athiorhodaceae* – bakterie purpurowe beziarkowe mogą odżywiać się autotroficznie, gdy znajdują się w świetle w warunkach beztlenowych lub heterotroficznie, gdy rosną w obecności tlenu. Prowadząc fotosyntezę, wykorzystują jako donory wodoru różne związki organiczne. Niektóre z nich mogą też w tym celu wykorzystywać siarkowodor. Siarki nie gromadzą w swoich komórkach. Rodzina *Chlorobacteriaceae* – bakterie zielone są wyłącznie fotoautotrofami i bezwzględnie beztlenowcami. Zdolne są do życia w obecności H_2S i innych zredukowanych form siarki, które wykorzystują jako donory wodoru, redukując nimi następnie CO_2 . Nie odkładają siarki w komórkach. Rodzaj *Chlorobium* należy do bakterii zielonych. Znaczenie tych grup bakterii polega na utlenianiu toksycznego siarkowodoru, zatem usuwają go z wody i chronią pozostałe organizmy w biocenozie przed zatruciem. Może też być odwrotnie, gdy w wodzie występują heterotroficzne bakterie z gatunku *Desulfovibrio desulfuricans*. Są to bakterie heterotroficzne, bezwzględnie beztlenowce, które redukują siarczany do

siarkowodoru. Oprócz SO_4^{2-} redukują też SO_3^{2-} i tiosiarczyny. Donorem wodoru są dla tych bakterii liczne związki organiczne jak np. asparagina, glicyna, alanina, glicerol, glukoza, mlezany, bursztyniany i inne. Bakterie te wytwarzają intensywnie H_2S , co wywiera poważny wpływ limitujący na życie roślin i zwierząt w ekosystemie [30].

6.0. Odnawialne źródła energii.

W ramach programu zahamowania dalszej degradacji środowiska naturalnego rozpoczęto najbardziej pilne, natychmiastowe działania jak opracowanie: bardziej rygorystycznych norm i kar za skażenie wody, powietrza i gleby, wycofanie z obiegu wielu szkodliwych związków chemicznych (DDT, freony, pestycydy, azbest, PCV) oraz działania długofalowe, zmierzające w dalszej perspektywie do rekonstrukcji skażonego środowiska naturalnego [21].

Zaliczyć do nich można:

- 1) przeanalizowanie wad i zalet energetyki konwencjonalnej celem wyeliminowania energochłonnych i szkodliwych dla środowiska technologii przemysłowych, i poszukiwanie rezerw oraz nowych, proekologicznych rozwiązań,
- 2) propagowanie i wdrażanie nowych, niekonwencjonalnych źródeł energii, głównie energii odnawialnej, które w pierwszej fazie powinny uzupełnić, a w przyszłości zastąpić źródła energii takie jak: węgiel, ropa i gaz,
- 3) poszukiwanie i eliminowanie wszelkich strat energii, zwłaszcza ciepłej, elektrycznej, świetlnej i wodnej.

6.1. Podział odnawialnych źródeł energii.

Energie związane z aktywnością Słońca, geotermią wnętrza Ziemi i z grawitacyjnym oddziaływaniem Księżyca wykazują pewną cykliczność, jednak w sali czasowej nie ulegają wyczerpywaniu. Są to pierwotne źródła energii, które w wyniku naturalnych przemian, zachodzących w przyrodzie, powodują powstawanie innych form energii, np.: wody, wiatru, biomasy itd. Tabela 6.1. podaje źródła energii odnawialnej.

Komentarz [WS1]:

Pierwotne źródła energii		Naturalne procesy przemiany energii	Techniczne procesy przemiany energii	Forma uzyskanej energii
Słońce	Woda	Parowanie, topnienie lodu i śniegu, opady	Elektrownie wodne	Energia elektryczna
	Wiatr	Ruch atmosfery, energia fal	Elektrownie wiatrowe, elektrownie falowe	Energia cieplna i elektryczna
	Promieniowanie słoneczne	Prądy oceaniczne	Elektrownie wykorzystujące prądy oceaniczne	Energia elektryczna
		Nagrzewanie powierzchni Ziemi i atmosfery	Elektrownie wykorzystujące ciepło oceanów	Energia elektryczna
		Promieniowanie słoneczne		Pompy ciepła
Kolektory i ciepłe elektrownie słoneczne	Energia cieplna			
Fotoogniwa i elektrownie słoneczne	Energia elektryczna			
Słońce	Biomasa	Produkcja biomasy	Fotoliza	Paliwa
			Ogrzewanie i elektrownie ciepłe	Energia cieplna i elektryczna
Ziemia	Rozpad izotopów	Źródła geotermalne	Urządzenia przetwarzające	Paliwa
			Ogrzewanie i elektrownie geotermalne	Energia cieplna i elektryczna
Księżyc	Grawitacja	Pływy wód	Elektrownie pływowe	Energia elektryczna

6.1.1. Energia słoneczna i jej zasoby.

Do zewnętrznej granicy atmosfery dociera ze Słońca strumień energii o szacowanej mocy 178 lub 173 PW, co stanowi jedną półmiliardową część

całkowitej energii promieniowania słonecznego. Strumień ten jest kilkanaście tysięcy do 30 000 razy większy od mocy wszystkich urządzeń zbudowanych na Ziemi przez ludzi [21].

Gęstość strumienia energii na granicy atmosfery ziemskiej wynosi $2 \text{ cal/min} \times \text{cm}^2 = 1,395 \text{ kW/m}^2$; jest tzw. stała słoneczna. Strumień ten przenikający przez atmosferę rozkłada się na składniki:

- ok. 30 % jest odbijane od powierzchni Ziemi w postaci promieniowania widzialnego i ultrafioletowego,
- ok. 47 % ulega pochłanianiu i reemitowaniu ponownie do kosmosu w postaci promieniowania podczerwonego,
- ok. 23 % stanowi rzeczywisty strumień promieniowania słonecznego, dzięki któremu parują oceany, wieją wiatry, zachodzi fotosynteza, rozwija się i trwa życie na Ziemi. Wynosi on 39,66 PW, wg innych szacunków 83 PW rocznie.

Energia promieniowania słonecznego wraz z przetworzonymi jej formami jak energia wiatru, wody, biomasy i innej może być wykorzystana bezpośrednio (kolektory, stawy słoneczne, helioelektrownie) lub pośrednio (turbiny wiatrowe i wodne, spalanie biomasy itd.) [21].

6.1.2 Energia geotermalna.

Strumień energii zgromadzonej w skorupie Ziemi szacuje się na ok. 35 TW [21]. Pojemność cieplna globu ziemskiego o masie całkowitej $5,583 \times 10^{27}$ kg i przy średnim cieple właściwym $0,8 \text{ kJ/kg} \times \text{K}$ wynosi ok. $4,5 \times 10^{27} \text{ kJ/K}$. Przy wykorzystaniu do celów grzewczych tylko części energii, aby temperatura Ziemi obniżyła się zaledwie o 0,000 1K, to przy rocznym światowym zużyciu energii cieplnej w wysokości ok. 2,1018 kJ energii starczy na 223000 lat.

6.1.3. Energia oddziaływań grawitacyjnych.

Oddziaływanie grawitacyjne na Ziemię wywierają Księżyc – ze względu na niewielką odległość od Ziemi oraz Słońce – ze względu na swą olbrzymią masę. Siły tych oddziaływań są równoważone innymi siłami np. siłą odśrodkową. Siły tych oddziaływań grawitacyjnych są niewielkie. Skutki ich działania dostrzegamy w cyklicznym przemieszczaniu mas wody w oceanach, zwanych pływami morskimi. Wartość strumienia energii oddziaływań grawitacyjnych na powierzchni Ziemi oszacowano na 1,57 TW [21].

6.1.4. Techniczne możliwości wykorzystania energii odnawialnych.

Przy obecnym stanie techniki możliwe jest roczne wykorzystanie tylko 17,245 TW strumienia energii z odnawialnych źródeł. Teoretycznie ilość ta wystarcza do pokrycia zapotrzebowania energetycznego całego świata.

Podział składowych energii odnawialnych wynosi (potencjalnie możliwych do technicznego zagospodarowania na rok):

- energia mechaniczna wody w rzekach 3 TW,
- energia biomasy 6 TW (1,2 PJ/ha pozostałości upraw zbożowych, 1,9 PJ/ha odpady zwierzęce, 80 PJ odpady leśne),
- energia mechaniczna wiatru 3 TW,
- energia pływów 0,045 TW (1,57 PW pływy, 2,5 PW fale),
- energia termiczna mórz i oceanów 1 TW,
- energia geotermalna 2 TW,
- energia słoneczna wykorzystywana w urządzeniach przetwarzających ją 2,2 TW [21].

Wg innych opracowań potencjał ten oszacowano na poziomie 800 EJ/rok (600 – promieniowanie słoneczne, 31 – energia wiatru, 63 – biomasa, 70 – energia rzek, 19 – geotermia; inne to energie fal, pływów itd.).

W 1982 r. moc urządzeń wykorzystujących energie odnawialne wynosiła 110,3 MW, z tego 80 MW to siłownie wiatrowe, 20 MW elektrownie słoneczne, 10 MW baterie słoneczne i 0,3 MW stawy słoneczne.

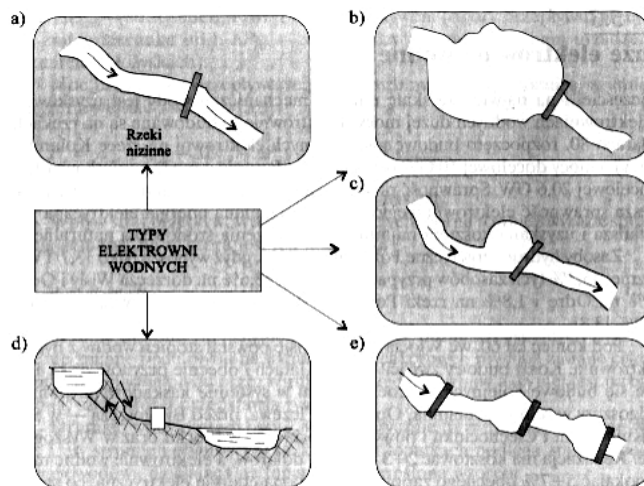
W 1991 r. sumaryczna moc światowa zainstalowanych instalacji wiatrowych wynosiła 2170 MW, a w 1996 r. wynosiła już 5839 MW. W Polsce szacuje się potencjał możliwego wykorzystania źródeł energii odnawialnych na 25 GW. Strumień energii słonecznej, oszacowano na 11,7 GW, biomasy (słoma) 5 GW, energii geotermalnej 3,2 GW, biomasy (drewna) 3 GW, energii wody 1,4 GW, biopaliwa 0,5 GW i energii wiatru 0,2 GW [21]. Wg niektórych specjalistów w 2010 r. potencjał wykorzystania odnawialnych źródeł energii mógłby wynosić nawet 32 GW. Przy aktualnej konsumpcji energii, która wynosi ok. 4000 PJ tj. ok. 127 GW udział energii z odnawialnych źródeł energii może wynosić teoretycznie ok. 20 %, a więc ponad czterokrotnie więcej niż aktualnie.

6.2. Energia wody.

Potencjał hydroenergetyczny świata szacuje się na ok. 2,857 TW. Z tego wykorzystuje się i przetwarza na energię elektryczną jedynie 0,152 TW tj. zaledwie 5,5 %. W 1975 r. moc elektrowni wynosiła 0,375 TW tj. 16 % globalnego potencjału rzek. W latach 90-tych energetyka wodna dostarczała ok. 2 % światowego zużycia energii i ok. 20 % światowej produkcji energii elektrycznej [21]. Do 2000 r. nastąpi podwojenie się wykorzystania potencjału hydroenergetycznego, co pokryje 6,5 % zapotrzebowania całkowitego na energię i 15 % zapotrzebowania na energię elektryczną. W skład energii mechanicznej wód wchodzi energia mechaniczna rzek i oceanów. W rzecznych elektrowniach wodnych przetwarza się na energię elektryczną energię kinetyczną (przepływu) lub energię potencjalną wody (różnic poziomów). W elektrowniach oceanicznych do napędu turbin wykorzystuje się ruchy masy wody wywołane: pływami, falowaniem (fale) i różnicami gęstości (prądy

morskie; Golfstrom, Kuro Siwo, prądy równikowe). W dużych elektrowniach wodnych sprawność przetwarzania energii przekracza dwukrotnie sprawność elektrowni węglowych. Typy elektrowni wodnych:

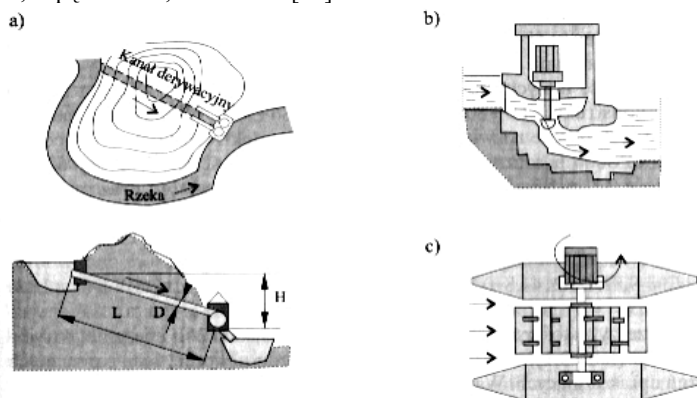
- 1) przepływowe bez zbiornika – bez możliwości regulacji mocy,
- 2) regulacyjne z dużym zbiornikiem wodnym – zabezpieczenie przeciwpowodziowe,
- 3) zbiornikowe z małym zbiornikiem wodnym,
- 4) kaskadowe z wieloma zbiornikami – regulacja napelnianie i opróżnianie, zabezpieczenie przeciwpowodziowe,
- 5) pompowo – szczytowe z 2 zbiornikami wodnymi na różnych poziomach połączonymi ze sobą rurociągiem. W nocy (kiedy zapotrzebowanie na energię elektryczną jest znacznie mniejsze) zbiornik górny jest napelniany wodą, ze zbiornika dolnego, w dzień zbiornik górny jest opróżniany i wtedy napędzając turbinę wytwarza prąd elektryczny [21]. – rys.6.1.



Rys.6.1. Typy zawodowych dużych elektrowni wodnych: a) przepływowa bez zbiornika, b) regulacyjna, z dużym zbiornikiem, c) zbiornikowa, z małym zbiornikiem, d) pompowo – szczytowa, e) kaskadowa, z wieloma zbiornikami [21].

W małej energetyce wodnej, o mocy do 5 MW obowiązuje podział nie tylko ze względu na kryterium mocy, ale też kryterium wysokości spadku wody. W związku z tym wyróżnia się elektrownie derywacyjne, pływające na rzece, niskospadowe 2 – 20 m, średnospadowe do 150 m i wysokospadowe powyżej

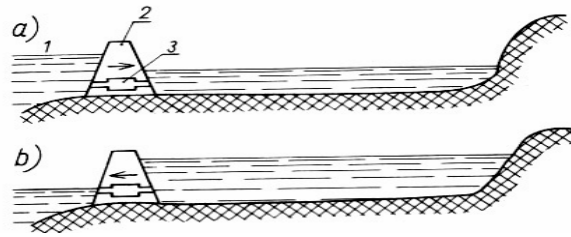
150 m. W małych elektrowniach wodnych produkuje się prąd elektryczny na potrzeby lokalne oraz wykorzystuje się energię mechaniczną wody do mielenia zboża, napędu kuźni, tartaku itd. [21].



Rys. 6.2. Przykładowe koncepcje małych elektrowni wodnych: a) derywacyjna, b) niskospadowa, c) pływająca [21].

6.2.1. Energia pływów.

Wskutek eliptycznej trajektorii ruchu Księżyca wokół Ziemi i Ziemi wokół Słońca zmienia się siła wzajemnego grawitacyjnego oddziaływania tych obiektów na siebie. Zmiana tej siły i kierunku jej działania powoduje cykliczne ruchy mas wód. Cykl przyływu – odpływu wynosi 12 h 25 min. Średnia różnica poziomów na otwartym morzu wynosi 1–3 m. W apogeum i perygeum przyływy są odpowiednio o 40 % mniejsze lub o 20 % większe. Długość fali w zależności od głębokości basenu jest zmienna, przykładowo akwen o głębokości $H = 4$ km charakteryzuje długość fali $L = 8600$ km, prędkość jej przemieszczania $v = 200$ m/s, masa wód przemieszczanych niesie moc 1–6 mln MW. W wyniku tarcia tej wody o dno mórz i oceanów prędkość obrotowego ruchu Ziemi ulega wyhamowaniu. W ciągu 400 mln lat liczba dni w roku zmalała o 36. Praktyczne znaczenie mają te miejsca na kuli ziemskiej, gdzie różnica poziomów wody przekracza 5 m. Gdyby udało się przetworzyć z 20 % sprawnością energię pływów z dostępnych miejsc, to można by uzyskać 32 GW mocy [21]. Pierwszą elektrownię pływową wybudowała w 1967 r. Francja w pobliżu Saint Malo w Bretanii przy ujściu rzeki Rance. Różnica wody w zbiorniku wynosi $\Delta H = 8,4$ m. Moc wynosi (oscylującą) 0 – 550 MW, pracuje ona 4 – 8 godz. w ciągu doby i wytwarza rocznie 600 GWh energii elektrycznej. - rys.6.3.

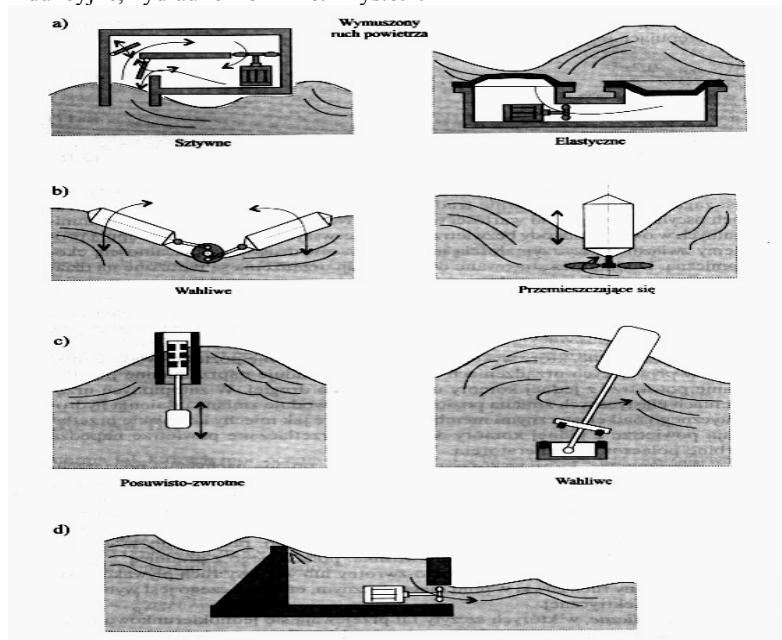


Rys. 6.3. Schemat ideowy elektrowni pływowej: a) przyływ morza - napełnienie zbiornika, b) odpływ morza - opróżnienie zbiornika; wytwarzanie prądu elektrycznego. 1) morze, 2) zapora, 3) turbozespół, ← kierunek przepływu wody [17].

6.2.2. Energia fal.

Energia fal, o szacowanej mocy 2,5 – 3 TW wywołana jest oddziaływaniem wiatru. Moc falowania jest wykładniczą funkcją wysokości fali i wynosi: dla fali $H = 1,5$ m, $P = 10$ kW/1m, długości fali $H = 3$ m, $P = 80$ kW/1 m.

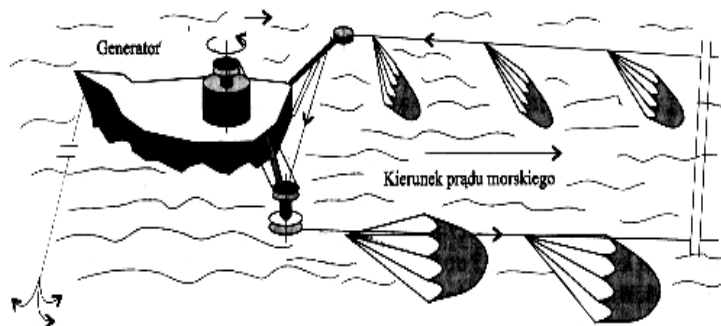
Urządzenia do przetwarzania energii dzielimy na: pneumatyczne, mechaniczne, indukcyjne, hydrauliczne i inne. – rys.6.4.



Rys.6.4. Przykłady urządzeń do konwersji energii falowania na energię elektryczną (wg a) pneumatyczne, b) mechaniczne, c) indukcyjne, d) hydrauliczne [21].

6.2.3. Energia prądów morskich.

Prądy oceaniczne wywołane są różnicami gęstości wody. Tylko 0,02 % energii słonecznej zamienia się w oceanach na ciepło; ale powstające prądy morskie mają energię kinetyczną 5 – 7 TW, co daje 6×10^{13} kWh/rok. Z jednego metra kwadratowego przekroju poprzecznego prądu o prędkości 1m/s można uzyskać 600 W mocy elektrycznej [21]. Według ekspertów Golfstrom w rejonie Florydy mógłby napędzać dwie elektrownie o mocy do 1000 MW. Średnice turbin tych elektrowni powinny wynosić ok. 30 m., a liczba obrotów ok. 2 – 3 na minutę. Inż. Stilman podaje ciekawą konstrukcję elektrowni. Na zakotwiczonej barce lub platformie rozpięty jest łańcuch o długości 18 km z przypiętymi spadochronami o średnicy czasz 100 m. Napędzane są one prądem morskim i obracają się. Powodują one obrót krążka, którego górna część napędza z kolei wirnik generatora [21].



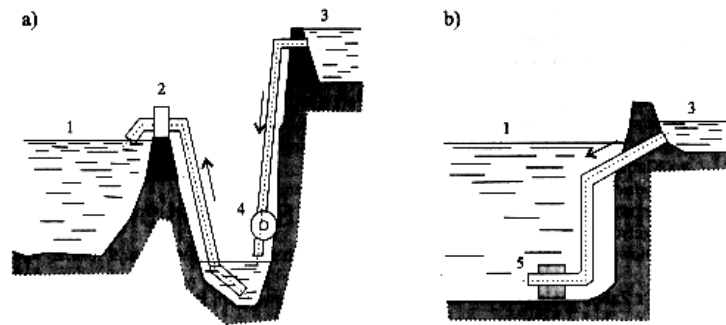
Rys.6.5. Koncepcja elektrowni wg Stilmana napędzanej energią prądów oceanicznych [21]

6.2.4. Energia dyfuzji.

Energetycznie można wykorzystać też gradienty stężenia wody. Służą do tego celu pompy dyfuzyjne lub bezpośrednio silniki dyfuzyjne pracujące między dwoma źródłami: dolnym i górnym, różniących się stężeniem (zasoleniem).

W przyrodzie takie dwa źródła występują w miejscu ujścia rzek do oceanów oraz rzadziej w przypadku występowania zbiorników o dużym zasoleniu (Morze Martwe, wyrobisko kopalni, studnie głębinowe). Teoretycznie ze zmieszania $1\text{m}^3/\text{s}$ wody słodkiej z wodą morską o zasoleniu 35 ‰ i ciśnieniu osmotycznym 24×10^5 Pa można otrzymać moc 2 MW. Praktycznie otrzymuje się mniej energii, gdyż sprawność przetwarzania wynosi 3 – 20 %. Istnieją dwie

koncepcje elektrowni dyfuzyjnej [21]. W pierwszej spiętrzona woda słodka napędza turbinę, spływając do zbiornika położonego poniżej poziomu morza. Wodę tą usuwa się do morza wbrew grawitacji, wykorzystując membranowe pompy osmotyczne, które mogą tłoczyć wodę na wysokość ponad 100 m. W drugiej koncepcji generator jest napędzany bezpośrednio silnikiem membranowym osmotycznym, zatopionym na dnie morza [21].- rys.6.6.

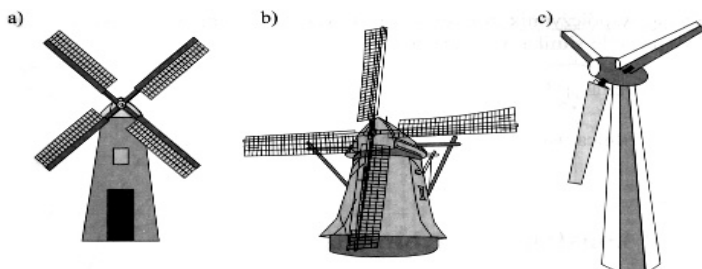


Rys.6.6. Schematy elektrowni dyfuzyjnych: a) dwustopniowa z dwiema tamami, b) jednostopniowa z jedną tamą [21]
1 – morze, 2 – pompa dyfuzyjna, 3 – rzeka, 4 – turbina wodna, 5 – silnik dyfuzyjny do napędu generatora.

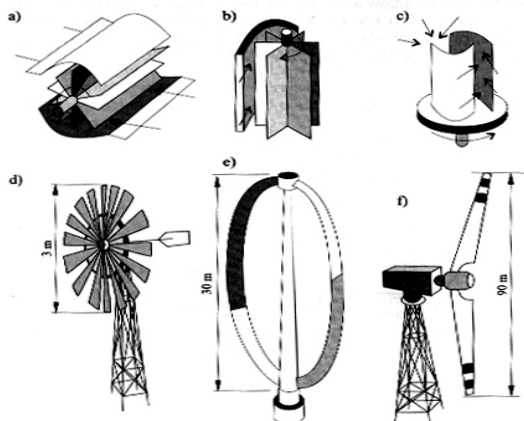
6.3. Energia wiatru.

Wiatr jest to ruch powietrza spowodowany różnicą gęstości ogrzanych mas powietrza i ich przemieszczaniem się ku górze. Wytworzone podciśnienie powoduje zasysanie zimnych mas powietrza. Energia wiatru jest energią pochodzenia słonecznego. Powietrze jest ogrzewane promieniowaniem, przewodzeniem i konwekcją. Ruch wirowy Ziemi (siła Coriolisa) oraz prądy morskie mają też wpływ na kierunki przemieszczania się mas powietrza. Około 1 – 2 % energii promieniowania słonecznego, docierającego do powierzchni Ziemi, ulega zamianie na energię kinetyczną wiatru – jest to moc ok. 2700 TW. Wiatry wiejące nad powierzchnią lądów, gdzie można zainstalować siłownie wiatrowe, mają potencjał energetyczny o mocy 40 TW. Nad morzami energię wiatrów do celów energetycznych szacuje się na 20 TW. W Polsce rejonami do instalacji elektrowni wiatrowych są Pomorze i płn. – wsch. część Suwalszczyzny. Średnia roczna prędkość wiatru na wysokości 50 m nad Ziemią wynosi 7 m/s. Granicą opłacalności eksploatacji dla elektrowni wiatrowych jest prędkość wiatru w przedziale 5,5 – 30 m/s [21]. Współczesne siłownie wiatrowe mają wirnik trójłopatowy, rzadziej dwułopatowy lub jednołopatowy, o poziomej osi, ustawiany na wiatr i zamocowany w gondoli stalowej lub z

tworzyw sztucznych. Średnica wirnika dla standardowej siłowni o mocy 600 KW zmienia się od 43 do - 48 m. Minimalna wysokość wieży rurowej lub w postaci stalowej kratownicy lub rury, na której mocowana jest gondola, wynosi 40 m chociaż buduje się wieże wyższe np. 60 i 80 m, a nawet 98 m [21].



Rys.6.7a. Typy turbin wiatrowych: a) wiatrak młynarski wolnoobrotowy, b) wiatrak odwadniający holenderski średnioobrotowy, c) elektrownia wiatrowa szybkoobrotowa [21]

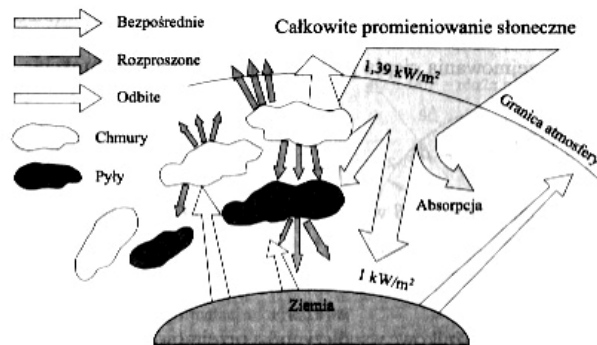


Rys.6.7b Przegląd współczesnych silników obrotowych: a) bębnowy, b) karuzelowy, c) rotorowy Savoniusa, d) wielopłatowy, e) Darrieusa, f) Boeninga MOD-2 [21]

6.4. Energia promieniowania słonecznego.

Promieniowanie słoneczne ma szerokie spektrum długości fali od 0,0001 do 0,01 nm i niesie w sobie zróżnicowaną ilość energii. Część promieniowania w zakresie 0,35 – 0,75 μm to światło widzialne. Zróżnicowane są długości fali promieniowania słonecznego od 0,2 do 2,5 μm , lecz także gęstość energii. Około połowa (46 %) energii promieniowania przypada na

promieniowanie widzialne, reszta na ultrafiolet (7 %) i podczerwień (47 %). Do granicy atmosfery dociera jedna półmiliardowa (10^{-9}) część energii emitowanej przez Słońce, a jej strumień ma moc ok. $1,39 \text{ kW/m}^2$ – jest tzw. stała Słoneczna, rys.6.8.



Rys. 6.8. Składniki promieniowania słonecznego [21].

Wskutek odbicia (ok. 35 %), absorpcji i rozproszenia zależnie od pory dnia i roku, do powierzchni Ziemi dociera średnio mniej niż 50 % tej energii. W dni słoneczne gęstość promieniowania padającego na poziomą powierzchnię wynosi ok. 1 kW/m^2 . Natężenie promieniowania słonecznego na powierzchni Ziemi zależy od wysokości Słońca nad horyzontem, co wiąże się z grubością warstwy atmosfery, przez którą to promieniowanie jest absorbowane. Dla wysokości równej 90° , 30° , 20° i 12° natężenie to wynosi odpowiednio $I = 900$, 750 , 600 i 400 W/m^2 . Konsekwencją promieniowania słonecznego zaabsorbowanego w atmosferze i na powierzchni Ziemi o mocy ok. 83 PW jest:

- obieg wody w przyrodzie (parowanie, opady, zasoby wód w jeziorach, lodowcach, przepływ w rzekach), w którym bierze udział ok. 41 PW ,
- powstawanie ruchów termicznych (wiatry, fale, prądy morskie), również ok. 41 PW ,
- energia zakumulowana i biorąca udział w występowaniu różnych przejawów życia (biomasa, CO_2 , organizmy żywe jak: plankton, ryby, zwierzęta) stanowi resztę. W Polsce przyjmuje się wartość napromieniowania całkowitego w ciągu roku $3600 \text{ MJ/m}^2 \pm 10 \%$ (1000 kW/m^2) - vide [21]. W Polsce w skali rocznej można uzyskać do 40 % energii cieplnej z energii promieniowania słonecznego.

6.4.1. Metody konwersji i wykorzystania energii promieniowania słonecznego.

Istnieją trzy podstawowe rodzaje konwersji:

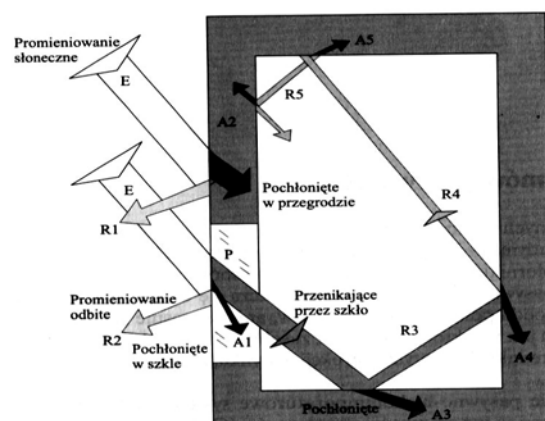
- fototermiczna (przetwarzanie na ciepło),

- fotowoltaiczna (przetwarzanie na energię elektryczną),
- fotobiochemiczna (energia wiązań chemicznych).

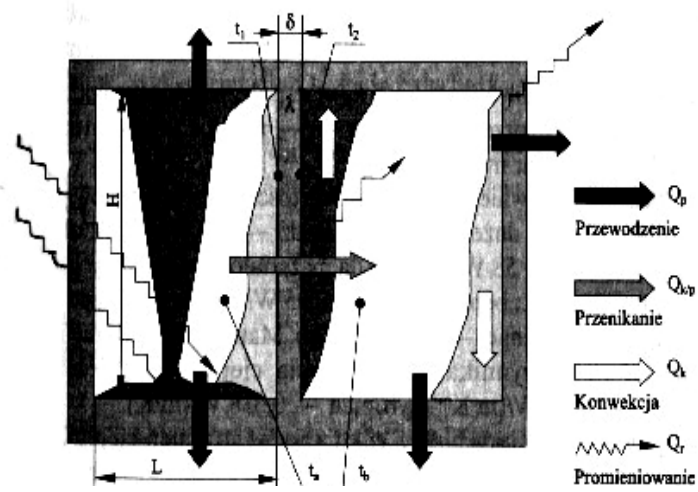
6.4.1.1. Pasywne systemy wykorzystania energii słonecznej.

W systemach pasywnych wykorzystuje się energię słoneczną bezpośrednio np. do ogrzewania budynków i zapewnienia obiegu ciepła w ich wnętrzu, podgrzewania wody w zbiornikach, suszenia drewna, wyrobów ceramicznych, płodów rolnych itp.

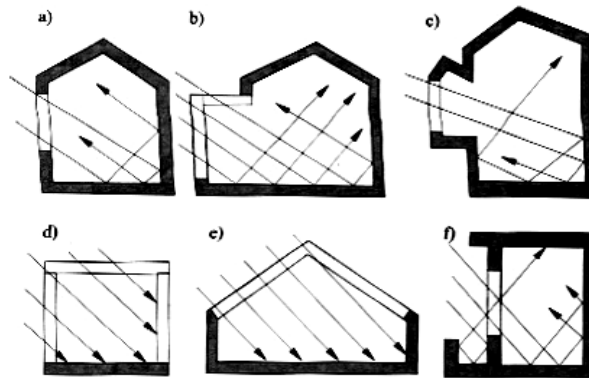
Strumień energii promieniowania słonecznego ulega:



Rys. 6.9. Mechanizm odbicia, przenikania i pochłaniania promieniowania słonecznego w przegrodzie budowlanej [21].



Rys. 6.10. Mechanizmy przekazywania ciepła w przegrodzie budowlanej



Rys. 6.11. Pasywne systemy wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania pomieszczeń [21].

- przenikaniu przez przegrody przezroczyste,
- odbiciu od powierzchni błyszczących, polerowanych, białych,
 - pochłonięciu w ciałach stałych o czarnej powierzchni, matowej lub w cieczach nieprzeźroczystych (absorpcja). Strumień pochłonięty ulega zamianie na energię cieplną, która jest przekazywana do wnętrza lub na zewnątrz budynku na drodze:

- przewodzenia ciepła,
- konwekcji (wymiany ciepła w ruchomym ośrodku przez przewodzenie i promieniowanie np. w cieczach i gazach),
- promieniowania (przekazywanie energii poprzez fale elektromagnetyczne).

6.4.1.2. Aktywne systemy wykorzystania energii słonecznej – kolektory i stawy słoneczne.

Energię słoneczną można pozyskać i przetworzyć na inne formy energii (cieplnej, elektrycznej – mechanicznej) w specjalnie w tym celu skonstruowanych urządzeniach lub instalacjach, zwanych aktywnymi systemami wykorzystania energii słonecznej. Zależnie od temperatury czynników i roli jaką odgrywają w transferze energii dzielimy je na:

- niskotemperaturowe (kolektory i stawy słoneczne),
- wysokotemperaturowe (farmy i elektrownie słoneczne),
- wspomagające (magazyny energii, pompy ciepła, diody cieplne i inne).

Najtańszym urządzeniem jest kolektor słoneczny zwany też baterią słoneczną[21], rys.6.13b.

6.4.1.2.1. Kolektory słoneczne.

Energia promieniowania słonecznego o natężeniu H_b wyrażona w watach na metr kwadratowy, padająca na powierzchnię płaską (adsorpcyjną) jest częściowo adsorbowana, a częściowo odbita. Część z energii zaadsorbowanej jest przekazywana do otoczenia w postaci strat ciepła (konwekcyjnych i przewodzenia). Po pewnym czasie ustala się równowaga cieplna, której odpowiada temperatura równowagi, opisana prawem Stefana – Boltzmannia:

$$T_{równ}^4 = \frac{\alpha_r H_b}{\varepsilon \sigma}$$

gdzie:

α_r - współczynnik adsorpcji,

ε - współczynnik emisji,

α_r / ε - współczynnik selektywności adsorbera,

σ - $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \times \text{K}^4$ – stała Stefana – Boltzmannia,

H_b – 800 W/m^2 – typowa wartość natężenia promieniowania,

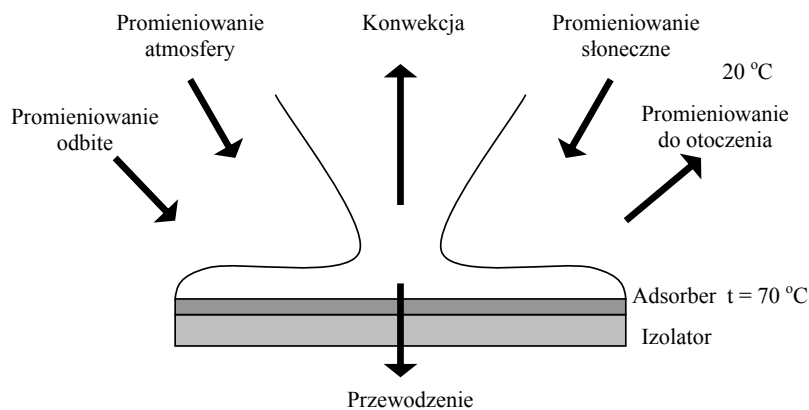
Temperatura równowagi jest tym wyższa, im wyższy jest współczynnik selektywności adsorbenta i im mniejsze są straty ciepła. Przyjmując współczynnik selektywności równy jedności, typową wartość natężenia promieniowania $H_b = 800 \text{ W/m}^2$ i pomijając inne strumienie energii (np. strat ciepła – konwekcyjny i przewodzenie), strumienia promieniowania odbitego i promieniowania rozproszonego atmosfery, uzyskuje się temperaturę równowagi 345 K ($71,5 \text{ }^\circ\text{C}$), zgodną z eksperymentem.

Zbieżność ta wynika z równoważenia się strumieni, głównie strumienia strat konwekcyjnych i promieniowania rozproszonego atmosfery o zbliżonych do siebie wartościach i tak:

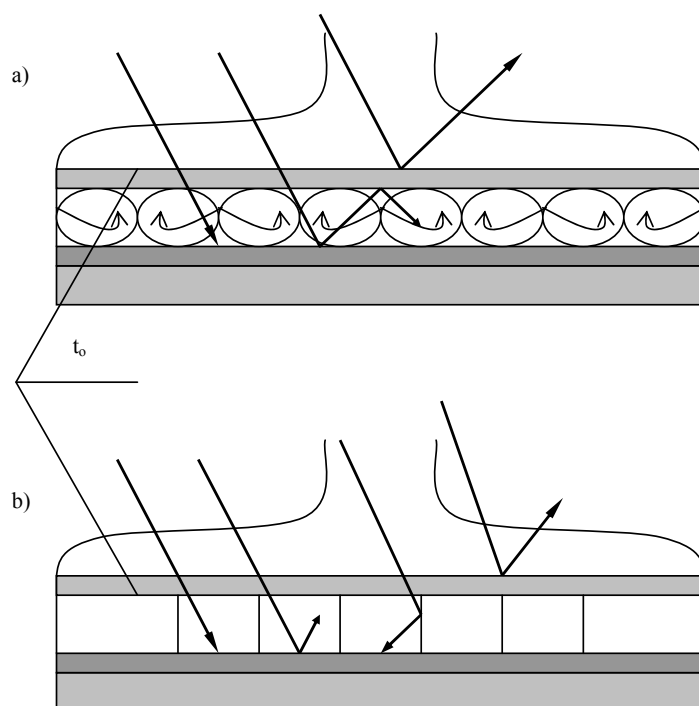
- strumień strat konwekcyjnych przy współczynniku wnikania ciepła $\alpha_k = 4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$ i różnicy temperatur ($71,5 - 20$) K wynosi ok. 200 W/m^2 ,
- strumień energii promieniowania atmosfery o dużej wilgotności i nawet przy całkowitym zachmurzeniu wynosi na powierzchni poziomej ok. 300 W/m^2 .

Reszta energii ulega zaadsorbowaniu przez parę wodną chmur o paśmie absorpcyjności ($20 < \lambda < 100 \text{ } \mu\text{m}$) i CO_2 ($\lambda = 15 \text{ } \mu\text{m}$); średnie promieniowanie rozproszone z tych dwóch skrajnych wartości daje strumień energii około 200 W/m^2 . Strumień strat ciepła przez przewodzenie można wyeliminować stosując odpowiednio grubą izolację cieplną, która nie ogranicza dostępu promieniowania do kolektora (baterii) [21].

Powyższe rozważanie dotyczy powierzchni płaskiej bez osłony naświetlanej energią słoneczną (rys. 6.12). Konwekcyjne straty ciepła można znacznie ograniczyć, stosując przezroczyste powierzchnie osłonowe (rys. 6.13.a.).



Rys.6.12. Strumienie energii naświetlanej poziomej powierzchni [21].



Rys. 6.13.a. Ograniczenie strat ciepła i podwyższenie temperatury równowagi adsorbentu przez zastosowanie: a) przezroczystej osłony, b) osłony wraz z pakietem wypełnień komórkowych [21].

Temperatura powierzchni tych osłon t_0 jest znacznie niższa niż temperatura równowagi i w efekcie dla przykładowych wartości: $t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{ot} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ i $\alpha_k = 4 \text{ W/m}^2$, konwekcyjny strumień strat ciepła od osłony wynosi ok. 20 W/m^2 . Gdyby udało się taką temperaturę uzyskać straty te byłyby 10 – krotnie mniejsze niż w przypadku adsorbentu bez osłony [21].

Temperatura osłony zależy od intensywności wymiany ciepła w szczelinie między osłoną a adsorbentem. Strumień ciepła od adsorbentu do osłony może być transportowany:

- przewodzeniem przez warstwę powietrza, która pełni wtedy rolę izolatora,
- konwekcją naturalną w przestrzeni zamkniętej,
- promieniowaniem.

Przewodzenie i konwekcję ogranicza się usuwając powietrze za szczeliny, ale wówczas osłonę i konstrukcję kolektora (baterii słonecznej) należy wzmocnić, co oznacza wzrost ceny kolektora. Tańszym rozwiązaniem jest zwiększenie grubości warstwy powietrza (zahamowania przewodzenia) przy jednoczesnym zastosowaniu wypełnień komórkowych (zahamowanie konwekcji). Komórki wypełnienia stanowią jednocześnie pułapkę dla promieniowania słonecznego (model ciała doskonale czarnego), zmniejszając strumień strat energii promieniowania. Dzięki zastosowaniu osłon i umieszczeniu w utworzonej szczelinie materiału komórkowego można:

- zmniejszyć, strumień strat energii,
- zwiększyć temperaturę równowagi o ok. 20-40 °C,
- poprawić sprawność cieplną kolektora słonecznego (baterii słonecznej) [21].

Sprawność kolektora słonecznego decyduje o opłacalności ich stosowania. Sprawność tę można wyznaczyć z bilansu energii kolektora:

$$\frac{Q_u}{A_k} = J(\tau\alpha)_e - u(t_a - t_{ot}) = mc_p(t_{wy} - t_{wl})$$

gdzie:

Q_u – strumień energii użytecznej w [W],

J – natężenie promieniowania słonecznego (strumień energii doprowadzonej), w $W/m^2 \times K$

$(\tau\alpha)_e$ – efektywny współczynnik transmisyjno-adsorpcyjny,

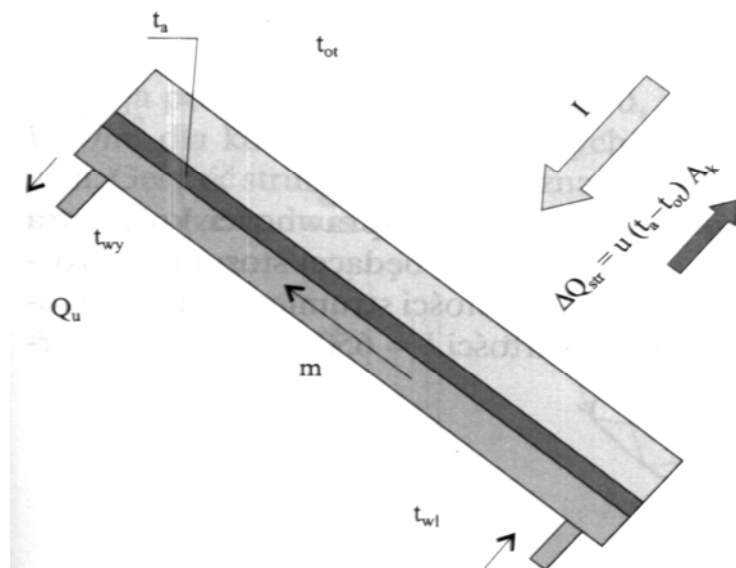
u – współczynnik strat ciepła, w $W/m^2 \times K$

A_k – powierzchnia adsorpcyjna kolektora w $[m^2]$,

m – jednostkowe natężenie przepływu czynnika w odniesieniu do powierzchni kolektora w $kg/m^2 \times s$,

c_p – ciepło właściwe czynnika w $J/kg \times K$

t_a , t_{ot} , t_{wy} , t_{wl} – temperatury: adsorbera, otoczenia, czynnika wylotowego i wlotowego, °C (rys. 6.13.b).



Rys. 6.13.b. Schemat kolektora słonecznego, wg [21].

Szukaną sprawnością jest stosunek strumienia energii użytecznej do strumienia energii promieniowania. Wyróżnia się sprawność dzienną, dobową, sezonową i roczną. Wszystkie one są opisane podobną zależnością:

$$\eta = \frac{Q_u}{IA_k} = \frac{q_u}{I} = (\tau\alpha)_e - u \frac{(t_a - t_{ot})}{I}$$

Gdy temperatura adsorbera zdąży do temperatury otoczenia, tzn. różnica $t_a - t_{ot}$ zbliży się do zera, wówczas sprawność chwilowa staje się sprawnością optyczną ($\eta = \alpha\tau$),

$$\eta = f_R[\eta_0 - \mu(t_a - t_{ot})/I]$$

gdzie:

f_R – współczynnik odprowadzania ciepła z kolektora; jest to stosunek aktualnej energii użytecznej kolektora do energii użytecznej, gdy $t_a = t_{wl}$.

Wyznaczenie t_a jest w praktyce kłopotliwe i dlatego sprawność kolektora wyznacza się na podstawie temperatury czynnika t . Zależnie od sposobu

określania tej temperatury współczynnik sprawności przyjmuje różne oznaczenia i wartości:

$$\begin{aligned} \text{Dla } t = t_a & & f &= 1, \\ \text{dla } t = t_{at} = (t_{wl} + t_{wy})/2, & & f &= f_M, \\ \text{dla } t = t_{wl} & & f &= f_R. \end{aligned}$$

Dla kolektorów powietrznych współczynniki te wynoszą:

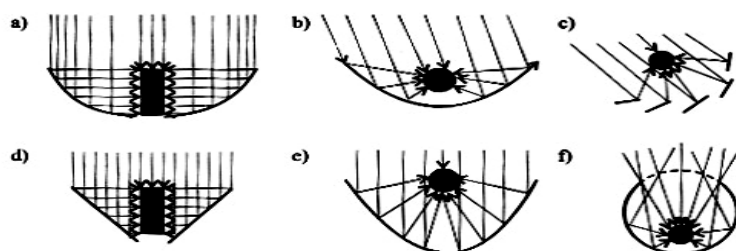
$$f_M = 0,8 - 0,9; \quad f_R = 0,7 - 0,8; \quad \alpha\tau = 0,4 - 0,9; \quad \mu_L = 5 - 15 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$$

Sprawność kolektora można też wyznaczyć z zależności:

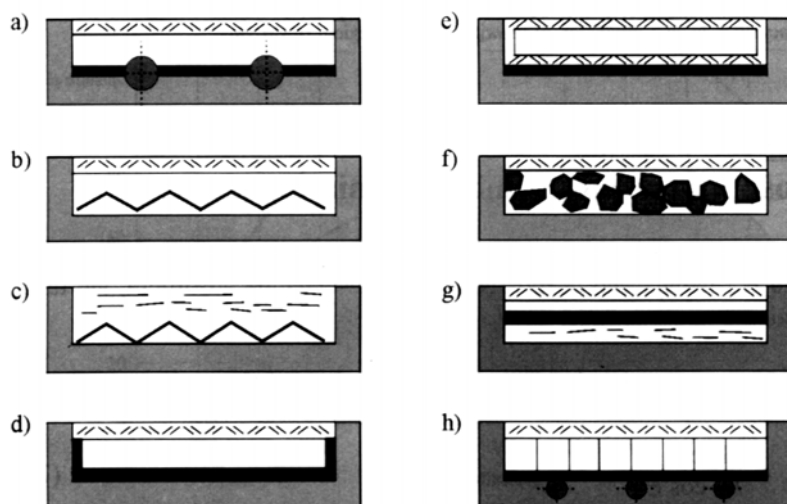
$$\eta = \frac{Q_u}{I_{Ak}} = \frac{mc_p(t_{wy} - t_{wl})}{I_{Ak}}$$

Charakterystykę sprawności kolektora przedstawia się w funkcji temperatury zredukowanej $F_{red} = (t_{av} - t_{ot})/I$, jako stosunku różnicy temperatur średniej czynnika i otoczenia do gęstości strumienia słonecznego; przyjęto jego wartość $I = 650 \text{ W/m}^2$ i przy stałej wartości współczynnika strat ciepła. Wynosi ona 38-85 %. Typowy kolektor słoneczny składa się z elementów: adsorbera, osłony, izolacji i konstrukcji (obudowy, instalacji, zaworów, króćców pomiarowych i konstrukcji nośnej). Adsorber na ogół wykonany jest z blachy miedzianej lub aluminiowej pokrytej czarną matową farbą ($\alpha/\varepsilon \approx 1$), w słoneczny dzień przy $H_b = 800 \text{ W/m}^2$ osiąga temperaturę równowagi ok. 343 K (70 °C). W celu podwyższenia tej temperatury, czyli ilości zaadsorbowanej energii można:

- adsorber pokryć powłokami selektywnymi, dla których $\alpha/\varepsilon = 8,5$ (Cu pasywowane NaOH i NaClO₂, $t_a = 150 - 160 \text{ }^\circ\text{C}$),
- ograniczyć konwekcyjne straty ciepła, pokrywając adsorber dodatkową osłoną (np. pleksi, szkło, szkło hartowane, PC, PA, PET, $t_a = 110 - 190 \text{ }^\circ\text{C}$),
- skoncentrować promieniowanie słoneczne układem lusterek płaskich, parabolicznych lub soczewek (rys. 6.14.a i b).



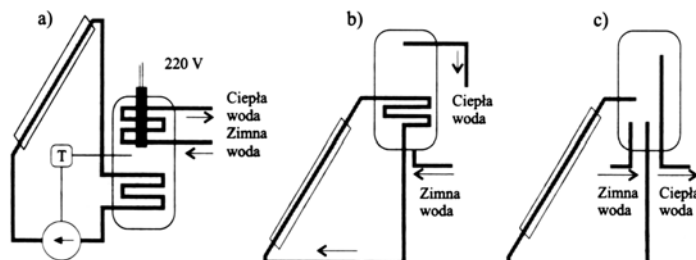
Rys. 6.14.a Typy kolektorów skupiających: a) paraboliczny, b) rynnowy, c) rurowy z lustrami płaskimi, d) stożkowy, e) paraboliczny rynnowy, f) z soczewkami Fresnella [21].



Rys.6.14.b. Typy kolektorów płaskich: a) z płaskim adsorberem ryflowanym, b) adsorberem ryflowanym c) wodny otwarty, d) powietrzny, e) próżniowy, f) z wypełnieniem, g) powietrzno -wodny, h) z wypełnieniem komórkowym [21].

Pokrycia kolektorów powinny być wytrzymałe na naciski, zginanie ($\sigma_{\text{gmin}} = 750 \text{ N/m}^2$) i ścieranie spowodowane: wiatrem, śniegiem, gradem, piaskiem. Powinny mieć też dużą twardość, być łatwo zmywalne i odporne na promieniowanie ultrafioletowe i być jak najbardziej przezroczyste. Szkło budowlane hartowane ma grubość 3 mm, trwałość 50 lat i przepuszczalność tafla 86-93 %, teflon odpowiednio (2,5; 20; 96 %), poliwęglan (PC) (3,2; 5; 82-89 %), polimetakrylan metylu (plexi) (3,2; 5 - 10; 84-92 %). Izolacja kolektora powinna mieć taką grubość σ , aby strumień strat ciepła był mniejszy niż 1 W/m^2 dla kolektorów całorocznych i mniejszy niż 5 W/m^2 dla letnich. Gęstość strumienia strat wyznacza się z zależności: $q_{\text{str}} = (\lambda/\sigma)(t_a - t_{\text{ot}})$. Współczynnik przewodności cieplnej λ (jednostka $\text{W/K} \times \text{m}$) najczęstszych materiałów izolacyjnych jest następujący: polistyren porowaty – 0,03; poliuretan spieniony – 0,024; wełna mineralna – 0,035; ebonit porowaty – 0,03; korek – 0,041.

Kolektory słoneczne ze względu na budowę dzielą się na: skupiające i płaskie, a ze względu na rodzaj czynnika roboczego na: wodne, powietrzne i wodno – powietrzne (rys. 6.14.a i b). W kolektorach słonecznych na ogół jest ogrzewana woda – rys.6.14.c.



Rys. 6.14.c. Kolektorowe instalacje ogrzewania wody: a) z pompą i dwoma obiegami, b) grawitacyjny z dwoma obiegami, c) grawitacyjny z obiegiem otwartym [21].

Instalacja kolektorów słonecznych, przetwarzająca energię promieniowania słonecznego na ciepłą, składa się z kolektora (panel adsorpcyjny), zasobnika ciepła, układu regulacji i instalacji rur z zaworami. Schematy trzech instalacji kolektorowych ogrzewania wody podano powyżej na rys. 6.14.c. [21].

Wartość użyteczna promieniowania słonecznego jest funkcją nie tylko promieniowania padającego bezpośrednio na powierzchnię adsorbera, ale także promieniowania rozproszonego i zależy również od współczynnika odbicia promieniowania od powierzchni, kąta padania promieni i kąta pochylenia kolektora względem powierzchni poziomej. Współczynnik odbicia zależy od

miejsca ustawienia kolektora: na ziemi na nieporośniętej, na skale, wodzie czy śniegu. Wg danych IMiGW dla Gdańska wartości promieniowania padającego wynoszą rocznie: 592 kWh/m², zaś promieniowania rozproszonego 436 kWh/m². Przy kącie padania promieni słonecznych 35° i kącie pochylenia kolektora 43° i współczynniku korelacji pochylenia powierzchni $R_b = 1,7$ wyliczono wartość rocznej energii promieniowania słonecznego $H_{cp} = 1411$ kWh/m². Pole powierzchni kolektora zależy od jego sprawności i dobowego zapotrzebowania energii cieplnej Q ; zgodnie z zależnością:

$$A_k = Q / (H_{cp} \eta).$$

Według norm zachodnioeuropejskich jedna osoba potrzebuje 60 dm³/d ciepłej wody użytkowej o temperaturze 45 °C. Przy 4 osobach zamieszkujących dom jednorodzinny, temperaturze wody zimnej 10 °C i przy ciepłej właściwym wody $C_p = 4,19$ kJ/kg x K dobowe zapotrzebowanie na energię cieplną wynosi:

$$Q = \frac{4 \times 60 (45 - 10) 4,19}{3600} = 9,8 \text{ kWh/d}$$

Przy sprawności instalacji $\eta = 45$ % wymagana powierzchnia kolektorów wynosi w Europie Zachodniej:

$$A_k = \frac{9,8 \times 365}{1411,3 \times 0,45} = 5,6 \text{ m}^2$$

Dla warunków w Polsce, przy normie zużycia ciepłej wody na osobę (150 dm³/dobę) i o temperaturze 55 °C oraz innych warunkach klimatycznych (energia słoneczna pokrywa tylko 50 % zapotrzebowania na ciepło) należy powierzchnię kolektorów odpowiednio zwiększyć.

Przy zastosowaniu kolektorów o powierzchni 5m² jedynie w 4 miesiącach w roku (V-VIII) można w 100 % pokryć zapotrzebowanie na ciepłą wodę dla rodziny 4-osobowej. Przy instalacji całorocznej powierzchnia kolektorów powinna zapewnić minimalnie 65 % zapotrzebowania na ciepłą wodę. Brakującą energię dostarcza się w sposób konwencjonalny (np. bojler elektryczny, kocioł na ropę, gaz lub węgiel) [21].

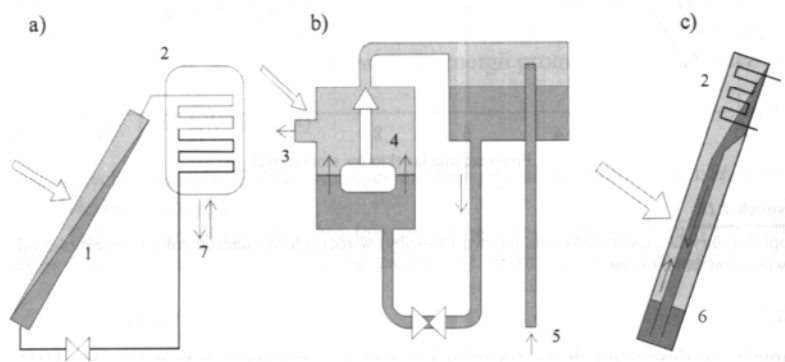
6.4.1.2.1.1. Nowe typy kolektorów słonecznych.

Najczęściej czynnikami transportującymi energię cieplną z powierzchni adsorbera są powietrze lub woda. O ich przydatności decyduje:

- dla wody: duża pojemność cieplna, dostępność i nietoksyczność,

- dla powietrza: mały ciężar właściwy, możliwość pracy w niskich temperaturach, możliwość bezpośredniego ogrzewania bez potrzeby budowania instalacji hydraulicznych, wymienników, itp.

Do transportu ciepła można wykorzystać oprócz pojemności cieplnej czynnika, także inne mechanizmy jak np.: efekty cieplne towarzyszące przemianom fazowym [21]. Istnieją kolektory słoneczne z czynnikiem dwufazowym. Na rys. 6.14.d. pokazano trzy instalacje kolektorów z czynnikiem niskowrzącym (np. freon, amoniak, propan, butan), w których zachodzi przemiana fazowa (wrzenie – kondensacja).

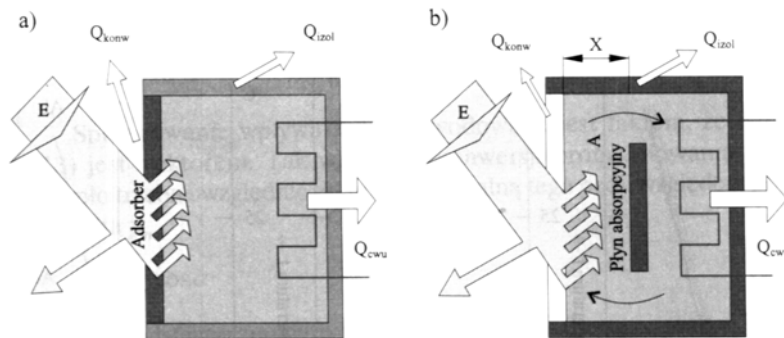


Rys. 6.14.d. Schematy kolektorów z czynnikiem dwufazowym: a) termosyfon; b) z zaworem pływakowym; c) rura cieplna, gdzie: 1 – kolektor parownik, 2- kondensator, 3- odpływ z kondensatora, 4- zawór pływakowy, 5 – dopływ do kondensatora, 6 – parownik, 7- ciepła woda

W tych rozwiązaniach część adsorbująca promieniowanie słoneczne jest jednocześnie parownikiem czynnika niskowrzącego, a w zasobniku znajduje się kondensator. Przepływ czynnika może być grawitacyjny swobodny, grawitacyjny z pływakowym zaworem regulacyjnym albo wymuszony pompą obiegową kondensatu.

Kolektory absorpcyjne pochłaniają energię promieniowania w całej masie, najczęściej barwnego czynnika kolektora, przez co temperatura powierzchni stykającej się z otoczeniem jest niższa. W typowych kolektorach słonecznych absorpcja promieniowania słonecznego odbywa się na czarnej powierzchni adsorbera, wewnątrz którego płynie czynnik roboczy. Sprawność kolektora maleje wraz ze wzrostem temperatury powierzchni adsorbera [21]. Wyniki badań rozkładu temperatur i prędkości czynnika w kierunku prostopadłym

wskazują na niewielką przewagę kolektora absorpcyjnego niż kolektorów tradycyjnych, rys.6.14.e.



Rys. 6.14.e. Modele dwóch typów kolektora słonecznego, wg [21]:

a) tradycyjny adsorbujący; b) absorpcyjny z pochłanianiem energii promieniowania w objętości płynu.

Kolektory z warstwą lub warstwami zasłanymi promieniowaniem. Wyniki badań kolektorów słonecznych wykazały, że moc promieniowania zależy od cosinusa kąta pochylenia promieni słonecznych w stosunku do powierzchni adsorbera (α) wg zależności: $I = I_n \cos^2 \alpha$. Zwiększenie wpływu nachylenia kąta padania promieni słonecznych wynika z faktu, że pęd fotonów jest wektorem. Dlatego przy konwersji promieniowania słonecznego na ciepło uwzględnić trzeba normalną składową tego pędu względem adsorbera p_n zgodnie z zależnością $p = p_n \cos \alpha$.

Nowa koncepcja kolektorów wykazuje większą moc absorpcji przez załamanie promieni słonecznych tak, że stają się one bardziej prostopadłe do powierzchni. Stosując przezroczyste warstwy załamujące o zwiększającej się w kierunku zbliżania się do powierzchni adsorbera, gęstości optycznej można osiągnąć ten efekt.

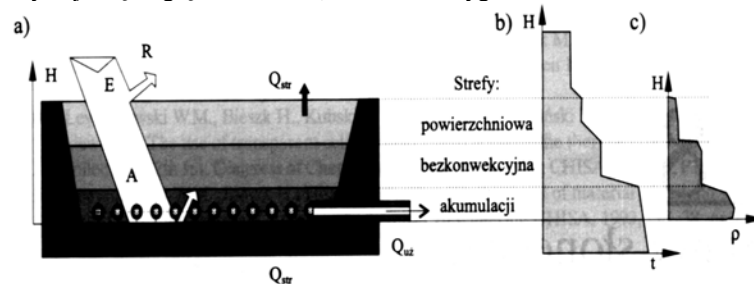
Kolektory specjalne. Prowadzi się badania innych rozwiązań i konstrukcji jak: kolektory z półprzezroczystym złożem pochłaniającym, kolektory dwuczynnikiowe, kolektory elastyczne, kolektory próżniowe,

kolektory rurowe, kolektory z wypełnieniem komórkowym (kształt plastra miodu), kolektory magazynujące i inne [21].

6.4.1.2.2. Stawy słoneczne.

W stawie słonecznym energia promieniowania słonecznego jest kumulowana dzięki dużemu stężeniu soli w wodzie. Solanka ogrzana gromadzi się na dnie. Staw o głębokości 1 m ma 6 do 8 warstw płynu o zróżnicowanym stężeniu. Solami są NaCl lub $MgCl_2$. W stawie wyróżnia się 3 strefy: powierzchniową (izolującą), bezkonwekcyjną buforową i akumulacji ciepła o największym stężeniu solanki.

W trakcie eksploatacji na drodze dyfuzji następuje samorzutnie wyrównywanie stężeń. Do warstwy powierzchniowej należy ciągle doprowadzać czystą wodę, do strefy akumulacji stężony roztwór solanki. Ze stawu o powierzchni 1400 m^2 można uzyskać ok. 4 W/m^2 (6 kW) mocy. Temperatura rzędu $85 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ utrzymuje się na głębokości $H > 3,5 \text{ m}$ do kilku tygodni.



Rys. 6.15. Schemat stawu słonecznego: a) rozkład strumieni energii, b) rozkład gradientu temperatury w funkcji głębokości, c) rozkład gradientu stężeń w funkcji głębokości [21]

6.5 Przetwarzanie energii słonecznej na pracę.

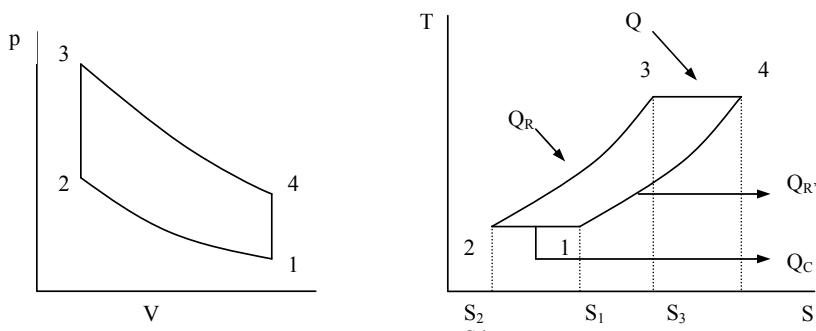
Prekursorem wysokotemperaturowej metody przetwarzania energii słonecznej na pracę był Amerykanin szwedzkiego pochodzenia J. Ericsson, który w 1880 r. uruchomił silnik napędzany gorącym powietrzem. Ogrzewało się ono płynąc w rurze, umieszczonej w ognisku parabolicznego rynnowego koncentratora. Koncepcję tę wykorzystali F. Shumann i C.V. Boys w 1912 r. budując w Meddi (Egipt) parową pompę o mocy $P = 45 \text{ kW}$ i nawadniając wodą z Nilu obszar o powierzchni 1100 m^2 [21].

W 1970 r. uruchomiono w USA dwa programy badawcze na przetwarzanie energii słonecznej na ciepło i na prąd elektryczny. W latach 1984 – 1991 badano prototypy elektrowni słonecznych, które aktualnie już pracują.

6.5.1. Silnik Stirlinga.

Dla wykonania pracy przez silnik cieplny rodzaj źródła ciepła nie jest istotny. Nie musi to być ciepło ze spalania paliwa a np. może nim być ciepło promieniowania słonecznego, ogrzewające powietrze.

Wyidealizowane wykresy wykonane we współrzędnych pV i TS (S -entropia) przedstawiono na rys. 6.16a. Gaz (powietrze, wodór lub hel) jest sprężany izotermicznie na drodze $1 \rightarrow 2$ i oddaje ciepło Q_C ; na drodze $2 \rightarrow 3$ zwiększa się ciśnienie gazu bez zmiany jego objętości, co prowadzi do wzrostu temperatury i absorpcji ciepła Q_R ; na drodze $3 \rightarrow 4$ gaz rozpręża się izotermicznie i pobiera ciepło Q_H ; na drodze $4 \rightarrow 1$ ciśnienie spada i uwalnia się ciepło $Q_{R'}$. Praktycznie wartości Q_R i $Q_{R'}$, znoszą się wzajemnie, są one równe $\int C_v dT$, gdzie ciepło właściwe w stałej objętości C_v nie różni się zbytnio dla przejść $2 \rightarrow 3$ i $4 \rightarrow 1$. Zakres temperatur jest w obu przypadkach taki sam. Dla $Q_R \approx Q_{R'}$ również $\int TdS$ będzie tak sama dla obu przypadków. Jeśli kształty krzywych są podobne, stwierdzamy, że w przybliżeniu $S_3 - S_2 = S_4 - S_1$ lub $S_4 - S_3 = S_1 - S_2$.



Rys. 6.16.a. Obieg porównawczy dla silnika Stirlinga. Podczas dwóch etapów pracy silnika objętość gazu pozostaje stała, w dwóch innych etapach nie zmienia się temperatura [7].

Sprawność wynosi:

$$\eta = \frac{W}{Q_H + Q_R} = \frac{Q_H - Q_R - Q_C - Q_{R'}}{Q_H + Q_R} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H + Q_R}$$

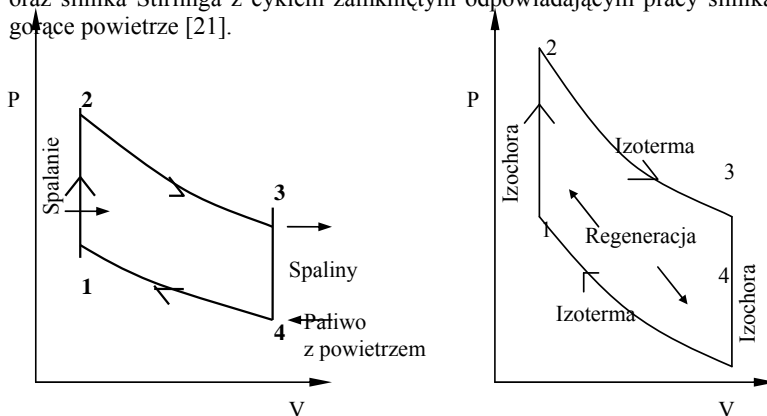
Praktycznie ciepło uwolnione Q_R może zostać zmagazynowane i pobrane wtedy, kiedy jest potrzebne Q_R , czyli ostatecznie nie jest ono stracone. Dokonuje się tego za pomocą regeneracyjnego wymiennika, ciepła (regeneratora), który magazynuje 98 % ciepła. Wymagana energia dostarczana wynosi tylko Q_H i z mianownika η znika Q_R . Otrzymujemy ostatecznie:

$$\eta = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_C(S_1 - S_2)}{T_H(S_4 - S_3)} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

T_C – temperatura zimnego zbiornika,
 T_H – temperatura gorącego zbiornika,

co jest równe sprawności Carnota. Silniki Stirlinga do działania potrzebują tylko ciepła. Źródło ciepła nie ma tu znaczenia. Firma holenderska Philips przystosowała ten silnik do samochodów [7].

Na rysunku 6.16.b przedstawiono zestawienie porównawczych obiegów termodynamicznych silnika benzynowego z zapłonem iskrowym z obiegiem Otto oraz silnika Stirlinga z cyklem zamkniętym odpowiadającym pracy silnika na gorące powietrze [21].



Rys. 6.16.b. Idealne obiegi termodynamiczne: a) Otto – cykl otwarty odpowiadający pracy silnika ze spalaniem zewnętrznym, b) Stirlinga – cykl zamknięty odpowiadający pracy silnika na gorące powietrze [21].

W silniku Stirlinga cykl składa się z przemian (rys. 6.16.b.):

- izotermiczne odwracalne rozprężanie czynnika, podczas którego pozostaje on w kontakcie z górnym źródłem o temperaturze T_{zg} (2→3),
- izochoryczne ochładzanie czynnika do temperatury dolnego źródła T_{zd} ; ponieważ gaz pozostaje w kontakcie z chłodnicą o temperaturze niższej niż chwilowa temperatura gazu - etap ten jest procesem nieodwracalnym (3→4),
- izotermiczne odwracalne sprężanie, podczas którego gaz pozostaje w kontakcie z dolnym źródłem (4→1),
- izochoryczne ogrzewanie do temperatury górnego źródła, ze względu na kontakt termiczny ze źródłem o temperaturze wyższej niż chwilowa temperatura gazu – etap ten jest procesem nieodwracalnym (1→2).

Teoretyczna sprawność klasycznego obiegu Stirlinga jest określona zależnością:

$$\eta = (T_{zg} - T_{zd}) / (T_{zg} + k)$$

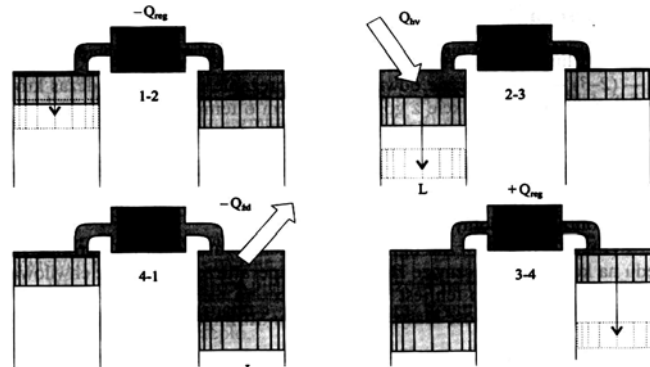
przy czym

$$k = C_v (T_{zg} - T_{zd}) / [R \ln(V_{3-4} / V_{1-2})] > 0$$

jest stałą zależną od ciepła właściwego przy stałej objętości czynnika C_v , uniwersalnej stałej gazowej R oraz od stopnia sprężenia czynnika V_{3-4}/V_{1-2} . Stała ta ujemnie wartości strumienia ciepła pobranego z górnego źródła w przemianie izochorycznej (1→2). Przykładowe wartości sprawności wyliczone dla: gazu dwuatomowego $C_v = 5R/2$, $T_{zd} = 280$ K, $T_{zg} = 800$ K wynoszą: 19 %, 38 % i 46 % przy współczynnikach sprężania odpowiednio: 2; 10 i 50.

Nieodwracalność przemian izochorycznych można zmniejszyć przez stopniowe nagrzewanie (1→2) i chłodzenie (3→4) czynnika roboczego przez jego kontakt z wieloma źródłami i chłodnicami o stopniowo wzrastającej (1→2) lub malejącej (3→4) temperaturze. Ponieważ rozkład ciepła odprowadzanego wzdłuż drogi przemiany (3→4) jest identyczny z rozkładem ciepła doprowadzanego wzdłuż przemiany (1→2) można do tego celu zastosować regeneratory. Dwa takie regeneratory mogą cyklicznie się przemieszczać, współpracując przemiennie z czynnikami w przemianie (1→2) i (3→4). Ten sam efekt można uzyskać stosując stacjonarne regeneratory i przemienny przepływ czynnika. Kierunek przemieszczania się zregenerowanego strumienia ciepła wskazują cieńsze strzałki pokazane na rys. 6.16.b. Rysunek 6.16.c. przedstawia zasadę działania dwucylindrowego silnika Stirlinga napędzanego wysokotemperaturowym strumieniem ciepła, uzyskanym w zdecentralizowanym systemie absorpcji promieniowania słonecznego. Etapy pracy tego silnika podano w objaśnieniach do rysunku 6.16.c.

Silniki Stirlinga są napędzane gorącym powietrzem i uzyskują sprawność do 70 % sprawności obiegu Carnota. Powietrze jest ogrzewane w słonecznych kolektorach skupiających. Przetwarzają one energię słoneczną na prąd elektryczny. Moc czterotłokowego silnika wynosi 25 kW, a jego sprawność przetworzenia energii cieplnej na elektryczną $\eta = 40\%$.

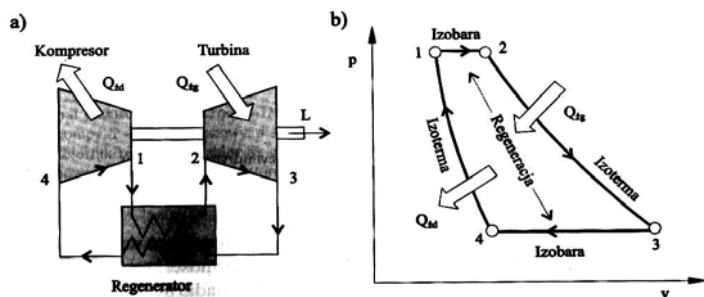


Rys. 6.16.c. Cykle pracy silnika Stirlinga z wewnątrz obiegowym regeneratorem ciepła napędzanego powietrzem ogrzwanym w słonecznych kolektorach skupiających, wg [21].

Silnik dwucylindrowy; etapy pracy: 1-2 ogrzewanie sprężonego czynnika do temperatury górnego źródła przy przetłoczeniu w stałej objętości przez ogrzany regenerator, 2-3 doprowadzane do ścianek cylindra ogrzane w skupiających kolektorach powietrze ogrzewa czynnik roboczy wewnątrz cylindra, który przy rozprężaniu się wykonuje pracę, 3-4 czynnik przy stałej objętości jest przetłoczony przez regenerator ciepła (pakiet rurek lub siatek metalowych o dużej pojemności cieplnej, gdzie chłodzi się do temperatury dolnego źródła, 4-1 oddawanie ciepła do dolnego źródła z jednoczesnym sprężaniem czynnika.

6.5.2. Silnik Ericssona.

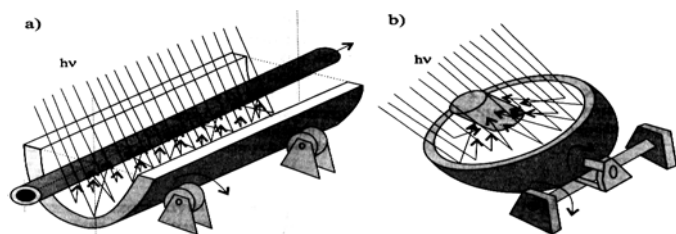
Cykl w silniku Ericssona składa się z dwóch izoterm oraz dwóch izobar [21]. Regeneracja ciepła zachodzi pomiędzy przemianami izobarycznymi. Do sprężania i rozprężania czynnika nie zawsze musi być stosowany układ tłok – cylinder. W tym silniku funkcję tę spełnia układ turbina- kompresor. Zasada działania silnika z obiegiem Ericssona jest podobna do silnika z obiegiem Stirlinga. Różnicą jest przemiana izobaryczna w silniku Ericssona, a w silniku Stirlinga przebiega przemiana izochoryczna. Podczas dwóch etapów pracy silnika Ericssona ciśnienie gazu pozostaje stałe, w dwóch innych etapach nie zmienia się temperatura, ale ich wartości są różne.



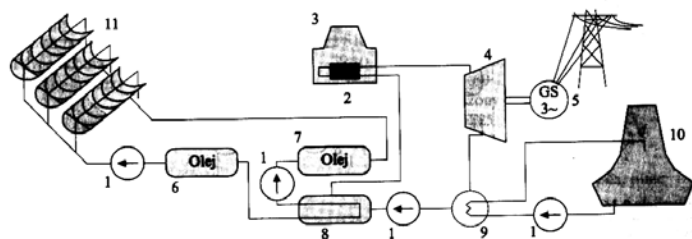
Rys. 6.17. Silnik Ericssona: a) Schemat silnika, b) obieg termodynamiczny. Sprężanie i rozprężanie czynnika spełnia tu układ; turbina – kompresor, a nie układ tłok – cylinder. Regeneracja ciepła zachodzi między przemianami izobarycznymi [21]

6.5.3. Wysokotemperaturowy system zdecentralizowany.

Zależnie od sposobu uzyskiwania i przetwarzania energii słonecznej różni się dwa podstawowe systemy:



Rys. 6.18a. Schematy koncentratorów promieniowania słonecznego a) cylindryczny (rurowy), b) paraboliczny (talerzowy), wg [21].



Rys. 6.18b Schemat elektrowni słonecznej w Dagget w Kalifornii wg [21]
1) pompy, 2) kocioł gazowy, 3) przegrzewacz, 4) turbina parowa, 5) generator, 6) zbiornik zimny 7) zbiornik gorący, 8) wytwornica pary, 9) skraplacz, 10) chłodnie kominowe, 11) pole koncentratorów.

- zdecentralizowany, w którym czynnik roboczy przepływa kolektorem przez szereg koncentratorów płaskich, parabolicznych lub rynnowych, tworzących tzw. fermy słoneczne,
- scentralizowany, w którym jest pole heliostatów w postaci lusterek koncentrujących promieniowanie słoneczne na jednym centralnym kolektorze umieszczonym na wieży. Stosuje się najczęściej koncentratory skupiające, które zwiększają gęstość promieniowania słonecznego 1,5 do 10 000 razy. W wyniku tego uzyskuje się temperatury czynnika roboczego dochodzące do 4000 K.

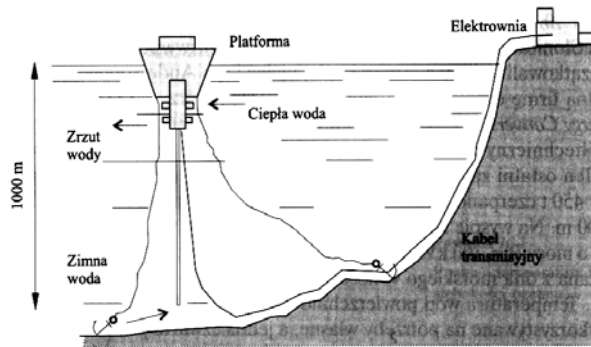
6.5.4. Wysokotemperaturowy system scentralizowany.

Typowa scentralizowana elektrownia słoneczna składa się z pola heliostatów, absorbera wieżowego, dwóch obiegów (sodu stopionego i obiegu wodno-parowego), wytwornicy pary, turbogeneratorsa i ociekowej chłodni powietrzno-wodnej. [21].

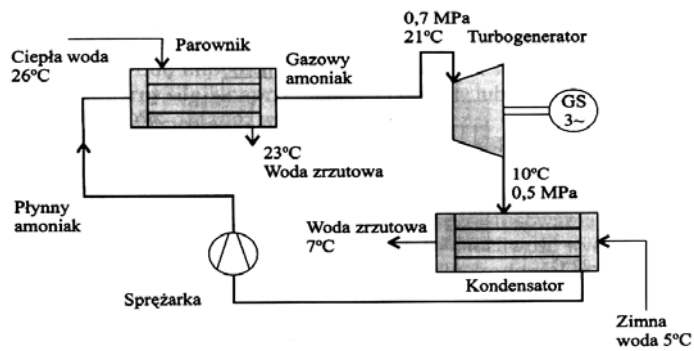
6.6. Niskotemperaturowa energia termiczna mórz i oceanów.

Morza i oceany na Ziemi są największymi zasobnikami ciepła przetworzonego z energii promieniowania słonecznego. Wskutek konwekcji, która powoduje unoszenie się ciepłego płynu i opadanie zimnego, w morzach i oceanach temperatura w przekroju poprzecznym wody nie jest stała. Występująca stratyfikacja płynu jest pogłębiona dopływem do strefy dennej wody z topniejącego lodowca i ogrzewaniem powierzchni wody promieniowaniem słonecznym. Poprzeczny gradient temperatury wynosi kilka do kilkunastu kelwinów. Z powierzchni oceanów ok. 360 mln km² przy istniejącej różnicy temperatur między strefami powierzchniową a denną zasób energii wynosi 2,5 x 10¹⁷ kWh/rok. Do wykorzystania przy obecnym stanie techniki jest możliwe 4 x 10¹⁶ kWh/rok [21]. W rejonach arktycznych występuje też różnica temperatur między powietrzem (-20 °C), a wodą pod lodem (+2 °C). Dla tej różnicy temperatur z 1 m³ wody można uzyskać w ciągu 1 s ok. 10 kJ energii, przy sprawności $\eta = 5\%$. Energia termiczna mórz i oceanów charakteryzuje się stałym natężeniem w skali dobowej i rocznej. Konwersja energii termicznej na mechaniczną, a potem na elektryczną może przebiegać z wykorzystaniem dwóch źródeł: dolnego o niskiej temperaturze i górnego o temperaturze wyższej. Instalacja OTEC zamocowana na platformie służy do otrzymywania użytkowej mocy prądu elektrycznego P = 100 MW. Przez wymienniki ciepła przetłacza się ok. 450 m³/s ciepłej i zimnej wody, o różnicy temperatur 15 – 26 K, o mocy cieplnej ok. 4000 MW. Sprawność konwersji wynosi 2,5 %. Stosuje się ok. 600 – 1000 m rur o średnicy D = 20 m.

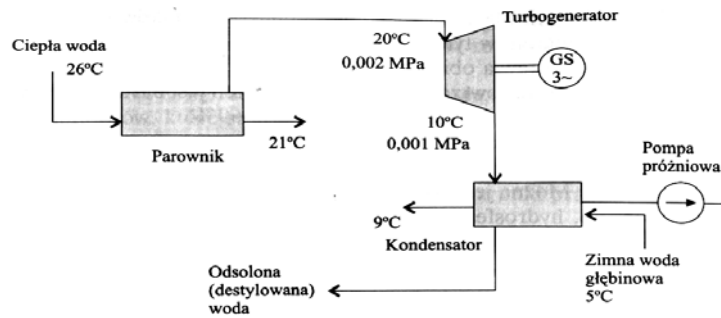
W obiegu Clouda czynnikiem roboczym jest para wodna otrzymywana pod zmniejszonym ciśnieniem z ciepłej wody morskiej. (rys.6.19a,b,c,d.)



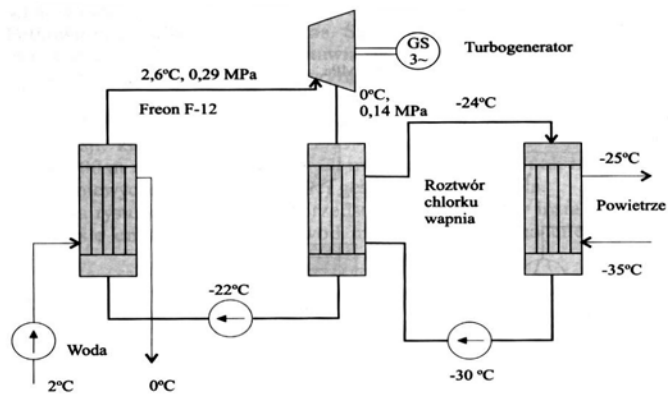
Rys. 6.19a Schemat instalacji OTEC na platformie [21]



Rys. 6.19b Instalacja OTEC z zamkniętym cyklem

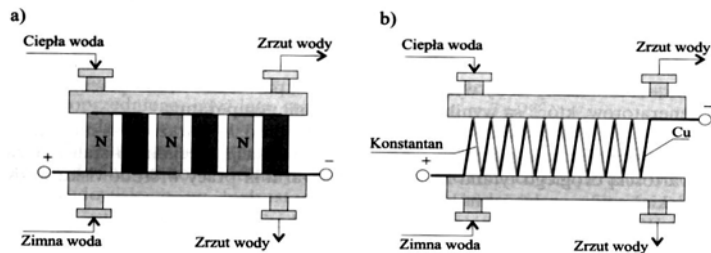


Rys. 6.19c Instalacja OTEC z otwartym cyklem (obieg Clouda) [21]



Rys. 6.19d. Arktyczna wersja OTEC. [21]

Konwersja energii termicznej oceanu na energię elektryczną polega na bezpośredniej zamianie energii cieplnej w baterii termoelektrycznej na prąd elektryczny. Bateria termoelektryczna składa się z szeregowo połączonych półprzewodników lub termopar [21].- rys. 6.20.



Rys. 6.20. Termoelektryczny system OTEC: a) półprzewodnikowy, b) termoparowy. [21]

6.7. Energia geotermalna.

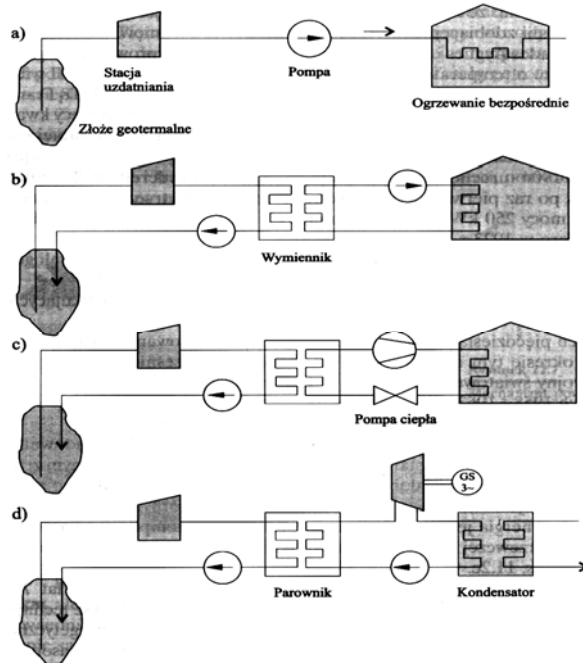
Energia geotermalna jest nadwyżką energii cieplnej w stosunku do energii odpowiadającej średniej temperaturze powierzchni Ziemi i szacuje się ją na 8×10^{30} J. Jest ona 35 bilionów razy większa od obecnego globalnego zapotrzebowania na energię. Średnia temperatura powierzchni Ziemi wynosi 15°C . Rzeczywiste wartości zmieniają się zależnie od szerokości geograficznej, pory roku i dnia, i są wynikiem ustalenia się równowagi cieplnej między najważniejszymi trzema strumieniami ciepła.

- doprowadzonego przez promieniowanie ze Słońca,
- doprowadzonego przez przewodzenie lub konwekcję z jądra Ziemi,
- wypromieniowanego do przestrzeni kosmicznej.

W jądrze Ziemi w wyniku rozpadu pierwiastków promieniotwórczych temperatura dochodzi do 5000°C . Maleje ona w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi, zależnie od rodzaju skał i warunków geologicznych od 15 do do 80 K na jeden kilometr. Przeciętnie gradient temperatury skorupy ziemskiej wynosi 25 K/km. Wyróżnia się następujące rejony geotermalne:

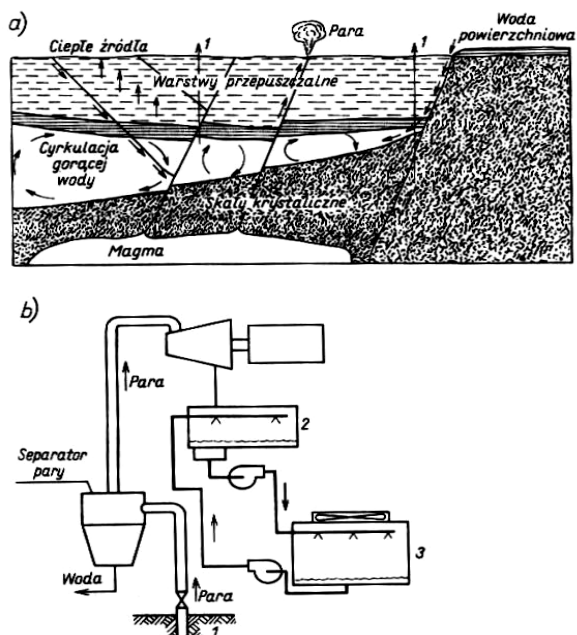
- hipertermiczny z gradientem temperatury >80 K/km,
- semitermiczny od 40 do 80 K/km,
- normalny z gradientem do 40 K/km.

Rozróżnia się dwa rodzaje zasobów energii geotermalnej: hydrotermiczne i petrotermiczne.



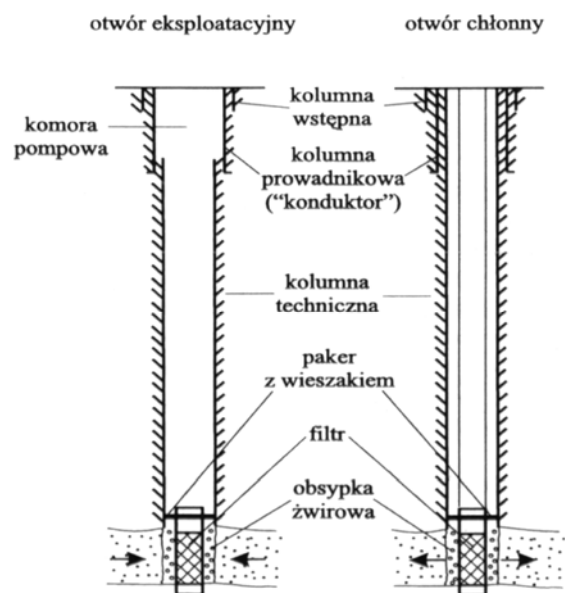
Rys. 6.21. Sposoby wykorzystania energii geotermalnej wg [21]
 a) do bezpośredniego ogrzewania, b) do pośredniego ogrzewania, c) jako dolne źródło pompy ciepła, d) do produkcji energii elektrycznej.

Hydrotermiczne odnoszą się do wysokotemperaturowych warstw ogrzanej mieszaniny dwuskładnikowej wody i pary wodnej o temperaturze 200 – 300 °C lub pokładów gorącej wody o temperaturze 50 – 70 °C. Zasoby petrotermiczne to energia cieplna zgromadzona w suchych, ogrzanych i porowatych skałach. Wykonać można odwierty i wykorzystać energię hydrotermiczną lub petrotermiczna zgromadzoną w skorupie ziemskiej do głębokości 5 km. Zasoby tej energii oszacowano na $1,4 \times 10^{26}$ J. Praktycznie opłacalne jest wykonywanie odwiertów do głębokości 2 km. W gejzerach płyn geotermalny wydostaje się samoistnie na powierzchnię Ziemi [21,25]. W 1988 r. z zasobów geotermalnych Ziemi uzyskano 5600 MW energii elektrycznej i 10500 MW energii cieplnej.

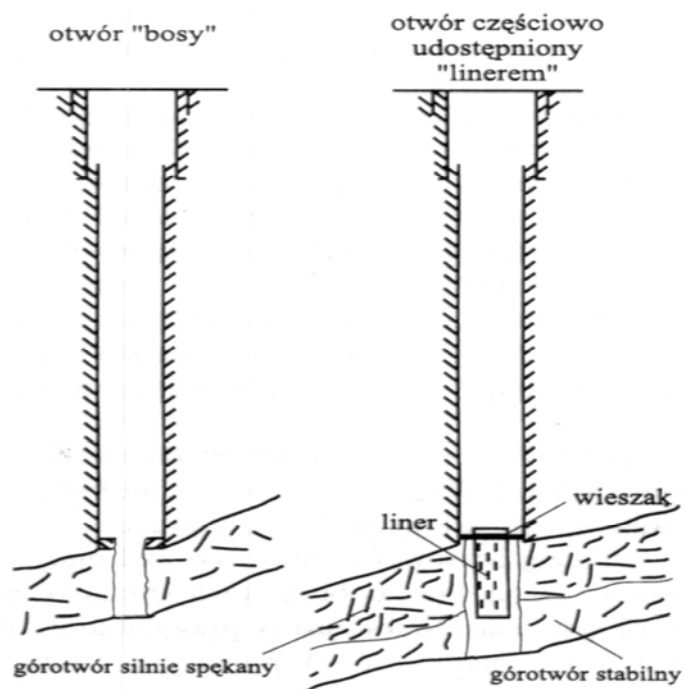


Rys. 6.22.a. Schemat elektrowni geotermicznej, wg [17]; a) obszar anomalii geologicznej, b) schemat elektrowni geotermicznej: 1-otwór wiertniczy, 2- ogniwo, 3 - lustro paraboliczne.

Dla odbioru ciepła z suchych, gorących i porowatych skał (zasoby petrotermiczne) należy wprowadzić wodę do ośrodka skalnego i po ogrzaniu jej należy wydobyć ją na powierzchnię. Z powyższego wynika, że ujęcie wód termalnych bazuje na 2 odwiertach: w jednym eksploatacyjnym odwiercie wydobywa się gorący płyn na powierzchnię, w drugim chłonnym następuje zatłoczenie ochłodzonej cieczy do ośrodka skalnego (rys.6.22.a i rys. 622.b).



1)



2)

Rys. 6.22.b. 1) Schemat konstrukcji otworów geotermalnych na Niżu Polskim; 2) Schemat ujęcia geotermalnego wód z utworów szczelinowych [13].

Na obszarach semi – i hipertermalnych wykorzystuje się płyny o wysokiej temperaturze, po ich uprzednim wydobyciu na powierzchnię Ziemi, do napędzania turbin generujących energię elektryczną (rys.6.21.) Wykorzystanie złóż z obszarów o normalnej wartości gradientu geotermicznego ma zastosowanie w ciepłownictwie do celów rekreacyjnych, balneologicznych czy w hodowli. Jest to wykorzystanie bezpośrednie energii geotermalnej i ma ono zastosowanie w Polsce.

6.7.1. Występowanie i wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce.

Jako wody termalne rozumiemy w Polsce takie wody podziemne, które charakteryzują się temperaturą wyższą od 20 °C [32] i takie pojęcie jest zgodne z aktualnie obowiązującą ustawą Prawo Geologiczne i Górnicze (Dz.U. 27, poz.96, z dnia 04-02-1994). J.C. Rowley w opracowaniu „Handbook of Geothermal Energy [13] wydzielił 4 klasy wód termalnych (wraz ze złożami przegrzanej pary wodnej):

temperatura płynu	klasa złoża
< 100 °C	I
100-150 °C	II
150-250 °C	III
>250 °C	IV

J. Sokołowski dzieli wody termalne o niskiej entalpii następująco [13]:

- 1) zimne do 20 °C
- 2) ciepłe 20-35 °C
- 3) gorące 35-80 °C
- 4) bardzo gorące 80-100 °C
- 5) przegrzane 100-130 °C.

Złoża niskotemperaturowe klasyfikowane mogą być także wg zasad stosowanych w balneologii:

- wody hipotermalne 20-34 °C
- wody homeotermalne 34-38 °C
- wody hipertermalne > 38 °C.

A. Macioszczyk [23,24] dokonała podziału w oparciu o porównanie temperatury wody t_w do średniej rocznej temperatury powietrza t_{sr} i wydzieliła:

- wody chłodne $t_w < t_{sr}$
- wody zwykłe $t_w \approx t_{sr}$
- wody ciepłe $t_w > t_{sr}$

Naturalne systemy hydrotermalne obejmują płyny zawarte w formacjach porowatych bądź szczelinowatych, ogrzane do wysokiej temperatury przez dostarczanie ciepła z głębokich partii skorupy ziemskiej. Te gorące płyny utrzymywane są w zbiorniku dzięki leżącej nad nimi warstwie izolującej, która hamuje wędrowkę płynu do góry i częściowo izoluje skały zbiornika od utraty ciepła [13].

Naturalne systemy hydrotermalne obejmują dwa podstawowe typy struktur geologicznych. Pierwsze z nich tworzą głębokie regionalne zbiorniki sedimentacyjne, zawierające z reguły wody zmineralizowane. Taki typ zbiornika reprezentują utwory mezozoiczne na Nizinie Polskiej – utworami zawierającymi wody termalne są osady dolnej kredy i dolnej jury. Drugi typ zbiornika stanowią systemy o dominacji szczelin, w których wody infiltrują na dużą głębokość, tam są ogrzewane, a potem przedostają się ku górze poprzez uskoki i systemy szczelin, jak ma to miejsce np. w Niece Podhalańskiej, gdzie wody termalne występują w formacji triasowej. Przydatność naturalnego systemu hydrotermalnego jako źródła energii cieplnej zależy od dwóch głównych czynników:

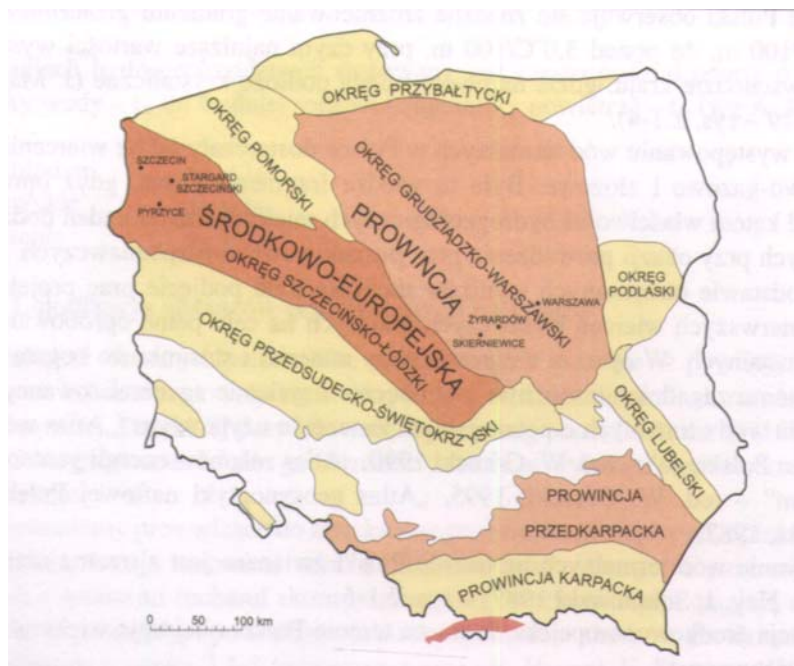
1. temperatury płynu,
2. wydajności możliwych do uzyskania ze zbiornika.

Temperatura jest w głównej mierze zdeterminowana gradientem geotermicznym struktury geologicznej oraz cyrkulacją ciepła. Wydajności są zależne od ciśnienia płynu w formacji, zdolności uzupełniania eksploatowanych zasobów oraz od łatwości przepływu przez pory, pęknięcia w skałach. Na trwałość zarówno temperatury jak i wydajności wpływa cały szereg czynników hydrostrukturalnych takich jak: charakter krążenia wody w zbiorniku, tektonika i stopień jednorodności zbiornika, intensywność wymiany wód z innymi poziomami wodonośnymi i inne.

Ponad 80 % terenu Polski zajmują baseny należące do 3 prowincji geotermalnych: centralnoeuropejskiej, obejmującej większą część Niziny Polskiej, przedkarpackiej i karpackiej. Temperatura wody w tych basenach wynosi od 30 do 130 °C, a niekiedy przekracza nawet 200 °C (z parą wodną i przy odpowiednio wyższym ciśnieniu). Najlepiej poznano wody termalne na obszarze wewnątrz platformowym Nizinie Polskiej. Baseny sedimentacyjne są tu rozległe, słabo zaangażowane tektonicznie. Największe rozprzestrzenienie mają baseny dolnokredowy i dolnojurański. Bazują na nich zakłady już istniejące, bądź będące w fazie realizacji (Pyrzyce, Mszczonów, Skierniewice). Temperatury wód wynoszą 20 – 70 °C.

W głębszych partiach struktur synklinalnych istnieją wody o temperaturze ponad 80 °C. Niekorzystnym czynnikiem jest wzrastająca z głębokością mineralizacja wód. Głębsze partie struktur zawierają wody o mineralizacji ponad 100 g/dm³, co stanowi utrudnienie w ich wykorzystaniu. W prowincji orogenicznej Karpat wody termalne występują w utworach kredowych i trzeciorzędowych, zaś w prowincji przedgórskiej Karpat w utworach kambryjskich, dewońsko – karbońskich, jurajskich, kredowych i mioceńskich. Częścią prowincji orogenicznej Karpat jest zbiornik podhalański, o niewielkiej powierzchni i znacznym zaangażowaniu tektonicznym, charakterystycznym dla zapadliska przedgórskiego. Wody termalne występują tu w triasowych utworach podfliszowych, osiągających miąższość do 700 m.

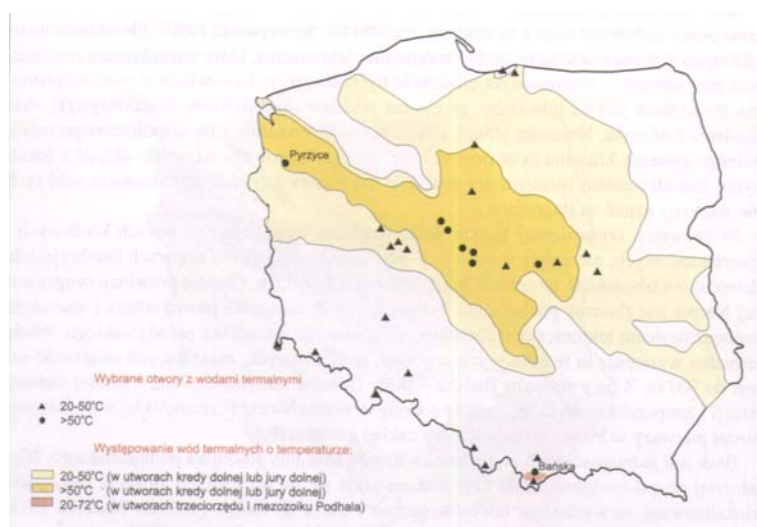
Z dwóch otworów Bańska – Biały Dunajec otrzymano wodę o niskiej mineralizacji i temperaturze 86 °C. Rejon Sudecko - Śląski nie zawiera rozległych zbiorników wód termalnych. Wydzielone zostały baseny: północno-sudecki, wewnątrzsudecki, opolski, górnośląski, basen podłoża krystalicznego Sudetów (rys.6.22.c).



Rys. 6.22.c. Rozmieszczenie prowincji i okręgów geotermalnych na terenie Polski [13].

W Masywie Sudeckim za perspektywiczny uznano rejon Cieplice-Jelenia Góra. Kolektorem wody są tu szczelinowate granity karbońskie. Wody posiadają niską mineralizację do 0,66 g/dm³, ich temperatura wynosi 20-62 °C. Wody o temperaturze 30-35 °C występują także w innych miejscach np. w Łądku Zdroju czy Grabinie k/Niemodlina. Za perspektywiczny rejon poszukiwań wód

termalnych w Sudetach uważa się masyw Śnieżnika, rejon Dusznik Zdroju, Kudowy-Jeleniowa, Szklarskiej Poręby i Świeradowa [13]. W rejonie Dusznik Zdroju znajduje się znaczna anomalia geotermalna, w obrębie której na głębokości 1000 m można się spodziewać wód o temperaturze około 100 °C. Występowanie zbiorników wód termalnych ilustruje mapa (rys. 6.22.e. wg [13]).

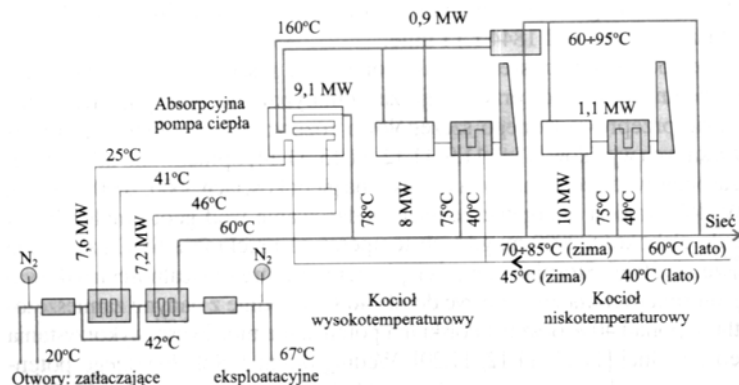


Rys. 6.22.d. Występowanie wód termalnych w Polsce wg Płochniewskiego, [13]

Przedstawia ona zasięg występowania wód termalnych w zbiornikach dolnokredowych i dolonajurajskich na Nizinie Polskiej, oraz w obrębie utworów mezozoicznych i trzeciorzędowych Niziny Podhalańskiej [13]. Wody termalne zawierają rozpuszczone gazy, które przy wydobyciu wody na powierzchnię ulegają gwałtownemu wydzielaniu. Głównym składnikiem jest CO_2 . Skład chemiczny wód termalnych jest bardzo zróżnicowany. Mineralizacja wód rośnie na ogół z głębokością występowania wody. Wraz ze składem chemicznym wód i zawartością gazów wpływa ona na intensywność korozji i ilość wytrącających się z wody osadów. Głównym składnikiem wód termalnych Niziny Polskiej jest NaCl . Przy mineralizacji wód do 2 g/dm^3 na Nizinie występują głównie wody typu

$\text{HCO}_3\text{-Ca}$ z mniejszą ilością jonów $\text{SO}_4^{=}$, Mg^{2+} i Na^+ . Wody o mineralizacji $2\text{-}10\text{ g/dm}^3$ są z reguły typu Cl - Na lub $\text{HCO}_3 - \text{Cl - Na}$, zaś wody o mineralizacji ponad 10 g/dm^3 typu Cl - Na [13]. Wody termalne na Niżu Polskim, zawierają czasami zwiększone ilości K lub mikroskładników: J, Br, Mg. Odzysk tych składników jest opłacalny przy minimalnej koncentracji składników w mg/dm^3 : jodu-18, bromu-250, potasu-350, magnezu-2000. Przy mniejszych koncentracjach jodu i bromu można wody te wykorzystać do celów balneologicznych. Pierwszą w Polsce pilotową instalacją geotermalną o mocy $P = 6\text{ MW}$ uruchomiono w 1981 r. w Bańskiej Niżnej k/Poronina. Odwiert o głębokości 2500 m umożliwia wydobycie wody o temperaturze $70\text{ }^\circ\text{C}$ z wydajnością $60\text{ m}^3/\text{h}$. Woda po oddaniu ciepła w dwóch wymiennikach ciepła, jako chłodna i cięższa jest tłoczona do złoża drugim otworem (chłonnym), odległym ok. 2 km od ciepłowni. W latach 1988-1993 na Podhalu zbudowano system ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody o temperaturze ok. $86\text{ }^\circ\text{C}$, ciśnieniu artezyjskim 2,5 MPa i wydajności $60\text{-}250\text{ m}^3/\text{h}$. Planowana jest jego rozbudowa do 2005 r. kiedy będzie on w stanie zaopatrzyć w ciepło ok. 100 000 mieszkańców [21]. Na Niżu Polskim średnia głębokość opróbowanych zbiorników wynosiła: 3293 m ppm (poniżej poziomu morza) dla zbiornika jurajskiego i 2414 m ppm dla zbiornika kredowego. Ciepłownię geotermalną wybudowano w 1991 r. w Pyrzycach k/Szczecina, o mocy szczytowej 497 MW, a początkowej 19,2 MW. Pracują tutaj 2 dublety eksploatacyjno – chłonne, każdy z nich z wydajnością $170\text{ m}^3/\text{h}$. W skład instalacji ciepłowniczej na powierzchni wchodzi:

- 2 wymienniki ciepła tytanowe,
- 2 absorpcyjne pompy ciepła,
- 2 wysokosprawne kotły gazowe (rys. 6.22.f).

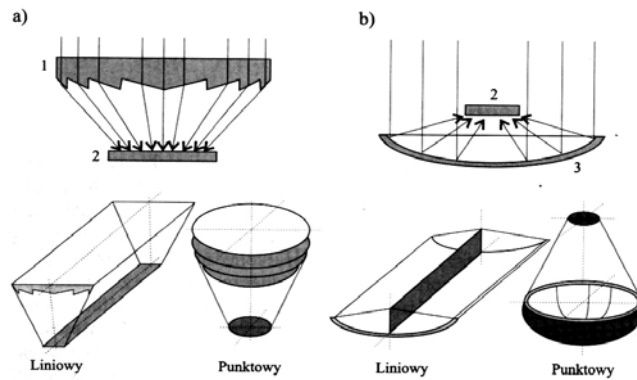


6.22.e. Schemat geotermalnego systemu ciepłowniczego w Pyrzycach [21]

Czynnikiem absorpcyjnych pomp ciepła produkcji japońskiej jest woda-bromek litu [21]. Schemat konstrukcji otworów geotermalnych ujmujących wody z utworów mezozoicznych Niżu Polskiego podaje rysunek 6.22. b. [13].

6.8. Ogniwo fotowoltaiczne.

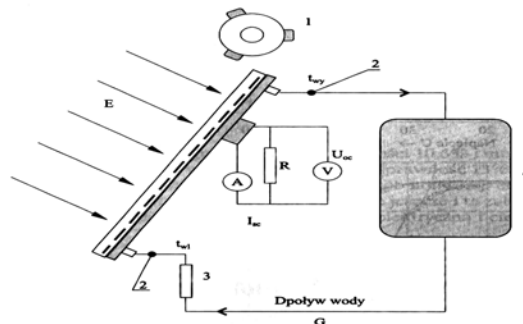
Efekt fotowoltaiczny w obwodzie dwóch oświetlonych elektrod chlorkowo – srebrnych zanurzonych w elektrolicie obserwowano po raz pierwszy w 1839 r, a na granicy dwóch ciał stałych selen – platyna w 1876 r. Pierwsze selenowe ogniwa miały sprawność 0,5 %. Na przełomie lat 40 i 50 – tych XX w. opracowano produkcję kryształów krzemu o wysokiej czystości. Sprawność pierwszych krzemowych ogniw słonecznych wynosiła 11 % i zainstalowano je w satelitach, do zasilania urządzeń pokładowych. Efekt fotowoltaiczny obserwowano też w złączu stopu metalu (Cu_2S – monokryształ CdS). W latach 70 – tych XX w. opracowano tanie technologie wytwarzania kryształów krzemu i półprzewodników, co pozwoliło na szerokie stosowanie ogniw słonecznych. Moc ogniw fotowoltaicznych w 1990 r. w świecie wynosiła ok. 48 MW. Służą one do zasilania zegarków, kalkulatorów, baterii i elektrowni. W celu zmniejszenia kosztów baterii słonecznych stosuje się koncentratory promieniowania słonecznego. Są one typu soczewkowego i zwierciadła, które skupiają promieniowanie liniowo lub punktowo.



Rys.6.23. Koncentratory ogniw fotowoltaicznych, wg [21]

a) soczewkowy, b) lustrowy; 1-soczewka Fresnela, 2-ogniwo, 3-lustro paraboliczne

Sprawność konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną maleje wraz ze wzrostem temperatury ogniwa fotowoltaicznego. Tylko część promieniowania słonecznego ma odpowiednią do tego celu długość fali, a pozostała część jest zamieniona na ciepło i przeciwdziała tej konwersji. W nowszych urządzeniach stosuje się urządzenia hybrydowe, łącząc ogniwo fotowoltaiczne i kolektor słoneczny. W ten sposób kolektor słoneczny odprowadza ciepło do zasobnika i tym samym chłodzi ogniwo. W efekcie ogniwo osiąga w temperaturze 25 °C sprawność 13 % i moc 93,2 W. Z jednego urządzenia otrzymujemy jednocześnie energię elektryczną i ciepłą wodę użytkową.



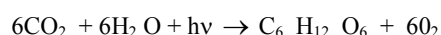
Rys. 6.24. Schemat urządzenia hybrydowego (kolektor słoneczny – ogniwo fotowoltaiczne), wg [21]: 1) pyranometr, 2) termopary, 3) rotametr, 4) zasobnik ciepłej wody.

Ogniwa fotowoltaiczne znajdują szerokie zastosowanie w pojazdach kosmicznych. Istnieje też projekt P.Glasera z 1968 r. budowy elektrowni satelitarnej na orbicie geostacjonarnej na wysokości ok. 36 000 km nad równikiem, złożonej z baterii fotoogniw. Energia z elektrowni byłaby przesyłana w formie wiązki fal ultrakrótkich o wielkiej mocy za pomocą anteny nadawczej. Druga antena o kształcie elipsy umieszczona na Ziemi będzie stanowiła antenę odbiorczą [21].

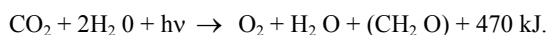
6.9. Biomasa.

Energia uzyskiwana z biomasy stanowi 15 % światowego zużycia energii, zaś w krajach rozwiniętych nawet 38 %. Jej produkcja może praktycznie przebiegać samoistnie np. w puszczech, na stawach i łąkach, a także w oceanach i w zbiornikach wody słodkiej [21]. W przypadku intensyfikacji tej produkcji są wymagane nakłady związane z: nawożeniem, nawodnieniem, walką ze szkodnikami i ochroną roślin. Biomasa jest wynikiem reakcji fotosyntezy, która przebiega pod wpływem promieniowania słonecznego $h\nu$ (gdzie: h – stała Planca, ν - częstotliwość fali).

Do połowy XX w. sądzono, że proces ten można przedstawić w postaci reakcji asymilacji, polegającej na rozkładzie CO_2 wg schematu:



Powstające węglowodany wchodzi w skład bardziej skomplikowanych związków organicznych, jak: monosacharydy, oligosacharydy (sacharoza, laktoza) lub polisacharydy (skrobia, celuloza), a także białek, tłuszczów i innych. Wykonanie badań z udziałem atomów znaczących zmieniło pogląd na mechanizm fotosyntezy, gdyż to woda rozkłada się pod wpływem energii promieniowania słonecznego [21]. Reakcja przebiega wg schematu.

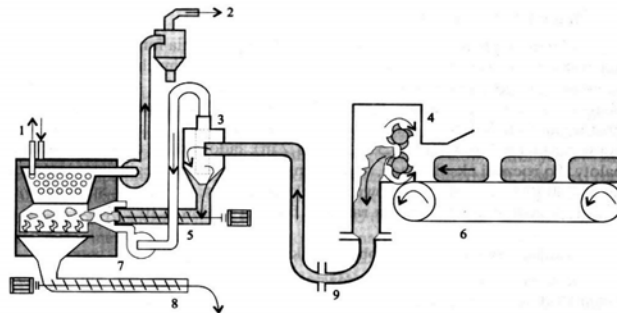


W węglowodanach syntetyzowanych z 1 mola CO_2 jest akumulowane 470 kJ energii chemicznej. W ciągu roku ilość wytworzonej w wyniku fotosyntezy biomasy wynosi 220 bilionów ton w przeliczeniu na suchą masę. Produktem ubocznym przetwarzania energii chemicznej zawartej w biomacie na ciepło jest ponowne powstawanie CO_2 , przyjaznego dla środowiska naturalnego gdyż przez proces fotosyntezy, krąży on w przyrodzie w obiegu zamkniętym. Światowy potencjał energetyczny biomasy wynosi 3×10^{15} MJ/a, a wykorzystuje się go tylko w 7 %. W USA ogólna moc 350 elektrowni na biomasę wynosi 7000 MW, do 2010 r. planuje się wzrost do 13000 MW. W Szwecji ponad 14 % energii jest produkowanej z biomasy [21]. W Polsce

szacuje się w rolnictwie potencjał energetyczny niewykorzystanej biomasy na 104 PJ/a. Typowy skład surowca energetycznego pochodzenia roślinnego można przedstawić jako $\text{CH}_{1,45} \text{O}_{0,7}$, o wartości kalorycznej 2 razy niższej od wartości kalorycznej węgla.

Do celów energetycznych można wykorzystać następujące postacie biomasy:

- drewno odpadowe w leśnictwie i przemyśle drzewnym ,
- słomę ze zbóż, z roślin oleistych i strączkowych, siano,



Rys. 6.25. Schemat ciepłowni opalanej słomą: 1-osiedlowa sieć ciepłownicza, 2-spaliny kierowane do komina, 3-cyklon, 4-szarpacz słomy, 5-przenośnik słomy, 6- transporter balotów , 7-wentylator, 8-przenośnik popiołu, 9-transporter pneumatyczny [21]

- odpady organiczne – gnojownicę, osady ściekowe, osady ściekowe w przemyśle celulozowo papierniczym, makulaturę, odpady organiczne z cukrowni, roszarni lnu, gorzelni, browarów itd.,
- biopaliwa płynne do celów transportowych np. oleje roślinne, biodiesel, bioetanol z gorzelni i agrorafinerii,
- biogaz z gnojownicy, osadników ściekowych i wysypisk komunalnych.

W Polsce roczny potencjał energetyczny biomasy, którą można zagospodarować to ponad 20 mln ton słomy odpadowej, ok. 4 mln ton odpadów drzewnych (chrust, trociny, kora, zrąbki), ok. 6 mln ton osadów ściekowych przemysłu celulozowo – papierniczego, spożywczego i miejskich oraz odpadów komunalnych. W sumie stanowi to ok. 30 mln ton biomasy, co energetycznie jest równoważne 15 – 20 mln ton węgla [21]. Jako energetyczne drewno jest pozyskiwane z eukaliptusa, wierzby i topoli. Ze spalania słomy w kotłowniach otrzymuje się oprócz ciepła, spaliny i popiół. Spaliny zawierają tlenki azotu, brak w nich SO_2 . Ilość NO_x można ograniczyć spalając w temperaturze 850 – 1100 °C.

6.9.1. Biopaliwa.

Ziemniaki, zboża, buraki cukrowe oraz rzepak można w procesach fermentacji lub estryfikacji przetwarzać na proekologiczne paliwa. Ester

metylowy oleju rzepakowego, palmowego lub sojowego jest doskonałym paliwem i emituje podczas spalania w silniku o 40 % mniej węglowodorów do atmosfery, o 50 % mniej sadzy i o 40 % mniej pyłów niż olej napędowy. Jedynie poziom emisji CO i NO_x nie ulega zmianie, gdyż jest to wpływ rodzaju i stanu silnika, a nie rodzaju paliwa. Z 1 ha uprawy rzepaku można uzyskać ok. 3000 kg nasion, z których można wycisnąć na zimno 1132 kg oleju rzepakowego (35 % masy) i 1895 kg śruty rzepakowej. Po dodaniu 133 kg metanolu w procesie transestryfikacji uzyskuje się 1143 kg (1,3 m³) biopaliwa i 122 kg gliceryny [21]. Paliwo uzyskane z jednego hektara uprawy rzepaku umożliwia pracę traktora w polu przez 260 godzin tj. około 2 miesiące. Przy obsianiu rzepakiem 5 ha rolnik może uzyskać własne paliwo na cały rok pracy traktora w gospodarstwie o powierzchni 100 ha [21]. Istnieją jednak poglądy, które ostrzegają, że to paliwo w procesie spalania nie jest w pełni bezpieczne dla środowiska [19,20].

W procesie spalania paliwa rzepakowego powstają związki szkodliwe dla środowiska. Ponadto rzepak jest rośliną azotolubną i dla uzyskania plonu 2-2,5 ton rzepaku z hektara trzeba zasilić każdy hektar dawką 250 kg azotu nie mówiąc o innych nawozach. W praktyce stosuje się nawozy fosforowe i potasowe w ilości 80 % dawki nawozów azotowych. Nawozy mineralne trzeba najpierw wyprodukować, a jest to produkcja energochłonna, wymagająca zużycia dużej ilości gazu i szkodliwa dla środowiska [20]. Nie wolno też stosować z nadmiarem nawożenia azotowego i częściowo potasowego.

W Europie Zachodniej i Japonii zużycie pestycydów sięga 4-8 kg/ha substancji efektywnej na hektar, w Polsce zaś ostatnio (około 2000 r.) 0,8 kg/ha. Najwięcej nawozów NPK zużyto w Polsce w 1989 r. osiągając pułap 190 kg NPK/ha.

W latach 90-tych poziom nawożenia obniżył się 3-krotnie, ostatnio zaś wzrasta do wielkości 85-86 kg NPK/ha. Natomiast w przodujących krajach unijnych wynosi ponad 300 kg NPK/ha, Holandii nawet 400 kg i więcej. „Przy tym samym poziomie agrotechniki i tych samych nakładach pracy i nawożenia plony w Polsce będą zawsze o 14-17 % niższe, na skutek gorszych warunków glebowych i pogodowych niż w Europie Zachodniej” [19].

Rzeczywisty i wiarygodny rachunek zysków i strat związanych z wprowadzeniem oleju napędowego z rzepaku musi być oparty na rzetelnym rachunku ciążonym. Wtedy będzie można uzyskać miarodajną odpowiedź, czy jest to przedsięwzięcie opłacalne, czy nie przy istniejącym poziomie cen ropy naftowej na światowych rynkach. Zarysowuje się tendencja wzrostu zużycia w przyszłości surowców rolniczych na cele nieżywnościowe. Istnieje szansa w kraju na zagospodarowanie odłogów poprzez uprawę rzepaku na olej napędowy. Przymuszczalnie dla środowiska nie będzie to zbawieniem, ale dla rolników może być korzystnym kierunkiem produkcji, zwłaszcza gdy uprawa

rzepaku objęta zostanie dopłatami [20]. Przy aktualnej relacji cen wysokich za nawozy mineralne i chemiczne środki ochrony roślin a niskich za produkty rolne, zysk rolnika z uprawy rzepaku jest minimalny. Ponadto następuje zanieczyszczenie środowiska przy produkcji nawozów mineralnych oraz zanieczyszczenie wód podziemnych i powierzchniowych przy stosowaniu obfitych dawek nawozów mineralnych pod uprawę rzepaku.

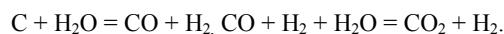
6.9.2. Inne wykorzystanie energetyczne biomasy.

Biomasę można zgazować w podwyższonej temperaturze uzyskując wodór i tlenek węgla, którymi można opalać kocioł parowy, a wytworzoną parą napędzać turbiny w elektrociepłowni. Gaz z biomasy może też napędzać turbinę gazową połączoną z generatorem [21]. Produktem beztlenowej fermentacji bakteryjnej może być biogaz (metan), a fermentacji tlenowej metanol, etanol i inne związki. Otrzymane paliwo ciekłe lub gazowe można spalić w silnikach spalinowych lub kotłach i przetwarzać na inne formy energii.

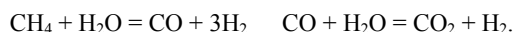
6.9.3. Biogaz.

Wskutek działalności gospodarczej powstają ogromne ilości ścieków i odpadów pochodzących z gospodarstw domowych, rolnictwa i produkcji przemysłowej. Składowane są one na wysypiskach odpadów komunalnych i na dzikich wysypiskach śmieci. Składowiska te, ze względu na wydzielający się gaz wysypiskowy (biogaz), są źródłem zagrożenia dla środowiska naturalnego. Gaz ten jest ok. 1,04 razy cięższy od powietrza, gromadzi się w pobliżu Ziemi i w jej zagłębieniach. Nie jest toksyczny, ale można się w nim udusić, bo zawiera zbyt małą ilość tlenu. Jest to gaz łatwopalny. Głównym składnikiem jest metan CH_4 , który w granicach stężeń 5–15 % tworzy z powietrzem mieszaninę wybuchową [46]. Pożary na wysypisku są trudne do opanowania i w czasie trwania pożaru emitowane są do atmosfery znaczne ilości CO , CO_2 , dioksyn, furanów i sadzy. Emisja metanu z wysypisk śmieci wywołuje 27 – krotnie większy efekt cieplarniany niż CO_2 . Biogaz jest produktem fermentacji beztlenowej związków pochodzenia organicznego zawierających celulozę, białko, węglowodany, skrobię. Związki te występują w odpadach komunalnych pochodzenia biologicznego, w ściekach komunalnych i przemysłu rolno – spożywczego, i w odchodach zwierząt. Bakterie powodujące fermentację są wrażliwe na odczyn; winien on być lekko zasadowy (pH ok. 7,5), nie znoszą tlenu i światła, i rozwijają się w wąskim przedziale temperatur (33 – 38 °C, min. 25 °C, max. 45 °C) – bakterie mezofilne i (55 – 65 °C, min 40 °C, max. 75 °C) – bakterie termofilne. Przy prawidłowym procesie fermentacji powstaje głównie metan (CH_4) do 60 %, resztę stanowi CO_2 (40 %). Przy nieszczelności komory termicznej lub fermentacji niekontrolowanej (np. na dzikim wysypisku śmieci) pojawiają się dodatkowo azot i tlen. Przy zakwaszeniu osadu fermentacyjnego powstaje wodór i siarkowodór H_2S . Fermentacja przebiega w trzech fazach.

Przemysłowymi metodami otrzymywania wodoru są: metoda Boscha, gdzie rozżarzony koks w temperaturze 1200° C powoduje rozkład pary wodnej i powstanie gazu wodnego CO + H₂. Gaz ten po zmieszaniu z parą wodną jest poddawany konwersji na katalizatorze Fe₂O₃ i Cr₂O₃ w temperaturze 300 – 450°C. Wydzielający się CO₂ jest pochłaniany w wodzie pod ciśnieniem 10 – 30 MPa, a resztki w roztworze NaOH. Reakcje przebiegają:



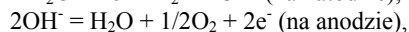
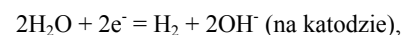
- rozkład metanu (gazu ziemnego) wodą. Konwersja metanu w rurkach ceramicznych pokrytych nikiem w temperaturze 500 °C prowadzi do powstania wodoru



- proces reformingu. Polega on na zwiększeniu liczby oktanowej benzyny w procesie odwodornienia węglowodorów nasyconych i otrzymaniu aromatycznych



- elektrolityczny rozkład wody. Z elektrolizy wodnego roztworu KOH uzyskuje się wodór

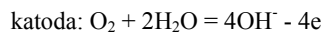


sumarycznie $H_2O = H_2 + 1/2 O_2$. Elektroliza 25 – 30 % roztworu KOH na elektrodach Fe lub Ni w temperaturze pokojowej wymaga napięcia 1,23 V, i zużyciu energii 2,96 kWh/m³.

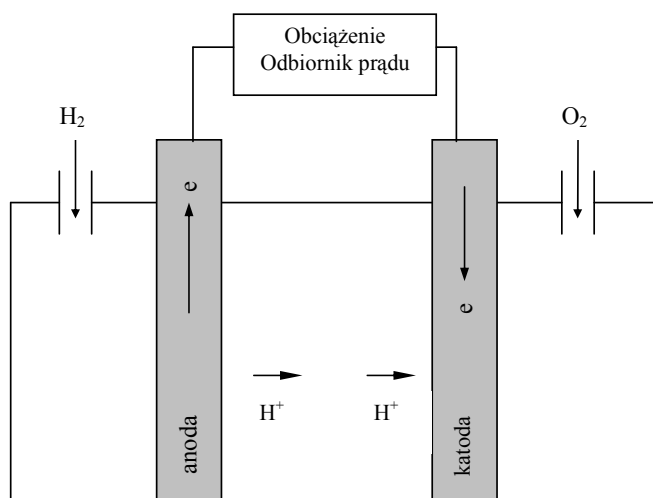
W temperaturze $T > 4380 \text{ K}$ wystarczy dostarczyć energii w postaci ciepła do rozkładu cząsteczki wody. Metodą przyszłościową otrzymywania wodoru jest fotoredukcyjny rozkład wody enzymem hydrogenazą, występującą m.in. w glonie zielonej algi (*Chlamydomonas reinhardtii*). W procesie fotoredukcji hydrogenaza z ferrodoksyną rozkładają wodę na tlen potrzebny algom do przeżycia, a produktem ubocznym jest wodór. Wodór stanowi surowiec do produkcji prądu elektrycznego w ogniwach paliwowych, gdzie następuje jego utlenianie w warunkach izotermicznych i bez płomienia. W ogniwie paliwowym na anodzie następuje utlenianie paliwa (wodoru, węgla, metanolu, hydrazyny itp.), a na katodzie – redukcja utleniacza (tlenu, wyjątkowo chloru). [21]. Sumaryczna reakcja jest identyczna z reakcją spalania, ale bez wydzielania ciepła. W ogniwach paliwowych sprawność dochodzi do 75 %.

6.10.1. Ogniwo wodorowo – tlenowe.

W ogniwie tym wodór jest doprowadzony do anody, a tlen do katody. Wodór i tlen reagują z elektrolitem, a dzięki przewodności jonowej elektrolitu w ogniwie płynie prąd [17, 21]:



Napięcie na ogniwie wynosi 0,8 V, a gęstość wytwarzanego prądu dochodzi do 250 m A/cm², rys. 6.27.b.



Rys. 6.27.b. Przykład ogniwa paliwowego [7].

Wprowadzany do anody wodór jest źródłem dodatnich jonów H⁺, które w kwaśnym elektrolicie przenoszą się do katody. Tam reagują z obecnym tlenem dając wodę.

Zależnie od rodzaju elektrolitu wyróżnia się ogniwa paliwowe:

- polimerowe o parametrach: $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1\text{ kW}$ (PEFC)
- alkaliczne o parametrach; $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1,5\text{ kW}$, elektrolit KOH (KAFC),

- kwasowe o parametrach: $t = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, elektrolit H_3PO_4 , $P = 1\text{ MW}$, $\eta = 38\%$ lub $\eta = 47\%$ gdy paliwem jest wodór (PAFC),
- węglanowe o parametrach: $t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ na ciekłe węglany: Li_2CO_3 i K_2CO_3 , $P = 2\text{ MW}$ (MCFC),
- tlenowe o parametrach: $t = 1000^{\circ}\text{C}$ z utleniaczem ZrO_2 (SOFC).

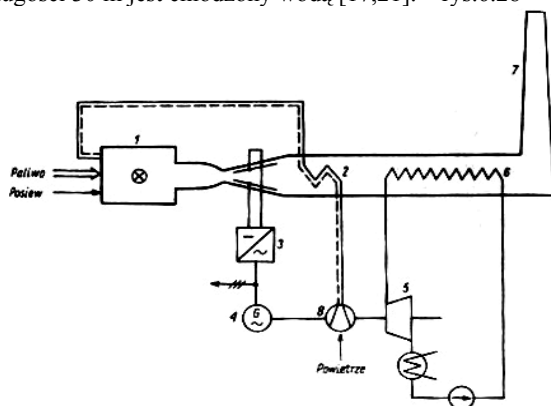
Sposoby magazynowania wodoru:

- sprężony w postaci gazowej w zbiornikach ciśnieniowych, stosowany w rozwiązaniach stacjonarnych,
- skroplony w silnie opancerzonych i termostatowanych zbiornikach,
- pochłonięty w metalach ziem rzadkich (tytanowce, wanadowce, stopy niklu, żelaza, glinu, magnezu lub wapnia),
- w postaci wodorków jedna jednostka objętości litu w trakcie reakcji z wodorem - pochłania około 1600 objętości wodoru. Wodorek litu w zetknięciu z wodą uwalnia wodór. Ponadto stopy tytanu z żelazem, magnezu z niklem i magnezu tworzą przy chłodzeniu wodorki o dużej gęstości zmagazynowanej energii. Podczas ogrzewania wodorków odzyskuje się ponownie wodór,
- w postaci związków między metalicznych ze stopem lantanu z kobaltem i samaru z niklem.

6.11. Elektrownie z generatorami MHD.

Magnetohydrodynamiczna (MHD) metoda bezpośredniego przetwarzania energii cieplnej w energię elektryczną polega na wzajemnym oddziaływaniu strumienia zjonizowanego gazu i stacjonarnego pola magnetycznego. Odbywa się to w temperaturze ok. $2700\text{ }^{\circ}\text{C}$ przy prędkości strumienia gazu ok. 1000 m/s i przy indukcji pola magnetycznego ok. $2 - 6\text{ T}$ [17,21]. W celu łatwiejszej jonizacji gazu stosuje się tzw. posiew, czyli wprowadzenie do gazu metali alkalicznych o niskich potencjałach jonizacji, jak cez, rubid, potas, w ilości $0,1 - 1\%$. Metale te po spełnieniu swej roli są wyłapywane i ponownie wprowadzane do obiegu. Sprawność elektrowni z generatorem MHD wynosi $50 - 60\%$ tj. o $15 - 25\%$ więcej niż elektrowni konwencjonalnej. Paliwem jest gaz ziemny, w przyszłości będzie nim węgiel. Siarka z paliwa jest wiązana węglanem potasu tworząc łatwo usuwalny siarczan potasu. Jest to korzystne dla środowiska. Z uwagi na wysoką temperaturę tworzą się tlenki azotu NO_x . Zamierza się je wykorzystać do produkcji nawozów azotowych. Elektrownie te są elektrowniami szczytowymi. Elektrownie z generatorami MHD potrzebują $1,5$ razy mniej wody niż elektrownie konwencjonalne i $2,5$ razy mniej zanieczyszczają środowisko [17, 21]. Strumień gorących spalin po spełnieniu swego zadania w generatorze MHD może oddawać swe ciepło w kotle parowym, który zasila turbinę, tworząc drugie konwencjonalne ogniwo elektrowni. Generator MHD odgrywa rolę instalacji czołowej w stosunku do elektrowni konwencjonalnej. Z kolei para

wodna po przejściu przez łopatki turbiny parowej może być użyta do ogrzania wody, wykorzystanej następnie do ogrzewania mieszkań. Można też wykorzystać do tego celu strumień gorących spalin po ogrzaniu kotła parowego. Prąd stały powstały w generatorze MHD jest następnie przetwarzany w falownikach na prąd przemienny o częstotliwości 50 Hz. Kanał generatora MHD o długości 30 m jest chłodzony wodą [17,21]. – rys.6.28



Rys. 6.28. Schemat ideowy współpracy elektrowni z generatorem MHD i elektrowni konwencjonalnej, wg [17]: 1) komora spalania, 2) podgrzewacz wody, 3) falownik, 4) generator, 5) turbina parowa, 6) kocioł parowy, 7) komin, 8) sprężarka.

7.0. Ogólne zasady rekultywacji terenów zdegradowanych.

Obszar zdegradowany zwany jest też zdewastowanym, bezglebowym lub nieużytkiem poprzemysłowym, pogórnym, rolniczym itp. Nieużytek jest to obszar gruntu, który na skutek działalności górniczej, przemysłowej, rolniczej lub innej przyczyny utracił swoją całkowitą lub częściową pierwotną rolniczą wartość produkcyjną. Nieużytki mogą być trwałe, gdy przywrócenie im zdolności produkcyjnej jest niemożliwe, oraz przejściowe, jeśli istnieje możliwość przywrócenia im zdolności produkcyjnych przez zastosowanie odpowiednich zabiegów rekultywacyjnych. Do nieużytków rolniczych zalicza się m.in.: bagna, piaski ruchome, zwały utworów skalnych, składowiska różnych odpadów, w tym komunalnych, tereny o wybitnie niekorzystnym ukształtowaniu powierzchni oraz grunty zdewastowane przez przemysł i kopalnictwo surowców mineralnych [22,45].

Rekultywacja terenów zdewastowanych jest wymieniona w prawie górnym. Prawo geologiczne i górnicze. Ustawa z dnia 4.02.1994 r. Dz.U. nr 27 z 1994 r. poz.96.

W pojęciu "szkody górniczej" prawo górnicze nakłada na przedsiębiorstwa górnicze obowiązek naprawy tych szkód, a więc przywrócenie do stanu poprzedniej użyteczności. Rekultywacja polega na przywróceniu gruntom wartości użytkowej przez wykonanie właściwych zabiegów technicznych, agrotechnicznych i biologicznych. Grunty te mogą być wykorzystane do celów gospodarki rolnej, leśnej, komunalnej itp. Ustawa z 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych rozszerza oraz reguluje zasady ochrony i rekultywacji nieużytków i gleb zdegradowanych.

Poprzycki (1956) przeprowadził prosty podział wszystkich nieużytków poprzemysłowych na dwie podstawowe grupy (vide - [22]):

- zwały – określone jako powierzchnie wypukłe (hałdy),
- wykopy – określane jako powierzchnie wklęsłe, powstałe po kopalnictwie odkrywkowym.

Zależnie od ukształtowania zwały dzielą się na 4 rodzaje:

- 1) stożkowe i kopulaste – zwały o znacznej wysokości, stosunkowo małej podstawie i stromych stokach,
- 2) stołowe – odpady zwałowane w formie płaskich wzniesień,
- 3) grzbietowe – zwały o kształtkach zbliżonych do grobli, charakteryzujące się wydłużoną, wąską partią szczytową ze stromymi stokami,
- 4) płaskie – zwały wyrównujące do poziomu otoczenia wszelkie zagłębienia terenu, sztuczne lub naturalne.

W zwałach przebiegają zjawiska termiczne i dlatego wyróżniamy zwały:

- czynne, czyli współcześnie usypane,
- palące się, czyli termicznie czynne, niezależnie czy dym lub płomień wydobywa się z nich, czy nie,

- nieczynne, nieeksploatowane, tj. zwały już usypane; mogą one być już przepalone tzn. ustala na nich działalność termiczna lub nie przepalone, na których działalność termiczna w ogóle nie wystąpiła,
- nieczynne, czyli eksploatowane lub rozbierane.

Zjawiska termiczne występują w zwałach wówczas, gdy jest silne utlenianie się węgla detrytycznego (z udziałem cząstek mineralnych pochodzenia roślinnego i zwierzęcego) i siarczków żelaza (pirytu lub markasytu). Najbardziej odpowiednie do rekultywacji są zwały nieczynne – przepalone lub nie przepalone. Greszta i Morawski (1972) – [22] dzielą nieużytki poprzemysłowe na:

- pogórnice,
- przemysłu przeróbczego,
- grupę zniekształceń gleb spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza przez przemysł.

7.1. Biotechniczne zabiegi związane z rekultywacją terenów zdegradowanych.

Roślinność (drzewa, krzewy, trawy, rośliny motylkowe) spełnia jedną z najważniejszych funkcji w rekultywacji. Powoduje ona:

- stabilizację luźnych utworów gruntowych oraz zabezpiecza je przed erozją wodną i wietrzną, z równoczesnym nadaniem terenom odpowiednich cech estetyczno – widokowych w krajobrazie,
- ochronę terenów przed zanieczyszczeniami przemysłowymi (gazami i pyłami) poprzez tworzenie filtrów (pasy, strefy) z roślinności wysokiej i niskiej,
- inicjowanie i stymulowanie (szczególnie rośliny trawiaste i motylkowe) procesów glebotwórczych na terenach bezglebowych i zdegradowanych (jałowych i toksycznych).

W fazie rekultywacji technicznej czyli podstawowej następuje:

- odpowiednie ukształtowanie rzeźby terenu przez wypełnienie występujących wyrobisk nadkładem w układzie gruntów najkorzystniejszym dla przyszłego zagospodarowania,
- wyrównanie powierzchni zwałów i spągu wyrobiska oraz nadanie zboczom nachyleń zapewniających stateczność, tworząc odpowiednie tarasy (stopnie) przy wysokościach większych niż $h = 10$ m; nachylenie zboczy i skarp zależy od wielu czynników np. składu mechanicznego utworów, spistości gruntów, wilgotności itp.
- właściwe ukształtowanie warunków wodnych umożliwiających gospodarke wodami powierzchniowymi na zwałowisku i w jego otoczeniu,
- całkowite lub częściowe odtworzenie gleb metodami technicznymi tzn. przy zastosowaniu specjalnie zwałowanych gruntów i nadkładu, gdy zachodzi konieczność izolacji utworów toksycznych lub gruntów jałowych,
- neutralizacja gruntów toksycznych i użyźnianie jałowych,

- budowa dróg dojazdowych, mostów, przepustów itp. niezbędnych do właściwego użytkowania terenu.

W fazie rekultywacji szczegółowej czyli biologicznej następuje;

- zabezpieczenie stateczności zboczy obudową biologiczną,
- regulacja lokalnych warunków wodnych przez budowę niezbędnych urządzeń melioracyjnych i ochronę wód przed zanieczyszczeniem,
- przeciw erozyjna obudowa roślinnością pionierską zboczy i wierzchowin, zwałów oraz skarp i spągu wyrobiska oraz magazynowanie wody w dołach poeksploatacyjnych przeznaczonych na zbiorniki wodne [22].

W dalszej kolejności następuje rekultywacja połączona z zagospodarowaniem biologicznym, w celu przywrócenia gospodarczej użyteczności terenom poeksploatacyjnym dla potrzeb gospodarki leśnej, rolnej, wodnej, komunalnej lub innej. Zagospodarowanie zależy od wyników badań geologicznych i hydrogeologicznych terenu zdegradowanego oraz warunków przyrodniczych, ekonomicznych, technicznych i społecznych.

W etapie zagospodarowania wyróżnia się dwie fazy:

- 1) Zagospodarowanie przedplonowe obejmujące zadrzewianie lub zalesianie przedplonowe albo realizację płodozmianu rekultywacyjnego dla wzmocnienia procesów glebotwórczych i wytworzenia gleby.
- 2) Zagospodarowanie docelowe w celu przejścia do pełnej produkcji roślinnej np. na terenach leśnych przebudowę drzewostanu, na terenach rolniczych zastosowanie płodozmianu rekultywacyjnego:

Rekultywację można prowadzić na wszelkich zwałach, wyrobiskach w kierunkach:

- rekultywacji rolniczej do użytkowania np. pod grunty orne, łąki i pastwiska, sady i ogrody,
- rekultywacji leśnej pod lasy, plantacje, tereny zadrzewione,
- rekultywacji specjalnej pod parki, zieleńce, tereny zielone, tereny wypoczynku, boiska lub zbiorniki wodne.

7.2. Rekultywacja zwałów.

Naturalny rozwój roślinności na zwałach węglowych zależy od zakończenia procesów termicznych oraz od przebiegu procesów wietrzenia. Pojedyncze rośliny pionierskie pojawiają się samorzutnie już w pierwszym roku po zakończeniu ich sypania. Na zwałach węglowych występuje około 300 gatunków roślin [22].

Rekultywacja techniczna polega na pokryciu surowego gruntu na zwałach warstwą materiału użyźniającego – nadkładu. Zwał musi być wyrównany, a następnie nawieziony warstwami ziemi grubości ponad 50 cm. Później następują zabiegi agrotechniczne jak głęboka orka, bronowanie, nawożenie mineralne z użyciem wapna oraz siew roślin motylkowych np. łubinu,

nostrzyka białego. Po przeoraniu roślin powierzchnia zwałowisk może nadawać się do zagospodarowania leśnego lub rolnego. Do zadrzewień zwałów węgla kamiennego nadają się: robinia akacjowa, brzoza brodawkowata, osika, olsza czarna, jarząb pospolity, modrzew europejski, później topole niekłańska i biała – na zwały nie przepalone. Na zwałach przepalonych można wprowadzić dąb czerwony, szypułkowy, jesion i klon polny. Nadają się one do obsadzania wyrównanych wierzchołków i tarasów. Na zbocze nadają się drzewa o lekkich koronach i dobrze korzeniące się jak: olsza szara, robinia akacjowa, osika, jarząb pospolity i wierzba iwa.

7.3. Zabezpieczenie środowiska wód podziemnych.

Przy nowopowstających zwałach możliwe jest zabezpieczenie środowiska wód podziemnych przed wpływem wód zasolonych i skażonych wypływających ze zwałowiska. Osiąga się to wykonując na zewnątrz projektowanego zwałowiska pionowy ekran wodoszczelny, od powierzchni terenu do spągu warstwy wodonośnej. Ekran winien być co najmniej zagłębiony 1 m w utworach wodonioprzepuszczalnych zalegających niżej od horyzontu wodonośnego (np. zwałowisko Pogwizdów dla odpadów pogórnicych KWK im. G. Morcinka k/Cieszyna). Z reguły zwałowiska są usytuowane znacznie powyżej zwierciadła wód podziemnych a tym samym pierwszej warstwy wodonośnej. W takim przypadku wystarcza na ogół wykonanie szczelnej izolacji (z glin ciężkich lub iłów) w dnie zwałowiska. Budowa ekranu wodoszczelnego (do spągu warstwy wodonośnej) jest bardzo kosztowna i często trudna do wykonania. Jednocześnie, aby zapobiec podpiętrzaniu wód podziemnych wykonuje się przed ekranem i za ekranem rowy wód czystych i brudnych, które uniemożliwiają przelewanie się wód podziemnych przez ekran. Wewnątrz obszaru objętego ekranem nastąpi zasolenie wód, w wyniku ługowania rozpuszczalnych składników z materiału zwałowanego, przez wody opadowe infiltrujące przez warstwy zwałowiska. Należy też wybudować zbiornik wód brudnych z zainstalowaną przepompownią, aby nadmiar wód brudnych (zasolonych) okresowo odprowadzać i poddawać procesom oczyszczenia wód w oczyszczalniach ścieków.

Natomiast w przypadku zwałowisk starych nastąpiło już zanieczyszczenie środowiska wód podziemnych przez składniki wypłukane ze zwałów. Tutaj możemy tylko zmniejszyć migrację ilości zanieczyszczeń ze zwałów stosując zabiegi rekultywacyjne na zwałowisku, które zmniejszają ilość wód opadowych ługujących warstwy zwałowiska.

7.4. Zagospodarowanie opadów komunalnych i przemysłu rolnospożywczego.

Odpady stanowią nie zagospodarowaną część materii organicznej lub mineralnej, wytworzonej, przetwarzanej i konsumowanej w gospodarce i

bytowej działalności człowieka. Unieszkodliwianie odpadów ma na celu likwidację zagrożeń sanitarnych z jednoczesnym zabezpieczeniem środowiska (wód, powietrza i gleby) przed szkodliwością powstających produktów. Ładunek szkodliwości produktów końcowych można ograniczyć przez maksymalny odzysk w procesie unieszkodliwiania odpadów organicznych i powtórne włączenie ich w obieg materiałowy w gospodarce tzw.(recykling) [22,37].

Tradycyjnymi metodami unieszkodliwiania odpadów są: składowanie ich na wysypiskach, przerób na kompost, spalanie.

7.4.1. Składowanie odpadów na wysypiskach.

Wysypiska dzielimy na:

- dzikie lub niekontrolowane, w których mogą m.in.: powstawać pożary, rozprzestrzeniać się śmieci; powstawać i rozprzestrzeniać się przykre zapachy; rozwiewać różne zanieczyszczenia; następować ługowanie składników rozpuszczalnych i przenikanie ich do gruntu, dojść może do zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych,
- kontrolowane, w miejscach wyznaczonych przez władze,
- ulepszone. Teren do składowania został specjalnie przygotowany, a ich eksploatacja odbywa się zgodnie z ustaloną technologią.

Wysypiska ulepszone [49] cechuje rozplantowywanie odpadów na 1 – 2 m warstwy, stosowanie obojętnych materiałów (izolacyjnych piasek, żużel, żwir gruz) między warstwami odpadów; przykrywanie i ugniatanie złożonych odpadów co uniemożliwia powstanie pożarów i rozchodzenie się przykrych zapachów.

7.4.1.1. Kompostowanie odpadów.

Wskazane jest wspólne kompostowanie odpadów miejskich z osadami ściekowymi. Kompost z odpadów będzie spełniać rolę nawozu organicznego, stąd substancja organiczna jest najwartościowszym składnikiem kompostu i po wprowadzeniu do gleby będzie ulegała w niej dalszym naturalnym procesom rozkładu. Mikroorganizmy wprowadzane wraz z kompostem do gleby wzbogacają mikroflorę i mikrofaunę glebową, intensyfikują życie biologiczne gleby i procesy glebotwórcze [49].

Trzeci składnik kompostu stanowią substancje nawozowe: związki azotu, fosforu i potasu. Pierwiastki śladowe (metaliczne i niemetaliczne) tworzą też wartość nawozową kompostów. Większe ich dawki powodują ujemne skutki. Zaliczamy do nich B, Cu, Mo, Zn, Co, Ni. Kompost z odpadów miejskich posiada również własności strukturotwórcze, wywiera wpływ na poprawę struktury nawożonej nim gleby. Stosowanie kompostów poprawia urodzajność gleby. Biochemicznemu rozpadowi ulegają odpady kuchenne i materiały organiczne z surowców naturalnych, złożonych z węglowodanów, związków

białka i tłuszczy. Można kompostować też niektóre odpady organiczne przemysłowe, ale nie wolno kompostować odpadów toksycznych. Kompostowanie jest procesem biochemicznym, którego przebieg zależy od aktywności enzymatycznej mikroorganizmów. W procesie kompostowania następuje rozkład materii organicznej na drodze tlenowej. Część substancji organicznej zostaje całkowicie utleniona do CO_2 i H_2O . Dlatego należy ograniczyć czas procesu aby zachować część substancji organicznej. Główną rolę w kompostowaniu odgrywają bakterie, mniejszą grzyby [49].

Najlepiej przebiega proces kompostowania przy ilości wody 40 – 50 %. Mikroorganizmy wymagają obecności tlenu. Przy procesach tlenowych zostaje wydzielona energia cieplna. Temperatura może wzrosnąć do 80 °C i wyżej. Przy prawidłowym kompostowaniu wyróżniamy trzy stadia fermentacji;

- termofilnej, charakteryzującej się gwałtownym wzrostem temperatury w przyzmię i utrzymywaniem się jej potem na maksymalnym poziomie,
- termomezofilnej, o stopniowym, powolnym spadku temperatury wskutek wyczerpywania się substancji odżywczych i chłodzącego działania otoczenia,
- zaniku fermentacji przejawiającej się w zrównaniu temperatury przyzmy z temperaturą otoczenia [49].

Najlepiej przebiega kompostowanie przy pH w granicach 6 – 8. Najbardziej korzystny do kompostowania jest stosunek C/N w przedziale 25 – 35. Dlatego dodatek osadu ściekowego o stosunku C/N równym 12 zwiększa ilość azotu i uzupełnia niedobór wody w odpadach.

Natomiast materiały toksyczne i zawierające zbyt dużą ilość soli przeszkadzają w procesie kompostowania [49].

7.4.1.2. Metody technologiczne kompostowania.

Obecnie stosowane są następujące sposoby kompostowania

- kompostowanie w przyzmiach na otwartym powietrzu bez obróbki wstępnej odpadów,
- kompostowanie w przyzmiach na otwartym powietrzu z zastosowaniem obróbki wstępnej odpadów i końcowej kompostu bez i z dodatkiem osadu ściekowego przy użyciu urządzeń, produkcji firm np.: Dort Oliver, Buhler, Hazomag, Tollemache i TVA – PHS
- system Caspari,
- kompostowanie odpadów w różnego typu komorach zamkniętych (bez i z dodatkiem osadu ściekowego) np.: Pratt, Carel Fouche, Thomas Fertilla, Sceba Edifesa, Metrawaste [49].

W pierwszej grupie metod proces przebiega powoli, uzyskanie kompostu trwa długo 4 – 6 miesięcy. W Polsce pracuje 5 takich kompostowni. W drugiej grupie metod wskutek wstępnej obróbki materiału czas do uzyskania dojrzałego kompostu wynosi 2 – 4 miesięcy. Jakość kompostu jest lepsza i wzrasta

wydajność kompostowania. Z odpadów wybiera się metale za pomocą separatora elektromagnetycznego. Wybiera się też z odpadów szkło, materiały tekstylne, tworzywa sztuczne itp. System Caspari polega na kompostowaniu odpadów miejskich z osadem ściekowym odwodnionym i prasowaniu tej mieszanki w brykiety pod ciśnieniem 30 atm. Brykiety są później suszone; rozwijają się w nich procesy biotermiczne i wzrasta wtedy temperatura do 70 °C niszcząc chorobotwórcze organizmy. Wsuszone brykiety stają się lżejsze i bardziej porowate. Brykiety mogą też być spalane. Po rozdrobieniu brykiety mogą służyć do użyczenia gleby jako nawóz organiczny. Kompostowanie w komorach zamkniętych powoduje dalszą intensyfikację procesu kompostowania. W komorach istnieje możliwość dobrego sterowania procesem, można zapewnić optymalne warunki: temperaturę, wilgotność i natlenianie masy kompostowej i już nawet po 24 godzinach (system Thomas Fertilla) uzyskuje się materiał, przypominający wizualnie kompost. W czwartej grupie kompostowania (w nieruchomych lub mechanicznych komorach ze wstępnym rozdrobieniem lub bez) wyróżnia się systemy: Dano – Biostabilizator i Biotank. Przy wspólnym przerobieniu odpadów i osadów na kompost jest ważna dokładność ich mieszania i stworzenie jednolitej masy [49].

7.4.2. Spalanie odpadów.

Najpierw w Anglii w 1876 r. wybudowano pierwszą spalarnię. Na kontynencie pierwszą spalarnię zbudowano w 1893 r. w Hamburgu wskutek panującej w mieście epidemii cholery [49]. W 1914 r. w Davos (Szwajcaria) wybudowano spalarnię. W Polsce zbudowano w 1927 r. spalarnię w Poznaniu. Najstarszą spalarnią była zbudowana w 1912 r. spalarnia w Warszawie o wydajności 10 tys. ton/rok, zniszczona w czasie Powstania Warszawskiego w 1944 r. W wyniku spalania objętość odpadów redukuje się do ok. 10 % ich wartości początkowej, a ich masę do około 35 %. Zaletami są dodatkowo:

- termiczna destrukcja i redukcja substancji szkodliwych zawartych w odpadach,
- neutralizacja stałych i gazowych produktów, spalania
- pozyskanie energii zawartej w odpadach. Niekorzystny jest wpływ chlorowodoru powstałego w temperaturze 230 °C ze spalania tworzyw z polichloroku winylu, gdyż działa on korodująco na materiały ceramiczne i metale, zwłaszcza w połączeniu z wilgotnymi gazami. Ciepło wytworzone w spalarni wykorzystuje się do wytworzenia pary w kotłach parowych. W nowoczesnych spalarniach uzyskuje się 0,9 – 1,4 kg pary z 1 kg odpadów. Gazy spalinowe należy ochłodzić do temperatury ok. 300°C i wtedy gazy ochłodzone można odpylać w cyklonach lub w elektrofiltrach i odprowadzać do powietrza atmosferycznego. Ilość żużla wynosi 20 – 60 % wagowo i 10-20 % objętości pierwotnej masy odpadów. Żużel po usunięciu z pieca i zgaszeniu poddaje się rozdrobieniu : z masy rozdrobionej

usuwa się żelazo, a pozostałość ponownie się rozdrabnia i sortuje na sicie. Drobna frakcję żużla wykorzystuje się do zwalczania gołoledzi i ślizgawic. Żużel o większej granulacji służy do celów budowlanych np. do budowy lekkich dróg. Żużel z dodatkiem cementu, piasku lub wapna stosuje się do wyrobu prefabrykatów [37, 49].

- Przy wyższej od 50 % zawartości popiołu z palenisk w odpadach miejskich wytwarza się dodatkowe tworzywo do betonu. Złom żelazny usuwa się z żużla przy pomocy separatora elektromagnetycznego. Uzyskuje się 20 – 50 kg złomu żelaza na tonę spalonych odpadów miejskich. Pyły dymnicowe stanowią 2 – 10 % ilości spalonych odpadów. Stosuje się je do zamulania bagnistych terenów np. w okolicy Hamburga, do produkcji papy dachowej, jako wypełniacz mas bitumicznych. Ze względu na dużą zawartość wapnia w pyłach dymnicowych można je zużyć do nawożenia gleb (np. ze spalarni w Amsterdamie). [49].

7.4.3. Nowe technologie unieszkodliwiania odpadów.

Obserwuje się ostatnio tendencję zmian składu odpadów miejskich w postaci spadku ilości popiołu i odpadów kuchennych oraz wzrostu ilości papieru, metali, szkła i tworzyw sztucznych [49].

Wyróżniamy:

- mokre spalanie,
- fermentację beztlenową,
- pozyskiwanie filery celulozowej i produkcję alkoholu etylowego,
- produkcję wiórowych płyt budowlanych z przefermentowanych odpadów
- totalne unieszkodliwienie odpadów
- zgazowanie odpadów i odgazowanie odpadów (piroliza).

Mokre spalanie czyli, “utlenianie na mokro” oznacza bezpłomieniowe, samoistne i samotrzymujące się utlenianie przeważnie substancji organicznych w wodnej zawieszynie lub roztworze, pod wpływem doprowadzonego tlenu [49]. Temperatura i ciśnienie wpływają na intensywność tego procesu. Większość związków organicznych rozkłada się w wodnym roztworze, przy ciśnieniu 70 - 150 atm. i temperaturze 220 °C – 320 °C; po doprowadzeniu tlenu (czystego lub atmosferycznego) mieszanina reaguje samoczynnie. Polega na unieszkodliwieniu odpadów jak: mierzwa, zrzynki drzew, trawa, osad ściekowy, zniszczone meble i makulatura. Końcowe produkty mokrego spalania to kwasy: kwas octowy, mrówkowy, szczawiowy. Celulozę można poddać hydrolizie i uzyskać glukozę. 20 % pierwotnej objętości stanowi osad, który należy usunąć na wysypisko. Przy fermentacji beztlenowej odpadów kuchennych i z zakładów gastronomicznych uzyskuje się: CH₄, CO₂ i przefermentowane odpady. Redukcja pierwotnej objętości wynosi ok. 50 %. Z makulatury głównie celulozy uzyskuje się “celulozę regenerowaną”. Celuloza zawarta w odpadach jest poddawana hydrolizie do cukrów, a te – drogą

fermentacji – są przerabiane do alkoholu etylowego. Firma szwajcarska Jetzer Engineering A.G. opracowała patent na produkcję wiórowych płyt budowlanych z przefermentowanych odpadów. Świeżą, wilgotną masę kompostową, wytworzoną z odpadów suszy się do wilgotności 3 – 5 %, w temperaturze 140 °C, do której dodaje się wióry drewniane do włóknistego surowca i przy użyciu środków wiążących prasuje się. Uzyskujemy płyty o dużej twardości i odporności. Metoda totalnego unieszkodliwienia odpadów “czyli metoda Heidenheim” polega na połączeniu kompostowania ze spalaniem odpadów. Odpady nieprzydatne do kompostowania (ok. 1/3 ogólnej objętości odpadów) spala się w piecach. Odpady podatne do kompostowania są rozdrabniane i kompostowane w przyzmacach. Do nowszych metod unieszkodliwiania odpadów należy metoda zgazowania odpadów [37,49]. Zgazowanie odpadów drewna i miejskich odbywa się w czadnicach czyli generatorach gazu, stąd powstający gaz zwieemy generatorowym. Zgazowanie polega na niepełnym utlenianiu paliwa stałego i utworzeniu paliwa gazowego. Czynnikiem utleniającym może być powietrze, tlen, para wodna lub CO₂. Powstające paliwo gazowe składa się ze składników palnych (CO, H₂, CH₄) oraz z balastu (CO₂, H₂O, N₂). Podstawowe reakcje, jakie przebiegają można opisać:

- 1) $C + O_2 \Leftrightarrow CO_2$
- 2) $CO_2 + C \Leftrightarrow 2CO$
- 3) $H_2O + C \Leftrightarrow H_2 + CO$
- 4) $CO_2 + H_2 \Leftrightarrow CO + H_2O$
- 5) $C + 2H_2 \Leftrightarrow CH_4$

7.4.3.1. Odgazowanie odpadów.

Proces pirolizy polega na termicznym rozkładzie naturalnego paliwa poddanego ogrzewaniu bez dostępu powietrza. W wyniku otrzymuje się 3 rodzaje produktów: 1) produkty stałe (półkoks, koks), 2) produkty ciekłe w postaci smoły i wody pogazowej, 3) produkty gazowe w postaci gazu palnego. Odgazowanie węgla w wysokich temperaturach (900 – 1100 °C) stosowane jest w gazownictwie i koksownictwie. Chemiczna przeróbka paliw przy niskich temperaturach (500 – 600 °C) nazywa się wytlewaniem [49]. Właściwe temperatury rozkładu głównej masy leżą w zakresach od 150 do 400 °C dla drewna i torfu, od 220 do 450 °C dla węgla brunatnego, od 300 do 550 °C dla węgla kamiennego i od 400 do 550 °C dla węgla antracytowego. Proces pirolizy odpadów miejskich prowadzony jest w temperaturze 815°C w celu otrzymania gazu opałowego. Im więcej papieru w odpadach miejskich, tym proces pirolizy jest łatwiejszy. W procesie pirolizy osiąga się taki sam efekt redukcji objętości masy odpadów jak przy spalaniu, a jednocześnie wyklucza się zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego produktami niepełnego spalania, oraz chemicznymi.

Substancje organiczne z odpadów ulegają w czasie pirolizy przemianie w produkty gazowe, ciekłe (np. pary amoniaku) oraz stałe (węgiel, stanowiący składnik żużla). Gazy i pary, uchodzące z retorty są oczyszczane z produktów chemicznych w płuczkach wodnych, przy czym niezależnie od procesu absorpcji zanieczyszczeń przez wymywanie zachodzą tu procesy neutralizacji par alkalicznych i kwaśnych, czego rezultatem jest wytrącanie soli NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ itd. [49]. W zależności od początkowego składu z 1 tony odpadów otrzymuje się 0,25 – 0,30 ton żużlu przy zredukowaniu początkowej objętości do ok. 10 – 15 %. W Danii w miejscowości Kolundborg pracuje urządzenie pilotujące o przepustowości 120 t odpadów dziennie. Najwyższa temperatura w dolnej części retorty wynosi 1000 – 1050 °C, skąd jest odbierany gaz. Przechodzi on przez urządzenia oczyszczające i kierowany jest do systemu palników, ogrzewających płaszcz grzejny retorty. Wartość opałowa odpadów wynosi 1700 kcal/kg. Do ogrzewania retorty wykorzystuje się 70 % produkowanego gazu. Wartość opałowa gazu wynosi 2900 kcal/Nm³. Produktami spalania gazu są CO_2 , H_2O (para wodna) i azot. Efektem tego procesu jest jedynie pewne zwiększenie w otaczającym powietrzu atmosferycznym koncentracji jej naturalnych składników. W trakcie pirolizy odpadów miejskich zawierających PCV okazało się, że ilość NH_3 powstająca też w czasie pirolizy odpadów miejskich o przeciętnym składzie jest wystarczająca do neutralizacji kwaśnych produktów rozkładu PCV, którego ilość w odpadach wynosiła 3 %. Żużel jest tu sypki, porowaty i bezwonny; zawiera w stanie suchym do 25 % węgla organicznego. W stanie naturalnej wilgotności zatrzymuje 40 % wody.

7.4.4. Fermentacja metanowa.

Kompostowanie odpadów polega na rozkładzie substancji organicznej w warunkach tlenowych, zaś proces fermentacji metanowej (metanizacji) zachodzi bez dostępu powietrza, a jego produktami są biogaz i naturalny nawóz [37,49]. Proces metanizacji prowadzony w komorach wykazuje zalety:

- mniejszą energochłonność (nie trzeba doprowadzać powietrza do komór kompostowych i do pryzm),
- biogaz można zagospodarować jako nośnik energii,
- produkt stały można zagospodarować w formie nawozu,
- można lepiej oczyścić produkty końcowe,
- nie zajmujemy terenu pod wysypisko odpadów,
- wyeliminowanie emisji uciążliwych produktów rozkładu do środowiska.

Technologia fermentacji metanowej sprowadza się do:

- rozdrobnienia odpadów i odseparowania złomu, i części mineralnych,
- wymieszania (homogenizacji) materiału wsadowego,
- poddania komorowej fermentacji w temperaturze 35 – 55 °C,
- odprowadzenia biogazu i zmagazynowania,

- odwodnienia i ewentualnego dodatkowego oczyszczania uzyskanego produktu stałego (nawozu).

W Europie i na świecie funkcjonuje już kilka zakładów tego typu między innymi w:

- La Buisse (Francja) i na Thaiti (system Volarga),
- Pompano Beach na Florydzie,
- Rottweil (RFN – system Rottweil),
- Bremie i Wandenburgu (RFN – system An – Maschinenbau – Bremen),
- Ensche (Holandia) – system Dranco. [37].

7.4.5. Utylizacja zużytych opon samochodowych w piecach obrotowych do wypału klinkieru.

Zużyte opony wykorzystywano od dawna jako dodatkowe paliwo. Długoletnie badania wykazały, że piece obrotowe używane w przemyśle cementowym do wypału klinkieru nadają się najlepiej do spalania opon. Przy ich zużyciu nie ma większej emisji szkodliwych substancji niż przy spalaniu paliw konwencjonalnych. Związki organiczne ulegają całkowitej likwidacji, gdy w ciągu dwóch sekund są poddane pod działanie temperatury 1473 K w środowisku utleniającym. W strefie spiekania pieca obrotowego warunki te są spełnione z nadwyżką, ponieważ czas przebywania odpadów w strudze gazów o temperaturze ponad 1250 K wynosi około 6 sekund, zaś przy maksymalnej temperaturze powyżej 1700 K około 3 sekund.

Dodatkową zaletą jest absorpcja kwaśnych gazów i metali ciężkich w zasadowym środowisku jakie stanowi klinkier portlandzki. Rozkładowi ulegają nawet bardzo trwałe cząstki organiczne jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH) i chlorowany dwufenyl (PCS). Do zalet zaliczyć też można brak pozostałości po odpadach, które są związane w sposób całkowity w klinkierze bez szkody dla samego produktu.

Spalanie opon zaczęto wprowadzać na skalę technologiczną w latach 70-tych wieku XX. Pionierami spalania odpadów gumowych, a szczególnie opon samochodowych były dwa niemieckie koncerny: Portlandcement Werk Dotternhausen oraz Dyckerhoff AG.

Aktualnie w Europie znajduje się ponad 70 instalacji spalających opony w całości lub rozdrobnione. Przewodzącym w Europie krajem spalania opon są Niemcy, gdzie zbudowano ponad 20 instalacji do spalania opon, a najnowsze zakłady powstały we wschodnich landach (tereny byłej Niemieckiej Republiki Demokratycznej).

Zakłady Cementowo - Wapiennicze “Górazdze” S.A należą do grupy CBR, gdzie spala się opony:

- Bixhe, Belgia – opony w całości,
- Mokra, Czechy – opony w całości,
- Redding, USA – opony w całości,

- Wilbury, Kanada – opony rozdrobnione.

W Japonii pracuje też aktualnie ponad 20 instalacji do spalania opon .

W USA w piecach obrotowych spala się na skalę przemysłową oprócz opon także odpady chemiczne, toksyczne, poszpitalne i komunalne. Wyspecjalizowana firma jak Cadence Environmental Energy przewozi z pojemników odpady do cementowni, gdzie po badaniu w lokalnym laboratorium zostają dozowane do pieca obrotowego.

W Polsce nie uruchomiono jeszcze na skalę przemysłową linii do spalania odpadów i paliw zastępczych. W Cementowni “Góraźdze” przeprowadzono dotychczas dwie próby spalania opon:

- jedną, 8-mio godzinną w dniu 10.06.1992r.
- drugą w ciągu 48 godzin, w dniach 2-3 grudnia 1992r.

W pierwszej próbie wykonano pomiary dla trzech wariantów:

- zasilanie pieca pyłem węglowym,
- dodawanie opon w ilości 1 Mg/h,
- dodawanie opon w ilości 2 Mg/h.

W drugiej próbie wykonano pomiary dla dwóch wariantów:

- normalna praca pieca
- dodawanie opon w ilości 2Mg/h.

Temperatura w komorze wlotu do pieca, do której dozowano opony, wynosiła 1173-1223 K przy pełnej wydajności pieca.

W trakcie pierwszej próby wykonano pomiary emisji pyłu, emisji gazów SO₂, NO_x, sumy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w tym benzopirenu oraz składu ziarnowego emitowanego pyłu.

Podczas drugiej próby pomiary poszerzono o badania ilości chlorowodoru, węglowodorów alifatycznych dibenzo - dioksyny w tym izomeru 2,3,7,8 TCDD oraz pomiary polichlorowych dibenzofuranów.

Zakres pomiarów przeprowadzono zgodnie z wymaganiami odpowiednich służb Urzędu Wojewódzkiego w Opolu. Uzyskane wyniki pomiarów wskazują na obniżenie emisji pyłów podczas spalania opon. Podczas pierwszej próby stężenia SO₂, NO_x, sumy WWA benzopirenu były niższe niż przy zasilaniu pieca samym węglem. Obecności chlorowodoru w spalinach nie stwierdzono.

W drugiej próbie ilości węglowodorów PCDD/PCDF w próbach pyłów emitowanych były niewielkie, co wskazuje na właściwe prowadzenie procesu spalania w piecu obrotowym. Wprowadzenie opon samochodowych w postaci części paliwa do “zimnego końca pieca” nie stwarza zagrożenia ekologicznego większego niż opalanie pieców samym pyłem węglowym. Nie obserwuje się wzrostu emisji pyłów węglowodorów, dioksyn, furanów i gazów takich jak SO₂ i NO_x.

Spalanie opon powoduje obniżenie dozowanego mialu węglowego oraz obniżenie emisji pyłów i gazów SO₂, NO_x. Brak też emisji metali ciężkich. Nie

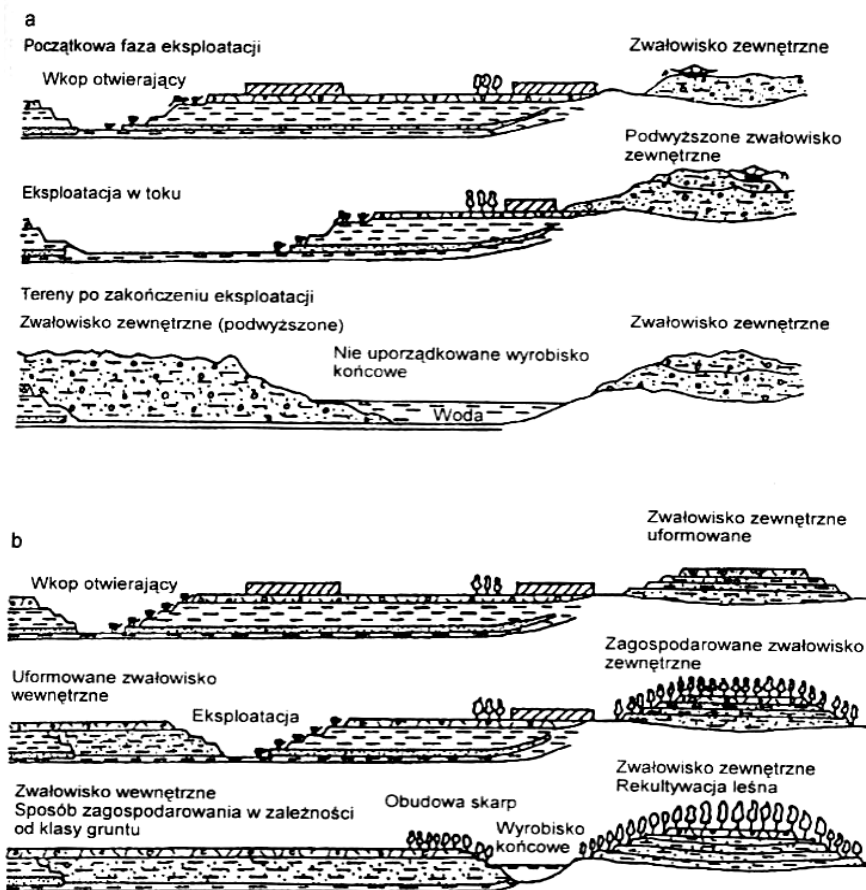
powstają też odpady – popiół wchodzi w reakcję z klinkierem. [S.Wierzgoń,1997].

7.5. Degradacja terenów spowodowana odkrywkową eksploatacją węgla brunatnego.

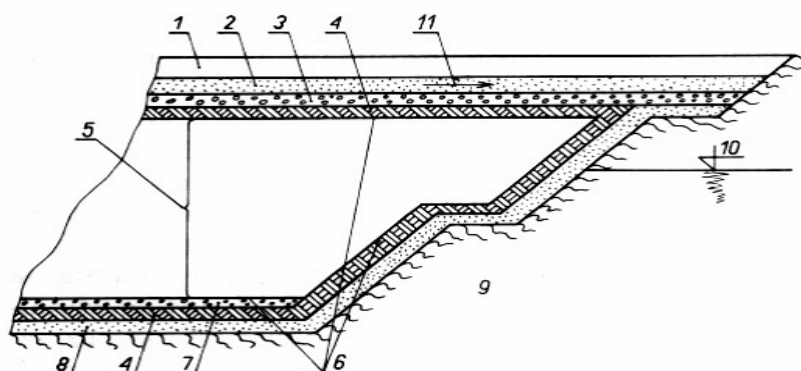
Zasoby węgla brunatnego koncentrują się w utworach trzeciorzędowych Niżu Polskiego. Wśród utworów piaszczysto – mułkowych, rzadziej ilastych, stwierdzono poziomy węglonośne, przedstawiające grupy pokładów węgla brunatnego, od jednego do czterech. Są to węgle okresu eoceńskiego i oligoceńskiego oraz mioceńskiego i plioceńskiego. Ze względu na zasobność znaczenie mają mioceńskie złoża węgla brunatnego i są one eksploatowane. Złoża są typu pokładowego i soczewowego. Złoża soczewowe są niewielkie, wyklinowują się lub zostały zniszczone erozyjnie. Złoża pokładowe występują na dużych obszarach i tworzą warstwy o mało zróżnicowanej miąższości. Złoża mogą być zaburzone i nie zaburzone dynamicznie, natury tektonicznej lub glacialnej. Złoża w rowach tektonicznych są najbardziej zasobne. Aktualnie powierzchnia zajmowana przez zwałowiska i wyrobiska górnictwa odkrywkowego wynosi ok. 200 km², nie licząc terenów odwodnionych wskutek eksploatacji. Za ekonomiczne kryterium bierze się stosunek miąższości nadkładu, do miąższości pokładu węgla jak 10 : 1, a maksymalna głębokość zalegania pokładu nie przekracza 230 m. W eksploatowanych 3 złożach stosunek ten wynosi 3 – 6. Wydobycie 1 tony węgla wymaga uprzednio usunięcia kilku m³ utworów nadkładu. W 1990 r. wydobyto w Polsce 70 mln ton węgla brunatnego, co oznacza, że w okresie 1960 – 1990 usunięto 4 mld m³ nadkładu [22].

Eksploatacja nadkładu znad złoża węgla zaczyna się od kopania tzw. wkopu otwierającego, usytuowanego zwykle w miejscu płytkiego zalegania złoża, aby jak najszybciej zacząć eksploatację węgla. Uprzednio trzeba teren odwodnić. Wykonuje się szybiki odwadniające, a od nich, już w złożu węgla drąży się chodniki odwadniające. Wykonuje się współdziałające z nimi otwory sphywowe i odprężające. Zbierająca się w chodnikach woda jest wypompowywana na powierzchnię i odprowadzana do rowów odpływowych. Odwodnienie to wyprzedza o 1-2 lata zdejmowanie nadkładu i wydobywanie węgla. Odwodnienie węgla trwa przez cały okres, eksploatacji pokładu węgla. Materiał ziemny nadkładu jest zbierany potężnymi czerpakami i koparkami (o wydajności ponad 5000 m³/godzinę) i transportowany, najczęściej taśmociągami, poza obszar złoża, na zwałowisko zewnętrzne. Na zwałowisku pracują olbrzymie maszyny zwałowarki, rozrzucając masy ziemne i formując z niej coraz wyższe zwałowisko. Gdy na określonej powierzchni zostaje odkryte złożo węgla zaczyna się już właściwa eksploatacja węgla. Wszystkie czerpaki i koparki pracują na tzw. stopniach, czyli poziomach pracy, których liczba zależy od miąższości nadkładu i grubości złoża węgla. Front wybierania w kopalni

odkrywkowej ma zawsze wygląd tarasowy. Złoże jest odkrywane w kopalni odkrywkowej na coraz większej powierzchni, a nadkład jest jeszcze transportowany na zwałowisko zewnętrzne. W Turowie usuwany jest nadkład z powierzchni około 27 km², a obszar zwałowiska zewnętrznego, o wysokości ponad 200 m, wynosi 16 km². Po kilku latach eksploatacji można przystąpić do zasypywania odkrywki w miejscu, z którego węgiel został już usunięty. W ten sposób powstaje zwałowisko wewnętrzne - rys.7.1.



Rys.7.1. Schemat przekształceń powierzchni w górnictwie odkrywkowym, gospodarka nadkładem: a) wadliwa, b) poprawna, wg Maciaka [22]



Rys.7.2. Szczelne składowisko odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin, wg [17]. 1 – warstwa gruntów lessowych grubości 2 m, 2 – warstwa gruntów piaszczystych grubości 1m, 3 – drenaż żwirowy grubości 1 m, $k = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s, 4 – uszczelnienie z gliny grubości 0,6 m, $k = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s, 5 – stwardniała mieszanina odpadów (popiołu, żużla, gipsu i ścieków z instalacji oczyszczania spalin), 6 – powierzchnie zamykające uszczelnienie (zagęszczone), 7 – drenaż żwirowy grubości 0,3 m, $k = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s, 8 – warstwa piasku grubości 1 m, 9 – grunty wyrobiska kopalni, 10 – poziom wody gruntowej po zakończeniu eksploatacji kopalń, 11 – nachylenie warstw uszczelniających i rekultywacyjnych 2 – 3 %.

Do zasypywania służy materiał ziemny nadkładu, znad części złoża, które będzie dopiero eksploatowane. Masy ziemne zwałowiska zewnętrznego, nie są wykorzystywane do zasypywania odkrywki. Po zakończeniu eksploatacji węgla pozostaje wyrobisko końcowe, w postaci wielokilometrowego zagłębienia, które po wypełnieniu wodą może się przekształcić w jezioro. Z przebiegu prac wynika, że gleba zostaje całkowicie zniszczona. Zmianie ulegają warunki hydrologiczne, hydrogeologiczne i morfologia terenu. Na powierzchni zwałowisk zewnętrznych i wewnętrznych znajduje się różnorodny materiał ziemny, przeważnie trzeciorzędowy, o bardzo niekorzystnych dla roślin właściwościach fizycznych i chemicznych, czasem fitotoksyczny. Tereny te pozostawione przez dziesiątki lat mogą stanowić biologiczną pustynię. Wymagają więc rekultywacji. Wskutek utworzonego leja depresyjnego następuje przesuszenie terenów sąsiadujących z wyrobiskiem. Spada więc zdolność produkcyjna tych terenów. Następują też zmiany mikroklimatu i klimatu lokalnego oraz zaznacza się nasilenie zmian erozyjnych w mikrorzeźbie terenu [22].

7.5.1. Rekultywacja nieużytków.

Opiera się ona o wyniki badań naukowych, aby szybko przekształcić surowy, bezglebowy materiał ziemny w glebę przydatną do produkcji biologicznej.

W tym celu należy:

- określić właściwości fizyczno – chemiczne materiału ziemnego zalegającego w nadkładzie,
- ustalić zasady formowania zwałów zewnętrznych i wewnętrznych,
- ustalić metody przekształcania w glebę materiału zalegającego na powierzchni zwałowisk,
- opracować ostateczne zagospodarowanie terenów zdegradowanych. Pobiera się odpowiednią ilość prób (gruntów, wód, roślin) do analiz laboratoryjnych i wegetacyjnych. Wyniki tych badań terenowych i laboratoryjnych stanowią podstawę do ustalenia kierunku rekultywacji biologicznej [22]. Badaniem stwierdza się, które utwory są toksyczne, a które są najbardziej korzystne do celów rekultywacji. Utwory toksyczne lub jałowe winny być izolowane, przez pokrycie ich utworami glebotwórczymi. Można je też przemieszać z utworami nietoksycznymi. Utwory kwaśne należy neutralizować wapnem, a zasadowe siarką. Do celów rekultywacji rolniczej nadają się czwartorzędowe utwory-lessy i warstwy humusowe gleb ornych oraz iłowe. Do rekultywacji leśnej przydatne są trzeciorzędowe, mioceneskie utwory-ilty kaolinitowo-montmorylonitowo-illitowe oraz utwory pliocenu i miocenu. Iły z domieszką węgla zawierają też siarkę i po zastosowaniu wapna i adsorbentów mineralnych mogą być rekultywowane. Za toksyczne uważa się jałowe piaski z dużą zawartością piryków lub markasytów, wolnego glinu i substancji organicznej. Zalegające w wierzchniej części warstwy zwałów muszą być poddane szczegółowym badaniom laboratoryjnym z oznaczeniem: maksymalnej pojemności wodnej, filtracji, porowatości, plastyczności, pęcznienia i kurczliwości. Oznacza się też kwasowość hydrolityczną, odczyn pH, zasolenie, pojemność sorpcyjną, zawartość przyswajalnych składników (N,P,K,Mg,Fe i mikroelementy), zawartość metali ciężkich i związki S. Oznacza się aktywność biologiczną badając procesy rozkładu węgla i azotu oraz ilość mikroorganizmów glebowych [22]. Po zneutralizowaniu utworów zwałowych wapnem stosuje się nawożenie mineralne NPK, dając 50 kg/ha K_2O , 200 kg/ha P_2O_5 i 100 kg/ha N. Następnie wysiewa się rośliny motylkowe.

Zwały winny mieć wysokość następującą:

- zwały niskie do 10 m. nad powierzchnią otaczającego terenu,
- zwały średnio wysokie 10-20 m,
- zwały wysokie 20-40 m,
- zwały bardzo wysokie ponad 40 m.

Zbocza zwałów winny mieć układ tarasowy i łagodne nachylenie:

- dla celów rolniczych nachylenie zboczy 1 : 4 – 1 : 6,
- dla celów leśnych (zadrzewienie) nachylenie 1 : 2, a nawet 1 : 1.

Co 6 – 10 m zbocze zwału powinno być przecięte kilkumetrowym płaskim tarasem. Zbocza tak uformowane są łatwe do umocnienia i odporne na erozję wody. Wysokość zwału pierwszego stopnia wynosi 10 m., następnych stopni nad pierwszym tarasem 4 – 6 m., szerokość tarasów nie powinna być mniejsza niż 0,5 następnego stopnia.

Po wyrównaniu wierzchowiny zwałów należy rozpocząć przekształcanie gruntów w siedlisko glebowe przydatne dla życia roślin przez stworzenie na powierzchni poziomego próchnicowego. Wprowadzenie do wierzchniej warstwy gruntów dużej ilości masy roślinnej sprzyja zapoczątkowaniu procesów glebotwórczych. Można tu zastosować też: torf, ścieki komunalne, osady ściekowe, komposty miejskie itp. Na zboczach należy zasadzić rośliny wieloletnie silnie zadarniające się oraz krzewy i drzewa o obfitym systemie korzeniowym. Po kilku latach stosowania roślin motylkowych (łubin, lucerna, koniczyna) można uprawiać na wierzchowinie rośliny zbożowe lub inne [22].

Przy rekultywacji zwałowisk zewnętrznych kopalni siarki należy zastosować wapno, w celu neutralizacji kwasu siarkowego powstałego z utleniania siarki. Przy pH poniżej 3,5 następuje destrukcja kompleksu sorpcyjnego, wzrost stężenia jonów Al^{+3} , związanie i uwstecznienie K, P, Mo, B, Zn, Cu i innych pierwiastków.

Na zboczach zwałów sadi się robinie akacjową, karagenę syberyjską, rokitnik zwyczajny, czeremchę amerykańską i olszę czarną. Skarpy są zaopatrzone w różnego rodzaju przeciwozyjne budowle betonowe [22]. W kopalni "Machów" na powierzchni zwałów przeważają zwarte utwory gruntowe, stąd przewidziano rekultywację rolniczą. Trudniejsza jest rekultywacja gleb zdegradowanych przez pyły siarki wywiewane przez wiatr ze składowisk siarki. Gleby te rekultywuje się stosując wysokie dawki wapna: 50 - 100 t/ha [22].

7.6. Składowiska odpadów paleniskowych.

Spalanie węgla kamiennego i brunatnego w elektrowniach ciepłych dostarcza popiołów i żużla. Ich składowiska są przyczyną występowania nieużytków przy zakładach energetycznych. Wiąże się z tym problem ochrony przed pyleniem, przed zanieczyszczeniem popiołem wód, gleb i roślinności. Aktualnie powierzchnia składowisk odpadów paleniskowych wynosi około 2000 ha; przy produkcji w 1977 r. – 17 mln ton, w 1980 r. – 19,3 mln ton i ok. 22 mln ton w 2000 r. Szacuje się, że rocznie będzie 240 ha zajmowane pod składowiska [22]. Odpady te są częściowo używane w przemyśle cementowym do produkcji kruszyw budowlanych, w drogownictwie, do podsadzki górniczej, niwelacji terenów miejskich i w rolnictwie. Zużycie do tych celów wynosi około 30 % i głównie są zużywane odpady z węgla kamiennego. Popioły z węgla brunatnego ze względu na zawartość wapnia mogą być wykorzystane

rolniczo do odkwaszania gleb. Stosunek żużla do popiołu lotnego wynosi 5 – 15 % żużla i 85 – 95 % popiołu w naszych elektrowniach. Odpady paleniskowe z elektrowni na składowiska są transportowane dwiema metodami: “na sucho” za pomocą taśmociągów, kolejek i samochodów, i “na mokro” – systemem hydraulicznym. Odpady wraz z wodą w postaci pulpy są przetłaczane hydraulicznie na wcześniej uformowane składowisko obwałowane materiałem ziemnym, często wzmocnione płytami betonowymi. Pulpę osadza się na składowisku, a część zawartej w niej wody wsiąka w głąb i odpływa odpowiednim systemem drenów do okalającego rowu. Przy wylocie rury osadzają się części najgrubsze (żużel), utwory pyłowe i ilaste gromadzą się dalej. Mieszanina odpadów na składowisku suchym jest lepiej wymieszana. Odpady te odpowiadają wielkością ziaren glinom lekkim, piaskom gliniastym lekkim i piaskom słabogliniastym i pylastym. Łatwo się cementują, przy dużej ilości wapna. Gęstość odpadów wynosi $1,84 - 2,38 \text{ g/cm}^3$, gęstość objętościowa rzeczywista około 1 g/cm^3 . Porowatość wynosi 50 – 60 %. Kapilarna pojemność wodna waha się w granicach 30 – 50 %. Zawierają one dużą ilość wody nie dostępnej dla roślin. Odpady są zasadowe, pH wynosi 8,9 – 11,2 i zawierają duże ilości krzemionki SiO_2 tj. 47,8 – 85,0 % s.m. Scementowane utwory na składowisku zawierają dużo wapnia magnezu i siarki, więcej niż utwory luźne, które wykazują wysoka zawartość SiO_2 . Ilości wapnia wynoszą 1,7 – 28,3 % CaO. Najwięcej wapnia zawierają odpady z węgla brunatnego. Są one też zasobne w Al i S. Skład odpadów paleniskowych wynosi w przybliżeniu: krzemionki SiO_2 do 85 %, żelaza 1,6 – 50 % Fe_2O_3 , glinu 1,9 – 18,3 % Al_2O_3 , magnezu 1,1 – 7,3 % MgO oraz mikroelementy: Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, As i B. Więcej Cu zawierają odpady z węgla kamiennego. Ilości Pb, Zn i Ni są dużo większe niż w glebach zasobnych w te pierwiastki. Mało jest potasu i fosforu, a zupełny brak w nich azotu [22]. Odpady z węgla kamiennego wykazują dużą radioaktywność wskutek obecności uranu i toru, i zaledwie 6 – 13 % potasu ^{40}K . Ilości uranu i toru w odpadach paleniskowych wynoszą 2,65 – 13,94 mg/kg. Jednak rośliny uprawiane na składowiskach (mieszanki traw) nie wykazały wzbogacenia w pierwiastki radioaktywne.

7.6.1. Rekultywacja składowisk odpadów paleniskowych.

Celem rekultywacji jest zabezpieczenie przed pyleniem i wprowadzenie na składowisko roślin użytecznych [22].

Zabiegi rekultywacyjne polegają na:

- 1) pokryciu składowiska równomierną warstwą 0,1 – 0,5 m gleby mineralnej, a po zabiegach agrotechnicznych wprowadzenie tam odpowiedniej roślinności.
- 2) układaniu na powierzchni składowiska dywanów torfowo – trawiastych bądź darni z późniejszą ich pielęgnacją,

- 3) obsianiu składowiska mieszanką roślin trawiastych i motylkowych, po dokonanych wcześniej zabiegach technicznych i agrotechnicznych jak: równanie, orka, nawożenie mineralne NPK, ewentualnie z dodatkiem torfu na powierzchnię składowiska,

Pierwsza metoda jest najtańsza. Dwie dalsze metody wymagają większych nakładów finansowych. Użycie kilkucentymetrowej warstwy gleby dla pokrycia zboczy i wierzchowiny zwałowiska, a potem wysiew roślinności trawiastej zabezpiecza skutecznie przed erozją wietrzną. Zabiegami uprawnymi są orka, bronowanie, wysiew nasion wykonywane sprzętem do prac rolniczych. Składowiska mokre ze względu na scementowanie wymagało do wzruszenia wprowadzenia specjalnych maszyn przed wprowadzeniem maszyn rolniczych. Po przygotowaniu terenu konieczne jest stosowanie pod rośliny wysokich dawek mineralnych nawozów azotowych, fosforowych i potasowych. W pierwszym okresie rekultywacji można stosować dodatkowo nawozy organiczne jak: torf, materiał roślinny, osady ściekowe itp. W okresie 1 – 3 lat stosuje się rośliny pionierskie jak: rzepak, gorczyca, kupkówka pospolita i nostryk biały. Ujemnie na rośliny wpływa nadmiar glinu. Składowiska rekultywowane stanowią lepsze siedlisko roślin niż nie rekultywowane. Na składowiska odpadów z węgla kamiennego mogą nadawać się drzewa: olsza szara i czarna, robinia akacjowa, modrzew europejski i mieszańce topoli euroamerykańskie, brzoza brodawkowata, osika, wierzba iwa, róża pomarszczona, tawuła, oliwnik wąskolistny, tamaryszek, karagena, topola biała i wierzba purpurowa [22].

Na składowiskach odpadów z węgla brunatnego elektrowni Konin możliwa jest uprawa, olszy szarej, topoli berlińskiej, tamaryszka, robinii akacjowej, wierzby wiciowej, wierzby białej i wierzby kruchej [22].

7.6.2. Rekultywacja terenów zdegradowanych przez imisję zanieczyszczeń chemicznych.

Degradacja chemiczna gleb polega na zmianie ich składu chemicznego, co prowadzi do deformacji aktywności biologicznej, niekorzystnych zmian właściwości fizycznych, a głównie wpływa ujemnie na wielkość i jakość plonów roślin [22]. Najważniejszym źródłem zanieczyszczeń atmosfery i pośrednio gleb są: energetyka i górnictwo, hutnictwo żelaza i metali nieżelaznych, zakłady chemiczne i materiałów budowlanych oraz środki motoryzacyjne. Z gazów emitowane są do gleby lotne związki siarki (głównie SO_2), związki fluoru (HF), jako pyły dostają się do gleby głównie związki krzemu i metali ciężkich: Zn, Cu, Pb, Hg, Cd. W 1994 r. emisja SO_2 wynosiła 4450 tys. ton. Zakłady chemiczne emitowały oprócz SO_2 również inne szkodliwe pierwiastki: Cl, F, Na, N itp. Związki siarki jako H_2SO_4 i jony SO_4^- oraz związki azotu jak HNO_3 i NO_3^- wywołują zakwaszenie gleb. Pyły z hut

żelaza zawierające Ca, Mg, K i Na mogą neutralizować związki kwaśne opadające na gleby, ale same powodują nadmierną alkalizację gleb i wydzielają też mineralne związki azotu. Warstwy powierzchniowe gleb, narażonych na emisję z hut żelaza, wykazują duże ilości Fe, Mn i Al. Gleby mają też skłonności do zasolenia. Huty metali nieżelaznych zwłaszcza huty miedzi, cynku i ołowiu wywołują zatrucie gleb wskutek nadmiernej emisji SO_2 i metali ciężkich Zn, Cu, Pb, Hg, Cd. Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi występuje też w aglomeracjach miejskich i wzdłuż dróg o nasilonym ruchu kołowym (autostrad). Obserwujemy tutaj duże zawartości Cd, Pb, Cr, Hg, As, Ni [2].

7.6.2.1. Toksyczne oddziaływanie zanieczyszczeń chemicznych (mineralnych) na środowisko.

Zanieczyszczenia środowiska związkami mineralnymi następują wtedy, gdy są one dostarczane w tak dużych ilościach lub stężeniach, że same lub przy współdziałaniu innych składników środowiska mogą wyrządzić szkodę ludziom, roślinom i zwierzętom [22]. W aspekcie potrzeb roślin wyróżniamy; makroelementy (C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg), które są potrzebne w dużych ilościach i są niezbędne dla organizmów, mikroelementy (Fe, Mn, Zn, B, Cl, Mo, Na, Co) potrzebne w niewielkich ilościach, chociaż są to pierwiastki niezbędne do życia. W nadmiernych ilościach Fe, Zn i Cu są toksyczne. U specyficznych grup organizmów wpływają na przemianę materii jeszcze pierwiastki: J, F, Se. Inne pierwiastki występują w bardzo małych ilościach jako tzw. pierwiastki śladowe. Szkodliwość związków mineralnych jest różna dla rozmaitych gatunków roślin. Zmiany ilości lub stężenia związków mineralnych nie pociągają jednakowych skutków u wszystkich organizmów. Szkodliwość danego związku dla zwierząt określa się na podstawie toksyczności związku, zaś dla roślin na podstawie wpływu na obniżenie plonowania roślin i na jakość plonu. Wyróżniamy trzy rodzaje toksyczności: 1 - ostry, 2 - chroniczny, 3 - ekologiczny. Dla środowiska wodnego i lądowego ważne jest nie tylko ilość, ale i forma danego związku – dotyczy to form azotu (N_2 , NH_4 , NO_3 , NO_2), siarki (H_2S , SO_2 , SO_4) na wzrost roślin i zdrowotność zwierząt. Związki NO_3 w paszy są silniej toksyczne dla zwierząt niż występujące w formie związków amonowych NH_4 . Toksyczność powodują redukcja NO_3^- do NO_2^- . Związki NO_2^- przechodzą do krwi zwierzęcia lub człowieka i zamieniają hemoglobinę w methemoglobinę, o słabszej zdolności przenoszenia tlenu. Przy zawartości 1,5 % azotanów w paszy następuje śmierć zwierzęcia. Ze związków NO_3^- mogą powstać nitrozoaminy, o właściwościach rakotwórczych. W paszy dla zwierząt zawartość NO_3^- powinna być poniżej 0,07 %. Zawartość 0,2 % azotanów w paszy jest toksyczna dla zwierząt [22]. Efektem zwiększającym toksyczność wielu pierwiastków śladowych w ekosystemie jest zakwaszanie w wyniku emisji SO_2 i NO_2 . Kwaśne deszcze obniżają odczyn gleby do pH 3,5 – 4,5 i

powodują zahamowanie procesów biologicznych i wzrost rozpuszczalności wielu metali ciężkich jak: Al., Cu, Hg, Pb, Mn, Cd. Ich rozpuszczalność jest mniejsza w glebach o odczynie obojętnym. Toksycznie w glebie działa glin. W kwaśnych glebach powstają szkodliwe stężenia jonu Al^{+3} . W granicach pH 5,0 – 8,5 jest on nierozpuszczalny. Poza tymi wartościami jego rozpuszczalność silnie wzrasta. Toksycznie glin obniża żyzność gleby i negatywnie wpływa na plony roślin. Jęczmień reaguje silnie na wpływ jonów Al^{+3} . Toksyczność jonów Al^{3+} polega na wzroście ilości jonów H^+ w soku komórkowym roślin, a z powodu dużego stężenia anionów wokół korzeni następuje hamowanie transpiracji i pobierania składników pokarmowych.

Przy obojętnym odczynie gleby i dużej pojemności wymiennej kationów stan równowagi biologicznej staje się bardziej stabilny. Jednak ciągły wzrost zawartości danego składnika może przekroczyć graniczny próg zdolności buforowych gleby i wtedy czynnik hamujący przestaje już działać. Dla oceny jakościowej stopnia zanieczyszczenia środowiska używa się bioindykatorów lub biowskaźników. Do tego celu służą rośliny i zwierzęta. Ilościową ocenę stopnia zanieczyszczenia środowiska określa się tzw. drogą pomiarów zmian morfologicznych, biochemicznych i chemicznych roślin na wrażliwych na zanieczyszczenie gatunkach roślin testowanych [22]. Poziom zawartości zanieczyszczeń w glebie nie zawsze odpowiada poziomowi pobierania ich przez rośliny. Kadm podobny do cynku jest łatwo pobierany przez rośliny i gromadzi się w ich jadalnych częściach, a ołów jest słabo akumulowany w roślinach. Stężenia Pb w jadalnych częściach roślin są dużo mniejsze niż jego ilości w glebie. Stężenia Cd w roślinie są bardziej zbliżone do jego zawartości w glebie i mogą być zróżnicowane w zależności od gatunku roślin. Względny pobór kadmu spada jeśli jego stężenie w glebie wzrasta (O'Neil 1998 – vide [22]). Opady "kwaśnych deszczy" na systemy oddalone od okręgów przemysłowych wskazują, że lokalne zanieczyszczenia środowiska są ciągle pogłębiane przez zanieczyszczenia o zasięgu globalnym. Wiele ekosystemów wyczerpało swój zasób regeneracyjny i nie ma już zdolności wchłaniania zanieczyszczeń.

7.6.2.2. Zakwaszenie gleb.

Pogorszenie własności fizyczno – chemicznych gleb wynika z ich zakwaszenia; spada wtedy jej produktywność i następuje obniżenie jakości plonów. Przy silnym zakwaszeniu gleby obniża się aktywność biologiczna mikroorganizmów glebowych, wzrasta rozpuszczalność związków mineralnych (ruchomych jonów Al., Fe, Mg i metali ciężkich). W kwaśnym środowisku gleby rośliny pobierają więcej metali ciężkich głównie Pb, Cd, Zn, co stanowi zagrożenie dla zdrowia. Zakwaszenie gleb w Polsce wynika z naturalnych procesów glebotwórczych (gleby lekkie łatwo się zakwaszają) i warunków klimatycznych. Przyczyną nadmiernego zakwaszenia jest też opad na gleby tlenków S i N, emitowanych przez przemysł energetyczny, metalurgiczny i

chemiczny oraz wymywanie pierwiastków Ca i Mg z gleby o rocznych stratach tych pierwiastków z gleby szacowanych na ponad 5 mln ton [22]. Opad SO_2 stanowi około 40 % wszystkich czynników powodujących zakwaszenie gleb w Polsce, a pozostałe 60 % spowodowane jest wymywaniem wapnia z gleby i pobraniem Ca przez rośliny. Zakwaszenie gleby powodują też stosowane w nadmiarze nawozy azotowe, gnojowice i osady ściekowe. Wg szacunków IUNG gleb bardzo kwaśnych (o $\text{pH} < 4,5$) w kraju jest ok. 25 % całości gruntów. Gleb kwaśnych (o $\text{pH} 4,5 - 5,5$) występuje ok. 35 %.

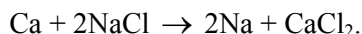
Zakwaszenie gleb, oprócz spadku aktywności biologicznej, powoduje uaktywnienie pierwiastków toksycznych w formach przyswajalnych dla roślin. Dlatego neutralizacja gleb przy użyciu wapnia i magnezu zwiększy odporność gleb na zakwaszanie i zanieczyszczanie. Używane są do tego celu nawozy wapniowe (węglanowe lub tlenkowe) w postaci wapna defakacyjnego, ławkowego, dolomitów oraz popiołu z węgla brunatnego, zawierającego znaczne ilości wapnia. Wapniowanie gleb wykonywać należy w porze jesiennej [22].

7.6.2.3. Alkaliczacja gleb.

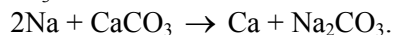
W rejonach zanieczyszczonych odpadami o odczynie silnie alkalicznym – odpady cementowe, popioły elektrowniane, odpady z niektórych zakładów chemicznych, wapienniczych, hutniczych lub ściekami, następuje alkaliczacja gleb. Często spotyka się gleby alkaliczne na terenach miejskich. Glebę alkaliczną neutralizuje się dodając do gleby (na podstawie analizy laboratoryjnej) określoną ilość siarki pylastej, którą dostarczamy w 2 porcjach (1/2 dawki na powierzchnię gleby, a drugą część dawki po przekopaniu lub po przeoraniu gleby) [22].

7.6.2.4. Zasolenie gleb.

Powstaje ono wskutek wprowadzenia do gleby związków sodu (NaCl , Na_2SO_4 lub Na_2SO_3), jako środka przeciw oblodzeniu (w miastach, osiedlach i na drogach) oraz wskutek nadmiernego nawożenia mineralnego gleb ogrodniczych (szklarnie, tunele, rejon intensywnej uprawy warzyw). Powoduje je również emisja soli przez kopalnie lub zakłady produkujące lub przerabiające NaCl . Zagrożone zasoleniem mogą być też gleby nawożone ściekami komunalnymi lub nawodnione zasolonymi wodami kopalnianymi. Pod wpływem NaCl gleby gromadzą sól wymienny w kompleksie sorpcyjnym; wg schematu :



Jony sodu reagują z CaCO_3 :

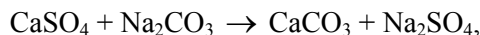


Powstała soda Na_2CO_3 w ilości ponad 0,005 % w glebie uniemożliwia rozwój roślin. Sól w glebie powiększa nadmiernie stan dyspersji gleb i zdolność pęcznienia, zmniejsza przepuszczalność wodną gleb i zdolność podsiąkania

wody. Wpływa też niekorzystnie na pobieranie składników chemicznych (Ca, K, S, Fe, P). Obecność w glebie 0,3 – 0,5 % NaCl lub Na₂SO₄ całkowicie hamuje wzrost większości drzew i krzewów w naszym kraju [22].

Sposoby rekultywacji gleb zasolonych na terenach miejskich polegają na:

- gipsowaniu (5 kg gipsu na 100 m² gleby); zachodzą reakcje:



następnie sól (Na₂SO₄) należy wypłukać ze strefy korzeniowej roślin,

- polepszeniu fizycznych właściwości zasolonych gleb przez wprowadzenie (w ilości ok. 5 %) piasku gruboziarnistego lub żwiru,
- intensywnym podlewaniu gleby wodą w okresie wegetacji roślin w celu wypłukania soli z systemu korzeniowego roślin,
- sadzeniu drzew i krzewów odpornych na zasolenie (halofity), wytrzymujące zasolenie 2 – 3 % soli w glebie; mało odporne rośliny (glikofity) nie znoszą zasolenia większego niż 0,5 % soli w glebie [22].

7.6.2.5. Zanieczyszczanie gleb przez środki transportu i substancje ropopochodne.

Emisja zanieczyszczeń przez środki transportu powoduje degradację gleb i roślin. Wpływ emisji od drogi o nasilonym ruchu kołowym zależy od wielkości emisji zanieczyszczeń i warunków terenowych i klimatycznych. Większe są zagrożenia na terenie miast o zwartej zabudowie niż na obszarach przyległych do dróg o nasilonym ruchu kołowym. Ze wzrostem odległości od drogi ilości ołowiu i substancji smolistych (ze spalania benzyny) w roślinach maleją. Największe stężenie Pb w roślinach występuje w odległości do 50 m od krawędzi jezdni [2,3,22]. Tereny rolne można zabezpieczyć przy pomocy pasów ochronnych z wysokiej i niskiej zieleni, oddzielającej pole od drogi. Mogą to być drzewa i żywopłoty stanowiące biologiczne filtry przed zanieczyszczeniem, które potrafią zatrzymać do 70 % ołowiu i 80 – 90 % substancji smolistych w okresie dobrego ulistnienia. Zanieczyszczenie gleb substancjami ropopochodnymi następuje wskutek zużycia paliw płynnych. Wskutek eksploatacji i awarii różnych zbiorników i rurociągów stacji paliw płynnych następuje wyciek produktów naftowych do gleby. Rekultywacja gleb jest trudna i kosztowna. Do rekultywacji gleb stosujemy m.in. metody mechaniczne (pompowania, napowietrzania), termiczne i chemiczne. Ostatnio stosuje się specjalne mikroorganizmy, rozkładające węglowodory aromatyczne w paliwach. Warstwę gleby zanieczyszczoną zdejmuje się i oddzielnie stosuje się zabiegi oczyszczające np. kompostowanie z materiałami organicznymi dla wzmożenia biologicznych procesów rozkładu węglowodorów aromatycznych [22].

7.6.2.6. Zanieczyszczenie gleb azotem.

Jego nadmiar w glebie, wskutek emisji N_2 przez zakłady chemiczne (azotowe) i energetyczne stanowi zagrożenie zdrowotne, związane z zanieczyszczeniem gleb, roślin i wód. Przy zbyt intensywnym nawożeniu dochodzi do kumulacji nadmiaru azotu (zwłaszcza NO_3) przez rośliny, a w glebie zaznacza się niedobór P, K, i Ca. Dostarczenie P, K i Ca może zniwelować ujemne skutki nadmiaru N w glebie i zmniejszyć jego wypłukiwanie do wód gruntowych. Rekultywację przeprowadza się przez uprawę roślin azotolubnych szybko rosnących, jak: kapusta, pastewna, słonecznik, kukurydza, trawy. Po skoszeniu rośliny te nie mogą być pokarmem dla zwierząt (nadmiar azotu), lecz powinny być użyte do produkcji kompostów z udziałem roślin lub utworów organicznych ubogich w azot, a bogatych w węglowodany; jak: torf, słoma, trociny drzewne. Komposty z dodatkiem P, K mogą być użyte do nawożenia pól, łąk i innych terenów uprawnych [22].

7.6.2.7. Zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi.

Tereny w pobliżu zakładów przemysłowych i dróg o nasilonym ruchu kołowym są narażone na zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Powodują one degradację czynnej powierzchni ziemi. Zaliczamy do nich: Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn. Pierwiastki te w małych ilościach nie szkodzą na ogół roślinom ale, ich negatywne skutki ujawniają się w dalszych ogniwach łańcucha pokarmowego. W miarę upływu czasu następuje wzrost (kumulacja) zanieczyszczeń w glebie i więcej ich pobierają rośliny. Pierwiastki Cd, Pb i Zn są mało podatne na wymywanie i mogą długo utrzymywać się w glebie. Ich pobór przez rośliny zależy od zawartości metali w glebie, odczynu gleby, zawartości w glebie materii organicznej oraz składu mechanicznego gleby [22]. Intensywność poboru metali ciężkich przez rośliny zależy też od gatunku rośliny oraz zasobność gleby w inne pierwiastki m.in. N, P, K, Mg. Zasadniczy wpływ wywiera odczyn gleby na pobieranie metali ciężkich przez rośliny. Na glebach bardzo kwaśnych metale Zn, Pb są pobierane intensywniej niż z gleb o odczynie obojętnym lub zasadowym. Gleby o pH 3,3 – 3,6 rozpuszczają prawie 60 % cynku zawartego w glebie i 39 % ołowiu. Przy odczynie tych gleb prawie obojętnym (pH 6,1 – 6,4), rozpuszczalność cynku maleje do 1,2 %, a ołowiu do 0,2 % w stosunku do zawartości całkowitej. Zatem przez wapnowanie kwaśnych gleb można ograniczyć pobieranie metali ciężkich przez rośliny. Gleby ciężkie, zawierające duże ilości części spławialnych mają większe zdolności zatrzymywania metali przez kompleks sorpcyjny, niż gleby lekkie i przewiewne. Gleby lekkie nie mają zdolności sorbowania metali. Przy podobnym stanie poziomym zanieczyszczeń mogą zawierać metale w formie rozpuszczalnej, łatwo dostępnej dla roślin. Gleby lekkie są podatne na zakwaszenie co wpływa na uruchomienie w nich metali ciężkich. Wielkość materii organicznej w glebie wpływa też na pobieranie metali ciężkich przez

rośliny. Im więcej materii organicznej tym mniejszy pobór metali ciężkich. Ołów silniej wiąże się z materią organiczną w górnej warstwie gleby. Rośliny konsumpcyjne kumulują metale w dużych ilościach. Dotyczy to głównie roślin jadalnych i pastewnych. W rejonach zanieczyszczonych metalami ciężkimi należy ograniczyć, a nawet zaniechać upraw roślin konsumpcyjnych [22]. Największe zagrożenie stwarza kadm, z powodu wysokiej toksyczności i łatwości przechodzenia do łańcucha pokarmowego roślin i zwierząt. Metale te są niebezpieczne dla zdrowia z powodu ich kumulowania się w organizmach ludzi i zwierząt. Spożycie żywności skażonej metalami nie wywołuje ostrych zatruc ani objawów chorobotwórczych zaraz po spożyciu, lecz powoduje odkładanie się w określonych tkankach organizmu danego pierwiastka np. Pb w szpiku kostnym i wątrobie, zaś kadmu w nerkach. Cd wywiera też ujemny wpływ na układ enzymatyczny. Metale ciężkie zawarte w żywności są przyczyną chorób cywilizacyjnych – układu krążenia, chorób nowotworowych i psychicznych oraz alergii. Zawartość 5 pierwiastków: Pb, Cd, Zn, Cu, Hg w glebach Polski jest bardzo zróżnicowana. Wg zaleceń UE dla gleb o wartości pH 6-7 maksymalne dopuszczalne stężenie wynosi: Cd – 3 mg/kg, Pb – 300 mg/kg, Zn – 300 mg/kg. Rekultywacja gleb w postaci nawożenia, wapniowania gleb, zwiększenia ilości materii organicznej, zmiany struktury upraw i użytkowania roślin nie zmniejsza stanu zanieczyszczenia gleby, a jedynie zmniejsza pobieranie metali przez rośliny ograniczając przez to negatywne skutki zdrowotne i ekologiczne [22]. Należy uprawiać szybko rosnące rośliny, o dużej zdolności pobierania zanieczyszczeń z gleb i z otoczenia (pyłów). Do tego celu nadają się rośliny motylkowe (koniczyna, lucerna) i rośliny o dużej zielonej masie (żyto, owies, rzepa, rzepik, gryka, kukurydza). Masę roślinną należy usuwać z zanieczyszczonego terenu, ale nie wolno używać jej do karmienia zwierząt. Przy braku metali ciężkich w plonach, lecz dużej ilości azotu, należy masę organiczną roślin użyć do produkcji kompostów. Przy obecności metali w roślinach należy je spalić odzyskując w odpowiedni sposób metale ciężkie. Na glebach zanieczyszczonych metalami do rekultywacji należy zastosować duże dawki wapna i uprawiać rośliny pobierające z gleby metale ciężkie (przeznaczone nie do konsumpcji). Należałoby uprawiać rośliny przemysłowe np. rzepak do produkcji oleju napędowego oraz len i konopie do produkcji oleju przemysłowego i włókna. Można też tereny te przeznaczyć pod uprawę roślinności drzewiastej i krzewiastej [22].

8.0. Monitoring środowiska przyrodniczego.

Może on mieć charakter regionalny i być realizowany w ramach państwowego monitoringu środowiska. W jego skład wchodzi badanie klimatu, powietrza atmosferycznego, wód powierzchniowych i podziemnych, gleb i biocenozy. Istnieją posterunki obserwacyjne, w których są prowadzone pomiary i badania. Obserwacje i badania prowadzi: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Geologiczny oraz wojewódzkie inspektoraty ochrony środowiska i inne jednostki [37]. W ramach państwowego monitoringu środowiska w 1990 r. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska podjęła działanie w celu zorganizowania monitoringu gospodarki odpadami. Prace związane z tworzeniem systemu w oparciu o Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska, zaczęły się w 1991 r.

Monitoring odpadów stanowi narzędzie w realizacji polityki ekologicznej państwa, gdyż umożliwia ich gospodarkę. Struktura monitoringu odpadów składa się z trzech poziomów:

- krajowego (zlokalizowanego w Głównym Instytucie Ochrony Środowiska w Warszawie), gromadzi on informacje z baz regionalnych,
- regionalnego (baza podstawowa zlokalizowana w wojewódzkim Instytucie Ochrony Środowiska), pomocny dla urzędów wojewódzkich i organizacji samorządowych,
- lokalnego, organizowanego w razie potrzeby dla konkretnych obiektów np. składowisk, w celu określenia zasięgu i wielkości ich oddziaływania na środowisko.

Nadzór merytoryczny nad organizacją i funkcjonowaniem monitoringu sprawuje Instytut Gospodarki Odpadami w Katowicach [37].

Do zadań tego systemu należą:

- ocena jakościowa i ilościowa odpadów od ich wytworzenia do użytkowania i unieszkodliwiania (w tym składowania),
- ocena oddziaływania odpadów na środowisko,
- informowanie o zagrożeniach dla środowiska stwarzanych przez odpady,
- weryfikacja skuteczności zarządzania gospodarką odpadami.

Monitoring gospodarki odpadami jest inaczej zorganizowany niż monitoring stanu środowiska np. powietrza czy wody, ponieważ odpady powodują nie tylko zanieczyszczenie środowiska, ale mogą też być wykorzystane gospodarczo.

Dlatego w ramach monitoringu należy śledzić powstawanie i przemieszczanie odpadów, ale jednocześnie kontrolować wpływ istniejących już składowisk odpadów na zanieczyszczenie środowiska.

Dane te mogą stanowić podstawę do:

- racjonalnego wykorzystania odpadów,
- unieszkodliwienia odpadów, których aktualnie nie można wykorzystać gospodarczo,

- bezpiecznego składowania odpadów.

Informacje o aktualnym stanie w gospodarce odpadami są zbierane w kilku niezależnych od siebie systemach tzn.:

- statystyce państwowej (Główny Urząd Statystyczny),
- statystyce państwowego monitoringu środowiska (System Informacyjny Gospodarki Odpadami Przemysłowymi oraz System Informacyjny Gospodarki Odpadami Mineralnymi) tj. SIGOP i SIGOM,
- statystyce opłat wnoszonych za gospodarcze korzystanie ze środowiska i wprowadzanie w nim zmian.

System SIGOP Instytutu Gospodarki Odpadami gromadzi i przetwarza informacje w układzie:

- przedmiotowym – obejmującym odpady i produkty z nich wytworzone,
- podmiotowym – obiekty związane z gospodarką odpadami, produkcja odpadów, obiekty gospodarczego wykorzystania, instalacje przemysłowe przyjmujące odpady, obiekty unieszkodliwiający odpady, jednostki obrotu handlowego, składowiska przemysłowe, składowiska komunalne,
- procesów – technologia związana z gospodarką odpadami np. technologia gospodarczego wykorzystania, unieszkodliwienia, składowanie, technologia małodopadowa, prace badawczo – wdrożeniowe.

W ramach systemu SIGOP są 4 podsystemy dotyczące: nauki i techniki gospodarki odpadami, “czystych” technologii i ochrony środowiska.

System SIGOM Instytutu Gospodarki Odpadami zawiera kompleksowe informacje o gospodarce odpadami mineralnymi z górnictwa i energetyki.

9. Najważniejsze przepisy prawne

9.1. Ochrona powietrza

1. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31.01.1980 r.- tekst jednolity (Dz. U. nr 49 z 15.04.1994 r., poz.196) oraz ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. Nr 133 z 29.10. 1997 r., poz. 885).
2. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających w powietrzu (Dz. U. Nr 55 z 1998 r., poz.355).
3. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 17.04.1987 r. w sprawie dopuszczalnych do wprowadzenia do powietrza atmosferycznego rodzajów i ilości substancji zanieczyszczających wytwarzanych przez silniki spalinowe (Dz. U. Nr 14 z 1987 r., poz.87).
4. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20.06.1995 r. w sprawie wysokości, zasad i trybu nakładania kar pieniężnych za nieprzestrzeganie wymagań ochrony środowiska oraz współczynników różnicujących wysokość kar pieniężnych (Dz. U. Nr 79 z 1995 r., poz.399).
5. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19.12.1997 r. w sprawie ustanowienia czasowego zakazu obrotu z zagranicą substancjami zubożającymi warstwę ozonową (Dz. U. nr 160 z 1997 r., poz.1088).
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 19.12.1995 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie opłat za gospodarcze korzystanie ze środowiska i wprowadzanie w nim zmian (Dz. U. nr 153 z 1995 r., poz. 775).

Dalsze środki prawne ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami to:

- obowiązek instalacji i eksploatacji urządzeń ochronnych,
 - obowiązek dokonywania pomiarów stężeń substancji zanieczyszczających,
 - obowiązek ograniczania zanieczyszczeń powietrza w sytuacjach smogowych i nadzwyczajnych zagrożeń.
7. Konwencja genewska w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości z dnia 13.11.1979 r. (Dz. U. nr 60 z 1985 r., poz.311).
 8. Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu sporządzona 2.05.1992 r. w Nowym Jorku (Dz. U. nr 53 z 1996 r., poz.238).
9. Ustawa z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska. Tekst ujednolicony:
- z 2001 r. Dz.U. Nr 62 poz. 627 (tekst pierwotny) i Nr 115, poz. 1229,
 - z 2002 r. Dz.U. Nr 74, poz. 676, Nr 113, poz. 984, Nr 153, poz. 1271, Nr 233, poz. 1957.

Uwzględnia ono zmiany w ustawie, wprowadzone ustawą z 23.11.2002 r. do ustaw wydanych wcześniej w 2001 r. – Prawo ochrony środowiska i Prawo wodne (Dz.U. Nr 233, poz. 1957) – zmiany w przepisach ustawy z 18.07.2001 r. (Prawo Wodne).

10. Ustawa z dnia 27.07.2001 r. o wprowadzeniu ustawy Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz. U. Nr 100, poz. 1085).

9.2. Przepisy prawne dotyczące ochrony przed hałasem i wibracjami

1. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31.01.1980 r. Tekst jednolity (Dz. U. nr 49 z 1994 r., poz. 196) oraz Ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. nr 133 z 29.10.1997 r., poz. 885).
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z 30.09.1980 r. w sprawie ochrony środowiska przed hałasem i wibracjami (Dz. U. nr 24 z 1980 r., poz. 90).
O dopuszczalnym natężeniu wibracji i hałasu decyduje minister Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Dopuszczalny poziom dźwięku w godz. 6⁰⁰-22⁰⁰ wynosi 40 dB na terenach uzdrowisk, terenach przyrodniczych prawnie chronionych, obszarach o walorach wypoczynkowych, obszarach dzielnic i obiektów zabytkowych, do 60 dB w centralnych dzielnicach miasta z zabudową mieszkalną. W porze nocnej (godz. 22⁰⁰ do 6⁰⁰ rano) normy są zaostrzone tj. niższe o 10 dB. Maksymalny krótkotrwały poziom dźwięku waha się w granicach 65-85 dB.
3. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 13.05.1998r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. nr 66 z 1998 r., poz. 436).
4. Ustawa o zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 7.07.1994 r. (Dz. U. nr 89 z 1994 r., poz 415).
5. Rozporządzenie Rady Ministrów z 20.06.1995 r. w sprawie wysokości, zasad, trybu nakładania kar pieniężnych za nieprzestrzeganie wymagań ochrony środowiska (Dz. U. nr 79 z 1995 r., poz. 399).
Odpowiednie przepisy regulują też warunki akustyczne na stanowiskach pracy i w pomieszczeniach mieszkalnych i innych wymagających ciszy, np. norma PN- 87/B-02151/02. Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach.

9.3. Przepisy prawne dotyczące promieniowania.

A. Ochrona środowiska przed promieniowaniem jonizującym.

1. Ustawa „Prawo atomowe” z dnia 10.04.1986 r. (Dz. U. nr 12 z 1986 r., poz. 70) i późniejsze zmiany z 1987, 1991, 1994 r. (Dz. U. nr 90 z 1994 r., poz. 418) i 1996 r. oraz akty wykonawcze.
Materiały promieniotwórcze i rozszczepialne podlegają ewidencji i kontroli. Wg art. 20-tej ustawy wytwarzanie, przetwarzanie, obrót, stosowanie i transport materiałów promieniotwórczych wymaga zezwolenia.
2. Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 19.06.1989 r. w sprawie szczegółowych wymagań i warunków bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej (M. P. nr 23 z 1989 r., poz.180).
3. Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 10.05.1989 r. w sprawie zasad zaliczania odpadów do odpadów promieniotwórczych oraz ich kwalifikowanie i ewidencjonowania, a także warunków ich unieszkodliwienia, przechowywania i składowania (M. P. nr 18 z 1989 r., poz. 125).
4. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31.01.1980 r.-tekst jednolity (Dz. U. nr 49 z 1994 r., poz. 196) oraz Ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. nr 133 z 29.10.1997 r., poz. 885).
Wg ustawy substancje promieniotwórcze i urządzenia wytwarzające szkodliwe promieniowanie mogą być używane wyłącznie pod warunkiem zapewnienia należytej ochrony przed ich szkodliwym oddziaływaniem na ludzi i środowisko. Jeden z przepisów odnosi się do obiektów budowlanych, w których jest prowadzona działalność związana z wykorzystaniem urządzeń wytwarzających promieniowanie szkodliwe dla ludzi i środowiska. Ustawa mówi też o wykorzystywaniu odpadów przemysłowych zawierających substancje promieniotwórcze oraz o karach związanych z niezapewnieniem ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska (Dz. U. nr 89 z 1991 r., poz. 404).

B. Zasady ochrony środowiska i ludzi przed promieniowaniem elektromagnetycznym niejonizującym o częstotliwości 50 Hz określają:

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5.11.1980 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym niejonizującym, szkodliwym dla ludzi i środowiska (Dz. U. nr 25 z 1980 r., poz. 101). Na obszarach otaczających źródła pól elektromagnetycznych ustanawia się strefy ochronne I i II stopnia.
Strefa ochronna I stopnia stanowi obszar, na którym przebywanie ludzi jest zabronione, za wyjątkiem osób zatrudnianych.

W strefie ochronnej II stopnia dozwolone jest przebywanie ludności związane z prowadzeniem działalności gospodarczej, turystycznej, rekreacyjnej itp. W tej strefie nie wolno lokalizować budynków mieszkalnych i budynków wymagających szczególnej ochrony przed działaniem pól elektromagnetycznych, zwłaszcza szpitali, internatów, żłobków, przedszkoli itp.

2. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 11.08.1998r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania (Dz. U. nr 107 z 1998 r., poz. 676)

Wytyczne projektowania i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych w zakresie ochrony ludzi i środowiska przed oddziaływaniem promieniowania elektromagnetycznego zawiera:

- 1) Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 28.01.1985 (M. P. nr3 z 1985 r., poz. 24).
- 2) Ustawa z dnia 10.04.1997r. „Prawo energetyczne” (Dz. U. nr54 z 1997 r., poz. 348).

9.4. Przepisy prawne dotyczące ochrony wód.

Podstawowe akty prawne w zakresie ochrony wód przed zanieczyszczeniami zawarte są w:

1. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31.01.1980 r.- tekst jednolity (Dz. U nr 49 z 15.04.1994 r., poz.196) oraz Ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. Nr 133 z 29.10. 1997 r., poz. 885).
2. Ustawa „Prawo wodne” z dnia 24.10.1974 r. (Dz. U. nr38 z 1974 r., poz. 230) oraz późniejsze zmiany z 1975, 1977, 1980, 1983, 1989, 1990, 1991, 1993, 1997 r.).

Przepisy z zakresu ochrony wód są zawarte w II i III dziale „Prawa wodnego”, gdzie stwierdza się, że:

- wprowadzenie do wód szkodliwych substancji i energii wymaga pozwolenia wodnoprawnego, wydawanego przez wydziały ochrony środowiska i gospodarki wodnej, terenowych organów administracji państwowej;
- zakłady i osoby fizyczne odprowadzające ścieki do wód są obowiązane budować i eksploatować oczyszczalnie ścieków,
- zabronione jest zanieczyszczanie wody w takim stopniu, ażeby nie nadawała się do normalnego korzystania do celów komunalnych, przemysłowych, rolniczych i innych,

- w przypadku szkodliwego zanieczyszczenia wód sprawca czynu – niezależnie od odpowiedzialności karnej – ma obowiązek wynagrodzenia wyrządzonej krzywdy.

Akty wykonawcze „Prawa wodnego” zawierają:

1. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 5.11.1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub ziemi, oraz załącznik o wartościach wskaźników zanieczyszczenia śródlądowych wód powierzchniowych (Dz. U. nr 116 z 1991 r., poz. 503).
2. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 5.11.1991 r. w sprawie zasad ustanawiania stref ochronnych źródeł i ujęć wody (Dz. U. nr 116 z 1991 r., poz. 504).

Inne przepisy regulują działalność organów kontrolnych jak np.:

1. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3.06.1997 r. w sprawie nadzoru i kontroli gospodarki wodnej (Dz. U. nr 19 z 1997 r., poz. 78).
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 20.06.1995 r. w sprawie zasad i trybu nakładania kar pieniężnych za naruszenie warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub ziemi (Dz. U. nr 79 z 1995 r., poz. 400).
3. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27.12.1993 r. w sprawie opłat za szczególne korzystanie z wód i urządzeń wodnych (Dz. U. nr 133 z 1993 r., poz. 637 oraz zmiany z 1994 r. nr 140, poz. 773).
4. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 31.05. 1997 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, oraz załącznik o najniższych dopuszczalnych wartościach fizycznych i stężeniach substancji w wodzie do picia i na potrzeby gospodarcze (Dz. U. nr 18 z 1977 r., poz. 72 oraz zmiany z 1990 r. , nr 35, poz. 205).
5. Ustawa z 16.03.1995 r. o zapobieganiu zanieczyszczaniu morza przez statki (Dz. U. nr 47 z 1995 r., poz. 243).
6. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 13.05.1997 r. w sprawie organizacji i sposobu zwalczania zanieczyszczeń na morzu (Dz. U. nr 53 z 1997 r., poz. 337).

Oprócz przepisów regulujących ochronę wód wewnątrz kraju istnieją też porozumienia dwustronne z krajami sąsiadującymi – Czechami, Słowacją, Niemcami, Litwą oraz państwami WNP, dotyczące zasad zagospodarowania i ochrony wspólnych wód granicznych.

7. Konwencja Helsińska o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z 22.03.1974 r. (Dz. U. nr 18 z 1980 r., poz. 64).

8. Ustawa Prawo wodne z dnia 18.07.2001 r. (Dz.U. Nr 115, poz. 1229 i Dz.U. Nr 154, poz. 1803 oraz z 2002 r. Dz.U. Nr 113, poz. 984, Dz.U. Nr 130, poz. 1112 i Dz.U. Nr 233, poz. 1957) oraz zmianą wprowadzoną ustawą z 05.12.2002 r. o zmianie ustawy Prawo wodne: Dz. U. z 2002 r. Nr 238 poz. 2022. Ustawa ta jest obowiązująca i anuluje wcześniejsze ustawy.

Akty wykonawcze Prawa Wodnego z 2001 r. zawierają:

9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.11.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Dz. U. Nr 204, poz. 1728 wraz z załącznikami nr 1, nr 2, nr 3.
10. Rozporządzenie ministra Zdrowia z dnia 4.09.2000 r. w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach, oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej (Dz. U. Nr 82, poz. 937).
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 16.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda w kąpieliskach. Dz.U. Nr 183, poz. 1529 i 1530 wraz z załącznikami nr 1 i nr 2. Rozporządzenie to anuluje wymagania jakości wód w kąpieliskach podane we wcześniejszym Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 4.09.2000 r. (Dz. U. Nr 82, poz. 937).
12. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002 r. w sprawie warunków fizykochemicznych, jakim mają odpowiadać wody do picia i na potrzeby gospodarcze. (Dz.U. Nr 203, poz.1718).
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać morskie wody wewnętrzne i wody przybrzeżne będące środowiskiem życia skorupiaków i mięczaków. (Dz. U. Nr 176, poz. 1454).
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz. U. Nr 176, poz. 1455).

W sumie wydano do nowego Prawa Wodnego z 2001 r. ponad 10 Rozporządzeń w 2002 r. Dotyczą one śródlądowych dróg wodnych, korzystania z nich i opłat za ich korzystanie, określenie granic obszarów dorzeczy i utworzenia regionalnych zarządów gospodarki wodnej, podziału obszaru

dorzeczy na regiony wodne. Inne rozporządzenia określają warunki, jakie winny być spełnione przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz określają substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska wodnego. Określono również stawki należności za korzystanie ze śródlądowych dróg wodnych i urzędzeń wodnych w 2003 r.

15. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18.12.2001 r. w sprawie złóż wód podziemnych zaliczanych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz złóż innych kopalin leczniczych, a także zaliczenia kopalin pospolitych z określonych złóż lub jednostek geologicznych do kopalin podstawowych. Dz. U. Nr 156 poz. 1815.

9.5. Przepisy prawne dotyczące ochrony gleb

Do podstawowych aktów prawnych w zakresie ochrony gleb należą:

1. Ustawa o ochronie i kształtowaniu środowiska z dnia 31.01.1980 r.- tekst jednolity (Dz. U nr 49 z 15.04.1994 r., poz.196) oraz Ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. Nr 133 z 29.10. 1997 r., poz. 885).
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23.01.1987 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony powierzchni ziemi (Dz. U. nr 4 z 1987 r., poz. 23), które mówi, na czym polega zapobieganie i przeciwdziałanie zmianom powierzchni ziemi oraz w jaki sposób przywracać powierzchnię ziemi do stanu wyjściowego.
3. Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3.02.1995 r. (Dz. U. nr 16 z 1995 r., poz. 78).
4. Ustawa o zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 7.07.1994 r. (Dz. U. nr 89 z 1994 r., poz. 415)
5. Prawo górnicze i geologiczne. Ustawa z dnia 4.02.1994 r. (Dz. U. nr 27 z 1994 r., poz. 96).
6. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 12.03.1996 r. w sprawie szczegółowych zasad wydawania zezwoleń na dopuszczenie środków ochrony roślin do obrotu i stosowania (Dz. U. nr48 z 1996 r., poz.212).
7. Prawo budowlane z dnia 7.07.1994 r. (Dz. U. nr 89 z 1996 r., poz.414) oraz zmiany (Dz. U. nr 111 z 1997 r., poz.726).
8. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 7.07.1986 r. o dopuszczalnej zawartości metali ciężkich w glebach (M.P. nr 23, poz. 170).

9.6. Przepisy prawne dotyczące ochrony lasów.

1. Ustawa z dnia 31.01.1980 r. o ochronie i kształtowaniu środowiska - tekst jednolity (Dz. U. nr 49 z 15.04.1994 r., poz.196) oraz Ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. Nr 133 z 29.10. 1997 r., poz. 885).
2. Ustawa o lasach z dnia 28.09.1991 r. (Dz. U. nr 101 z 1991 r., poz. 444) oraz późniejsze zmiany z 1992, 1994 i 1997 r. (Dz. U. nr 54 z 1997 r., poz. 349).
3. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 25.08.1992 r. w sprawie szczegółowych zasad i trybu uznawania lasów za ochronne oraz szczegółowych zasad prowadzenia w nich gospodarki leśnej (Dz. U. nr 67 z 1992 r., poz. 338)
4. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15.10.1980 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony lasów przed szkodliwym oddziaływaniem gazów, pyłów (Dz. U. nr 24 z 1980 r., poz. 100).
5. Ustawa z dnia 3.02.1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. nr 16 z 1995 r., poz.78) oraz zmiana (Dz. U. nr 60 z 1997 r., poz.370).

9.7. Przepisy prawne dotyczące ochrony żywności.

Wymagania, jakie powinna spełniać żywność wprowadzona do obrotu i żywienia zbiorowego, określają akty prawne:

1. Ustawa z 25.11.1970 r. o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia (Dz. U. nr 29 z 1970 r., poz. 245 i z 1971 r. nr 12, poz.115) wraz z późniejszymi zmianami z 1985, 1989, 1992 r..
2. Rozporządzenie MZiOS z 31.10.1993 r. w sprawie wykazu substancji dodatkowych dozwolonych i zanieczyszczeń technicznych w środkach spożywczych i używkach (M. P. nr 22 z 1993 r., poz. 233).
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej (MZiOS) z dnia 15.04.1997 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych pozostałości w środkach spożywczych środków chemicznych stosowanych przy uprawie, ochronie, przechowywaniu i transporcie roślin(Dz. U. nr 43 z 1997 r., poz. 273).

9.8. Przepisy prawne ochrony środowiska przed odpadami.

1. Ustawa z dnia 31.01.1980 r. o ochronie i kształtowaniu środowiska, tekst jednolity (Dz. U. nr 49 z 1994 r., poz.196) oraz ustawa z dnia 29.08.1997 r. o zmianie ustawy o ochronie i kształtowaniu środowiska (Dz. U. nr 133 z 1997 r., poz.885).
2. Ustawa z dnia 27.06.1997 r. o odpadach (Dz. U. nr 96 z 1997 r., poz. 592).
3. Ustawa z dnia 13.09.1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. nr 132 z 1996 r., poz.622).
4. Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 3.08.1997 r. w sprawie klasyfikacji odpadów (Dz. U. nr 162 z 1997 r., poz. 1135).

Listę odpadów niebezpiecznych podano w załączniku do rozporządzenia MOŚZNiL z dnia 3.08.1993 r. (Dz. U. nr 76 z 1993 r., poz.362), a szczegółowe zasady usuwania, wykorzystania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych zawarto w Dz. U. nr 145 z 1998 r., poz. 942.

Za odpady niebezpieczne uznaje się też odpady zawierające trucizny i szkodliwe substancje wymienione w rozporządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 28.12.1963 r. w sprawie wykazu trucizn i środków szkodliwych (Dz. U. nr 2 z 1964 r., poz. 9 ze zmianami z 1965 i 1983 r.).

Odpady promieniotwórcze są te też odpadami niebezpiecznymi, co reguluje zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 10.05.1989 r. w sprawie zasad zaliczania odpadów do odpadów promieniotwórczych oraz ich kwalifikowanie i ewidencjonowanie, a także warunków ich unieszkodliwiania, przechowywanie i składowanie (M. P. nr 18 z 1989 r., poz. 125).

Obecnie zgodnie z obowiązującymi przepisami:

- jednostki organizacyjne oraz osoby fizyczne prowadzące działalność gospodarczą zobowiązane są chronić środowisko przed odpadami, uwzględniając w pierwszej kolejności ich gospodarcze wykorzystywanie,
- odpady, których nie można wykorzystać gospodarczo, należy gromadzić w miejscach do tego wyznaczanych, w sposób zapewniający ochronę środowiska.

Przestępstwem jest przewożenie lub sprowadzanie na terytorium Polski odpadów i innych substancji niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego oraz środowiska przyrodniczego. Substancje te objęte zostały listą MOŚZNiL. Jeśli chodzi o inne odpady, szczególnie użytkowe, to ich sprowadzanie z zagranicy do Polski jest dopuszczalne jedynie za zezwoleniem Głównego Inspektora Ochrony Środowiska.

5. Rozporządzenie Rady ministrów z dnia 20.06.1995 r. w sprawie wysokości, zasad i trybu nakładania kar pieniężnych za nieprzestrzeganie wymagań ochrony środowiska 9 Dz. U. nr 79 z 1995 r., poz.399).
6. Konwencja bazylejska o kontroli transgranicznego przemieszczania i usuwania odpadów niebezpiecznych z dnia 22.03.1989 r. (Dz. U. nr 19 z 1995 r., poz.88).
7. Ustawa z dnia 27.04.2001 r. o odpadach. (Dz. U. Nr 63, poz. 628).
8. Ustawa z dnia 11.05.2001 r. o opakowaniach i odpadach opakowaniowych. (Dz. U. nr 63, poz. 638).
9. Ustawa z dnia 27.07.2001 r. o wprowadzeniu ustawy Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw (Dz. U. Nr 100, poz. 1085).

10.0. Wykaz tabel**str.**

Tab. 1.1. Podział wieku Ziemi.....	32
Tab. 1.2. Przeciętny skład litosfery.....	36
Tab. 2.1. Budowa atmosfery.....	42
Tab. 2.2. Średni skład powietrza atmosferycznego.....	49
Tab. 2.3. Własności gazów występujących w powietrzu kopalnianym	62
Tab. 2.4. Wskaźniki działania gazów trujących na organizm ludzki	67
Tab. 2.5. Emisja zanieczyszczeń spowodowanych przez poszczególne sektory	80
Tab. 3.1. Skład wody morskiej.....	89
Tab. 3.2. Zawartość soli w wodzie morskiej.....	90
Tab. 3.3. Zapasy wodne hydrosfery.....	98
Tab. 3.4. Wody słodkie hydrosfery.....	99
Tab. 3.5. Bilans wodny globu ziemskiego.....	99
Tab. 3.6. Czas wymiany wody w poszczególnych ogniwach hydrosfery.....	100
Tab. 3.7. Przybliżony rozkład wód globu Ziemi.....	101
Tab. 3.8. Bilans wodny Polski w roku średnim.....	102
Tab. 3.9. Średni rozrząd opadów na lądach.....	105
Tab. 3.10. Masy nasyconej pary wodnej w powietrzu o różnej temperaturze.....	109
Tab. 3.11. Zależność wilgotności molekularnej od średnicy ziaren.....	115
Tab. 3.12. Zależności liczbowe między współczynnikiem i wskaźnikiem porowatości, e	127
Tab. 3.13. Współczynniki porowatości różnych rodzajów skał	127
Tab. 3.14. Podział skał wg przepuszczalności.....	135
Tab. 3.15. Klasy infiltracji na obszarze Polski niżowej.....	137
Tab. 3.16. Własności fizyczne wody.....	147
Tab. 3.17. Zestawienie jednostek twardości wody.....	171
Tab. 3.18.a Wymagania, jakim powinny odpowiadać kategorie jakości wody A1 – A3	179

Tab. 3.18.b. Minimalna roczna częstotliwość pobierania próbek wody dla bieżącego wskaźnika wody	184
Tab. 3.19. Warunki organoleptyczne i fizyczno – chemiczne jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze	187
Tab. 3.20. Warunki bakteriologiczne jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze.....	192
Tab. 3.21. Elementy oznaczeń wody z urządzeniami przez które woda surowa przechodzi.....	202
Tab. 4.1. Stan użytkowania gruntów w Polsce.....	236
Tab. 4.2. Zadania z zakresu ochrony, ulepszenia i rekultywacji gleb.....	237
Tab. 4.3. Obszar erozji użytków rolnych w Polsce.....	239
Tab. 4.4. Zakresy szkodliwych dla roślin zawartości niektórych pierwiastków śladowych w glebach, roślinach, odpadach przemysłowych i komunalnych.....	240
Tab. 4.5. Wykaz dopuszczalnych zanieczyszczeń technicznych w niektórych środkach spożywczych i użytkach.....	246
Tab. 4.6. Stan i zmiany w kierunkach wykorzystania powierzchni kraju.....	252
Tab. 4.7. Grunty zdewastowane i zdegradowane oraz grunty zrehabilitowane i zagospodarowane.....	253
Tab. 4.8. Obszar użytków rolnych na 1 mieszkańca Polski.....	253
Tab. 4.9. Klasy toksyczności pestycydów.....	260
Tab. 6.1. Podział odnawialnych źródeł energii.....	282

11.0. Wykaz rysunków**str.**

Rys. 1.1a, 1.1.b Geostrefy; skorupa ziemna o grubości 5-40 km, płaszcz (górný i dolny o grubości 2860 km, jądno zewnętrzne – 2200 km i jądno wewnętrzne o promieniu 1250 km.....	29
Rys. 2.1. Podział atmosfery ziemskiej na warstwy w ujęciu graficznym, wg [29].....	39
Rys. 2.2. Odpylacze inercyjno-uderzeniowe z wykorzystaniem:.....	73
Rys. 2.3. Zasada działania cyklonu i jego rodzaje, wg [17].....	74
Rys. 2.4. Płuczki (skrubery) [17]	75
Rys. 2.5. Schematy elektrofiltrów, wg [17].....	76
Rys. 2.6. Obszar słyszalności ucha ludzkiego wg [11]....	84
Rys. 3.1. Obieg wody w przyrodzie [33].....	96

Rys. 3.2. Główne rodzaje wód w strefie areacji i saturacji wg [33]	116
Rys. 3.3. Rodzaje wody kapilarnej wg [32,33].....	117
Rys. 3.4. Warstwa wodonośna (c) o zwierciadle swobodnym a) i napiętym (b) swobodnym c) oknem hydrologicznym sedimentacyjnym	120
Rys. 3.5. Okno hydrogeologiczne: a) sedimentacyjne, b) erozyjne [33]	124
Rys. 3.6. a) Ciśnienie artezyjskie, subartezyjskie [33].....	124
Rys. 3.6. b) Strefy zasilania, ciśnień piezometrycznych i drenażu [28].....	125
Rys. 3.7. Źródło warstwowe dsecenzyjne [33].....	131
Rys. 3.8. Źródło uskokowe ascenzyjne [33].....	131
Rys. 3.9. Obliczanie natężenia przepływu wody podziemnej w jednorodnej warstwie wodonośnej [33].....	139
Rys. 3.10. Związki hydrauliczne cieków powierzchniowych i wód podziemnych [5].....	140
Rys. 3.11. a) Rzeka drenująca i alimentująca poziom wodonośny [33].....	141
Rys. 3.11. b) Układ hydroizohips przy rzece drenującej (a) i rzece alimentującej	142
Rys. 3.12. Rodzaje zasilania jezior [5].....	142
Rys. 3.13. Zasilanie słonej wody przy jednostronnej infiltracji [33].....	143
Rys. 3.14. Stosunek wód słodkich do słonych na mierzei [33].....	144
Rys. 3.15. Słona woda na podmorskiej wychodni warstwy wody gruntowej [33].....	144
Rys. 3.16. budowa cząsteczki koloidalnej, wg [15].....	151
Rys. 3.17. Podwójna warstwa cząstki koloidalnej wg [15].....	152
Rys. 3.18. Schemat oczyszczania ścieków [22].....	198
Rys. 4.1. Budowa profilowa głównych typów gleb wg [41].....	224

Rys. 5.1. Obieg węgla w przyrodzie [30].....	272
Rys. 5.2. Obieg azotu w przyrodzie [30].....	273
Rys. 5.3. Obieg fosforu w przyrodzie wg [30].....	276
Rys. 5.4. Obieg siarki w przyrodzie wg [30].....	277
Rys. 6.1. Typy zawodowych dużych elektrowni wodnych [21].....	285
Rys. 6.2. Przykładowe koncepcje małych elektrowni wodnych [21]...	286
Rys. 6.3. Schemat ideowy elektrowni pływowej [17].....	287
Rys. 6.4. Przyrządy urządzeń do konwersji energii falowania na energię elektryczną [21].....	287
Rys. 6.5. Koncepcja elektrowni Stilmana napędzanej energią prądów oceanicznych.....	286
Rys. 6.6 Schematy elektrowni dyfuzyjnych.....	289
Rys. 6.7. a) Typy turbin wiatrowych [21].....	290
Rys. 6.7. b) Przegląd współczesnych silników obrotowych [21].....	290
Rys. 6.8. Składniki promieniowania słonecznego [21].....	291
Rys. 6.9. Mechanizm odbicia, przenikania i pochłaniania promieniowania słonecznego w przegrodzie budowlanej [17].....	292
Rys. 6.10. Mechanizmy przekazywania ciepła w przegrodzie budowlanej wg [21].....	293
Rys. 6.11.Pasywne systemy wykorzystania energii słonecznej do ogrzewania pomieszczeń , wg [21].....	293
Rys. 6.12. Strumienie energii nasłonecznionej poziomej powierzchni, wg [21]	295
Rys. 6.13.a. Ograniczenie strat ciepła i podwyższenie temperatury równowagi adsorbenta przez zastosowanie osłon, wg [21]..	296
Rys.6.13.b. Schemat kolektora słonecznego, wg [21]	298
Rys. 6.14.a. Typy kolektorów skupiających, wg [21]	300
Rys. 6.14.b. Typy kolektorów płaskich, wg [21]	300
Rys. 6.14.c.. Kolektorowe instalacje ogrzewania wody, wg [21].....	301
Rys. 6.14.d. Schematy kolektorów z czynnikiem dwufazowym.....	303
Rys. 6.14.e. Modele dwóch typów kolektora słonecznego, wg [21] ...	302
Rys. 6.15. Schemat stanu słonecznego, wg [21].....	305
Rys. 6.16.a. Obieg porównawczy dla silnika Stirlinga, wg [7]	306
Rys. 6.16.b. Idealne obiegi termodynamiczne, wg [21]	307
Rys. 6.16.c. Cykle pracy silnika Stirlinga z wewnątrz obiegowym regeneratorem ciepła napędzanego powietrzem ogrzany w słonecznych kolektorach skupiających, wg [21].....	309

Rys. 6.17. Silnik Ericssona, wg [21]	310
Rys. 6.18 a) Schematy koncentratorów promieniowania słonecznego, a) cylindryczny (rurowy), b) paraboliczny (talerzowy), wg [21]..	310
Rys. 6.18 b) Schemat elektrowni słonecznej w Dagget w Kalifornii, wg [21]	310
Rys. 6.19 a) Schemat instalacji OTEC na platformie; wg [21]	312
Rys. 6.19 b) Instalacja OTEC z zamkniętym cyklem	312
Rys. 6.19 c) Instalacja OTEC z otwartym cyklem (obieg Clouda), wg [21]	313
Rys. 6.19 d) Arktyczne wersje OTEC, [21].....	313
Rys. 6.20 Termoelektryczny system OTEC, [21].....	314
Rys. 6.21 Sposoby wykorzystania energii geotermalnej wg [21].....	315
Rys. 6.22.a. Schemat elektrowni geotermicznej; wg [21].....	316
Rys. 6.22.b. Schemat konstrukcji otworów geotermalnych na Niżu Polskim, wg [13]	317
Rys. 6.22.c. Rozmieszczenie prowincji i okęgów geotermalnych na terenie Polski, wg [13]	321
Rys. 6.22.d. Występowanie wód termalnych w Polsce, wg [13]	322
Rys. 6.22.d. Schemat geotermalnego systemu ciepłowniczego w Pyrzycach, wg [21]	324
Rys. 6.23. Koncentratory ogniów fotowoltanicznych, wg [21].....	325
Rys. 6.24. Schemat urządzenia hybrydowego (kolektor słoneczny – ogniwo fotowoltaniczne); wg [21].....	325
Rys. 6.25 Schemat ciepłowni opalanej słomą; wg [17]	327
Rys. 6.26 Komory fermentacyjne osadu czynnego do uzyskania biogazu; wg [21].....	330
Rys. 6.27.a. Palnik wodorowy Daniella; wg [21].....	330
Rys.6.27.b. Przykład ogniwa paliwowego, wg [7]	332
Rys. 6.28 Schemat ideowy współpracy elektrowni z generatorem MHD i elektrowni konwencjonalnej; wg [17]:	334
Rys. 7.1 Schemat przekształceń powierzchni w górnictwie odkrywkowym; gospodarka nadkładami, wg [22].....	349
Rys. 7.2 Szczelne składowisko odpadów paleniskowych i odpadów z odsiarczania spalin; wg [17].....	350

12. Literatura

12.1. Literatura cytowana

- [1] ALEKSANDROWICZ J., GUMOWSKA J. – Kuchnia i medycyna, Wydawnictwo Watra, wyd. VII, Warszawa 1999.
- [2] ANIGACZ G. – Analiza i ocena stanu transportu samochodowego ze szczególnym uwzględnieniem stanu higieniczno – sanitarnego i bezpieczeństwa jazdy. Praca dyplomowa. AWF Poznań 1979.
- [3] ANIGACZ W., SAŁADZIAK M. – Problematyka innowacji, zwłaszcza ekotechnicznych, a integrująca się Europa – w pracy zbiorowej Ku humanistycznej przyszłości świata w nowym stuleciu, pod red. ŁOMNEGO Z., MARCINKOWSKIEJ-ŁANGOWSKIEJ K., Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2001, s. 207-211.
- [4] BAC S., KOŹMIŃSKI C., ROJEK M. – Agrometeorologia, PWN, wyd. II., Warszawa 1998.
- [5] BAJKIEWICZ – GRABOWSKA E., MIKULSKI Z., - Hydrologia ogólna, PWN, wyd. III, Warszawa 1999.
- [6] BEDNAREK R., PRUSINKIEWICZ Z. – Geografia gleb, PWN, Warszawa 1999.
- [7] BOEKER E., VAN GRONDELLE R. – Fizyka środowiska (przekład z ang.), PWN, Warszawa 2002.
- [8] CICHY D., MICHAJŁOW Wł., SANDNER H. – Ochrona i kształtowanie środowiska, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, wyd. I, Warszawa 1987.
- [9] DZIDOWSKA K., ANIGACZ W., - Ocena wpływu zakładu produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych na środowisko gruntowe w rejonie opolskim. Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, Budownictwo nr 260/2000, z. 44. Opole 2000, s. 89-94.
- [10] GLAZER Z., MALINOWSKI J., - Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa, PWN, Warszawa 1991.

- [11] GOMÓŁKA E., SZAYNOK A. – Chemia wody i powietrza. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, wyd. IV, Wrocław 1997.
- [12] KABATA – PENDIAS A., PENDIAS H. – Biogeochemia pierwiastków śladowych, PWN, wyd. II. Warszawa 1999.
- [13] KAPUŚCIŃSKI J. NAGY S., DŁUGOSZ P. BIERNAT H., BENTKOWSKI, A. ZAWISZA L., MACUDA J. BUJAKOWSKA K.- Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych. Poradnik metodyczny, MOŚZNIŁ, Warszawa 1997.
- [14] KĘDZIORA A. - Podstawy agrometeorologii, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, wyd. II. Poznań 1999.
- [15] KOWAL A.L., ŚWIDERSKA – BRÓŹ M. – Oczyszczanie wody, PWN, wyd. IV, Warszawa- Wrocław 2000.
- [16] KSIĄŻKIEWICZ M. – Geologia dynamiczna, Wydawnictwo Geologiczne, wyd. V, Warszawa 1979.
- [17] KUCOWSKI J., LAUDYN D., PRZEKWAS M. – Energetyka a ochrona środowiska, Wydawnictwo Naukowo–Techniczne, wyd. IV, Warszawa 1997.
- [18] LAMBOR J. – Hydrologia inżynierska, Arkady, Warszawa 1971.
- [19] LEWANDOWSKA H. - Rolnictwo pod presją przemysłu. Wywiad z Członkiem Rzeczywistym PAN, prof. dr S. Nawrockim – technologiem uprawy, Sprawy Nauki, Biuletyn KBN, nr 6(79) str. 4, Warszawa, czerwiec 2002.
- [20] LEWANDOWSKA H. – Biopaliwa dobre na wszystko, Sprawy Nauki, Biul. KBN, nr 6(79) str. 5 Warszawa , czerwiec 2002.
- [21] LEWANDOWSKI W.N. – Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Wydawnictwo Naukowo–Techniczne, Warszawa 2001.

- [22] MACIAK F. – Ochrona i rekultywacja środowiska, Wydawnictwo SGGW, wyd. II, Warszawa 1999.
- [23] MACIOSZCZYK A., - Hydrogeochemia, Wydawnictwo Geologiczne, wyd. I, Warszawa 1987.
- [24] MACIOSZCZYK A., DOBRZYŃSKI D. – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa 2002.
- [25] MALINOWSKI J. – Zasoby i ochrona wód podziemnych, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 1993.
- [26] MICHAŁEC T. – Ochrona środowiska, Skrypt WSI w Radomiu, nr 6, wyd. III, Radom 1993.
- [27] MYŚLIŃSKA E. – Laboratoryjne badanie gruntów, PWN, wyd. II, Warszawa 1999.
- [28] NĘDZA Z., ROSIEK F. – Wentylacja kopalń, Cz. I, Skrypt Politechniki Wrocławskiej, wyd. II, Wrocław 1983.
- [29] PASSENDORFER E. (red.) – Zarys nauk geologicznych, Wydawnictwo Geologiczne, wyd. I, Warszawa 1968.
- [30] PAWLACZYK-SZPIŁOWA M. – Biologia i ekologia, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, wyd. II, Wrocław 1997.
- [31] PAZDAN W. – Raport z inwentaryzacji emisji CORINAIR '90. Wydawnictwo Atmotherm, Opole 1995.
- [32] PAZDRO Z. – Hydrogeologia ogólna, Wydawnictwo Geologiczne, wyd. II, Warszawa 1977.
- [33] PAZDRO Z., KOZERSKI B. - Hydrogeologia ogólna, Wydawnictwo Geologiczne, wyd. IV, Warszawa 1990.
- [34] PIOTROWSKI J., ROMAN M. - Urządzenia do oczyszczania wody i ścieków, PWN, wyd. III, Warszawa 1974.

- [35] PLECHYŃSKI J. – Odnawialność zasobów wód podziemnych, CUG Kombinat Geologiczny Zachód, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1981.
- [36] POLAŃSKI A. – Geochemia i surowce mineralne, Wydawnictwo Geologiczne, wyd. II, Warszawa 1988.
- [37] ROSIK-DULEWSKA Cz.- Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa 2000
- [38] STAŚKO S., SZYMAŃSKA H. ŁYSZCZEK M., KOŚLACZ R., CARDAMONE M.A., VAN SLOBBE E. – System wodny Odry i instytucje jej dorzecza. Raport. IMS Sp.z o.o., Wrocław 1999.
- [39] STEPCZAK K. – Ochrona i kształtowanie środowiska, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, wyd. VIII, Warszawa 2000.
- [40] SZALAK A. – Bałtyk czystszy, niż Morze Śródziemne. Prezentacja wyników badań zespołu Pracowni Chemicznych Zanieczyszczeń Morza Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, kierowanego przez doc. dr hab. G. Kowalewską. Sprawy Nauki , Biuletyn KBN, nr 6(79), str. 6-7, Warszawa, czerwiec 2002.
- [41] ŚWIĘCICKI Cz. – Gleboznawstwo melioracyjne, PWN, Warszawa 1981.
- [42] UMIŃSKI T. - Ekologia, Środowisko, Przyroda, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, wyd. IV, Warszawa 1999.
- [43] WACŁAWEK W., MAJCHERCZYK T., DOŁHAŃCZUK A. – Pomiar radioaktywności cezu – 137 w grzybach z lasów Opolszczyzny, Chemia i inżynieria ekologiczna, t. 7, nr 4, Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2000.
- [44] VALENTIN (red.) – Medycyna pracy (przekład z niemieckiego), Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1985.
- [45] WIŚNIEWSKI H., KOWALEWSKI G. – Ekologia z ochroną i ukształtowaniem środowiska, Wydawnictwo AGMEN, wyd. II, Warszawa 1997.

- [46] ZAKOWICZ E. - Projekt badań siarkowodoru w wodach KWB Bełchatów etap I i II, COBPGO „Poltegor”, Wrocław 1985 i 1986.
- [47] ZAKOWICZ E. - Geneza siarkowodoru i metanu z wyznaczeniem obszaru ich występowania. Opracowanie archiwalne COBPGO „Poltegor”, Wrocław 1987.
- [48] ZAKOWICZ E. - HAŁAS S. – Występowanie węglowodorów i siarkowodoru w wodach podziemnych rejonu kopalń Bełchatów. Materiały konferencyjne IV Sympozjum Hydrogeologów Polski, t. II, Gdańsk – Sobieszewo 05.1988.
- [49] ZIELIŃSKI J., PRZYWARSKA R., AUGUSTYNIAK-OLPIŃSKA E. – Oczyszczanie miast i unieszkodliwianie odpadów, Politechnika Śląska, Skrypty uczelniane nr 727., cz. II. Gliwice, 1977.

12.1. Literatura dodatkowa (nie cytowana):

- [1] ALLOWAY B.J., AYRES D.C. – Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska (tłum z ang.) PWN, Warszawa 1999.
- [2] ANIELAK A.W. – Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków. PWN, Warszawa 2000.
- [3] DANYSZ A., GŁUSZCZ A. – Patologia. Podręcznik dla średnich szkół medycznych, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, wyd. VI, Warszawa 1973.
- [4] EDEL R. – Odwadnianie dróg. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
- [5] GABZDYŁ W. – Geologia ogólna. Wydawnictwo Politechnika Śląska wyd. II, Gliwice 1998.

- [6] KOWALSKI J. – Hydrogeologia z podstawami geologii. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu 1998, wyd. II, Warszawa 1998.
- [7] KOWALSKI W.C. - Geologia inżynierska Wydawnictwo Geologiczne Warszawa 1988.
- [8] LENCZEWSKA – SAMOTYJA E., ŁOWKIS A., ZDROJEWSKA N. - Zarys geologii z elementami geologii inżynierskiej i hydrogeologii. Oficyna Wydawnictwo Politechniki. Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [9] ŁOMANTOWSKI J., SZPINDOR A., - Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. Arkady, wyd. I, Warszawa 1999.
- [10] MAGREL L. – Uzdatnianie wody i oczyszczanie ścieków. Urządzenie procesy metody. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. Białystok 2000.
- [11] MIKULSKI Z. Gospodarka wodna, PWN Warszawa 1998.
- [12] MIZERSKI W., - Geologia dynamiczna dla geografów, PWN wyd. II Warszawa 2000.
- [13] O'NEILL P. – Chemia środowiska. Wyd. Nauk. PWN (tłum. z ang.) wyd. II Warszawa – Wrocław 1998.
- [14] PŁOCHNIEWSKI Z. - Hydrogeologia, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1971.
- [15] PYŁKA – GUTOWSKA E. – Ekologia z ochroną środowiska. Przewodnik Wyd. Oświata., wyd. IV, Warszawa 2000.
- [16] RONIEWICZ P. (red) – Przewodnik do ćwiczeń z geologii dynamicznej Polska Agencja Ekologiczna S.A. wyd. VII, Warszawa 1999.
- [17] SOCZYŃSKA U., (red.) – Hydrologia dynamiczna, PWN, Warszawa 1997.
- [18] WALUK J. Laboratorium z mechaniki gruntów. Skrypt Politechniki Wrocławskiej, wyd. III Wrocław 1979.

[19] ZAWADZKI S. (red.) – Gleboznawstwo. Podręcznik dla studentów. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. wyd. IV, Warszawa 1999.

[20] Kościelniak S., Adamski A., Bil J., Hac B., Sobczyk W., Ulman-Bortnowska H. – Wskazówki metodyczne do oceny stopnia zanieczyszczeń gruntów i wód podziemnych produktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi w procesie rekultywacji. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 1995.

12.2. Adresy stron internetowych urzędów centralnych, na których można znaleźć najbardziej aktualne informacje dotyczące m.in. ochrony środowiska:

[1] www.sejm.gov.pl

[2] www.mz.gov.pl

[3] www.mos.gov.pl

[4] www.gugik.gov.pl

[5] www.pkn.com.pl

