



WSPÓŁCZESNE PROBLEMY INŻYNIERII ŚRODOWISKA

**Krzysztof Nyc
Ryszard Pokładek**

**EKSPLOATACJA SYSTEMÓW MELIORACYJNYCH
PODSTAWĄ RACJONALNEJ GOSPODARKI WODNEJ
W ŚRODOWISKU PRZYRODNICZO-ROLNICZYM**

XIV



Wrocław 2009

Autor

prof. dr hab. inż. Krzysztof Nyc
dr inż. Ryszard Pokładek

Opiniodawca

prof. dr hab. inż. Czesław Przybyła

Redaktor merytoryczny

dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski, prof. nadzw.

Opracowanie redakcyjne

dr Ewa Jaworska

Korekta

Janina Szydłowska

Łamanie

Alina Gebel

Projekt okładki

Krzysztof Wyszatycki

Monografie LXX

Publikacja dofinansowana przez Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2009

ISSN 1898–1151

ISBN 978–83–60574–69–0

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel. 071 328–12–77

e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 150 + 16 egz. Ark. wyd. 5,2. Ark. druk. 5,5

Druk i oprawa: EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, Spółka Jawna

ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

tel./fax: 054 232 37 23, 232 48 73

e-mail: sekretariat@expol.home.pl

Spis treści

Wprowadzenie	5
Część I – Podstawy eksploatacji systemów gospodarowania wodą w środowisku przyrodniczym	9
1. Eksploatacja systemów melioracyjnych jako dyscyplina naukowa	12
2. Zużycie i produktywność wody na użytkach rolnych.....	20
2.1. Gospodarka wodna na polach ustalonych	20
2.2. Plonowanie i zużycie wody łąki deszczowanej.....	21
2.3. Rozpoznanie systemu korzeniowego łąki deszczowanej	25
2.4. Podstawy eksploatacji deszczowni na gruntach ornych.....	28
3. Ocena niezawodności eksploatacyjnej deszczowni	38
Część II – Doskonalenie metod nawadniania w rolnictwie	47
4. Efekty eksploatacji nawodnienia kropłowego	50
5. Wzbogacanie zasobów retencji gruntowej.....	59
6. Potrzeba rozwoju melioracji wodnych w polsce.....	68
6.1. Rola melioracji we współczesnym rolnictwie i ochronie środowiska.....	69
6.2. Zakres potrzeb melioracji w Polsce	70
6.2.1. Melioracje dolin rzecznych	73
6.2.2. Melioracje terenów pozadolinowych	74
6.2.3. Zalecenia w zakresie usprawnienia eksploatacji systemów melioracyjnych	76
6. Podsumowanie	77
8. Wnioski.....	81
Piśmiennictwo	82

Wprowadzenie

Probabilistyczny charakter przebiegu zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych, a także zróżnicowane właściwości retencyjne gleb wskazują na potrzebę stosowania sprawnie działających urządzeń melioracyjnych dla racjonalnego kształtowania uwilgotnienia określonych siedlisk. Melioracje wodne obejmują wszelkie działania przyrodniczo-techniczne i organizacyjne polepszające zdolność produkcyjną gleby w wyniku zapewnienia jej odpowiedniej ilości wody, powietrza, składników pokarmowych oraz światła i ciepła. Stwarzają możliwości intensyfikacji i stabilizacji produkcji rolniczej; przyczyniają się do aktywizacji bardzo ważnego procesu na Ziemi – wykorzystania energii słonecznej do tworzenia wysokoenergetycznych związków organicznych. Podstawowym czynnikiem oddziałującym na środowisko przyrodniczo-rolnicze jest woda, która poprzez prawidłową eksploatację systemów i urządzeń melioracyjnych umożliwia dobry rozwój i plonowanie roślin, niezależnie od przebiegu naturalnych zjawisk pogodowych.

Współcześnie coraz więcej uwagi poświęca się problemowi poprawy jakości środowiska przyrodniczego ukierunkowanego na wymagania ekologiczne. Melioracje wpływają na podstawowe elementy tego środowiska poprzez kształtowanie obiegu zasobów materii, zwłaszcza wody, a także energii, głównie cieplnej. Służby melioracyjne odgrywają szczególną rolę w łagodzeniu skutków występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych (powódzie, susze). Melioracje powinny więc umożliwiać wzrost efektywności gospodarowania dostępnymi zasobami przyrody przy uwzględnieniu ochrony i racjonalnego kształtowania środowiska [Kowalik 2003; Marcilonek i in. 1995; Nyc, Kostrzewa 1994]. Należy pamiętać, że zgodnie z nazwą pochodzenia łacińskiego *melior* = lepszy, a z francuskiego *amélioration* = ulepszanie, udoskonalenie – każde działanie melioracyjne w środowisku przyrodniczo-rolniczym zmierza do jego ulepszenia. Jednak o efekcie decyduje proces eksploatacji urządzeń i całego systemu wodno-melioracyjnego czy nawet wodno-gospodarczego. Bezwzględnie wymagana jest odpowiednia wiedza o środowisku i umiejętność jego kształtowania.

W miarę rozwoju rolnictwa i wprowadzenia nowych technik jego usprawniania zaczęła rozwijać się nauka o eksploatacji systemów melioracyjnych. Pojawiły się pierwsze opracowania z tego zakresu w Instytucje Melioracji i Użytków Zielonych [Drupka 1972 i 1976; Sochoń 1967] i w kilku Akademiach Rolniczych [Rytel 1969; Smólska 1970]. Wyjątkową rolę w organizacji i rozwoju dyscypliny eksploatacji urządzeń i systemów melioracyjnych odegrał prof. dr hab. inż. Stanisław Marcilonek z Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Był on kierownikiem Katedry, a od roku 1970 pierwszym dyrektorem Instytutu Melioracji Rolnych i Leśnych tej Uczelni aż do przejścia na emeryturę w 1991 roku. Nawiązując do teorii eksploatacji urządzeń technicznych wg Józefa Koniecznego [Konieczny 1971] i Eugeniusza Olearczuka [Olearczuk 1972] oraz Władysława Żelazowskiego [Konieczny i in. 1969], prof. Stanisław Marcilonek wprowadził teoretyczne podstawy do nauki eksploatacji urządzeń i systemów wodno-meliora-

cyjnych oraz sukcesywnie wdrażał je do praktyki gospodarczej. Służyły temu cyklicznie organizowane na Akademiach Rolniczych ogólnopolskie konferencje naukowe pod hasłem „Usprawnienia eksploatacji urządzeń i systemów melioracyjnych” w latach 1977, 1983 i 1995 we Wrocławiu, w 1988 r. w Krakowie i 1990 r. w Poznaniu. Ich twórczym efektem m.in. było rozwiązywanie kolejnych problemów związanych z malejącymi zasobami wód dyspozycyjnych dla rolnictwa i utrzymania środowiska przyrodniczego, a także ze zmianami zasad gospodarowania uwzględniającymi ideę zrównoważonego rozwoju w warunkach wprowadzenia gospodarki rynkowej.

Rozpoczynając w 1963 r. swoją działalność zawodową w wykonawstwie robót wodno-melioracyjnych, a w 1965 r. pracę naukową poświęconą zagadnieniom eksploatacji urządzeń i systemów wodno-melioracyjnych miałem szczęście uczestniczenia w procesie rozwoju tej nauki od podstaw pod kierunkiem wspaniałego nauczyciela prof. Stanisława Marcilonka, który niemal całą swoją energię twórczą poświęcił doskonaleniu procesów eksploatacyjnych gospodarowania zasobami wodnymi w środowisku przyrodniczo-rolniczym. Uważał, że urządzenia melioracyjne, jako składowe elementy systemów przyrodniczo-technicznych wymagają dobrze przemyślanej i sprawnej eksploatacji. Eksploatacja urządzeń technicznych zaliczana jest do podstawowej działalności gospodarczej człowieka, bowiem warunkuje poziom produkcji dóbr materialnych i usług. Urządzenia techniczne stosowane w inżynierii środowiska, do której należą urządzenia i systemy melioracyjne, mogą oddziaływać korzystnie lub niekorzystnie na środowisko, zależnie od sposobu ich eksploatacji. Doskonalenie eksploatacji urządzeń i systemów odgrywa więc istotną rolę w strategii gospodarowania zasobami przyrody. Należy zaznaczyć, że równoległe z rozwojem i doskonaleniem eksploatacji urządzeń melioracyjnych istnieje potrzeba weryfikacji prawidłowości zagospodarowania obszarów oraz racjonalizacji produkcji rolniczej, a także rozwoju przechowalnictwa i niezbędnego przetwórstwa produktów rolno-spożywczych. Umiejętne i racjonalne wykorzystanie majątku środków trwałych, w sposób niezagrażający środowisku przyrodniczemu prowadzi do wzrostu dobrobytu i poprawy warunków życia społeczeństwa [Nyc 1995]. W prezentowanym opracowaniu pragnę przytoczyć kilka ważniejszych zagadnień rozwijanych na Akademii Rolniczej a następnie Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu, które znacząco wzbogaciły wiedzę o roli i sposobie eksploatacji systemów i urządzeń melioracyjnych w gospodarowaniu zasobami wodnymi środowiska przyrodniczo-rolniczego. Pragnę serdecznie podziękować współautorom wielu prac badawczych procesów eksploatacyjnych za umożliwienie mi włączenia się do wspólnych, ciekawych badań naukowych cytowanych w niniejszej monografii. Były one przeważnie realizowane w Zakładzie Eksploatacji Systemów Melioracyjnych kierowanym w latach 1972–1989 przez prof. Stanisława Marcilonka, a w kolejnych latach (1989–2009) przez pierwszego autora tej monografii (prof. Krzysztofa Nyca przy bliskiej współpracy z dr. inż. Ryszardem Pokładkiem).

W niemniejszym opracowaniu zostaną przedstawione główne efekty naszych badań, a wśród nich:

- potrzeby wodne niektórych roślin nawadnianych i nie nawadnianych,
- efekty eksploatacji deszczowni półstałej i ocena jej niezawodności,
- ocena produktywności wody na terenach zmeliorowanych,
- retencyjna rola stawów rybnych,

- zasoby wodne małych zlewni oraz skuteczność stosowania regulowanego odpływu,
- ocena wpływu eksploatacji systemu regulowania odpływem na jakość odprowadzanych wód,
- efekty nawodnienia kropłowego w sadzie.

Powyższe zagadnienia rozwiązywano w oparciu o wyniki badań prowadzonych na zmeliorowanych obiektach południowo-zachodniej Polski w okolicach:

- Brzegu (Stobrawa, Popielów);
- Legnicy (Szymanowice, Szymkowo);
- Leszna (Siciny, Łękanów, Naratów, Niechlów);
- Milicza (Braclaw, Potasznia, Młodzianów, Henrykowice);
- Opola (Bogacica, Radomierowice, Młodnik, Nowa Bogacica, Bukowo);
- Wrocławia (Piastów, Samowtór, Swojec, Szewce, Miękinia, Mrozów).

Krzysztof Nyc

Część I

Podstawy eksploatacji systemów gospodarowania wodą w środowisku przyrodniczym

Krzysztof Nyc

Rzeka jako element środowiska przyrodniczego



Fot. 1. Bystrzyca k. Samotworu na terenach nizinnych
Phot 1. Bystrzyca river near Samotwor district on lowland lands



Fot. 2. Kamienica koło Szczawy w terenach górskich
Phot. 2. Kamienica river near Szczawy town in mountains land

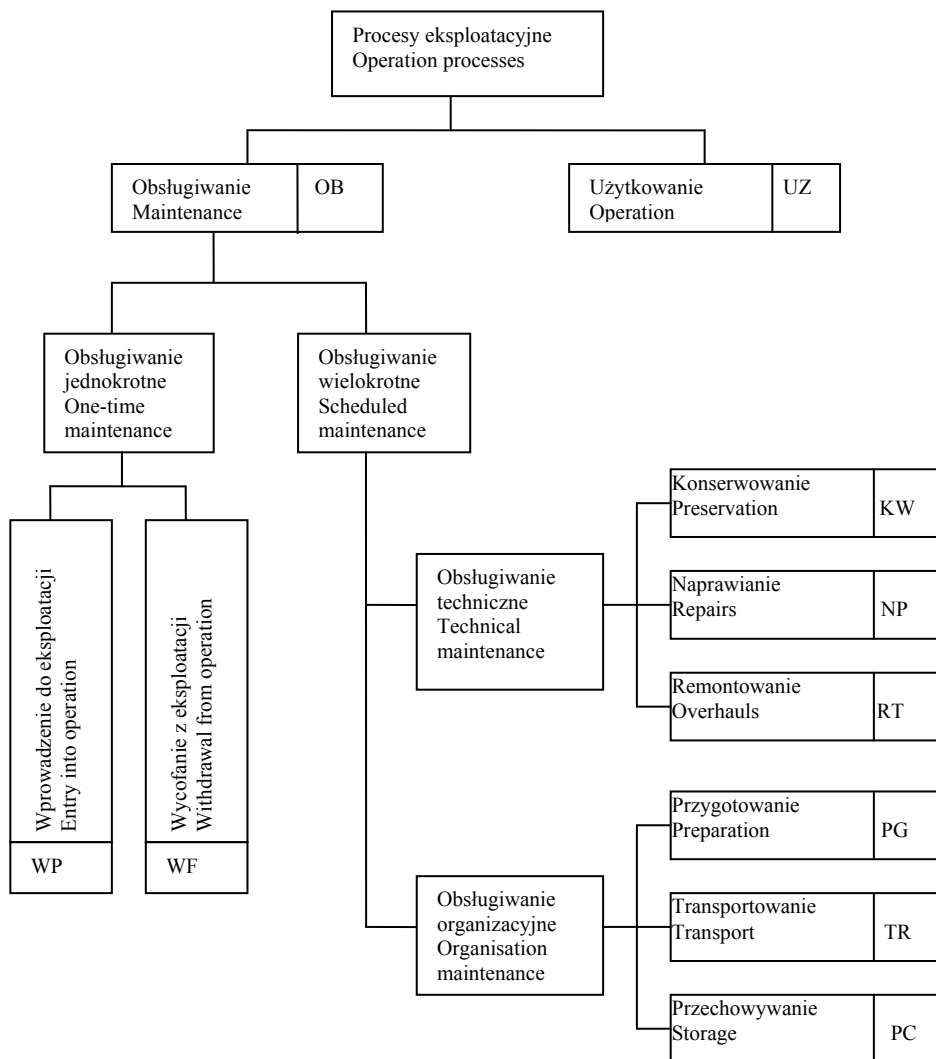
1. Eksploatacja systemów melioracyjnych jako dyscyplina naukowa

Skutki melioracji uwarunkowane są odpowiednim poziomem eksploatacji opartym na podstawach naukowych weryfikowanych w działalności gospodarczej. Rozwijane od lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku, podstawy teoretyczne eksploatacji urządzeń technicznych, powiązane z prakseologią, teorią systemów i cybernetyki, teorią niezawodności oraz ogólną teorią eksploatacji urządzeń technicznych stopniowo kształtowały, a w latach sześćdziesiątych utworzyły nową dyscyplinę naukową – „eksploatacja urządzeń i systemów melioracyjnych”. Nauka ta zajmuje się funkcjonowaniem układu: człowiek–urządzenia, systemy melioracyjne–środowisko przyrodniczo-rolnicze. Eksploatacja jest nauką, która zmierza do optymalnego wykorzystania urządzeń technicznych. W procesie eksploatacji zostaje osiągnięty cel działania i utrzymany pożądany stan urządzenia. W eksploatacji urządzeń technicznych i systemów wodno-melioracyjnych wydziela się dwa podstawowe procesy [Koniczny 1971; Koniczny 1975]:

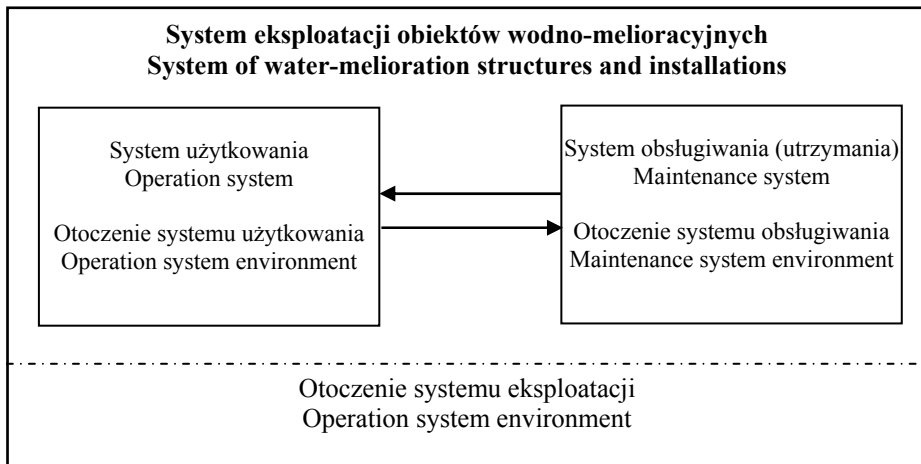
- **obsługiwanie** (utrzymania) urządzeń i systemów, który zapewnia trwałość, funkcjonalną sprawność oraz odpowiednią niezawodność w długoletnim okresie użytkowania (konserwacja, naprawy, remonty, modernizacja starych urządzeń). Obsługiwanie może być jednokrotne lub wielokrotne, techniczne i organizacyjne;
- **użytkowanie** urządzeń i systemów, który zapewnia pożądane kształtowanie zasobów materii (wody) i energii (ciepła) na meliorowanym obiekcie.

Podział podstawowych procesów eksploatacyjnych przedstawia rysunek 1. W procesie obsługiwanie urządzeń realizuje się tzw. obsługi urządzenia. Obejmują one operacje diagnostyczne, profilaktyczne i terapeutyczne, których wykonanie zapewnia utrzymanie lub odtworzenie stanu zdatności urządzenia. Operacje diagnostyczne kontrolują stan urządzenia i lokalizują niezdatności. Operacje profilaktyczne uprzedzają o możliwości wystąpienia niekorzystnych zjawisk pogarszających stan zdatności. W operacjach terapeutycznych następuje odtwarzanie stanu zdatności w przypadku jego utraty w procesie użytkowania.

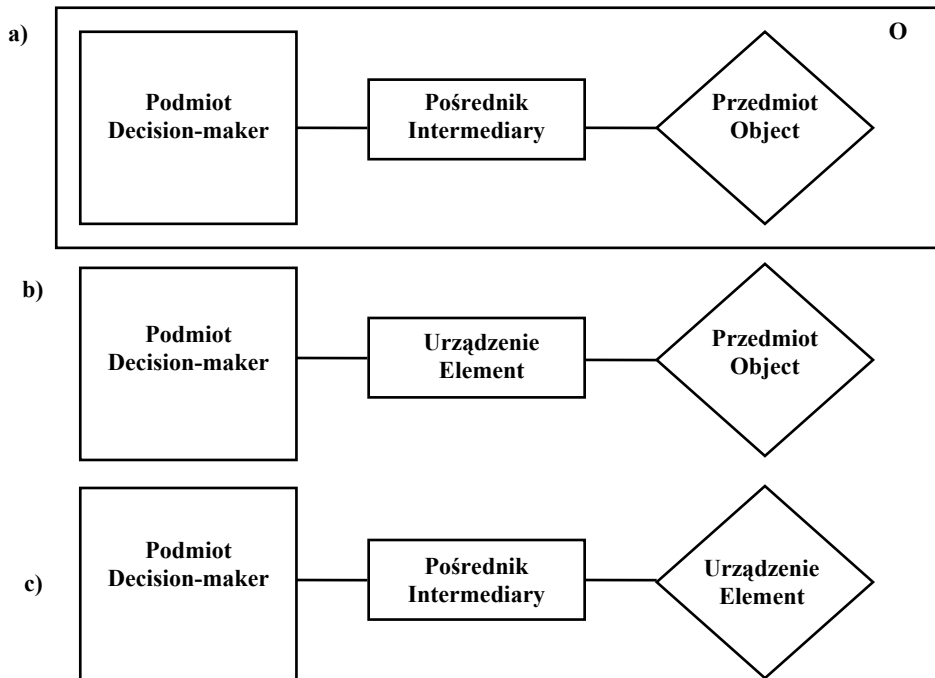
Proces użytkowania urządzeń jest najbardziej pożądanym procesem eksploatacyjnym. Celowe działanie użytkowników urządzeń prowadzi tu do wykonania zadań wynikłych z potrzeb społeczno-gospodarczych. W inżynierii środowiska, do której należą melioracje wodne, urządzenia techniczne kształtują obieg wody w zlewni hydrologicznej, regulują stosunki powietrzno-wodne i termiczne gleby, chronią przed powodzią, wyrównują odpływ za pomocą retencji powierzchniowej i gruntowej, wykorzystują właściwości nawożące ścieków i gnojowicy, chronią przed erozją, zaopatrują gospodarstwa w wodę itd.



Rys. 1. Podział procesów eksploatacyjnych
Fig. 1. Systematics of operation processes



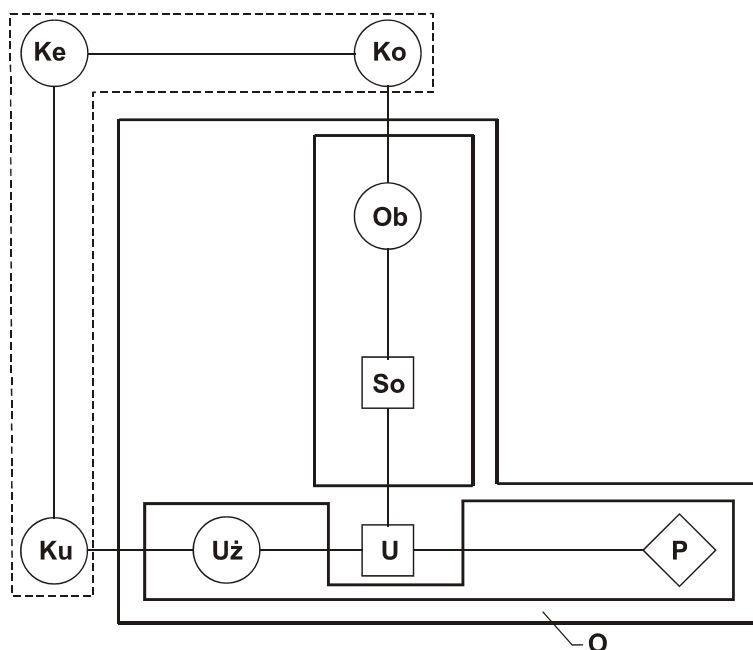
Rys. 2. Model systemu eksploatacji urządzeń wodno-melioracyjnych
 Fig. 2. Model of operation system of water-melioration structures and installations



Rys. 3. Modele prakseologiczne wg Koniecznego [1975]: a) łańcuch działania i jego otoczenia O, b) łańcuch użytkowania urządzenia, c) łańcuch obsługi urządzenia
 Fig. 3. Praxeological models acc. to Konieczny: a) chain of action and its environment "O", b) chain of operation of a device, c) chain of maintenance of a device

W praktyce dość często eksploatacja urządzeń melioracyjnych ogranicza się do realizacji procesu użytkowania. Konsekwencją tego jest między innymi zmniejszanie się sprawności urządzeń i przyspieszona ich dekapitalizacja. Warunkiem prawidłowej eksploatacji danego urządzenia technicznego jest więc jego obsługiwanie (utrzymanie) i użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem. Model systemu eksploatacji urządzeń wodno-melioracyjnych ilustruje rysunek 2.

W prakseologicznym modelu teorii eksploatacji urządzeń wprowadzono pojęcie łańcucha działania, składającego się z trzech elementów [Koniczny 1975]. Pierwszy z nich spełnia rolę podmiotu (sprawcy, który inicjuje celowe działanie); drugi – rolę pośrednika (narzędzia, które pośredniczą w działaniu); trzeci – rolę przedmiotu (tworzywa, na którym zlokalizowany jest cel działania). Łańcuchowi działania towarzyszą uwarunkowania stanowiące jego otoczenie (np. warunki meteorologiczne), którego parametry w sposób istotny wpływają na proces eksploatacji urządzeń (rys. 3).



- Ke, Ku, Ko – kierownicy (managers): eksploatacji, użytku, obsługi;
- Uż – użytkownik bezpośredni (direct user);
- U – urządzenie (device);
- P – przedmiot operacyjny (operational object);
- So – środek obsługi (operate);
- Ob – obsługujący (operation);
- O – otoczenie (setting).

Rys. 4. Prakseologiczny model elementarnego układu eksploatacji urządzeń wg Konicznego
 Fig. 4. Praxeological model of elementary system of operation of devices acc. to Koniczny

Model eksploatacji urządzenia (systemu) wg Koniecznego [1975] (rys. 4) obejmuje sprzężone łańcuchy użytkownika i obsługiwanego w określonych warunkach środowiska, które są podporządkowane procedurom kierownictwa. Podstawowymi elementami układu eksploatacji urządzeń są:

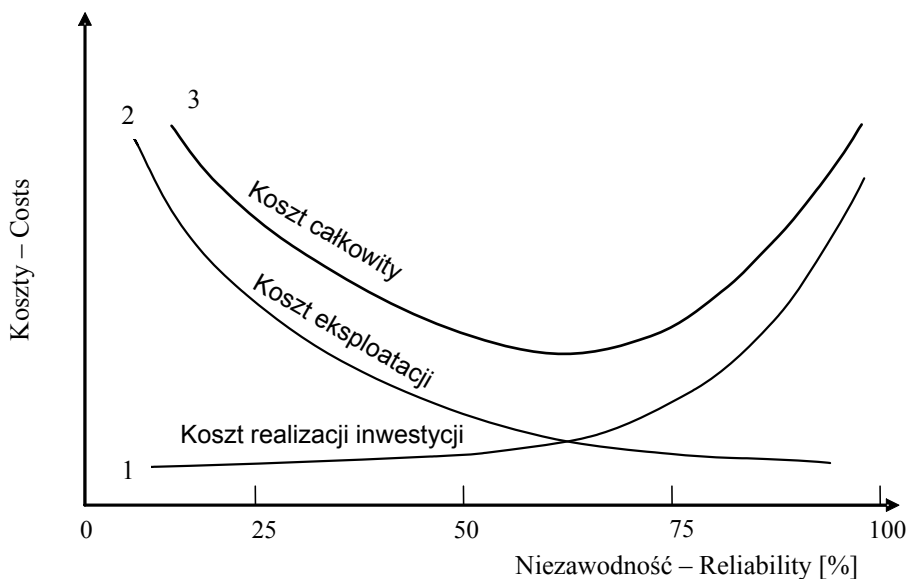
- stanowisko użytkownika urządzenia, czyli zespół złożony z użytkownika (Uż), przedmiotu operacyjnego (P) i otoczenia;
- stanowisko obsługi urządzenia, czyli zespół złożony z załogi obsługującej urządzenie (Ob), środków obsługi (So) i otoczenia;
- kierownictwo eksploatacji urządzenia, które stanowi zespół złożony z kierownika obsługi (Ko), kierownika użytkownika (Ku) i kierownika eksploatacji (Ke), urządzenia (U).

Ten prakseologiczny model elementarnego układu eksploatacji urządzeń akcentuje, obok struktury procesu eksploatacji, rolę człowieka w spełnianiu podstawowych funkcji do uzyskania określonych celów. Przedmiotem operacyjnym w procesie użytkownika jest środowisko przyrodniczo-rolnicze, które jest kształtowane za pośrednictwem melioracyjnych urządzeń technicznych i zabiegów rolniczych oraz zabiegów fitomelioracyjnych. Przedmiotem operacyjnym w procesie obsługiwanego jest urządzenie techniczne i środowiskowe, które w wyniku prowadzenia zabiegów konserwacyjnych ma zapewnić jego funkcjonalną sprawność i wysoki stopień niezawodności działania.

Teoria eksploatacji systemów wprowadza pojęcie otoczenia, które stanowią uwarunkowania zewnętrzne wpływające korzystnie lub niekorzystnie na realizację procesów eksploatacyjnych. Mogą to być np. czynniki gospodarcze, ekonomiczne, klimatyczne oraz inne sprzyjające lub nie sprzyjające realizacji określonych zadań.

Od obiektów technicznych inżynierii środowiska, w tym urządzeń wodno-melioracyjnych, wymagana jest określona ich niezawodność działania, to jest zdolność do zachowania użyteczności w określonych warunkach pracy i w określonym czasie [Ważnyśka-Fiok 1990]. Jest ona efektem konstruktywnej realizacji eksploatacyjnych procesów przewidzianych w dokumentacji technicznej urządzenia lub systemu. Urządzenie techniczne bowiem w wyniku fizycznego zużycia lub ukrytych usterek przechodzi ze stanu normalnej pracy do strefy usterek, a ta z kolei do strefy uszkodzeń. Zbyt mała niezawodność urządzenia powoduje wzrost kosztów eksploatacji. Występuje więc konieczność zapewnienia odpowiedniego poziomu niezawodności urządzeń, uzasadnionego względami ekonomicznymi.

Poziom niezawodności urządzeń melioracyjnych powinien wynikać z łącznego udziału kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych w stosunku do uzyskiwanych efektów. Urządzenia bardziej doskonałe, o wyższych kosztach inwestycyjnych, charakteryzują się wyższym poziomem niezawodności i wymagają niższych nakładów eksploatacyjnych (rys. 5).



1- Investment costs, 2 - Operation costs, 3 - Total costs

Rys. 5. Zależność kosztu realizacji inwestycji i eksploatacji urządzeń (systemu) od poziomu niezawodności.

Fig. 5. Relation of investment and operation costs of devices (system) to reliability rating

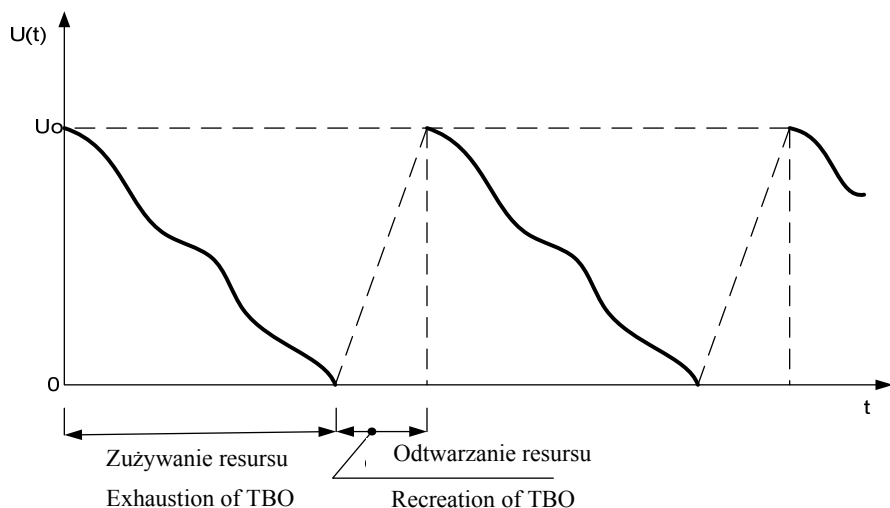
Należy dążyć do optymalizacji wskaźników niezawodności. Statystyki wskazują, że awarie obiektów hydrotechnicznych wynikały z następujących przyczyn [Marcilonek 1994]:

- błędów projektowania – 40–45%,
- błędów wykonawstwa – 20%,
- błędów eksploatacji – 30%,
- wskutek fizycznego zużycia – 5–7%.

Błędne projektowanie (niedokładne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, meteorologicznych, hydrologicznych, wadliwe modele obliczeniowe), wadliwe użytkowanie i zaniedbania realizacji procesu obsługiwanego (nieterminowe przeglądy, konserwacja oraz naprawy urządzeń), a także niewłaściwa technologia wykonania bywają najczęstszymi przyczynami katastrof obiektów budownictwa wodnego i wodno-melioracyjnego. Proces eksploatacji urządzeń (E^c) można opisać za pomocą modelu dwustanowego, w którym występuje stan zdatności (E^z) i stan niezdatności (E^n) jako $E^c = E^z \cup E^n$ [Olearczuk 1972].

W procesie użytkowania poszczególne urządzenia albo funkcjonują zgodnie z przeznaczeniem (operują), albo oczekują na użytkowanie. Miarą zdolności użytkowej może być tzw. reSURS urządzenia (U_t) wyrażony w określonych jednostkach miary (rys. 6). ReSURS jest funkcją czasu i przyjmuje wartości z przedziału:

$$1 \leq U_{(t)} \leq U_0$$



Rys. 6. Przebieg zmian resursu w czasie (t) wg Olearczuka [1972]: $U(t)$ – chwilowa wartość resursu, U_0 – początkowa wartość resursu
 Fig. 6. Changes of TBO (time between overhauls) in time (t) acc. to Olearczuka: $U(t)$ – instant TBO value, U_0 – initial TBO value

Przykład: Dla rowu melioracyjnego resursem jest okres między kolejnymi robotami gruntownej konserwacji. Urządzenie mające resurs nie mniejszy od ustalonego poziomu $U(t) \geq U_{\min}$ może być użytkowane. W przypadku przeciwnym urządzenie należy poddać procesowi obsługiwanego dla odtworzenia jego zdolności użytkowych.

Teoria eksploatacji zajmuje się stosowaniem urządzeń przez człowieka. Określa działanie człowieka związane z dowolnym urządzeniem, nie wnikając w specyfikę konstrukcyjną i funkcjonalną tego urządzenia. Wykorzystuje się tu elementy prakseologii, czyli nauki o sprawnym działaniu, gdzie sprawcą jest zwykle człowiek, oraz cybernetyki jako nauki o układach względnie odosobnionych, która traktuje człowieka i urządzenie jako jeden system. W eksploatacji dużą rolę przypisuje się kontroli i ulepszaniu rezultatów działań. Bada się zachowanie systemów przy oddziaływaniu warunków otoczenia, modeluje procesy sterowania nimi i opracowuje zależności sterowania. Sterowanie polega tu na dokładnym określeniu funkcji każdego obiektu w systemie, uporządkowaniu struktury, opracowaniu efektywnych rozwiązań i włączeniu ich w proces technologiczny, a tym samym zmniejszeniu ich awaryjności [Ziemia 1985].

Naukowe spojrzenie na eksploatację urządzeń i systemów może być pomocne przy ocenie złożonych problemów, z jakimi spotykają się użytkownicy systemów wodno-melioracyjnych. Badania naukowe powinny w systemie eksploatacji sprzyjać podejmowaniu przedsięwzięć wzmacniających tendencje pozytywne i osłabiających negatywne. Przede wszystkim winny one tworzyć podstawy do projektowania, eksploatacji, kierowania i zarządzania, a nadto do odbudowy, renowacji i modernizacji systemów melioracyjnych. Oprócz działań zmierzających do wypełniania powyższych celów, pra-

ce badawcze powinny uwzględniać zadania oceny jakości poszczególnych procesów operacyjnych i systemu eksploatacji w całości. Miarą oceny jakościowej może być ocena skuteczności, technologii, niezawodności, a także ekonomiki eksploatacji. Działanie jest skuteczne, o ile osiąga zamierzony cel, a także umożliwia lub ułatwia jego osiągnięcie. Przez skuteczność eksploatacji urządzenia (systemu) należy rozumieć stopień przystosowania (zorganizowania) układu: człowiek–urządzenia–środowisko do wykonywania zadań wynikających z celu eksploatacji [Marcilonek 1994].

Technologia eksploatacji, jako miara oceny jakościowej, powinna odpowiadać na pytanie, czy łańcuchy działania funkcjonują bez konieczności pokonywania trudności organizacyjnych, technicznych, materiałowych, ergonomicznych itp. Ekonomia eksploatacji wynika ze stosunku efektów (np. produkcyjnych) do kosztów ich uzyskania. Zależy ona zarówno od skuteczności, jak i niezawodności. Niezawodność eksploatacyjna urządzeń w procesie badawczym ma określić, czy łańcuchy działania zmierzają do utrzymania urządzeń w zdadności w ciągu zadanego okresu i w danych warunkach eksploatacji. Ponadto ma ustalać, jakie jest prawdopodobieństwo zdadności systemu urządzeń technicznych i jego elementów składowych.

2. Zużycie i produktywność wody na użytkach rolnych

Prowadzenie racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym wymaga określonej wiedzy o potrzebach wodnych roślin uprawianych w określonych warunkach glebowych i stosowanej agrotechniki, a także przy różnym sposobie zasilania w wodę. Zagadnienie to było przedmiotem zainteresowania kilku ośrodków badawczych, w tym Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

2.1. Gospodarka wodna na polach ustalonych

W latach 60. XX wieku prof. Stanisław Marcilonek podjął badania gospodarki wodnej gleb na tzw. polach ustalonych wg koncepcji prof. S. Baca sen. Doświadczenia polowe zostały zlokalizowane w Laskowicach Oławskich na glebach przepuszczalnych typu brunatnego (piasek gliniasto-pylasty) z poziomem wody gruntowej poniżej 2,5 m oraz w Dobrogostowie na glebach zwięzłych również typu brunatnego (głina średnia pylasta na glinie lekkiej lub ciężkiej) z poziomem wody gruntowej na głębokości 1–2,5 m. Nawożenie stosowane w płodozmianach polowych wynosiło tam 113–122 kg NPK na hektar w przypadku gleb lekkich i 152 kg NPK na hektar w warunkach gleb zwięzłych. Pod uprawy okopowe stosowano obornik w dawce 200–300 dt na hektar. Na podstawie systematycznego pomiaru zapasów wody w profilu glebowym do głębokości 100 cm (Z) opracowywano bilanse wodne pól płodozmianowych. Na ich podstawie określono wielkość polowego zużycia wody (S) uprawianych roślin w warunkach występowania tam naturalnej gospodarki zasobami wodnymi gleby. Przy stwierdzeniu, że w okresie prowadzonych badań terenowych brak było dopływu lub odpływu wody z zewnątrz, polowe zużycie wody (S) obliczono z równania:

$$S = Z_p + P - Z_k \text{ [mm]},$$

gdzie: Z_p , Z_k – zapas wody w 1-metrowej warstwie gleby (mm) na początku i na końcu okresu bilansowania, P – suma opadów atmosferycznych (mm) w rozpatrywanym okresie (Δt).

Zweryfikowana na polach ustalonych metoda określania polowego zużycia wody (S) dla oceny parowania terenowego (E) bywała stosowana w doświadczałnictwie rolniczym [Dzieżyc 1974] i melioracyjnym [Marcilonek 1968], a także przy eksploatacji deszczowni na obiektach produkcyjnych. Wieloletnie badania gospodarki wodnej gleb na przedstawionych wyżej polach ustalonych prowadzone przy stosowaniu normalnych zabiegów uprawowych, pielęgnacyjnych i nawożenia wykazały korzystny wpływ intensyfikacji produkcji na oszczędność zużycia wody [Marcilonek 1979]. Uzyskiwano małe wskaźniki jednostkowego zużycia wody w miarę wzrostu plonów, co świadczy

o wzroście produktywności wody w miarę poprawy warunków siedliskowych. Dla określonych przedziałów wzrastających plonów (Q) w $\text{dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ na przykład uzyskiwano następujące malejące wartości jednostkowego zużycia wody (γ) w $\text{m}^3\cdot\text{dt}^{-1}$ plonu:

pszenica ozima (ziarno)	$Q = 20 - 40 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ $\gamma = 150 - 96 \text{ m}^3\cdot\text{dt}^{-1}$
buraki pastewne (korzenie)	$Q = 300 - 900 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ $\gamma = 130 - 45 \text{ m}^3\cdot\text{dt}^{-1}$
ziemniaki (bulwy)	$Q = 125 - 300 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ $\gamma = 32 - 12 \text{ m}^3\cdot\text{dt}^{-1}$
lucerna (siano)	$Q = 50 - 110 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ $\gamma = 82 - 36 \text{ m}^3\cdot\text{dt}^{-1}$
koniczyna czerwona (siano)	$Q = 50 - 90 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ $\gamma = 82 - 45 \text{ m}^3\cdot\text{dt}^{-1}$

Przytoczone wartości wskazują, że rozsądna intensyfikacja produkcji roślinnej przez zabiegi plonotwórcze (melioracyjne i agrotechniczne) przyczynia się do znaczącego zmniejszenia zużycia wody na wyprodukowanie jednostki plonu. Potwierdzają to również doświadczenia z wprowadzeniem do produkcji rolniczej nawodnień deszczownianych.

2.2. Plonowanie i zużycie wody łąki deszczowanej

W latach 60. i 70. ubiegłego wieku w Samotworze k. Wrocławia (dolina Bystrzycy) prowadzono badania wpływu nawodnienia deszczownianego i zróżnicowanego poziomu nawożenia na plonowanie łąki zlokalizowanej na glebie przepuszczalnej [Marcilonek, Janus 1986; Marcilonek i in. 1973] (mąda lekka, średnio głęboka) i zwięzłej (mąda ciężka, średnio głęboka, podścielona piaskiem luźnym) oraz na glebie zwięzłej (mąda ciężka, średnio głęboka, podścielona piaskiem luźnym) [Nyc, Janus 1968]. Poziom próchniczny mad lekkich posiadał miąższość 25–35 cm, a gleb zwięzłych 40–50 cm. W doświadczeniach z deszczowaniem łąki dwukośnej zastosowano następujące warianty wodne i nawożenia:

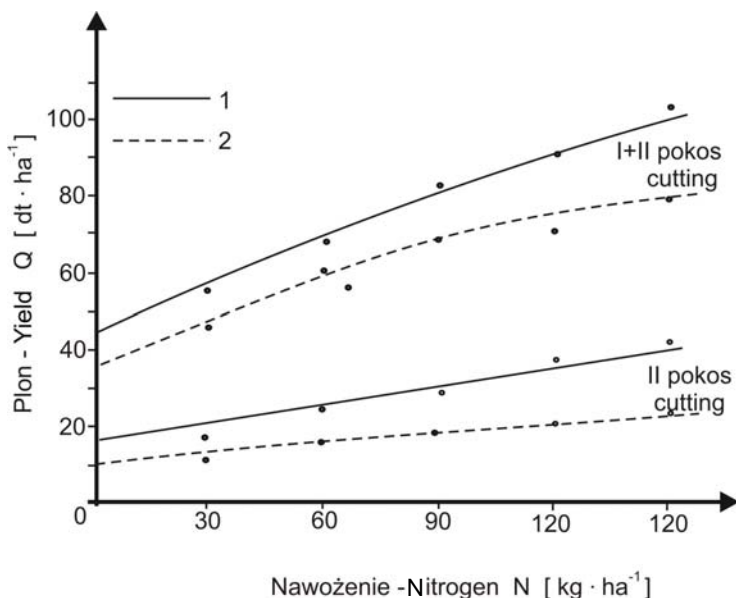
a) na glebie przepuszczalnej:

- jednolity poziom nawożenia PK, w ilościach $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ P_2O_5 oraz $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ K_2O ,
- zróżnicowany poziom nawożenia azotowego w ilościach: 60, 90, 120 i $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$,
- jednorazowe dawki nawodnienia 25 mm oraz stanowisko bez nawodnienia.

b) na glebie zwięzłej:

- nawożenie PK ($40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ oraz $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$),
- zróżnicowane nawożenie azotowe 60, 90 i $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$,
- różne jednorazowe dawki nawodnienia 20 mm i 30 mm oraz stanowisko bez nawodnienia.

Przyjęte poziomy nawożenia były dostosowane do zalecanych wówczas w praktyce i prognoz jego wzrostu. Nawodnienia stosowano po obniżeniu się uwilgotnienia gleby do poziomu 60–70% połowej pojemności wodnej, traktując je jako uzupełnienie niedoboru naturalnych opadów atmosferycznych. Plonowanie łąki dwukośnej na madzie lekkiej w zależności od poziomu nawożenia azotowego i zastosowanego nawodnienia deszczownianego obrazuje rysunek 7.

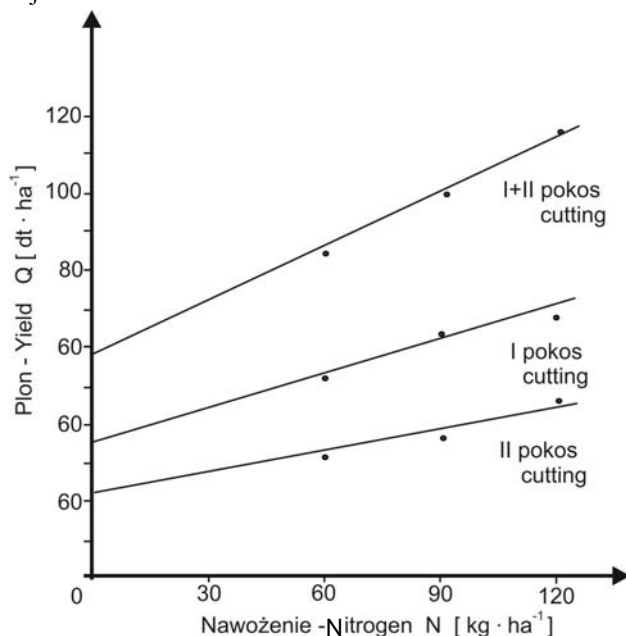


Rys. 7. Plonowanie łąki na madzie lekkiej (Q) pod wpływem nawodnienia i nawożenia azotowego N: 1 – deszczowane, 2 – bez nawodnienia

Fig. 7. Yields of meadow on light fen soil (Q) under the effect of irrigation and nitrogen fertilisation: 1 – sprinkling, 2 – no irrigation

Zaprezentowane średnie z wielolecia wartości plonów wskazują, że decydujący wpływ na ich wysokość wywierał poziom nawożenia azotowego. Przy dawkach azotu od 0 do $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ plony wzrosły od 35 do $80 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ na obiekcie nie nawadnianym i od 45 do $103 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warunkach stosowania deszczowania. Przyrosty plonów pod wpływem nawodnienia wzrastały w miarę wzrostu nawożenia azotowego od 10 do $23 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}$. Największe przyrosty plonów występowały w okresie drugiego pokosu. Podobne doświadczenia, lecz prowadzone na madzie zwięzłej, potwierdziły przypuszczenia małych potrzeb deszczowania łąk w takich warunkach siedliskowych. Z uwagi na większe zapasy wody użytecznej, lepsze magazynowanie opadów i skuteczniejsze pod-

siąkanie kapilarne, występują tu mniejsze niedobory wodne i rzadsze potrzeby deszczowania. W 3-letnim okresie doświadczenia tylko w jednym (1967 r.) pod wpływem deszczowania uzyskano przyrost plonów drugiego pokosu rzędu $10 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z zależności plonowania łąki od wysokości nawożenia azotowego wynika, że przy dawce $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ plony pierwszego pokosu sięgały wartości 70 a drugiego 45 – łącznie $115 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ siana (rys. 8). Wysokość tych plonów przekraczała wartość plonów łąki deszczowanej na madzie lekkiej.



Rys. 8. Plonowanie łąki (Q) na madzie związanej przy zróżnicowanym nawożeniu azotowym N w latach 1965–1967

Fig. 8. Yields of meadow (Q) on dense fen soil at varied nitrogen fertilisation in the years 1965–1967

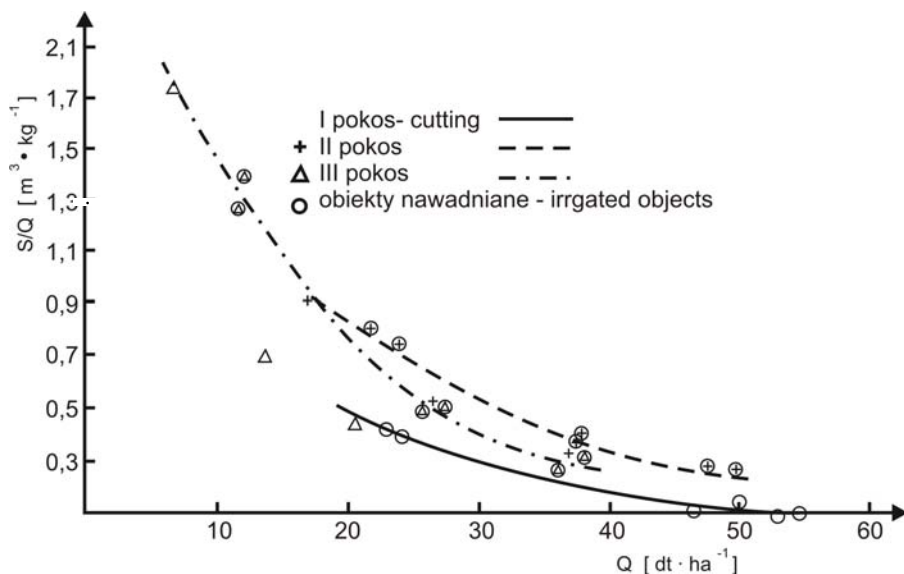
Wieloletnie badania efektów eksploatacji zmeliorowanych łąk na madach w regionie nadodrzańskim wykazały, że średnie przyrosty plonów siana pod wpływem deszczowania wynoszą w zakresie od 10 do ponad $30 \text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$, zależnie od zwilżności gleby, stosowanej agrotechniki i poziomu nawożenia mineralnego, głównie azotowego. Największe przyrosty plonów łąki deszczowanej uzyskiwano przy stosowaniu dawek polewowych 20–25 mm na madzie lekkiej i 30–40 mm na glebie związanej. Przyrost plonu siana łąki 3-kośnej w $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, przypadający na 1 mm opadu z nawodnienia przeciętnie wynosił:

- 8,7 kg – bez nawożenia azotowego,
- 17,3–19,6 kg – z odpowiednim nawożeniem azotowym.

O celowości intensyfikacji produkcji paszy z użytków zielonych świadczy ich jednostkowe zużycie wody (S/Q) występujące w warunkach różnej wysokości plonowania (Q). Przedstawione na rysunku 9 przeciętne jednostkowe zużycie wody w poszczególnych pokosach, zależnie od plonowania analizowanej łąki 3-kośnej na madzie lekkiej [Janus 1976] wykazuje, że:

- Woda jest najefektywniej użytkowana w procesie fotosyntezy w pierwszym pokosie, mniej efektywnie w drugim, a najmniej w trzecim pokosie. W miarę wzrostu plonów występuje spadek jednostkowego zużycia wody ($\gamma=S/Q$).
- Jednostkowe zużycie wody (γ) wyrażone w m^3 wody na kilogram suchej masy siana wynosiło:
 - w pierwszym pokosie 0,3–0,7 $m^3 \cdot kg^{-1}$
 - w drugim pokosie 0,4–1,1 $m^3 \cdot kg^{-1}$
 - w trzecim pokosie 0,5–2,0 $m^3 \cdot kg^{-1}$.
- Sumaryczne zużycie wody (S) przybierało następujące przeciętne wartości:
 - przy plonie $Q = 50 dt \cdot ha^{-1}$ S = 450 mm
 - przy plonie $Q = 100 dt \cdot ha^{-1}$ S = 530 mm (wzrost o 18%)
 - przy plonie $Q = 150 dt \cdot ha^{-1}$ S = 590 mm (wzrost o 31%).

Trzykrotny wzrost plonu powodowany czynnikami agrotechnicznymi i nawodnieniem deszczownianym przyczynił się do zwiększenia zużycia wody tylko o 31%.



Rys. 9. Jednostkowe zużycie wody łąki ($\gamma = \frac{S}{Q}$) w 3 pokosach zależnie od plonu siana (Q) wg

E Janusa [1976]

Fig. 9. Unit water consumption by meadow ($\gamma = \frac{S}{Q}$) in 3 cuts in relation to yield of hay (Q) (acc.

to E. Janus) [1976]

2.3. Rozpoznanie systemu korzeniowego łąki deszczowanej

Działanie urządzeń melioracyjnych (odwadniających i nawadniających) może wpłynąć na odpowiedni rozwój systemu korzeniowego roślin. Dla rozpoznania tego procesu w latach 1966–1969 na charakteryzowanym uprzednio obiekcie doświadczeń łąkarskich w Samotworze k. Wrocławia zostały przeprowadzone badania rozmieszczenia systemu korzeniowego łąki na madzie lekkiej, średnio głębokiej, wytworzonej z piasku gliniastego mocnego, zalegającego na piasku luźnym [Janus 1976]. Wody gruntowe zalegały na głębokości od około 85 cm wiosną do 160 cm w okresie lata i jesieni. Na łące po pełnym zagospodarowaniu agrotechnicznym w 1965 r. wprowadzono mieszankę traw głównie kostrzewy łąkowej, wyczyńca łąkowego, mietlicy białawej z udziałem motylkowatych. Doświadczenia założono z trzema czynnikami zmiennymi:

- wodne: W_0 – nie deszczowane (kontrolne), dawki polewowej $W_1 = 20$ mm i $W_2 = 40$ mm;
- nawozowe: 0 – nie nawożone (kontrolne), nawożone N+PK oraz 2N+PK, N = 120 kg, 2N = 240 kg, $P_2O_5 = 60$ kg, $K_2O = 100$ kg·ha⁻¹;
- częstość koszenia łąki: dwukrotnie i trzykrotnie.

W okresie badawczym zależnie od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych, zastosowano sezonowe normy nawodnienia deszczowanego – tabela 1. Terminy nawodnienia uzależniano od obniżania się wilgoci w 30 cm warstwie gleby do wartości 60–70% połowej pojemności wodnej.

Tabela 1
Table 1

Opady atmosferyczne (P) oraz norma nawodnienia (N) mm na łące deszczowanej
dawką polewową W_1 i W_2 w latach 1966–1969
Precipitations (P) and irrigation norm (N) on meadow sprinkled with irrigation doses
 W_1 and W_2 in 1966–1969

Rok Year	Opad atm. „P” mm Atmospheric precipitation “P”, mm		Norma nawodnienia (N mm) Irrigation norm	
	IV–IX	I–XII	$W_1 = 20$ mm	$W_2 = 40$ mm
1966	392	650	123	122
1967	354	571	143	162
1968	413	586	101	121
1969	273	405	232	245

Wyniki pomiarów masy korzeniowej uzyskano, stosując następującą metodykę. Monolity gleby pobierano losowo sondą o średnicy 150 mm z warstwy od 0 do 50 cm co 10 cm. Po wyciśnięciu próbki gleby z cylindra przenoszono ją do naczynia w celu pełnego nasycenia wodą na okres 2–4 godzin. Do wmywania korzeni wykorzystano urządzenie powodujące wibrację elektromagnetyczną próbki. Wymyte korzenie dokładnie przepłukiwano czystą wodą, a następnie suszono je w temperaturze pokojowej. Z wartości podanych w tabeli 2 wynika, że ponad 72–73% masy korzeniowej była rozlokowana w warstwie od 0 do 10 cm, a 96% mieściło się w wierzchniej 30 cm warstwie gleby. W całej czynnej warstwie gleby od 0 do 50 cm masa korzeniowa stanowiła ponad 90 dt·ha⁻¹ i w głównej mierze składała się z drobnych korzonków o średnicy poniżej 1 mm.

Tabela 2
Table 2

Rozmieszczenie korzeni roślinności łąkowej w zależności od częstości koszenia
(średnie z lat 1966–1969), wg Janusa
Distribution of roots of meadow vegetation in relation to mowing frequency
(means for 1966–1969) acc. to Janus

Warstwa gleby Soil layer cm	Dwukrotne koszenie – Two cuts				Trzykrotne koszenie – Three cuts			
	≥ 1 mm	< 1 mm	razem		≥ 1 mm	< 1 mm	razem	
	dt·ha ⁻¹	dt·ha ⁻¹	dt·ha ⁻¹	%	dt·ha ⁻¹	dt·ha ⁻¹	dt·ha ⁻¹	%
0–10	17,77	50,99	68,76	72,83	14,63	52,05	66,68	73,18
10–20	0,39	14,81	15,20	16,10	0,41	14,89	15,30	16,79
20–30	0,11	6,67	6,78	7,18	0,07	6,05	6,12	6,72
30–40	0,03	2,38	2,41	2,55	0,01	1,98	1,99	2,18
40–50	0,01	1,25	1,26	1,34	–	1,03	1,03	1,13
0–20	18,16	65,80	83,96	88,93	15,04	66,94	81,98	89,97
20–50	0,15	10,30	10,45	11,07	0,08	9,06	9,14	10,03
0–50	18,31	76,10	94,41	100,00	15,12	76,00	91,12	100,00

W tabeli 3 zamieszczono kształtowanie się ilorazu masy korzeni i plonów siana na łące trzykośnej w poszczególnych latach badań, licząc od wysiania mieszanki traw w 1965 r. Wyniki uzyskano bardzo znamienne. W siedlisku nie nawożonym z biegiem lat badań (1966–1969) uzyskiwano wzrastający stosunek masy korzeniowej do masy części nadziemnych (plonów siana) w siedlisku nie nawadnianym od wartości 0,85 do 3,34. Stosunek ten ulegał pewnej poprawie po zastosowaniu deszczowania, zwłaszcza wyższymi dawkami polewowymi (40 mm) od 0,81 do 1,98. Nawożenie łąki również wpłynęło bardzo korzystnie na poprawę tego stosunku z 0,57–1,34 (bez nawodnienia) do 0,56–0,77 przy nawożeniu 2N+PK i nawodnieniu dawką 40 mm, świadcząc o wzroście fotosyntezującej części nadziemnej w stosunku do masy biologicznej korzeni. Należy nadmienić, że bogata masa drobnych korzeni użytków zielonych, stanowiących ok. 76 dt·ha⁻¹ o średnicy poniżej 1 mm ma szczególne znaczenie w oczyszczaniu zasobów wodnych z biogenów odpływających do wód gruntowych i powierzchniowych (tab. 2). Ta zdolność jest szczególnie cenna z biologicznego punktu widzenia, gdyż aktywność sorpcji chemicznej, fizycznej i biologicznej utrzymuje się praktycznie w okresie wegetacyjnym i powegetacyjnym.

Tabela 3
Table 3

Stosunek masy korzeni do plonów siana na łące 3-kośnej przy różnym nawożeniu
w latach 1966–1969, wg Janusa
Ratio of root mass to hay yields on 3-cut meadow at varied fertilisation
in the years 1966–1969 acc. to Janus

Grubość korzeni Troot thickness mm	Warstwa gleby Soil layer cm	Stosunek masy korzeni do plonu siana Root mass to hay yield ratio											
		0					N+PK					2N+PK	
		1966	1967	1968	1969	1966	1967	1968	1969	1966	1967	1968	1969
		Bez nawodnienia – No irrigation											
<1	0–20	0,68	1,39	1,36	2,28	0,59	0,84	0,71	1,22	0,45	0,62	0,55	1,00
≥1+<1	0–20	0,75	1,77	1,71	2,88	0,65	1,03	0,91	1,50	0,51	0,77	0,70	1,24
<1	0–50	0,78	1,59	1,58	2,72	0,69	0,97	0,81	1,36	0,51	0,70	0,61	1,09
≥1+<1	0–50	0,85	1,97	1,94	3,34	0,75	1,16	1,01	1,64	0,57	0,85	0,75	1,34
<1		Nawodnienie dawką polewową 20 mm – Irrigation dose											
0–20	0–20	0,64	1,06	1,15	1,75	0,58	0,73	0,68	0,82	0,46	0,50	0,49	0,57
≥1+<1	0–20	0,70	1,38	1,47	2,18	0,63	0,87	0,86	1,02	0,52	0,63	0,64	0,75
<1	0–50	0,72	1,19	1,31	2,00	0,66	0,81	0,76	0,90	0,52	0,56	0,54	0,62
≥1+<1	0–50	0,78	1,51	1,63	2,43	0,72	0,96	0,93	1,10	0,58	0,69	0,68	0,79
		Nawodnienie dawką polewową 40 mm – Irrigation dose											
<1	0–20	0,63	0,98	1,04	1,37	0,61	0,68	0,62	0,78	0,44	0,51	0,50	0,56
≥1+<1	0–20	0,7	1,24	1,29	1,68	0,66	0,81	0,77	0,95	0,49	0,64	0,65	0,72
<1	0–50	0,74	1,14	1,23	1,67	0,72	0,79	0,72	0,89	0,51	0,58	0,56	0,62
≥1+<1	0–50	0,81	1,40	1,49	1,98	0,77	0,91	0,87	1,06	0,56	0,71	0,70	0,77

2.4. Podstawy eksploatacji deszczowni na gruntach ornych

Potrzeba stabilizacji odpowiednio wysokiego plonowania roślin wymaga dysponowania sprawnymi systemami melioracyjnymi (odwadniającymi i nawadniającymi) dla regulacji stosunków wilgotnościowych gleb, niezależnie od przebiegu i wysokości opadów atmosferycznych. Jednym ze sposobów nawadniania w Polsce, stosowanym szczególnie na gruntach ornych, jest deszczowanie. Doskonalenie eksploatacji deszczowni również na gruntach ornych stało się przedmiotem zainteresowania kilku badaczy, nawiązujących do rozwiązań zagranicznych i krajowych [Brouwer 1959, Drukpa 1972, Nowaczyk 1971, Marcilonek 1979, Nyc 1966, Nyc 1969, Przybyła, Fidler 1992]. W latach 60.–80. XX w. dyskusyjnym był problem intensyfikacji produkcji polowej, zwłaszcza upraw warzywniczych, w warunkach gleb przepuszczalnych o małej naturalnej produktywności, w odróżnieniu od gleb średnio zwięzłych lub zwięzłych o dużym potencjale produkcyjnym. Gleby przepuszczalne (piaszczyste), w odróżnieniu od średnio zwięzłych, dawały wysokie wskaźniki procentowego wzrostu plonów w wyniku stosowania wysokiego poziomu naważenia mineralnego i częstych nawodnień deszczownianych. Rozwiązanie tego zagadnienia ułatwiło wprowadzenie gospodarki wolnorynkowej, gdzie względy ekonomiczne, ekologiczne i organizacyjne stawały się wiodącymi w podejmowaniu decyzji o priorytetach w zakresie intensyfikacji produkcji rolniczej. Przytoczone niżej wyniki badań wskazują, że najwyższe efekty produkcyjne uzyskuje się, nawadniając uprawy warzywnicze na glebach średnio zwięzłych zlokalizowanych w strefie występowania znacznych niedoborów wodnych [Nyc 1974].

W latach 1966–1969 na terenie wsi Szymanów k. Legnicy, w PGR Szymkowo posiadającym 100 ha system nawodnień deszczowni półstałej, przeprowadzono doświadczenia z deszczowaniem niektórych roślin w płodozmianie warzywniczym na poletkach o pow. 288 m² wydzielonych losowo z pól produkcyjnych. Doświadczenia założono metodą podbloków losowanych z dwoma czynnikami zmiennymi: nawożenie (NPK i 2 NPK) oraz nawodnienie w 6 wariantach stosowania pojedynczej dawki wody (0, 15, 30, 45, 2 x 15 i 3 x 15 mm). Uwilgotnienie gleby utrzymywano w przedziale od 70 do 100% polowej pojemności wodnej (PPW). Do nawodnienia zastosowano zraszacze produkcji czeskiej PUK-2 o średnim natężeniu opadu 12 mm · godz⁻¹. Gleby obiektu stanowią strukturalne mady średnio zwięzłe, głębokie podścielone piaskiem średnim i grubym. Zakwalifikowano je do II klasy bonitacyjnej. Miąższość warstwy madowej – o zawartości 35% części spławianych i 30–40% pyłu drobnego – wynosi około 100–120 cm. Woda gruntowa zalegała przeważnie w strefie piasku na głębokości 180–200 cm. Wiosenne zapasy wody zbliżone do polowej pojemności wodnej (PPW) do głębokości 100 cm wynosiły 343–365 mm. Opady atmosferyczne okresu I–XII w latach 1966–1968 kształtowały się w granicach 607–635 mm i były o 3–11% wyższe od przeciętnych, natomiast w roku 1969 wynosiły tylko 398 mm i były niższe o 40% od średnich z wielolecia. Doświadczeniami z deszczowaniem objęto kapustę późną, ziemniaki wczesne oraz koniczynę czerwoną. Poziom nawożenia mineralnego NPK odpowiadał stosowanemu w warunkach produkcyjnych gospodarstwa Szymkowo i wynosił dla:

- kapusty późnej 320 kg · ha⁻¹ (N – 145 kg, P₂O₅ – 55 kg, K₂O – 120 kg);
- ziemniaków wczesnych 250 kg · ha⁻¹ (N – 80 kg, P₂O₅ – 50 kg, K₂O – 120 kg);
- koniczyzny czerwonej 70 kg · ha⁻¹ (N – 0 kg, P₂O₅ – 30 kg, K₂O – 40 kg).

Na przykładzie doświadczenia z deszczowaniem kapusty późnej przedstawiono:

- potrzeby wodne roślin i ich plonowanie,
- racjonalne wysokości dawek polewowych,
- wpływ czynników meteorologicznych oraz nawodnienia na plonowanie i połowe zużycie wody,
- efektywność wykorzystania wody.

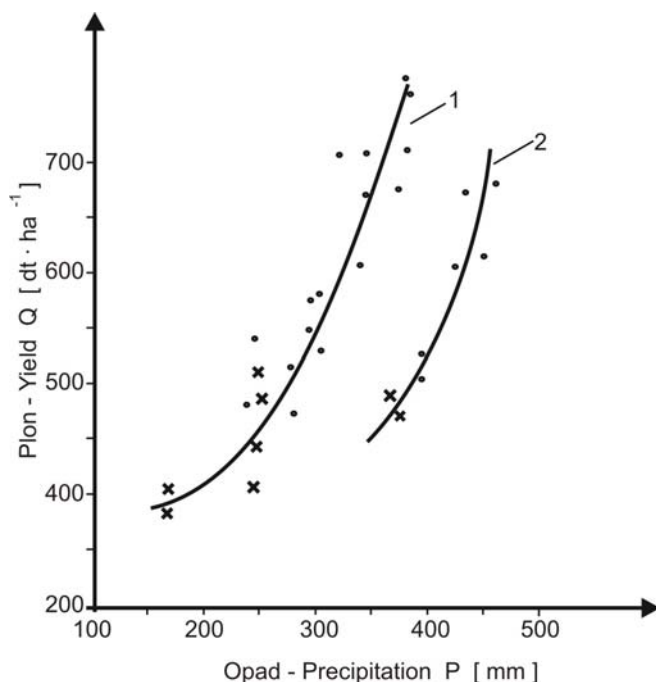
Plonowanie kapusty późnej w zależności od sposobu deszczowania i poziomu nawożenia przedstawiono w tabeli 4. Przytoczone wartości wskazują, że w miarę zwiększania dawek polewowych (w przedziale 15–45 mm) uzyskiwano coraz wyższe plony. Dawki 30 i 45 mm zastosowane jednorazowo dawały wyższe plony niż podzielone, np. 2 x 15 i 3 x 15 mm. Plony uzyskiwane z wariantów 3 x 15 i 1 x 30 mm nie różniły się znacząco pomimo różnej ilości rozdeszczowanej wody. Pojedyncza dawka wody 45 mm przeważnie nie dawała wyższego plonu niż dawka 30 mm, różnice zwiększały się jednak w latach o wyższych niedoborach opadów. Świadczy to o celowości zwiększania dawek polewowych jedynie w latach suchych. Średnie zwwyżki plonów kapusty późnej uzyskiwane pod wpływem deszczowania dawkami wody 30–45 mm wynosiły 40–50%, a w roku suchym 75–90%. Zwiększenie nawożenia z poziomu 320 do 640 kg NPK nie powodowało znacznych różnic w plonowaniu na polach nie nawadnianych, a także deszczowanych zbyt małą 15 mm dawką polewową. Wskazuje to, że poziom nawożenia 320 kg/ha NPK był wystarczający. Kontrola uwilgotnienia gleby wykazała, że w warunkach deszczowania największe wyczerpywanie wody występowało przeważnie w warstwie do głębokości 50 cm, jedynie w latach suchych – w większej (ok. 80 cm). Na obiektach nawadnianych wahania zapasów wody były nieduże, natomiast na nie nawadnianych wyczerpanie retencji gruntowej dochodziło do 150 mm słupa wody w 100 cm profilu glebowym.

Maksymalne plonowanie uzyskiwano w warunkach występowania uwilgotnienia w granicach 80–85% PPW. Skuteczność działania deszczu naturalnego i sztucznego zależała nie tylko od jego wysokości, lecz również od rozkładu w okresie wegetacji oraz od towarzyszących mu zjawisk (temperatura i niedosyt wilgotności powietrza, prędkość wiatru), natężenia opadów oraz wysokości dawki polewowej dostosowanej do rodzaju roślin i zwięzłości gleby. Doświadczenia wykazały dużą skuteczność nawodnień uzupełniających niedobory wodne, zastosowanych szczególnie w okresach wzmożonej transpiracji roślin.

Uzyskiwano przy tym efektywniejsze wykorzystanie wody. Nawet w latach zakwalifikowanych ogólnie do mokrych wykonanie nawodnień w okresie krótkotrwałej suszy występującej w okresie krytycznym dla roślin, dawało pozytywne rezultaty wzrostu plonu (rys. 10).

Plony kapusty późnej w zależności od nawodnienia i nawożenia w latach 1966–1969
Late cabbage yields in relation to irrigation and fertilisation in 1966–1969

Rok Year	NPK										2NPK													
	dawka wody w jednym cyklu nawodnienia w mm: water dose per one irrigation cycle in mm																							
	0	1×15	2×15	3×15	1×30	1×45	0	1×15	2×15	3×15	1×30	1×45	0	1×15	2×15	3×15	1×30	1×45						
	Plon w dt·ha ⁻¹										Yield in dt·ha ⁻¹													
1966	470	509	536	605	609	619	494	528	596	639	667	678	470	509	536	605	609	619	494	528	596	639	667	678
1967	490	553	602	640	670	715	513	576	678	710	714	760	490	553	602	640	670	715	513	576	678	710	714	760
1968	408	468	496	535	531	564	445	517	530	573	577	611	408	468	496	535	531	564	445	517	530	573	577	611
1969	385	484	610	651	637	672	404	549	694	754	711	770	385	484	610	651	637	672	404	549	694	754	711	770
Średnio Mean	438	503	561	607	611	642	464	542	624	669	667	704	438	503	561	607	611	642	464	542	624	669	667	704
	Zwyżki plonów w wyniku nawodnień w dt·ha ⁻¹ i %																							
	Yield increments owing to irrigation																							
1966	–	39	66	135	139	149	–	34	102	145	173	184	–	39	66	135	139	149	–	34	102	145	173	184
1967	–	8,3	14,0	28,7	29,6	31,7	–	6,9	20,6	29,3	35,0	37,2	–	8,3	14,0	28,7	29,6	31,7	–	6,9	20,6	29,3	35,0	37,2
1968	–	63	112	150	180	225	–	63	165	197	201	247	–	63	112	150	180	225	–	63	165	197	201	247
1969	–	12,8	22,8	30,6	36,8	46,0	–	12,3	32,2	38,5	39,2	50,5	–	12,8	22,8	30,6	36,8	46,0	–	12,3	32,2	38,5	39,2	50,5
1966	–	60	88	127	123	156	–	72	85	128	132	166	–	60	88	127	123	156	–	72	85	128	132	166
1967	–	14,7	21,6	31,1	30,1	38,3	–	16,2	19,1	28,8	29,7	37,3	–	14,7	21,6	31,1	30,1	38,3	–	16,2	19,1	28,8	29,7	37,3
1968	–	99	225	266	252	287	–	145	290	350	307	366	–	99	225	266	252	287	–	145	290	350	307	366
1969	–	25,7	58,5	69,2	65,5	74,6	–	35,8	71,7	86,5	76,0	90,5	–	25,7	58,5	69,2	65,5	74,6	–	35,8	71,7	86,5	76,0	90,5
Średnio Mean	–	65	123	169	173	204	–	78	160	205	203	240	–	65	123	169	173	204	–	78	160	205	203	240
	–	14,8	28,0	38,6	39,5	46,6	–	16,8	34,5	44,2	43,2	51,7	–	14,8	28,0	38,6	39,5	46,6	–	16,8	34,5	44,2	43,2	51,7



Rys. 10. Zależność plonów (Q) kapusty późnej od opadu P (naturalnego i z deszczowni): 1 – lata umiarkowanie wilgotne (1967–1968); 2 – rok mokry (1966) × – nie nawadniane, • – nawadniane

Fig. 10. Relation of late cabbage yields Q to total precipitation P: 1 – years with moderate precipitations (1967–1968), 2 – wet year (1966), × – non-irrigated, • – irrigated

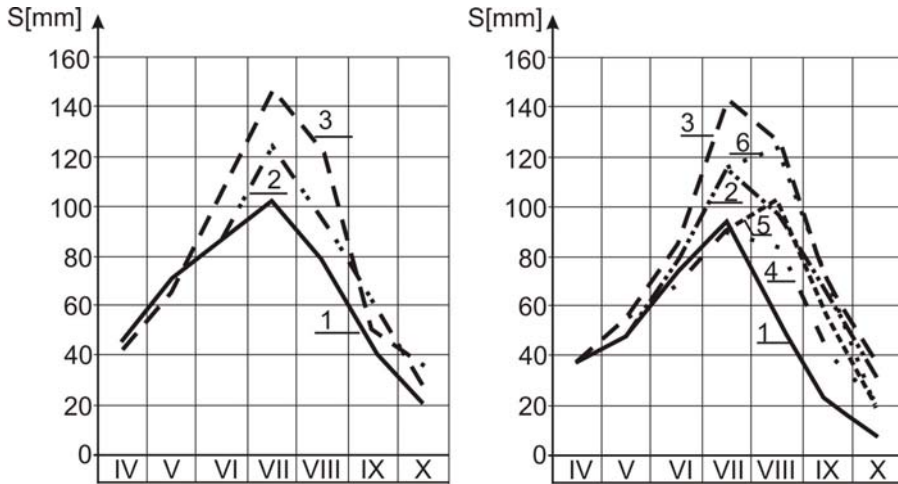
Efektywność wykorzystania wody zależała wyraźnie od wysokości dawki polewowej. Różna częstotliwość stosowania w danym okresie dawek małych 15 mm np. 1 x 15, 2 x 15, 3 x 15 mm dawała podobne (stosunkowo nieduże) przyrosty plonu kapusty ($1,30\text{--}1,38\text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$) przypadające na 1 mm nawodnienia. Najlepsze efekty uzyskano, stosując nie dzielone 30 mm jednorazowe dawki rozdeszczowanej wody, przy których przyrosty plonu wynosiły $2,01\text{--}2,34\text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ na 1 mm nawodnienia. Dawki polewowe 45 mm powodowały nieco niższe przyrosty plonu w granicach $1,58\text{--}1,83\text{ dt}\cdot\text{ha}^{-1}$ na 1 mm. Powodem tego są właściwości wodne profilu glebowego, warunkujące procesy związane z wsiąkaniem i bezproduktywnym parowaniem wody. Skuteczność skoncentrowanych dawek wody 30 i 45 mm była o ok. 20–30% większa od efektu tej samej ilości wody dostarczonej w postaci 15 mm porcji wody, które nie obejmowały zwilżeniem w całości głównej masy korzeniowej roślin. Połowe zużycie wody określone na podstawie bilansu wodnego jednometrowej warstwy profilu glebowego dla kapusty późnej o okresie wegetacyjnym IV–X zależnie od poziomu nawożenia wynosiło:

444–457 mm – na obiektach nienawadnianych,

507–527 mm – na obiektach deszczowanych dawką polewową 30 mm,

554 mm – na obiektach deszczowanych dawką 45 mm (NPK).

Na stanowiskach nienawadnianych w roku suchym 1969 połowe zużycie wody było znacznie niższe od uzyskiwanego w latach przeciętnych (rys. 11).



Rys 11. Połowe zużycie wody na kapustę późną przy nawożeniu NPK: a – średnie w okresie 1966–1969; b – w roku 1969; warianty nawodnienia: 1–0 mm, 2–30 mm, 3–45 mm, 4–15 mm, 5–2×15 mm, 6–3×15 mm.

Fig. 11. Field water consumption by late cabbage at the NPK fertilization: a – means for 1966–1969; b – in 1969; irrigation variants: 1–0 mm, 2–30 mm, 3–45 mm, 4–15 mm, 5–2×15 mm, 6–3×15 mm.

W warunkach stosowania nawodnień deszczownianych, a także w latach o opadach wyższych od normalnych połowe zużycie wody przybierało wartości podobne. Odniesienie wartości połowego zużycia wody (S) do temperatury (t) lub niedosytu wilgotności powietrza (d) umożliwiło ocenę tego parametru w nieco odmiennych warunkach meteorologicznych, stosując tzw. termiczny (α) lub higrometryczny (β) współczynnik zużycia wody:

$$\alpha = \frac{S}{\sum t} \quad \text{lub} \quad \beta = \frac{S}{\sum d}$$

Ich przykładowe średnie dla okresu badań wartości przedstawiono w tabelach 5 i 6.

Wysokość i rozkład opadów atmosferycznych oraz nawodnienia uzupełniające niedobory wodne (D) przyczyniały się do wzrostu zużycia wody (ΔS), a także rzutowały na stopień wykorzystania wody (η) dostarczonej do gleby w wyniku deszczowania. Współczynnik wykorzystania wody obliczony z zależności: $\eta = \frac{\Delta S}{D}$ kształtował się w granicach 0,60–0,67 w latach przeciętnych oraz 0,89 w roku suchym. Lepsze wykorzystanie nawodnienia było w roku o większych deficytach wodnych. Również jednostkowe zużycie wody wyraźnie malało przy wyższym poziomie plonowania (rys. 12).

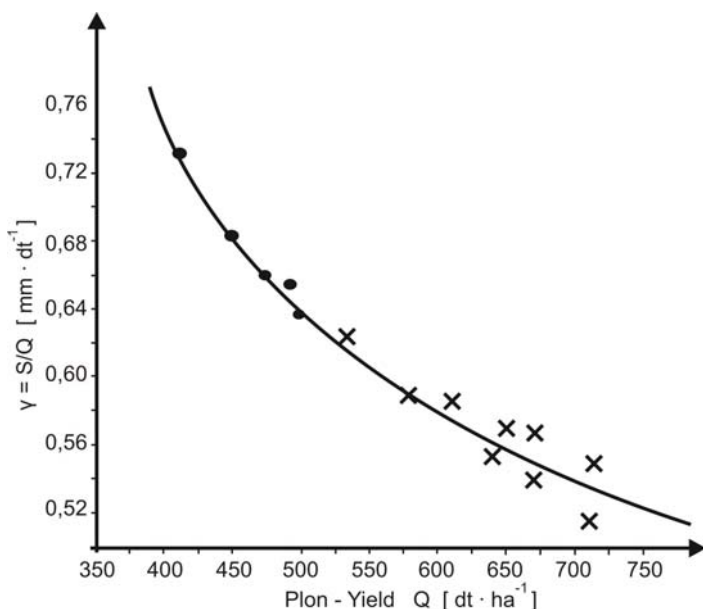
Tabela 5
Table 5

Średnie miesięczne i okresowe wartości termicznego współczynnika połowego zużycia wody α (mm/1 mb) przez kapustę późną
Mean monthly and periodical thermic field water consumption coefficient values α (mm/1 mb) for late cabbage

Dawka wody Water rate mm	Nawożenie Fertilization	Rok Year	Plon Yield dt·ha ⁻¹	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X
0	NPK	1966	470	0,155	0,158	0,140	0,203	0,186	0,125	0,041	0,149
		1967	490	0,233	0,216	0,177	0,150	0,149	0,141	0,111	0,163
		1968	408	0,160	0,207	0,228	0,218	0,143	0,081	0,061	0,164
		1969	385	0,162	0,108	0,150	0,158	0,109	0,078	0,023	0,114
		średnio mean	438	0,175	0,169	0,171	0,183	0,146	0,104	0,058	0,146
	2NPK	1966	494	0,176	0,165	0,145	0,203	0,182	0,125	0,049	0,153
		1967	513	0,242	0,225	0,179	0,155	0,157	0,133	0,103	0,165
		1968	445	0,160	0,207	0,228	0,218	0,143	0,081	0,061	0,164
		1969	404	0,162	0,119	0,154	0,176	0,099	0,091	0,027	0,120
		średnio mean	464	0,185	0,179	0,177	0,188	0,145	0,107	0,060	0,150
30	NPK	1966	609	0,155	0,158	0,140	0,235	0,191	0,132	0,055	0,158
		1967	670	0,233	0,216	0,177	0,193	0,181	0,182	0,106	0,182
		1968	531	0,150	0,196	0,219	0,261	0,158	0,079	0,065	0,170
		1969	637	0,162	0,108	0,158	0,191	0,187	0,226	0,076	0,157
		średnio mean	611	0,175	0,169	0,173	0,220	0,179	0,155	0,075	0,167
	2NPK	1966	677	0,176	0,176	0,145	0,240	0,191	0,148	0,077	0,168
		1967	714	0,242	0,242	0,179	0,199	0,188	0,182	0,111	0,187
		1968	577	0,160	0,160	0,228	0,257	0,173	0,086	0,055	0,177
		1969	711	0,162	0,162	0,181	0,181	0,229	0,230	0,046	0,164
		średnio mean	667	0,185	0,185	0,183	0,219	0,295	0,162	0,072	0,174

Średnie miesięczne i okresowe wartości higrometrycznego współczynnika polowego zużycia wody β (mm/1 mb) przez kapustę późną
Monthly and seasonal values of hygrometric field water consumption coefficient β (mm/1 mb) for late cabbage

Dawka wody Water dose mm	Nawożenie Fertilisation	Rok Year	Plon Yield dt·ha ⁻¹	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X	
0	NPK	1966	470	0,539	0,413	0,440	0,729	0,652	0,434	0,193	0,505	
		1967	490	0,690	0,630	0,530	0,420	0,501	0,582	0,388	0,518	
		1968	408	0,314	0,679	0,797	0,685	0,480	0,361	0,227	0,535	
		1969	385	0,406	0,288	0,481	0,403	0,273	0,159	0,115	0,316	
		średnio mean	438	0,487	0,502	0,562	0,559	0,476	0,384	0,231	0,469	
		2NPK	1966	494	0,613	0,432	0,458	0,729	0,638	0,434	0,232	0,520
	1967		513	0,717	0,658	0,536	0,434	0,525	0,547	0,361	0,526	
	1968		445	0,336	0,717	0,832	0,674	0,486	0,796	0,240	0,552	
	1969		404	0,406	0,317	0,494	0,450	0,249	0,187	0,138	0,334	
	średnio mean		464	0,518	0,524	0,580	0,572	0,475	0,391	0,243	0,483	
	30		NPK	1966	609	0,539	0,413	0,440	0,842	0,672	0,459	0,258
		1967		670	0,690	0,630	0,530	0,540	0,606	0,749	0,370	0,579
1968		531		0,314	0,679	0,797	0,806	0,537	0,385	0,252	0,574	
1969		637		0,406	0,288	0,507	0,488	0,470	0,463	0,380	0,438	
średnio mean		611		0,487	0,502	0,568	0,669	0,571	0,514	0,315	0,532	
2NPK		1966		667	0,613	0,432	0,458	0,861	0,672	0,517	0,361	0,570
		1967	714	0,717	0,658	0,536	0,559	0,630	0,749	0,388	0,597	
		1968	577	0,336	0,717	0,832	0,795	0,587	0,419	0,2156	0,595	
		1969	711	0,406	0,317	0,580	0,463	0,576	0,470	0,230	0,456	
		średnio mean	677	0,518	0,524	0,602	0,669	0,616	0,539	0,299	0,554	



Rys. 12. Jednostkowe zużycie wody $\left(\gamma = \frac{S}{Q}\right)$ w zależności od plonów kapusty późnej Q.

● – nie nawadniane × – nawadniane

Fig. 12. Unit water consumption $\left(\gamma = \frac{S}{Q}\right)$ in relation to late cabbage yields Q.

● – non-irrigated × – irrigated

Na wyprodukowanie 1 dt kapusty późnej w okresie wegetacji IV–X zużyto średnio następujące ilości wody:

plon (Q)	→	jednostkowe zużycie wody $\frac{S}{Q}$ w	
400 dt·ha ⁻¹	→	1,17 mm·dt ⁻¹	tj. 11,7 m ³ ·dt ⁻¹
500 dt·ha ⁻¹	→	0,97 mm·dt ⁻¹	tj. 9,7 m ³ ·dt ⁻¹
600 dt·ha ⁻¹	→	0,83 mm·dt ⁻¹	tj. 8,3 m ³ ·dt ⁻¹
700 dt·ha ⁻¹	→	0,73 mm·dt ⁻¹	tj. 7,3 m ³ ·dt ⁻¹

Podobną reakcję roślin na wodę uzyskiwano na doświadczeniach z uprawą deszczowanych ziemniaków wczesnych [Nyc 1974]. Połowe zużycie wody (S) oraz jego termiczne (α) i higrometryczne (β) współczynniki, przy odpowiednich poziomach plonowania (Q) wynosiły:

$$Q = 125 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}, \quad S = 260 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,225 \text{ mm}/1^\circ \text{C}$$

$$\beta = 0,670 \text{ mm}/1 \text{ mb}$$

$$Q = 150 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}, \quad S = 280 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,241 \text{ mm}/1^\circ\text{C}$$

$$\beta = 0,726 \text{ mm}/1 \text{ mb}$$

$$Q = 175 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1}, \quad S = 302 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,258 \text{ mm}/1^\circ\text{C}$$

$$\beta = 0,782 \text{ mm}/1 \text{ mb}$$

Jednostkowe zużycie wody ($\frac{S}{Q}$) przez ziemniaki wczesne wyrażone w mm na 1 dt bulw, wydatnie malało jednocześnie ze wzrostem plonu (Q) (rys. 13), przyjmując wartości:

$$\begin{aligned} - \text{ przy plonie } Q = 125 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} &\longrightarrow \frac{S}{Q} = 2,17 \text{ mm} \\ - \text{ przy plonie } Q = 150 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} &\longrightarrow \frac{S}{Q} = 1,79 \text{ mm} \\ - \text{ przy plonie } Q = 175 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} &\longrightarrow \frac{S}{Q} = 1,52 \text{ mm} \\ - \text{ przy plonie } Q = 200 \text{ dt} \cdot \text{ha}^{-1} &\longrightarrow \frac{S}{Q} = 1,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

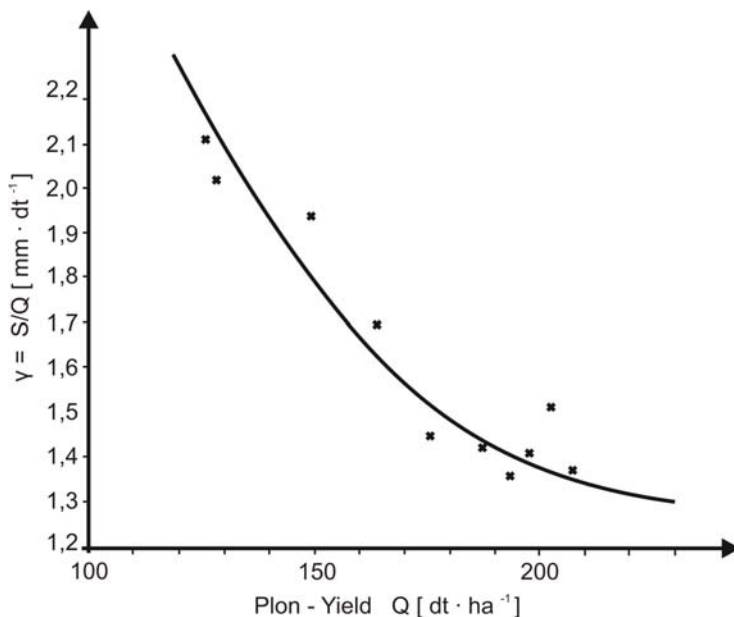
Wzrost plonu bulw ziemniaków wczesnych o 60% spowodował zmniejszenie jednostkowego zużycia wody o 35%.

Plonowanie ziemniaków wczesnych zależnie od przebiegu opadów i temperatury powietrza kształtowało się w granicach 120–175 dt · ha⁻¹ na stanowiskach nie deszczowanych oraz 202–227 dt · ha⁻¹ na deszczowanych. Nawadnianie koniczyny czerwonej spowodowało wzrost plonu siana z 40,4–46,7 dt · ha⁻¹, (średnio 43,55 dt · ha⁻¹) do 79,0–86,5 dt · ha⁻¹ (średnio 82,75 dt · ha⁻¹), czyli o 90% przy wzroście połowego zużycia wody tylko o 9%. Nawodnienie innych roślin płodozmianu warzywnego w warunkach produkcyjnych przyczyniało się do następującego wzrostu plonów:

- kapusta wczesna 25–30%
- kapusta śr. późna 25–66%
- kapusta włoska 20–67%
- kalafior wczesny 20–30%
- groszek konserwowy 20%
- ogórki wczesne 20%.

Prowadzenie nawodnień deszczownianych na uprawach płodozmianu warzywniczego w warunkach gleb średnio zwięzłych dawało istotne przyrosty plonu oraz poprawę jakości zarówno w latach przeciętnych, jak i suchych. Efekty nawodnienia zależały od wysokości niedoborów wodnych, wielkości dawek polewowych i terminów ich zastosowania, a także zabiegów agrotechnicznych poprawiających żyzność siedliska. W wyniku intensyfikacji produkcji polowej uzyskiwano oszczędniejszą gospodarkę wodną roślin wyrażającą się malejącym wskaźnikiem zużycia wody na jednostkę plonu. Potwierdziły to wyniki ścisłych badań polowych oraz pomiarów kontrolnych w warunkach produkcyjnych.

Uzyskanie zadowalających efektów plonowania w wyniku racjonalnego nawadniania, bez potrzeby stosowania zbyt wysokiego poziomu nawożenia mineralnego sprzyja także ochronie środowiska, a szczególnie zwiększeniu ilości i poprawie jakości dyspozycyjnych zasobów wodnych.



Rys. 13. Zależność jednostkowego zużycia wody $\left(\gamma = \frac{S}{Q}\right)$ od plonów Q ziemniaków wczesnych

Fig. 13. Relation of unit water consumption $\left(\gamma = \frac{S}{Q}\right)$ to early potato yields Q

3. Ocena niezawodności eksploatacyjnej deszczowni

Wprowadzenie deszczowni do nawodnień rolniczych wymaga szeregu dodatkowych zadań techniczno-organizacyjnych, które powinny zapewnić racjonalne jej wykorzystanie z optymalnym efektem ekonomicznym [Marcilonek 1970]. Aby inwestycja melioracyjna przyniosła wysoką efektywność, należy zmierzać do:

- właściwego rozpoznania potrzeb melioracji i optymalnych rozwiązań projektowych,
- minimalnych nakładów inwestycyjnych przy zachowaniu trwałości i wysokiej niezawodności eksploatacyjnej urządzeń,
- minimalizacji kosztów energetycznych przez odpowiedni wybór systemu nawadniającego oraz racjonalną eksploatację urządzeń,
- obniżenia kosztów obsługi, konserwacji i remontów,
- zagwarantowania wysokiego stopnia wykorzystania sprzętu deszczownianego przez dobrze przygotowaną i sprawnie działającą obsługę,
- włączenia do deszczowania upraw i roślin o wysokiej wartości przyrostu plonu.

Niezależnie od stopnia mechanizacji pracy urządzeń deszczownianych racjonalne i ekonomiczne wykorzystanie systemu melioracyjnego wymaga zagwarantowania ciągłości pracy urządzeń w czasie dnia roboczego. Potrzebna jest więc odpowiednia liczba zmianowych jednostek eksploatacyjnych lub poszczególnych urządzeń (np. rurowciągi, zraszacze itp.) jako tzw. rezerwa instalacyjna [Balcer 1983]. Rezerwa instalacyjna (50–100% rurowciągów) jest konieczna w przypadku ręcznego przemieszczania jednostek eksploatacyjnych.

W miarę wprowadzania mechanizacji z coraz większym udziałem automatyzacji urządzeń sterujących procesem nawadniania, rola urządzeń rezerwowych maleje, a nawet zanika [Przybyła, Fiedler 1992]. W osiągnięciu projektowanych celów gospodarczych przy wysokich efektach ekonomicznych coraz większe znaczenie ma niezawodność urządzeń, które powinny być w maksymalnym stopniu wykorzystywane w długoterminowym okresie użytkowania. Problem niezawodności eksploatacyjnej urządzeń technicznych powinien być podstawą analiz na etapie projektowania, budowy i eksploatacji. Urządzenia zawodne powodują wysokie koszty eksploatacji oraz straty wskutek powstających przerw w pracy [Marcilonek i in. 1990]. Przez niezawodność systemu deszczownianego rozumiemy jego zdolność do poprawnego wykonywania zadanych funkcji w wyznaczonym czasie i określonych warunkach eksploatacji. Na warunki eksploatacji deszczowni składa się praca łańcuchów działania (obsługiwanie i użytkowanie) wraz z otoczeniem modyfikującym kierunki działania.

Na niezawodność deszczowni składa się:

- bezawaryjność, czyli zdolność do utrzymania zdatności przez określony czas;
- trwałość, czyli zdolność do utrzymania zdatności w określonych warunkach użytkowania;
- naprawialność, czyli przysposobienie urządzeń do odnowy ich stanu zdatności poprzez usunięcie niesprawności.

Do ważniejszych charakterystyk stanu urządzeń lub systemu można zaliczyć:

- zdatność – stan obiektu, w którym ma on zdolność wykonywania wyznaczonych mu funkcji zgodnie z parametrami (normatywnymi) wyznaczonymi w dokumentacji technicznej;
- uszkodzenie – zdarzenie polegające na utracie przez obiekt zdatności do pracy (w systemie);
- sprawność – stan, przy którym system w danej chwili wypełnia normalnie wszystkie funkcje główne i drugorzędne;
- niesprawność – stan obiektu, w którym nie spełnia on chociażby jednego z wymagań dokumentacji technicznej, lecz jest zdolny do wykonywania z ograniczeniem wyznaczonych mu funkcji;
- niezdatność – stan obiektu, w którym nie jest on zdolny do spełniania wyznaczonych mu funkcji zgodnie z wymaganiami;
- usterki – są niesprawnością drugiego rzędu, powodujące pogorszenie normalnego stanu urządzenia, które nie wpływa na wypełnianie głównych funkcji;
- stan graniczny urządzenia określony jest niemożliwością techniczną lub niecelowością techniczną albo niecelowością ekonomiczną dalszej eksploatacji w systemie;
- resurs techniczny – łączny czas pracy netto systemu za cały okres jego służby do pełnego fizycznego zużycia;
- okres gwarancyjny – przedział czasu kalendarzowego, w ciągu którego wytwórca obiektu gwarantuje i zapewnia spełnianie przez obiekt określonych wymagań pod warunkiem przestrzegania przez użytkownika ustalonych w dokumentacji technicznej zasad eksploatacji (użytkowania, obsługi i przechowywania);
- okres rękojmi – przedział czasu kalendarzowego, w którym wytwórca obiektu gwarantuje nie ujawnianie się w nich wad ukrytych. Pojawiające się w tym okresie eksploatacji wady ukryte, udowodnione jako wina wytwórcy, zostaną z niego usunięte;
- okres eksploatacji – przedział czasu kalendarzowego lub przedział przebiegu kilometrów urządzenia, do chwili osiągnięcia przez niego stanu granicznego, w danym systemie eksploatacji.

Celowość przeprowadzania oceny niezawodności funkcjonowania deszczowni wynika z konieczności:

- optymalizacji prac remontowo-konserwacyjnych dla zapewnienia sprawności i trwałości oraz zmniejszenia tempa dekapitalizacji urządzeń;
- określenia kierunków modernizacji systemu deszczownianego z uwzględnieniem potrzeb ochrony środowiska;
- usprawnienia zasad użytkowania deszczowni dla uzyskania wysokiej produktywności wody siedlisk nawadnianych, minimalizacji kosztów produkcji rolniczej oraz ochrony gleb przed degradacją.

Niezawodność systemu zależy od niezawodności składowych elementów. Prawdopodobieństwo zdatności do sprawnej pracy $R_{(t)}$ oznacza prawdopodobieństwo tego, że system zachowa normalną zdolność do pracy w określonym czasie „t” w danych warunkach eksploatacji, tj. w danym przedziale czasu, w danym reżimie i warunkach eksploatacji nie nastąpi ani jeden defekt:

$$R_{(t)} = R(T > t),$$

gdzie: T – czas nieprzerwanej, niezawodnej pracy.

- Statystyczna ocena prawdopodobieństwa zdolności do sprawnej pracy może być określona na podstawie wyrażenia:

$$\bar{R}_{(t)} = \frac{N_o - n_{(t)}}{N_o}$$

gdzie: N_o – liczba elementów na początku badań, $n_{(t)}$ – liczba uszkodzonych elementów w czasie t .

- Prawdopodobieństwo niezdatności można wyrazić równaniem:

$$\bar{Q}_{(t)} = R(T \leq t);$$

$$\bar{Q}_{(t)} = \frac{n_{(t)}}{N_o}; \quad \bar{Q}_{(t)} = 1 - R_{(t)}.$$

Dla dowolnego przedziału czasu t

$$R_{(t)} + Q_{(t)} = 1$$

prawdopodobieństwo zdatności + prawdopodobieństwo niezdatności = 1

- Częstość niezdatności można określić z równania:

$$\bar{\alpha}_{(t)} = \frac{n(\Delta t)}{N_o \cdot \Delta t},$$

gdzie: $n_{(\Delta t)}$ – liczba uszkodzonych elementów w przedziale czasu od $t - \frac{\Delta t}{2}$ do $t + \frac{\Delta t}{2}$.

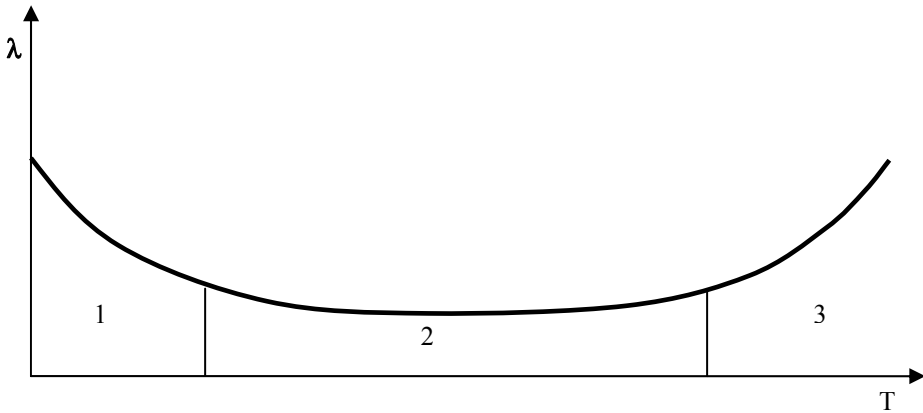
- Intensywność uszkodzenia określa wyrażenie:

$$\lambda_{(t)} = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{sr}} \cdot \Delta t},$$

gdzie: $N_{\text{sr}} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$, średnia liczba sprawnie pracujących elementów w przedziale

czasu Δt , N_i – liczba elementów sprawnie pracujących na początku przedziału czasu Δt , N_{i+1} – liczba elementów sprawnie pracujących na końcu przedziału czasu Δt .

Intensywność uszkodzeń w dużym stopniu zależy od początkowej i końcowej fazy eksploatacji. Typową krzywą zależności intensywności uszkodzeń elementów systemu λ od czasu T obrazuje rysunek 14.



Rys. 14. Intensywność uszkodzeń urządzenia λ w czasie T : 1 – okres początkowy pracy (spadek wartości $\lambda_{(t)}$), 2 – okres normalnej pracy urządzenia, 3 – okres końcowy eksploatacji (wzrost wartości $\lambda_{(t)}$)

Fig. 14. Device damage/failure rate λ in time T : 1 – initial period of operation (decrease in value of $\lambda_{(t)}$), 2 – normal operation period of device, 3 – final period of operation (increase in value of $\lambda_{(t)}$)

Niezawodność systemu obiektów występujących w inżynierii środowiska można podnosić przez:

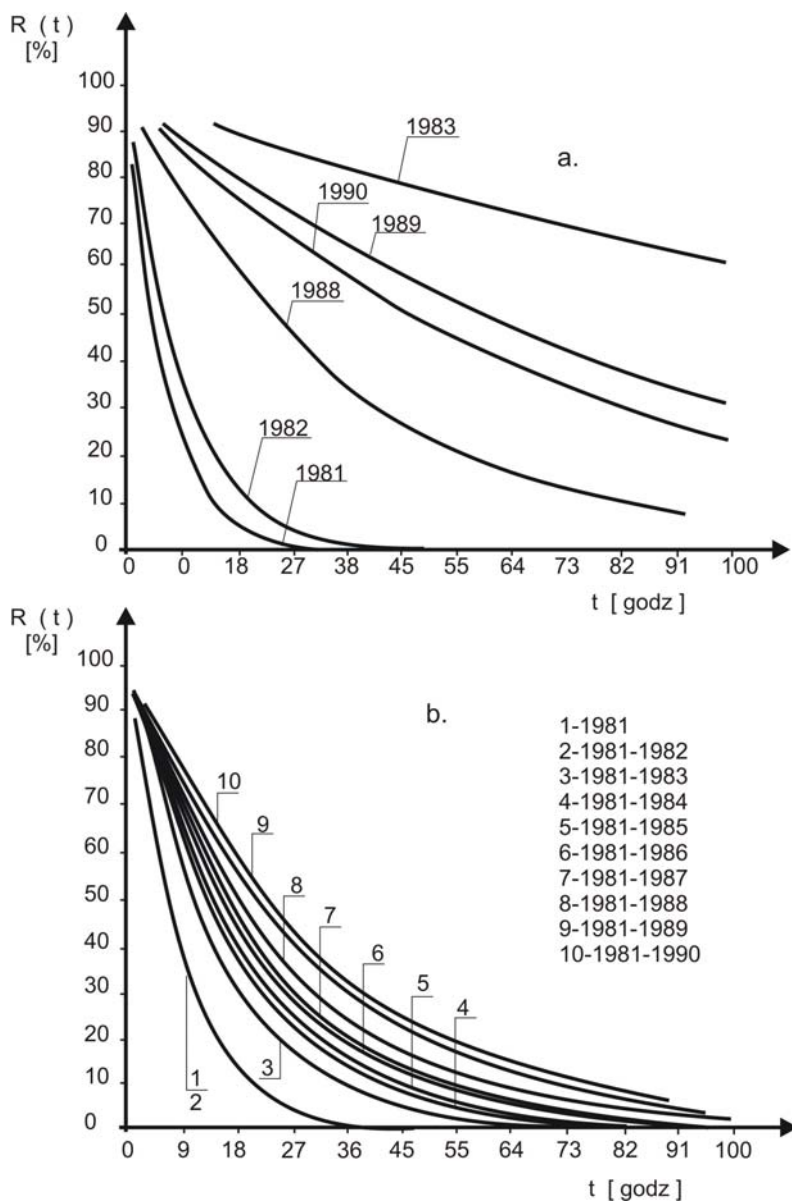
- przeprowadzenie uprzednich badań procesów eksploatacyjnych urządzeń i systemów ukierunkowanych na ocenę ich niezawodności,
- stosowanie odpowiednio wysokiej jakości materiałów,
- unifikację rozwiązań elementów systemu,
- dublowanie elementów szczególnie zagrożonych,
- stosowanie sieci zamkniętych w rurociągach ciśnieniowych i odpowiednie ich wyposażenie w urządzenia zabezpieczające i sterujące,
- racjonalne użytkowanie i prawidłową obsługę urządzeń.

Jeżeli przy projektowaniu systemu przyjęte środki do podniesienia niezawodności nie pozwalają uzyskać pożądanej niezawodności, stosowane jest rezerwowanie, czyli dodatkowe, dublowane elementy. W systemie deszczowni półstałej stosuje się rurociągi podziemne w układzie zamkniętym (pierścieniowym). Przy przejściach rurociągu podziemnego deszczowni w miejscach szczególnie zagrożonych uszkodzeniem (pod rzekami, drogami, przejazdami kolejowymi i innymi) stosujemy dublowanie rurociągu. Rozwiązania takie, szczególnie przydatne w przypadku awarii rurociągu, zwiększają niezawodność systemu deszczownianego.

W badaniach prowadzonych w latach 1986–1990 na 3 obiektach z deszczownią półstałą (Piaśtów, Swojec, Szewce) koło Wrocławia, niezawodność eksploatacyjną desz-

czowni charakteryzowano intensywnością strumienia uszkodzeń, przebiegiem procesu użytkowania między uszkodzeniami, czasem postoju w stanie niezdatności, a przede wszystkim zdolnością urządzenia do sprawnego funkcjonowania w określonych warunkach eksploatacji i w określonym czasie [Nyc 1992]. Wielkości, okres eksploatacji oraz przeznaczenie obiektów były różne. Deszczownia Piastów o pow. 27 ha eksploatowana była od 1969 r. dla produkcji warzywniczej. Deszczownia Swojec, o pow. 163 ha upraw polowych działa od 1981 r., obiekt Szewce o pow. 315 ha od 1973 r., wykorzystywany był do nawodnień (zwilżających, nawożących i oczyszczających) użytków zielonych ściekami komunalnymi. Woda do nawodnień pobierana była z rzeki dla obiektów Piastów i Swojec oraz z kanalizacji wstępnie oczyszczonych ścieków komunalnych w Szewcach. Sieć podziemną stanowią rurociągi azbestowo-cementowe w układzie pierścieniowym – zamkniętym na obiektach Swojec (6192 m) i Szewce (14500 m) oraz w układzie otwartym w Piastowie (1870 m). Sieć deszczownianą powierzchniową stanowią rurociągi stalowe ocynkowane i aluminiowe – przemieszczane ręcznie, a także rurociągi przetaczane.

Badania niezawodności deszczowni prowadzono w rzeczywistych warunkach eksploatacji obiektów [Marcilonek i in. 1990]. Niezawodność eksploatacyjną deszczowni określono, posługując się równaniem wykładniczym typu $R_{(t)} = e^{-\lambda t}$, gdzie λ jest średnią intensywnością awarii w określonym czasie t . Wskaźnikiem niezbędnym do oceny niezawodności eksploatacyjnej deszczowni jest intensywność uszkodzeń podstawowych urządzeń systemu deszczownianego. W badaniach [Marcilonek i in. 1992] poddano analizie niezawodność systemu rozumianego jako szeregowy układ: pompowania (p) – sieć rurociągów podziemnych (r) – hydranty (h). W takim układzie intensywność uszkodzeń deszczowni λ stanowi sumę intensywności uszkodzeń pompowni (λ_p), rurociągów podziemnych (λ_r) i hydrantów (λ_h). Najwyższy wskaźnik intensywności awarii występował na najdłużej eksploatowanym obiekcie Piastów (18 lat) $\lambda = 0,282$. Na obiekcie Szewce po 14 latach eksploatacji awaryjność była najmniejsza $\lambda = 0,0088$, natomiast na obiekcie Swojec (11 lat użytkowania) stwierdzono, że najwyższa intensywność awarii występowała w pierwszym i drugim roku eksploatacji, gdzie $\lambda = 0,1166$ i $0,1159$. Charakter awarii świadczył o dużej ilości usterek w czasie budowy deszczowni (Swojec). W późniejszym okresie (Piastów i Szewce) awarie wynikają ze starzenia się elementów obiektu. W przypadku rozdeszczowywania ścieków proces ten jest nieco przyspieszony i najsęcej dotyczył nieszczelności rurociągów podziemnych w wyniku korozji śrub złącza typu Gibault. Po 15–18 latach eksploatacji pojawiają się awarie pompowni oraz rurociągów podziemnych. Wykorzystywanie deszczowni było stosunkowo niskie i przeciętnie wynosiło 15 w Swojcu, 54 w Piastowie i 85% w Szewcach. Na wszystkich obiektach poddanych analizie w latach lepszego wykorzystania deszczowni intensywność awarii była najmniejsza. Na rysunku 15 przedstawiono niezawodność $R_{(t)}$ dla deszczowni Swojec w poszczególnych latach występowania awarii (rys. 15a) oraz jako wartość średnią wieloletnią w kolejnych latach użytkowania obiektu (rys. 15b).



Rys. 15. Niezawodność $R(t)$ deszczowni Swojec: a – w latach występowania awarii, b – średnio w wieloletciu

Fig. 15. Reliability of the sprinkler irrigation system $R(t)$ Swojec: a – in years of system's damage, b – average in many years

Ocenę zdadności użytkowej rurociągu podziemnego deszczowni dokonywano, wprowadzając pojęcie niezdadności okresowej pewnego odcinka sieci wg zależności:

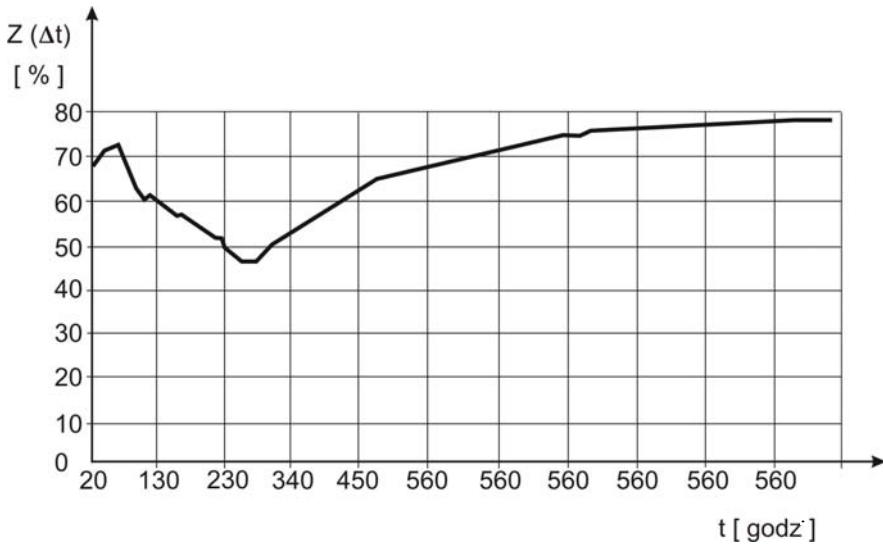
$$N_{\Delta t} = \frac{\Delta r}{r}, \text{ gdzie } \Delta r \text{ oznacza długość wyłączzonego odcinka sieci, } r \text{ – długość całej sieci}$$

rurociągów podziemnych, Δt – okres użytkowania, w którym długość uszkodzonego odcinka sieci jest stała. Zdadnością okresową sieci w przedziale Δt nazwano wyrażenie: $Z_{\Delta t} = 1 - N_{\Delta t}$

$$\text{Zdadność rurociągu } Z_{(\Delta t)} \text{ opisuje wyrażenie: } Z_{(\Delta t)} = \frac{\sum Z_{\Delta t} \cdot \Delta t}{\sum \Delta t} \cdot \frac{\Delta t \in IR}{\Delta t}$$

Symbolem IR oznaczono rozkład przedziału Δt .

Przedstawiony na rysunku 16 przebieg średniej zdadności użytkowej rurociągu deszczownianego na obiekcie Swojec w okresie eksploatacji 1981–1990 wykazuje, że po 50 godzinach pracy obiektu następowało dość szybkie obniżenie się wskaźnika zdadności. Ponowny jego wzrost pojawił się po 280 godzinach (po usunięciu usterek powykonawczych). Był on początkowo szybki, a po 474 godzinach i osiągnięciu zdadności na poziomie 65%, coraz wolniejszy. Po przekroczeniu 720 godzin eksploatacji zdadność rurociągu była już wyższa jak w pierwszych godzinach eksploatacji (73%). Ocena niezawodności eksploatacyjnej deszczowni oraz zdadności użytkowej jej elementów stanowi podstawę do podejmowania działań w zakresie doskonalenia procesu projektowania i zasad eksploatacji urządzeń.



Rys. 16. Zdadność rurociągu poziomego $Z_{(\Delta t)}$ w czasie t użytkowania deszczowni Swojec
 Fig. 16. Operating condition of underground pipeline $Z_{(\Delta t)}$ in time t of operation of the Swojec sprinkler irrigation system

Badania niezawodności deszczowni wykazały, że:

- największa intensywność awarii występowała w pierwszych dwóch latach eksploatacji systemu. Ich podstawową przyczyną były usterki wykonawcze (szczególnie rurociągów podziemnych). Ponowny wzrost intensywności awarii występował po 16–18 latach eksploatacji, w wyniku fizycznego zużycia się elementów deszczowni;
- obiekty lepiej eksploatowane posiadały wyższe wskaźniki niezawodności;
- zastosowanie pierścieniowego układu rurociągów podziemnych z zasuwami odcinającymi dopływ wody zwiększało zdolność eksploatacyjną deszczowni;
- warunkiem wprowadzenia deszczowni, poza ograniczeniami technicznymi, hydrologicznymi i ekonomicznymi, powinno być odpowiednie przygotowanie techniczno-organizacyjne użytkownika, celem przyjęcia zadań związanych z eksploatacją deszczowni w zakresie użytkowania i obsługi urządzeń oraz prowadzenia racjonalnego kierunku produkcji rolniczej.

Część II

Doskonalenie metod nawadniania w rolnictwie

Krzysztof Nyc, Ryszard Pokładek



Fot. 3. Stanowisko badawcze gospodarki wodnej gleby nawadnianej kroplowo (str. lewa) w Samotworze; szczegół rurociągu z kroplownikiem (str. prawa)

Phot. 3. Research place of with soil drop irrigation (left p.) in Samotwór district, pipeline with droplets doseur (right p.)



Fot. 4. Urządzenie do regulowania odpływu w Miękinia
Phot. 4. Device for regulating the outflow in Miękinia Town

4. Efekty eksploatacji nawodnienia kropowego w sadzie

Nawodnienie kropowe, zaliczane do grupy mikronawodnień, umożliwia prowadzenie oszczędnej gospodarki wodą i składnikami pokarmowymi z zachowaniem równowagi pomiędzy dystrybucją z systemu, a konsumpcją przez rośliny. Stwarza to warunki sprzyjające optymalnemu zużyciu wody i nawozów. Taki system nawadniający staje się wysoce zasobooszczędny z zachowaniem również wysokiego potencjału plonotwórczego.

W latach 2004–2007 przeprowadzono badania gospodarki wodnej gleb nawadnianych systemem kropowym w sadzie doświadczalnym Akademii Rolniczej (obecnie Uniwersytetu Przyrodniczego) we Wrocławiu. Obiekt badań położony jest w Samotworze, 20 km od centrum Wrocławia, w dolinie rzeki Bystrzycy. Doświadczenie zlokalizowano na jednej z kwater sadu jabłoniowego odmiany Gloster na podkładce vegetatywnej półkarłowej M26. Drzewa posadzono w rozstawie $3,5 \times 1,2$ m. Przy każdym drzewie w odległości 30 cm od pnia zlokalizowano jeden emiter kropel. W badaniach zastosowano trzy warianty nawodnieniowe:

- W0 – kontrolny (bez nawodnienia),
- W1 – nawadniany przy poziomie uwilgotnienia gleby – 0,01 MPa potencjału wodnego,
- W2 – nawadniany przy wystąpieniu uwilgotnienia gleby – 0,03 MPa potencjału wodnego.

Dla sporządzania bilansów wodnych profilu glebowego minimum raz w tygodniu mierzono uwilgotnienia gleby metodą dielektryczną TDR. Pomiary wilgotności gleby wykonywano w czterech pionach odległych od emitera kropel o 0, 20, 40 i 60 cm, na pięciu głębokościach: 5, 25, 50, 75 i 100 cm, a w wariancie W2 dodatkowo w pionie emitera na głębokości 125 cm. W okresie realizacji nawodnień, wilgotność profili glebowych mierzono w następującym cyklu:

- bezpośrednio przed rozpoczęciem nawodnienia,
- co godzinę w trakcie wprowadzania dawki polewowej,
- 24 godziny po zakończeniu nawodnienia,
- raz w roku przez pięć kolejnych dni po zakończeniu procesu nawodnienia kontrolowano ubytek wody w profilu glebowym.

Poziom wody gruntowych mierzono raz w tygodniu okresu wegetacyjnego oraz raz w miesiącu w okresie pozawegetacyjnym. Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej utrzymywała się na poziomie 3,5–4,0 m p.p.t. Dodatkowa kontrola uwilgotnienia gleby poprzez pomiar siły ssącej przy użyciu tensjometru, sondą umieszczoną na głębokości 30 cm i w odległości 30 cm od pnia drzewa była podstawą ustalania terminów przeprowadzania nawodnienia kropowego na stanowiskach doświadczalnych wg wariantu W1 i W2. Wysokość opadu naturalnego mierzono deszczomierzem Helmana zainstalowanym na obiekcie badań. Były one weryfikowane z pomiarami na sąsiedniej

stacji IMGW Wrocław-Strachowice, odległej około 2 km od stanowiska doświadczalnego. Gleby w sadzie Samowtór zaliczane są do klasy bonitacyjnej IIIa. Są to gleby płowe wytworzone z gliny lekkiej słabo spiaszczonej, pylastej. W podłożu występuje glina lekka (tab. 7).

Tabela 7
Table 7

Skład mechaniczny oraz charakterystyczne stany uwilgotnienia gleby na stanowiskach doświadczania W0, W1, W2
Grain size distribution and characteristic soil moisture conditions at experimental stations W0, W1, W2

Wariant doświadczania Experimental variant	Warstwa gleby Soil layer	Fracje gleby w % Soil fractions, %			Stan uwilgotnienia w % obj. Moisture content, % vol.		
		piaszczysta sandy	pylista silty	części spławialne washable particles	PPW	POS	PTW
W0	0–35	33	35	32	29	17	4
	35–75	27	42	31	29	17	5
	75–150	46	26	28	27	16	6
W1	0–25	38	31	31	28	17	4
	25–40	38	24	38	30	18	5
	40–150	43	22	36	29	18	4
W2	0–30	39	31	30	29	17	4
	30–105	40	30	30	31	19	4
	105–150	71	8	21	23	14	4

Dla warunków glebowych obiektów badań ustalono eksperymentalnie optymalną dawkę polewową jednego emitera kropel w wysokości 18 litrów na drzewo, które zajmowało przeciętną powierzchnię 4,2 m² sadu. Do roku 2005 stosowano emiterzy kropel o natężeniu wypływu wody 4,5 dm³h⁻¹ i czasie zwilżania gleby 4 godziny. W 2006 r. eksperymentalnie wprowadzono emiterzy o natężeniu wypływu 8 dm³h⁻¹, przez co skrócono czas nawadniania do 2 godzin i 15 minut. Konsekwencją takiego działania było spływanie głębokości zwilżania gleby i dostosowania jej do głębokości zalegania głównej masy korzeniowej drzew, określoną przez sadowników na ok. 50–60 cm. Według badań Sokalskiej głębokość ta mogła wynosić nawet 40 cm [Sokalska, Nyc 2007; Nyc, Sokalska 2008].

Dla gleb obiektu badań określono charakterystyczne stany pojemności wodnej:

- połowa pojemność wodna (PPW) przy sile ssącej gleby pF = 2,0 – traktowana jako maksymalna ilość wody kapilarnej;
- pojemność okresu suszy (POS) – jako minimalny zapas wody gwarantujący prawidłowy rozwój roślin przy sile ssącej gleby pF = 3,0;
- punkt trwałego wędnięcia (PTW) określony przy sile ssącej gleby pF = 4,2.

Zasoby wody kapilarnej wyznaczone między stanami retencji PPW i POS zapewniały prawidłowe zaopatrzenie roślin w wodę. Ich niedobór uzupełniano odpowiednią ilością dawek nawodnienia.

Okresowe sumy opadów na obiekcie Samotwór w latach prowadzonych doświadczeń nad efektami nawodnień kropkowych sadu (2004–2007), na tle danych z minionego 50-lecia wskazują na ich istotne zróżnicowanie szczególnie w miesiącach okresu wegetacyjnego (tab. 8).

Tabela 8
Table 8

Okresowe sumy opadów (P mm) wg stacji IMGW Wrocław-Strachowice
Seasonal sums of precipitations (P mm) acc. to IMGW Wrocław-Strachowice station

Lata Years	Okres wegetacyjny – Vegetation period						IV–IX		I–XII
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	mm	%	mm
1950–1999	38	58	73	88	68	47	372	100	562
2004	18	35	45	58	55	18	229	62	446
2005	26	104	32	105	66	22	355	95	562
2006	47	21	67	23	229	21	408	110	630
2007	5	52	95	97	47	45	341	92	562

Zastosowana ilość dawek nawadniających na odpowiednich stanowiskach wariantu W1 i W2 wynosiła:

- w 2004 r. W1 = 22, W2 = 7
- w 2005 r. W1 = 12, W2 = 5
- w 2006 r. W1 = 17, W2 = 9

Sporządzanie systematycznych bilansów wodnych gleb pozwoliło określić wartości polowego zużycia wody przez drzewa jabłoni w warunkach naturalnej gospodarki wodnej (W0) oraz przy zastosowaniu nawodnienia kropkowego (W1 i W2) [Przybyła, Kozańczyk 2004].

Obliczenia polowego zużycia wody (S) wykonano z zależności:

$$S = Z_p + P + D - Z_k$$

gdzie: S – polowe zużycie wody (mm), Z_p i Z_k – zapas wody na początku i końcu okresu bilansowania (mm), P – suma opadów atmosferycznych w okresie bilansowania (mm), D – suma dawek nawadniania w okresie bilansowania (mm).

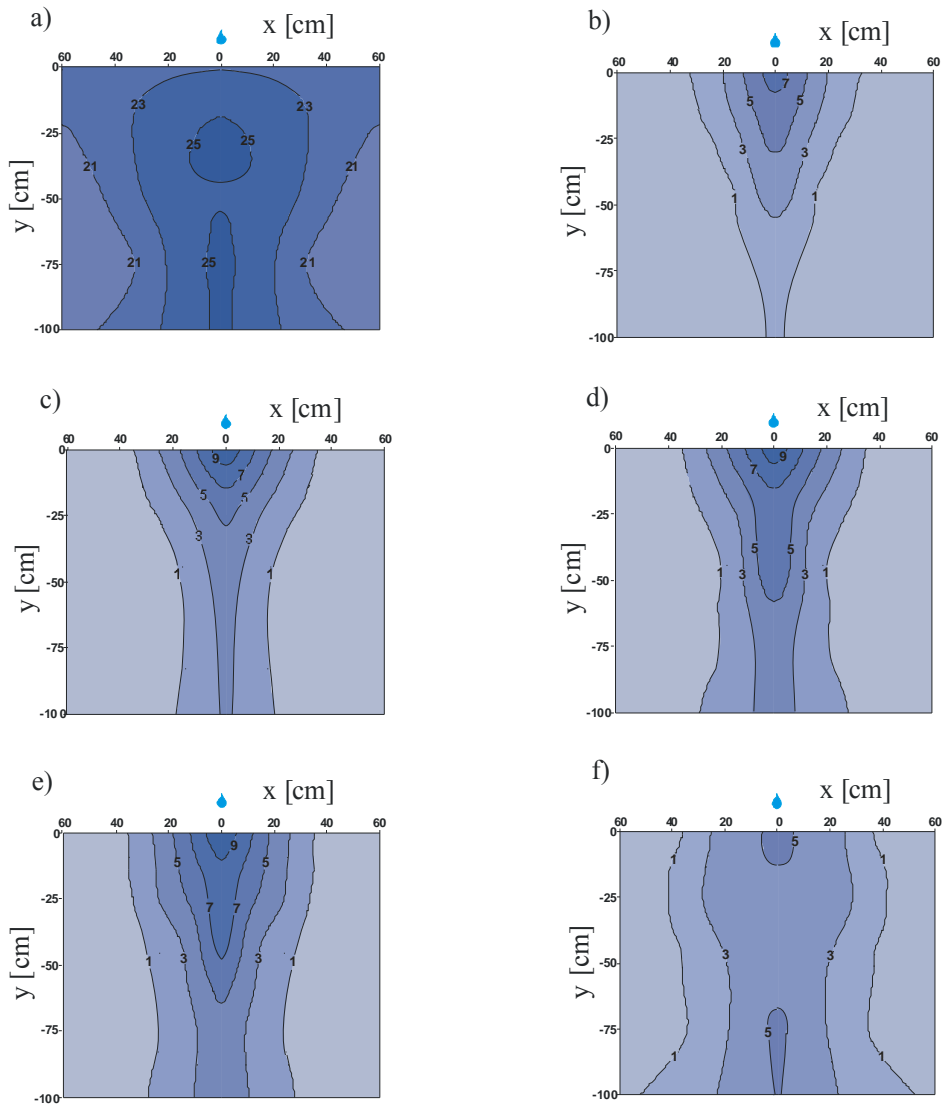
W niniejszej pracy (dla warunków dużego zagęszczenia drzew na plantacji nawadnianej) dawkę polewową „D” z emitera kropel (w litrach) odniesiono do powierzchni przypadającej na przeciętne drzewo, uzyskując wskaźnik nawodnienia w mm. Otrzymane w wyżej zaprezentowanych warunkach ilości dostarczonej wody pozwoliły na określenie wartości „polowego zużycia wody” drzewa jabłoni, jako najbardziej zbliżonej do ewapotranspiracji rzeczywistej (tab. 9).

Tabela 9
Table 9

Polowe zużycie wody (S mm) 12–15-letniego drzewa jabłoni (półkarłowej)
Field water consumption (S mm) of 12–15-year old apple tree (semi-dwarf)

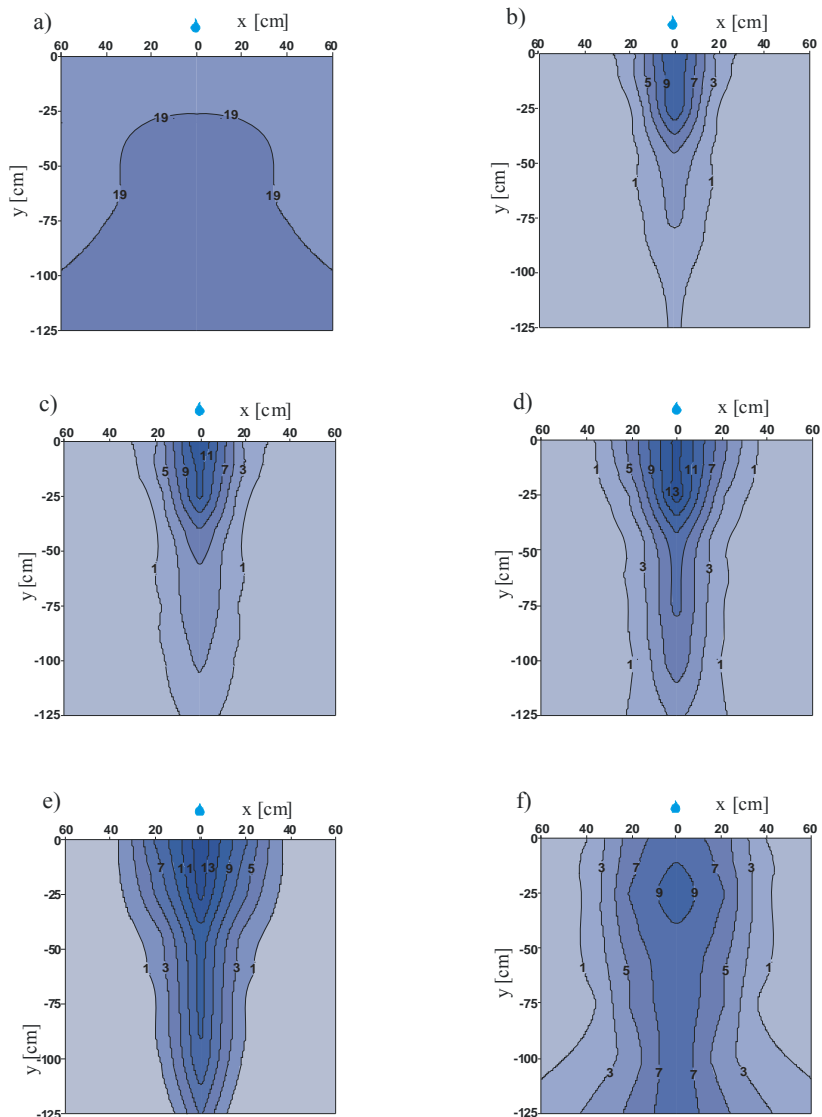
Wariant wodny Aqueous variant	Rok Year	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
W0	2004	30	40	50	70	65	65	320
	2004	30	65	85	95	95	90	460
	2006	70	80	85	95	110	70	510
	2007	75	80	80	85	80	80	480
W1	2004	30	45	80	95	85	65	400
	2005	30	65	90	105	120	110	520
	2006	70	80	90	120	130	80	570
W2	2004	30	40	50	70	75	70	335
	2005	30	65	90	100	95	90	470
	2006	70	80	85	100	125	80	540

Analiza wartości polowego zużycia wody (S) na stanowisku kontrolnym W0 w poszczególnych latach badań wykazała ich zróżnicowanie w zależności od kształtowania się opadów atmosferycznych. W suchym okresie wegetacyjnym 2004 r. na stanowisku nie nawadnianym (W0) zużycie wody było najniższe (320 mm). W latach 2005 i 2007 kształtowało się na przeciętnym poziomie 460 i 480 mm, a w roku 2006 (o najwyższych opadach okresu wegetacyjnego) polowe zużycie wody wzrosło do 510 mm. Na stanowiskach nawadnianych sezonowe wartości polowego zużycia wody były największe w wariacie W1 – stwarzającym warunki intensywnego nawodnienia (400–570 mm). Drzewa nawadniane w wariacie ekonomicznym W2 zużywały od 335 mm (2004 r.) do 540 mm (2006 r.). Należy nadmienić, że zbyt mała intensywność wypływu wody z emiterów ($4,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) stosowanych do 2005 r., w warunkach glebowych sadu doświadczalnego, powodowała zbyt głębokie wsiąkanie wody do profilu glebowego, (ponad 100 cm), nie dając możliwości pełnego jej wykorzystania przy znacznie płytszym systemie korzeniowym drzew (rys. 17 i 18). Po wprowadzeniu w 2006 r. emitera o znacznie większej intensywności wypływu wody ($8 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) głębokość wsiąkania wody się zmniejszyła, a obszar gleby nawadnianej lepiej pokrywał się z zasięgiem korzeni. Zmniejszono przy tym polowe zużycie wody, szczególnie w wariacie oszczędnym W2 (rys. 19 i 20). O efektach nawodnienia kropłowego jabłoni świadczy uzyskany plon (tab. 10).



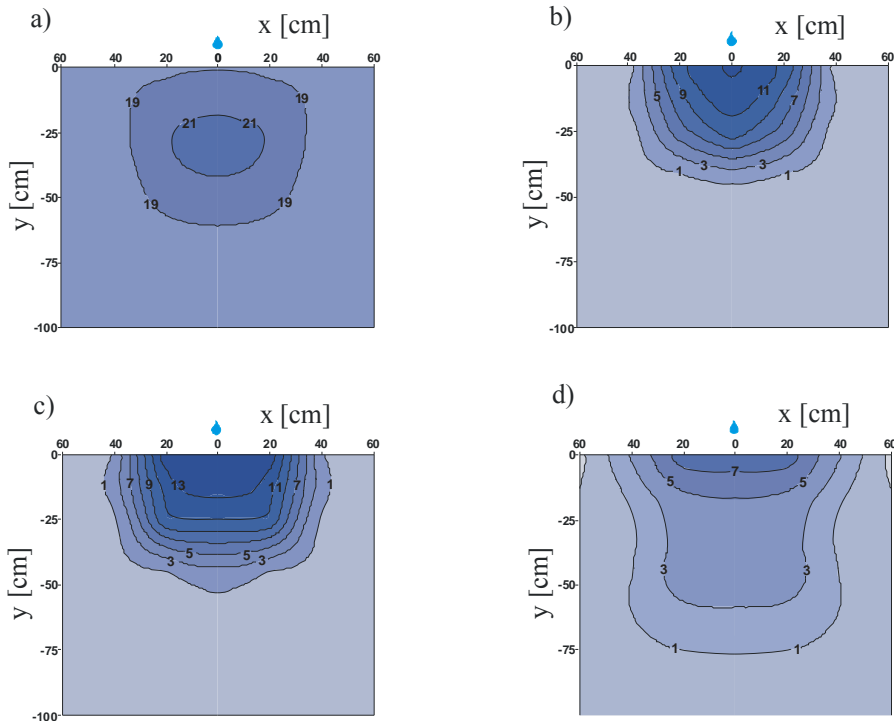
Rys. 17. Wilgotność gleby [%_{obj}] dn. 26.07.2005 r. wariant W₁ (-0,01 MPa), emiter $q = 4,5 \text{ dm}^3 \times \text{h}^{-1}$:
 a) – uwilgotnienie przed rozpoczęciem nawodnienia; b, c, d, e oraz f) – przyrost uwilgotnienia po pierwszej, drugiej, trzeciej i czwartej godzinie trwania nawodnienia oraz po 24 godzinach od zakończenia nawodnienia; x – odległość od emitera [cm]; y – głębokość profilu [cm]

Fig. 17. Soil moisture [%_{vol}] on 26 July 2005; variant W₁ (-0.01 MPa), emitter $q = 4.5 \text{ dm}^3 \times \text{h}^{-1}$
 a) – moisture level prior to start of irrigation; b, c, d, e and f) – moisture increments after the first, second, third and fourth hours of irrigation and after 24 hours from end of irrigation; x – distance from emitter [cm]; profile depth [cm]



Rys. 18. Wilgotność gleby [%_{obj}] dn. 29.07.2005 r. wariant W₂ (-0,03 MPa), emiter $q = 4,5 \text{ dm}^3 \times \text{h}^{-1}$:
 a) – uwilgotnienie przed rozpoczęciem nawodnienia; b, c, d, e oraz f) – przyrost uwilgotnienia po pierwszej, drugiej, trzeciej i czwartej godzinie trwania nawodnienia oraz po 24 godzinach od zakończenia nawodnienia; x – odległość od emitera [cm]; y – głębokość profilu [cm]

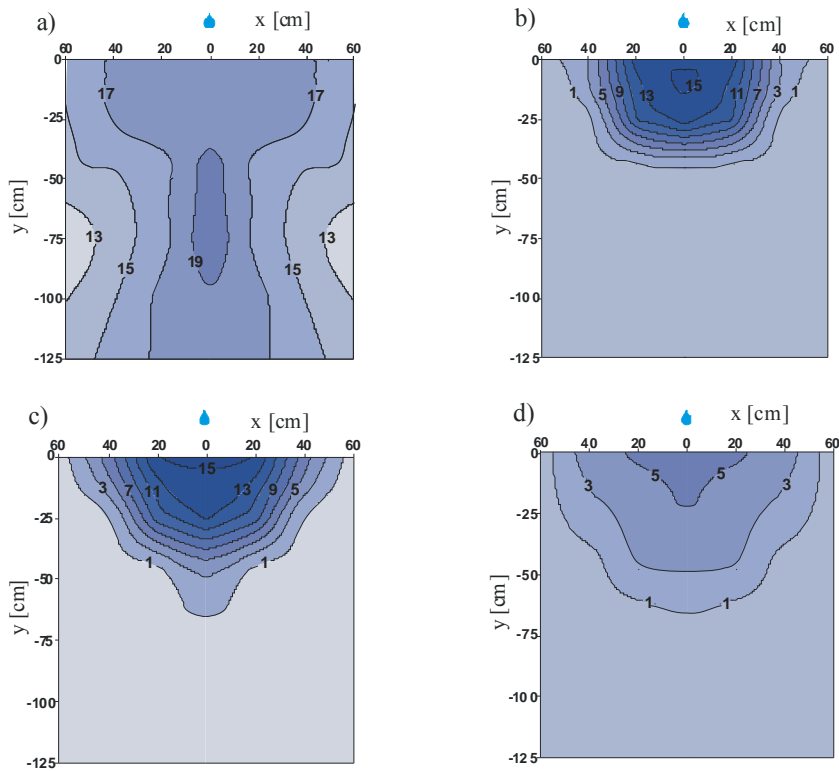
Fig. 18. Soil moisture [%_{vol}] on 29 July 2005; variant W₂ (-0.03 MPa), emitter $q = 4.5 \text{ dm}^3 \times \text{h}^{-1}$
 a) – moisture level prior to start of irrigation; b, c, d, e and f) – moisture increments after the first, second, third and fourth hours of irrigation and after 24 hours from end of irrigation; x – distance from emitter [cm]; profile depth [cm]



Rys. 19. Wilgotność gleby [%_{obj}] dn. 12.07.2005 r. wariant W₁ (-0,01 MPa), emiter $q = 8\text{dm}^3 \times \text{h}^{-1}$:
 a) – uwilgotnienie przed rozpoczęciem nawodnienia; b, c oraz d) – przyrost uwilgotnienia po pierwszej i drugiej godzinie trwania nawodnienia oraz po 24 godzinach od zakończenia nawodnienia; x – odległość od emitera [cm]; y – głębokość profilu [cm]

Fig. 19. Soil moisture [%_{vol}] on 12 July 2005; variant W₁ (-0.01 MPa), emitter $q = 4.5\text{dm}^3 \times \text{h}^{-1}$
 a) – moisture level prior to start of irrigation; b, c and d) – moisture increments after the first and second hours of irrigation and after 24 hours from end of irrigation; x – distance from emitter [cm]; profile depth [cm]

Wprowadzenie nawodnienia kropkowego zwiększyło plonowanie jabłoni przeciętnie od 35,4 do 58,5% zależnie od sposobu eksploatacji systemu. Rozpoczęcie nawadniania według wariantu W1, czyli wskazaniach tensometru – 0,01 MPa potencjału wodnego odpowiadającemu uwilgotnieniu gleby 24% obj. (ok. 85% PPW) dawało mniejsze przyrosty plonu przy większym zużyciu wody. Nawadnianie wg wariantu W2, czyli przy wskazaniu tensometru – 0,03 MPa potencjału wodnego, który odpowiada wilgotności gleby 18% obj. (ok. 60% PPW) dawało znacznie większe przyrosty plonu przy mniejszej (jak w wariantcie W1) ilości realizowanych nawodnień (wariant optymalny). Efektem zastosowania nawodnienia kropkowego w sadzie jabłoniowym było również zmniejszenie zużycia wody na produkcję jednostki plonu.



Rys. 20. Wilgotność gleby [%_{obj}] dn. 27.07.2006 r. wariant W₂ (-0,03 MPa), emiter q = 8 dm³×h⁻¹:
 a) – uwilgotnienie przed rozpoczęciem nawodnienia; b, c oraz d) – przyrost uwilgotnienia po pierwszej i drugiej godzinie trwania nawodnienia oraz po 24 godzinach od zakończenia nawodnienia; x – odległość od emitera [cm]; y – głębokość profilu [cm]

Fig. 20. Soil moisture [%_{vol}] on 27 July 2005; variant W₂ (-0.03 MPa), emitter q = 4.5 dm³×h⁻¹
 a) – moisture level prior to start of irrigation; b, c and d) – moisture increments after the first and second hours of irrigation and after 24 hours from end of irrigation; x – distance from emitter [cm]; profile depth [cm]

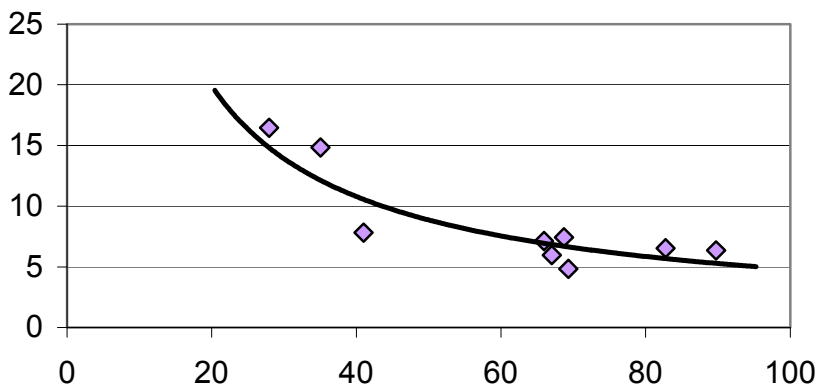
Tabela 10
 Table 10

Plonowanie jabłoni na stanowiskach W0, W1, W2
 Apple tree yields at experimental stations W0, W1, W2

Rok Year	Plon – Yield w t × ha ⁻¹			Wzrost plonu – Increase in the yield			
	W0	W1	W2	W1		W2	
				t × ha ⁻¹	%	t × ha ⁻¹	%
2004	40,977	67,013	69,335	26,036	63,5	28,358	69,2
2005	27,922	29,574	65,966	1,652	5,9	38,044	136,2
2006	68,704	89,752	82,752	21,048	30,6	14,048	20,4
Średnio Mean	45,868	62,113	72,684	16,245	35,4	26,816	58.5

Jak wynika z rysunku 21 przy plonie sadu jabłoni 900 dt ha^{-1} połowe zużycie wody przypadające na jednostkę plonu wynosi 5 mm , natomiast przy plonowaniu 280 dt ha^{-1} było trzykrotnie wyższe.

Przeprowadzone doświadczenia połowe wyraźnie wskazały, że zastosowanie nawodnienia kropłowego do eliminowania niedoborów wodnych w warunkach klimatu obszarów nizinnych Dolnego Śląska jest skutecznym i zasobooszczędnym środkiem intensyfikacji produkcji sadowniczej [Jeznach 1996]. Wymaga jednak przestrzegania odpowiednich zasad eksploatacji systemu, szczególnie w zakresie doboru wysokości dawki nawodnienia i sposobu jej wprowadzania do profilu glebowego (dostosowanie intensywności wypływu wody z emitera do możliwości jej wsiąkania). Zastosowanie emiterów o odpowiednim natężeniu wypływu wody, w nawiązaniu do rozkładu systemu korzeniowego nawadnianych drzew, wpływa nie tylko na możliwość znacznego ograniczenia strat wody, lecz również na zwiększenie plonowania i produktywności wody.



Rys. 21. Jednostkowe zużycie wody (S/Q) na tle plonowania Q sadu jabłoniowego w Samotworze w latach 2004–2006

Fig. 21. Unit water consumption (S/Q) versus yielding Q of apple tree orchard in Samotwór in the years 2004–2006

5. Wzbogacanie zasobów retencji gruntowej

Rozwój gospodarczy kraju zwłaszcza rolnictwa i przemysłu, a także potrzeby gospodarki komunalnej przyczyniają się do zwiększenia zużycia wody, powodując sukcesywne uszczuplenie jej zasobów dyspozycyjnych. Powstaje więc problem oszczędnego korzystania z wody i racjonalnego kształtowania bilansu wodnego regionu, zlewni hydrologicznej czy użytku rolnego. W bardzo ogólnej postaci bilans wodny terenów użytkowanych rolniczo można zapisać: $P + N + \Delta R = E + H$, gdzie stroną przychodową wody stanowi opad (P), nawodnienia (N) oraz retencja (ΔR), natomiast rozchodem jest ewapotranspiracja (E) i odpływ wody (H). Do zrównoważenia bilansu wodnego można dochodzić, zwiększając stronę przychodową przez uzupełnienie opadu atmosferycznego (P) nawodnieniem (N), a także przez wykorzystanie zasobów retencji gruntowej (ΔR). Można też podobny cel uzyskać, zmniejszając straty wody na parowanie terenowe (E) i odpływ (H). Wprowadzenie intensywnych form eliminowania niedoborów wodnych przez nawodnienia wymaga zagwarantowania odpowiedniej ilości wody dyspozycyjnej doprowadzanej na zmeliorowany obiekt. Korzystanie z zasobów retencji gruntowej (ΔR) opiera się na lokalnych zasobach wodnych naturalnych lub odpowiednio zwiększanych przez zabiegi agrotechniczne, agromelioracyjne, a także przez odpowiednio eksploatowane urządzenia melioracyjne.

Mając świadomość, że rolnictwo w wyniku nawodnień zużywa na ewapotranspirację 60–90% ilości pobranej wody, w systemach wodno-melioracyjnych należy wprowadzać rozwiązania charakteryzujące się wysokim współczynnikiem wykorzystania wody [Nyc 1985]. W warunkach ograniczonych zasobów dyspozycyjnych do nawodnień z przepływów bieżących należy rozważać możliwości użytkowania wody z zasobów retencji gruntowej [Nyc 1984]. Poprawę bilansu wodnego w zakresie zmniejszenia strat wody na obszarze produkcji rolniczej w niewielkim stopniu można uzyskać ograniczając parowanie terenowe (E) za pomocą zabiegów agrotechnicznych oraz w znacznej ilości przez zmniejszenie odpływu zasobów wody gruntowej (H).

Nad oceną skuteczności eliminowania niedoborów wodnych przez wzbogacanie zasobów retencji gruntowej prowadzone są od 1976 r. badania terenowe na kilku obiektach produkcyjnych w zlewniach nizinnych rzek Baryczy i Bystrzycy [Nyc 1985; Nyc i in. 1992; Nyc i in. 1994]. Eksperymenty wykonane w dolinie rzeki Rów Śląski (zlewnia Baryczy) potwierdziły, że na glebach przepuszczalnych organicznych i mineralnych w dolinach rzek, ze stosunkowo płytko zalegającym poziomem wody gruntowej, można sterować zasobami retencji gruntowej, wykorzystując do tego system urządzeń piętrzących.



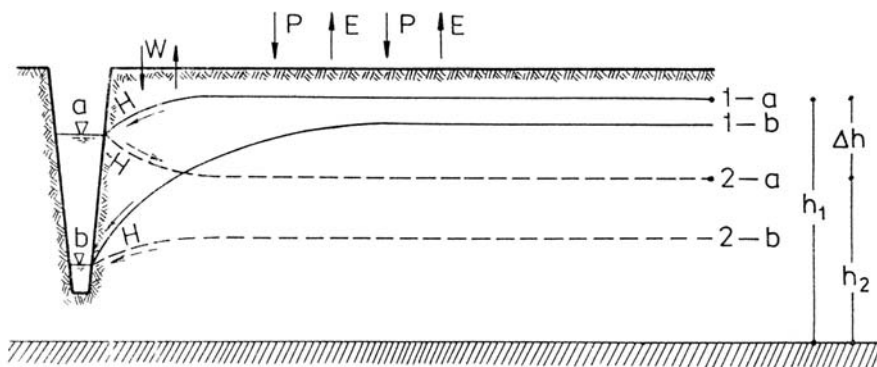
Fot. 5. Retencja wód powierzchniowych
Phot. 5. Retention of surface waters



Fot. 6. Zastawka na rowie
Phot. 6. Weir on the ditch

Dolina Rowu Śląskiego szerokości ok. 2 km, pokryta trwałymi użytkami zielonymi została zabudowana systemem jazów rozmieszczonych w odległości 3–5 km [Nyc 1984]. Obiekt nie posiadał urządzeń melioracji szczegółowych. W wyniku prowadzenia całorocznego piętrzenia wody do rzędnej stale kontrolowanej i korygowanej do aktualnej sytuacji hydrologicznej, następowało zahamowanie odpływu wód powierzchniowych w cieku i gruntowych w dolinie. Takie działanie spowodowało podniesienie się wód gruntowych o 50–60 cm w okresie wegetacyjnym, pomimo występowania niedoboru opadów. Podobnie korzystne rezultaty otrzymano na 100 ha obiekcie Samotwór z gruntami ornymi w dolinie rzeki Bystrzycy [Nyc i in. 1994].

Zahamowanie odpływu wody gruntowej i powierzchniowej przez stosowanie całorocznego korygowanego piętrzenia wody zastawką spowodowało wyższe o 30–40 cm poziomy wód gruntowych w okresie wegetacyjnym. W wyniku takich działań zarejestrowano wzrost plonów siana do 100% oraz pszenicy 20–30%. Był on efektem zwiększenia uwilgotnienia czynnej warstwy gleby z zasobów zretencjonowanych opadów atmosferycznych pochodzących głównie z okresu zimowego. W rezultacie całorocznego piętrzenia wody w ciekach następowało zahamowanie odpływu wód gruntowych. W tych warunkach wypełniony w półroczu zimowym do maksymalnej pojemności retencyjnej profil glebowy oddaje wodę na ewapotranspirację w półroczu letnim. W okresie wegetacyjnym, w wyniku zużycia wody przez roślinność, następuje powolne obniżanie się poziomu wód gruntowych do wartości $\Delta h = h_1 - h_2$ (rys. 22).



Rys. 22. Schemat hydrauliczny działania systemu z regulowanym odpływem: a – regulowany odpływ, b – naturalna gospodarka wodna; 1 – krzywa depresji wiosną, 2 – krzywa depresji latem, W – zmiana uwilgotnienia gleby, H – odpływ, -H – zasilanie, P – opad atmosferyczny, E – ewapotranspiracja

Fig. 22. Hydraulic schematic of operation of a regulated outflow system: a – regulated outflow, b – natural water economy; 1 – spring depression curve, 2 – summer depression curve, W – change in soil moisture, H – outflow, -H – supply, P – precipitation, E – evapotranspiration

W warunkach całkowitego zahamowania odpływu (H) urządzeniami piętrzącymi zwierciadło wody gruntowej w określonym przedziale czasu Δt , w którym wystąpił niedobór opadu $N_{\Delta t}$ obniża się o wartość: $\Delta h = \frac{N_{\Delta t}}{\alpha}$. Współczynnik wykorzystania wody (α) (stosunek zmian zapasów wody do wynikających z tego zmian poziomów wody gruntowej) określony empirycznie przez autora wyniósł:

- na piasku gliniastym lekkim $\alpha = 0,33$,
- na piasku gliniastym $\alpha = 0,30$,
- na piasku gliniastym mocnym $\alpha = 0,28$.

Utrzymując wczesną wiosną poziom wody gruntowej na głębokościach zapewniających minimalną dla roślin przewodność czynnej warstwy profilu glebowego (ok. 6–10% powietrza), w okresie wystąpienia niedoboru opadów np. 150 mm, na glebie wytworzonej z piasku gliniastego ($\alpha = 0,30$), poziom wody gruntowej obniży się o $\Delta h = 150 \text{ mm} : 0,30 = 500 \text{ mm} = 50 \text{ cm}$. Takie ekstremalne zmiany poziomu wody gruntowej przeważnie mogą zagwarantować skuteczny podsiąk i utrzymać wystarczający stan uwilgotnienia gleby w okresie wegetacyjnym.

Celem określenia pojemności retencyjnej gleb obiektu doświadczalnego zależnie od właściwości fizyko-wodnych gleb, przeprowadzono laboratoryjne pomiary siły ssącej profilu glebowego. Na najczęściej występujących utworach wytworzonych z piasku słabo gliniastego i gliniastego pomiary siły ssącej wykazały występowanie wody podlegającej odpływowi ($pF = 1,0\text{--}2,0$) w porach (ϕ 30–300 μm) w ilościach 15–20% oraz łatwo dostępnej wody kapilarnej ($pF = 2,0\text{--}2,87$) ok. 13%. Ogólna więc ilość wody dostępnej wynosiła 28 i 33%. W warunkach zahamowania odpływu wody z obszaru wyposażonego w system melioracyjny, zasoby efektywnej retencji gruntowej w 50 cm warstwie profilu glebowego wyniosą od $0,28 \times 500 \text{ mm} = 140 \text{ mm}$ do $0,33 \times 500 \text{ mm} = 165 \text{ mm}$. Podobne, a nawet korzystniejsze wskaźniki retencji uzyskano, mierząc zmiany zapasów wody w okresie wegetacyjnym. Wyczerpanie zasobów retencji gruntowej wyniosło:

- na piasku słabo gliniastym 144–150 mm,
- na piasku gliniastym mocnym 233 mm,
- na utworach murszowych podścielonych piaskiem gliniastym 175–230 mm.

Na wielkość wykorzystania zasobów retencji gruntowej, niezależnie od właściwości fizyko-wodnych gleby i prawidłowej eksploatacji urządzeń piętrzących w systemie melioracyjnym duży wpływ miały: obfite opady półrocza zimowego oraz przebieg niedoboru opadu okresu wegetacyjnego. W latach suchych poprzedzonych wystarczająco dużymi opadami zimowymi wykorzystanie zasobów retencji gruntowej było największe.

Na kształtowanie się wielkości zasobów retencji gruntowej wpływa obecność jezior, zbiorników wodnych, stawów, kanałów stale prowadzących wodę itd. W latach 1996–2000 prowadzone były badania nad oddziaływaniem Milickich Stawów Rybnych na przyległe tereny użytkowane rolniczo [Nyc i in. 1992; Nyc, Kamionka 1994; Nyc, Kamionka 1996]. Celem rozpoznania obiegu wody na terenach przystawowych oraz dokładnej oceny wpływu stawów rybnych na kształtowanie się zasobów retencji gruntowej na 1700 ha zwartym obszarze wsi Młodzianów, Potasznia i Henrykowice, przyległym do dużych stawów hodowlanych Andrzej, Grabownica i Jasny, sporządzono szczegółowe bilanse wodne wg danych pomierzonych. Systematycznymi pomiarami objęto:

- co 7 dni poziomy wód gruntowych w 121 piezometrach oraz stany wody w stawach i ciekach na 10 wodowskazach,
- raz w miesiącu pomiar uwilgotnienia profilu glebowego na 10 charakterystycznych stanowiskach,
- codzienny opad atmosferyczny ze stacji własnej Młodzianów oraz IMGW Grabownica, Milicz i Ujazd.

Ponadto przeprowadzono laboratoryjne badania właściwości fizyko-wodnych gleb, terenowe pomiary współczynnika filtracji na obszarze obiektu badawczego oraz pomiary zmian przepływu wody w głównym rowie opaskowym dla oceny bezpośrednich przesiąków ze stawu.

Dla charakterystycznych okresów opracowywano mapy hydroizohips oraz profile hydrogeologiczne. Obiekt badawczy Młodzianów położony w dolinie rzeki Baryczy pokryty jest głębokimi utworami przepuszczalnymi (dominuje piasek gliniasty). Stwierdzono, że system stawów rybnych wyposażony w sieć hydrograficzną (kanały doprowadzające i odwadniające) oraz budowle piętrzące do zasilania zbiorników wody, a także do ich odwodnienia wpływały na kształtowanie się zasobów retencji gruntowej w różnym stopniu, zależnie od odległości źródła zasilania w wodę. Utrudniony przez różnego rodzaju piętrzenia odpływ powierzchniowy i gruntowy zwiększał efektywność działania opadów atmosferycznych. Również na kompleksie użytków rolnych będącym pod oddziaływaniem systemu stawów rybnych wyższe opady półrocza zimowego przyczyniały się do wyższego zalegania poziomu wód gruntowych w całym okresie wegetacyjnym, wpływając korzystnie na stan uwilgotnienia gleb. Współczynniki filtracji na terenie obiektu badań określone metodą Erkina kształtowały się w przedziale 37,5–140,3, średnio 95,13 $\text{cm}^2\text{doba}^{-1}$. W bezpośrednim sąsiedztwie stawów zauważa się drenujące działanie rowów opaskowych. Pomierzone ilości wody infiltrujące przez 160-letnią groblę stawową wynosiły przeciętnie 0.74 $\text{dm}^3\text{sek}^{-1} \cdot \text{km}$. Łagodzi to bezpośredni wpływ wód spiętrzonych w stawie na otoczenie. Rowy opaskowe przechwytyją tylko część przesiąków, ocenianych na ok. 13–15% ogólnego zasilania w wodę terenów przyległych. Pozostała ich część zwiększa zasoby retencji gruntowej terenów sąsiadujących ze źródłem zasilania (misa stawowa, doprowadzalnik wody) [Kamionka 1996]. Stwierdzone pomiarami uwilgotnienia gleb, maksymalne wykorzystanie retencji gruntowej w okresie wegetacyjnym znacznie przekraczało 200 mm (do 276 mm). Średnio na 1700 ha obiekcie zasoby efektywnej retencji gruntowej wynosiły 150 mm, przy czym przykładowo w roku 1989 wynosiły 134 mm, w 1990 r. 140 mm, a w 1991 r. 175 mm. W sąsiedztwie kompleksu stawów rybnych w wyniku przekształceń obiegu wody znacząco wzrosły odnawialne zasoby retencji wodnej gleb, zwiększając żyzność siedlisk z natury ubogich w wodę i składniki mineralne gleb przepuszczalnych skłonnych do przesuszenia.

Na podstawie około 30-letnich badań nad możliwością wzbogacania zasobów retencji gruntowej [Nyc 1994; Nyc i in. 1994; Szymańska, Nyc 1995; Pokładek 2001] można stwierdzić, że:

- eliminowanie niedoborów wodnych z zasobów sterowanej retencji gruntowej należy do tanich sposobów, biorąc pod uwagę inwestowanie i eksploatację, daje zadowalające efekty melioracyjne i jest przyjazne środowisku;

- najlepsze efekty działania tego sposobu melioracji uzyskuje się w warunkach występowania głębokich utworów przepuszczalnych (mineralnych i organicznych) na stosunkowo płaskich dolinach rzecznych, szczególnie na użytkach zielonych;
- efektywne zasoby retencji gruntowej przy zastosowaniu regulowanego odpływu wynoszą przeciętnie 150 mm, a w szczególnie sprzyjających warunkach glebowych, pogodowych i eksploatacyjnych mogą dochodzić do ok. 250 mm. Zasoby efektywnej retencji gruntowej wykorzystywanej w okresie wegetacyjnym stanowią głównie wody zgromadzone w półroczu zimowym, uzupełnione wysokimi opadami pojawiającymi się w półroczu letnim;
- warunkiem uzyskania wysokich wartości efektywnej retencji gruntowej (bez wystąpienia zagrożenia środowiska) jest zagwarantowanie całorocznego sterowania odpływem. Ciągła regulacja rzędnej piętrzenia powinna zapobiec ewentualnemu wystąpieniu stanów powodziowych, a równocześnie nie dopuścić do nieuzasadnionego odpływu wody w miesiącach półroczu zimowego;
- do wzbogacenia zasobów retencji gruntowej można wykorzystać wszelkie urządzenia piętrzące wodę na ciekach podstawowych i szczegółowych, kanały prowadzące wodę spiętrzoną dla różnych celów gospodarczych, stawy rybne i inne zbiorniki wód spiętrzonych. Sposób eksploatacji tych urządzeń ma istotny wpływ na wielkość efektywnej retencji wodnej [Nyc i in. 1998].

Ocenę skuteczności działania systemu gospodarowania wodą przez regulowanie odpływu w warunkach produkcyjnych, przy zmieniającym się zainteresowaniu użytkowników poziomem intensyfikacji produkcji rolniczej, przeprowadzono na obiekcie Miękinia k. Wrocławia [Nyc, Pokładek 2001]. Badaniami rozpoczętymi w 1995 r. objęto obszar 720 ha położony w małej zlewni hydrologicznej (27 km²) cieku podstawowego Zdrojek, będącego dopływem Nowego Rowu wpadającego do Jeziorki w dolinie Odry. Obiekt został zmeliorowany poprzez drenowanie gruntów ornych oraz wprowadzenie systemu gospodarowania wodą w wyniku regulowania odpływu. Do tego celu wykonano system urządzeń piętrzących (kilka jazów na cieku Zdrojek oraz kilkanaście zastawek na rowach głównych) [Nyc i in. 2003]. Obiekt użytkowany był jako łąki i pastwiska (78% powierzchni) grunty orne (10%), obszary zalesione (12%). Gleby stanowią przepuszczalne utwory organiczne, organiczno-mineralne (głównie na użytkach zielonych) oraz mineralne na gruntach ornych (przeważnie czarne ziemie) i leśnych (gleby pseudobielicowe). Zalegają one na głębokich utworach przepuszczalnych (piaszczysto-żwirowych). Starannie wykonane i prawidłowo utrzymywane urządzenia melioracyjne pomimo skąpych zasobów wodnych zlewni sprawnie funkcjonowały, gwarantując prawidłowe stosunki wilgotnościowe gleb. Na użytkach zielonych z glebami torfowo-murszowymi utrzymywano poziom wód gruntowych w przedziale 20–60 cm p.p.t. W miejscach najbardziej odległych od urządzeń piętrzących głębokość zalegania wód gruntowych na użytkach rolnych i leśnych wynosiła ok. 100–120 cm.

Prowadzona w ramach badań systematyczna kontrola jakości wód płynących w 2 przekrojach hydrometrycznych Zdrojka odległych od siebie o 3 km (na dopływie do obiektu i odpływie z obiektu) informowała o bardzo korzystnych zmianach jakości wód po przepłynięciu przez zmeliorowany obiekt. Równolegle kontrolowano jakość wód gruntowych pobieranych z piezometru centralnie usytuowanego na obiekcie. Do czasu wystąpienia dużej powodzi w lipcu 1997 r. obiekt był prawidłowo eksploatowany przy

pełnym zainteresowaniu rolników jego użytkowaniem. Zniszczenia wywołane powodzią spowodowały znaczny wzrost powierzchni nie uprawianej. Zmniejszyły się też nakłady na eksploatację urządzeń melioracyjnych. W sytuacji wzrastających od 1998 r. zaniedbań w rolniczym użytkowaniu gruntów, zwrócono uwagę na jakość wód przepływających przez system melioracyjny obiektu Miękinia. Porównując skład chemiczny wód w górnym i dolnym przekroju hydrometrycznym Zdrojka, zauważono korzystny wpływ eksploatacji obiektu na poprawę jakości wód płynących [Nyc, Pokładek 2004a; Nyc, Pokładek 2004b]. Poprawa jakości wód płynących była tam większa w latach 1995–1997 w sytuacji lepszego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz lepszej dbałości o system melioracyjny. Od 1998 r. (po klęsce powodzi 1997 r.) corocznie przyrastała powierzchnia nieużytkowana rolniczo. Pogarszała się też jakość wód na systemie melioracyjnym (tab. 11). Porównując okresy w miarę stabilnej gospodarki eksploatacyjnej (1995–1997) z okresem zmniejszającej się aktywności gospodarczej (1998–2002) przyrost natlenienia wód płynących zmniejszył się z 41 do 17,7%. Była też mniejsza redukcja wartości ChZT oraz BZT₅, a także stężenia azotu ogólnego, fosforu, i potasu. Zwiększyła się zawartość wapnia, magnezu i manganu.

Ogólnie stwierdzono korzystny wpływ eksploatacji systemu melioracyjnego z regulowanym odpływem na poprawę jakości wód odpływających z obiektu. Była ona większa w okresie lepszego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej oraz lepszej dbałości o system melioracyjny. Zaniedbania w zakresie rolniczego użytkowania terenu oraz eksploatacji urządzeń melioracyjnych na obiekcie Miękinia przynosiły szkody ekologiczne. Zmniejszyła się zdolność poprawy jakości wód oraz żywność gleb.

Wybrane wskaźniki jakości wody w cieku Źródłek na dopływie i odpływie z obiektu Miękinia w latach 1995–2002
Selected indices of water quality in watercourse Źródłek on the inlet to and outlet from the Miękinia object in the years 1995–2002

Lp. No.	Wskaźniki Indices	dopływ – inflow mg/dm ³		odpływ – outflow mg/dm ³		odpływ – outflow	
		od – do średnio	from – to meanly	od – do średnio	from – to meanly	przyrost (+) ubytok (-)	increase decrease
		1995–1997	1998–2002	1995–1997	1998–2002	1995–1997 %	1998–2002 %
1.	Odczyn - pH	7.1–7.5	7.2–8.2	7.2–7.6	7.5–8.2	–	–
2.	Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen mg O ₂ ·dm ⁻³	<u>3.7–7.44</u> 6,1	<u>7.5–8.6</u> 7,9	<u>8.1–9.0</u> 8,6	<u>8.3–9.9</u> 9,3	2,5	1,4
3.	ChZT _(cr) COD _(cr) mg O ₂ ·dm ⁻³	<u>19.9–60.5</u> 33,5	<u>13.6–19.0</u> 16,4	<u>12.2–18.0</u> 15,2	<u>10.3–15.3</u> 13,2	-18,3	-3,2
4.	BZT ₅ BOD ₅ mg O ₂ ·dm ⁻³	<u>2.2–19.2</u> 8,0	<u>1.78–2.4</u> 2,1	<u>2.4–3.1</u> 2,7	<u>1.4–2.0</u> 1,8	-5,3	-0,3
5.	Azot ogólny Total nitrogen mg N _{og} ·dm ⁻³	<u>7.7–17.7</u> 13,1	<u>4.5–7.8</u> 6,0	<u>6.4–11.1</u> 8,1	<u>4.6–9.2</u> 6,5	-5	0,5
6.	Fosfor Phosphorus mg P·dm ⁻³	<u>0.3–1.4</u> 0,7	<u>0.1–0.3</u> 0,2	<u>0.2–0.5</u> 0,3	<u>0.2–0.3</u> 0,22	-0,4	0,02
7.	Sód Sodium mg Na·dm ⁻³	<u>12.4–16.3</u> 14,9	<u>12.2–15.8</u> 14,5	<u>12.1–13.7</u> 13,1	<u>10.9–14.5</u> 12,6	-1,8	-1,9
8.	Potas Potassium mg K·dm ⁻³	<u>5.5–14.4</u> 8,5	<u>3.4–5.0</u> 4,2	<u>4.1–5.3</u> 4,8	<u>2.4–4.4</u> 3,6	-3,7	-0,6
9.	Wapń Calcium mg Ca·dm ⁻³	<u>136.1–187.7</u> 154,1	<u>164.1–197.3</u> 174,9	<u>162.5–228.9</u> 193,7	<u>170.6–215.0</u> 199,5	39,6	24,6
						25,7	14,1

Tabela 11 cd.
Table 11 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10.	Magnez Magnesium mg Mg·dm ⁻³	$\frac{24.7-34.6}{28,9}$	$\frac{16.9-25.1}{20,4}$	$\frac{26.3-38.5}{32,1}$	$\frac{18.5-25.4}{21,1}$	3,2	11,1	0,7	3,4
11.	Mangan Manganese mg Mn·dm ⁻³	$\frac{0.32-0.68}{0,5}$	$\frac{0.39-0.46}{0,43}$	$\frac{0.52-0.79}{0,7}$	$\frac{0.23-0.6}{0,36}$	0,2	40,0	-0,07	-16,3
12.	Żelazo Iron mg Fe·dm ⁻³	$\frac{0.68-1.38}{1,0}$	$\frac{0.77-1.06}{0,93}$	$\frac{0.56-1.11}{0,8}$	$\frac{0.38-1.29}{0,88}$	-0,2	-20,0	-0,05	-5,4
13.	Siarczany Sulphates mg SO ₄ ⁻ ·dm ⁻³	$\frac{254.6-269.2}{259,9}$	$\frac{198.7-243.8}{225,3}$	$\frac{311.3-439.5}{372,3}$	$\frac{244.2-298.7}{266,0}$	112,4	43,2	40,7	18,1
14.	Chlorki Chlorides mg Cl·dm ⁻³	$\frac{56-65.0}{60,3}$	$\frac{52.3-60.0}{56,1}$	$\frac{50.0-56.0}{53,0}$	$\frac{45.5-57.6}{51,9}$	-7,3	-12,1	-4,2	-7,5

6. Potrzeba rozwoju melioracji wodnych w Polsce

Wszelka działalność gospodarcza, zwłaszcza związana z produkcją rolniczą, a także z utrzymaniem w dobrym stanie środowiska przyrodniczego uzależniona jest od dostępności zasobów wodnych. Ilość tych zasobów wynika z naturalnego lub sterowanego obiegu wody w systemie gospodarowania [Nyc, Pokładek 2004c]. Podstawowym źródłem wody są opady atmosferyczne. Zasilają one cieki, zbiorniki wodne, a także oddziałują na poziomy zalegania wód gruntowych i uwilgotnienia gleb. Występujące zróżnicowanie opadów w czasie i przestrzeni mobilizuje do podejmowania określonych działań melioracyjnych, celem zagwarantowania właściwych dla danych siedlisk stosunków powietrzno-wodnych [Nyc 2006].

Problemem współczesnych melioracji jest zapewnienie zrównoważonego rozwoju środowiska, czyli prawidłowego obiegu zasobów wodnych, materii organicznej i mineralnej oraz przepływu energii w ekosystemach krajobrazowych z uwzględnieniem wymogów podnoszenia produkcji tych ekosystemów i racjonalnej ochrony zasobów naturalnych [Marcilonek 1993]. Poprzez prawidłową eksploatację urządzeń i systemów melioracyjnych można racjonalnie kształtować warunki środowiska, zgodnie z oczekiwaniami jego użytkowników. Melioracje wodne mają i stale powinny mieć charakter ekologiczny. Jednym z ważnych problemów współczesnych melioracji są bardzo ograniczone zasoby wodne, a Polska należy do najuboższych w tym zakresie państw europejskich. Średni roczny odpływ rzek Polski wynosi ok. 61 km^3 wody. W przeliczeniu na jednego mieszkańca daje to roczny wskaźnik 1580 m^3 , podczas gdy średnio w Europie wynosi on 4560 m^3 , czyli 2,9-krotnie więcej niż w Polsce [IMGW 1996].

Do znanych i stosowanych metod zwiększania dyspozycyjnych zasobów wody należy magazynowanie jej w zbiornikach. Ogólna pojemność zbiorników retencyjnych w Polsce wynosi ok. $3,6 \text{ km}^3$, co stanowi ok. 6% średniego odpływu naszych rzek. Dla poprawy bilansu wodnego i korzystniejszego gospodarowania zasobami dyspozycyjnymi, pojemność zbiorników retencyjnych w Polsce powinna sukcesywnie się powiększać do wartości 2,5-krotnie wyższej od stanu aktualnego. Realizacja takiego przedsięwzięcia wraz z niezbędnymi inwestycjami towarzyszącymi jest zadaniem długoterminowym, kilkupokoleniowym i tylko w części służyć może rolnictwu (zbiorniki wielozadaniowe). Należy więc rozwijać również inne sposoby rozwiązywania problemu dostępności wody w środowisku przyrodniczym.

Przy ich wyborze trzeba uwzględnić następujące elementy:

- charakter produkcji rolniczej i związane z tym zapotrzebowanie na określone sposoby melioracji,
- dostępność wody, możliwości opłacalnego jej pozyskiwania oraz stosowanie energo- i zasobowooszczędnych sposobów nawadniania,
- ochrona jakości wód i cennych zasobów przyrody.

6.1. Rola melioracji we współczesnym rolnictwie i ochronie środowiska

Rolnictwo jest formą wykorzystywania środowiska przyrodniczego najbardziej zbliżoną do naturalnej. Wykorzystuje ono procesy zachodzące w środowisku i opiera się o podstawowe prawa rządzące w przyrodzie. Szczególną rolę w intensyfikacji rolnictwa odgrywają melioracje. Umożliwiają one przyspieszenie procesów obiegu materii w środowisku przyrodniczym, a przy tym wzrost jego produktywności. Kierunki rozwoju melioracji powinny więc wynikać z rzeczywistych potrzeb gospodarki rolnej, a także racjonalnego kształtowania i ochrony cennych zasobów przyrody. Podstawowym kryterium w działalności gospodarczej i melioracyjnej powinna być zasada zrównoważonego rozwoju. Odbudowa naszego rolnictwa wymaga gruntownych przekształceń strukturalnych nawiązujących do sprawdzonych już pozytywnych rozwiązań państw Unii Europejskiej, umożliwiających wzrost rentowności gospodarowania. Zadania w zakresie melioracji powinny uwzględniać aktualną kondycję rolnictwa oraz prognozowane w nim przemiany. Systemy melioracyjne (odwadniające, odwadniająco-nawadniające i nawadniające) zmieniają kierunek i intensywność procesów przyrodniczych w glebie, w przyziemnej warstwie atmosfery, a także obiegu zasobów wodnych, w wyniku czego ekosystemy uzyskują nowe właściwości.

Doświadczenia wskazują, że w wyniku melioracji odwadniających uzyskuje się wzrost plonów roślin w przedziale 5–15 jednostek zbożowych w zależności od rodzaju gleb i stopnia nadmiernego uwilgotnienia. Melioracje nawadniające dają możliwość uzyskania zwwyżki plonu rzędu 10–25 jednostek zbożowych, zależnie od przebiegu niedoborów wodnych i poziomu intensyfikacji produkcji. Z obserwacji terenowych wynika, że nawet w latach ekstremalnych klęsk żywiołowych, np. suszy 1992 r. czy nadmiaru wody w 1997 r., straty w produkcji rolniczej były zdecydowanie mniejsze na zmeliorowanych użytkach rolnych.

Rozwój gospodarczy regionów, a w tym intensyfikacja rolnictwa, wzrost zużycia wody przez gospodarkę komunalną (ujęcia wód głębszych) oraz przemysł i rzemiosło powoduje sukcesywne zubożenie środowiska przyrodniczego w zasoby wodne. Efektem tego jest obserwowane obniżanie się poziomów wód gruntowych, zmniejszanie się powierzchni bagien i oczek wodnych, a w konsekwencji zwiększanie powierzchni niedostatecznie uwilgotnionych. Naturalne przemiany jakie zachodzą w środowisku przyrodniczym w wyniku działalności gospodarczej zwiększają potrzeby wprowadzania melioracji nawadniających dla utrzymania określonego poziomu produkcji rolniczej, a także dla celów ekologicznych. Należy brać pod uwagę fakt, że powierzchnia użytków rolnych ulega ciąglem zmniejszaniu (budowa dróg i autostrad, dużych obiektów handlowych, rekreacyjnych, budownictwa mieszkaniowego). Skutki takiej sytuacji powinny być rekompensowane wzrostem intensyfikacji produkcji polowej m.in. przez wprowadzanie sprawnych systemów melioracyjnych o działaniu odwadniającym i nawadniającym, a także zwiększającym dyspozycyjne zasoby wodne. Efektywność działania nawodnień jest wysoka tylko wówczas, jeżeli zmeliorowany obszar posiada sprawnie działające urządzenia odwadniające lub teren z natury nie potrzebujący odwodnień. W warunkach klimatycznych Polski, przeważnie w półroczu zimowym, pojawiają się okresy z nadmiarem wody grawitacyjnej w glebie, utrudniające prawidłowy rozwój

systemu korzeniowego roślin i spływające aktywną (retencyjną) warstwę profilu glebowego. W rezultacie pogarsza to efektywność wykorzystania wody i składników pokarmowych pobieranych z gleby oraz jakość i wielkość plonu. W okresach zakwalifikowanych jako mokre, sprawne systemy odwadniające dają szczególnie wysokie efekty produkcyjne gleb zwłaszcza średnio zwięzłych i zwięzłych. Prawdłowo zaprojektowane i eksploatowane systemy melioracyjne o działaniu odwadniająco-nawadniająca, zdolne do odpowiedniego kształtowania stosunków powietrzno-wodnych w glebie pozwalają na:

- stabilizację poziomu produkcji rolniczej na odpowiednio wysokim poziomie,
- zwiększenie efektywności zużycia wody przez rolnictwo,
- poprawę jakości wód w odbiornikach w wyniku lepszego wykorzystania biogenów przez roślinność.

6.2. Zakres potrzeb melioracji w Polsce

Utrzymanie rolnictwa na poziomie nie odbiegającym od standardów Unii Europejskiej wymaga sprawnych systemów melioracyjnych, prawidłowo dostosowanych do określonych ekosystemów. Według ocen Ministerstwa Rolnictwa [GUS 2006], na ok. 15,9 mln ha użytków rolnych potrzeby melioracji wynoszą ok. 9,2 mln ha. Powierzchnia ta może jeszcze ulec zmniejszeniu w wyniku wyłączenia gleb z rolniczego użytkowania. Dotychczas zmeliorowano prawie 6,7 mln ha użytków rolnych, w tym niecałe 0,5 mln ha wyposażone jest w urządzenia nawadniające. Uregulowania stosunków wodnych wymaga więc jeszcze ok. 2,5 mln ha użytków rolnych. Nierentowna intensyfikacja rolnictwa na glebach o niskiej naturalnej żyzności należy już do przeszłości.

Coraz większą uwagę zwraca się na zrównoważony rozwój gospodarczy, a przy tym skuteczniejszą ochronę środowiska naturalnego. Nie sprzyja temu fakt zdecydowanej przewagi ilościowej typowych systemów odwadniających. Choć systemy odwadniające odgrywają podstawową rolę w uporządkowaniu gospodarki wodnej na użytkach rolnych, w warunkach klimatycznych Polski powinny być uzupełniane urządzeniami melioracyjnymi o działaniu nawadniająca. Należy podkreślić, że skuteczność działania systemów nawadniających wzrasta w warunkach dobrze zlokalizowanych i sprawnie działających urządzeń odwadniających, szczególnie na glebach zwięzłych [Siuta 2007]. Melioracje o działaniu odwadniająca-nawadniająca dają pozytywne efekty gospodarcze i ekologiczne. Istnieje więc potrzeba intensywniejszego rozwoju melioracji nawadniających. Wykorzystując waloryzację przyrodniczo-rolniczą Polski [Witek 1985], a także charakterystykę warunków klimatycznych (cyklicznie pojawiających się susz) i glebowo-wodnych regionów w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, przeprowadzono ocenę potrzeb melioracji nawadniających umożliwiających zrównoważony rozwój polskiego rolnictwa oraz ochronę zasobów przyrody. Uzyskano wskaźnik potencjalnych potrzeb melioracji nawadniających w wysokości 2.100 tys. ha, w tym 1.600 tys. ha na trwałych użytkach zielonych i 500 tys. ha na gruntach ornych i uprawach sadowniczych. Zróżnicowanie tych potrzeb na obszarze 16 województw przedstawiono w tabeli 12 oraz na rysunkach 23 i 24.

Tabela 12
Table 12

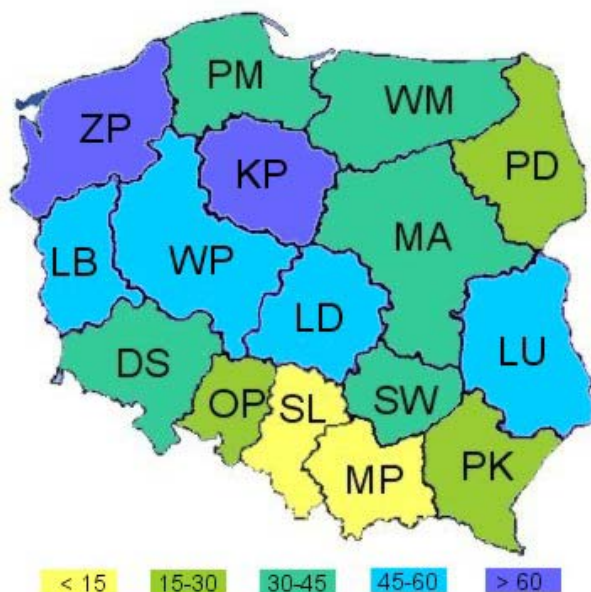
Wskaźniki docelowych potrzeb melioracji nawadniających w Polsce
Indices of target requirements for irrigation melioration projects in Poland

Lp. Item	Województwo Province	Użytki zielone Grasslands		Grunty orne i sady Arable soils and orchards		Ogółem użytki rolne Agricultural lands in total	
		tys. ha	%	tys. ha	%	tys. ha	%
1.	Dolnośląskie	94	33,7	14	1,7	108	9,7
2.	Kujawsko-pomorskie	106	64,9	74	6,8	180	14,0
3.	Lubelskie	150	45,7	22	1,8	172	10,6
4.	Lubuskie	97	57,1	29	5,4	126	17,5
5.	Łódzkie	82	54,4	44	6,4	126	14,6
6.	Małopolskie	25	14,6	1	0,2	26	3,3
7.	Mazowieckie	264	44,5	164	7,4	428	16,9
8.	Opolskie	16	17,1	4	0,9	20	3,5
9.	Podkarpackie	62	21,1	2	0,2	64	5,4
10.	Podlaskie	145	27,3	2	0,2	147	9,2
11.	Pomorskie	57	35,7	4	0,7	61	8,3
12.	Śląskie	25	12,6	1	0,1	26	2,9
13.	Świętokrzyskie	35	32,2	2	0,4	37	6,1
14.	Warmińsko-mazurskie	125	39,2	7	0,9	132	12,0
15.	Wielkopolskie	190	55,3	125	7,4	315	15,2
16.	Zachodnio-pomorskie	127	60,6	5	0,7	132	14,1
	POLSKA	1.600	38,9	500	3,5	2.100	11,3

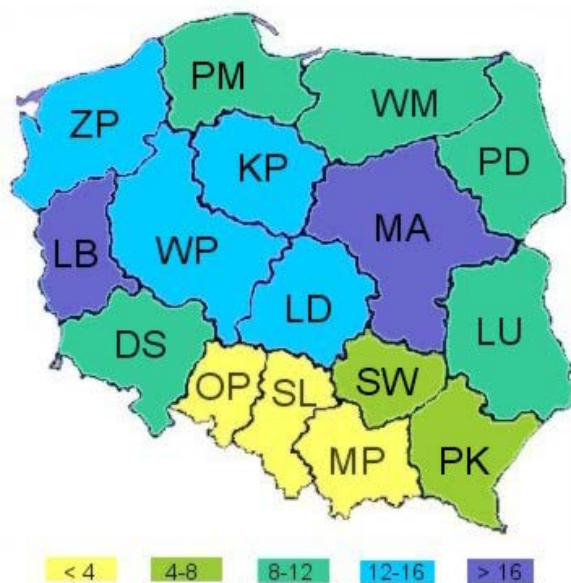
Z zaproponowanej koncepcji docelowych potrzeb melioracji nawadniających wynika ponad czterokrotny wzrost powierzchni, na której nawodnienia mają uzasadnienie gospodarcze i ekologiczne. Szczególną uwagę zwrócono na celowość uregulowania stosunków wodnych na trwałych użytkach zielonych, zlokalizowanych w dolinach rzecznych. Działanie takie ma głównie aspekt ekologiczny, a także podnosi walory produkcyjne siedlisk. Dotyczy to głównie systemów nawodnień grawitacyjnych ze szczególnym udziałem różnych form nawodnień podsiąkowych.

Nawodnienia gruntów ornych powinny wynikać z potrzeb intensyfikacji produkcji rolniczej, a ich rozwój – z kondycji polskiego rolnictwa. Mają one głównie charakter plonotwórczy. Dotyczą przeważnie obszarów pozadolinowych z systemami nawodnień głównie ciśnieniowych.

Do programu rozwoju melioracji nawadniających należy włączyć również działania w zakresie zwiększenia małej retencji wodnej w krajobrazie rolniczym, traktując ją jako jeden ze sposobów wzbogacenia określonych siedlisk w wodę. Równoległe ze zwiększeniem powierzchni nawadnianej należy koniecznie zaspokajać znaczne potrzeby odpowiednio zmodyfikowanych melioracji o działaniu odwadniającym, umożliwiających regulację stosunków powietrzno-wodnych profilu glebowego, a przy tym poprawę warunków cieplnych, pokarmowych i innych sprzyjających rozwojowi roślin. Przy rozwiązywaniu programu rozwoju melioracji należy uwzględniać nie tylko możliwości pozyskiwania określonych zasobów wodnych, lecz również odmienność cech obszarów zlewni hydrologicznych.



Rys. 23. Maksymalne potrzeby nawodnień użytków zielonych w % U.Z.
 Fig. 23. Maximum needs of irrigating grasslands in % U.Z.



Rys. 24. Maksymalne potrzeby nawodnień gruntów ornych i sadów w % G.O.
 Fig. 24. Maximum needs of irrigating the arable land and orchards in % G.O.

6.2.1. Melioracje dolin rzecznych

Doliny rzeczne należą do obszarów o szczególnie korzystnych warunkach przyrodniczych z bogatą fauną i florą. Bywają pokryte glebami wytworzonymi przy udziale procesów i zjawisk hydrologicznych (mady, gleby organiczne). Uwilgotnienie tych gleb uzależnione jest w znacznym stopniu od przebiegu zjawisk hydrologicznych (np. okresowych wylewów rzek, infiltracji wody z ich koryta, zasilania z zasobów wód gruntowych). Gleby terenów dolinowych bywają dość żyzne, lecz dla ich rolniczego użytkowania najczęściej wymagają uregulowania stosunków wodnych. Występują tu przeważnie siedliska hydrogeniczne jako silnie uwodnione gleby organiczne lub przepuszczalne mady. Obecność gleb organicznych bardzo korzystnie wpływa na stosunki wodne sąsiadujących gleb piaszczystych, poprawiając ich zdolności retencyjne.

Melioracje dolin rzecznych należą do zabiegów bardzo trudnych, często wymagających złożonych rozwiązań i etapowej realizacji, poprzedzanych bardzo wnikliwym rozpoznaniem warunków siedliskowych. Wynika to ze sposobów zasilania w wodę, różnej wrażliwości gleb hydrogenicznych na zmianę uwilgotnienia oraz zróżnicowania potrzeb wodnych zbiorowisk roślinnych porastających doliny rzeczne [Kaca 1991]. Zbiorowiska te często odgrywają ważną rolę w poprawie jakości wód. Stan techniczny koryta rzeki i rodzaj jej zlewni oraz działalność człowieka kształtują reżim wodny na obszarze doliny. Współczesne spojrzenie na problem regulacji rzek traktuje koryto ciekę jako biotop fauny i flory oraz jako urządzenie do odprowadzania wody. Powinna ona spełniać następujące oczekiwania [Marcilonek 1993]:

- utrzymanie swobodnego odpływu wody z możliwością przemieszczania się fauny wodnej,
- zachowanie dobrej jakości wody w ciekę,
- utrzymanie zróżnicowanej morfologii koryta (głębokości wody, przekroje poprzeczne i podłużne, zachowanie starorzeczy).

Uwzględniając powyższe zalecenia, należy pamiętać, że systemy melioracyjne, jako układy przyrodniczo-techniczne, powinny być równocześnie wyrazem kompromisu między konserwatorską formą ochrony przyrody, a zaspokajaniem potrzeb w zakresie produkcji rolniczej. Wiele wątpliwości, z punktu widzenia ochrony zasobów przyrody, budzą melioracje siedlisk bagiennych jako podstawowej bazy paszowej z trwałych użytków zielonych [Pierzgański 1996].

Rolnicze użytkowanie gleb organicznych praktycznie możliwe jest dopiero po odpowiednim obniżeniu zwierciadła wody gruntowej. Zmeliorowane użytki zielone na glebach torfowych przez kilka lat wysoko plonują w wyniku uwalniania się łatwo przyswajalnych związków azotowych. Z czasem jednak, na skutek murszenia masy torfowej i powstania struktury ziarnistej torfu, zanika podsiąk kapilarny oraz zmniejsza się zdolność retencyjna gleby. Usunięcie nadmiaru wody z górnych poziomów torfowiska umożliwia ich natlenienie, przez co uruchamiają się intensywne procesy mikrobiologiczne powodujące murszenie i zanikanie pokładów torfowych. Stwierdzono, że w naszych warunkach klimatycznych przeciętnie w ciągu roku zanika powierzchnia gleb torfowych grubości 3 cm przy uprawie polowej i 1 cm w warunkach użytkowania łąkowo-pastwiskowego. Uwzględniając te niekorzystne zmiany gleb torfowych, a równocześnie doceniając korzystne działanie roślinności bagiennych z torfowym podłożem,

w zakresie magazynowania i oczyszczania wód gruntowych i powierzchniowych, melioracje torfowisk należy ograniczyć do powierzchni użytkowanych wyłącznie jako łąki niezbędne dla produkcji rolniczej. Tereny o szczególnych wartościach przyrodniczych należy wyłączyć z programu melioracji i intensywnego rolniczego użytkowania. Doliny rzeczne lub ich części przeznaczone do rolniczego użytkowania z reguły wymagają melioracji. Są one powiązane funkcjonalnie z regulacją rzek, które bezpośrednio lub pośrednio oddziałują na gospodarkę wodną doliny. W uzasadnionych przypadkach, zwłaszcza na szerokich dolinach z glebami bagiennymi, możliwe jest zastosowanie systemu polderowego, zamiast grawitacyjnego odprowadzania nadmiaru wody. Takie rozwiązanie ogranicza zakres regulacji rzek, daje możliwość skuteczniejszej ochrony zasobów przyrody, lecz jest kapitałochłonne i energochłonne. Sposób melioracji obszarów dolinowych pokrytych przeważnie glebami hydrogenicznymi, a następnie ich eksploatacja powinny uwzględniać warunki w pewnym stopniu zbliżone do takich w jakich te gleby powstawały, czyli okresowe zalewy i możliwie wysoki poziom wód gruntowych. Do wytworzenia korzystnych warunków produkcji rolniczej, a także ochrony naturalnych zasobów przyrody, doliny rzeczne objęte działalnością gospodarczą powinny być wyposażone w dobrze eksploatowane systemy melioracyjne odwadniająco-nawadniające, głównie podsiąkowe, odpowiednio dostosowane do charakteru doliny. Na terenach zlewni nizinnych z ubogimi zasobami wód dyspozycyjnych, szczególnie w warunkach występowania głębokich utworów przepuszczalnych podstawowym sposobem melioracji powinno być stosowanie regulowanego odpływu.

6.2.2. Melioracje terenów pozadolinowych

Tereny pozadolinowe charakteryzuje odmienny typ gospodarki wodnej profilu glebowego w porównaniu z dolinami rzecznyymi. Zwierciadło wody gruntowej zazwyczaj zalega tu znacznie głębiej, a strefa korzeniowa roślin przeważnie zostaje poza zasięgiem skutecznego podsiąku kapilarnego. Odwodnienia wymagają gleby ciężkie i średnio zwięzłe o wadliwych stosunkach powietrzno-wodnych. Drenowanie jest tu podstawowym sposobem odprowadzenia szkodliwego nadmiaru wody. Powoduje ono głównie:

- poprawę aeracji gleby i podglebia oraz ograniczenie wymarzania roślin,
- umożliwienie wcześniejszego przeprowadzenia upraw polowych,
- szybsze ogrzewanie się wiosną gleby,
- lepsze i głębsze ukorzenie roślin,
- zwiększenie odporności na przetrwanie suszy,
- zwiększa sprawność działania deszczowni i innych nawodnień ciśnieniowych.

Dzięki rozbudowanemu głębszemu systemowi korzeniowemu roślin na terenach zdrenowanych następuje lepsze wykorzystanie składników pokarmowych odprowadzanych do pogłębionej czynnej warstwy profilu glebowego. Na polach zdrenowanych zwiększa się infiltracja wody, co przyczynia się do zmniejszenia nasilenia procesów erozji wodnej. W wyniku zmniejszenia się spływu powierzchniowego pochodzącego z roztopów wiosennych, ilość zanieczyszczeń przestrzennych dostających się do cieków ulega znaczącemu zmniejszeniu [Kosturkiewicz 1991]. System drenarski obszarów pokrytych śródpolnymi oczkami wodnymi chroni je przed niepożądanym wysychaniem

nawet po kilkudziesięciu latach eksploatacji. Takie działanie nie uszczupla zasobów małej retencji wodnej i ogranicza odpływ substancji biogenych poza obszar meliorowany. Spełnienie powyższych oczekiwań na terenach o niedużych spadkach, szczególnie przy zastawianiu drenowania systematycznego lub częściowego, wymaga zainstalowania zastawki na głównym odbiorniku wód drenarskich, celem umożliwienia regulowania odpływu i optymalizacji gospodarowania lokalnymi zasobami wodnymi.

Dla zwiększenia skuteczności drenowań, zwłaszcza gleb bardzo ciężkich oraz zwiększenia ich retencyjności należy stosować zabiegi agromelioracyjne. Według Cieślińskiego [1997], potrzeby stosowania agromelioracji w Polsce oceniane są na 3,8 mln ha gleb ciężkich i średnio związłych. Zabiegi agromelioracyjne, coraz powszechniej stosowane w świecie, poprawiają właściwości fizyko-wodne gleb, zwiększają ich przepuszczalność, zmniejszają spływy powierzchniowe, a przy tym erozję wodną gleb, umożliwiają większe magazynowanie i lepsze wykorzystanie przez roślinność lokalnych zasobów wodnych.

Obszary pozadolinyowe, na których prowadzona jest intensywna produkcja polowa, bardzo często wymagają, niezależnie od sprawnie działającego systemu odwadniającego, również intensywnych form nawodnień, głównie ciśnieniowych. Podstawowymi systemami nawadniającymi na obszarach pozadolinyowych są deszczownie stosowane głównie w intensywnej produkcji polowej oraz mikrodoszczowania i nawodnienia kropłowe w produkcji sadowniczej, intensywnym warzywnictwie i kwiaciarstwie – w szklarniach i pod osłonami [Jeznach 1996]. Wprowadzenie nawodnień ciśnieniowych wiąże się głównie z intensyfikacją produkcji rolniczej. Wymagają znacznych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Dają dobre efekty gospodarcze pod warunkiem prawidłowego ich wykorzystania w wysoce opłacalnej produkcji rolniczej. Lokalizacja tych intensywnych sposobów nawadniania powinna wynikać nie tylko ze stwierdzonych niedoborów wodnych roślin, ale przede wszystkim z odpowiednio wysokiego poziomu produkcji przy dobrym organizacyjnym przygotowaniu producenta rolnego do racjonalnego wykorzystania systemu melioracyjnego [Nyc, Suliman 1992].

Ważnym elementem, który należy uwzględnić przy wyborze sposobu nawodnienia jest dostępność wody o określonej jakości [Mioduszewski i in. 2005]. Poszukując oszczędności wody i energii, należy zwrócić uwagę na mikronawodnienia. Pozwalają one na bardziej precyzyjne zaopatrywanie roślin w wodę, składniki pokarmowe i chemiczne środki ochrony. Ułatwia to tworzenie zrównoważonych układów przyrodniczo-techniczno-ekonomicznych, harmonijnie wkomponowanych w lokalne środowisko. Mikronawodnienia stwarzają więc warunki do stosowania strategii nawodnień niskociśnieniowych przyjaznych środowisku [Brandyk, Hewelke 1995]. Do grupy mikronawodnień zaliczane są mikrodoszczowania oraz nawodnienia kropłowe i wglębne. Zużycie wody w mikronawodnieniach bywa mniejsze o 20 do 70% w stosunku do deszczownianych. Straty wody przy mikronawodnieniach sięgają 2–3%, a zużycie energii jest 4–5-krotnie mniejsze w stosunku do systemów deszczownianych [Jeznach 2005]. Ten sposób nawadniania ma w Polsce szanse rozwoju, szczególnie w intensywnym sadownictwie i warzywnictwie.

6.2.3. Zalecenia w zakresie usprawnienia eksploatacji systemów melioracyjnych

Skutki melioracji w decydującym stopniu uzależnione są od poziomu eksploatacji systemów przyrodniczo-technicznych [Marcilonek, Nyc 1975]. Realizacja kompleksowych zadań w zakresie melioracji oraz kształtowania i ochrony środowiska wg idei zrównoważonego rozwoju gospodarczego wymaga uregulowania zasad finansowania inwestycji i ich eksploatacji. Źródła finansowania powinny wynikać z różnych celów i efektów kompleksowych melioracji: ekologicznych, produkcyjnych, przeciwpowodziowych, a także na potrzeby gospodarki komunalnej, rekreacji itp. Koszty inwestycji i eksploatacji powinny więc być dzielone między licznych konsumentów produkowanych dóbr, bowiem spełniając różne cele służą bezpośrednio lub pośrednio całemu społeczeństwu. Obecna jeszcze żywa pamięć przykrych doświadczeń ostatnich wielkich powodzi (1997, 2001 r.), czy suszy (1992, 2000, 2002–2006) oraz występowanie częstych opadów burzowych o niezwykle gwałtownym przebiegu (np. latem 2009) są przyczyną dotkliwych szkód w rolnictwie. Wydarzenia te powinny mobilizować społeczeństwo do intensywniejszych działań w zakresie budowy infrastruktury gospodarki wodnej i melioracji w Polsce.

6. Podsumowanie

Urządzenia melioracyjne spełniają swą projektowaną funkcję w fazie ich eksploatacji. Wobec szczególnego znaczenia tego etapu działalności gospodarczej, wymagane jest dobre rozpoznanie oddziaływania technicznych urządzeń melioracyjnych na środowisko produkcji rolniczej, a także zasad ich prawidłowego użytkowania i obsługiwanian przy bliskim współdziałaniu z producentem rolnym. Duże znaczenie gospodarcze oraz złożoność procesów eksploatacyjnych wymaga ich oparcia o podstawy naukowe, zwłaszcza z zakresu prakseologii i cybernetyki. Prakseologiczny model eksploatacji systemów melioracyjnych wskazuje na szczególną rolę czynnika osobowego w jej usprawnieniu i wprowadzaniu stałego postępu naukowo-technicznego. Ważną też rolę spełniają czynniki rzeczowe dotyczące stanu urządzeń i systemów oraz bazy technicznej do realizacji na obszarach produkcji rolniczej procesów obsługiwanian i użytkowanian. Właściwe zespolenie działanian czynnika osobowego z rzeczowymi umożliwian czynniki organizacyjny. Efektem ich prawidłowego działanian jest wysoka skuteczność, niezawodność i ekonomiczność przedsięwzięcia melioracyjnego, stwarzające warunki do odpowiednio wysoko wydajnej produkcji rolniczej z zachowaniem wymogu ochrony środowiska. Realizacji takiego założenian sprzyja zasada wykorzystanian w miarę możliwości lokalnych zasobów energii i materii (w tym wody i składników pokarmowych).

Zaprezentowane w niniejszym opracowanian wybrane informacjeb o prowadzonych w latach 1964–2009 indywidualnych i zespołowych badaniach oraz ich wybranych efektach stwarzały dobrą podstawę do sukcesywnego doskonalenian projektowanian, a także eksploatacji urządzenian i systemów wodno-melioracyjnych. Prowadzono je na wydzielonych polatkach doświadczalnych, a także w skali pól produkcyjnych oraz w małych zlewniach hydrologicznych doliny Odry. Główne cele badawcze wynikały z potrzeb nauki i praktyki gospodarczej. Były one ukierunkowane na racjonalne wykorzystanian potencjału produkcyjnego gleb i ochronę środowiska przyrodniczego przy udziale urządzenian i systemów wodno-melioracyjnych.

Wieloletnie badania bilansu wodnego gleb na polach ustalonych umożliwiły określenie potrzeb wodnych podstawowych roślin uprawnych w warunkach prowadzenia naturalnej gospodarki wodnej. Pozwoliły na określenie deficytów wodnych roślin na glebach lekkich, średnio zwięzłych i zwięzłych. Udowodniły, że intensyfikacja produkcji polowej przyczynia się do znaczącego zmniejszenia jednostkowego zużycia wody. W przypadku braku systemów nawadniających szczególną rolę odgrywają tu czynniki agrotechniczne (uprawa, zmianowanian i dobór roślin, nawożenie, pielęgnacja).

Kolejne badania wpływ u nawożenia mineralnego i nawodnienian deszczownianego na rozwój runi łąkowej i jej plonowanian wykazały, że:

- główna masa korzeniowa łąki (do 95%) zalega do głębokości 30 cm;
- w miarę zwiększanian poziomu nawożenia mineralnego oraz przy wprowadzenian nawodnienian wzrastał znacząco plon części nadziemnej w stosunku do części podziem-

nej (korzeni) w proporcji od 3,34 dla ubogich stanowisk nie deszczowanych do 0,77 przy gospodarce intensywnej;

- najefektywniejsze przyrosty plonu łąki na madzie lekkiej uzyskiwano przy stosowaniu jednorazowych dawek nawodnienia deszczownianego 20–30 mm; przy wyższych dawkach następowała już rozrzutna gospodarka wodna roślin.

Badania nad efektywnością deszczowania średnio związłych gruntów ornych pozwoliły na następujące stwierdzenia:

- skuteczność działania deszczu naturalnego i sztucznego zależała od wysokości opadu, jego natężenia i rozkładu w czasie, przebiegu elementów pogody w okresie deszczowania, rodzaju zwilżanych roślin oraz ich wrażliwości na niedobory wody;
- największa skuteczność nawodnień i najwyższy wskaźnik produktywności wody uzyskiwano przy stosowaniu ich w okresach wzmożonej transpiracji roślin. Nawet w latach zakwalifikowanych do mokrych nawodnienia w czasie krótkotrwałej suszy pokrywającej się z okresem krytycznym dla roślin dawały istotny wzrost plonu;
- efektywność wykorzystania wody zależała wyraźnie od wysokości dawki polewowej. Najwyższe efekty uzyskano przy stosowaniu 30 mm jednorazowych dawek nawodnienia uzupełniającego. Dawki mniejsze realizowane z większą częstotliwością, np. 2 x 15 mm, powodowały niższe o ok. 20–30% przyrosty plonów;
- w wyniku intensyfikacji produkcji przez odpowiedni poziom agrotechniki i zastosowane nawodnienia uzyskuje się oszczędniejszą gospodarką wodną roślin wyrażającą się malejącym wskaźnikiem jednostkowego zużycia wody.

Do wzrostu efektywności nawodnień rolniczych przyczyniają się znacząco czynniki techniczno-organizacyjne, które powinny zapewnić racjonalne wykorzystanie urządzeń o odpowiednio wysokim poziomie niezawodności, z optymalnym efektem ekonomicznym. Na niezawodność urządzeń i systemów nawodnień deszczownianych składają się takie cechy jak bezawaryjność, trwałość, naprawialność. Badania niezawodności deszczowni wykazały, że:

- największa intensywność awarii, ze względu na usterki wykonawcze, występuje w pierwszych dwóch latach eksploatacji systemu. Ponowny ich wzrost następuje po ok. 18 latach, w wyniku fizycznego zużycia elementów;
- obiekty prawidłowo eksploatowane posiadały wyższe wskaźniki niezawodności;
- zastosowanie pierścieniowego układu rurociągów podziemnych zwiększało zdolność eksploatacyjną deszczowni.

Kilkuletnie badania procesu eksploatacji nawodnienia kropłowego w sadzie jabłoniowym wykazały, że:

- nawodnienie kropłowe sadu daje znaczne przyrosty plonu przy stosunkowo małym zaopatrzeniu w wodę i nie koliduje z prowadzeniem zabiegów pielęgnacyjnych;
- efekty produkcyjne i ekologiczne w dużym stopniu zależą od sposobu eksploatacji systemu nawadniania. W warunkach gleby średnio związanej (głina lekka pylasta) najlepsze efekty uzyskiwano, stosując nawodnienie przy spadku uwilgotnienia do 18% obj. (60% PPW), z wykorzystaniem emitera o wydatku 8 litrów na godzinę i dawce polewowej 18 litrów pod drzewo. Emiter o mniejszej intensywności wypływu powodował mniejszą (poziomą) przestrzeń zwilżania oraz odpływ wody na

znaczną głębokość – poza zasięg głównej masy systemu korzeniowego drzewa, obniżając produktywność wody.

Poprawę bilansu wodnego gleb położonych w dolinach rzek nizinnych można dokonać przez wprowadzenie systemu regulowania odpływu wody powierzchniowej i gruntowej. Dwudziestoletnie badania możliwości wzbogacania zasobów retencji gruntowej prowadzone na wielu obiektach w zlewni rzeki Baryczy i Bystrzycy wskazały, że:

- w dolinach rzek nizinnych, na glebach przepuszczalnych mineralnych i organicznych ze stosunkowo płytkim poziomem wód gruntowych, można sterować zasobami retencji gruntowej, wykorzystując system urządzeń piętrzących;
- w wyniku całorocznego sterowania zasobami retencji gruntowej przez zahamowanie odpływu wody powierzchniowej i gruntowej można wyeliminować niedobory wody na użytkach rolnych w wysokości ok. 150–200 mm. Wielkość wykorzystania efektywnej retencji gruntowej zależy w dużym stopniu od wysokości opadów z okresu zimy;
- zasoby efektywnej retencji gruntowej wykorzystywane w okresie wegetacyjnym stanowią głównie wody zgromadzone w półroczu zimowym i ewentualnie uzupełniane nadwyżką skoncentrowanych opadów letnich;
- na kształtowanie się wielkości zasobów retencji gruntowej wpływa obecność jezior, zbiorników wodnych, stawów i kanałów stale prowadzących wodę;
- system stawów rybnych zlokalizowany w korzystnych warunkach geologicznych, oddziałuje pozytywnie na otaczające go środowisko, przez wzbogacenie jego walorów przyrodniczych, a także znaczące zwiększanie zasobów retencji gruntowej na sąsiadujących użytkach rolnych i leśnych;
- gospodarowanie wodą w systemie melioracyjnym przez regulowanie odpływu, przy udziale urządzeń piętrzących, nie tylko zwiększało zasoby retencji glebowej, lecz również poprawiało jakość wód. Zwiększało się natlenienie wód płynących a zmniejszało BZT₅ i zawartość w niej biogenów (wykorzystywanych przez roślinność), zwłaszcza azotu, fosforu i potasu. Potwierdzają to kilkunastoletnie wyniki analiz chemicznych wód płynących i gruntowych na obiektach w Samotworze i Miękini. Lepszą jakość wód odpływających ze zmeliorowanych obiektów uzyskiwano w okresie dobrego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej i lepszej eksploatacji systemu melioracyjnego.

Zaprezentowane wyniki 45-letnich badań w zakresie opracowania podstaw i doskonalenia metod eksploatacji systemów melioracyjnych dowodzą, że dobrze zaprojektowane i wykonane oraz prawidłowo, w ścisłej współpracy z producentem rolnym użytkowane urządzenia melioracyjne, umożliwiają uzyskiwanie odpowiednio wysokiego poziomu produkcji rolniczej, nie stwarzając zagrożenia dla środowiska. Racjonalna eksploatacja systemów melioracyjnych pozwala pozytywnie kształtować walory środowiska (optymalizować uwilgotnienie gleb, hamować odpływ wód powierzchniowych i gruntowych, zwiększając zasoby małej retencji wodnej, ograniczać odpływ biogenów do wód powierzchniowych i wgłębnych, z korzyścią dla człowieka i środowiska naturalnego.

Naturalne przemiany, jakie zachodzą w środowisku przyrodniczym, również na skutek działalności gospodarczej, skłaniają do intensyfikacji produkcji rolniczej, a przy tym do rozwoju melioracji wodnych. Warunki klimatyczne i hydrologiczne Polski wskazują na potrzebę sprawnych systemów odwadniających umożliwiających odprowadzanie

szkodliwych dla środowiska okresowych nadmiarów wody. Znacznie większe potrzeby występują w zakresie nawodnień użytków rolnych, leśnych, a także terenów rekreacyjnych. Na określone (przez Ministerstwo Rolnictwa) potrzeby melioracji 9,2 mln ha, wymagało nawodnień maksymalnie 2,1 mln ha. Dotychczas zmeliorowano 6,7 mln ha użytków rolnych, w tym niecałe 0,5 mln ha posiada urządzenia nawadniające, a z tego ok. 0,1mln ha uważa się za sprawne. Są więc bardzo duże potrzeby odbudowy, modernizacji i budowy nowych systemów melioracyjnych, zwłaszcza o działaniu nawadniającym. Przedstawione wyżej wymagania melioracji wodnych będą ulegały zmniejszaniu w miarę ubywania powierzchni użytków rolnych.

Gruntownej przebudowy wymaga służba eksploatacyjna systemów melioracyjnych, która powinna zagwarantować sprawne ich funkcjonowanie. Realizacja takiego zadania wymaga odbudowy i wzmocnienia polskiego rolnictwa, dla którego melioracje będą ważnym czynnikiem gwarantującym stabilizację produkcji rolniczej na odpowiednio wysokim poziomie, w zakresie ilości i jakości produkowanych dóbr konsumpcyjnych.

8. Wnioski

1. Podstawą prowadzenia skutecznej, niezawodnej i ekonomicznej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym jest dobrze zorganizowany, operatywny system eksploatacji urządzeń melioracyjnych i rolniczego użytkowania.

2. Wieloletnie badania bilansu wodnego gleb na polach ustalonych w warunkach prowadzenia naturalnej gospodarki wodnej oraz przy stosowaniu podwyższonego poziomu nawożenia i nawodnienia roślin przez deszczowanie udowodniły, że:

- Intensyfikacja produkcji polowej przyczynia się do zmniejszenia jednostkowego zużycia wody. Jest ono znaczące przy stosowaniu czynników agrotechnicznych (staranna uprawa, dobór roślin, odpowiedni poziom nawożenia). Staje się bardzo wysokie przy dodatkowym działaniu czynnika wodnego (sprawny system odwadniająca oraz w miarę potrzeby intensywne nawadnianie).
- Stosowanie odpowiednio wysokiego nawożenia mineralnego i nawodnienia deszczowanego łąki powodowało nawet 4-krotny przyrost plonów masy nadziemnej w stosunku do części podziemnej (korzeni). Przy zastosowaniu wyłącznie nawożenia proporcje te wynosiły 2,49, a przy wyłącznym nawadnianiu 1,69.
- Wysokość pojedynczej dawki nawadniającej należy uzależniać od pojemności retencyjnej gleby. Na madzie lekkiej była to dawka 20–25 mm, a na madzie średnio zwięzłej 30–40 mm. Przytoczone wyższe wartości zaleca się stosować w latach suchych. Dawki polewowe mniejsze bądź większe obniżają efekty produkcyjne. Optymalizacja dawek polewowych dotyczy również nawodnienia kropłowego.
- Produktowność wody wyraźnie wzrasta w miarę intensyfikacji produkcji rolniczej. Przykładowo:
 - a. wzrost plonu kapusty późnej o 25, 50 i 75% powodował spadek jednostkowego zużycia wody odpowiednio o 17, 29 i 38%;
 - b. przy wzroście plonu ziemniaków wczesnych o 20, 40 i 60% nastąpiło zmniejszenie się jednostkowego zużycia wody odpowiednio o 17, 30 i 35%.

3. W celu zagwarantowania prawidłowego funkcjonowania i rozwoju rolnictwa zapewniającego stabilną produkcję żywności, a także utrzymania w dobrym stanie zasobów przyrody należy dbać o stały rozwój melioracji wodnych w Polsce, szczególnie w zakresie:

- ochrony przed niepożądanymi wylewami rzek,
- zachowania sprawnych systemów odprowadzania szkodliwego nadmiaru wód powierzchniowych i gruntowych,
- budowy urządzeń retencjonowania wody w środowisku (małe i duże zbiorniki wodne oraz rozwój małej retencji),
- doskonalenia sposobów nawodnienia, w tym intensywniejszy rozwój systemów zasobowooszczędnych (regulowany odpływ, mikronawodnienia),
- doskonalenia przestrzennego zagospodarowania zlewni hydrologicznych dla poprawy ich zdolności retencyjnych i spowolnienia obiegu wody.

Piśmiennictwo

- Balcer W., 1983. Optymalizacja jednostek eksploatacyjnych deszczowni. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Melioracje XXV Nr 143, s. 175–185.
- Brandyk T., Hewelke P., 1995. Perspektywy gospodarowania wodą dla zrównoważonego rozwoju obszarów rolniczych. Wiad. Melior. i Łąk. Nr 3.
- Brouwer W., 1959. Die Feldberechnung. Wyd IV DLG – Verlag, Frankfurt / Main.
- Cieśliński Z. (red.), 1997. Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego. Wyd. AR w Poznaniu.
- Drupka S., 1972. Deszczownie i deszczowanie. PWRiL, Warszawa.
- Drupka S., 1976. Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. PWRiL, Warszawa.
- Dzieżyc J., 1974. Nawodnienie roślin. PWRiL, Warszawa.
- IMGW, 1996. Stan i wykorzystywanie zasobów wód powierzchniowych Polski. Materiały badawcze Nr 20, seria Gospodarka wodna i ochrona wód. IMGW Warszawa–Kraków.
- Janus E., 1976. Wpływ deszczowania i nawożenia na stosunki wodne gleby, rozmieszczenie korzeni oraz na zużycie wody i plonowanie. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 181, s. 379–425.
- Jeznach J., 1996. Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kroplowych w różnych warunkach środowiskowych. Rozprawy naukowe i Monografie. Wyd. SGGW Warszawa, s. 126.
- Jeznach J., 2005. Techniczne problemy nawodnień. Postępy Nauk Rolniczych Nr 3/2005, s. 135–144.
- Kaca E., 1991. Rozrząd wody w systemach nawodnień podsiąkowych. Rozprawy naukowe i Monografie. Wyd. SGGW Warszawa, s. 152.
- Kamionka Sz., 1996. Rola stawów rybnych w kształtowaniu zasobów retencji terenów przyległych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 283. Melioracja XLII, s. 195–224.
- Konieczny J., 1971. Wstęp do teorii eksploatacji urządzeń. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Konieczny J., 1975. Sterowanie eksploatacją urządzeń. PWN, Warszawa.
- Konieczny J., Olearczyk E., Żelazowski W., 1969. Elementy nauki o eksploatacji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Kosturkiewicz A., 1991. Ochrona i racjonalne wykorzystanie zasobów wodnych na terenach rolniczych w rejonie Wielkopolski. Konferencja naukowa Poznań 18 XII 1991 r.
- Kowalik P., 2003. Dyrektywa wodna Unii Europejskiej a rolnictwo. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie Nr 1.
- Marcilonek S., 1968. Oznaczanie polowego zużycia wody przez rośliny uprawne. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN z. 88, s. 77–86.
- Marcilonek S., 1970. Techniczno-organizacyjne sposoby eksploatacji deszczowni. Zesz. Nauk. WSR we Wrocławiu. Melioracje XV Nr 90, s. 175–185.
- Marcilonek S., 1979. Eksploatacja urządzeń melioracyjnych. PWRiL, Warszawa.
- Marcilonek S., 1993. Rola melioracji w zakresie ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczo-rolniczego, [w:] „Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego”. Wyd. AR Wrocław, s. 161–180.
- Marcilonek S., 1994. Eksploatacje urządzeń melioracyjnych. Wyd. AR. Wrocław.

- Marcilonek S., Janus E., Nyc K., 1973. Wpływ nawodnienia deszczownianego na plonowanie łąk. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 140, s. 381–394.
- Marcilonek S., Janus E., 1986. Produktynność wody użytków zielonych na madzie lekkiej w świetle doświadczeń z deszczowaniem w latach 1968–1979. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 284, s. 621–633.
- Marcilonek S., Nyc K., Gąsiorek E., 1990. Niezawodność eksploatacyjna półstałych urządzeń deszczownianych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im H. Kołłątaja w Krakowie. Sesja Naukowa z. 28. Nr 250, s. 213–234.
- Marcilonek S., Nyc K., Gąsiorek E., 1990. Wstępna ocena niezawodności eksploatacji deszczowni. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Melioracje XXXVIII Nr 195, s. 89–96.
- Marcilonek S., Nyc K., 1995. Główne kierunki usprawnienia eksploatacji współczesnych systemów melioracyjnych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 266, s. 13–19.
- Marcilonek S., Kostrzewa S., Nyc K., Drabiński A., 1995. Cele i zadania współczesnych melioracji wodnych. Wydawnictwo Instytutu Ochrony Przyrody. PAN, Kraków, s. 71–84.
- Mioduszewski W., Nyc K., Żelazo J., 2005. Zasoby wodne w obszarach wiejskich. Postępy Nauk Rolniczych Nr 3, s. 3–19.
- Nowaczyk B., 1971. Wybrane zagadnienia z melioracji rolnych. Deszczownie – projektowanie, wykonawstwo, eksploatacja. Skrypty WSR w Poznaniu.
- Nyc K., 1966. Niektóre przykłady nawodnień deszczownianych w Czechosłowacji. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie Nr 3.
- Nyc K., 1969. Projektowanie deszczowni z punktu widzenia potrzeb eksploatacji. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie Nr 10.
- Nyc K., 1974. Połowe zużycie wody przez kapustę późną i ziemniaki wczesne na glebie średnio zwięzłej w warunkach deszczowania. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. z. 161, s. 143–153.
- Nyc K., 1974.. Potrzeby wodne niektórych roślin warzywnych nawadnianych przez deszczownie. Wiadomości IMUZ Falenty t. XI z. 4, s. 77–108.
- Nyc K., 1980.. Możliwości nawadniania przez wykorzystanie retencji gruntowej. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Melioracje XXIII, s. 89–92.
- Nyc K., 1984. Możliwości sterowania zasobami wody gruntowej w dolinie Rowu Śląskiego. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria F. t. 81, s. 107–126.
- Nyc K., 1985. Sterowanie zasobami retencji gruntowej w dolinach rzek nizinnych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 53. Rozprawy.
- Nyc K., 1992. Niezawodność deszczowni półstałych. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCXXXIV.
- Nyc K., 1994. Rola retencji wodnej w bilansowaniu zasobów wodnych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 248, s. 247–251.
- Nyc K., Kostrzewa S., 1994. Przyrodniczo-rolnicze uwarunkowania melioracji wodnych w zlewni rzeki Oławy w aspekcie ochrony i bilansowania zasobów wodnych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 248, s. 237–246.
- Nyc K., 1995. Ekologiczne konsekwencje melioracji wodnych – spojrzenie meliorantów. Wydawnictwo Instytutu Ochrony Przyrody. PAN, Kraków, s. 13–25.
- Nyc K., 2006. Wprowadzanie systemów nawadniających, [w:] „Nawadnianie roślin”. PWRiL, s. 157–174.
- Nyc K., Janus E., 1968. Efekty deszczowania łąki na madzie zwięzłej. Zesz. Nauk. WSR we Wrocławiu Nr 80. Melioracja XIII, s. 183–192.
- Nyc K., Kamionka Sz., Janus E., 1992. Oddziaływanie stawów na stosunki wodne terenów przyległych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Melioracja XL, s. 169–185.
- Nyc K., Sulima A., 1992. Ocena wpływu prędkości wiatru i ciśnienia wody na równomierność deszczowania. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie Nr 4, s. 146–148.

- Nyc K., Kamionka Sz., 1994. Ekologiczne i melioracyjne wartości terenów przystawowych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Nr 248, s. 247–251.
- Nyc K., Pokładek R., Janus E., 1994. Kształtowanie się stanów wód gruntowych na zmeliorowanych glebach lekkich w warunkach wprowadzania ograniczonego odpływu. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 243, Inżynieria Środowiska VI, s. 61–71.
- Nyc K., Kamionka Sz., 1996. Rola stawów rybnych w kształtowaniu warunków środowiskowych obszarów wiejskich. Przegląd Naukowy Wydz. Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie, z. 10, s. 39–48.
- Nyc K., Pokładek R., Czarniecki A., 1998. Efekty stosowania regulowanego odpływu w ciekach melioracyjnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN, Nr 458, Warszawa, s. 249–262.
- Nyc K., Pokładek R., 2001. Ekologiczne skutki gospodarowania wodą na użytkach rolnych przez regulowanie jej odpływu. Przegląd Naukowy Wydz. Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW Warszawa, z. 22, s. 177–186.
- Nyc K., Pokładek R., Zachary M., 2003. Wpływ eksploatacji zmeliorowanego obiektu Miękinia na jakość wód. Wiadomości Melioracyjne i Łącarskie Nr 2, s. 70–74.
- Nyc K., Pokładek R., 2004a. Rola małej retencji w kształtowaniu ilości i jakości wód. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 502, Seria Inżynieria Środowiska XIII, s. 343–352.
- Nyc K., Pokładek R., 2004b. Rola eksploatacji systemu melioracyjnego w kształtowaniu zasobów małej retencji oraz poprawie jakości wód na przykładzie obiektu Miękinia. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCCLVII. Melioracje i Inżynieria Środowiska Nr 25, s. 517–524.
- Nyc K., Pokładek R., 2004c. Rola małej retencji w kształtowaniu ilości i jakości wód. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Inżynieria Środowiska Nr 502. Inżynieria Środowiska XIII, s. 343–352.
- Nyc K., Sokalska D., 2008. Zużycie wody w sadzie jabłoniowym nawadnianym kropłowo. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. z. 528, s. 87–95.
- Nyc K., Pokładek R., 2008. Aktualne problemy melioracji użytków zielonych. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie. t. 8, z. 2b(24), s. 97–103.
- Olearczuk E., 1972. Zarys teorii użytkowania urządzeń technicznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Pierzgalski E., 1996. Melioracje użytków zielonych – nawodnienia podsiąkowe. Wyd. SGGW Warszawa, s. 200.
- Pokładek R., 2001. Skuteczność nawodnienia przez regulowanie odpływu. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu Nr 417, s. 105–135.
- Pokładek R., Nyc K., 2004. Współczesne problemy eksploatacji w melioracjach. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie. t.1. z. 1(10). Wyd. IMUZ Falenty, s. 31–46.
- Pokładek R., Nyc K. 2007. Możliwości gospodarowania wodą w małych zlewniach rolniczych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 519, s. 259–268.
- Pokładek R., Nyc K., 2007. Celowość i kierunek rozwoju melioracji w Polsce. Wiadomości Melioracyjne i Łącarskie Nr 3.
- Pokładek R., Nyc K., 2008. Ocena zasobów wodnych i ładunków wybranych składników chemicznych odprowadzanych z obszaru zmeliorowanej małej zlewni. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. z. 532, s. 211–222.
- Pokładek R., Nyc K., 2008. Skuteczność działania regulowanego odpływu w okresie suszy hydrologicznej i ekstensywnej eksploatacji obiektu. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. z. 528, s. 2149–155.
- Przybyła Cz., Fidler M., 1992. Sterowanie nawodnieniami – teoria i praktyka. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCXXXIV (1992), s. 175–185.

- Przybyła Cz., Kozaczyk P., 2004. Zmienność uwilgotnienia gleb w sadzie jabłoniowym. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCCLVII Melioracje i Inżynieria Środowiska – 25, s. 467–474.
- Reinhard T., Reinhard A., Nyc K., 2007. Matematyczny model procesu nawodnienia kropłowego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. PAN. z. 528, s. 175–181.
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, 2006. GUS Warszawa.
- Rytel Z., 1969. Gospodarka wodna na łąkach i pastwiskach. PWRiL, Warszawa.
- Siuta J., 2007. Ekologiczna rola regulacji stosunków wodnych w glebie. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie Nr 3, s. 115–116.
- Smólska K., 1970. Eksploatacja urządzeń melioracyjnych na użytkach zielonych. PWN, Warszawa.
- Sokalska D., Nyc K., 2007. Rozkład przestrzenny uwilgotnienia gleby przy nawodnieniu systemem kropłowym, [w:] „Na pograniczu chemii i biologii”, pod red. H. Koroniaka i J. Barciszewskiego. T–XIX Wyd. Naukowe Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, s. 291–296.
- Sochoń Z., 1967. Gospodarowanie wodą przy nawodnieniach zalewowych. Bibl. Wiad. IMUZ, z. 21.
- Szymańska H., Nyc K., 1995. Rola melioracji w ograniczeniu zanieczyszczeń przestrzennych. Konferencja „Strategia rozwoju gospodarki wodnej”. Zakopane 9–12 maja 1995 r, s. 445–451.
- Ważyńska-Fiók K., Jaźwiński J., 1990. Niezawodność systemów technicznych. PWN, Warszawa.
- Witek T. (red.), 1985. Waloryzacja rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski wg gmin, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. Puławy.
- Ziemia S. (red.), 1985. Sterowanie i zarządzanie eksploatacją systemów technicznych. t. II. Podstawy eksploatacji maszyn. PWN. Warszawa.

Eksploatacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym

S t r e s z c z e n i e

W monografii przedstawiono główne zagadnienia, które były przedmiotem zainteresowania naukowego Autorów. Dotyczyły doskonalenia metod gospodarowania wodą w środowisku przyrodniczo-rolniczym. Ukierunkowano je na zwiększenie produktywności wody i stabilizacji poziomu plonowania w rolnictwie, a także na ochronę środowiska przyrodniczego. Podane informacje z teorii eksploatacji podkreślają olbrzymie znaczenie dobrze realizowanych procesów użytkowania i utrzymania systemów w uzyskiwaniu odpowiednich efektów melioracji. Duże znaczenie mają tu warunki „otoczenia”, które temu sprzyjają, dając wysokie efekty lub nie sprzyjają. Badania polowego zużycia wody w produkcji rolniczej prowadzone na polach ustalonych w warunkach naturalnej gospodarki wodnej, a także przy zastosowaniu systemów nawadniających na użytkach rolnych i uprawach sadowniczych, jednoznacznie wskazywały, że intensyfikacja produkcji przez nawożenie i nawadnianie znacznie zwiększa produktywność wody. W wyniku nawożenia i nawodnienia zwiększa się również plon masy nadziemnej (siana) w stosunku i plonu korzeni. Badania prowadzone w Samotworze wykazały, że iloraz plonu korzeni do plonu części nadziemnych (siana) w czwartym roku użytkowania na łące nie nawożonej wynosił 3,34, natomiast po zastosowaniu wysokiego nawożenia zmalał do 1,34 (czyli ok. 2,5-krotnie), a po dodatkowym nawodnieniu deszczownianym – do 0,77, świadcząc o znacznym przyroście masy nadziemnej traw. Główna masa korzeniowa łąki (do 95%) zalegała do głębokości 30 cm. Efektywność wykorzystania wody na gruntach ornych i użytkach zielonych w zasadniczym stopniu zależała od zdolności retencyjnej gleby. Na glebach przepuszczalnych (piaski słabo gliniaste) optymalna dawka nawodnień deszczownianych wynosiła ok. 20–25 mm (większa w latach suchych). Na glebach średnio związanych optymalne dawki wzrastały do 30–40 mm. Zmniejszenie dawek nawodnienia przy równoczesnym zwiększeniu częstotliwości ich stosowania nie dawało zadowalających rezultatów. Stosowanie optymalnych dawek polewowych jest również bardzo istotne przy nawadnianiu kropowym. Ważnym jest tu wielkość dawki polewowej a także intensywność wypływu wody z emitera – w dostosowaniu do przepuszczalności gleby.

Opracowanie kończy stwierdzenie o potrzebie znacznego rozwoju melioracji nawadniających w Polsce przy równoczesnej trosce o utrzymanie w dobrej sprawności technicznej urządzeń o działaniu odwadniającym. Takie postępowanie warunkuje odpowiednią sprawność systemów nawadniających przy racjonalnym wykorzystaniu dyspozycyjnych zasobów wodnych. Dobrze eksploatowane systemy melioracyjne powinny służyć nie tylko intensyfikacji produkcji rolniczej, lecz również utrzymaniu w dobrym stanie środowiska przyrodniczego.

Słowa kluczowe: systemy melioracyjne, eksploatacja urządzeń, nawodnienia, produktywność wody

Operation of land melioration systems as a foundation of water management in the natural-agricultural environment

A b s t r a c t

The study presents the main issues that were in the focus of research interest of the Author, relating to the methods of water management in the natural-agricultural environment, oriented at increasing the productivity of water and at stabilisation of yields in agriculture, as well as at the protection of the natural environment. The information given by the Author, pertaining to the theory of operation, emphasizes the significance of well-realized processes of operation and maintenance of systems for the obtainment of satisfactory effects of land melioration. Highly important in this context are the "neighbourhood" conditions that may be conducive to the obtainment of good effects, or may have a counterproductive influence. Studies on the field consumption of water in agricultural production conducted "on established fields" under conditions of natural water economy as well as with the application of irrigation systems on arable lands and in orchard cultures clearly demonstrated that intensification of production through fertilisation and irrigation notably increases the productivity of water.

Application of fertilisation and irrigation results also in an increase in the yield of the aboveground mass (hay) with relation to the yield of roots. Experiments conducted at Samotwór showed that the quotient of root yield to the yield of aboveground parts (hay) in the fourth year of use of a non-fertilised meadow was 3.34, while after the application of high-dose fertilisation its value decreased to 1.34 (i.e. by a factor of ca. 2.5), and after additional sprinkler irrigation it dropped to 0.77, indicating a significant increase of the aboveground parts of the grasses. The main root mass of the meadow (up to 95%) was located at profile depths down to 30 cm. The effectiveness of water utilisation on arable lands and grasslands depended to a significant degree on the water retention capacity of the soil. On permeable soils (weakly-loamy sands) the optimal dose of sprinkler irrigation was ca. 20–25 mm (more in dry years). On medium compacted soils, the optimum doses increased to 30–40 mm. Irrigation dose reduction at simultaneous increase in the frequency of application did not bring satisfactory effects. Application of optimum irrigation doses is also highly important in the case of drip irrigation, where the level of the irrigation dose applied and the rate of water output from the emitter are the important issues that have to be adapted to the permeability of the soil.

The work ends with a statement on the necessity of considerable expansion of irrigation meliorations in Poland, with simultaneous care for maintaining drainage structures in good operating and technical condition. Such an approach guarantees the required level of operating efficiency of irrigation systems with rational utilisation of available water resources. Well operated and maintained land melioration systems should serve not only for the intensification of agricultural production but also for preserving the natural environment in good condition.

Key words: land reclamation, the devices exploitation, irrigating, the water productivity

