

**ZESZYTY NAUKOWE
AKADEMII ROLNICZEJ
WE WROCŁAWIU**

NR 544

**ROZPRAWY
CCXLIII**

ROMUALD ŻMUDA

**FLUVIAL TRANSPORT SYSTEM FUNCTIONING
IN SMALL CATCHMENT THREATENED BY SOIL
WATER EROSION**

**INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT
AND PROTECTION**



WROCŁAW 2006

ROMUALD ŻMUDA

**FUNKCJONOWANIE SYSTEMU TRANSPORTU
FLUWIALNEGO W MAŁEJ ZLEWNI ZAGROŻONEJ
EROZJĄ WODNĄ GLEB**

**INSTYTUT KSZTAŁTOWANIA I OCHRONY
ŚRODOWISKA**



WROCŁAW 2006

Opiniodawca

prof. dr hab. inż. Stanisław Pałys

Redaktor merytoryczny

dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski

Opracowanie redakcyjne i korekta

Janina Szydłowska

Łamanie:

Halina Sebzda

Teresa Alicja Chmura

Projekt okładki

Grażyna Kwiatkowska

© Copyright by Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2006

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany
za pomocą urządzeń elektronicznych, nagrywających i innych
bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

ISSN 0867-7964

ISSN 0867-1427

WYDAWNICTWO AKADEMII ROLNICZEJ WE WROCŁAWIU

Redaktor naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopocka 23, 50-344 Wrocław, tel./fax (071) 328-12-77

e-mail: wyd@ozi.ar.wroc.pl

Nakład: 100 + 16 egz. Ark. druk. 10,5

Druk i oprawa: F.P.H. „ELMA”

**„Nie tylko sztuka i wiedza,
ale także cierpliwość musi być częścią dzieła”**

(Johann Wolfgang von Goethe)

Dziękuję Opatrzności za możliwość prowadzenia badań w czasach, w których wiedza, doświadczenie i prace naukowe wychowanków wielkich prekursorów rozwoju badań erozji wodnej gleb w Polsce stanowiły inspirację do powstania tego skromnego dzieła.

Niniejszą pracę dedykuję wszystkim tym, których cierpliwość, wyrozumiałość, życzliwe rady i wsparcie w trudnych chwilach stanowiły dla mnie bodziec twórczy. Szczególne podziękowania kieruję do najbliższej rodziny, dzielnie znoszącej moje częste absencje i przejmującej ciężar obowiązków domowych na swoje barki.

Romuald Żmuda

Spis treści

1. Wstęp.....	9
2. Cel, zakres i metodyka badań	13
2.1. Kierunki badań erozyjnych i sposoby oceny dostawy materii do koryt cieków..	13
2.2. Cel badań	21
2.3. Zakres i metodyka badań	23
2.3.1. Elementy meteorologiczne.....	23
2.3.2. Elementy hydrologiczne	23
2.3.3. Pomiary mętności wody.....	24
2.3.4. Badania laboratoryjne	26
2.3.5. Badania, wizje terenowe i prace kameralne	28
3. Charakterystyka rejonu badań i obiektu badawczego	31
3.1. Charakterystyka mezoregionu Wzgórza Trzebnickie	31
3.2. Charakterystyka zlewni Mielnicy	34
3.3. Charakterystyka środowiska stokowego.....	43
4. System transportu fluwialnego Mielnicy	52
5. Tło hydrometeorologiczne procesów erozji wodnej gleb w zlewni Mielnicy	55
6. Wyniki badań prowadzonych w cieku Mielnica i na stoku jej zlewni.....	80
6.1. Materiał fluwialny na stoku	80
6.2. Materiał fluwialny przemieszczający się korytem cieku	84
7. Funkcjonowanie systemu transportu fluwialnego Mielnicy	94
7.1. Podsystem stokowy	94
7.2. Podsystem koryta cieku	111
7.3. Funkcjonowanie systemu jako zorganizowanej całości.....	120
8. Podsumowanie i wnioski.....	134
Piśmiennictwo.....	143

1. Wstęp*

Naturalne ukształtowanie terenu oraz gleba bezustannie poddawane są presji czynników naturalnych i antropogenicznych.

Z punktu widzenia przyszłych pokoleń i stworzenia im możliwości korzystania oraz gospodarowania zasobami środowiska o jak najwyższym standardzie, pokolenie współczesnych mieszkańców globu ziemskiego objęło ochroną, w postaci szeregu aktów prawnych różnej rangi, poszczególne komponenty środowiska, w tym również powierzchnię ziemi. W warunkach polskich kompleksowo zagadnienie to reguluje ustawa „Prawo ochrony środowiska” [Ustawa 2001], a w odniesieniu do gruntów rolnych i leśnych ustawa „O ochronie gruntów rolnych i leśnych” [Ustawa 1995]. Z zapisów tam zawartych wynika, że jednym spośród licznych obowiązków właściciela gruntu jest m.in. ograniczanie zmian naturalnego ukształtowania powierzchni ziemi, w tym zapobieganie erozji gleb.

Erozja gleb, jako zespół degradacyjnych i agradacyjnych procesów morfogenetycznych (pochodzenia naturalnego i antropogenicznego) przeobrażających powierzchniowo i włącznie powierzchnię ziemi [Józefaciuk, Józefaciuk 1996], towarzyszy jej od zarania dziejów przebiegając początkowo jako erozja geologiczna (naturalna), a od momentu, gdy „człowiek zaczął czynić sobie ziemię poddaną” jako erozja przyspieszona (antropogeniczna).

Procesy erozyjne oprócz kształtowania powierzchni ziemi są bardzo ważnym czynnikiem procesów glebotwórczych zachodzących w różnych warunkach oraz sterują przemieszczaniem się gleby do koryta cieków [Bartnik, Madeyski 1992, Froehlich 2002, Gil 1999, Miler 2002]. Zasadniczo wyróżnia się trzy podstawowe klasy rumowiska rzeczno-go: wleczone, unoszone i spławialne, którego kontakt trwałych cząstek mineralnych z dnem koryta cieków jest ciągły, sporadyczny, lub nie mający żadnego związku [Graf 1971, Parzonka 1991]. Jednakże inni naukowcy, jak Byczkowski [1999], Dębski [1955], Dąbkowski i in. [1982], Lambor [1971] czy Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski [1999] wyróżniają jeszcze dodatkowo rumowisko rozpuszczone, zawarte w wodzie rzecznej w postaci roztworów. Stanowią one produkt działania chemicznego wody. W fazie lądowej cyklu hydrologicznego odpływ wody odbywa się z obszarów zbiorczych cieków, które to obszary można także nazwać systemami przenoszenia produktów erozji gleb. Transport osadów w zlewni jest zjawiskiem skomplikowanym. Odbywa się on w sieci połączeń obejmujących strefę stoków aż po miejsca, gdzie następuje akumulacja tego materiału

* W pracy wykorzystano wyniki badań wykonanych w ramach projektów badawczych nr 5 P06H 023 14 oraz 3 P06S 054 22 finansowanych przez Komitet Badań Naukowych.

[Allen 2000, Froehlich 1975, Prochal i in. 1987, Sowiński, Piaścik 1998, Ziemnicki 1968a, 1978]. Od panujących w zlewni warunków meteorologicznych, pedologicznych, ukształtowania jej powierzchni, przestrzennego rozmieszczenia użytków oraz innych cech charakteryzujących obszar, uzależniona jest aktywność geosystemu, która swoje odzwierciedlenie znajduje w intensywności zachodzących procesów hydrologicznych i geomorfologicznych [Jaworski, Szkutnicki 2001, Kostrzewski i in. 1994, Pałys, Mazur 1994, Szafrąński 1993, Stasik, Szafrąński 2005]. W przypadku erozji wodnej gleb uniesienie i ruch cząstek gleby powoduje spływająca po powierzchni terenu woda i to ona oraz tempo jej odpływu staje się środkiem transportu wpływającym na intensywność zjawisk erozyjnych w zlewni.

Już w momencie zetknięcia się z powierzchnią gleby woda opadowa zawiera pewne ilości domieszek pochodzenia naturalnego i antropogenicznego. Spływając po powierzchni terenu i przemywając profile glebowe zawartość domieszek jest modyfikowana, a ich rodzaj i ilość jest uzależniona od naturalnego składu utworów, z jakich została wytworzona gleba, zachodzących procesów glebotwórczych, czy też typu prowadzonej przez człowieka działalności [Czyżyk 1994, Dojlido 1995, Koćmit i in. 1998, Kostrzewa i in. 1999, 2003, Orlik i in. 2001, Pulikowski 2004, Rajda, Natkaniec 2001].

W dorzeczach odbywa się nieustanny obieg materii. Środowisko glebowe stanowi przestrzeń, w której zachodzą skomplikowane procesy przemian jej składników mineralnych i organicznych. Równocześnie stanowi ono środowisko życia wielu żywych organizmów, a także miejsce pozyskiwania niezbędnych składników odżywczych dla roślin [Pierzynski i in. 2005]. Złożoność, kierunek procesów zachodzących na tych obszarach, wzajemne powiązania między elementami i obiektami składają się na system rzeczny (fluwialny), w którym odbywa się transport fluwialny (wody, składników mineralnych i organicznych oraz gazów i jonów) [Gupta, Subramanian 1998, Kostrzewski i in. 1994, Radczuk 1986]. Elementami podstawowymi tego systemu są ciek naturalne (epizodyczne, okresowe i stałe) i sztuczne prowadzące wody płynące, a zarazem pełniące rolę głównej drogi transportu materii w obrębie systemu zlewni rzecznej [Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1999].

W ujęciu systemowym, fluwialny system geomorfologiczny to naturalny, otwarty system, składający się z powiązanych, prawidłowo rozmieszczonych, genetycznie jednorodnych, połączonych funkcjonalnie i hierarchicznie, często podporządkowanych powierzchni (form rzeźby i ich elementów). Połączony jest w jedną całość systemotwórczymi geopotokami materii (wodnymi, litodynamicznymi, geochemicznymi i in.), skierowanymi w stronę koryta ciek, które jest podstawowym elementem i regulatorem systemu [Bogacki, Kowalczyk 2000]. Elementem wspólnym powyższych definicji jest istnienie hydrologicznych stref, w których następuje inicjowanie ruchu materii, a koryto ciek stanowi drogę transportu aż do miejsc jej depozycji, przy czym na drodze tej zachodzą również skomplikowane procesy i zjawiska mające swoje źródło w czynnikach naturalnych i antropogenicznych [Chapman i in. 1993, Swank 1986]. Proponowane podejście hydrologiczno-zlewniowe do procesów erozji wodnej gleb znajduje swoje uzasadnienie, jest zalecane do stosowania i w praktyce najczęściej spotykane [Allen 2000, Józefaciuk, Józefaciuk 1996, Kostrzewski 2001, Lenzi, Marchi 2000, Lipski 1983, Pałys, Mazur 1994, Pałys i in. 1997, Steegen i in. 2000, Szafrąński i in. 1998a, Ziemnicki, Pałys 1977].

Szkodliwe działanie procesów erozyjnych jest powszechnie znane i niesie za sobą problemy nie tylko dla gospodarki rolniczej [Chudecki i in. 1991, Hrabě 1991, Koćmit i in. 1998, Licznar i in. 1992, Mazur, Mazur 1997, Niewiadomski, Boreńska 1977, Orlik 1991, 1998, Piechnik 1994, Rytelowski i in. 1998], ale i innych dziedzin [Bednarczyk, Michalec 1996, Czamara 1992, Koćmit 1992, Licznar 1985, Maślanka, Policht 2005, Pływaczyk 1997, Serafin, Pływaczyk 1991, Szewrański i in. 2002, Wołoszyn i in. 1994, Ziemiński 1973a, 1973b, Żbikowski, Żelazo 1993]. Nabierają one również istotnego znaczenia w ochronie i zrównoważonym rozwoju środowiska wiejskiego, zagospodarowaniu przestrzeni zlewni, kształtowaniu granicy rolno-leśnej i darniowo-polowej, planowaniu rozłogu gruntów gospodarstw czy ochronie krajobrazu agrosystemów, a nawet kształtowaniu krajobrazu [Brandyk, Hewelke 1996, Fatyga 1997, 2002, Józefaciuk i in. 2002, Koreleski 1998, 2005, Lipski, Kostuch 2005, Orlik, Węgorek 1994, 1995, 1997, Pimentel, Kounang 1998, Woch 2001, 2005]. Ograniczenie ilości rumowiska w korycie cieków, którego obecność stanowi końcowy etap transportu materii, przynosi wymierne efekty i korzyści ekonomiczne świadcząc o wartości środowiska. Niższe stają się koszty utrzymania obiektów i urządzeń hydrotechnicznych, zmniejsza się ryzyko powodzi, możliwe jest uniknięcie strat w hodowli ryb, minimalizują się koszty utrzymania szlaków żeglugowych, poprawia się jakość wody dostarczanej na potrzeby gospodarstw domowych i przemysłowe oraz zachowuje się atrakcyjne walory krajobrazowe [Winpenny 1995].

Produkcja rolnicza jest nieuniknioną ingerencją w środowisko naturalne i razem z innymi czynnikami antropogenicznymi uaktywnia procesy erozyjne. W klimacie umiarkowanym 2,5-centymetrowa warstwa gleby tworzy się w ciągu 200÷1000 lat, czyli według tych szacunków szybkość tworzenia gleby mieści się w granicach 0,3÷2,0 Mg·ha⁻¹ rocznie [Pimentel i in. 1993]. Natomiast przeciętna roczna wielkość erozji wodnej dla Polski szacowana jest przez Ryszkowskiego [1993] na poziomie 0,5 Mg·ha⁻¹. Już w drugiej połowie ubiegłego wieku Ziemiński [1968a] wskazywał na istnienie różnic między ilościami materiału glebowego odprowadzanymi korytami cieków a uruchamianymi erozyjnie w zlewniach. Według niego przeciętnie rocznie spływa rzekami do morza 5 mln Mg gleby, co stanowi ok. 5–20% gleby przemieszczającej się w dorzeczach i akumulowanej u podnóży stoków, w korytach rzek i zbiornikach wodnych.

Zanieczyszczenia docierające do wody nadają jej mętność i barwę. Rumowisko rozpuszczone (samo w sobie) oraz cząstki stałe materiału fluwialnego są również nośnikiem innych polutantów, jak chociażby azotu, fosforu, potasu, pestycydów czy nawozów, często decydujących o jakości i przydatności wody. Umiejętne gospodarowanie na użytkach rolnych przyczynia się do utrzymania dotychczasowych lub dochodzenie do wyższych standardów jakości środowiska. Zapobieganie spływom powierzchniowym (będące jednym z podstawowych zadań ograniczania erozji wodnej gleb) w praktyce znajduje zastosowanie chociażby w trakcie wdrażania zaleceń wynikających z zapisów tzw. Dyrektywy Azotanowej [Dyrektywa 1991], czy stosowaniu zasad postępowania Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej [Kodeks 2004]. Takie podejście do zagadnienia pozwoli zmniejszyć odprowadzanie składników biogenych z małych zlewni użytkowanych rolniczo, których roczna ilość wynosi w przypadku azotu od 4,5 do 20 kg·ha⁻¹, fosforu ok. 0,5 kg·ha⁻¹, natomiast potasu od 2 do 17 kg·ha⁻¹ [Dojlido i in. 1990, Rajda i in. 1994a, Koc 1998, Stachowicz 1990, Szperliński, Guberski 1990]. Na tym tle rozpoznanie sposo-

bu funkcjonowania systemu fluwialnego staje się zagadnieniem niezwykle istotnym, pozwalającym na prowadzenie prawidłowej, racjonalnej gospodarki rolnej, będącej w zgodzie z zasadą zrównoważonego rozwoju.

2. Cel, zakres i metodyka badań

2.1. Kierunki badań erozyjnych i sposoby oceny dostawy materii do koryt cieków

Erozja gleb, wchodząca w skład nauk o Ziemi, jest stosunkowo młodą dyscypliną nauki. Jej szczególnie dynamiczny rozwój nastąpił w ciągu ostatnich 100. lat, a za początek naukowego istnienia uważa się systematyczne badania nad degradowaniem gleby przez wodę i wiatr prowadzone od 1903 r. na terenie USA przez Hugh'a Hammond'a Bennett'a (1881–1960), uważanego za „ojca” tej dyscypliny oraz twórcę terminu „erozja gleb” [Bennett 1939]. Analizując bogatą literaturę naukową poruszającą problematykę erozyjną, prowadzone badania można zgrupować w zasadnicze kierunki, które obejmują:

- identyfikację obszarów zagrożonych erozją gleb i wyznaczenie ich zasięgów [Czamara 1992, Fatyga 1989, Figuła 1955, Jary, Kida 2002, Józefaciuk, Józefaciuk 1992a, 1992c, 1995, 1998, Józefaciuk i in. 2001, Koćmit 1998, Koreleski, Żurek 1997, Kowaliński, Oświecimski 1959, 1977, Licznar 1995, Marcinek 1994, Niewiadomski 1968, Prochal 1968, 1987, Reniger 1950, Smołucha, Gotkiewicz 2002, Szewrański i in. 2003, Szymański i in. 1984, Uggla i in. 1998, Ziemnicki 1968b, 1978, Żmuda 1996, 1998a];
- badania procesów morfogenetycznych na stokach lub poletkach doświadczalnych w warunkach naturalnych bądź z symulowanym opadem [Gerlach 1966, 1976, Gil 1999, Józefaciuk 1966, Józwiak 1992, Nowocień i in. 2002, 2004, Piechnik 1992, Rejman 2002, Rejman i in. 1994, Szafrąński 1993, Szewrański 2005, Szpikowski 1998];
- badania odporności gleb na zmywanie i modyfikowanie ich właściwości pod wpływem erozji [Bieniek 2001, Bieniek, Wójciak 1998, Giegużyńska i in. 2001, Józefaciuk, Józefaciuk 1992b, Klimowicz, Uziak 2001, Koćmit 1992, Koćmit i in. 1998, Licznar 1985, Licznar i in. 1991, 1998, Marcinek, Komisarek 2001, Mazur, Pałys 1985, 1994, Nowocień i in. 2002, Paluszek 2002, Rejman i in. 1994, Roy 2001, Stach 1998, Stasik, Szafrąński 2005, Szafrąński 1992, 1993, 1996];
- badania agrotechniczno-erozyjne, zmierzające do rozpoznania specyficznych warunków uprawowych oraz określające np. sposoby uprawy i nawożenie erodowanych gleb, przydatność i plonowanie roślin w warunkach występowania erozji gleb [Bac 1928, 1948, Fatyga 1966, 1998, Klima 1998, Kopeć, Misztal 1990, Kostuch 1992, Kuś, Nawrocki 1998, Mazur 1983, Niewiadomski, Boreńska 1977, Orlik 1971, Orlik, Marzec 2004, Orlik, Popławski 1992, Orlik i in. 2001a, 2001b, 2005a, 2005b, Rytelowski i in. 1998];

- określanie potrzeb wprowadzania oraz roli i skuteczności zabiegów przeciwoerozyjnych [Bac 1928, Baryła, Pierzgalski 2005, Cook, Ellis 1987, Fatyga 1966, 2001, Józefaciuk i in. 2005, Mazur, Pałys 1992, 1994, Orlik i in. 2005a, Pałys 1992, Podolski, Wawer 2002, Polak, Witek 1966, Rejman, Paluszek 2005, Rogalski 1987, Szafranski i in. 1998b, Talałaj 2001, Żmuda i in. 2001a];
- przeciwoerozyjne zagospodarowanie przestrzeni [Fatyga 2002, Józefaciuk 1982, Józefaciuk i in. 2002, Kędziora 1994, Kosturkiewicz i in. 1994, Lipski i in. 1997, Maślanka, Urbanowicz 1992, Niewiadomski, Grabarczyk 1977, Orlik, Węgorek 1994, 1995, 1997, Prochal 1960, Prochal, Mierzwa 1992, Woch 2001];
- badania produktów, mechanizmu i sposobów przeciwdziałania erozji wodnej liniowej [Banasik, Hejduk 2005, Bartnik 1992, Barszcz, Banasik 2002, Barszcz i in. 2002, Brański 1968, Figuła 1966, Gładki 1976, 1978, Józefaciuk i in. 2001, Kaszowski, Kotarba 1970, Madeyski 1976, Michalik 1990, Michalik, Książek 2001, Mierzwa, Prochal 1994, Pałys, Mazur 2002, Parzonka 1991, Parzonka, Kempniński 1991, 1992, Parzonka i in. 1996, 2002, Prochal i in. 1998, Sasik i in. 2001a, Serafin, Pływaczyk 1991, Szymczak 1992];
- modelowanie procesów erozyjnych [Banasik, Górski 1990, 1992, Banasik, Madeyski 1991, Bednarczyk, Madeyski 1998, Brzozowski, Pierzgalski 1998, Deumlich, Völker 2001, Koreleski 1994, Lane i in. 1988, 1997, Licznar 2003, Licznar i in. 2002, Poesen 1986, Rejman 2001, 2002, Rejman, Usowicz 1998, Shirley, Lane 1978, Stasik, Szafranski 2001, Wawer 2005, Wischmeier, Smith 1978].

Jednym z ważniejszych podejmowanych w ostatnich latach problemów badawczych jest obieg materii w zlewni ukierunkowany od linii wododziałowej do den dolin i koryta cieków. Określenie prawidłowości, które rządzą przemieszczaniem się materiału w obrębie tego wydzielonego obszaru i poza jego granice, wymaga poznania mechanizmu i intensywności jego przebiegu w poszczególnych elementach składających się na system fluwialny, a więc w zasadzie na stokach i w korytach cieków. Zagadnienie to jest niezmiernie trudne do realizacji, gdyż wymaga prowadzenia równoczesnych stacjonarnych badań w dwóch różniących się środowiskach – geomorfologicznym stokowym i wodnym cieku, czyli prowadzenia tych badań w ujęciu systemowym [Allen 2000, Froehlich 1982, 1992, Kostrzewski in. 1994, Ziemnicki 1968]. Większość realizowanych prac badawczych skierowana jest na określenie i poznanie mechanizmu transportu w samym korycie cieków lub też poznanie natężenia procesów morfogenetycznych na stokach. W zakresie dostawy zwietrzliny do cieków stosowane są zasadniczo następujące sposoby oceny jej wielkości:

- porównanie ilości transportowanej korytem cieków z ilościami splukiwanymi ze stokowych poletek doświadczalnych lub całego stoku [Gil, Słupik 1972, Gerlach 1976, Pałys 2001, Pałys, Mazur 1994, Pałys, Wnuczek 2002, Święchowicz 2000];
- porównanie ilości transportowanej korytem cieków z ilością transportowaną drogami polnymi [Froehlich 1975, Froehlich, Słupik 1980, 1986, Starkel 1980, Soja, Prokop 1995];
- porównanie ilości występującej w spływie powierzchniowym docierającym do podnóża stoku z ilością odpływającą ze strefy przykorytowej [Froehlich 1982];
- pomiary koncentracji rumowiska na tle odpływu bezpośredniego i opadu efektywnego [Barszcz, Banasik 2002, Barszcz i in. 2002, Kociuba, Stępniewska 2002];

- pomiary ilości dostarczanej do zbiorników wodnych lub zatrzymywanej na zaporach przeciwrumowiskowych [Bednarczyk, Madeyski 1998, Bednarczyk, Michalec 2001, Czamara 1992, Sasik i in. 2001a, Szewrański i in. 2002, Xixi, Higgitt 1998];
- pomiary koncentracji w profilu podłużnym koryta cieków i identyfikacja przykorytowych stref dostawy [Kostrzewski i in. 1994];
- porównanie wielkości transportu w cieku głównym i jego dopływach [Froehlich 1982, Gawrysiak i in. 2002, Katrycz 2002, Krzemień, Świąchowicz 1992].

Działanie wody na środowisko glebowe oprócz mechanicznego przemieszczania stałych cząstek gleby wiąże się również z przemieszczaniem składników chemicznych naturalnie zawartych w glebie, jak i dostarczanych przez człowieka na jej powierzchnię oraz do przypowierzchniowej warstwy strefy aeracji. Zjawiska te powszechnie określane są mianem erozji chemicznej, która w oficjalnych klasyfikacjach erozji gleb, poza sufozją chemiczną i zjawiskami krasowymi, nie jest szczególnie akcentowana. Obieg biogenów, kształtowany głównie takimi czynnikami jak: ukształtowanie rzeźby terenu, typ i gatunek gleby, sposób użytkowania oraz (w przypadku terenów rolniczych) rodzaj przeprowadzanych zabiegów agrotechnicznych, nabiera szczególnego znaczenia na terenach charakteryzujących się urozmaiconą rzeźbą, a więc wyżynnych, podgórskich i górskich. Szczególnie niefrasobliwa, doprowadzająca do przekroczenia pojemności sorpcyjnej strefy aeracji, działalność rolnicza poprzez glebę i roztwór glebowy wpływa na jakość odpływających ze zlewni wód [Biernacka, Pijanowska 1996], a ta w warunkach naszego kraju nie jest najlepsza, chociaż ulega systematycznej poprawie. Jednakże obciążenie główną odpowiedzialnością rolnictwa za stan jakościowy wód wydaje się być poglądem mocno przesadzonym, gdyż jest on również wypadkową nieuporządkowanej działalności wodno-ściekowej na terenach wiejskich [Hus 1994, Łomotowski 1992, Łomotowski, Skolimowska 2000, Pijanowski, Kanownik 1997, Rajda i in. 2004, Sarna, Jarzabek 1998, Zabłocki i in. 2001], a także działalności gospodarczej prowadzonej szczególnie w obrębie sztucznych, małych i dużych zbiorników wodnych, których oddziaływanie jest generalnie uznawane za pozytywne, ale w określonych sytuacjach może być negatywne [Czamara i in. 1994, Madeyski 2001, Murat-Błaziejewska 1997, Sasik i in. 2001a, Strutyński 1998, Żmuda i in. 2001b].

Badania prowadzone w małych zlewniach cieków wykazują, że jakość odpływających z tych obszarów wód w głównej mierze uzależniona jest od sposobu ich zagospodarowania, ukształtowania terenu oraz rodzaju występujących gleb, a więc czynników zasadniczo decydujących o podatności na erozję wodną gleb [Koćmit i in. 2001, Paluch 1994, Pijanowski i in. 1995, Rajda i in. 1992, 1994a, Solarski, Solarski 1994, Rojek, Żmuda 1991, 1992, Żmuda 1994]. W zlewniach podgórskich regionu sudeckiego przeciętne stężenie azotu azotanowego w wodach odpływających ciekami nie przekracza ok. $4 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$ [Paluch 1994], podobne wyniki uzyskał Rajda wraz z zespołem [1994b] dla warunków Beskidu Małego i Pogórza Wielickiego oraz ok. dwukrotnie wyższe, bo $9,5 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, Ostrowski wraz ze współpracownikami [2005] dla wschodniej części Beskidu Małego. W rejonach tych istotnego znaczenia nabiera sposób zagospodarowania przestrzeni jak i wielkość dostawy zanieczyszczeń wraz z opadami atmosferycznymi. Badania prowadzone w warunkach podgórskich na obiektach sąsiadujących ze sobą, ale różniących się pod kątem wykorzystania przestrzeni wykazują, że ze zlewni zalesionych azot azotanowy odpływa w nieco wyższych koncentracjach niż ze zlewni

rolniczych, co może wskazywać na lepsze wykorzystanie tego składnika przez rośliny uprawne i użytki zielone niż florę leśną [Hus i in. 1998, Paluch 1994, Kanownik, Pijanowski 2002]. W warunkach Niziny Pyrzyckiej, w zlewni rzeki Płoni, Zabłocki wraz z zespołem [2001] analizując koncentrację w wodach odpływających z ośmiu małych zlewni rolniczych stwierdził, że wody te zawierają od 2,3 do 7,2 mg K·dm⁻³ w przypadku cieków punktowo nie zanieczyszczonych, natomiast zanieczyszczenia punktowe powodowały wzrost koncentracji tego składnika do 25,7 mg K·dm⁻³. Stwierdzone dla tych obiektów średnie koncentracje azotanów przyjmowały wartości od ok. 1,0–6,6 mg N-NO₃·dm⁻³, natomiast fosforanów 0,03–0,6 mg P-PO₄·dm⁻³. Występowanie w tych zlewniach zanieczyszczeń punktowych oraz obszarów zurbanizowanych staje się przyczyną znacznego wzrostu ilości odprowadzanych składników chemicznych, co potwierdzają również badania w małych zlewniach sudeckich prowadzone przez Rojka i Żmudę [1991, 1992], Husa [1994], Kostrzewę i in. [2001] oraz Żmudę [1994], czy też Rajdę i in. [2004] w okolicach Andrychowa w województwie małopolskim.

Rodzaj użytku rolniczego na terenie erodowanym i jego wpływ na skład chemiczny wód gruntowych został dobrze rozpoznany w trakcie badań prowadzonych w zlewni rzeki Ciemiegi na obszarze Wyżyny Lubelskiej. Analizy zawartości substancji biogenych w wodach pobranych z piezometrów umieszczonych u podnóża stoku z intensywnie użytkowanymi gruntami ornymi oraz w dnie doliny na trwałym użytku zielonym wykazały, że roślinność trawiasta pozytywnie wpływa na ograniczenie zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia rolniczego [Orlik i in. 2001a, 2005a]. Największe oddziaływanie stwierdzono w przypadku azotu azotanowego, którego przeciętna koncentracja wynosiła 16,33 mg N-NO₃·dm⁻³ w wodach pobranych na gruncie ornym i 0,97 mg N-NO₃·dm⁻³ na użytku zielonym, a także potasu, którego przeciętne koncentracje wyniosły: 25,4 mg K·dm⁻³ w wodach na gruntach ornym oraz 6,2 mg K·dm⁻³ w wodach na użytku zielonym. Natomiast fosforany przeciętnie odprowadzane były w zbliżonych koncentracjach, ok. 5,5 mg P-PO₄·dm⁻³, wykazując jedynie nieznaczne zróżnicowanie stężeń maksymalnych (na gruntach ornym 24,5 mg P-PO₄·dm⁻³; na użytku zielonym 16,7 mg P-PO₄·dm⁻³). Badania składu chemicznego wód powierzchniowych, przeprowadzone w tej erodowanej zlewni przez Zubalę [2002] wykazują również, że bezpośrednie odprowadzanie wód pochodzących z odpływu ze zlewni typowo rolniczych rowami śródpolnymi do odbornika może stanowić zagrożenie dla jego funkcjonowania w postaci pogorszenia jakości wód, jak i ilości mas glebowych wprowadzanych do niego. Na tych terenach skuteczną barierę stanowią trwałe zadarnienia lub zadrzewienia wzdłuż cieków pełniące rolę filtrów przechwytyjących dopływające z wodami biogeny oraz materiał glebowy, a także zadarnienia okresowych linii spływu powierzchniowego.

Znajomość koncentracji składników chemicznych pozwala jedynie wnioskować o jakości wód odpływających ze zlewni. Określenie pochodzenia substancji chemicznych w wodach powierzchniowych wymaga ustalenia dróg dopływu do tych wód oraz rozpoznanie możliwości i ustalenie sposobu obliczenia wielkości tego dopływu. Wielkość dopływu i jego interpretację najlepiej jest określać na podstawie ładunku składników chemicznych będącego wynikiem bezpośrednich pomiarów koncentracji i ilości roztworu w bardzo małych odstępach czasowych. Wymaga to praktycznie ciągłego prowadzenia badań, co przy ogromnej pracochłonności wynikającej z konieczności przeprowadzania dużej ilości pomiarów i analiz, a co za tym idzie również dużych kosztów badawczych, staje

się zadaniem o bardzo małym znaczeniu praktycznym. Dodatkowo rodzi się trudność polegająca na wydzieleniu ilości składników chemicznych odpływających w formie rozpuszczonej i adsorbowanych na cząstkach stałych materiału fluwialnego. Rozumiany w powyższy sposób teoretyczny ładunek sumaryczny dla określonego przedziału czasowego można zapisać formułą:

$$L_x = \sum_{t=0}^{t=T} Q_t \cdot C_{x_t}$$

gdzie:

L_x – ładunek składnika chemicznego odpływający poza przekrój pomiarowy w wydzielonym czasie T,

C_{x_t} – chwilowa koncentracja składnika chemicznego,

Q_t – chwilowe natężenie przepływu roztworu,

t – kolejne nieskończenie krótkie przedziały czasowe, dla których dokonywany jest pomiar natężenia przepływu i określenie koncentracji składnika chemicznego,

T – wydzielony przedział czasowy, dla którego obliczany jest ładunek składnika chemicznego (np. doba, miesiąc, rok).

W przypadku określenia ładunku azotu i fosforu dostarczanego w formie rozpuszczonej jak i związanej z materiałem glebowym do koryta cieku z erodowanych zlewni, istnieją formuły opracowane przez naukowców niemieckich [Auerswald 1989, Werner, Wodsak 1994] i stosowane na obszarze Polski [Koćmit i in. 2001, Mioduszewski i in. 2000, Okruszko, Dirksen 1999]. W tym przypadku należy w pierwszej kolejności określić tzw. sumaryczny zmyw gleby (SZG), czyli szacunkową ilość materiału glebowego zmywanego na odcinku zbocza, od momentu uruchomienia zmywu do początku procesu akumulacji:

$$SZG = \sum P_x \cdot A_x$$

gdzie:

SZG – sumaryczny roczny zmyw gleby z obszaru zlewni (Mg),

P_x – powierzchnia (ha) o określonym stopniu zagrożenia erozją wodną,

A_x – wskaźnik zmywu gleby ($Mg \cdot ha^{-1}$) dla powierzchni o określonym stopniu zagrożenia erozją wodną.

Uzyskaną wielkość SZG przelicza się następnie na zmyw jednostkowy ($Mg \cdot ha^{-1}$), który w trakcie roku w części pozostaje zakumulowany w obrębie zbocza, a pozostałość dociera do koryta cieku. Wielkość dostawy materiału glebowego do cieku (SED) określa się ze wzoru:

$$SED = 700 + 8,5 \cdot A_{E_0} \cdot \sqrt{A}$$

gdzie:

SED – roczna ilość materiału glebowego docierająca do cieku (Mg),

A_{E_0} – powierzchnia zlewni (km^2),

A – średni zmyw gleby na obszarze zlewni ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$).

Kolejny krok, to obliczenie wskaźnika wzbogacenia zmywu w składniki pokarmowe ER (Enrichment Ratio) według formuły:

$$ER = 2,53 \cdot A_{OR}^{-0,21}$$

gdzie:

A_{OR} – średni roczny zmyw gleby z powierzchni gruntów ornice użytkowanych ($Mg \cdot ha^{-1}$).

Rozpoznane w ten sposób wielkości stanowią podstawę określenia ładunku azotu i fosforu dostarczanego do koryta ciekłu w formie związanej z cząsteczkami glebowymi:

$$L_x = SED \cdot A_{Eo} \cdot ER \cdot Z_x$$

gdzie:

L_x – roczny ładunek N lub P związany z cząsteczkami gleby, docierający do koryta ciekłu (Mg),

A_{Eo} – powierzchnia zlewni (km^2),

ER – wskaźnik wzbogacenia zmywu w składniki pokarmowe,

Z_x – zasobność gleb ornich w N lub P ($mg \cdot 100 g$ gleby),
oraz przekazywanego do koryta ciekłu w formie rozpuszczonej:

$$L_y = F_{rol} \cdot H \cdot C_y$$

gdzie:

L_y – roczny ładunek N lub P rozpuszczony w wodzie, przekazywany do koryta ciekłu (Mg),

F_{rol} – powierzchnia użytków rolniczych w zlewni (ha),

H – odpływ powierzchniowy wody (mm),

C_y – koncentracja N lub P w wodach ciekłu ($mg \cdot dm^{-3}$).

Obliczone ładunki dostawy tych biogenów do koryta ciekłu można ustalać dwuwariantowo. W pierwszym przypadku do obliczeń przyjmujemy całość powierzchni zlewni zajętej przez grunty użytkowane rolniczo, a wariant drugi uwzględnia tylko te powierzchnie użytkowane rolniczo, które są zlokalizowane na zboczach o nachyleniu powyżej 4%. Według Wernera i Wodsaka [1994] pozwala to uzyskać bardziej ścisłe wyniki obliczeń. Metoda ta daje pewien obraz ilości dostarczanych erozyjnie do koryta ciekłu składników chemicznych, posiada jednakże pewne mankamenty i ograniczenia. Bazując na koncentracjach pomierzonych w odpływających ciekłem wodach nie uwzględnia zanieczyszczeń wprowadzanych przez źródła punktowe (a te mogą osiągać znaczne rozmiary) oraz w przypadku fosforu pomija ewentualną desorpcję biogenu z osadów dennych koryta ciekłu w przypadku wystąpienia okresów niżówek, a także resuspensję tychże osadów w trakcie wezbrań. Dodatkowo jest ona ograniczona zakresem stosowalności, gdyż ilość materiału glebowego dostarczanego do ciekłu (SED) powinno obliczać się dla zlewni o powierzchni przekraczającej $1000 km^2$.

Najlepsze wyniki, ze względu na stosunkową łatwość wydzielenia poszczególnych składowych dostawy i odpływu, ale i dużą pracochłonność w pozyskaniu danych, uzyskuje się w bardzo małych zlewniach, których powierzchnia zbliżona jest do $1,5 km^2$

[Byczkowski 1999, Soczyńska 1997]. Możliwe sposoby określania ładunku składników chemicznych dostarczanego do wód powierzchniowych Pawlik-Dobrowolski [1990] sklasyfikował następująco:

- opad na powierzchnię wody –za pomocą sieci stacji pomiarów opadu substancji chemicznych z atmosfery;
- ładunek składników dopływający ze spływem powierzchniowym – na podstawie pomiarów objętości skoncentrowanego spływu powierzchniowego i koncentracji zawartych w nim składników;
- ładunek składników dopływający z wodami gruntowymi – poprzez pomiary wydajności i składu chemicznego wód wypływających ze źródeł lub wód płynących w ciekach w okresach niżówek;
- ładunek składników dopływający z wylotów drenarskich – poprzez pomiary objętości odpływu i stężeń w wodach drenarskich;
- ładunek składników dopływający ze ściekami – na podstawie pomiarów objętości odpływu i zawartości w nich składników chemicznych.

Prawidłowe określenie wielkości ładunku składników chemicznych nastęrcza pewnej trudności wynikającej ze zbyt małej częstotliwości wykonywania oznaczeń składu chemicznego odpływających wód, na co bez wątpienia ma wpływ aspekt ekonomiczny prowadzenia badań. Powstało szereg formuł pozwalających obliczać ten ładunek, a wynikających z częstotliwości określenia koncentracji w okresach między terminami wykonywania analiz. Do najczęściej stosowanych metod obliczania ładunku Pulikowski [2004] zaliczył:

- metodę bazującą na określonym w wyniku pomiarów hydrometrycznych średnim dobowym natężeniu przepływu i średniej dobowej koncentracji składnika chemicznego, ustalonej na podstawie okresowych analiz i interpolacji liniowej dla okresu między kolejnymi analizami:

$$L_x = \sum_{t=1}^{t=T} (\bar{Q}_t \cdot C_{x_t} \cdot 86400)$$

gdzie:

- L_x – ładunek składnika chemicznego odpływający poza przekrój pomiarowy w określonym czasie T, np. miesiąca lub roku,
- \bar{Q}_t – średnie dobowe natężenie przepływu w przekroju hydrometrycznym,
- C_{x_t} – średnia dobowa koncentracja składnika chemicznego ustalona na podstawie interpolacji liniowej między kolejnymi przeprowadzonymi analizami składu chemicznego odpływających wód,
- t – kolejna doba, dla której ustalane są wielkości natężenia przepływu i koncentracji składnika,
- metodę bazującą na określonym, w wyniku pomiarów hydrometrycznych, średnim dobowym natężeniu przepływu i średniej dobowej koncentracji składnika chemicznego, ustalonej jako wartość średnia dla okresu między najbliższymi sąsiadującymi terminami przeprowadzenia analiz:

$$L_x = \sum_{i=2}^{i=n} \left(\left(\sum_{t=k_{i-1}}^{t=k_i} \bar{Q}_t \cdot 86400 \right) \cdot \frac{C_{x_{i-1}} + C_{x_i}}{2} \right)$$

gdzie:

- L_x – ładunek składnika chemicznego odpływający poza przekrój pomiarowy w określonym czasie T, np. miesiąca lub roku,
- \bar{Q}_t – średnie dobowe natężenie przepływu w przekroju hydrometrycznym,
- C_{x_i} – średnia dobowa koncentracja składnika chemicznego oznaczona w odpływającej wodzie i-tej analizy,
- i – numer kolejnej analizy wykonanej w danym przedziale czasowym,
- k_i – dzień, w którym wykonano i-tą analizę składu chemicznego odpływającej wody,
- t – kolejna doba, dla której określono średnie dobowe natężenie przepływu i koncentrację składnika chemicznego,
- metodę bazującą na określonym, w wyniku pomiarów hydrometrycznych, średnim dobowym natężeniu przepływu i średniej dobowej koncentracji składnika chemicznego, ustalonej jako wartość średnia z n prób, dla których wykonano analizy składu chemicznego odpływających wód pobranych w okresie T:

$$L_x = \left(\sum_{t=1}^{t=T} \bar{Q}_t \cdot 86400 \right) \cdot \bar{C}_{x_{1+T}}$$

gdzie:

- L_x – ładunek składnika chemicznego odpływający poza przekrój pomiarowy w określonym czasie T, np. miesiąca lub roku,
- \bar{Q}_t – średnie dobowe natężenie przepływu w przekroju hydrometrycznym,
- \bar{C}_x – średnia okresowa koncentracja składnika chemicznego, określona dla n prób pobranych w czasie T,
- t – kolejna doba, dla której określono średnie dobowe natężenie przepływu i średnią okresową koncentrację składnika chemicznego,
- metodę bazującą na określonym w wyniku pomiarów hydrometrycznych średnim dobowym natężeniu przepływu i średniej dobowej koncentracji składnika chemicznego, ustalonej jako wartość mediany n prób, dla których wykonano analizy składu chemicznego odpływających wód pobranych w okresie T:

$$L_x = \left(\sum_{t=1}^{t=T} \bar{Q}_t \cdot 86400 \right) \cdot Me_{x_{1+T}}$$

gdzie:

- L_x – ładunek składnika chemicznego odpływający poza przekrój pomiarowy w określonym czasie T, np. miesiąca lub roku,
- \bar{Q}_t – średnie dobowe natężenie przepływu w przekroju hydrometrycznym,
- Me_x – wartość mediany dla koncentracji składników chemicznych, określona dla n prób pobranych w czasie T.

2.2. Cel badań

W literaturze krajowej istnieje szereg opracowań dotyczących występowania zjawisk erozji wodnej na obszarze naszego kraju. Rozpoznania te, generalnie prowadzone w makroskali, dają obraz zagrożenia zjawiskami erozji wodnej w naszym kraju. W przypadku niektórych regionów powstają różnice w poglądach co do stopnia zagrożenia procesami erozyjnymi. Przykładem takiej rozbieżności stanowisk może być obszar Wzgórz Trzebnickich, które Reniger [1950] oraz Szymański i in. [1984] sklasyfikowali do jednych z najsilniej erodowanych obszarów kraju, Kowaliński i Oświecimski [1959, 1977] przypisali im zagrożenie od słabego po silne, Józefaciukowie [1992a] zaliczyli do rejonów słabo zagrożonych, a Ziemiński [1978] uznał za obszar nie zagrożony zjawiskami erozji wodnej gleb.

Wał Trzebnicki, w tym również wchodzące w jego skład Wzgórze Trzebnickie, już w pierwszej połowie ubiegłego wieku znalazł się w zainteresowaniach naukowych różnych badaczy. W okresie przed II wojną światową swoje badania prowadzili na tym obszarze m.in. Czajka [1931], Meister [1935], Berger [1937] czy Schwarzbach [1942]. Czasy powojenne to okres dynamicznego rozwoju nauk o Ziemi, w którym ta samodzielna jednostka fizycznogeograficzna stanowiła przedmiot zainteresowań takich naukowców, jak: Bogda i in. [1998], Burdukiewicz [1980], Cegła [1972], Jary [1991, 1996], Jary, Kida [2002], Jary i in. [1990], Pachucki [1952], Raczkowski [1976], Rokicki [1950, 1952], Szczepankiewicz [1984, 1989], Szponar [1998], Śnieszko [1995], Walczak [1951, 1970] czy Winnicki [1990, 1991, 1994]. Prezentowane w ich pracach kierunki badań to podejście geologiczne, głównie stratygraficzne, paleogeograficzne, geomorfologiczne czy sedimentologiczne, zmierzające do ustalenia wieku utworów glebowych, ich pochodzenia, warunków sedymentacyjnych w trakcie powstawania, opisanie form powierzchniowych i ich cech geometrycznych itp. oraz podejście pedologiczne ustalające m.in. właściwości i skład mineralogiczny, granulometryczny, czy budowę profilów glebowych.

Dotychczasowe badania Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska AR we Wrocławiu dotyczące zjawisk erozyjnych, prowadzone na obszarze Wzgórz Trzebnickich, ukierunkowane były głównie na określanie intensywności denudacji odpływowej jako odzwierciedlenia procesów erozji wodnej gleb zachodzących w tym regionie. Stosowano w nich zalecane ujęcie hydrologiczno-zlewniowe. Istniejące dotychczas rozpoznanie, prezentowane głównie w pracach Pływaczyka i in. [1999], Rojka [1989, 1992], Sasika i in. [2001a], Szewrańskiego i in. [2000, 2002] czy Żmudy [1996, 1998a, b] oraz Żmudy i in. [2001a, b] pozwala stwierdzić, że roczne wskaźniki denudacji odpływowej kształtują się w bardzo szerokich granicach (od 0,38 do 44,37 Mg·km⁻²) i są uzależnione od towarzyszących im uwarunkowań hydrometeorologicznych. Istotną rolę w ograniczaniu odpływu rumowiska unoszonego odgrywają małe zbiorniki wodne użytkowane jako stawy rybne. Podjęta przez Licznara [2003] próba modelowania intensywności procesów erozji wodnej gleb, zachodzących na obszarze powyższej zlewni, przy użyciu uniwersalnego równania strat glebowych USLE oraz ustalenia wielkości wskaźnika dopływu rumowiska ze zlewni doprowadziła do uzyskania bardzo zróżnicowanych wartości wskaźnika dostawy, a w niektórych przypadkach nawet braku możliwości jego określenia. W świetle uzyskanych przez tego autora wyników, dokładne prognozowanie ilości materiału glebowego uruchamianego erozyjnie w zlewni i odpływającego poza przekrój pomiarowy

przy wykorzystaniu powyższej metody jest skomplikowane ze względu na brak prawidłowo określonych wartości niektórych wskaźników stanowiących podstawę równania USLE, a częstokroć wymagających podejścia interdyscyplinarnego.

Zdając sobie sprawę z tego, że rozpoznane dotychczas wielkości odpływającego poza przekrój batometryczny materiału glebowego stanowią jedynie pewien bliżej nieokreślony procent ilości uruchamianej na zboczach, podjęto decyzję o rozszerzeniu dotychczas realizowanej problematyki o badania prowadzone w dwóch odmiennych środowiskach – geomorfologicznym środowisku stokowym oraz środowisku wodnym cieku. Badania w takim ujęciu w tym regionie fizjograficznym nie były dotychczas prowadzone. Atutem rejonu, w którym prowadzono badania jest również to, że ciek główny stale prowadzi wody powierzchniowe, co stwarza możliwości wykonywania częstych pomiarów w różnych uwarunkowaniach hydrometeorologicznych.

Celem głównym niniejszej pracy jest:

1. ustalenie stanowiska co do stopnia zagrożenia zjawiskami erozji wodnej gleb zachodzącymi na obszarach Wzgórz Trzebnickich pokrytych lessami;
2. analiza transportu materii w jednostce hydrologicznej z zastosowaniem systemowego podejścia do zagadnienia.

Osiągnięcie powyższych celów staje się możliwe dzięki dysponowaniu bazą danych obejmującą długi okres badawczy oraz przyjęciu pewnych założeń ułatwiających zastosowanie podejścia systemowego [Poskrobko 1998], takich jak:

- badany obiekt (proces, zjawisko) daje się wyodrębnić z ogółu elementów postrzeganych przez badacza jako względnie odosobniony;
- w badanym obiekcie można wydzielić wiele względnie odosobnionych części, różnych z punktu widzenia pełnionych przez nie funkcji;
- analizuje się tylko te części, właściwości, powiązania obiektu, które są istotne z punktu widzenia postawionego celu;
- analizę przeprowadza się na odpowiednio przyjętym lub zbudowanym modelu wyodrębnionego systemu.

Możliwe do osiągnięcia będzie również dzięki postawieniu wspomagających, cząstkowych celów roboczych, takich jak:

1. określenie wielkości wybranych składników materii transportowanych korytem cieku oraz przemieszczających się w charakterystycznych elementach rzeźby terenu;
2. wyodrębnienie w systemie fluwialnym podsystemów oddziałujących na transport wyżej wspomnianych składników materii;
3. podjęcie próby określenia czynników wpływających na intensywność transportu materii w podsystemach;
4. określenie relacji między podsystemami oraz sposobu funkcjonowania systemu transportu fluwialnego jako złożonej całości, występującej w określonych warunkach – zagrożenia erozją wodną gleb;
5. wyznaczenie okresów szczególnej aktywności systemu w transporcie materii.

Takie podejście do procesów erozyjnych zachodzących w regionie Wzgórz Trzebnickich stosowane jest po raz pierwszy. Stąd też podjęcie powyższej problematyki na tym obszarze przyczyni się do lepszego rozpoznania procesów fluwialnych zachodzących w małych obszarach zbiorczych użytkowanych głównie rolniczo i pokrytych jednymi z najmniej odpornych na zmywanie gleb – lessami.

2.3. Zakres i metodyka badań

Badania nad nasileniem procesów erozji wodnej gleb prowadzono w zlewni ciekłu Mielnica, będącego reprezentantem obszarów użytkowanych rolniczo i pokrytych glebami lessowymi w regionie Wzgórz Trzebnickich. Realizowano je stosując metodę bezpośrednich pomiarów, obserwacji terenowych, badań laboratoryjnych oraz studiów kameralnych w latach hydrologicznych 1982/1983÷2003/2004.

2.3.1. Elementy meteorologiczne

Charakterystykę elementów meteorologicznych towarzyszących zjawiskom erozyjnym opracowano na podstawie obserwacji prowadzonych na własnym posterunku meteorologicznym we wsi Boleścín zgodnie z zasadami stosowanymi w IMGW. Obejmowały one:

- codzienne pomiary temperatury powietrza;
- codzienne pomiary wysokości opadów atmosferycznych (sum dobowych).

Opady atmosferyczne do 2003 roku mierzono deszczomierzem Hellmanna (rejestrując tylko ich sumę dobową), a od wiosny tegoż roku deszczomierzem TPG-023 firmy Aster, pozwalającym na ciągłą rejestrację zjawiska (dokładność pomiaru 0,1 mm). Dzięki możliwości współpracy z przenośnymi rejestratorami danych, urządzenie to umożliwia dokonywanie ich komputerowej analizy pod kontrolą systemu operacyjnego Windows.

2.3.2. Elementy hydrologiczne

Dane służące charakterystyce hydrologicznej obszaru uzyskano w wyniku codziennych pomiarów stanów wody na łatach wodowskazowych, analizy zapisów limnigrafów tygodniowych oraz okresowych pomiarów natężeń przepływów w czterech przekrojach hydrometrycznych. Sposób lokalizacji, rozmieszczenia oraz wyposażenia punktów pomiarowych szczegółowo scharakteryzowano w pracach Żmudy [1998a] oraz Sasika i in. [2001b]. Pomiary natężenia przepływów wykonywano mikromłynkiem hydrometrycznym holenderskiej firmy Eijkelkamp. Jego konstrukcja pozwala na prowadzenie ich nawet przy minimalnych napelnieniach koryta ciekłu, nie przekraczających 5 cm.

Parametry charakteryzujące zlewnię i ciekły określono na podstawie studiów kameralnych mapy sytuacyjno-wysokościowej w skali 1:10 000 oraz wizji terenowych mających na celu konfrontację ze stanem faktycznym.

Pomiary wielkości spływu powierzchniowego i odpływu śródglebowego prowadzono na wytypowanym dla tych obserwacji polu. Jako typowy obszar, w faliście rzeźbie terenu, przyjęto pole płodozmianowe o średnim spadku zbliżonym do średniego nachylenia zboczy w zlewni. Pole to zlokalizowane jest w strefie wododziałowej zlewni. Sposób jego użytkowania (grunt orny), kształt prostokąta (o dłuższym boku biegnącym wzdłuż linii największych spadków) oraz związany z tym wzdłużstokowy kierunek prowadzenia zabiegów agrotechnicznych i upraw, jest typowy i powszechnie stosowany na Wzgórzach Trzebnickich. Wiosną 2002 roku w jego obrębie umiejscowiono w charakterystycznych elementach rzeźby stoku (górną część zbocza, zbocze i podnóże stoku) chwytacze spływu powierzchniowego i odpływów z warstw do głębokości 0,75 m (fot. 1).



Fot. 1. Widok chwytacza odpływu w trakcie instalacji – w widocznych otworach zainstalowane zostały poziome przegrody zbierające odpływ z poszczególnych warstw (fot. autor)
Photo 1. Runoff trap installation – horizontal screens for interflow capturing would be mounted in indicated wholes (photo author)

Konstrukcja wykonana z blachy nierdzewnej w swoim zamyśle zbliżona była do chwytacza Gerlacha i stanowiła obudowę odkrywki głebowej. W ścianie czołowej pozostawiono otwory, w które wciśnięte zostały poziome przegrody zbierające odpływy z głębokości: 0 m (spływ powierzchniowy), 0,00–0,25 m, 0,25–0,50 m oraz 0,50–0,75 m. Szerokość wlotowa otworów na poszczególnych warstwach wynosiła 1 m. Przegrody połączono elastycznymi przewodami z pojemnikami stanowiącymi odbiorniki odpływających wód. Pomiary objętości odpływów rozpoczęto wiosną 2003 roku, pozostawiając czas od momentu instalacji na ustabilizowanie się punktów pomiarowych. W trakcie wyjazdów terenowych kontrolowano napełnianie się zbiorników. W przypadku wystąpienia odpływu mierzono jego objętość w odniesieniu do ww. poziomów.

2.3.3. Pomiary mętności wody

Pomiary mętności wody prowadzono w próbkach pobranych w korycie ciek i wody odpływającej z poszczególnych poziomów chwytaczy umieszczonych w charakterystycznych elementach rzeźby stoku. Próbkę z koryta ciekę pobierane były codziennie, natomiast z odpływu na stoku w przypadku jego wystąpienia. Do roku 2002 określano wyłącznie koncentrację rumowiska unoszonego w ciekę stosując metodę suszarkowo-wagową. Sposób pobierania próbek wody i określania koncentracji tego materiału szeroko omówiono w pracy Żmudy [1998a]. Od roku 2002 koncentracja rumowiska unoszonego, a także koncentracja cząstek mineralnych w odpływach ze stoku określana była na podstawie badania mętności odpływających wód. W celu jej ustalenia zastosowano metodę nefelometryczną wyrażającą mętność w jednostkach NTU (Nephelometric

Turbidity Unit) i określano ją przenośnym mikroprocesorowym mętnościomierzem HI 93703 firmy Hanna Instruments. Przyrząd dokonuje pomiaru mętności wody w zakresach 0-50 i 50-1000 NTU. Pomiaru nim wykonywane są zgodne z międzynarodowym standardem ISO 7027 oraz europejskimi normami EN 50081-1 i EN 50082-1, co oznacza niski poziom emisji i dokładny pomiar w obecności pola magnetycznego.

Powyższa metoda stanowiąca pośredni sposób oznaczania koncentracji rumowiska zaliczana jest do zastępczych metod pomiarowych stanowiących alternatywę dla klasycznej metody batometrycznej. Jej zaletą jest szybkość wykonania oraz możliwość uzyskiwania wyników bezpośrednio w terenie. Metody zastępcze opierają się na związkach między transportem rumowiska a charakterystykami hydraulicznymi strumienia wody i rumowiska. Wykorzystywane są także własności fizyczne mieszaniny wody i rumowiska unoszonego, takie jak: przezroczystość, oporność elektryczna, tłumienie energii ultradźwięków, osłabienie promieniowania gamma, bądź rozpraszanie promieniowania radioaktywnego [Dobrowolski 2002, Wren i in. 2000]. Wadą tych metod jest brak istnienia ogólnej, wspólnej dla wszystkich wód korelacji między mętnością próbki a koncentracją zawieszonych w niej cząstek mineralnych. O wyniku pomiaru decydują m.in. takie elementy, jak: skład mineralogiczny rumowiska, kształt i stopień obtoczenia jego ziaren, częstotliwość i czas pomiaru, a także intensywność oświetlenia naturalnego. Przy takich uwarunkowaniach uzyskiwania wyników zależności należy poszukiwać w każdym przypadku indywidualnie [Lewis 1996, 2002, Old i in. 2002].

Sposób przeprowadzenia kalibracji przyrządu oraz ustalenia koncentracji cząstek mineralnych w pobieranych próbkach odpływów przedstawiono w pracy Szewrańskiego i in. [2005]. W sumie wykonano analizę 90. prób, łącznie z próbami zerowymi dla „czystej” wody. Dla wspomnianych powyżej zakresów pomiarowych uzyskano zależności:

– dla zakresu 0-50 NTU:

$$Z = 0,0007T + 0,0064 \quad (r^2 = 0,79)$$

– dla zakresu 50-1000 NTU:

$$Z = 0,0011T + 0,0192 \quad (r^2 = 0,94)$$

gdzie:

Z – koncentracja cząstek mineralnych w odpływającej wodzie w $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$,

T – aktualna mętność odpływu w NTU.

W przypadkach stwierdzenia przekroczenia maksymalnego zakresu pomiarowego, próbki odpływu pobierano do pojemników o pojemności 1 dm^3 , przewożono do laboratorium, a po homogenizacji koncentrację określano metodą suszarkowo-wagową.

Ładunki materiału glebowego w obydwu przypadkach określano metodą „odpływ-stężenie”, przy czym dobowe ilości transportowanego poza przekrój batometryczny rumowiska unoszonego obliczano jako funkcję zmacenia i średniego w danym dniu natężenia przepływu, ze wzoru:

$$R_D = Q_{sr} \cdot Z \cdot 86400 \cdot 10^{-3}$$

gdzie:

R_D – dobowe masa transportu rumowiska unoszonego w kg,

Q_{sr} – średnie dobowe natężenie przepływu w $dm^3 \cdot s^{-1}$,
 Z – średnia dobowa wartość zmacenia w $g \cdot dm^{-3}$,
natomiast ładunki cząstek mineralnych spływów powierzchniowych i hipodermicznych obliczano jako iloczyn objętości odpływu i zmacenia próbki ze wzoru:

$$R_{P,H} = V_{P,H} \cdot Z_{P,H} \cdot 10^{-3}$$

gdzie:

$R_{P,H}$ – masa transportu cząstek mineralnych w spływie powierzchniowym lub hipodermicznym w kg,

$V_{P,H}$ – objętość mieszaniny wodno-glebowej spływu powierzchniowego lub hipodermicznego w dm^3 ,

$Z_{P,H}$ – koncentracja cząstek mineralnych w spływie powierzchniowym lub hipodermicznym w $g \cdot dm^{-3}$.

Ilości okresowe rumowiska unoszonego transportowanego korytem cieku stanowią sumę wartości dobowych. Natomiast ilości materiału uruchamianego erozyjnie w elementach rzeźby stoku stanowią sumę transportu spływem powierzchniowym i hipodermicznym.

W analizie transportu rumowiska pominięto materiał wleczony. Kilkuletnie badania intensywności tej postaci transportu z zastosowaniem skrzyń chwytnych, prowadzone przez Rojka [1989, 1992] na obiekcie Mielnica wykazały, że przeciętny udział materiału wlezonego w całości transportu jest niewielki i wynosi ok. 2%. W związku z powyższym skupiono się głównie na transporcie materiału unoszonego.

2.3.4. Badania laboratoryjne

W latach 1998÷2000 oraz 2002÷2004 pobierano próbki wód płynących ciekami Mielnica do oznaczania ich składu chemicznego. Materiał badawczy, o pojemności 2 dm^3 , pobierano dwukrotnie w ciągu miesiąca. Miejsce ich poboru stanowiły zawsze te same punkty (posterunki batometryczno-hydrometryczne) w korycie cieku i pobierano je w nurcie. Materiał ten pozyskiwany był zgodnie z metodyką pobierania próbek do badań środowiskowych [Namieśnik i in. 1995].

Próbki odpływów ze stoku pobierano w przypadku stwierdzenia odpływu, po uprzednim przeprowadzeniu homogenizacji całej objętości. Analizy chemiczne wykonywano w Laboratorium Wód i Ścieków Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska AR we Wrocławiu. We wszystkich rodzajach wód oznaczano identyczny zakres wskaźników i stosowano powszechnie zalecane metody [Świetlik, Dojlido 1999, Dojlido 1995]. Analizami chemicznymi wód objęto: azot (azotanowy, azotynowy, amonowy i organiczny), fosfor i potas.

Badania składu chemicznego odpływów prowadzono w taki sposób, aby oprócz określenia całkowitej koncentracji danego składnika możliwe było ustalenie ilości związanych z materiałem glebowym. Wykonanie analiz bezpośrednio na materiale stanowiącym rumowisko unoszone jest niezmiernie trudne i wymaga użycia specjalnych łapaczek umożliwiających zebranie odpowiedniej ilości materiału do badań chemicznych. Analizie poddawano próbki surowe, co pozwoliło na określenie zawartości całkowitych oraz po przesączeniu (celem oznaczenia zawartości rozpuszczonych w wodzie). Różnica wyini-

ków przy takim podejściu stanowiła koncentrację składników związanych z cząstkami mineralnymi rumowiska unoszonego. Wyniki oznaczeń podane zostały w mg substancji w 1 dm³ próbki.

Uzyskane wielkości koncentracji składników chemicznych oraz średnie dobowe natężenia przepływów, pozwoliły na określenie ich ładunków transportowanych wraz z wodami. W związku z tym, że analizy wykonywano 2-krotnie w miesiącu, dla okresów pośrednich koncentrację dobową ustalano na podstawie interpolacji liniowej. Ładunki dobowe określano metodą „przepływ – stężenie”, a wartości okresowe stanowiły sumę dobowych dla rozpatrywanego okresu.

W Laboratorium Melioracji i Fizyki Gleb Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska AR we Wrocławiu przeprowadzono oznaczenie składu granulometrycznego gleb zalegających w zlewni. Z wykonanych odkrywek glebowych pobrano próbki, a skład granulometryczny określano metodą aerometryczną Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Procentowy udział poszczególnych frakcji pozwolił na określenie wskaźnika podatności gleb na zmywanie (r).

Skład chemiczny gleb określano w Laboratorium Dolnośląskiego Ośrodka Badawczego Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych Oddział we Wrocławiu. W glebach oznaczano zawartość azotu i jego form (azot ogólny, amonowy, tlenki azotu), fosforu oraz potasu. Ponadto określano potencjometrycznie odczyn tych gleb (pH w H₂O). Badania te prowadzono od maja roku 2002 do października roku 2004 w próbkach wierzchniej warstwy gleby (do gł. 0,5 m) zalegającej w rzeźbie stoku.

Dla tych samych miejsc w próbkach o nienaruszonej strukturze (pobrane do cylindrów Kopeckiego), aparatem firmy Eijkelkamp, określano przepuszczalność wodną wierzchnich warstw. Dla tak pobranych próbek zostały oznaczone również wybrane cechy fizyczne, jak: gęstość właściwa i objętościowa oraz porowatość ogólna i powietrzna, kapilarna (KPW) i połowa pojemność wodna (PPW) przy sile ssącej odpowiadającej wodzie łatwo dostępnej dla roślin. W okresie wcześniejszym, bo w latach 1983-2000 przeprowadzono podobnego typu badania gleb, a w roku 2000 dodatkowo określono wówczas zawartość węgla organicznego i próchnicy. Natomiast analizami składu granulometrycznego objęto próbki gleb pobranych do głębokości 1,5 m, które posłużyły do sprawdzenia zgodności mapy glebowo-rolnej z sytuacją faktyczną.

Dokonano również rozpoznania niektórych cech charakteryzujących osady denne cieków głównego i jego dopływów. W tym celu pobrano czerpakiem z warstwy powierzchniowej (0–10 cm) materiał, który poddano analizom fizykochemicznym. Badania przeprowadzono w laboratorium Instytutu Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego Wydziału Rolniczego AR we Wrocławiu, w trakcie których oznaczono:

- ❖ skład granulometryczny metodą aerometryczną Cassagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego,
- ❖ zawartość węgla ogólnego na aparacie CS-MAT 5500,
- ❖ zawartość ogólnego węgla organicznego (OWO) na aparacie CS-MAT 5500 po potraktowaniu próbki kwasem siarkowym,
- ❖ zawartość węgla organicznego metodą oksydometryczną Tiurina,
- ❖ zawartość azotu całkowitego metodą Kjeldahla,
- ❖ zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu metodą Egnera-Rhiehma,
- ❖ wartość pH w H₂O metodą potencjometryczną.

Szczegóły przeprowadzonych analiz szeroko przedstawiono w pracy Licznara i in. [2005].

2.3.5. Badania, wizje terenowe i prace kameralne

Podczas badań terenowych, prowadzonych w latach 1983–2004 zwracano uwagę na występujące formy erozji wodnej gleb. W czasie wizji terenowych dokonywanych w okresie wiosennych roztopów oraz po opadach o znacznym natężeniu zwracano szczególną uwagę na sposób użytkowania terenu, kierunek prowadzenia upraw i zabiegów agrotechnicznych, widoczne objawy zjawisk erozyjnych i charakter pokrywającej powierzchnię roślinności. W celu usprawnienia rozpoznania struktury użytkowania zakupiono zdjęcia lotnicze (z nalotów wykonywanych w 1995 r.), które posłużyły głównie do ustalenia zasięgu poszczególnych użytków.

Od roku 2002 szczegółowej obserwacji poddano wytypowane pole obejmujące swoim zasięgiem stok w strefie wododziałowej. Rejestrowano gatunki uprawianej roślinności oraz fazy jej rozwoju, a także okres przebywania na polu. Wywiady z właścicielem pola ornego były źródłem informacji o faktycznych terminach przeprowadzania zabiegów agrotechnicznych, ich rodzaju oraz stosowanych dawek nawozów i ich formy.

W punktach pomiarowych na stoku prowadzono także pomiary wilgotności gleb techniką reflektometrii domenowo-czasowej TDR (Time Domain Reflectometer). Technika, której prekursorem zastosowania w Polsce jest Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, polega na pomiarze prędkości rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w badanym ośrodku [Malicki 1990]. Osiągnięty wynik pomiaru uzależniony jest od wielkości stałej dielektrycznej ośrodka, na którą wpływa jego struktura molekularna. W przypadku pomiarów przeprowadzanych dla wody ww. stała jest znacznie wyższa niż dla pozostałych składowych ośrodka gruntowego (fazy stałej gleby i powietrza). Stąd też zawartość wody w glebie ma decydujący wpływ na jej wielkość dla całego ośrodka. Ta technika pomiarowa obecnie znajduje się praktycznie w powszechnym użyciu w badaniach środowiskowych. Jej zaletą jest szybkie uzyskiwanie wyników pomiarów aktualnej wilgotności gleb, w procentach objętościowo ($\% \theta$), bezpośrednio w terenie oraz uniknięcie pracochłonnej metody suszarkowo-wagowej. Przydatność tej techniki znajduje zastosowanie we wszelkiego typu glebach, a porównanie z wynikami uzyskanymi metodą klasyczną daje niewielkie rozbieżności [Janik 2005, Łyczko i in. 2000, Oleszczuk i in. 1998, Olszewska i in. 2005, Orzepowski i in. 2005a, b, Sokalska, Nyc 2005]. Pomiary wilgotności przeprowadzono dwukrotnie tygodniowo w okresie od wiosny do jesieni roku 2003 i 2004, a w przypadku dłuższych serii opadowych codziennie. Czujniki TDR zainstalowano na stałe w otworach ścian bocznych chwytaaczy na głębokościach: 0,25 m; 0,50 m i 0,75 m. Wilgotności określone jako średnie z trzech powtórzeń, dla dni między terminami pomiarów ustalano w wyniku interpolacji liniowej.

Wiosną roku 2002 w ramach współpracy z Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach, stok, na którym prowadzono badania poddany został pomiarom geodezyjnym z zastosowaniem systemu GPS (Global Positioning System). Pozwoliło to na szczegółowe rozpoznanie reliefu stoku oraz przedstawienie go w postaci mapy spadków, jego profilu podłużnego, a w powiązaniu z niektórymi cechami podłoża i użytkowania powierzchni, wyznaczenie obszarów zbiorczych chwytaaczy odpływu.

Na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej w skali 1:10 000, wyznaczono zasięg zlewni fizjograficznej oraz opracowano mapę spadków na tym obszarze. Klasy spadków przyjęto za Ziemińskim [1950] jako charakterystyczne przy określaniu zagrożeń erozyjnych obszarów pokrytych glebami lessowymi. Sporządzono także mapy gleb (typów i gatunków), których podstawą opracowania była mapa glebowo-rolna w skali 1:10 000 oraz własne wyniki badań składu granulometrycznego. Przeprowadzono również rozpoznanie użytkowania całości obszaru. Do osiągnięcia wspomnianych powyżej celów wykorzystano także istniejące już wcześniej rozpoznanie przeprowadzone przez Żmudę [1998a].

Wyniki pomiarów prowadzonych w korycie cieką, obserwacji warunków meteorologicznych oraz pomiarów prowadzonych na stoku stanowiły podstawę ustalenia podstawowych statystycznych zależności korelacyjnych między badanymi cechami. Parametry równań określano metodą najmniejszych kwadratów, a kryterium istotności wyboru danego modelu stanowiła osiągnięta wartość współczynnika korelacji r Pearsona. We wszystkich analizach przyjęto poziom istotności $\alpha=0,05$.

Rozpoznanie takich cech charakteryzujących zlewnię, jak: uwarunkowania fizjograficzne, pedologiczne, sposób użytkowania i związane z nim zagospodarowanie terenu oraz wyniki pomiarów w korycie cieką i środowisku stokowym, to elementy stanowiące o potraktowaniu zlewni jako złożonej całości i wyróżnieniu w niej funkcjonujących podsystemów decydujących o transporcie materii w systemie otwartym, jakim jest zlewnia. Do przeprowadzenia analizy systemowego funkcjonowania zlewni przyjęto uniwersalny model systemu fluwialnego Stanleya A. Schumma [1977]. To wyidealizowane spojrzenie na zlewnię, dające się przystosować dla stałej sieci rzecznej jak i cieków okresowych – a więc dla każdego typu dorzecza, zakłada istnienie zróżnicowanych funkcjonalnie podsystemów:

- strefę produkcji – obejmującą powierzchnie od linii wododziałowej poprzez stoki do koryta cieką, gdzie następuje wytwarzanie i uruchamianie materii;
- strefę transferu – ograniczoną brzegami koryta cieką stałego lub okresowego, reagującą na zdarzenia zachodzące na stokach, w której następuje dostawa materii do koryta, a nim przemieszczanie do miejsc, gdzie może następować akumulacja transportowanego materiału;
- strefę depozycji – zasadniczo obejmującą ujścia rzek (np. do cieków wyższego rzędu taksonomicznego, zbiorników wodnych), ale również miejsca, gdzie dokonuje się odkładanie i akumulowanie transportowanej materii (np. w przypadku cieków okresowych u podnóża stoków lub bezodpływowych kotlinach).

Uniwersalność takiego spojrzenia powoduje, że każda z ww. stref może być rozpatrywana jako samodzielny system otwarty, stanowiący podsystem większej całości. Według Chorley'a i Kennedy'ego [1971] podsystemy te, posiadające własne cechy jak i wymiar przestrzenny, są dynamicznie powiązane ze sobą, a ich funkcjonowanie uzależnione od przepływającej materii. To wzajemne powiązanie stref systemu fluwialnego powoduje, że jest on traktowany jako system kaskadowy i w myśl poglądów Mackina [1948] charakteryzuje go odcinkowa zmienność cech koryta rzecznej wzdłuż jego profilu podłużnego. Dodatkowo wraz z biegiem cieką głównego następuje wzrost organizacji systemu rzecznej oraz koncentracja przepływu materii [Knighton 1998].

Uzyskane z pomiarów wyniki oraz określone na ich podstawie ładunki materii uruchamianej erozyjnie na stoku oraz odpływającej korytem cieku, jak i powiązania między tymi wielkościami, a także wnioski nasuwające się z obserwacji, pozwoliły zająć możliwe na dzień dzisiejszy stanowisko co do zagrożenia zjawiskami erozji wodnej gleb obszaru Wzgórz Trzebnickich. Dodatkowo przeprowadzone badania pozwoliły rozpoznać sposób funkcjonowania systemu transportu fluwialnego i wyznaczyć okresy jego szczególnej aktywności.

3. Charakterystyka rejonu badań i obiektu badawczego

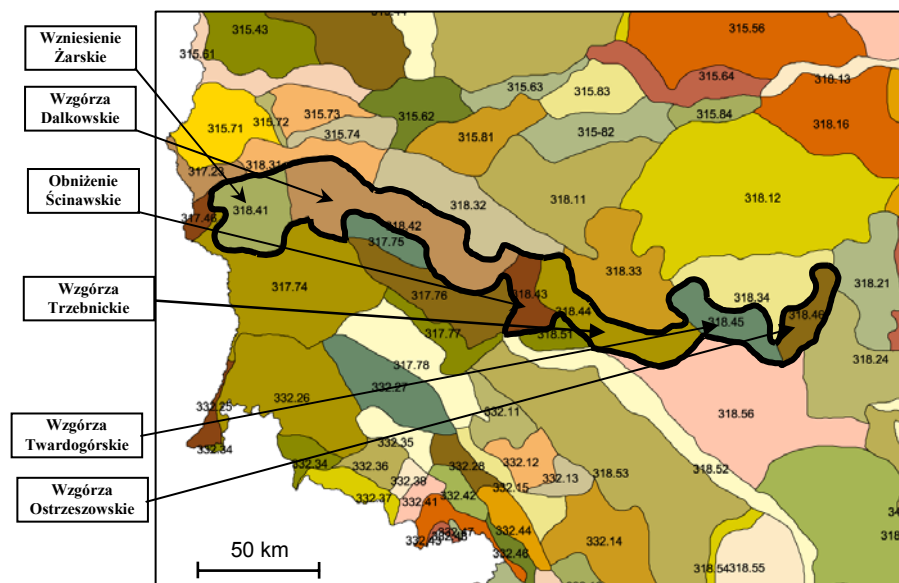
3.1. Charakterystyka mezoregionu Wzgórz Trzebnickie

Badania objęte tematyką niniejszej pracy prowadzono w regionie Wzgórz Trzebnickich. Wchodzą one w skład dużej samodzielnej jednostki fizjograficznej – Wału Trzebnicki [Konracki 1994]. Formacja ta leżąca w obrębie jednostki tektonicznej Monoklina Przesudecka, zalicza się do pasa Nizin Środkowopolskich i stanowi północne zamknięcie Niziny Śląskiej. Łagodne nachylenie stoków powoduje, że w krajobrazie na całej swej rozciągłości nie wszędzie dość wyraźnie się odznacza. Wzgórz Trzebnickie rozciągają się na północ od Wrocławia – od Wińska przez Strupinę, Oborniki Śląskie, Trzebnicę, Skarszyn, Niedary do Twardogóry. Jako mezoregion Wału Trzebnickiego tworzą równoleżnikowy pas (długi ok. 50 km i szerokości 5–10 km) stanowiący południową granicę Kotliny Żmigrodzkiej, od zachodu przylegają do Obniżenia Ścinawskiego, od wschodu do Wzgórz Twardogórskich – stanowiących ich przedłużenie, a od południa sąsiadują z Równiną Oleśnicką (rys. 1).

Najwyższym wzniesieniem Wzgórz Trzebnickich, a zarazem całego Wału, jest Ciemna Góra osiągająca wysokość 258,3 m n.p.m. Wysokości względne w tym regionie wahają się od 80 do 120 m [Walczak 1970]. Z najwyższych wzniesień można podziwiać rozległe pejzaże Pradoliny Baryczy, a przy dobrej widoczności nawet Gór Sowich, Bardzkich, masyw Ślęzy oraz Karkonosze ze szczytem Śnieżki.

Pod względem geobotanicznym Wzgórz Trzebnickie położone są w podokręgu trzebnickim [Pawlak 1997]. Jest to obszar wyjątkowy ze względu na obecność licznych przedstawicieli flory górskiej, kserotermicznej i torfowiskowej, a także wielu wymierających gatunków segetalnych, związanych z zanikającymi już tradycyjnymi formami upraw rolnych [Anioł-Kwiatkowska 2003]. Rosną tu rośliny występujące tylko w górach, jak paprotnik kolczasty, przetacznik górski, bez koralowy czy też rośliny objęte ochroną, takie jak np. storczyki, widłaki, śnieżynki, goździk kartuski, konwalia majowa i dzwonki bolońskie. Pozostałości naturalnych i seminaturalnych fitocenoz zachowały się przede wszystkim na stromych zboczach dolin i wąwozów, skarpach oraz w lokalnych obniżeniach terenu, przy czym zbocza dolin zajmują przede wszystkim różne typy zbiorowisk leśnych. Na skarpach i ścianach wyrobisk odnaleźć można liczne gatunki kserotermiczne i termofilne. Seminaturalne łąki świeże i wilgotne najczęściej związane są z dolinami cieków. Miejsca najbardziej uwilgotnione i zabagnione zajmują zazwyczaj zbiorowiska

szuwarowe. Pod względem przyrodniczym jednymi z najcenniejszych obiektów są doliny potoków, pokryte zazwyczaj fragmentami wielogatunkowych lasów liściastych. Jeden z takich fragmentów leśnych w dolnym biegu Mielnicy, już poza obszarem badanej zlewni, objęty jest ochroną prawną jako rezerwat przyrody „Las bukowy w Skarszynie” [Pender, Rybałtowska 1995].

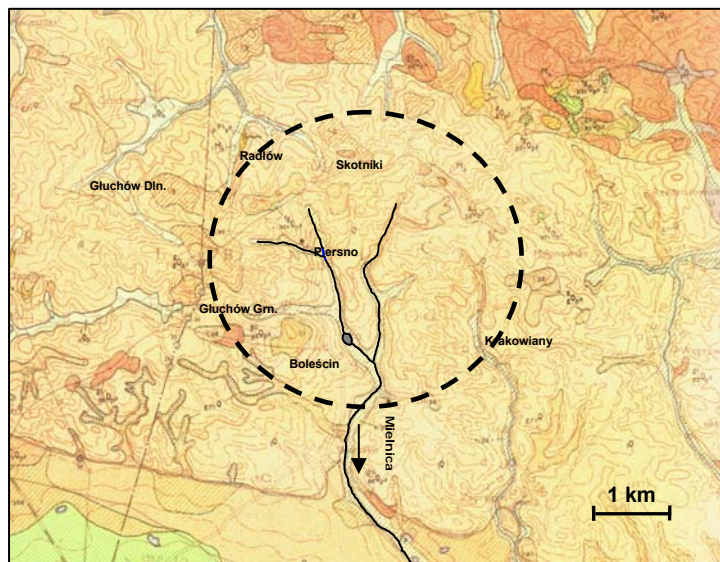


Rys. 1. Poglądowa lokalizacja makroregionu Wał Trzebnicki [Nar. Atlas Polski 1973–1978]
 Fig. 1. Location of Wał Trzebnicki macroregion [Nar. Atlas Polski 1973–1978]

Najpiękniejszy fragment tej formacji, o dużych walorach przyrodniczo-krajobrazowych, rozciąga się między Trzebnicą a Obornikami Śląskimi. Występują tu liczne wąwozy, doliny, jary i parowy, o różnym stopniu dojrzałości, świadczące o procesach erozyjnych zachodzących na tym obszarze. Na 276 km², jakie przypadają pod Wzgórze Trzebnickie, średnia gęstość sieci wąwozowej wynosi 0,184 km·km⁻² i występują one na ok. 43% tego obszaru. Najsilniej porożcinane siecią wąwozową są południowe stoki, w okolicach Skarszyna, gdzie wskaźnik gęstości dochodzi do 5 km·km⁻² [Jary, Kida 2002]. Wartości te wskazują, że gęstość sieci wąwozowej w tym rejonie jest porównywalna ze wskaźnikami dla Rostocza Gorajskiego i Płaskowyżu Nałęczowskiego, regionami uznanymi za najbardziej rozczłonkowane przez wąwozy obszary Polski pokryte glebami lessowymi [Buraczyński 1990]. Jednakże erozja wąwozowa w stopniu bardzo silnym występuje tu zaledwie na ok. 1,1% powierzchni, a najczęściej w stopniu umiarkowanym (27,9% obszaru). Badania na obszarach lessowych Dolnego Śląska prowadzone przez Uniwersytet Wrocławski wykazują, że współcześnie występujące procesy erozyjne na tym terenie to zasadniczo zjawiska erozji wodnej powierzchniowej, przeciwnie niż na terenach lessowych centralnej i wschodniej Polski [Cegła 1972, Jary 1991, Kida 1996].

Budowa geologiczna Wzgórz Trzebnickich zasadniczo zdominowana jest przez utwory trzecio- i czwartorzędowe. Utwory powierzchniowe to głównie osady czwartorzędowe, takie jak: lessy, gliny glacialne i osady fluwioglacjalne. Najmłodszym osadem plejstoceniowym Wzgórz Trzebnickich są lessy. Gleby te na terenie Polski występują na południu kraju, głównie w okolicach Lublina, Rzeszowa, Kielc, Krakowa, Głubczyc i Wrocławia tworząc nieciągłą pokrywę o zróżnicowanej miąższości [Cegła 1972]. Ich występowanie można podzielić na pięć zasadniczych regionów: lubelski, sandomierski i krakowski (w pasie wyżyn południowopolskich) oraz karpacki i sudecki (w pasie przedgórzy i pogórzy) [Maruszczak 1991]. Lessy trzebnickie stanowią wysuniętą na północ od Wrocławia enklawę, a głębokość ich zalegania wynosi przeciętnie od 3 do 5 m, lokalnie osiągając nawet 25 m. Wykształcone są w facji stokowej, co dowodzi obecności smugowania i laminacji profilu. Północna i południowa granica występowania lessów trzebnickich biegnie prawie prostolinijnie i równoległe do siebie. Granica południowa stanowi jednocześnie morfologiczną krawędź Wzgórz, natomiast północna nie zaznacza się wyraźnie w morfologii terenu [Jary 1996, Szponar 1998, Walczak 1970, Winnicki 1991, 1994].

Pokrycie utworami geologicznymi występującymi w rejonie prowadzonych badań przedstawiono na fragmencie arkusza 727 – Trzebnica szczegółowej mapy geologicznej Polski (rys. 2). Z mapy tej wynika, że głównymi utworami są tutaj lessy i mułki lessopodobne lokalnie utworzone na piaskach i żwirach akumulacji szczelinowej, glinach zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego oraz na trzeciorzędowych ilach. W dolinie cieków głównych występują natomiast namuły den dolinnych na piaskach i żwirach rzecznych den dolinnych.



Rys. 2. Pokrycie utworami geologicznymi w rejonie prowadzenia badań – na podstawie szczegółowej mapy geologicznej Polski, arkusz 727 – Trzebnica [Winnicki 1990]

Fig. 2. Geological formations in research region – source: Geologic Map of Poland, chart 727 – Trzebnica [Winnicki 1990]

Wzgórza Trzebnickie, na podstawie regionalizacji klimatycznej naszego kraju według Romera [cyt. za Bac i in. 1993], zaliczają się do regionu kotlin i nizin podgórskich. Klimat panujący tutaj, podobnie jak i w innych tego typu krainach, jest stosunkowo łagodny. Generalnie charakteryzuje się on najkrótszą zimą i najdłuższym w kraju latem, najdłuższym okresem wegetacyjnym oraz mniejszymi, lecz na ogół korzystnie dla rolnictwa rozłożonymi opadami atmosferycznymi. Analiza warunków agroklimatycznych przeprowadzona przez Baca [1991] wykazuje, że od początku maja do końca sierpnia panuje tutaj agroklimat umiarkowanie wilgotny, umiarkowanie ciepły i umiarkowanie słoneczny. Natomiast w półroczach zimowych Wzgórza Trzebnickie wyraźnie odróżniają się od reszty obszaru jako cieplejsze, a szczególnie ich południowe krańce. Wiązą się z tym okresy występowania odwilży oraz opadów atmosferycznych [Kozłowski i in. 1987]. Pierwsza występuje w okolicach 12 grudnia, natomiast ostatnia 11 marca. Roczne sumy opadów przeciętnie kształtują się od 650 do 800 mm, a średnia liczba dni opadowych (z opadem powyżej 0,1 mm) waha się od 140 do 160. W okresie od kwietnia do października przeciętnie występują 3,52 dni z opadem ponad 20 mm. Burze atmosferyczne średnio występują w ciągu 20,1 dni.

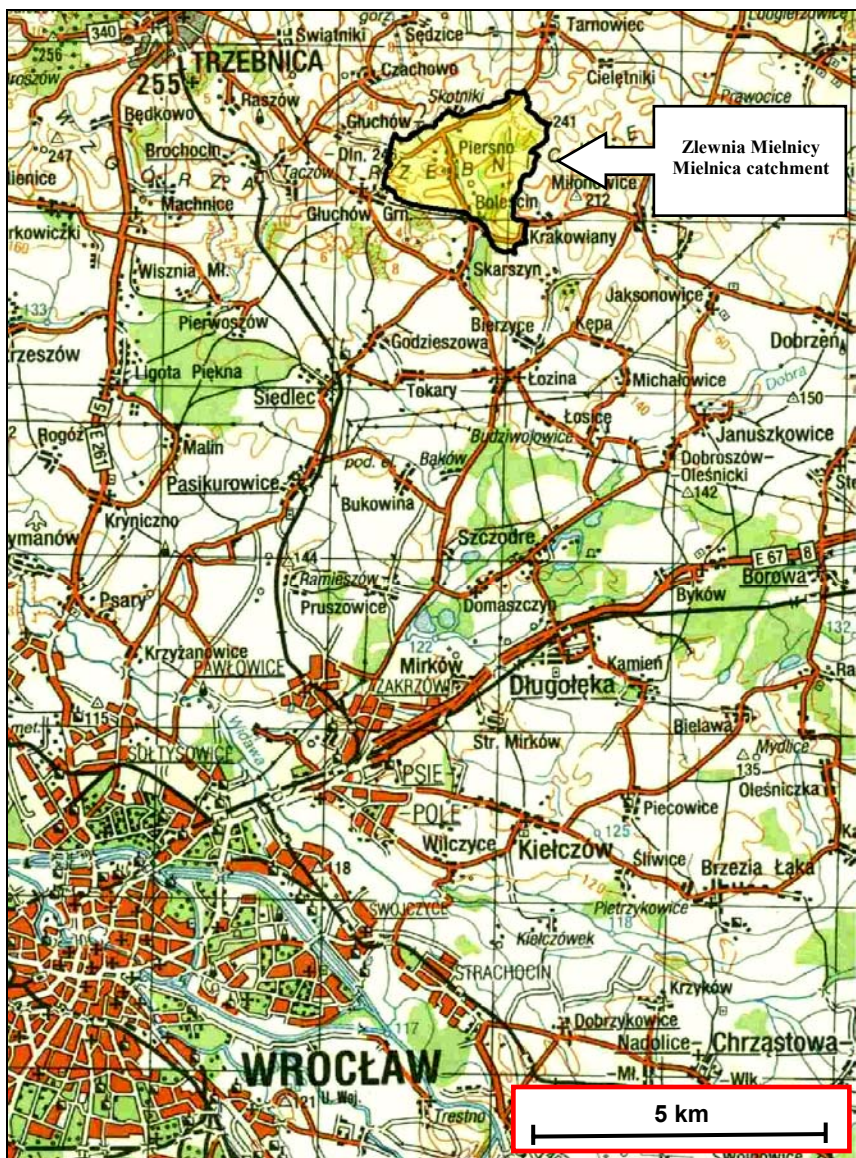
Pod względem termicznym, przeciętna długość okresu z temperaturami powyżej 0°C wynosi od 290 do 310 dni rocznie, termiczna zima rozpoczyna się pod koniec grudnia i trwa do końca lutego, a przeciętna temperatura roczna wynosi około 8°C. Pierwsze przymrozki jesienne notowane są przeciętnie na tym obszarze około 9 października, ale mogą się zdarzyć nawet 14 września. Ostatnie natomiast przymrozki wiosenne, notowane są w okolicach 3 maja. Ilość dni przymrozkowych na tym obszarze wynosi przeciętnie około 43 [Wiszniewski, Chełchowski 1975].

Analiza rozkładu przestrzennego klimatycznych bilansów wodnych przeprowadzona przez Rojka [1987] wykazuje, że w ujęciu rocznym region Wzgórz Trzebnickich można zaliczyć do obszarów charakteryzujących się niewielkim nadmiarem opadów atmosferycznych wynoszącym około 20 mm. W okresie zimowym (X–III) nadmiar ten wynosi przeciętnie około 100 mm, natomiast w okresie od kwietnia do września zarysowuje się ich niedobór wynoszący 40–60 mm.

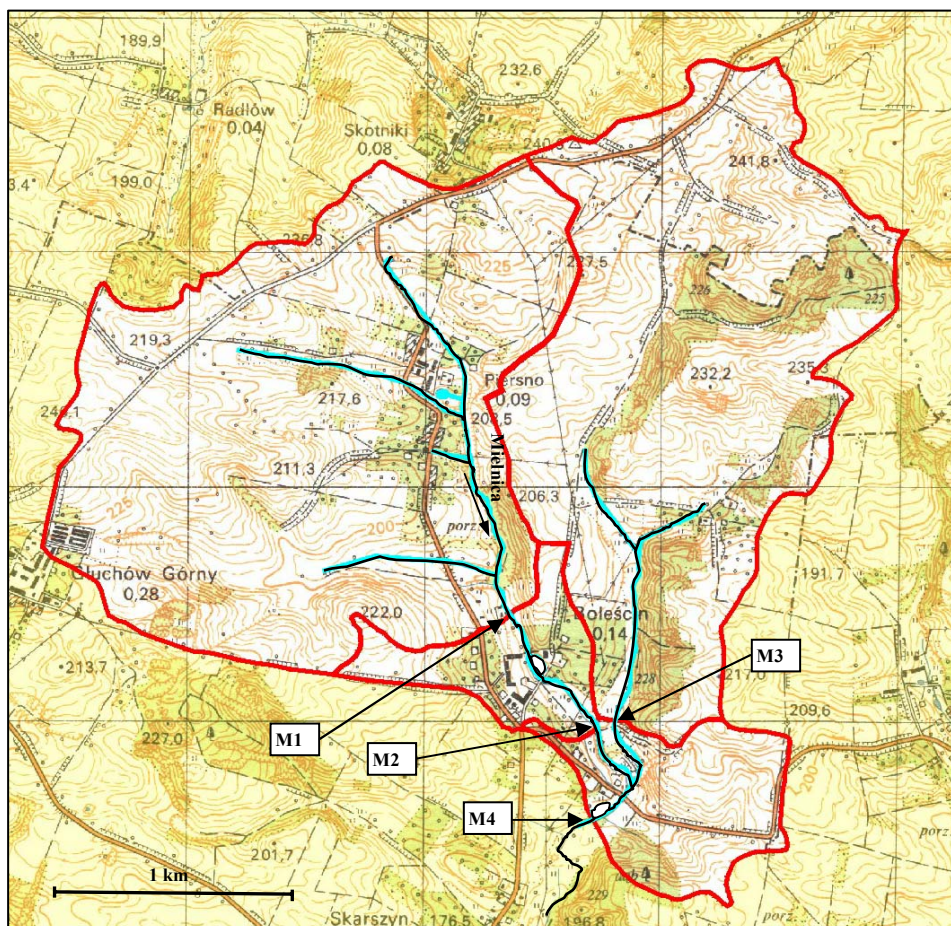
3.2. Charakterystyka zlewni Mielnicy

Objęta badaniami zlewnia Mielnicy zlokalizowana jest na południowych zboczach Wzgórz Trzebnickich w województwie dolnośląskim, w powiecie trzebnickim. Najbliższą większą miejscowością jest Trzebnica oddalona w kierunku północno-zachodnim o ok. 9 km (rys. 3). Do roku 1994 powierzchnia obszaru objętego badaniami wynosiła 667 ha. Po tym roku, w wyniku przemian własnościowych w zlewni powstały dwa niewielkie przepływowe zbiorniki wodne użytkowane jako stawy do hodowli ryb karpioawatych. Ich rola w odprowadzaniu rumowiska oraz określaniu denudacji jednostkowej była przedmiotem rozprawy doktorskiej Szewrańskiego [2002] oraz pracy Szewrańskiego i in. [2002]. Usytuowanie jednego ze zbiorników na wysokości posterunku hydrometrycznego narzuciło konieczność zmiany jego lokalizacji, co spowodowało, że powierzchnia wzrosła do 711,4 ha, a w jej skład wchodziły grunty kilku sołectw. Na cieku głównym oraz jego dopływie zainstalowano cztery punkty pomiarowe (M1-4), na których prowadzono

pomiary elementów hydrologicznych, batometrycznych i składu chemicznego odpływających wód. Wyznaczone dla tych posterunków obszary zbiorcze podzieliły zlewnię na fragmenty różniące się pod względem użytkowania i warunków odpływu wód (rys. 4).



Rys. 3. Mapa poglądowa lokalizacji zlewni Mielnicy
Fig. 3. Mielnica catchment location map



Rys. 4. Mapa pogładowa zlewni Mielnicy (M1÷4 – posterunki hydrometryczno-batometryczne)
 Fig. 4. Mielnica catchment scheme map (M1÷M4 – hydro-bathometric cross-sections)

Wieloletnie badania prowadzone w zlewni Mielnicy pozwalają stwierdzić, że pokrycie glebami na tym obszarze jest dobrze rozpoznane i to zarówno pod względem typów, jak i gatunków gleb. Szczegółowo zagadnienie to było prezentowane w pracy Żmudy [1998a]. Dominującym typem gleb w zlewni są gleby brunatne (tab. 1), natomiast gatunkiem – lessy (tab. 2). Gleby te dodatkowo wykazują zróżnicowanie składu granulometrycznego w zależności od miejsca poboru w facji stokowej. Generalnie wskaźniki podatności na zmywanie r wierzchnich warstw odkrywek glebowych przybierają wielkości w granicach 1,7÷5,8. Jednakże lokalnie dochodzą one nawet do ok. 16, wykazując wyższe wartości na wierzchowinach, nieco niższe u podnóży zboczy, a najniższe na zboczach.

Tabela 1
Table 1

Typy gleb w zlewni Mielnicy do przekrojów pomiarowych M1-4
Soils genetic classification in Mielnica M1-4 subcatchment

Typ gleby Soil type	Powierzchnia do przekrojów Area at cross-sections							
	M1		M2		M3		M4	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Gleby brunatne (razem): Brown soils (sum):	331,9	97,67	360,4	95,68	254,4	90,28	657,1	92,38
– właściwe specific	1,0	0,29	1,0	0,26	43,9	15,58	44,9	6,31
– wylugowane leached	330,9	97,38	359,4	95,42	210,5	74,70	612,2	86,07
Gleby bielnicowe i pseudobielnicowe Podsolic and pseudopodsolic soils	5,9	1,74	10,0	2,65	21,6	7,66	31,6	4,44
Mady Alluvial soil	–	–	4,3	1,14	5,8	2,06	20,6	2,89
Czarne ziemie zdegradowane Degradated black-earth	2,0	0,59	2,0	0,53	–	–	2,1	0,29
Łącznie Total	339,8	100	376,7	100	281,8	100	711,4	100

Tabela 2
Table 2

Gatunki gleb w zlewni Mielnicy do przekrojów pomiarowych M1-4
Soils textural groups in Mielnica M1-4 subcatchment

Gatunek gleby Soil textural group	Powierzchnia do przekrojów Area at cross-sections							
	M1		M2		M3		M4	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Lessy Loess	334,2	98,35	367,2	97,48	273,8	97,16	677,6	95,25
Pyły ilaste Silty dust	–	–	3,8	1,01	5,8	2,06	20,2	2,84
Gliny średnie Medium clay	5,3	1,56	5,4	1,43	–	–	10,7	1,50
Piaski gliniaste mocne Heavy loamy sands	0,3	0,09	0,3	0,08	–	–	0,7	0,10
Piaski luźne Fine sands	–	–	–	–	2,2	0,78	2,2	0,31
Łącznie Total	339,8	100	376,7	100	281,8	100	711,4	100

Porównując je z wartościami przeciętnymi dla niektórych gleb, określonymi przez innych badaczy w różnych regionach Polski, gleby zalegające w zlewni Mielnicy klasyfikują się do jednych z najmniej odpornych na zmywanie. Dodatkowo gleby te nie zawierają frakcji szkieletowych, gdyż we wszystkich badanych próbkach gleb nie stwierdzono występowania materiału o średnicy przekraczającej 2 mm. Wykazują one również podobieństwo do lessów zalegających na Wyżynie Lubelskiej zaliczanej do obszarów najsilniejszego zagrożenia erozyjnego w naszym kraju, a ich skład granulometryczny jest analogiczny do stwierdzonego przez Rejmana i in. [1998] w Czesławicach. Na podobieństwo tych gleb wskazują również Licznar i Drozd [1989].

Tabela 3

Table 3

Obszary zlewni Mielnicy przypadające pod klasy nachyleń stoków
Areas of Mielnica catchment under different slope classes

Przedziały nachyleń Slope classes	Powierzchnia do przekrojów Area at cross-sections							
	M1		M2		M3		M4	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
0–3%	104,0	30,62	119,7	31,78	102,3	36,32	239,8	33,69
3–6%	154,9	45,58	167,3	44,41	111,0	39,40	300,7	42,27
6–10%	66,2	19,49	73,4	19,49	47,2	16,75	130,3	18,32
10–20%	14,5	4,27	16,1	4,27	20,9	7,40	39,9	5,62
> 20%	0,15	0,04	0,2	0,05	0,4	0,13	0,7	0,10
Łącznie Total	339,8	100	376,7	100	281,8	100	711,4	100

Tabela 4

Table 4

Struktura użytkowania gruntów w zlewni Mielnicy do przekrojów pomiarowych M1-4
Land use pattern in Mielnica M1-4 subcatchments

Rodzaj użytkowania Kind of use		Powierzchnia do przekrojów Area at cross-sections							
		M1		M2		M3		M4	
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Użytki rolnicze Agricultural land	Grunty orne Arable land	276,8	81,46	293,6	77,94	204,6	72,60	535,3	75,24
	Użytki zielone Grass-land	17,6	5,18	22,0	5,84	15,2	5,40	45,5	6,40
	Razem Total	294,4	86,64	315,6	83,78	219,8	78,00	580,8	81,64
Lasy Forests		39,6	11,65	51,9	13,78	61,5	21,82	120,4	16,92
Tereny pod wodami Grounds under the water		0,1	0,03	0,7	0,19	–	–	1,0	0,14
Obszary zabudowane Built up area		5,7	1,68	8,3	2,25	0,5	0,18	9,2	1,30
Łącznie Total		339,8	100	376,7	100	281,8	100	711,4	100

Zlewnia Mielnicy pod względem wysokościowym wznosi się między rzędnymi 169,38 a 246,10 m n.p.m. Obszar źródliskowy głównego cieku wznosi się na wysokości 218,10 m n.p.m. Długość tego cieku wynosi 3096 m, a średni jego spadek podłużny 1,6%. Średni spadek całej zlewni wynosi 2,9%, natomiast przeciętne nachylenie stoków określone na podstawie mapy spadków wynosi ok. 7–8% [Żmuda 1998a] (tab. 3).

Sposób użytkowania gruntów w zlewni Mielnicy zdominowany jest przez grunty orne (tab. 4), natomiast stosunkowo niewielkie obszary zajmują użytki zielone (od 5,18 do 6,40%). Zróżnicowany jest natomiast rozkład obszarów leśnych. Najwięcej przypada na nie w zlewni M3, gdzie zajmują ponad 21%, a w pozostałych przeciętnie kilkanaście procent. Tereny te z reguły zlokalizowane są w miejscach charakteryzujących się największymi spadkami, stanowiąc ich zabezpieczenie przeciwerozyjne. Dodatkowym atutem ich lokalizacji jest kierunek występowania. Są to pasy o przebiegu równoległym do warstwic, zabezpieczające tereny niżej położone przed spływami i zmywami powierzchniowymi. Użytki zielone rozmieszczone są w dolnych partiach zboczy wzdłuż biegu cieków (fot. 2). Nie bez znaczenia pozostają tutaj kształty pól uprawnych. Na obszarze całych Wzgórz Trzebnickich dominującym kształtem jest wydłużony prostokąt, którego dłuższy bok skierowany jest zgodnie z linią największych spadków. Takie uformowanie kształtu pola wymusza na rolnikach prowadzenie prac agrotechnicznych i kierunków upraw prostopadle do warstwic, co sprzyja procesom erozji wodnej gleb (fot. 3).

Przytoczona powyżej organizacja przestrzeni rolniczej narzuca niejako warunek lokalizacji sieci komunikacyjnej. Drogi dojazdowe do poszczególnych pól w świetle powyższych uwarunkowań umiejscowione są również na liniach największych spadków i u podnóża zboczy. Na terenie zlewni przeważają nieutwardzone drogi rolnicze. Ich łączna długość wynosi 15,9 km, co w przeliczeniu na wskaźnik gęstości sieci komunikacyjnej daje $2,24 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Całkowita długość wszystkich dróg (łącznie z drogami o nawierzchni utwardzonej) wynosi 22,8 km, co daje wartość wspomnianego powyżej wskaźnika równą $3,20 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. W okresach roztopowych lub po intensywnych opadach atmosferycznych drogi te uaktywniają się erozyjnie stając się niejako korytami odpływowymi erodowanej gleby (fot. 4). Na drogach nieutwardzonych, w wyniku częstego przejazdu sprzętu rolniczego, obserwowano powstawanie lokalnych rozmyć i zaczątki tworzenia się nowych wąwozów drogowych. Erozją wąwozową w zlewni Mielnicy objętych jest 36,4 ha. Ta forma erozji wodnej występuje głównie na wspomnianych powyżej drogach i na obszarach leśnych. W większości są to wąwozy w stadium przejściowym lub charakteryzujące się niewielką aktywnością.

Zlewnia Mielnicy została również rozpoznana w aspekcie zagrożenia erozją wodną powierzchniową [Żmuda 1998a]. Do wyznaczania zagrożenia obszarów wykorzystano metodę opracowaną w IUNG Puławy [Józefaciuk, Józefaciuk 1996]. Rozpatrując zagrożenie erozją wodną potencjalną zlewnię należy zaliczyć do obszarów pierwszego stopnia pilności objęcia ochroną przeciwerozyjną (ochrona niezbędna), gdyż 50,3% powierzchni zagrożone jest klasami od 3. wzwyż. Przestrzenne rozmieszczenie klas zagrożeń, ze względu na jednorodność pokrycia glebowego, generalnie jest zgodne z rejonami występowania poszczególnych przedziałów nachyleń stoków. Uwzględniając aspekt użytkowania w zlewni, rzeczywiste zagrożenie najwyższymi klasami wyraźnie wzrasta (od 3. wzwyż do 84,6%), co tym bardziej klasyfikuje obszar do pierwszego stopnia pilności objęcia ochroną przeciwerozyjną. Analiza potrzeb wprowadzenia zmian zagospodarowania przestrzennego



Fot. 2. Poglądowe zdjęcie lotnicze zlewni Mielnicy z nalogów w 1995 r. wykonanych w ramach programu PHARE

Photo 2. Aerial photograph of Mielnica catchment made in 1995 with support of PHARE program

na obszarze Wzgórz Trzebnickich na przykładzie zlewni Mielnicy szeroko została przedstawiona w pracy Żmudy i in. [2005]. Na obszarze tym, jako zabieg podstawowy, należałoby zmierzać do zmiany kierunków prowadzenia upraw i zabiegów, co jest niezmiernie trudne do przeprowadzenia i bez pomocy środków państwowych praktycznie niemożliwe. Dodatkowo ok. 5% powierzchni pozostającej w najsilniejszych stopniach zagrożenia erozyjnego należałoby przeznaczyć pod zalesienia. Zabiegami przeciwoerozyjnymi powinny również zostać objęte lasy, szczególnie, że to właśnie tam występuje najwięcej wąwozów i to wciąż aktywnych. W obrębie koryta cieku i jego doliny należałoby wprowadzić szereg zabiegów rewaloryzacyjnych, których celem byłoby przywrócenie atrakcyjności i funkcjonalności obszaru wiejskiego, opartych na ochronie elementów i terenów cennych przyrodniczo oraz odbudowa ekosystemu wodnego cieku związana



Fot. 3. Wzdłużstokowy kierunek zabiegów agrotechnicznych i prowadzenia upraw w zlewni Mielnicy oraz taki sam układ drogi rolniczej (fot. autor – jesień 2000 r.)

Photo 3. Slope-oriented direction of agricultural measures and crop production in Mielnica catchment, the same road orientation (photo author – autumn 2000)



Fot. 4. Namyty materiał glebowy na drodze asfaltowej – zlewnia Mielnicy, Wzgórza Trzebnickie, marzec 2003 r. (fot. autor)

Photo 4. Eroded soil washed on asphalt road – Mielnica catchment, Trzebnica Hills, March 2003 (photo author)

szczególnie z ograniczaniem negatywnych skutków erozji gleb na obszarze zlewni [Szewrański i in. 2006]. Rewaloryzacja ta uwzględniająca warunki hydrobatometryczne, fizjograficzne, pedologiczne oraz fitosocjologiczne powinna być prowadzona w trzech różniących się strefach obejmujących swoim zasięgiem górny, środkowy i dolny odcinek biegu cieku, a proponowane działania naprawcze powinny mieć charakter ogólny i szczegółowy. Zadania ogólne to przede wszystkim powszechne wprowadzenie zasad dobrych praktyk rolniczych, wdrażanie i przestrzeganie obowiązującego prawa w zakresie ochrony środowiska, ochrona i zachowanie potencjału glebowego, ograniczenie zanieczyszczeń wód oraz ochrona zasobów przyrodniczych i walorów krajobrazowych. Zadania szczegółowe powinny obejmować bezwzględną likwidację nielegalnej zabudowy hydrotechnicznej, likwidację punktowych zanieczyszczeń wód powierzchniowych, zmianę wcześniej już wspomnianych kierunków prowadzenia upraw i zabiegów agrotechnicznych, czy też wprowadzenie do zabudowy doliny nowych elementów w postaci stref buforowych wzdłuż cieku i dróg asfaltowych, wprowadzenie nowych obszarów zalesień, zadrzewień, upraw sadowniczych a nawet plantacji winorośli. W środkowym odcinku doliny Mielnicy istnieje możliwość utworzenia elementu ochrony siedliskowej oraz zachowania bioróżnorodności w postaci podmokłej łąki (tzw. wetland) wzbogaconej o oczko wodne, a całość może zostać wzbogacona o ścieżkę rowerową jako obiekt rekreacyjny. Oczywiście całość planowanego przedsięwzięcia mająca sprzyjać ochronie środowiska wiejskiego i pogłębiać procesy odnowy wsi powinna być wsparta edukacją obywatelską i ekologiczną.

Tabela 5

Table 5

Koncentracje składników chemicznych w wodach opadowych w zlewni Mielnicy na tle koncentracji stwierdzonych na Dolnym Śląsku w roku 1999

Chemical compounds concentrations in rain waters in Mielnica catchment on the background of values noticed in Low Silesia in 1999

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Koncentracje Concentrations				
		Zlewnia Mielnicy Mielnica catchment		Dolny Śląsk Low Silesia		
		XI–IV	V–X	min.	śr.; mean	max.
Azot ogólny Total nitrogen	mg N-N _{og} ·dm ⁻³	5,06	2,44	0,75	2,75	7,12
Tlenki azotu Oxyde nitrogen	mg N-NO _x ·dm ⁻³	1,07	0,56	0,27	0,78	2,51
Fosfor Phosphorus	mg P·dm ⁻³	0,094	0,376	0,004	0,088	0,580
Potas Potasium	mg K·dm ⁻³	0,44	0,89	0,04	0,51	1,92

W roku 1999 w ramach monitoringu opadów atmosferycznych występujących w zlewni wody te zostały poddane analizie składu chemicznego m.in. pod kątem zawartości azotu ogólnego, tlenków azotu, fosforu i potasu. Przeciętne koncentracje tych składników w wodach opadowych, w ujęciu sezonowym, na tle koncentracji stwierdzonych przez

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu na obszarze Dolnego Śląska przedstawiono w tabeli 5. Wyliczone na ich podstawie ładunki jednostkowe pozwalają stwierdzić, że przeciętnie na obszar zlewni Mielnicy wraz z opadami wprowadzane jest 19,55 kg N-N_{og}·ha⁻¹; 4,24 kg N-NO_x·ha⁻¹; 1,18 kg P·ha⁻¹ oraz 3,37 kg K·ha⁻¹ i wielkości te poza ładunkiem fosforu (na Dolnym Śląsku 0,724 kg P·ha⁻¹) są niższe niż podawane przez IMGW. Analizując koncentracje i ładunki w ujęciu sezonowym można stwierdzić, że w półroczu zimowym (XI–IV) wraz z opadami w zlewni Mielnicy deponowana jest prawie dwukrotna ilość azotu ogólnego, tlenków azotu i potasu niż w półroczu letnim (V–X). Natomiast w przypadku fosforu sytuacja jest odmienna, gdyż zarówno koncentracje, jak i ładunki w okresie zimowym stanowią zaledwie ok. 20%, które w wyniku imisji deponują się w zlewni w półroczu letnim. Na taką sytuację mogą mieć wpływ procesy erozji eolicznej zachodzące na Wzgórzach Trzebnickich i ich otoczeniu, jednakże zagadnienie to nie zostało szczegółowo zbadane, jak również brak jest danych literaturowych na ten temat.

3.3. Charakterystyka środowiska stokowego

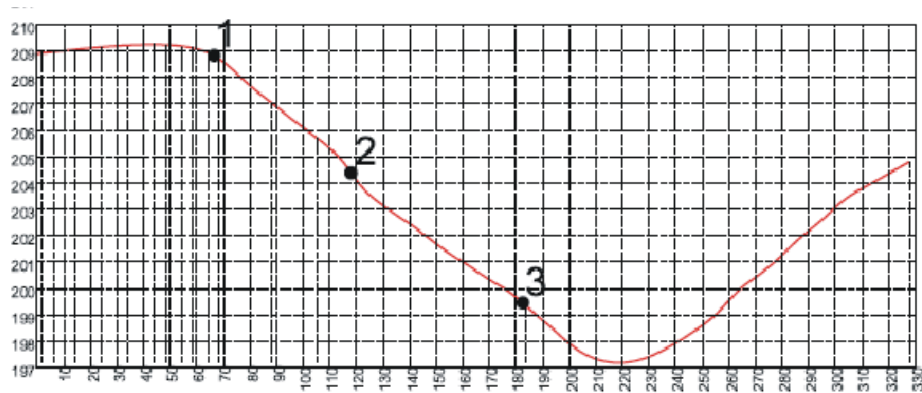
Po wschodniej stronie zlewni, w części wododziałowej, objęto obserwacjami i pomiarami pole o powierzchni całkowitej 1,42 ha użytkowane jako grunt orny. Jego część obejmuje stok, który ze względu na sposób użytkowania oraz cechy wynikającego z jego fizjografii uznano za reprezentatywny dla całej zlewni.

Jak przedstawia się ukształtowanie objętego badaniami stoku? Dzięki możliwości użycia aparatury GPS przeprowadzono pomiary z użyciem tego sprzętu. Koordynaty lokalizacji punktów pomiarowych w obrębie stoku oraz powiązanie ich z sytuacją terenową przedstawiono w tabeli 6, a także na rysunku 5. Pomiary te stanowiły również podstawę opracowania szczegółowej mapy spadków w rejonie prowadzonych badań (rys. 6). Całkowita długość stoku wynosi 177 m. Jego maksymalne wzniesienie wynosi 209,08 m n.p.m., natomiast podnóże położone jest na wysokości 197,17 m n.p.m. Przy różnicy wysokości 11,91 m średni spadek stoku wynosi 6,7%.

Tabela 6
Table 6

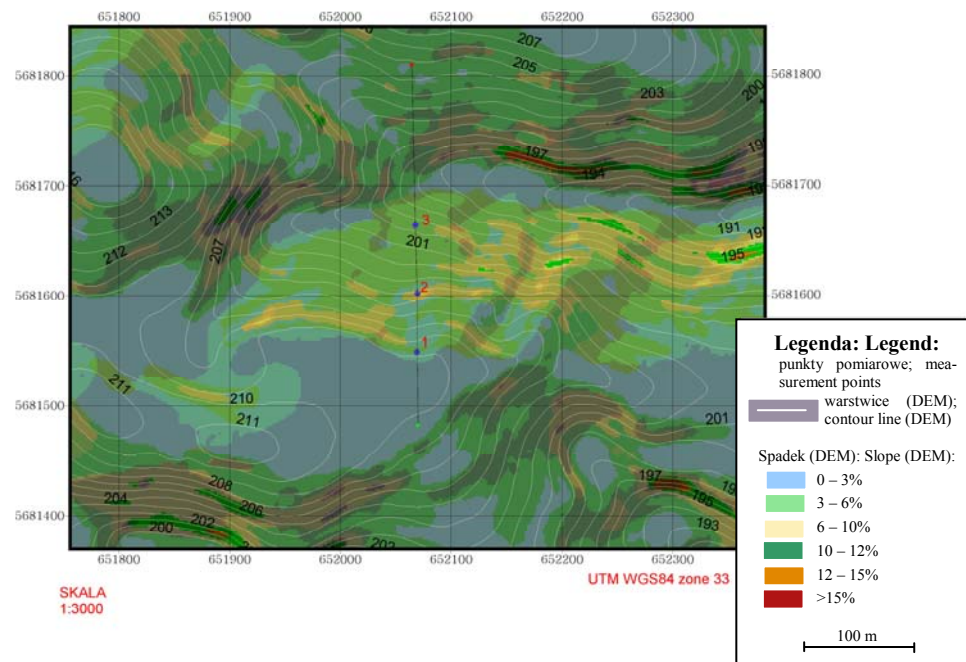
Charakterystyka lokalizacji punktów pomiarowych na zboczu zlewni Mielnicy
Characteristic of measure points located on slope in Mielnica catchment

Nr punktu pomiarowego i lokalizacja na stoku Point number and location	Koordynaty lokalizacyjne Coordinates		Wysokość punktu Elevation	Spadek; Slope
	Y	X	m n.p.m. m a.s.l.	%
1 – Górna część zbocza Upper slope cross-section	652070,524812	5681548,894608	208,912	3,72
2 – Zbocze Slope	652070,826329	5681602,116593	204,651	8,19
3 – Podnóże stoku Foothill	652069,152738	5681664,085697	199,714	6,58



Rys. 5. Profil podłużny stoku w zlewni Mielnicy wraz z lokalizacją punktów pomiarowych: 1 – górna część zbocza; 2 – zbocze; 3 – podnóże stoku

Fig. 5. Slope cross-section in Mielnica catchment with measurement points: 1 – upper slope cross-section, 2 – slope, 3 – foothill



Rys. 6. Mapa poglądowa spadków występujących w rejonie prowadzenia badań na stoku wraz z lokalizacją chwytnicy odpływu: 1 – górna część zbocza; 2 – zbocze; 3 – podnóże stoku

Fig. 6. Slopes map of research site with runoff traps locations: 1 – upper slope cross-section, 2 – slope, 3 – foothill

Przedstawione powyżej wyniki rozpoznania wstępnego przeprowadzone w obrębie stoku wyraźnie wskazują, że stoki Wzgórz Trzebnickich poddawane były silnym procesom erozyjnym. Już sam jego prostolinijny kształt pozwala wnioskować, że w chwili obecnej na tych stokach procesy erozyjne są nadal aktywne. Jednakże wyraźnie obniżona podstawa erozyjna (odcinek 190–220 m), to zaczątek tworzenia się stoku wklęsłego. Również przejście z wierzchowiny w zbocze (odcinek 50–70 m) następuje w gwałtowny sposób. Lokalne deniwelacje terenowe wskazują również, że procesy erozji wodnej zachodzą tutaj z różną intensywnością. Górna partia stoku to strefa inicjacji spływu powierzchniowego. Tutaj w trakcie prowadzenia badań stwierdzano objawy zmywów powierzchniowych oraz drobnych żłobin, nie przekraczających głębokości ok. 1–3 cm. Strefa środkowa zbocza to obszar, gdzie procesy erozyjne w przypadku zaistnienia sprzyjających warunków zachodzą już intensywnie. Następuje tam koncentracja spływu, a żłobiny przybierają głębokości dochodzące do 20 cm. W dolnej strefie stoku następuje akumulacja zmywanego materiału, ale podstawa erozyjna zlokalizowana dodatkowo na linii koncentracji spływu z podnóża okolicznych zboczy powoduje, że w miejscu tym często tworzą się głębokie żłobiny (nawet do ok. 80 cm). Sytuację taką stwierdzono wiosną 2002 roku, tuż przed uruchomieniem badań w środowisku stokowym (fot. 5).



Fot. 5. Strefa akumulacji zmywanego materiału do podnóża stoku. Na linii koncentracji spływu widoczna głęboka żłobina (fot. autor – marzec 2002 r.)

Photo 5. Foothill accumulation zone. Deep rill is recognized on flow concentration line (photo author – March 2002)

Analiza ukształtowania i ślady budowli melioracyjnych na tej linii spływu w dnie doliny pozwalają przypuszczać, że właśnie tutaj w minionych czasach umiejscowiona była tzw. sucha dolina. Charakter jej użytkowania został całkowicie zmieniony na orne, a linia prowadzenia zabiegów agrotechnicznych doprowadzona została do samego dna. W wyniku prac rekultywacyjnych prowadzonych przez właściciela gruntu, polegających jedynie na zasypywaniu powstałych żłobin, podstawa erozyjna prawdopodobnie wolno obniża się, a procesy erozyjne zmierzające do zmiany ukształtowania profilu rzeźby terenu dają zaczątek tworzeniu się zbocza wklęsłego.

W ramach rozpoznania prowadzonego w obrębie stoku wyznaczono obszary zbiorcze dla chwytaczy odpływu. Wielkość tych obszarów zasadniczo została zdeterminowana kierunkiem prowadzonych zabiegów agrotechnicznych i mikroreliefem stoku. Lokalnie przy użyciu laski gleboznawczej dokonywano sondowań miąższości warstwy ornej w celu uchwycenia głębokości zalegania warstwy podornej. Powierzchnie te wyniosły odpowiednio: dla chwytacza w górnej części zbocza (1) – 24 m²; na zboczach (2) – 80 m² i u jego podnóża (3) – 120 m².

Badania szczegółowe próbek gleby pobranych z tych warstw wykazały istotne różnice cech fizycznych między nimi. Wyraźne zagęszczenie głębszych warstw, a praktycznie utworzenie się na głębokości 50 cm słabo przepuszczalnego podłoża spowodowało, że o wielkości obszarów zbiorczych zdecydował kierunek prowadzenia upraw.

Przeprowadzone rozpoznanie ogólne wskazało na potrzebę wykonania szczegółowych badań w obrębie stoku. Uznano, że pokrywa glebowa jest jednolita i zdominowana przez lessy, a zbadanie składu granulometrycznego i innych cech charakteryzujących te gleby w ujęciu typowego wycinka terenu stanowiącego element falistego ukształtowania za najwłaściwsze. Badaniom poddano warstwy do głębokości 75 cm, czyli praktycznie te, które są bezpośrednio narażone na działanie czynnika meteorologicznego i antropogenicznego. Wyniki analiz składu granulometrycznego przedstawiono w tabeli 7. Dowodzą one, że badane gleby wykazują zróżnicowanie właściwości uzależnione od lokalizacji odkrywki w ukształtowaniu rzeźby stoku. W ich składzie nie stwierdzono frakcji szkieletowych, a frakcje piaskowe stanowią niewielki odsetek badanych próbek. Dominującą jest frakcja pyłowa (0,1–0,02 mm Ø), stanowiąc we wszystkich próbkach ponad 50% objętości. Części splewialne (poniżej 0,02 mm Ø) mają równie wysoki udział, a największy z nich przypada na il pyłowy gruby. Badane utwory wykazywały również zróżnicowane zawartości ilu koloidalnego. Generalnie najniższe zawartości wykazują próbki pobrane w wierzchnich warstwach, a ich zawartość zwiększa się stopniowo wraz z głębokością poboru. W odkrywce zlokalizowanej u podnóża stoku zawartości te były niskie na wszystkich poziomach.

Określone wskaźniki podatności gleb na zmywanie (*r*) dowodzą, że stok jest aktywny erozyjnie. Zarówno jego wierzchowina, jak i zbocze poddawane są silnym procesom, a u jego podnóża zarysowuje się wyraźna strefa akumulacji zmywanego materiału glebowego. Najłatwiej wymywana jest frakcja pyłu drobnego, gdyż to ona właśnie stanowi największy odsetek zawartości na wszystkich głębokościach odkrywki numer 3. Silnym przekształceniom ulegają zwłaszcza wierzchnie warstwy w ujęciu prawie całego przekroju stoku. To właśnie w nich wartości wskaźnika podatności na zmywanie są najwyższe i maleją wraz z głębokością (oprócz odkrywki nr 3).

Skład granulometryczny próbek glebowych pobranych w charakterystycznych miejscach stoku w zlewni Mielnicy

Grain size distribution of soil samples from characteristic slope sections in Mielnica stream

Numer odkrywki Profile number	Głębokość Depth (cm)	Procentowa zawartość frakcji Percent of fraction						Wskaźnik podatności na zmywanie (r) Shear stress coefficient (r)
		1–0,1 mm Ø	0,1–0,05 mm Ø	0,05– 0,02 mm Ø	0,02– 0,006 mm Ø	0,006– 0,002 mm Ø	<0,002 mm Ø	
1	25	7,0	9,1	46,3	20,5	8,6	8,5	6,52
	50	3,2	4,4	43,4	23,1	6,4	19,5	2,45
	75	1,8	4,8	41,6	21,7	6,6	23,5	1,97
2	25	5,4	7,8	45,6	22,2	11,4	7,6	7,03
	50	2,0	8,0	42,3	22,0	5,6	20,1	2,50
	75	1,8	8,3	43,0	21,6	6,3	19,0	2,70
3	25	6,1	13,0	45,4	22,3	9,5	3,7	15,78
	50	3,1	9,2	50,7	22,6	10,2	4,2	14,26
	75	3,3	8,6	51,3	23,4	11,0	2,4	24,96

Ważną cechą utworów lessowych są ich właściwości fizyczne warunkujące dobre zaopatrzenie roślin w wodę i powietrze. Cechy te przedstawiono w tabeli 8. Gęstość właściwa tych gleb generalnie jest zbliżona do wartości $2,6 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ i oscyluje wokół niej będąc wyraźnie niższą w wierzchnich warstwach wszystkich odkrywek glebowych. Podobnie prezentuje się gęstość objętościowa, która wzrasta wraz z głębokością i wyraźnie się zwiększa na głębokości ok. 50 cm. Analogicznie przedstawia się porowatość ogólna, która dla warstw wierzchnich jest najwyższa i zróżnicowana zarówno dla charakterystycznych elementów stoku, jak i głębokości jej określania. Powyższe cechy znajdują swoje odzwierciedlenie w stosunkach powietrzno-wodnych tych gleb. Generalnie lessy zlewni Mielnicy charakteryzują się wysoką pojemnością wodną kapilarną i połową. Wartość połowej pojemności wodnej, przy sile ssącej gleby odpowiadającej wodzie łatwo dostępnej dla roślin ($pF=2,2$) oraz pojemności kapilarnej, najwyższa była w warstwach wierzchnich i takie też wartości przybierała porowatość powietrzna.

Określone wartości cech fizycznych wskazują na wyższy stopień zagęszczenia warstwy podornej i tworzenie się tzw. podeszwy płużnej. Te niekorzystne cechy zagęszczenia fazy stałej, poniżej zasięgu organów roboczych maszyn wykonujących zabiegi agrotechniczne, bez wątpienia wpływają na warunki infiltracji wód, szczególnie w przypadku wystąpienia intensywnych opadów atmosferycznych. Przepuszczalność tych gleb wykazywała bardzo duże zróżnicowanie na stoku. Najwyższą stwierdzono w wierzchniej warstwie partii przywierzchowej (odkrywka 1), która na głębokości 25 cm wynosiła $2,53 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$, by na głębokości 50 cm gwałtownie zmniejszyć się do $7,43 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$. Na analogicznych głębokościach na zboczu (odkrywka 2) przepuszczalności były już niższe i wynosiły odpowiednio $1,68 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ i $6,37 \cdot 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$. Najniższe przepuszczalności

stwierdzono w odkrywce u podnóża stoku (odkrywka 3), gdzie praktycznie na obu głębokościach były zbliżone do siebie i wynosiły na 25 cm – $3,23 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a na głębokości 50 cm $2,80 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Porównując uzyskane wyniki z badaniami przeprowadzonymi w tej zlewni przez Licznara [2003] można stwierdzić, że są one zbliżone do siebie.

Tabela 8
Table 8

Właściwości fizyczne gleb na stoku w zlewni Mielnicy
Physical slope soil properties in Mielnica catchment

Numer odkrywki Profile number	Głębokość Depth (cm)	Gęstość właściwa Specific density	Gęstość objętościowa Bulk density	Porowatość ogólna Total porosity	KPW CWC	PPW FWC pF=2,2	Porowatość powietrzna Air porosity	
							KPW CWC	PPW FWC pF=2,2
							% objętościowo – volume %	
		Mg·m ⁻³		% objętościowo – volume %				
1	25	2,61	1,38	47,1	42,7	37,1	4,4	10,0
	50	2,66	1,54	42,1	39,2	33,7	2,9	8,4
	75	2,64	1,61	39,0	36,5	31,1	2,5	7,9
2	25	2,58	1,41	45,3	41,4	33,1	3,9	12,2
	50	2,67	1,59	40,4	38,7	35,5	1,7	4,9
	75	2,65	1,64	38,1	36,6	31,2	1,5	6,9
3	25	2,59	1,40	45,9	42,6	35,4	3,3	10,5
	50	2,62	1,52	42,0	39,0	34,5	3,0	7,5
	75	2,61	1,65	36,8	34,5	31,7	2,3	5,1

Z rolniczym użytkowaniem bezpośrednio wiąże się przygotowanie warunków do rozwoju uprawianych roślin i związane z nim pokrycie powierzchni pola wynikające z ich faz rozwojowych. W okresie rozruchu badań na stoku (wiosna 2002 r.), na polu tym uprawiany był jęczmień jary. Po jego zbiorze zostało ono przygotowane pod uprawę buraków cukrowych. Na pole rozrzucono obornik w dawce $14 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i zaorano. Na początku drugiej dekady marca 2003 r. (35 dni przed siewem) oprócz zabiegów przygotowujących do siewu wprowadzona została pierwsza dawka nawozów mineralnych w ilości na 1 ha: 30 kg N, 35 kg P₂O₅ i 90 kg K₂O. Siew buraków nastąpił pod koniec pierwszej dekady kwietnia. Po osiągnięciu przez buraki fazy rozwojowej 1–2 par liści wprowadzona została druga dawka nawozów mineralnych w ilości na 1 ha: 35 kg N, 35 kg P₂O₅ i 90 kg K₂O. Zbiór buraków nastąpił na początku października, a osiągnięty plon wyniósł $450 \text{ q} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Okres prac jesiennych zakończył się pod koniec października 2003 r., kiedy to po przygotowaniu gleby przeprowadzono siew pszenicy ozimej odmiany Turnia. Wraz z wykonaniem orki siewnej na pole wprowadzono nawożenie mineralne w ilości na 1 ha: 40 kg N, 60 kg P₂O₅ i 120 kg K₂O. Sprzyjające rozwojowi roślin warunki pogodowe spowodowały, że wkrótce zaobserwowano wschód roślin, a niedługo potem początki jej krzewienia. Pod koniec pierwszej dekady marca wprowadzono drugą dawkę nawożenia azotowego w ilości $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i przeprowadzono bronowanie pola. Intensywne krzewie-

nie się pszenicy odbyło się wiosną 2004 roku. Trzecia dawka azotowa została wprowadzona w początkowej fazie kłoszenia w ilości 30 kg·ha⁻¹. Zbiór pszenicy nastąpił 6 sierpnia 2004 roku w wysokości plonu 70 q·ha⁻¹. Na początku października wykonano orkę przygotowującą pole pod uprawę ziemniaków.

Tabela 9

Table 9

Przeciętny skład chemiczny gleb na gruntach ornych zlokalizowanych w charakterystycznych miejscach rzeźby stoku zlewni Mielnicy
Average chemical composition of arable land located in characteristic sections of slope in Mielnica catchment

Numer odkrywki Profile number	Głębokość Depth (cm)	pH-H ₂ O	N-N _{og}	N-NH ₃	N-NO _x	P	K
			mg·kg ⁻¹				
Okres – Period V 2002 – X 2002							
1	0–25	6,2	900	30	3	600	3200
	25–50	7,1	710	36	4	420	3100
2	0–25	6,7	700	20	13	500	3100
	25–50	7,1	620	22	12	350	3100
3	0–25	6,8	1000	50	4	600	3600
	25–50	7,0	840	51	5	440	3500
Okres – Period XI 2002 – IV 2003							
1	0–25	6,5	900	19	13	520	40300
	25–50	7,0	730	15	15	370	3600
2	0–25	6,6	730	21	10	440	3000
	25–50	7,1	610	22	12	310	2800
3	0–25	6,5	580	20	9	350	3100
	25–50	7,1	560	24	11	240	3100
Okres – Period V 2003 – X 2003							
1	0–25	6,3	850	43	14	580	3600
	25–50	7,0	630	46	15	400	3400
2	0–25	6,8	760	23	15	520	3300
	25–50	7,2	580	25	16	360	3200
3	0–25	6,9	730	37	19	570	3700
	25–50	7,4	650	41	18	410	3600
Okres – Period XI 2003 – IV 2004							
1	0–25	6,4	930	24	12	500	3300
	25–50	7,0	710	28	14	340	3300
2	0–25	6,9	780	17	10	460	3200
	25–50	7,1	620	21	13	320	3100
3	0–25	6,8	840	19	10	370	3500
	25–50	7,1	710	23	12	250	3500
Okres – Period V 2004 – X 2004							
1	0–25	6,6	1020	31	13	510	3200
	25–50	7,1	710	36	14	340	3100
2	0–25	6,7	860	22	15	470	3100
	25–50	7,1	600	29	17	330	3100
3	0–25	6,8	770	23	21	380	3700
	25–50	7,2	650	28	25	260	3600

Zawartość składników chemicznych oraz odczyn gleb przedstawiono w tabeli 9. Analizami objęto warstwę do głębokości 50 cm. Wierzchnie warstwy (0–25 cm) profilów gleb zalegających na wierzchoinach wykazują odczyn lekko kwaśny (pH około 6,2), natomiast głębsze charakteryzuje odczyn obojętny – pH ok. 7,1. Gleby położone na zboczu w obydwu warstwach wykazują odczyn obojętny i taki sam odczyn stwierdzono w warstwach odkrywki zlokalizowanej u podnóża stoku, jednakże sporadycznie przybierał on wartości klasyfikujące go do zasadowego. W okresie badawczym odczyn tych gleb ulegał tylko niewielkim wahaniom i można przyjąć, że był stabilny na przestrzeni wszystkich sezonów.

Jak przedstawiała się zawartość w glebach objętych badaniami składników chemicznych?

Azot ogólny wykazywał zróżnicowaną zawartość zarówno sezonową, jak i głębokości pobrania próbki oraz lokalizacji w rzeźbie stoku. Przeciętna jego zawartość w warstwie 0–50 cm na całym zboczu wyniosła $742 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wyższe zawartości stwierdzano w wierzchnich warstwach profilów (0–25 cm): w górnej części zbocza $920 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, na zboczu $766 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i u podnóża stoku $784 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Poniżej warstwy ornej (25–50 cm) zawartość ta wyraźnie malała i przeciętnie wynosiła w partii przywierzchowinowej – $698 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; na zboczu – $606 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, u podnóża stoku – $682 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Odpowiednio w trakcie sezonu, wyższe zawartości N- N_{og} stwierdzano w półroczach letnich (V–X) w warstwie ornej: górnej części zbocza – $923 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; na zboczu – $773 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i u podnóża stoku – $833 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W warstwie podornej zawartość ta malała, jednakże rozkład w rzeźbie stoku był inny. Najwyższe zawartości stwierdzono u podnóża stoku – $713 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; nieco niższe w partii przywierzchowinowej – $683 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a najniższe na zboczu – $600 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W półroczach zimowych (XI–IV) zawartość N- N_{og} generalnie malała w warstwie ornej i wynosiła: w górnej części zbocza – $915 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, na zboczu – $755 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a u podnóża stoku – $710 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Również warstwy głębsze wykazywały mniejsze zawartości: w partii przywierzchowinowej – $720 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; na zboczu – $615 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i u podnóża – $635 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zawartości te jednakże przeciętnie były wyższe niż w analogicznej warstwie w półroczu letnim.

Azot amonowy przeciętnie stanowił 3,86% zawartości azotu ogólnego w glebach. Proporcje te były wyższe w półroczach letnich niż zimowych. W okresach ciepłych (V–X) zawartości tego składnika przeciętnie stanowiły 4,43% ilości N- N_{og} , natomiast w okresach zimnych (XI–IV) spadały przeciętnie do ok. 3%. Zróżnicowanie wystąpiło również wraz z głębokością pobrania próbki. Warstwy głębsze (25–50 cm) wykazywały wyższe zawartości w stosunku do warstwy ornej i to we wszystkich profilach w rzeźbie stoku. Najwyższe zawartości N- NH_3 stwierdzano u podnóża stoku (4,84% N- N_{og}), nieco niższe w górnej części zbocza (4,69% N- N_{og}), a najniższe na zboczu (3,94% N- N_{og}). Podobne koncentracje wystąpiły w warstwie ornej, jednakże proporcje form azotowych były inne. U podnóża wynosiły przeciętnie 3,75%, w partii przywierzchowinowej 3,22%, a na zboczu 2,70%. Zawartości N- NH_3 w glebach wyraźnie zwiększały się w okresach letnich, wykazując również większe zawartości w warstwie podornej. W okresach tych najwyższe zawartości wykazywały górne partie zbocza (5,81%), nieco niższe podnóża stoku (5,56%), a najniższe – zbocza (4,23%). Natomiast w warstwie ornej najwyższe zawartości stwierdzono u podnóża stoku (4,35%), niższe, bo 3,81% w partii przywierzchowinowej, a najniższe na zboczu – 2,81%. W półroczach zimowych najniższe zawar-

tości N-NH₃ stwierdzano w obydwu warstwach odkrywki w górnej części zbocza – w warstwie 0–25 cm – 2,35%; w warstwie 25–50 cm – 3%. Nieco wyższe były na zboczu – 0–25 cm – 2,53%; 25–50 cm – 3,50%. Natomiast najwyższe stwierdzono u podnóża stoku – 0–25 cm – 2,86%; 25–50 cm – 3,76%.

Podobne zależności jak dla azotu amonowego stwierdzono także dla tlenków azotu. Przeciętna zawartość w stosunku do azotu ogólnego wyniosła 1,8%, wykazując zwiększenie się ilości N-NO_x w półroczach letnich (śr. 1,9%) i obniżanie się zawartości w półroczach zimowych (śr. 1,66%). Składnik ten zachowywał się w ujęciu rzeźby stoku podobnie do azotu amonowego - wzrost zawartości wraz z głębokością. W okresie badawczym najwyższe jego zawartości stwierdzano w warstwie podornej na zboczu (2,32%), nieco niższe u podnóża (2,17%), a najniższe w górnej części zbocza (1,79%). W warstwie ornej najwyższe zawartości wykazywało podnóże stoku (1,69%), niewiele niższe na zboczu (1,65%), a najniższe partia przywierzchwinowa (1,20%). W ujęciu sezonowym w półroczach letnich najwyższymi zawartościami charakteryzowała się warstwa podorna na zboczu (2,51%), nieco niższą podnóża stoku (2,40%), a najniższą górna część zbocza (1,64%). W warstwie ornej wielkości te układały się następująco: w partii przywierzchwinowej – 1,08%, na zboczu – 1,86% i u podnóża – 1,91%. W półroczach zimowych (XI–IV) najwyższe zawartości tlenków zawierała warstwa podorna zbocza (2,03%), niewiele niższą górna część zbocza (2,01%) a najniższą podnóża (1,83%). W warstwie ornej partii przywierzchwinowej i podnóża stoku stwierdzano zawartość 1,37%, a na zboczu niewiele mniej, bo 1,33%.

W przypadku potasu stwierdzone zawartości pozwalają stwierdzić, że składnik ten jest dość dobrze rozproszony w profilu glebowym, a przeciętna jego zawartość na stoku wynosi 3300 mg·kg⁻¹. Niewielkie różnice zarysowują się natomiast w ujęciu jego rzeźby i analizowanych okresów. W półroczach letnich najwyższe zawartości tego składnika stwierdzano u podnóża stoku (3620 mg·kg⁻¹), nieco niższe w górnej części zbocza – 3270 mg·kg⁻¹, a najniższe na zboczu – 3150 mg·kg⁻¹. Natomiast w półroczach zimowych gleby partii przywierzchwinowej zawierały 3400 mg·kg⁻¹, na zboczu – 3030 mg·kg⁻¹, a u podnóża stoku – 3300 mg·kg⁻¹ potasu. W okresie od XI 2002 do IV 2003 w pobranych próbkach gleby stwierdzono bardzo wysokie zawartości tego składnika, bo przeciętnie aż 40300 mg·kg⁻¹. Spowodowane to było wprowadzeniem na obszar pola dawki obornika, jako przygotowanie pola pod zasiew buraków cukrowych oraz wprowadzeniem w okresie przedwiosennym nawożenia mineralnego.

Zawartość fosforu w glebach na stoku wyniosła średnio 417 mg·kg⁻¹. Składnik ten wykazywał większe zawartości w półroczach letnich, które średnio wynosiły w górnej części zbocza 475 mg·kg⁻¹, na zboczu – 422 mg·kg⁻¹ i u jego podnóża – 443 mg·kg⁻¹. Zawartość jego malała w półroczach zimowych przyjmując średnio wartości: w partii przywierzchwinowej – 433 mg·kg⁻¹, na zboczu – 383 mg·kg⁻¹ i u podnóża stoku – 303 mg·kg⁻¹. Zmniejszenie zawartości obserwowano także wraz z głębokością poboru. I tak w warstwie ornej w półroczu letnim zawartość tego składnika wynosiła średnio 526 mg·kg⁻¹, a w warstwie podornej 368 mg·kg⁻¹. Natomiast w półroczu zimowym zawartość ta malała i wynosiła średnio: w warstwie ornej 440 mg·kg⁻¹, a w podornej – 305 mg·kg⁻¹. Przeciętnie warstwa podorna zawierała ok. 69% ilości zawartych w przykrywającej ją warstwie ornej.

4. System transportu fluwialnego Mielnicy

Rozpoznanie elementów systemowych zlewni, takich jak: stok, dolina ciekłu czy też samo koryto Mielnicy, pozwalają wyodrębnić zgodnie z założeniami uniwersalnego modelu systemu fluwialnego Stanley'a A. Schumm'a [1977] funkcjonowanie dwóch zasadniczych podsystemów – koryta ciekłu i stokowego. Podsystemy te, ze względu na sposób funkcjonowania oraz indywidualne cechy należy rozpatrywać jako kolejne dwa otwarte systemy.

W przypadku koryta ciekłu wyraźnie zaznacza się strefowość i odcinkowa zmienność jego cech wraz z biegiem potoku. Cechy te determinowane są charakterem doliny, którą płynie Mielnica. Można w niej wydzielić trzy podstawowe strefy: górnego, środkowego oraz dolnego odcinka biegu i posiadają one różne warunki odpływu wody, dostawy materii, a także jej przemieszczania w skoncentrowany sposób. Górny odcinek Mielnicy ma charakter ciekłu okresowego, a wody powierzchniowe prowadzone są rowem między drogą a polami uprawnymi i niewielkimi pozostałościami łąk. Najniższa część tego odcinka biegnie pomiędzy skrajem dawnego parku podworskiego a zabudowaniami wsi Piersno. Ma on przeciętnie głębokość ok. 1,2 m, szerokość w dnie 0,6 m, skarpy są strome i mocno porośnięte roślinnością. Dolinę górnej części ciekłu zajmują głównie grunty orne. Niepoprawna agrotechnika powoduje wzmaganie się tam procesów erozji (fot. 6) i zamulanie odbiornika. Istotnego znaczenia nabierają tutaj również lokalne drogi nieutwardzone oraz asfaltowe, które po opadach deszczu pełnią funkcję dróg transportu materii do ciekłu (fot. 4). W strefie środkowej biegu Mielnicy występuje głęboka dolina, pokryta wielogatunkowym lasem liściastym. Potok ma tutaj charakter naturalny, przebiega głębokim wąwozem z poszerzającą się stopniowo terasą zalewową. Koryto ciekłu w obrębie wąwozu jest mocno narażone na osuwanie i podmywanie. Strefa ta, ze względu na procesy korytotwórcze oraz naturalne warunki fizjograficzne jest zarazem bardzo atrakcyjna krajobrazowo i przyrodniczo. W dużych łanach występuje tu objęta ścisłą ochroną gatunkową śnieżycą wiosenna, nadająca kompleksowi leśnemu niepowtarzalny aspekt wiosenny. Z drugiej strony, dolina jest jednocześnie najbardziej zdegradowana antropogenicznie. Degradacja następuje głównie na drodze nielegalnej wywózki i depozycji odpadów bytowych miejscowej ludności (fot. 7). Strefa dolna biegu Mielnicy to tereny z rozproszoną zabudową wiejską, lecz dość intensywnie zagospodarowane rolniczo. Występują tu niewielkie zabagnienia terenu zajęte często przez mokre łąki. Jakość wód płynących w dużej mierze uzależniona jest od ilości zanieczyszczeń bytowo-socjalnych odprowadzanych bezpośrednio do koryta oraz przesiąków z przyzmy obornikowych i silosów na kiszonkę. Na warunki odpływu wody i przepływu materii w tej strefie wpływają dwa małe przepływowe stawy, na których prowadzona jest gospodarka rybacka.



Fot. 6. Strefa akumulacji zmywanego materiału glebowego u podnóża zbocza z uprawą buraków cukrowych – zlewnia Mielnicy [Szewrański i in. 2006]
Photo 6. Foothill accumulation zone of soil eroded from slope with sugar beet crop – Mielnica catchment [Szewrański i in. 2006]



Fot. 7. Zanieczyszczony odpadami środkowy odcinek biegu Mielnicy [Szewrański i in. 2006]
Photo 7. Middle Mielnica stream contaminated by wastes [Szewrański i in. 2006]

Przeprowadzone rozpoznanie środowiska stokowego pozwala stwierdzić, że jako samodzielny otwarty system charakteryzują go takie cechy, jak:

- jednakowy sposób użytkowania – zasadniczym sposobem użytkowania są grunty orne (tab. 4), obejmujące swoim zasięgiem charakterystyczne elementy rzeźby stoku;

- typ i gatunek zalegających gleb – pod względem typów w zlewni dominują gleby brunatne (tab. 1), natomiast gatunkiem dominującym są gleby wytworzone z lessów (tab. 2);
- kierunek prowadzenia zabiegów agrotechnicznych i upraw – w zlewni, jak i na pozostałym obszarze Wzgórz Trzebnickich powszechną praktyką jest kierunek wzdłużstokowy (fot. 3) wynikający z prostokątnego kształtu pól o dłuższym boku skierowanym wzdłuż linii największych spadków;
- rodzaj uprawianej przez rolników roślinności, dostosowany do prowadzonej gospodarki rolniczej – w tym przypadku zasiewy jednego rodzaju roślin obejmują zarówno wierzchowiny, zbocza jak i podnóża stoków;
- ilość wprowadzanych przez rolników na pole nawozów – rodzaj nawozu i jego dawki generalnie są dostosowane do uprawianych roślin, jednakże wprowadzane równomiernie na wszystkie elementy stoku;
- jednorodne warunki meteorologiczne, jak np. ilość i tempo dostawy wód opadowych na powierzchnię stoku – założenie przyjęte ze względu na brak wykonanych badań ujmujących te elementy w rzeźbie stoku i prowadzenie ich wyłącznie na posterunku meteorologicznym;
- ilość deponowanych w zlewni składników chemicznych wnoszonych wraz z opadami atmosferycznymi – przyjęto założenie równej emisji ze względu na brak przeprowadzonego rozpoznania zmienności przestrzennej na rozpatrywanym obszarze.

W systemie tym występują jednakże cechy, które różnicują poszczególne jego strefy i nie pozostają bez znaczenia dla tempa przemieszczania się materii w jego obrębie. Charakterystyka przedstawiona w rozdziale 3.3, wskazuje na wyraźne zróżnicowanie takich cech, jak:

- skład granulometryczny – przy jednogatunkowości pokrycia glebowego zróżnicowany w rzeźbie stoku oraz zróżnicowane, a wynikające ze składu wskaźniki podatności gleb na zmywanie (tab. 7);
- właściwości fizyko-wodne – zróżnicowanie, w ujęciu konfiguracji terenu i głębokości zalegania w warstwach powierzchniowych, gęstości właściwej i objętościowej, porowatości, pojemności wodnej (tab. 8) czy warunków infiltracji;
- odczyn gleb i zawartość składników chemicznych – zróżnicowane w rzeźbie stoku, głębokości pobrania próbki oraz sezonowo (tab. 9);
- uwarunkowania fizjograficzne – zróżnicowanie wzniesienia czy lokalnych spadków (tab. 6, rys. 5);
- widocznych objawów powierzchniowych procesów erozji wodnej gleb – spotykanych na innych erodowanych obszarach, a charakterystycznych dla poszczególnych fragmentów stoku.

Cechy te powodują, że w podsystemie stokowym potraktowanym jako kolejny funkcjonujący system otwarty, można wyróżnić takie subsystemy jak: wierzchowin stoków, zboczowy oraz podnóży stoków. W tym ostatnim subsystemie (jego najniższej części) obserwuje się występowanie cieków okresowych, których całkowita długość wynosi 23,18 km, co łącznie z ciekami stałymi daje wskaźnik gęstości sieci hydrograficznej od 0,98 do 1,17 km·km⁻² [Licznar 2003].

5. Tło hydrometeorologiczne procesów erozji wodnej gleb w zlewni Mielnicy

Elementy klimatu, takie jak opad i temperatura powietrza mają jeden z najistotniejszych wpływów na możliwości występowania zjawisk erozji wodnej gleb i ich przebieg. Szczególnie wysokość opadu, jego rozkład w czasie i związane z nim natężenie, decydują o możliwości powstawania spływów powierzchniowych i śródpokrywowych oraz tempie ich przebiegu. Przyczyniają się one do uruchamiania materii na obszarze i powodowania jej ruchu. Nieco mniejsze, choć równie istotne znaczenie dla zjawisk erozyjnych ma temperatura powietrza. Jej pośrednie działanie odzwierciedla się m.in. poprzez oddziaływanie na kształtowanie się wielkości parowania, zmiany retencji gruntowej, a tym samym na wielkość spływów powierzchniowych. Bezpośrednio decyduje natomiast o terminie wystąpienia roztopów, ich przebiegu oraz zamarzaniu i tempie rozmarzania gleby.

Warunki termiczne, panujące w zlewni przedstawiono w tabeli 10. Stosując powszechnie przyjętą w klimatologii zasadę klasyfikacji okresów na podstawie odchyień od średniej wieloletniej (dla zlewni Mielnicy przyjęto wielolecie 1955–1994 – 40 lat) można stwierdzić, że występowały bardzo zróżnicowane warunki pod względem termicznym zarówno w ujęciu lat hydrologicznych, jak i ich półroczy. Normalne lata hydrologiczne to rok: 1984, 1993, 1997, 1999 i 2003. Natomiast lata: 1985, 1986, 1987 i 1996 to okresy chłodne. Wielolecie 1983–2004 praktycznie zostało zdominowane przez lata ciepłe, do których zaliczono: rok 1983, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1998, 2000, 2001, 2002 i 2004 (13 lat). Nieco inaczej przedstawiają się charakterystyki poszczególnych półroczy. Półrocza zimowe (XI-IV) lat: 1984, 1991, 1997 i 1999 to okresy normalne; lat: 1986, 1987, 2003 i 2004 to okresy chłodne; lat: 1983, 1988, 1989, 1992, 1993, 1994, 1995, 1998, 2000, 2001, 2002 to okresy ciepłe. Natomiast półrocze zimowe roku 1985 i 1996 to okresy bardzo chłodne, a roku 1990 to okres bardzo ciepły. Półrocza letnie (V-X) sklasyfikowano następująco: okresy normalne to półrocza lat: 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1993, 1997, 1998, 1999, 2001 i 2004; lat: 1983, 1992, 1994, 1995, 2000, 2002 i 2003 to okresy ciepłe; a lat: 1984, 1987, 1991 i 1996 jako chłodne.

Zasilanie zlewni Mielnicy opadami atmosferycznymi przedstawiono w tabeli 11. Podobnie jak w przypadku warunków termicznych okres badawczy scharakteryzowano pod względem opadowym. Podstawę klasyfikacji stanowiło prawdopodobieństwo wystąpienia sum opadów atmosferycznych określone na podstawie ich obserwacji prowadzonych na posterunku IMGW w Trzebnicy w latach 1948–1994 (47 lat).

Średnie miesięczne i okresowe temperatury powietrza (°C) w latach hydrologicznych 1983–2004 na tle temperatur

z wielolecia 1955–1994 na posterunku IMGW w Chwałkowicach

The mean monthly and periodical air temperature (°C) in hydrological years 1983–2004 on the background of 1955–1994 multiyear data from meteorological point IMGW Chwałkowie

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X		
1983	5,7	1,3	3,4	-2,3	4,3	9,8	14,0	17,1	21,0	18,8	14,3	9,5	3,7	15,8	9,8		
1984	3,6	-0,1	0,6	-1,1	1,5	7,4	12,2	14,4	15,4	17,3	12,4	10,8	2,0	13,7	7,9		
1985	3,4	-0,6	-7,4	-5,9	2,9	8,1	14,6	13,9	17,7	17,2	12,9	8,5	0,1	14,1	7,2		
1986	0,6	3,0	-0,9	-8,6	2,4	7,8	14,9	16,0	17,5	16,8	11,3	9,5	0,7	14,3	7,6		
1987	5,8	1,0	-9,5	-0,9	-1,4	8,4	11,0	15,1	17,6	15,4	14,2	9,1	0,6	13,7	7,2		
1988	4,7	1,3	2,5	2,2	1,6	8,1	14,7	16,0	18,7	17,5	13,7	8,6	3,4	14,9	9,1		
1989	1,1	2,1	2,0	3,7	6,2	8,5	13,8	15,3	18,1	17,4	15,1	10,8	3,9	15,1	9,6		
1990	2,3	1,9	2,8	5,6	7,4	8,1	14,7	16,0	17,1	18,4	11,4	10,0	4,7	14,6	9,7		
1991	4,6	0,0	1,2	-3,5	5,8	7,8	9,3	14,3	19,2	18,0	15,0	8,1	2,6	14,0	9,4		
1992	3,7	-0,4	0,1	2,6	4,1	8,4	14,0	18,7	20,2	21,5	14,2	6,6	3,1	15,9	9,5		
1993	4,5	-0,8	1,1	-0,8	2,4	9,8	15,9	15,6	16,6	16,7	12,7	8,4	2,7	14,3	8,6		
1994	-0,7	2,3	2,9	-1,9	5,2	9,1	12,8	16,5	22,3	18,5	14,3	7,1	2,8	15,2	9,1		
1995	5,0	2,3	-0,6	4,2	3,2	8,3	12,9	15,7	21,2	19,0	13,1	11,7	3,7	15,6	9,7		
1996	1,1	-4,7	-5,6	-4,8	-1,0	8,0	12,7	16,6	16,1	17,7	10,1	9,7	-1,0	13,8	6,4		
1997	5,5	-4,6	-3,8	2,7	4,0	5,6	13,4	16,8	18,0	19,5	13,7	6,9	1,5	14,7	8,2		
1998	2,9	1,2	1,6	4,3	3,0	10,2	14,8	17,2	17,7	17,0	13,4	8,0	3,8	14,7	9,3		
1999	0,0	-0,4	1,5	-0,7	4,8	9,5	13,8	15,1	19,2	17,1	16,4	8,5	2,4	15,0	8,7		
2000	2,5	1,0	-1,0	3,0	4,2	11,7	15,2	17,5	15,9	18,5	12,6	12,2	3,5	15,3	9,4		
2001	6,7	2,3	0,4	1,0	2,6	7,7	14,3	14,5	18,7	18,4	11,4	11,7	3,4	14,9	9,2		
2002	2,4	-2,3	0,4	4,0	4,7	8,3	16,7	17,4	19,9	20,5	13,3	7,7	2,8	16,0	9,5		
2003	4,7	-3,4	-1,9	-3,2	3,4	8,0	15,5	19,0	19,0	19,7	14,4	5,5	1,3	15,5	8,4		
2004	5,7	1,6	-3,1	1,4	4,2	9,3	12,3	16,0	18,0	19,4	14,1	10,3	3,2	15,0	9,1		
1955–1994	3,8	0,2	-1,3	-0,8	3,2	7,6	13,0	16,3	18,0	17,3	13,7	9,0	2,1	14,6	8,3		

Tabela 11
Table 11

Miesięczne i okresowe sumy opadów atmosferycznych (mm) w zlewni Mielnicy w latach hydrologicznych 1983–2004
The monthly and periodical precipitation (mm) in Milenica catchment in hydrological years 1983–2004

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X		
1983	34,1	41,7	58,5	61,8	28,2	34,0	105,9	44,1	40,2	51,7	39,9	35,8	258,3	317,6	575,9		
1984	40,9	27,8	23,2	15,9	20,9	33,0	113,5	113,7	70,0	48,7	97,3	34,2	161,7	477,4	639,1		
1985	30,3	20,3	34,4	38,5	43,6	53,3	30,9	123,5	46,3	172,5	23,8	21,2	220,4	418,2	638,6		
1986	39,3	69,7	62,6	18,0	32,2	36,8	96,6	70,4	108,0	99,3	54,9	39,5	258,6	468,7	727,3		
1987	33,2	94,9	54,8	46,2	23,1	47,1	69,4	90,7	86,8	86,1	65,8	45,1	299,3	443,9	743,2		
1988	85,2	39,1	38,9	62,6	80,8	19,5	9,4	79,1	104,7	102,0	81,9	18,1	326,1	395,2	721,3		
1989	47,1	73,7	11,9	20,7	16,1	78,6	40,0	81,6	49,3	48,3	26,2	42,3	248,1	287,7	535,8		
1990	65,3	32,6	19,4	34,9	23,5	42,4	10,0	112,4	16,1	72,3	71,5	36,4	218,1	318,7	536,8		
1991	73,3	48,2	12,9	19,1	28,0	40,6	55,0	94,1	65,8	36,1	37,6	19,1	222,1	307,7	529,8		
1992	62,7	64,2	37,0	49,2	108,7	28,4	33,5	67,4	75,2	52,3	23,4	44,0	350,2	295,8	646,0		
1993	38,7	47,9	30,3	48,3	50,5	18,2	74,8	99,6	144,4	32,8	66,5	52,3	233,9	471,4	705,3		
1994	35,9	102,6	43,8	21,7	79,0	70,4	72,3	32,5	47,7	93,4	27,5	26,0	353,4	299,4	652,8		
1995	28,0	54,8	63,4	51,3	37,6	38,4	63,0	137,4	40,4	89,9	90,2	11,1	273,5	432,0	705,5		
1996	46,1	36,7	10,5	34,0	30,0	37,4	92,4	71,0	151,9	77,6	80,0	47,7	194,7	520,6	715,3		
1997	9,3	13,5	8,3	31,3	20,3	36,9	63,2	37,2	223,1	76,6	23,0	53,2	119,6	476,3	595,9		
1998	30,7	37,0	56,3	29,7	47,3	63,5	27,2	98,2	89,7	77,0	103,4	99,1	264,5	494,6	759,1		
1999	38,4	26,2	25,1	61,7	76,6	39,9	40,7	74,0	59,4	11,7	29,7	30,2	267,9	245,7	513,6		
2000	38,7	41,9	52,7	43,4	125,1	13,3	82,4	31,4	150,7	48,0	29,9	11,9	315,1	354,3	669,4		
2001	52,0	25,4	14,8	28,8	79,8	42,8	59,9	84,8	171,7	39,9	123,1	39,0	243,6	518,4	762,0		
2002	34,9	44,3	35,6	79,1	28,4	43,1	58,3	46,4	56,5	125,0	32,5	63,3	265,4	382,0	647,4		
2003	59,0	19,4	52,4	5,0	25,7	22,7	74,1	24,1	70,2	30,3	24,2	56,7	184,2	279,6	463,8		
2004	18,1	52,4	51,8	61,1	54,6	19,7	54,8	37,4	78,2	57,7	26,6	45,9	257,7	300,6	558,3		
Średnie Mean	43,2	46,3	37,1	42,5	52,5	35,8	61,6	64,2	109,2	63,4	56,3	43,9	238,6	400,4	639,0		

Posterunek IMGW w Trzebnicy oddalony jest o ok. 9 km od zlewni, posiada długi ciąg obserwacji opadowych. W analizowanym wieloleciu wystąpiły różne okresy pod względem opadowym. Zaobserwowane roczne sumy opadów atmosferycznych wyniosły od 463,8 do 762,0 mm, a osiągnięte prawdopodobieństwo wystąpienia pozwoliło zaliczyć je do lat:

- mokrych – rok 1986, 1987, 1988, 1998, 2001;
- średnio mokrych – rok 1993, 1994, 1995, 1996, 2000;
- normalnych – rok 1984, 1985, 1992, 2002;
- średnio suchych – rok 1983, 1997, 2004;
- suchych – rok 1989, 1990, 1991, 1999, 2003.

W latach tych półrocza zimowe (XI-IV) charakteryzowały się sumami opadów od 119,6 do 353,4 mm i zaliczone zostały do okresów:

- mokrych – roku: 1987, 1988, 1992, 1994, 2000;
- średnio mokrych – roku: 1983, 1986, 1995, 1998, 1999, 2002, 2004;
- normalnych – roku: 1989, 1993, 2001;
- średnio suchych – roku: 1985, 1990, 1991;
- suchych – roku: 1984, 1996, 1997, 2003,

natomiast półrocza letnie (V-X) sklasyfikowano do okresów:

- mokrych – roku: 1984, 1986, 1993, 1996, 1997, 1998, 2001;
- średnio mokrych – roku: 1985, 1987, 1988, 1995;
- normalnych – roku: 2000, 2002;
- średnio suchych – roku: 1983, 1990, 1991, 1994, 2004;
- suchych – roku: 1989, 1992, 1999, 2003,

a sumy opadów atmosferycznych przybierały w nich wartości od 245,7 do 520,6 mm. Średniorocznie dostarczane było na obszar zlewni Mielnicy 639,0 mm opadu, z czego ponad połowa (ok. 63%) to opady okresu letniego.

Maksymalne dobowe sumy opadów zestawiono w tabeli 12. Wynika z niej, że przybierały one wartości od 2,8 do 57,9 mm·d⁻¹ i przeciętnie były wyższe w półroczach letnich. Miesiącem charakteryzującym się występowaniem najwyższych opadów dobowych w półroczu zimowym był listopad, a w półroczu letnim lipiec.

Powszechnie wiadomo jest, że zjawiska erozyjne zależą od intensywności opadu. Za pojedyncze opady erozyjne, według kryterium USLE, poza ich wysokością równą 12,7 mm, przyjmowane są również te o mniejszych sumach, ale których intensywność maksymalna wynosi powyżej 6,35 mm/15 min. Kryterium to wydaje się być słusznym w ujęciu ogólnym, jednakże każda gleba posiada swój specyficzny charakter determinowany lokalnymi warunkami powstawania.

Rejestrację intensywności opadów prowadzono w zlewni Mielnicy od wiosny do jesieni roku 2003 i 2004. W tabeli 13 przedstawiono charakterystykę opadów uznanych za opady erozyjne. W tym przypadku uznano nie tylko te powodujące wystąpienie spływów powierzchniowych (wyróżnione w tabeli), ale także opady, po których w chwytnicach stwierdzono wystąpienie odpływu z obserwowanych warstw. Podejście takie wydaje się słuszne, gdyż erozja wodna to nie tylko zjawiska widoczne na powierzchni, ale także procesy zachodzące w głębszych warstwach, a w skrajnych przypadkach doprowadzające do powstawania sufozji mechanicznej. Analiza laboratoryjna pobranych próbek wody

Tabela 12
Table 12
Maksymalne dobowe sumy opadów atmosferycznych (mm) w zlewni Mielnicy zanotowane w latach hydrologicznych 1983–2004
The maximum daily precipitation (mm) in Milenica catchment noticed in hydrological years 1983–2004

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X			
1983	21,2	8,1	12,0	9,0	5,8	6,2	37,5	19,0	29,5	17,3	24,5	19,3	21,2	37,5			
1984	11,0	10,2	7,1	4,7	17,0	8,8	19,4	26,5	15,2	19,2	27,1	17,8	17,0	27,1			
1985	18,0	5,3	5,5	8,9	6,8	11,8	21,5	39,1	7,8	40,1	6,2	7,8	18,0	40,1			
1986	13,5	7,3	9,2	4,5	13,2	24,0	18,2	43,5	36,1	31,9	17,8	14,4	24,0	43,5			
1987	10,1	20,6	4,9	10,3	3,5	16,1	27,2	37,2	22,9	29,7	39,8	32,5	20,6	39,8			
1988	29,9	10,0	17,8	14,5	15,5	19,0	6,7	13,4	18,9	46,1	37,2	7,5	29,9	46,1			
1989	7,9	14,2	3,6	5,3	4,1	21,9	11,7	30,4	15,5	22,6	4,5	6,6	21,9	30,4			
1990	22,0	8,3	3,9	8,3	6,1	11,1	7,1	29,4	4,0	12,1	9,5	15,8	22,0	29,4			
1991	27,2	19,7	3,8	7,2	16,9	12,0	12,7	39,0	26,4	18,6	15,2	7,9	27,2	39,0			
1992	13,4	14,7	14,2	9,9	22,3	10,4	9,5	32,9	43,5	12,5	11,2	13,6	22,3	43,5			
1993	6,5	12,1	4,6	8,4	9,8	8,2	21,8	26,5	48,9	11,9	18,8	23,0	12,1	48,9			
1994	8,0	22,4	9,4	6,8	9,7	27,0	18,3	11,2	30,2	13,6	7,9	6,1	27,0	30,2			
1995	9,1	9,7	7,6	10,4	8,3	6,7	29,4	41,5	32,7	29,2	29,7	3,9	10,4	41,5			
1996	9,2	9,1	3,6	8,4	4,8	7,4	27,6	37,0	53,0	28,0	11,3	10,9	9,2	53,0			
1997	3,9	5,5	3,0	6,4	5,0	7,2	10,4	15,7	53,0	57,9	11,4	11,9	7,2	57,9			
1998	12,3	6,6	8,1	10,8	11,5	28,7	10,8	32,5	35,2	19,5	27,9	19,5	28,7	35,2			
1999	15,2	4,9	4,7	8,8	30,8	13,9	7,3	15,8	15,5	4,1	6,0	7,6	30,8	15,8			
2000	12,6	7,5	13,5	5,8	23,5	5,0	18,6	8,0	47,3	22,6	13,2	5,6	23,5	47,3			
2001	28,6	7,2	3,7	5,2	18,6	17,5	21,0	20,8	53,2	8,4	20,0	17,2	28,6	53,2			
2002	7,7	9,6	9,0	14,3	8,6	17,8	25,5	31,0	18,9	42,0	7,2	13,0	17,8	42,0			
2003	9,9	7,7	15,0	2,8	10,0	5,3	17,0	11,4	23,5	18,8	10,5	16,2	15,0	23,5			
2004	4,2	16,5	7,9	9,4	20,0	9,8	9,7	11,0	16,3	13,5	5,5	19,2	20,0	19,2			

Charakterystyki opadów erozyjnych występujących w roku 2003 i 2004 w zlewni Mielnicy
 Characteristics of erosive rainfalls in Mielnica catchment in years 2003–2004

Data Date	Opad Precipitation (mm)	Czas trwania Total time (min.)	Intensywność opadu Rainfall intensity (mm·h ⁻¹)		Data Date	Opad Precipitation (mm)	Czas trwania Total time (min.)	Intensywność opadu Rainfall intensity (mm·h ⁻¹)	
			średnia; mean	max				średnia mean	max
2003.04.18	5,3	179	1,8	7,0	2004.04.23	9,8	819	0,7	3,7
2003.04.26	2,3	64	2,2	10,7	2004.04.24	8,0	671	0,7	15,0
2003.05.02	3,0	89	2,0	9,1	2004.05.06	7,2	166	2,6	21,2
2003.05.10	17,0	445	2,3	249,7	2004.05.10	7,0	790	0,5	4,7
2003.05.11	11,5	1065	0,6	1,4	2004.05.15	9,7	817	0,7	3,7
2003.05.12	2,9	85	2,0	9,3	2004.05.21	9,3	814	0,7	3,7
2003.05.13	10,8	426	1,5	16,1	2004.05.22	4,0	126	1,9	7,9
2003.05.19	16,4	94	10,5	101,1	2004.05.23	3,0	89	2,0	9,1
2003.05.20	2,1	155	0,8	75,0	2004.06.11	11,0	832	0,8	3,8
2003.05.26	5,3	179	1,8	7,0	2004.06.15	6,5	78	5,0	51,2
2003.06.12	11,4	847	0,8	3,8	2004.07.01	8,0	170	2,8	180,0
2003.06.18	2,3	64	2,2	10,7	2004.07.02	4,3	138	1,9	7,7
2003.06.19	3,1	93	2,0	9,0	2004.07.03	4,3	59	4,4	10,6
2003.07.01	23,0	480	2,9	25,0	2004.07.09	16,3	291	3,4	72,0
2003.07.03	3,3	100	2,0	8,7	2004.07.20	15,0	320	2,8	4,0
2003.07.17	4,0	126	1,9	7,9	2004.07.22	12,4	870	0,9	3,9
2003.07.18	6,0	208	1,7	6,6	2004.08.09	13,5	895	0,9	4,0
2003.07.22	23,5	620	2,3	59,5	2004.08.14	11,0	834	0,8	3,8
2003.08.18	18,8	472	2,4	4,2	2004.08.17	6,6	144	2,8	60,0
2003.09.10	10,5	627	1,0	206,1	2004.08.20	7,0	264	1,6	18,9
2003.10.05	16,2	710	1,4	14,1	2004.08.24	6,6	132	3,0	7,2
2003.10.07	8,6	404	1,3	3,7	2004.08.27	5,9	203	1,7	6,7
2003.10.08	8,2	495	1,0	3,7	2004.09.12	5,5	187	1,8	6,9
2003.10.26	4,8	158	1,8	7,3	2004.09.23	4,7	154	1,8	7,3
2004.03.20	10,5	425	1,5	3,8	2004.09.30	5,1	170	1,8	7,1
2004.03.23	6,7	238	1,7	6,3	2004.10.08	10,4	822	0,8	3,7
2004.03.24	20,0	571	2,1	4,2	2004.10.16	19,2	986	1,2	4,2
2004.03.25	7,5	423	1,1	3,6	2004.10.20	4,0	126	1,9	7,9

z odpływu wykazała, że oprócz rozpuszczonych składników chemicznych próbki zawierały także części mineralne stanowiące o mętności odpływającej z warstwy wody. Przeciętna intensywność opadów w analizowanym okresie wyniosła 1,9 mm·h⁻¹, a intensywność średnia pojedynczych opadów przyjmowała wartości od 0,5 do 10,5 mm·h⁻¹. W 2003 roku przeciętna intensywność opadów wyniosła 2,1 mm·h⁻¹, a intensywności średnie poszczególnych opadów wyniosły od 0,6 do 10,5 mm·h⁻¹. W roku 2004 analogiczne wartości były następujące: przeciętna – 1,8 mm·h⁻¹, średnie – 0,5–5,0 mm·h⁻¹, natomiast

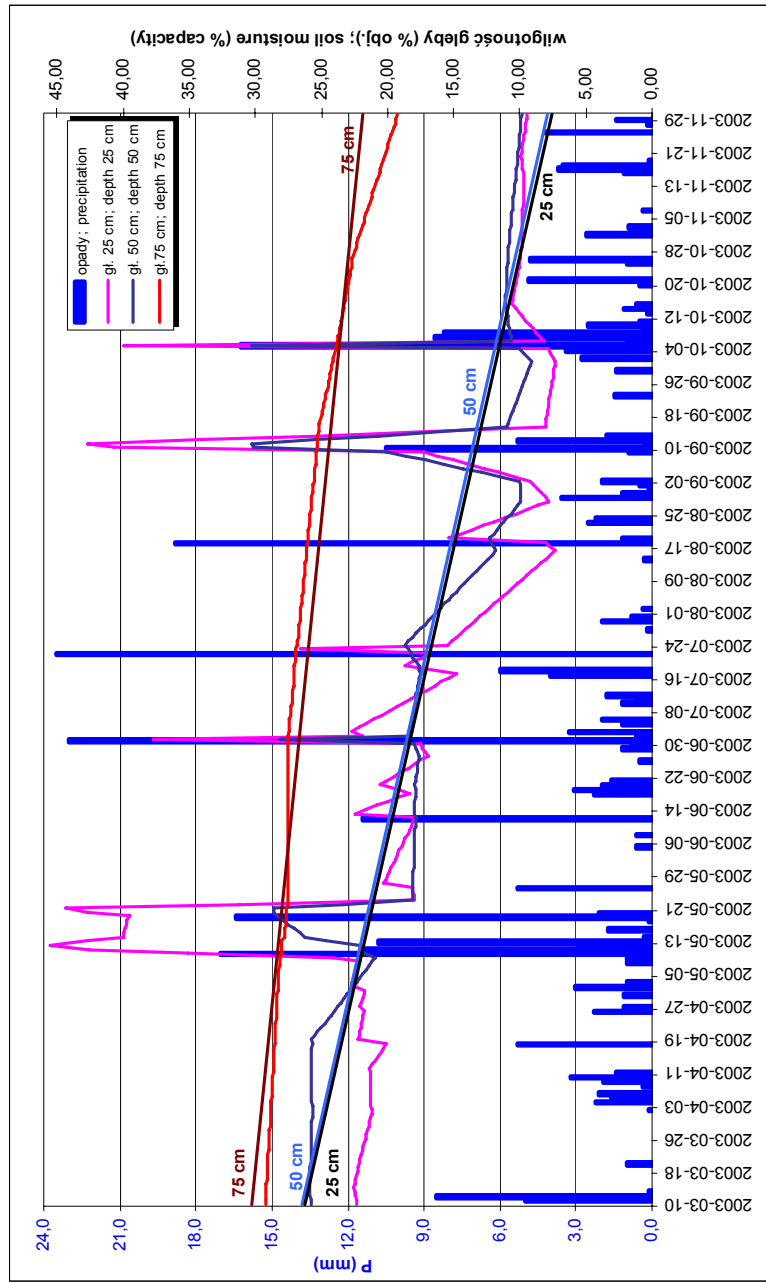
intensywności chwilowe pojedynczych opadów przybierały wartości w bardzo szerokim przedziale. W roku 2003 od 1,4 do 249,7 mm·h⁻¹, a w roku 2004 od 3,6 do 180 mm·h⁻¹.

Warunki meteorologiczne miały wpływ na wilgotność gleb zalegających w zlewni. Doświadczenia zdobyte w trakcie wizji terenowych oraz analiza warunków opadowych pozwalają stwierdzać, że niekiedy widoczne na powierzchni pól ślady zjawisk erozyjnych obserwowano nawet po opadach charakteryzujących się zarówno niskimi sumami, jak i natężeniami. Co więcej, w takich przypadkach stwierdzano nawet występowanie spływów powierzchniowych – więc nasuwa się wniosek, że równie istotny w występowaniu erozji wodnej gleb jest jej stan wilgotnościowy przed wystąpieniem opadu.

W roku 2003 wilgotność warstwy ornej przedstawiała się następująco: w górnej części zbocza wyniosła przeciętnie 17,05% θ wahając się od 7,3 do 45,54% θ ; na zboczu stoku wyniosła przeciętnie 22,22% θ wahając się od 11,45 do 45,3% θ , a u podnóża stoku przeciętnie 19,38% θ wahając się od 8,7 do 45,68% θ . W warstwie podornej partii przywierzchwinowej przeciętna wilgotność wyniosła 17,5% θ wahając się od 9,1 do 30,3% θ , na zboczu 27,99% θ i wahając się od 24,75 do 34,86% θ , natomiast u podnóża stoku 29,10% θ i wahając się od 23,4 do 33,22% θ . Na głębokości 75 cm wilgotności te przedstawiały się następująco: w górnej części zbocza przeciętnie 26,12% θ i wahając się od 19,25 do 29,25% θ , na zboczu przeciętnie 25,92% θ wahając się od 21,65 do 28,75% θ , a u podnóża stoku przeciętnie 29,46% θ i wahając się od 24,25 do 31,20% θ .

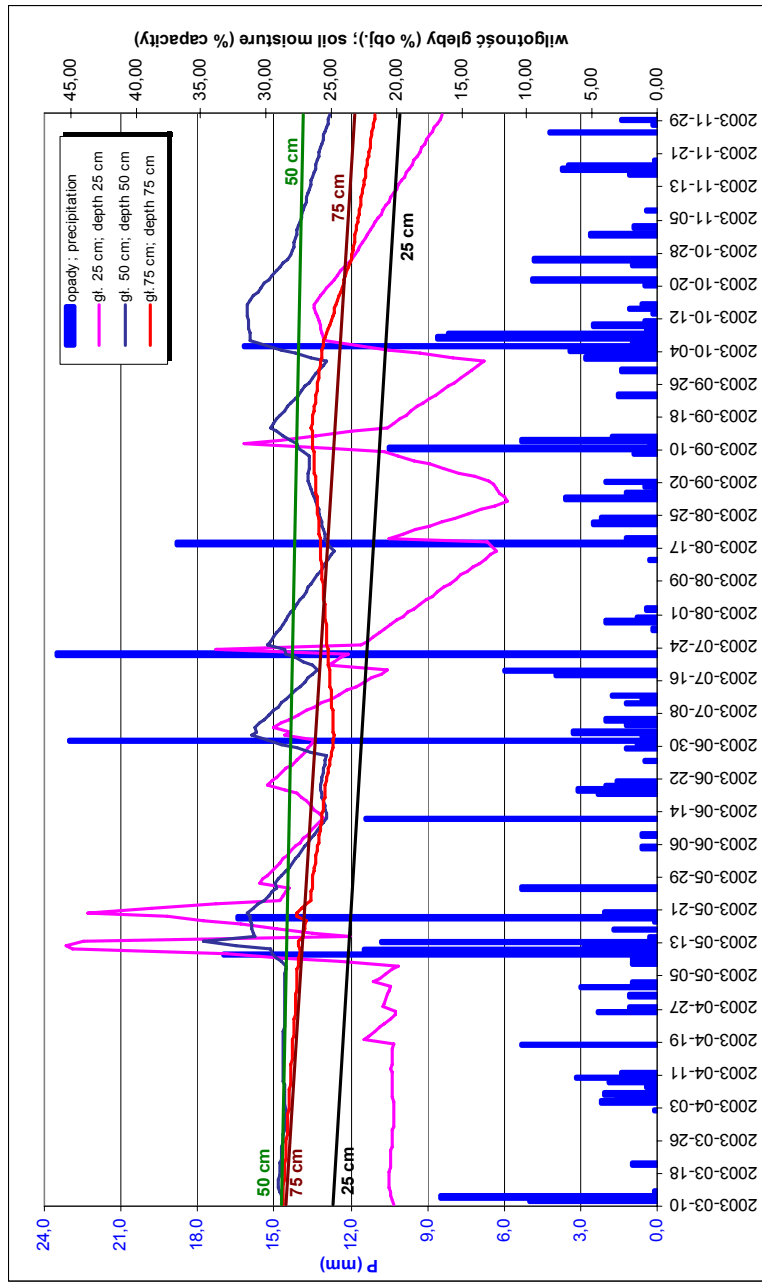
W roku 2004 wilgotność warstwy ornej przedstawiała się następująco: w partii przywierzchwinowej wyniosła przeciętnie 24,42% θ wahając się od 7,0 do 45,11% θ ; na zboczu stoku wyniosła przeciętnie 27,79% θ wahając się od 17,75 do 43,47% θ , a u podnóża stoku przeciętnie 25,23% θ wahając się od 8,68 do 44,14% θ . W warstwie podornej górnej części zbocza przeciętna wilgotność wyniosła 21,92% θ wahając się od 10,56 do 37,46% θ , na zboczu 31,36% θ i wahając się od 29,1 do 35,4% θ , natomiast u podnóża stoku 30,45% θ i wahając się od 24,15 do 39,98% θ . Na głębokości 75 cm wilgotności te przedstawiały się następująco: w górnej części zbocza przeciętnie 27,29% θ i wahając się od 22,6 do 30,8% θ , na zboczu przeciętnie 27,88% θ wahając się od 23,4 do 31,1% θ , a u podnóża stoku przeciętnie 29,87% θ i wahając się od 25,6 do 31,5% θ .

Przebieg zmienności pomierzonych wilgotności gleb na poszczególnych głębokościach w ujęciu sezonowym oraz w uzależnieniu od miejsca lokalizacji pomiaru w rzeźbie stoku przedstawiono na rysunkach 7–12. Na rysunkach tych oprócz kształtowania się wilgotności poszczególnych warstw przedstawiono także linie trendu obrazujące tendencje zachodzących zmian wilgotności w trakcie prowadzenia badań. W obydwu latach (rok suchy i średnio suchy) stwierdzono stopniowe wyczerpywanie się zapasów wilgoci z okresu zimowego. Najgwałtowniej proces ten przebiega w warstwie ornej i podornej partii przywierzchwinowej oraz w warstwie ornej u podnóża stoku. Amplituda zmian wilgotności na głębokości 25 cm górnej części zbocza wyniosła 38,24% θ w roku 2003 i 38,11% θ w roku 2004. Natomiast na głębokości 50 cm 21,2% θ w roku 2003 i 26,9% θ w następnym. U podnóża stoku amplituda zmian wilgotności wierzchniej warstwy wyniosła 36,98% θ w roku 2003 i 35,46% θ w roku następnym. Pomimo gwałtownych reakcji wierzchnich warstw (głównie na głębokości 25 cm) na zasilanie wodami opadowymi, wilgotności warstwy ornej i podornej górnej części zbocza są bardzo zbliżone do siebie. Podobnie przedstawia się sytuacja u podnóża zbocza, jednakże tutaj dotyczy to głębokości 50 i 75 cm.

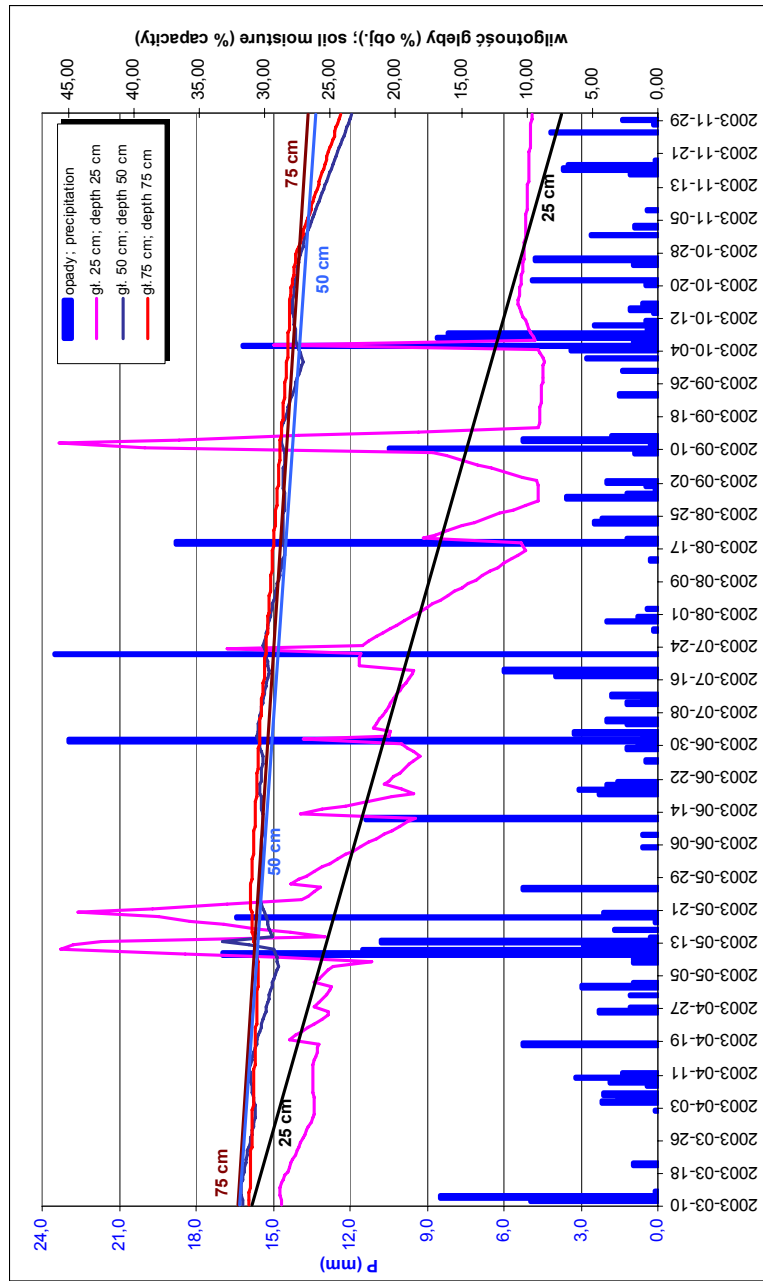


Rys. 7. Przebieg zmienności wilgotności gleby w górnej części zbocza (1) na głębokościach: 25, 50 i 75 cm, na tle opadów w okresie 10.03–30.11.2003

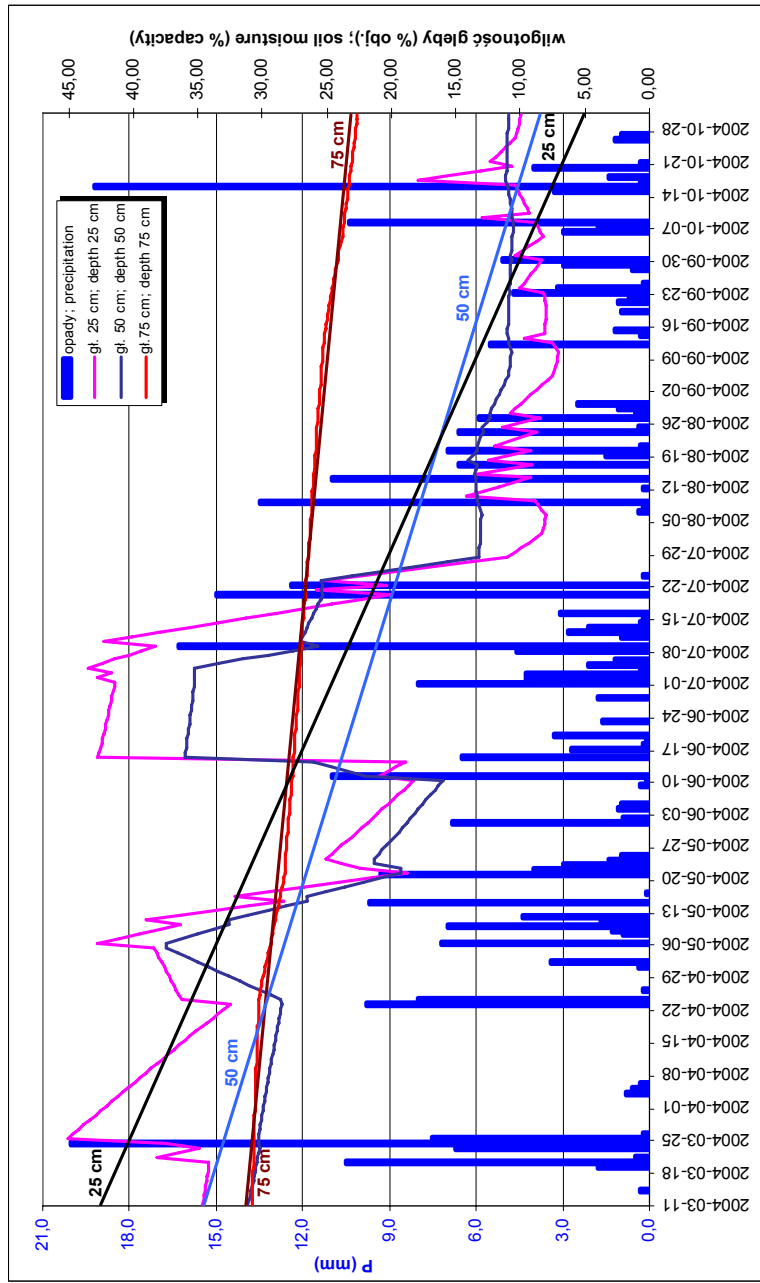
Fig. 7. Time series of soil moisture in upper slope cross-section (1) at depths of 25, 50 and 75 cm, on the background of precipitation, from 10.03.2003 to 30.11.2003



Rys. 8. Przebieg zmienności wilgotności gleby na zbożu na zbroczu (2) na głębokościach: 25, 50 i 75 cm, na tle opadów w okresie 10.03–30.11.2003
 Fig. 8. Time series of soil moisture in slope section (2) at depths of 25, 50 and 75 cm, on the background of precipitation, from 10.03.2003 to 30.11.2003

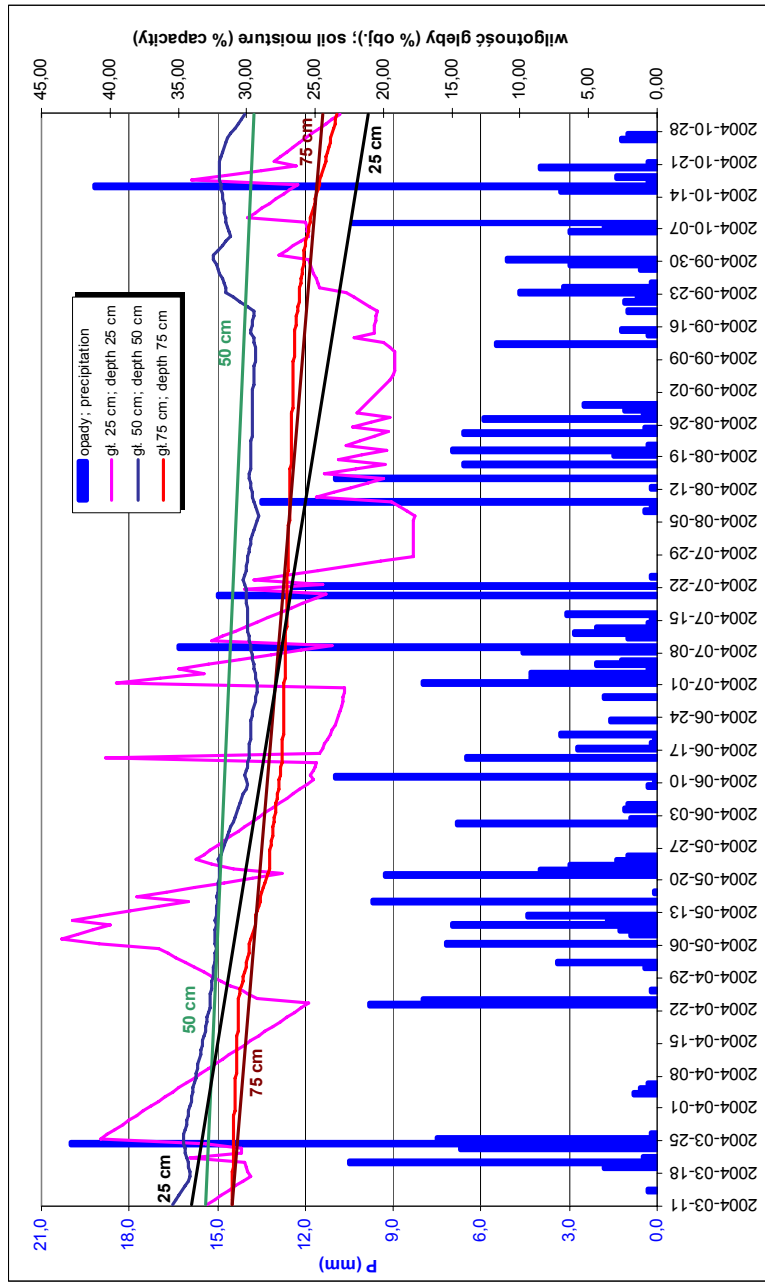


Rys. 9. Przebieg zmienności wilgotności gleby u podnóża stoku (3) na głębokościach: 25, 50 i 75 cm, na tle opadów w okresie 10.03-30.11.2003
 Fig. 9. Time series of soil moisture in foothill section (3) at depths of 25, 50 and 75 cm, on the background of precipitation, from 10.03.2003 to 30.11.2003

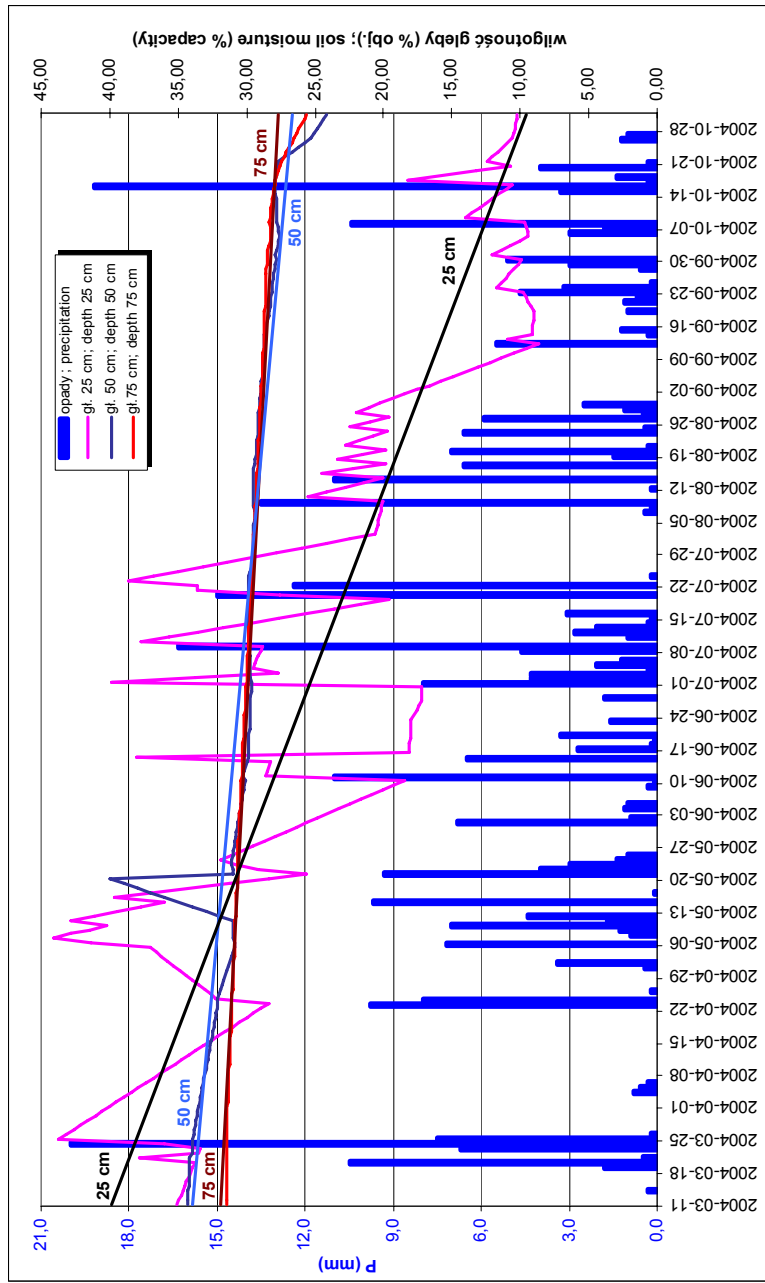


Rys. 10. Przebieg zmienności wilgotności gleby w górnej części zbocza (1) na głębokościach: 25, 50 i 75 cm, na tle opadów w okresie 10.03–30.10.2004

Fig. 10. Time series of soil moisture in upper slope cross-section (1) at depths of 25, 50 and 75 cm, on the background of precipitation, from 10.03.2004 to 30.10.2004



Rys. 11. Przebieg zmienności wilgotności gleby na zbczu (2) na głębokościach: 25, 50 i 75 cm, na tle opadów w okresie 10.03–30.10.2004
 Fig. 11. Time series of soil moisture in slope section (2) at depths of 25, 50 and 75 cm, on the background of precipitation, from 10.03.2004 to 30.10.2004



Rys. 12. Przebieg zmienności wilgotności gleby u podnóża stoku (2) na głębokościach: 25, 50 i 75 cm, na tle opadów w okresie 10.03–30.10.2004

Fig. 12. Time series of soil moisture in foothill section (2) at depths of 25, 50 and 75 cm, on the background of precipitation, from 10.03.2004 to 30.10.2004

Nieco odmiennie sytuacja przedstawia się na zboczu. Co prawda obserwuje się tu także systematyczny spadek wilgotności na wszystkich poziomach, jednakże charakter jego przebiegu jest łagodniejszy. Podobnie jak w partii przywierzchowinowej, tak i u podnóża stoku najszybciej na zmiany wilgotności reaguje wierzchnia warstwa, dla której amplituda wilgotności wyniosła w roku 2003 33,85% θ , a w roku 2004 – 25,72% θ . Amplituda wilgotności analogicznej warstwy pozostałych odkrywek jest niższa. Wynika z tego, że wilgotności tej warstwy na zboczu są bardziej wyrównane, a gwałtowna zmiana warunków infiltracji przyczynia się do utrzymywania się przeciętnie wyższej wilgotności niż w górnej części zbocza i u podnóża stoku. Znajduje to także swoje odzwierciedlenie w wilgotności warstwy podornej, która jest przeciętnie wyższa niż na głębokości 75 cm w tym miejscu.

Jak wspomniano powyżej do równie gwałtownych zmian wilgotności dochodzi w warstwie ornej u podnóża stoku. Przyczyna takiej sytuacji tkwi w tym, że jest to miejsce charakteryzujące się najwyższym zagęszczeniem warstw, rosnącym wraz z głębokością. Tutaj też dochodzi do zaskorupiania się powierzchni terenu i największych spływów powierzchniowych po opadach charakteryzujących się wysoką intensywnością. Warunki te powodują, że woda ma wyjątkowo trudne możliwości infiltracji, a istniejąca w najniższym miejscu poprzecznostokowa bruzda odprowadza te wody do niższych partii zlewni. W miejscu tym, stanowiącym koncentrację odpływu ze stoku bardzo często stwierdza się powstawanie żłobin, których głębokość dochodzi do 50 cm i więcej. Warstwy głębsze tej odkrywki wykazują najwyższą wilgotność na całym stoku, najniższą amplitudę jej zmian (warstwa 50 cm: 10,11% θ w roku 2003 i 6,3% θ w roku 2004; warstwa 75 cm: 7,1% θ w roku 2003 i 7,7% θ w roku 2004) świadcząca o wyrównanej i zbliżonej do siebie wilgotności obu warstw.

Dostawa wody opadowej na powierzchnię zlewni rozpoczyna cały szereg procesów związanych z transportem materii w jej obrębie [Kostrzewski i in. 1994]. Woda ta nie trafia jednak w całości do koryta cieków, gdyż część opadu zużywana jest na parowanie, intercepcję, retencję gruntową i terenową, a reszta spływa po powierzchni terenu w postaci spływu powierzchniowego. To najbardziej niekorzystne z punktu widzenia erozji wodnej gleb zjawisko hydrologiczne zaistnieje jednakże dopiero w momencie, gdy natężenie opadu przekroczy możliwości infiltracyjne gleby, a na powierzchni terenu wytworzy się jednolita warstwa wody przezwyłączająca detencję powierzchniową ziaren gruntu, z których gleba jest zbudowana [Banasik, Górski 1990, Barszcz i in. 2002, Byczkowski 1999, Horton 1935, Klimaszewski 1994, Lambor 1971, Świąchowicz 2000]. Jest to typowy przykład mechanizmu tworzenia się ponadfiltracyjnego spływu powierzchniowego. Werner-Więckowska i Gutry-Korycka [1989] wyróżniają dodatkowo przedinfiltracyjny spływ powierzchniowy, występujący najczęściej na glebach przesuszonych lub zaskorupionych oraz spływ powierzchniowy podwyższonego zwierciadła wody gruntowej, powstający w trakcie długotrwałych opadów atmosferycznych, gdy wszystkie pory glebowe wypełnione są wodą, a zwierciadło wody gruntowej sięga lub nawet przekracza rzędną powierzchni terenu. Szczególnym przypadkiem spływu powierzchniowego jest spływ soliflukcyjny i kongeliflukcyjny, czyli spływ mieszaniny wodno-gruntowej. Ten pierwszy powstaje na utworach trudno przepuszczalnych, natomiast drugi na podłożu zamrażniętym. Wytworzona na powierzchni terenu, w trakcie powstawania spływu powierzchniowego, warstwa wody początkowo zaczyna płynąć ruchem laminarnym prze-

chodząc szybko w turbulentny, a ten powoduje porywanie cząstek glebowych na drodze spływu. Płynąca warstwa wody tworzy zespół strug poruszających się z różną szybkością uzależnioną od nachylenia terenu. Jest to faza spływu rozproszonego (inicjalnego), który po pokonaniu detencji terenowej koncentruje się i spływa ku podnóżu stoku. W przypadku napotkania większej przeszkody terenowej lub zmiany nachylenia terenu na łagodniejsze spływ powierzchniowy ustaje, woda zaczyna wsiąkać w glebę, a niesiony spływem materiał glebowy akumuluje się w tych miejscach [Byczkowski 1999, Radczuk 1986, Soczyńska 1990, 1997].

Porównując przeciętne tempo dostawy wody opadowej, występujące w zlewni Mielnicy, z cechami charakteryzującymi środowisko glebowe na stoku, a w szczególności jego wierzchnią warstwę, należałoby wnioskować, że zjawiska erozji wodnej powierzchniowej nie powinny wystąpić. Duża pojemność wodna tych warstw oraz ich przepuszczalność, wskazuje na możliwość całkowitego zretencjonowania występujących opadów atmosferycznych przy tempach dostawy odpowiadających intensywnościom średnim. Jednakże analiza charakterystyk pojedynczych zdarzeń opadowych wykazuje, że intensywności maksymalne przybierały niejednokrotnie wartości bardzo wysokie – przekraczające zdolności infiltracyjne rozpatrywanych warstw. Pomierzone jednostkowe wielkości spływów powierzchniowych oraz odpływów przechwyconych z obserwowanych warstw profili glebowych przedstawiono w tabelach 14 i 15.

W roku 2003 spływy powierzchniowe (warstwa 0) wystąpiły w partii przywierzchowej i u podnóża zbocza 7-krotnie, a na zboczu 5-krotnie. W górnej części zbocza spływy te wyniosły od 0,092 do 0,458 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$, na zboczu od 0,196 do 10,784 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$, a u jego podnóża od 0,230 do 24,585 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$. Terminy ich występowania nie zawsze były jednakowe. Czasami stwierdzano występowanie spływów w obrębie tylko wybranych elementów stoku, natomiast prawie we wszystkich przypadkach przechwytywano odpływ z warstwy do głębokości 25 cm i tylko 2-krotnie z warstwy 25–50 cm partii przywierzchowej w bardzo niewielkiej ilości. Na głębokości 75 cm nie udało się przechwycić odpływu w żadnym z przypadków. Odpływy podpowierzchniowe z warstwy ornej wyniosły odpowiednio:

- w górnej części zbocza od 0,075 do 3,203 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio 0,414 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$),
- na zboczu od 0,078 do 3,105 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio 0,597 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$),
- u podnóża stoku od 0,078 do 3,195 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio 0,573 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$).

W roku 2004 spływy powierzchniowe wystąpiły 5-krotnie w partii przywierzchowej, 2-krotnie na zboczu i 3-krotnie u jego podnóża. Natomiast podobnie jak w roku poprzednim stwierdzano odpływ na głębokości 25 cm, który wyniósł:

- w górnej części zbocza od 0,099 do 0,664 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio 0,289 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$),
- na zboczu od 0,090 do 0,686 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio 0,296 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$),
- u podnóża stoku od 0,090 do 0,684 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio 0,290 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$).

Na głębokościach 50 i 75 cm odpływy w tym roku nie wystąpiły.

Tabela 14

Table 14

Jednostkowe wielkości spływów powierzchniowych i odpływów z warstw profilów glebowych
pomierzone na stoku zlewni Mielnicy w okresie 18.04–26.10.2003

Overland runoff yields and interflows in soil profile layers, measured on experimental slope in
Mielnica catchment between 18.04–26.10.2003

Data Date	Opad Precipitation (mm)	Odpływy z warstw w $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ Outflow from layers in $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$						
		górną część zbocza (1) upper slope cross-section (1)			zbocze (2) slope (2)		podnóże (3) foothill (3)	
		głębokość w cm depth in cm						
		0	25	50	0	25	0	25
2003.04.18	5,3		0,167			0,172		0,172
2003.04.26	2,3		0,078			0,080		0,080
2003.05.02	3,0		0,095	0,001		0,098		0,098
2003.05.10	17,0	0,242	0,572		0,506	0,919	7,141	0,491
2003.05.11	11,5	0,121	0,342		10,784	3,105	24,585	3,195
2003.05.12	2,9		3,203		6,284	3,105	9,271	3,195
2003.05.13	10,8	0,104	0,333	0,001	8,107	0,336	10,736	0,576
2003.05.19	16,4	0,188	0,236			0,293		0,334
2003.05.20	2,1				0,196		0,367	0,131
2003.05.26	5,3		0,175			0,180		0,180
2003.06.12	11,4		0,353			0,364		0,689
2003.06.18	2,3		0,075			0,079		0,078
2003.06.19	3,1		0,098			0,101		0,101
2003.07.01	23,0	0,238	0,375			1,426	0,276	1,163
2003.07.03	3,3		0,102			0,105		0,099
2003.07.17	4,0		0,123			0,127		0,127
2003.07.18	6,0		0,184			0,189		0,189
2003.07.22	23,5		0,769			0,792		0,793
2003.08.18	18,8		0,567			0,584		0,585
2003.09.10	10,5	0,458	0,494			0,522	0,230	0,255
2003.10.05	16,2	0,092	0,534			0,486		0,548
2003.10.07	8,6		0,260			0,269		0,268
2003.10.08	8,2		0,248			0,256		0,256
2003.10.26	4,8		0,147			0,152		0,152

Jednostkowe wielkości spływów powierzchniowych i odpływów z warstw profilów glebowych
pomierzone na stoku zlewni Mielnicy w okresie 20.03–20.10.2004 roku

Overland runoff yields and interflows in soil profile layers, measured on experimental slope in
Mielnica catchment between 20.03-20.10.2004

Data Date	Opad Preci- pita- tion (mm)	Odpływy z warstw w $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ Outflow from layers in $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$						
		górną część zbocza (1) upper slope cross-section (1)			zbocze (2) slope (2)		podnóże (3) foothill (3)	
		głębokość w cm depth in cm						
		0	25	50	0	25	0	25
2004.03.20	10,5		0,315			0,316		0,315
2004.03.23	6,7		0,201			0,201		0,201
2004.03.24	20,0		0,600			0,600		0,600
2004.03.25	7,5	2,593	0,225			0,225	2,293	0,225
2004.04.23	9,8		0,296			0,294		0,294
2004.04.24	8,0		0,259			0,240		0,240
2004.05.06	7,2	0,006	0,330		0,020	0,216	0,017	0,216
2004.05.10	7,0		0,215			0,210		0,210
2004.05.15	9,7		0,291			0,291		0,291
2004.05.21	9,3		0,282			0,279		0,279
2004.05.22	4,0		0,127			0,120		0,120
2004.05.23	3,0		0,099			0,090		0,090
2004.06.11	11,0		0,336			0,346		0,346
2004.06.15	6,5	0,001	0,330			0,340		0,340
2004.07.01	8,0	0,111	0,432		0,379	0,437	0,027	0,455
2004.07.02	4,3		0,135			0,350		0,146
2004.07.03	4,3		0,138			0,142		0,142
2004.07.09	16,3	0,078	0,664			0,686		0,684
2004.07.20	15,0		0,452			0,465		0,466
2004.07.22	12,4		0,376			0,387		0,388
2004.08.09	13,5		0,411			0,423		0,423
2004.08.14	11,0		0,333			0,343		0,344
2004.08.17	6,6		0,266			0,274		0,274
2004.08.20	7,0		0,226			0,233		0,233
2004.08.24	6,6		0,204			0,210		0,210
2004.08.27	5,9		0,186			0,192		0,192
2004.09.12	5,5		0,171			0,176		0,176
2004.09.23	4,7		0,144			0,149		0,149
2004.09.30	5,1		0,164			0,169		0,169
2004.10.08	10,4		0,320			0,329		0,330
2004.10.16	19,2		0,588			0,605		0,594
2004.10.20	4,0		0,125			0,129		0,129

Przedstawione powyżej wielkości spływów powierzchniowych i odpływów z warstw profilów glebowych uzależnione są od stanu wilgotnościowego profilu glebowego. Wyniki pomiarów wyraźnie wskazują, że spływy powierzchniowe w trakcie prowadzenia badań występowały sporadycznie, natomiast w większości przypadków opady atmosferyczne powodowały uaktywnianie się spływów śródpokrywowych w strefie aeracyjnej profilów na stoku, zwanych również spływami hipodermicznymi.

Badania hydrologiczne prowadzone w terenach urzeźbionych wskazują, że ten element przemieszczania się wody w zlewni ma istotne znaczenie w kształtowaniu odpływu z jej obszaru [Gil 1999, Fatyga, Stodolak 2005, Kaczmarczyk 1991, Soja 1981]. Spływ hipodermiczny stanowi woda opadowa lub z topniejącego śniegu, przemieszczająca się w strefie aeracji i spływająca w kierunku koryta cieków pod powierzchnią terenu. Tempo tego przemieszczania według Magnuszewskiego i Soczyńskiej [2001] może znacznie przekraczać prędkość infiltracji osiągając nawet charakter fluacji (burzliwego ruchu wody podziemnej), a największe natężenie spływu hipodermicznego notowane jest w trakcie ulew o dużej intensywności opadu [Gil 1999]. W latach z opadami o małej intensywności ta forma odpływu dominuje w odprowadzaniu wody ze stoków [Gil, Starkel 1979]. Warunki do jego powstawania tworzą się na styku rozluźnionej wierzchniej warstwy gleby z warstwą o mniejszej przepuszczalności. Rozluźnienie następuje wskutek penetracji systemu korzeniowego roślin w głąb profilu glebowego lub w efekcie działania organów roboczych maszyn rolniczych, np. pługa, doprowadzające do znacznego zróżnicowania przepuszczalności warstw. Ta druga ewentualność stanowi przypadek szczególnie spływu hipodermicznego zwany odpływem kontaktowym [Fatyga, Stodolak 2005]. Rozpoznane cechy środowiska pedologicznego na stoku Mielnicy wskazują, że właśnie z tym szczególnym rodzajem spływu śródpokrywowego mamy do czynienia i spowodowane jest to wieloletnim oraz jednokierunkowym ornym użytkowaniem pola stanowiącego obszar badań stokowych.

Badania spływu powierzchniowego i hipodermicznego poza terenami podgórskimi realizowane są także na terenach nizinnych w zlewni Mławki [Szymczak, Szelenbaum 2003]. Podjęcie powyższej problematyki na Wzgórzach Trzebnickich w warunkach silnej podatności obszaru na erozję wodną gleb, a równocześnie prowadzenia tam intensywnej gospodarki rolniczej, to przyczynek do lepszego poznania odpływu wody ze zlewni. Szczególnie, że stanowi ona nośnik materii powodujący erozyjne jej uruchamianie na obszarze i dostarczanie do koryta cieków. Zagadnienia tego typu w świetle problemów związanych z gospodarką wodną i ochroną jej zasobów są niezmiernie ważnymi, wiążą się one nie tylko z zanieczyszczeniami wód płynących i podziemnych, ale także tymi, które stanowią zanieczyszczenia obszarowe i podlegają migracji w ośrodku gruntowym [Biernacka, Pijanowska 1996, Brandyk, Hewelke 1996, Kowalski, Moryl 1990, Mioduszewski 1997, Mioduszewski i in. 2000]. Podejmowane są również próby modelowania przemieszczania się składników chemicznych w gruncie, jednakże ich indywidualność zachowania się oraz różnorodność procesów związanych z poszczególnymi substancjami chemicznymi, jakie należy uwzględnić przy modelowaniu, zagadnienie to tworzy wysoce skomplikowanym [Szulczewski 2003].

Zdarzenia geomorficzne zachodzące w zlewni mają swoje odzwierciedlenie w dynamice procesów fluwialnych. Korytami cieków, stanowiącymi jeden z podstawowych podsystemów systemu transportu fluwialnego, transportowana jest materia świadcząca o

aktywności funkcjonowania geoekosystemu [Kostrzewski i in. 1994]. Znajduje ona swoje odbicie w skoncentrowanym odpływie wody korytem ciek i intensywności jego przepływu.

Pomiary natężeń przepływów z przyczyn niezależnych, a wynikających z konieczności zmiany lokalizacji posterunku hydrometryczno-batometrycznego w związku z odbudową i powstaniem nowego obiektu stawowego, prowadzono niejako w dwóch okresach. Do roku 1997 pomiary realizowane były wyłącznie w przekroju zamykającym zlewnię, której powierzchnia wynosiła wówczas 667 ha. Jesienią tego roku przekrój przeniesiono w dół ciek poniżej odpływu ze stawu 2, a powierzchnia zlewni wzrosła do 711,4 ha. W drugiej połowie roku 1997, w związku z realizacją grantu mającego na celu określić rolę małych zbiorników wodnych w transporcie materiału glebowego i składników chemicznych, w korycie ciek głównego i jego dopływie, zainstalowano dodatkowe trzy posterunki pomiarowe, tworząc w ten sposób ich sieć. W celu porównywania uzyskanych w trakcie pomiarów wyników, intensywność odpływu wód powierzchniowych przedstawiono w postaci spływów jednostkowych. Ich wartości, średnie miesięczne i okresowe oraz maksymalne dobowe, przedstawiono w tabelach 16-21.

Porównując wyniki pomiarów odpływu wody, pomimo różnic w długości okresów badań, zarysowują się pozytywne aspekty funkcjonowania stawów. W okresie poprzedzającym ich budowę (15 lat badań), w przekroju zamykającym zlewnię notowane średniookresowe spływy jednostkowe wynosiły: w okresie XI-IV – $0,022 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$; V-X – $0,021 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$; XI-X – $0,022 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast po ich uruchomieniu w przekroju M4 spływy nieznacznie zmalały i były bardziej wyrównane, a średnie dla lat 1998–2004 (7 lat) wyniosły w ujęciu całego roku $0,020 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Złagodzeniu uległy również notowane maksymalne dobowe, które w latach 1983–1997 wynosiły od 27 do $651 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, a w następnym okresie od 23 do $59 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Podobnie jak w większych zlewniach, średniorocznie spływy jednostkowe są najwyższe w górnej części zlewni ($0,036 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), nieco niższe w części środkowej ($0,034 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), a w przekroju zamykającym zlewnię (M4) wynoszą już znacznie mniej, bo $0,020 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Średnie miesięczne i okresowe spływy jednostkowe ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zlewni Mielnica w latach hydrologicznych 1983–1997
The mean monthly and periodical runoff yields ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) in the Mielnica catchment in hydrological years 1983–1997

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	XI–X		
1983	0,022	0,027	0,047	0,032	0,041	0,028	0,048	0,024	0,019	0,018	0,018	0,017	0,033	0,024	0,028		
1984	0,016	0,017	0,019	0,019	0,021	0,021	0,025	0,024	0,022	0,021	0,026	0,023	0,019	0,024	0,021		
1985	0,018	0,017	0,016	0,043	0,062	0,028	0,030	0,028	0,019	0,043	0,017	0,017	0,031	0,026	0,028		
1986	0,019	0,027	0,032	0,016	0,026	0,021	0,017	0,031	0,021	0,023	0,020	0,023	0,024	0,023	0,024		
1987	0,019	0,023	0,024	0,063	0,027	0,028	0,034	0,031	0,022	0,023	0,028	0,027	0,031	0,028	0,029		
1988	0,022	0,019	0,018	0,023	0,038	0,023	0,018	0,018	0,018	0,019	0,021	0,017	0,024	0,019	0,022		
1989	0,018	0,032	0,020	0,020	0,021	0,022	0,018	0,024	0,017	0,015	0,014	0,013	0,022	0,017	0,019		
1990	0,016	0,018	0,015	0,014	0,013	0,014	0,013	0,039	0,014	0,014	0,014	0,012	0,015	0,018	0,016		
1991	0,025	0,023	0,017	0,018	0,020	0,021	0,021	0,025	0,021	0,016	0,016	0,012	0,021	0,019	0,020		
1992	0,017	0,015	0,012	0,014	0,016	0,014	0,011	0,012	0,010	0,008	0,008	0,009	0,015	0,010	0,012		
1993	0,014	0,017	0,020	0,019	0,019	0,011	0,012	0,016	0,026	0,010	0,012	0,014	0,017	0,015	0,016		
1994	0,016	0,109	0,063	0,038	—*	—*	—*	—*	0,022	0,023	0,022	0,022	—*	—*	—*		
1995	0,023	0,035	0,029	0,031	0,022	0,029	0,024	0,036	0,021	0,021	0,030	0,016	0,028	0,025	0,026		
1996	0,018	0,018	0,014	0,017	0,020	0,021	0,026	0,023	0,034	0,028	0,030	0,023	0,018	0,027	0,023		
1997	0,016	0,014	0,013	0,016	0,014	0,016	0,020	0,019	0,034	0,020	0,017	0,020	0,015	0,022	0,018		
Średnie Mean	0,019	0,027	0,024	0,026	0,026	0,021	0,023	0,025	0,021	0,020	0,020	0,018	0,022	0,021	0,022		

* Brak danych ze względu na przerwę w badaniach od marca do czerwca 1994 r.

* Absence of data caused by break in investigations from March to June 1994.

Tabela 17
Table 17

Maksymalne dobowe spływy jednostkowe ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) w zlewni Mielnicy w latach hydrologicznych 1983–1997
The maximum daily runoff yields ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) in the Mielnica catchment in hydrological years 1983–1997

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X		
1983	0,028	0,036	0,084	0,084	0,067	0,033	0,568	0,042	0,055	0,039	0,048	0,039	0,084	0,568	0,568		
1984	0,030	0,027	0,019	0,022	0,033	0,027	0,045	0,060	0,036	0,042	0,067	0,039	0,033	0,067	0,067		
1985	0,039	0,024	0,022	0,549	0,216	0,036	0,166	0,148	0,024	0,472	0,022	0,022	0,549	0,472	0,549		
1986	0,033	0,042	0,111	0,024	0,102	0,027	0,030	0,256	0,121	0,063	0,030	0,033	0,111	0,256	0,256		
1987	0,024	0,106	0,165	0,348	0,036	0,045	0,382	0,271	0,058	0,165	0,301	0,271	0,348	0,382	0,382		
1988	0,060	0,039	0,039	0,033	0,154	0,045	0,019	0,039	0,024	0,075	0,052	0,019	0,154	0,075	0,154		
1989	0,030	0,121	0,024	0,021	0,021	0,045	0,019	0,178	0,021	0,016	0,015	0,013	0,121	0,178	0,178		
1990	0,027	0,070	0,016	0,015	0,015	0,016	0,015	0,651	0,015	0,016	0,016	0,016	0,070	0,651	0,651		
1991	0,051	0,051	0,024	0,033	0,051	0,066	0,051	0,066	0,058	0,051	0,027	0,022	0,066	0,066	0,066		
1992	0,027	0,024	0,022	0,019	0,024	0,019	0,019	0,022	0,027	0,015	0,015	0,019	0,027	0,027	0,027		
1993	0,022	0,033	0,033	0,045	0,033	0,022	0,033	0,045	0,229	0,015	0,045	0,058	0,045	0,229	0,229		
1994	0,024	0,132	0,111	0,070	—*	—*	—*	—*	0,045	0,033	0,027	0,033	—*	—*	—*		
1995	0,052	0,057	0,048	0,063	0,042	0,042	0,052	0,072	0,054	0,063	0,067	0,027	0,063	0,063	0,063		
1996	0,027	0,027	0,019	0,033	0,027	0,033	0,054	0,048	0,069	0,045	0,042	0,039	0,033	0,069	0,069		
1997	0,027	0,016	0,014	0,019	0,016	0,019	0,030	0,030	0,078	0,084	0,039	0,030	0,027	0,084	0,084		

* Brak danych ze względu na przerwę w badaniach od marca do czerwca 1994 r.

* Absence of data caused by break in investigations from March to June 1994.

Średnie miesięczne i okresowe oraz maksymalne dobowe spływy jednostkowe ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) w przekroju M1 ciekłu Mielnica w latach hydrologicznych 1998–2004
The mean monthly and periodical as well as the maximum daily runoff yields ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) in section M1 of Mielnica stream, in hydrological years 1998–2004

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X		
Średnie miesięczne spływy jednostkowe Mean monthly runoff yield																	
1998	0,036	0,032	0,034	0,036	0,041	0,038	0,030	0,040	0,034	0,028	0,034	0,034	0,036	0,033	0,035		
1999	0,036	0,029	0,031	0,036	0,042	0,034	0,033	0,033	0,033	0,028	0,027	0,028	0,035	0,030	0,032		
2000	0,035	0,035	0,037	0,039	0,035	0,028	0,028	0,035	0,041	0,042	0,042	0,042	0,035	0,038	0,037		
2001	0,045	0,044	0,045	0,044	0,045	0,042	0,040	0,044	0,050	0,042	0,046	0,036	0,044	0,043	0,044		
2002	0,033	0,035	0,036	0,038	0,036	0,032	0,027	0,032	0,032	0,038	0,039	0,038	0,035	0,034	0,035		
2003	0,035	0,032	0,033	0,031	0,033	0,028	0,026	0,026	0,026	0,028	0,035	0,035	0,032	0,029	0,031		
2004	0,034	0,035	0,038	0,038	0,036	0,033	0,035	0,036	0,039	0,036	0,036	0,037	0,036	0,036	0,036		
Srednie Mean	0,036	0,035	0,036	0,037	0,038	0,034	0,031	0,035	0,036	0,035	0,037	0,036	0,036	0,035	0,036		
Maksymalne dobowe spływy jednostkowe Maximum daily runoff yield																	
1998	0,042	0,034	0,039	0,046	0,059	0,063	0,037	0,089	0,052	0,035	0,039	0,038	0,063	0,089	0,089		
1999	0,039	0,031	0,033	0,039	0,053	0,039	0,037	0,037	0,037	0,030	0,028	0,029	0,053	0,037	0,053		
2000	0,036	0,037	0,050	0,041	0,047	0,033	0,033	0,039	0,045	0,044	0,044	0,044	0,050	0,045	0,050		
2001	0,048	0,046	0,048	0,047	0,050	0,048	0,048	0,052	0,074	0,071	0,057	0,049	0,050	0,074	0,074		
2002	0,037	0,037	0,044	0,044	0,042	0,039	0,034	0,040	0,040	0,049	0,044	0,042	0,044	0,049	0,049		
2003	0,038	0,036	0,039	0,033	0,039	0,032	0,033	0,030	0,031	0,040	0,037	0,039	0,039	0,040	0,040		
2004	0,038	0,040	0,042	0,042	0,045	0,040	0,039	0,042	0,045	0,039	0,040	0,042	0,045	0,045	0,045		

Tabela 19
Table 19

Średnie miesięczne i okresowe oraz maksymalne dobowe spływy jednostkowe ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) w przekroju M2 ciekłu Mielnica w latach hydrologicznych 1998–2004

The mean monthly and periodical as well as the maximum daily runoff yields ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) in section M2 of Mielnica stream, in hydrological years 1998–2004

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods				
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X		
Średnie miesięczne spływy jednostkowe; Mean monthly runoff yield																	
1998	0,034	0,029	0,031	0,033	0,038	0,035	0,027	0,037	0,031	0,027	0,032	0,032	0,033	0,031	0,032		
1999	0,034	0,028	0,030	0,035	0,040	0,032	0,031	0,037	0,034	0,031	0,028	0,028	0,033	0,032	0,032		
2000	0,034	0,035	0,036	0,038	0,034	0,028	0,028	0,034	0,040	0,040	0,040	0,040	0,034	0,037	0,036		
2001	0,038	0,037	0,038	0,037	0,038	0,036	0,034	0,038	0,042	0,036	0,039	0,030	0,037	0,037	0,037		
2002	0,032	0,034	0,035	0,037	0,035	0,031	0,027	0,032	0,031	0,036	0,038	0,037	0,034	0,033	0,034		
2003	0,034	0,031	0,032	0,030	0,032	0,027	0,026	0,026	0,026	0,027	0,034	0,034	0,031	0,029	0,030		
2004	0,034	0,034	0,037	0,036	0,035	0,032	0,034	0,035	0,037	0,034	0,035	0,036	0,035	0,035	0,035		
Średnie Mean	0,034	0,033	0,034	0,035	0,036	0,032	0,030	0,034	0,034	0,033	0,035	0,034	0,034	0,033	0,034		
Maksymalne dobowe spływy jednostkowe Maximum daily runoff yield																	
1998	0,039	0,032	0,037	0,043	0,055	0,059	0,034	0,083	0,049	0,033	0,036	0,035	0,059	0,083	0,083		
1999	0,036	0,030	0,031	0,037	0,050	0,037	0,034	0,040	0,036	0,033	0,032	0,030	0,050	0,040	0,050		
2000	0,035	0,037	0,049	0,040	0,045	0,032	0,033	0,037	0,043	0,042	0,041	0,042	0,049	0,043	0,049		
2001	0,041	0,040	0,044	0,038	0,041	0,039	0,040	0,046	0,063	0,062	0,049	0,040	0,044	0,063	0,063		
2002	0,036	0,036	0,042	0,042	0,040	0,038	0,033	0,039	0,039	0,045	0,042	0,041	0,042	0,045	0,045		
2003	0,037	0,035	0,038	0,032	0,038	0,031	0,033	0,029	0,031	0,039	0,037	0,038	0,038	0,039	0,039		
2004	0,037	0,038	0,041	0,040	0,043	0,039	0,038	0,041	0,044	0,037	0,038	0,041	0,043	0,044	0,044		

Średnie miesięczne i okresowe oraz maksymalne dobowe spływy jednostkowe ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) w przekroju M3 ciekłu Mielnica w latach hydrologicznych 1998–2004
 The mean monthly and periodical as well as the maximum daily runoff yields ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) in section M3 of Mielnica stream, in hydrological years 1998–2004

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods			
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X	
Średnie miesięczne spływy jednostkowe Mean monthly runoff yield																
1998	0,004	0,006	0,005	0,006	0,005	0,006	0,005	0,011	0,010	0,005	0,006	0,002	0,005	0,006	0,006	0,006
1999	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,005	0,006	0,004	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004
2000	0,004	0,006	0,005	0,005	0,006	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004
2001	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,009	0,008	0,008	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008
2002	0,006	0,006	0,007	0,008	0,007	0,007	0,005	0,006	0,007	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007
2003	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,005	0,005	0,003	0,004	0,004
2004	0,008	0,010	0,010	0,010	0,007	0,003	0,007	0,006	0,010	0,007	0,008	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008
Srednie Mean	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Maksymalne dobowe spływy jednostkowe Maximum daily runoff yield																
1998	0,011	0,011	0,010	0,010	0,015	0,016	0,023	0,011	0,039	0,027	0,022	0,020	0,023	0,020	0,039	0,039
1999	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,012	0,013	0,008	0,005	0,011	0,005	0,010	0,013	0,013
2000	0,006	0,007	0,007	0,006	0,009	0,006	0,006	0,006	0,005	0,008	0,006	0,005	0,009	0,004	0,008	0,009
2001	0,008	0,008	0,010	0,010	0,010	0,011	0,009	0,010	0,010	0,012	0,010	0,011	0,009	0,011	0,012	0,012
2002	0,008	0,010	0,010	0,011	0,012	0,012	0,010	0,010	0,010	0,015	0,017	0,011	0,012	0,014	0,017	0,017
2003	0,007	0,007	0,007	0,006	0,008	0,006	0,007	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007	0,008	0,007	0,009	0,009
2004	0,012	0,025	0,030	0,020	0,022	0,022	0,019	0,015	0,015	0,018	0,015	0,021	0,030	0,021	0,021	0,030

Tabela 21
Table 21

Średnie miesięczne i okresowe oraz maksymalne dobowe spływy jednostkowe ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) w przekroju M4 ciekłu Mielnica w latach hydrologicznych 1998–2004
The mean monthly and periodical as well as the maximum daily runoff yields ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) in section M4 of Mielnica stream, in hydrological years 1998–2004

Lata Years	Miesiące Months												Okresy Periods			
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X	
	Średnie miesięczne spływy jednostkowe – Mean monthly runoff yield															
1998	0,020	0,018	0,019	0,020	0,022	0,021	0,016	0,024	0,019	0,015	0,019	0,018	0,020	0,019	0,019	
1999	0,019	0,016	0,017	0,020	0,022	0,018	0,019	0,022	0,020	0,018	0,016	0,016	0,019	0,018	0,019	
2000	0,020	0,021	0,021	0,022	0,020	0,016	0,016	0,019	0,023	0,023	0,023	0,023	0,020	0,021	0,021	
2001	0,023	0,022	0,023	0,023	0,024	0,022	0,022	0,024	0,027	0,022	0,025	0,019	0,023	0,023	0,023	
2002	0,019	0,020	0,021	0,023	0,021	0,019	0,016	0,019	0,019	0,022	0,023	0,023	0,021	0,020	0,020	
2003	0,020	0,018	0,019	0,018	0,019	0,016	0,016	0,015	0,015	0,016	0,019	0,020	0,018	0,017	0,018	
2004	0,021	0,022	0,023	0,023	0,021	0,018	0,021	0,021	0,024	0,021	0,022	0,023	0,021	0,022	0,022	
Średnie Mean	0,020	0,020	0,020	0,021	0,021	0,019	0,018	0,021	0,021	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020	0,020	
	Maksymalne dobowe spływy jednostkowe Maximum daily runoff yield															
1998	0,025	0,021	0,022	0,028	0,035	0,040	0,021	0,059	0,032	0,025	0,026	0,020	0,040	0,059	0,059	
1999	0,020	0,017	0,018	0,021	0,029	0,025	0,021	0,025	0,021	0,020	0,022	0,018	0,029	0,025	0,029	
2000	0,020	0,021	0,029	0,023	0,027	0,019	0,020	0,021	0,026	0,025	0,024	0,024	0,029	0,026	0,029	
2001	0,026	0,026	0,026	0,024	0,027	0,029	0,029	0,032	0,038	0,037	0,030	0,024	0,029	0,038	0,038	
2002	0,022	0,022	0,026	0,026	0,024	0,024	0,020	0,024	0,026	0,031	0,026	0,026	0,026	0,031	0,031	
2003	0,022	0,021	0,023	0,019	0,023	0,018	0,019	0,017	0,019	0,024	0,022	0,023	0,023	0,024	0,024	
2004	0,024	0,029	0,031	0,029	0,031	0,029	0,026	0,026	0,027	0,026	0,025	0,029	0,031	0,029	0,031	

6. Wyniki badań prowadzonych w cieku Mielnica i na stoku jej zlewni

6.1. Materiał fluwalny na stoku

W roku 2003 i 2004 prowadzono pomiary spływów powierzchniowych i hipodermicznych na stoku. W pobranych próbkach wody określano skład chemiczny oraz koncentrację zawiesiny.

Specyficzne warunki meteorologiczne, ciepłe i suche półrocze letnie roku 2003 oraz normalne i średnio suche roku 2004 sprawiły, że w różnych strefach rzeźby stoku obserwowano powstawanie spływów powierzchniowych, ale nie zawsze w terminach korelujących ze sobą. W strefie górnej części zbocza zaobserwowano 12 takich zjawisk (7 w roku 2003 i 5 w roku 2004), a koncentracje materiału glebowego wahały się od 0,964 do 26,141 g·dm⁻³, wynosząc średnio 14,362 g·dm⁻³. Z materiałem tym transportowane było: 3,1–4,3 mg·dm⁻³ N-N_{og}, 0,5–4,8 mg·dm⁻³ P i 3,8–32,3 mg·dm⁻³ K. W formie rozpuszczonej wody spływu powierzchniowego zawierały: 3,3–32,5 mg·dm⁻³ N-N_{og}, 0,6–16,6 mg·dm⁻³ N-NH₃, 1,6–12,8 mg·dm⁻³ N-NO_x, 0,3–0,9 mg·dm⁻³ P i 6,2–19,1 mg·dm⁻³ K.

Na zboczu stoku spływy powierzchniowe wystąpiły 7-krotnie (5 w roku 2003 i tylko 2 razy w roku 2004), a pomierzone koncentracje materiału glebowego wyniosły od 3,690 do 218,145 g·dm⁻³, wynosząc średnio 99,527 g·dm⁻³. Z materiałem tym transportowane było: 4,5–18,3 mg·dm⁻³ N-N_{og}, 0,7–25,5 mg·dm⁻³ P i 2,5–199,0 mg·dm⁻³ K. W formie rozpuszczonej wody spływów powierzchniowych zawierały: 3,4–29,8 mg·dm⁻³ N-N_{og}, 0,3–9,3 mg·dm⁻³ N-NH₃, 0,4–18,7 mg·dm⁻³ N-NO_x, 0,2–0,7 mg·dm⁻³ P i 7,0–15,4 mg·dm⁻³ K.

U podnóża stoku Mielnicy zjawiska spływu powierzchniowego zaobserwowano 10-krotnie (7 w roku 2003 i 3 w roku 2004) i transportowały one ze sobą materiał glebowy, którego koncentracje wynosiły od 5,463 do 236,228 g·dm⁻³ (średnio 85,297 g·dm⁻³). Wraz z materiałem glebowym odprowadzanym z tej strefy stoku odprowadzane było: 4,1–22,3 mg·dm⁻³ N-N_{og}, 1,6–10,1 mg·dm⁻³ P i 11,8–86,4 mg·dm⁻³ K. W formie rozpuszczonej wody te zawierały: 2,1–25,6 mg·dm⁻³ N-N_{og}, 0,1–16,0 mg·dm⁻³ N-NH₃, 0,4–18,3 mg·dm⁻³ N-NO_x, 0,1–0,4 mg·dm⁻³ P i 6,2–14,4 mg·dm⁻³ K.

Występującym opadom atmosferycznym oprócz sporadycznych spływów powierzchniowych towarzyszyły spływy śródpokrywowe (hipodermiczne). Występowały one prawie po wszystkich opadach (opady niższe, przy niskich wilgotnościach gleby były retencjonowane), a zasadnicza ich część odpływała warstwą orną (na głębokości 25 cm).

W warstwie podornej spływy śródpokrywowe wystąpiły sporadycznie i to w znikomych ilościach uniemożliwiających wykonanie analiz odpływu, a na głębokości 75 cm nie przechwycono żadnego odpływu. Ze względu na różniące się rodzaje uprawianych na polu roślin, poddane analizom spływy hipodermiczne przedstawiono oddzielnie dla każdego okresu obserwacyjnego.

W roku 2003 (pole obsiane było burakami cukrowymi) odpływem z warstwy ornej górnej części zbocza zostało odprowadzone od 0,968 do 55,387 g·dm⁻³ materiału glebowego. Zakresy koncentracji składników chemicznych odpływających wraz z tymi wodami przedstawiały się następująco:

- azot ogólny związany z materiałem glebowym od 8,2 do 21,3 mg·dm⁻³,
- azot ogólny rozpuszczony w wodzie od 2,9 do 18,2 mg·dm⁻³,
- azot amonowy od 0,3 do 11,8 mg·dm⁻³,
- tlenki azotu od 1,3 do 12,6 mg·dm⁻³,
- fosfor związany z materiałem glebowym od 2,2 do 12,0 mg·dm⁻³,
- fosfor w formie rozpuszczonej od 0,2 do 0,9 mg·dm⁻³,
- potas związany z materiałem glebowym od 6,4 do 124,8 mg·dm⁻³,
- potas w formie rozpuszczonej od 3,4 do 25,4 mg·dm⁻³.

Na zboczu z warstwy ornej odprowadzone zostało od 1,492 do 61,082 g·dm⁻³ materiału glebowego, a koncentracje składników chemicznych z nim związanych wahały się w zakresach:

- N-N_{og} od 3,4 do 11,4 mg·dm⁻³,
- P od 2,8 do 15,0 mg·dm⁻³,
- K od 2,8 do 153,6 mg·dm⁻³.

W formie rozpuszczonej spływy hipodermiczne na zboczu odprowadzały:

- od 11,4 do 43,0 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 2,4 do 42,0 mg·dm⁻³ N-NH₃,
- od 2,1 do 22,7 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,2 do 1,6 mg·dm⁻³ P,
- od 4,5 do 33,2 mg·dm⁻³ K.

W próbkach spływów hipodermicznych pobranych u podnóża stoku stwierdzono koncentracje materiału glebowego wahaące się od 1,529 do 76,283 g·dm⁻³, z którym odprowadzone zostały składniki chemiczne w koncentracjach:

- od 9,5 do 53,8 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 3,1 do 41,4 mg·dm⁻³ P,
- od 6,8 do 307,8 mg·dm⁻³ K.

W formie rozpuszczonej warstwą orną tej strefy stoku odpłynęło:

- od 6,3 do 43,1 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 1,2 do 18,0 mg·dm⁻³ N-NH₃,
- od 2,5 do 14,8 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,3 do 1,6 mg·dm⁻³ P,
- od 6,7 do 50,8 mg·dm⁻³ K.

Inaczej kształtowały się koncentracje wszystkich składników w roku 2004. Jesienią roku poprzedniego pole zostało obsiane pszenicą ozimą, a sposób i rodzaj nawożenia został dostosowany do wymagań nawozowych tej rośliny. W próbkach spływu hipodermicznego pobranych w partii przywierzchowinowej stwierdzano koncentracje materiału

glebowego wahające się od 1,412 do 31,476 g·dm⁻³ i z materiałem tym odprowadzone zostały składniki chemiczne w stężeniach:

- od 3,3 do 22,5 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 2,2 do 10,9 mg·dm⁻³ P,
- od 8,6 do 86,2 mg·dm⁻³ K.

W formie rozpuszczonej warstwą orną górnej części zbocza odpłynęło:

- od 1,9 do 18,2 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 0,2 do 1,7 N-NH₃,
- od 0,9 do 12,5 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,2 do 0,4 mg·dm⁻³ P,
- od 4,6 do 19,3 mg·dm⁻³ K.

Splywy hipodermiczne występujące na zboczu odprowadzały materiał glebowy w koncentracjach od 1,777 do 36,197 g·dm⁻³ i wraz z nim odprowadzone zostało:

- od 2,8 do 13,7 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 2,9 do 13,8 mg·dm⁻³ P,
- od 5,6 do 61,5 mg·dm⁻³ K.

Koncentracje form rozpuszczonych w spływach hipodermicznych na zboczu kształtowały się następująco:

- od 4,3 do 41,9 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 0,2 do 5,8 mg·dm⁻³ N-NH₃,
- od 0,5 do 22,5 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,3 do 0,6 mg·dm⁻³ P,
- od 4,3 do 17,7 mg·dm⁻³ K.

Próbki spływu hipodermicznego pobrane u podnóża stoku zawierały w sobie od 1,667 do 26,646 g·dm⁻³ materiału glebowego, który wyniósł wraz ze sobą:

- od 5,1 do 58,0 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 3,3 do 15,6 mg·dm⁻³ P,
- od 11,8 do 118,5 mg·dm⁻³ K.

W formie rozpuszczonej spływy te u podnóża stoku zawierały:

- od 2,3 do 27,8 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 0,1 do 3,0 mg·dm⁻³ N-NH₃,
- od 0,5 do 23,3 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,4 do 1,1 mg·dm⁻³ P,
- od 6,3 do 26,4 mg·dm⁻³ K.

Znajomość koncentracji materiału glebowego i składników chemicznych, a także zastosowanie metody „odpływ – stężenie”, pozwoliły obliczyć ładunki materii uruchamianej i przemieszczającej się na stoku. Wielkości te określono dla pojedynczych zdarzeń, z wyszczególnieniem charakterystycznych miejsc rzeźby stoku i formy odpływu. Stanowią one sumę ładunków transportowanych spływem powierzchniowym (w przypadku jego wystąpienia) i spływem śródpokrywowym.

Pojedyncze opady erozyjne uruchamiały w roku 2003 od 1,42 do 502,45 kg·ha⁻¹ materiału glebowego w partii przywierzchowinowej, od 2,82 do 25154,11 kg·ha⁻¹ w strefie zbocza stoku oraz od 2,89 do 60132,70 kg·ha⁻¹ u jego podnóża. Z materiałem tym zostało odprowadzone z górnej części zbocza:

- od 0,005 do 0,192 kg·ha⁻¹ N-N_{og},

- od 0,002 do 0,090 kg·ha⁻¹ P,
- od 0,005 do 0,787 kg·ha⁻¹ K.

Natomiast w formie rozpuszczonej odpłynęło z tej strefy:

- od 0,004 do 0,163 kg·ha⁻¹ N-N_{og},
- od 0,001 do 0,091 kg·ha⁻¹ N-NH₃,
- od 0,001 do 0,096 kg·ha⁻¹ N-NO_x,
- od 0,0001 do 0,010 kg·ha⁻¹ P,
- od 0,003 do 0,264 kg·ha⁻¹ K.

Na zboczu ładunki form związanych z cząstkami mineralnymi gleby kształtowały się następująco:

- od 0,003 do 0,386 kg·ha⁻¹ N-N_{og},
- od 0,003 do 0,211 kg·ha⁻¹ P,
- od 0,002 do 1,706 kg·ha⁻¹ K.

W formie rozpuszczonej ze strefy zboczowej odpłynęło:

- od 0,009 do 1,337 kg·ha⁻¹ N-N_{og},
- od 0,004 do 0,663 kg·ha⁻¹ N-NH₃,
- od 0,002 do 0,321 kg·ha⁻¹ N-NO_x,
- od 0,0002 do 0,034 kg·ha⁻¹ P,
- od 0,003 do 1,089 kg·ha⁻¹ K.

Przemieszczające się od wierzchołku poprzez zbocze składniki chemiczne trafiły do podnóża stoku, skąd zostały odprowadzone w formie związanej z materiałem glebowym w ilościach:

- od 0,003 do 0,893 kg·ha⁻¹ N-N_{og},
- od 0,002 do 0,524 kg·ha⁻¹ P,
- od 0,005 do 6,903 kg·ha⁻¹ K.

W formie rozpuszczonej wody odpływające z podnóża stoku w kierunku koryta cieku odprowadzały:

- od 0,005 do 1,606 kg·ha⁻¹ N-N_{og},
- od 0,002 do 0,713 kg·ha⁻¹ N-NH₃,
- od 0,002 do 0,599 kg·ha⁻¹ N-NO_x,
- od 0,0003 do 0,062 kg·ha⁻¹ P,
- od 0,005 do 2,301 kg·ha⁻¹ K.

W roku 2004 analogiczne wielkości ładunków przedstawiały się następująco:

- uruchamianego erozyjnie materiału glebowego:
 - w górnej części zbocza od 1,41 do 748,62 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 1,60 do 199,30 kg·ha⁻¹;
 - odpływającego z podnóża stoku od 1,50 do 694,49 kg·ha⁻¹;
- azotu ogólnego związanego z materiałem glebowym:
 - w górnej części zbocza od 0,005 do 0,179 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,0009 do 0,194 kg·ha⁻¹;
 - odpływającego z podnóża stoku od 0,003 do 0,600 kg·ha⁻¹;
- azotu ogólnego odpływającego w formie rozpuszczonej:
 - w górnej części zbocza od 0,003 do 0,883 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,006 do 0,251 kg·ha⁻¹;
 - odprowadzanego z podnóża stoku od 0,003 do 0,628 kg·ha⁻¹;

- odprowadzanego azotu amonowego:
 - w górnej części zbocza od 0,0003 do 0,133 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,0003 do 0,035 kg·ha⁻¹;
 - u podnóża stoku od 0,0002 do 0,028 kg·ha⁻¹;
- odprowadzanych tlenków azotu:
 - w górnej części zbocza od 0,001 do 0,334 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,0004 do 0,134 kg·ha⁻¹;
 - z podnóża stoku od 0,0004 do 0,465 kg·ha⁻¹;
- rozpuszczonych form fosforu:
 - w górnej części zbocza od 0,0004 do 0,016 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,0004 do 0,004 kg·ha⁻¹;
 - odprowadzanych z podnóża stoku od 0,0004 do 0,007 kg·ha⁻¹;
- fosforu związanego z materiałem glebowym:
 - w górnej części zbocza od 0,0022 do 0,134 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,0026 do 0,078 kg·ha⁻¹;
 - odprowadzanego z podnóża stoku od 0,0029 do 0,1721 kg·ha⁻¹;
- rozpuszczonych form potasu:
 - w górnej części zbocza od 0,005 do 0,224 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,004 do 0,115 kg·ha⁻¹;
 - odpływających z podnóża stoku od 0,006 do 0,176 kg·ha⁻¹,
- potasu związanego z materiałem glebowym:
 - w górnej części zbocza od 0,0085 do 0,517 kg·ha⁻¹;
 - na zboczu od 0,005 do 0,373 kg·ha⁻¹;
 - odpływającego z podnóża stoku od 0,011 do 0,711 kg·ha⁻¹.

6.2. Materiał fluwialny przemieszczający się korytem cieków

Materia przemieszczająca się od działu wodnego poprzez stoki do den dolin i koryt cieków dociera do tych miejsc w postaci materii mineralnej i organicznej. Obydwie te postacie trafiając do koryta cieków, nadają wodzie cechy decydujące o jakości odpływu. Jednym z parametrów decydujących o mętności wody jest obecność w wodzie rumowiska, a szczególnie rumowiska spławialnego i unoszonego. Pierwsze z nich stanowią wszelkiego rodzaju cząstki, które nigdy nie opadają w wodzie, natomiast drugie to cząstki mineralne, których koncentracja jest uzależniona m.in. od rodzaju gleb zalegających w zlewni jak i energii odpływającej korytem wody.

Pomiary intensywności transportu rumowiska unoszonego prowadzone są w zlewni Mielnicy jako odwzorowanie procesów erozyjnych zachodzących na tym obszarze. Stanowią one jeden z wiodących kierunków badań Instytutu Kształtowania i Ochrony Środowiska AR we Wrocławiu. Tematyka ta podjęta pod koniec lat 70. ubiegłego wieku przez Rojka [1989, 1992] została szeroko rozwinięta przez Żmudę [1996, 1998a i b], a także stanowiła podstawę różnych jej aspektów prezentowanych w badaniach Licznara [2003], Licznara i in. [2002], Pływaczyka i in. [1999], Sasika i in. [2001a i b], Szewrańskiego [2002], Szewrańskiego i in. [2000, 2002a i b, 2005] oraz Żmudy i in. [2001a, 2005].

Ponad 20-letni okres badań pozwolił na określenie zmienności koncentracji rumowiska unoszonego w zależności dla lat charakteryzujących się różnorodnością występowania opadów, uzależnionych od nich warunków hydrologicznych oraz od czynnika termicznego. Wprowadzone zmiany w użytkowaniu doliny cieką doprowadziły do modyfikacji warunków odpływu wody, co miało wpływ na przemieszczanie się rumowiska tą drogą. Pomierzone na posterunkach batometrycznych w półroczach lat hydrologicznych zakresy koncentracji rumowiska unoszonego oraz odpowiadające im dobowe ładunki przedstawiono w tabelach 22 i 23.

Tabela 22

Table 22

Zakresy koncentracji rumowiska unoszonego ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) oraz odpowiadające im dobowe ładunki ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$) pomierzone w półroczach lat hydrologicznych 1983–1997
 Ranges of sediment concentrations ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) and corresponding daily loads ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$) measured in hydrologic half-years 1983–1997

Lata Years	Koncentracje Concentrations		Ładunki Loads	
	XI–IV	V–X	XI–IV	V–X
1983	0,0041–0,3174	0,0001–0,3285	4,6–1535,7	0,1–10757,0
1984	0,0011–0,0982	0,0030–0,3075	1,0–186,7	2,6–1195,6
1985	0,0004–1,1887	0,0012–1,3859	0,4–32353,0	1,0–43826,0
1986	0,0006–0,4013	0,0053–1,7257	0,5–2565,8	4,6–25496,0
1987	0,0006–1,5633	0,0027–4,8896	0,5–31336,0	2,6–107728,0
1988	0,0011–1,4936	0,0001–0,6704	1,0–13292,0	0,1–2896,1
1989	0,0001–0,8186	0,0036–2,6618	0,1–5728,9	2,8–27368,0
1990	0,0008–0,0456	0,0001–0,1096	0,6–185,2	0,1–4109,7
1991	0,0019–0,0786	0,0007–0,1017	1,5–298,8	0,4–386,5
1992	0,0013–0,0404	0,0002–0,0333	0,7–62,8	0,1–51,8
1993	0,0018–0,0826	0,0006–0,2235	0,8–214,1	0,2–2955,8
1994	–*	–*	–*	–*
1995	0,0088–0,1992	0,0017–0,1996	8,4–415,1	1,5–827,8
1996	0,0011–0,1160	0,0040–0,2890	0,8–200,5	3,5–1048,7
1997	0,0021–0,0416	0,0017–0,5126	1,5–43,1	1,5–2480,2

* Brak danych ze względu na przerwę w badaniach od marca do czerwca 1994 r.

* Absence of data caused by break in investigations from March to June 1994.

Analiza koncentracji rumowiska unoszonego wskazuje, że przeciętnie korytem cieką prowadzone są stosunkowo niewielkie ilości materiału glebowego. Jednocześnie można zauważyć wpływ intensywnych opadów atmosferycznych oraz gwałtownych roztopów na koncentracje rumowiska w cieką. Przebieg tych zdarzeń powoduje, że koncentracje rumowiska unoszonego mogą dochodzić nawet do ok. $4,9 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$, a dobowe ładunki osiągają nawet 107 728 kg. Najwyższymi koncentracjami charakteryzuje się górny odcinek Mielnicy reprezentowany wynikami pomiarów w przekroju M1. W środkowej strefie (M2)

Zakresy koncentracji rumowiska unoszonego ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) w przekrojach M1-4 ciekłu Mielnica oraz odpowiadające im dobowe ładunki ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$) pomierzone w półroczach lat hydrologicznych 1998–2004
 Ranges of sediment concentrations ($\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) in Mielnica hydro-bathometric cross sections (M1-4) and corresponding daily loads ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$) measured in years 1998–2004

Lata Years	Koncentracje Concentrations		Ładunki Loads	
	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X
Przekrój M1 – Cross-section M1				
1998	0,0013–0,1256	0,0010–0,2147	1,3–223,6	0,8–554,7
1999	0,0013–0,0866	0,0016–0,0990	1,3–133,9	1,3–90,7
2000	0,0026–0,0952	0,0049–0,6377	2,6–140,7	5,8–840,7
2001	0,0066–0,2180	0,0076–0,8452	8,6–293,8	7,2–1555,4
2002	0,0140–0,0973	0,0129–0,1176	12,3–114,8	10,0–168,6
2003	0,0124–0,1072	0,0120–0,1090	10,1–122,3	8,3–124,4
2004	0,0076–0,1254	0,0065–0,1134	6,7–160,7	6,4–141,0
Przekrój M2 – Cross-section M2				
1998	0,0014–0,0758	0,0008–0,1122	1,4–138,8	0,7–297,6
1999	0,0010–0,0604	0,0014–0,0350	1,0–97,1	1,3–40,9
2000	0,0015–0,0779	0,0030–0,5158	1,7–123,2	3,9–722,0
2001	0,0050–0,2231	0,0022–0,9259	6,3–277,5	1,9–1656,0
2002	0,0135–0,0997	0,0131–0,1181	13,4–131,6	10,8–171,6
2003	0,0111–0,1112	0,0036–0,1155	10,6–137,5	7,9–139,3
2004	0,0071–0,1249	0,0071–0,1165	7,3–169,8	7,6–153,9
Przekrój M3 – Cross-section M3				
1998	0,0002–0,0644	0,0004–0,0930	0,1–36,2	0,1–73,2
1999	0,0002–0,0580	0,0002–0,0274	0,1–5,0	0,1–3,4
2000	0,0008–0,0305	0,0007–0,0702	0,1–5,5	0,1–13,3
2001	0,0008–0,0382	0,0009–0,0851	0,1–9,6	0,2–25,0
2002	0,0008–0,0258	0,0007–0,0363	0,1–6,6	0,1–10,7
2003	0,0065–0,0265	0,0064–0,0283	0,1–4,7	0,1–4,2
2004	0,0066–0,0294	0,0070–0,0271	0,1–9,2	0,1–11,8
Przekrój M4 – Cross-section M4				
1998	0,0010–0,1040	0,0008–0,1838	1,0–252,6	0,6–486,1
1999	0,0009–0,0752	0,0004–0,0435	1,0–130,0	0,4–52,6
2000	0,0011–0,0600	0,0013–0,3774	1,3–92,6	1,7–600,0
2001	0,0050–0,0622	0,0067–0,3824	6,9–103,7	7,0–898,7
2002	0,0134–0,0963	0,0127–0,1145	14,2–155,7	11,6–200,5
2003	0,0111–0,1148	0,0039–0,1174	11,5–164,5	9,0–157,7
2004	0,0074–0,1286	0,0074–0,1256	7,4–244,1	7,5–193,0

następuje częściowe oczyszczenie wody z materiału glebowego, w wyniku akumulacji rumowiska w stawie przypałacowym. Wstępnie oczyszczona woda stanowi źródło zasilania stawu hodowlanego, w którym powinien nastąpić kolejny proces akumulacji rumowiska. Jednakże gospodarka wodna na tym obiekcie przyczynia się do notowania w przekroju zamykającym zlewnię krótkoterminowych, podwyższonych zawartości rumowiska unoszonego oraz związanych z tym ładunków. Ilości materiału glebowego oraz odpowiadające im wskaźniki odpływowej denudacji jednostkowej przedstawiono w tabelach 24 i 25.

Tabela 24

Table 24

Okresowe ilości rumowiska unoszonego (Mg) transportowane ciekim Mielnica w latach 1983–1997 oraz odpowiadające im wskaźniki denudacji odpływowej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Periodical sediment loads (Mg) transported in Mielnica stream in years 1983–1997 and corresponding sediment yields ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Lata Years	Ładunek rumowiska Sediment load		Wskaźnik denudacji Sediment yield		
	XI–IV	V–X	XI–IV	V–X	XI–X
1983	11,2	16,5	0,0168	0,0247	0,0415
1984	1,9	8,9	0,0028	0,0133	0,0162
1985	101,6	71,3	0,1523	0,1069	0,2592
1986	10,0	39,3	0,0150	0,0589	0,0739
1987	89,9	206,1	0,1348	0,3090	0,4438
1988	27,3	8,1	0,0409	0,0121	0,0531
1989	14,1	31,5	0,0211	0,0472	0,0684
1990	1,8	4,9	0,0027	0,0073	0,0100
1991	4,6	3,2	0,0069	0,0048	0,0117
1992	2,0	0,5	0,0030	0,0007	0,0037
1993	3,8	15,2	0,0057	0,0228	0,0285
1994	–*	–*	–*	–*	–*
1995	10,2	9,9	0,0153	0,0148	0,0301
1996	3,9	16,0	0,0058	0,0240	0,0298
1997	1,8	14,2	0,0027	0,0213	0,0240

* Brak danych ze względu na przerwę w badaniach od marca do czerwca 1994 r.

* Absence of data caused by break in investigations from March to June 1994

Obliczone ładunki rumowiska unoszonego wyraźnie wskazują, że wraz ze wzrostem opadów atmosferycznych zwiększa się ładunek rumowiska. Na podstawie obliczonych rocznych wskaźników denudacji odpływowej, przyjmując klasyfikację zaproponowaną przez Brańskiego [za Ziemiński 1978], w okresach suchych i normalnych można obszar zlewni zaliczyć do słabo zagrożonych erozją wodną gleb. W latach mokrych wartości wskaźników denudacji mogą przekroczyć $0,4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a to klasyfikuje zlewnię Mielnicy do obszarów silnie zagrożonych. Podobne wartości podają Mazur i Pałys [1991], Pałys i Mazur [1994] oraz Pałys i in. [1997], dla zlewni zlokalizowanych na Wyżynie Lubelskiej, zaliczanej do najsilniej erodowanych obszarów Polski. Przeprowadzone w latach 1998–2004 badania wskazują, że wartość wskaźnika denudacji odpływowej maleje wraz z wydłużaniem się biegu ciekłu oraz związanym z tym przyrostem powierzchni zlewni.

Górne jej partie charakteryzują się wartościami najwyższymi, natomiast w pozostałych strefach uwidacznia się oddziaływanie stawów rybnych na wynoszone ilości materiału glebowego, a tym samym na osiąganą wartość wskaźnika denudacji.

Tabela 25

Table 25

Okresowe ilości rumowiska unoszonego (Mg) transportowane w latach 1998–2004 poza przekroje M1-4 cieku Mielnica oraz odpowiadające im wskaźniki denudacji odpływowej ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
 Periodical sediment loads (Mg) transported in years 1998–2004 beyond sections M1-4 of Mielnica stream and corresponding sediment yields ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Lata Years	Ładunek rumowiska Sediment load		Wskaźnik denudacji Sediment yield		
	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-X
Przekrój M1 – Cross-section M1					
1998	4,0	5,4	0,0118	0,0159	0,0277
1999	2,5	2,8	0,0074	0,0082	0,0156
2000	4,3	6,9	0,0127	0,0203	0,0330
2001	6,2	12,0	0,0182	0,0353	0,0536
2002	6,1	5,0	0,0180	0,0147	0,0327
2003	4,0	3,2	0,0118	0,0094	0,0212
2004	3,6	3,3	0,0106	0,0097	0,0203
Przekrój M2 – Cross-section M2					
1998	3,2	4,1	0,0085	0,0109	0,0194
1999	2,0	2,0	0,0053	0,0053	0,0106
2000	3,4	5,5	0,0090	0,0146	0,0236
2001	4,7	11,3	0,0125	0,0300	0,0425
2002	6,6	5,3	0,0175	0,0141	0,0316
2003	4,4	3,5	0,0117	0,0093	0,0210
2004	3,8	3,7	0,0101	0,0098	0,0199
Przekrój M3 – Cross-section M3					
1998	0,4	0,6	0,0014	0,0021	0,0035
1999	0,1	0,1	0,0004	0,0004	0,0007
2000	0,1	0,2	0,0004	0,0007	0,0011
2001	0,2	0,4	0,0007	0,0014	0,0021
2002	0,2	0,3	0,0007	0,0011	0,0018
2003	0,2	0,2	0,0007	0,0007	0,0014
2004	0,2	0,3	0,0007	0,0011	0,0018
Przekrój M4 – Cross-section M4					
1998	3,7	5,6	0,0052	0,0079	0,0131
1999	1,8	1,9	0,0025	0,0027	0,0052
2000	3,0	4,7	0,0042	0,0066	0,0108
2001	4,2	8,3	0,0059	0,0117	0,0176
2002	7,4	6,0	0,0104	0,0084	0,0188
2003	5,1	4,1	0,0072	0,0058	0,0129
2004	4,8	4,7	0,0067	0,0066	0,0134

Woda odprowadza ze sobą substancje chemiczne. Ich stężenia uzależnione są od ich powszechności, rozpuszczalności i podatności na procesy fizykochemiczne. Oprócz rumowiska ciekli transportują również materiał rozpuszczony wchodzący w skład rumowiska spławianego. Stanowią go jony oraz substancje chemiczne dostarczane do koryta ciekli na drodze zrzutów zanieczyszczeń punktowych, a także ze spływów powierzchniowych i odpływów gruntowych.

Pomierzone w latach 1998–2004 w przekrojach hydrometryczno-batometrycznych zakresy stężeń analizowanych składników chemicznych przedstawiono w tabeli 26.

Stężenia poszczególnych składników chemicznych wykazywały największe zróżnicowanie podczas przyborów wód, natomiast najwyższe koncentracje generalnie obserwowano w trakcie niżówek. W okresach suchych przeciętna koncentracja całkowitej zawartości N-N_{og} zbliżona była do 6,5 mg·dm⁻³ i tylko niewiele wzrastała wraz z przyrostem powierzchni zlewni, natomiast w latach charakteryzujących się większymi natężeniami przepływów w poszczególnych przekrojach pomiarowych obserwowano stopniowy spadek koncentracji tego składnika. Zasadniczą formą jego odpływu były postacie rozpuszczone w wodzie stanowiące przeciętnie ok. 75% odprowadzanych ilości. Koncentracje azotanów w punktach pomiarowych były w miarę stałe i wykazywały tylko niewielki wzrost wraz z biegiem ciekli. Pomierzone koncentracje azotynów wskazują, że na całej długości kontrolowanego odcinka ciekli są one wyrównane, średnio 0,02 mg N-NO₂·dm⁻³ (w przekrojach M1, M2 i M4). W przypadku azotu amonowego można przyjąć, że przeciętnie odpływa on w stałym stężeniu wynoszącym około 0,3 mg N-NH₃·dm⁻³, a jego zawartość stopniowo wzrastała wzdłuż biegu ciekli po przejściu przez obszary zabudowane i na odpływie ze stawu hodowlanego. Podobnie w analizowanym okresie wynosił odpływ fosforu, który można przyjąć za stały, w koncentracji ok. 0,4 mg P·dm⁻³. Stężenia w okresach suchych są nieco wyższe niż w pozostałych latach. Koncentracja potasu wykazuje wyraźne zróżnicowanie wzrastając wraz z ilością odpływającej wody. Na odpływie z obszarów rolniczych przeciętna koncentracja tego składnika wynosiła 7,6 mg K·dm⁻³, a po przejściu przez obszary zabudowane i na odpływie ze stawu hodowlanego wzrosła do 9,5 mg K·dm⁻³. Składnik ten zasadniczo odprowadzany był w postaci rozpuszczonej w wodzie, która stanowiła ok. 85% całości transportu. W przekroju M3 w okresach suchych koncentracje wszystkich składników były przeciętnie niewielkie, ale wyraźnemu zwiększeniu natężeń przepływów w korycie tego dopływu Mielnicy towarzyszył wzrost stężeń do wielkości pomierzonych w pozostałych przekrojach.

Określone koncentracje składników chemicznych oraz średnie dobowe natężenia przepływów w poszczególnych przekrojach pomiarowych pozwoliły obliczyć odprowadzane ładunki dla całkowitych zawartości jak i form związanych z rumowiskiem. Wielkości te przedstawiono w tabelach 27–30.

Tabela 26
Table 26
Pomierzone w latach 1998–2004 zakresy koncentracji składników chemicznych w przekrojach batometryczno-hydrometrycznych (M1-4) ciekłu Mielnica
Ranges of the chemical compounds concentrations measured in Mielnica hydro-bathometric cross sections (M1-4) in years 1998–2004

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Stężenia w przekrojach Concentrations in cross-sections											
		M1			M2			M3			M4		
		całk. total	rozp. susp.	całk. total	rozp. susp.	całk. total	rozp. susp.	całk. total	rozp. susp.	całk. total	rozp. susp.		
Azot ogólny Total nitrogen	mg N-N _{og} ·dm ⁻³	$\frac{3,7-13,2}{6,3}$	$\frac{2,6-11,5}{4,7}$	$\frac{3,6-14,6}{6,1}$	$\frac{2,8-12,5}{4,6}$	$\frac{3,6-14,5}{5,9}$	$\frac{2,4-11,1}{4,8}$	$\frac{3,9-13,6}{6,4}$	$\frac{2,9-9,5}{4,8}$				
Azotany Nitrate nitrogen	mg N-NO ₃ ·dm ⁻³		$\frac{0,1-2,0}{0,6}$		$\frac{0,1-2,9}{0,7}$				$\frac{0,0-2,3}{0,49}$				$\frac{0,2-2,9}{0,8}$
Azotyny Nitrite nitrogen	mg N-NO ₂ ·dm ⁻³		$\frac{0,01-0,1}{0,02}$		$\frac{0,01-0,1}{0,02}$								$\frac{0,01-0,1}{0,02}$
Azot amonowy Ammonium nitrogen	mg N-NH ₃ ·dm ⁻³		$\frac{0,01-2,3}{0,27}$		$\frac{0,01-3,2}{0,33}$				$\frac{0,0-2,1}{0,25}$				$\frac{0,02-5,0}{0,36}$
Fosfor Phosphorus	mg P·dm ⁻³	$\frac{0,05-2,3}{0,4}$	$\frac{0,01-0,9}{0,17}$	$\frac{0,1-2,6}{0,4}$	$\frac{0,1-1,1}{0,22}$	$\frac{0,01-1,7}{0,31}$	$\frac{0,0-0,9}{0,12}$	$\frac{0,2-2,7}{0,51}$					$\frac{0,1-1,4}{0,28}$
Potas Potassium	mg K·dm ⁻³	$\frac{3,2-17,6}{7,6}$	$\frac{3,0-14,3}{6,5}$	$\frac{3,9-18,5}{9,1}$	$\frac{3,3-15,6}{7,5}$	$\frac{0,4-20,6}{8,6}$	$\frac{0,3-18,1}{7,7}$	$\frac{4,0-25,6}{9,5}$					$\frac{3,1-16,0}{8,1}$

* Pomierzone ilości przedstawiają koncentrację tlenków azotu (NO_x) ze względu na zbyt małe objętości analizowanych próbek wody.

* Regarding small volume of water samples, listed amounts represent NO_x concentrations.

Tabela 27

Table 27

Ładunki składników chemicznych odprowadzanych w latach 1998–2004 poza przekrój M1
cieku Mielnica

Chemical compounds loads carried out beyond M1 Mielnica cross-section in years 1998–2004

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Ładunki – Loads		
		XI–IV	V–X	XI–X
Całkowite zawartości składnika – Total loads				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og}	974,8÷1295,7	956,1÷1197,8	1930,9÷2493,5
Tlenki azotu Oxyde nitrogen	kg N-NO _x	136,2÷171,0	54,7÷118,7	190,9÷267,9
Azot amonowy Ammonium nitrogen	kg N-NH ₃	24,5÷112,5	16,6÷40,1	41,1÷140,4
Fosfor Phosphorus	kg P	56,9÷112,5	45,2÷80,6	102,1÷193,1
Potas Potassium	kg K	1141,2÷1420,5	1218,4÷1914,2	2359,6÷3326,8
Formy związane z rumowiskiem unoszonym – Sediment bounded forms				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og}	217,0÷444,3	180,6÷213,1	421,8÷657,4
Fosfor Phosphorus	kg P	30,8÷68,7	28,4÷71,0	59,2÷113,1
Potas Potassium	kg K	162,8÷254,5	178,0÷380,6	369,8÷635,1

Tabela 28

Table 28

Ładunki składników chemicznych odprowadzanych w latach 1998–2004 poza przekrój M2
cieku Mielnica

Chemical compounds loads carried out beyond M2 Mielnica cross-section in years 1998–2004

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Ładunki – Loads		
		XI–IV	V–X	XI–X
Całkowite zawartości składnika – Total loads				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og}	963,2÷1342,8	1004,1÷1251,1	2208,3÷2512,7
Tlenki azotu Oxyde nitrogen	kg N-NO _x	187,9÷228,2	78,7÷140,3	266,6÷366,7
Azot amonowy Ammonium nitrogen	kg N-NH ₃	43,2÷136,3	19,2÷46,8	62,4÷157,3
Fosfor Phosphorus	kg P	56,9÷135,7	45,2÷99,0	102,1÷234,7
Potas Potassium	kg K	1456,3÷1967,4	1197,8÷2539,5	2875,0÷4443,8
Formy związane z rumowiskiem unoszonym – Sediment bounded forms				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og}	169,2÷481,4	166,1÷215,7	358,0÷684,9
Fosfor Phosphorus	kg P	24,8÷79,8	16,3÷41,1	45,5÷120,8
Potas Potassium	kg K	291,5÷560,7	112,5÷512,8	562,2÷809,4

Tabela 29

Table 29

Ładunki składników chemicznych odprowadzanych w latach 1998–2004 poza przekrój M3
cieku Mielnica

Chemical compounds loads carried out beyond M3 Mielnica cross-section in years 1998–2004

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Ładunki – Loads		
		XI–IV	V–X	XI–X
Całkowite zawartości składnika – Total loads				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og.}	87,4÷199,6	91,0÷226,0	210,5÷425,6
Tlenki azotu Oxyde nitrogen	kg N-NO _x	17,6÷37,6	7,3÷22,1	28,9÷58,9
Azot amonowy Ammonium nitrogen	kg N-NH ₃	5,2÷25,0	2,5÷8,6	7,7÷33,6
Fosfor Phosphorus	kg P	7,0÷21,9	4,9÷16,8	11,9÷38,7
Potas Potassium	kg K	183,7÷362,4	178,6÷411,4	363,0÷773,8
Formy związane z rumowiskiem unoszonym – Sediment bounded forms				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og.}	13,0÷55,3	13,4÷54,2	37,3÷75,9
Fosfor Phosphorus	kg P	4,7÷13,4	2,8÷7,0	7,5÷20,4
Potas Potassium	kg K	29,2÷41,9	36,4÷46,4	69,8÷88,2

Tabela 30

Table 30

Ładunki składników chemicznych odprowadzanych w latach 1998–2004 poza przekrój M4 ciek
Mielnica

Chemical compounds loads carried out beyond M4 Mielnica cross-section in years 1998–2004

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Ładunki – Loads		
		XI–IV	V–X	XI–X
Całkowite zawartości składnika – Total loads				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og.}	1104,3÷1568,1	1183,7÷1584,0	2532,1÷3088,5
Tlenki azotu Oxyde nitrogen	kg N-NO _x	234,1÷260,1	97,9÷144,0	342,6÷394,7
Azot amonowy Ammonium nitrogen	kg N-NH ₃	42,8÷141,5	24,7÷78,9	67,5÷191,6
Fosfor Phosphorus	kg P	59,2÷187,4	40,7÷146,6	113,7÷334,0
Potas Potassium	kg K	1714,4÷2335,9	1513,6÷3270,9	3394,3÷5466,6
Formy związane z rumowiskiem unoszonym – Sediment bounded forms				
Azot ogólny Total nitrogen	kg N-N _{og.}	189,6÷508,6	273,0÷310,8	484,3÷781,6
Fosfor Phosphorus	kg P	30,4÷101,4	15,3÷49,1	54,0÷150,6
Potas; Potassium	kg K	253,9÷349,1	142,1÷902,3	491,2÷1249,7

W latach 2002–2004 prowadzono również pomiary zawartości węgla całkowitego i organicznego. Układ węglanowy ma jedno z zasadniczych znaczeń dla środowiska wodnego wpływając na odczyn wód naturalnych [Dojlido 1995]. W grupie tej wyróżnia się następujące formy: dwutlenek węgla gazowy, dwutlenek węgla rozpuszczony w wodzie, kwas węglowy, wodorowęglany oraz węglany nierozpuszczalne w wodzie. Poszczególne z form uczestniczą w wielu procesach i reakcjach zachodzących w środowisku wodnym, np. w procesie fotosyntezy, respiracji, rozpuszczaniu i wytrącaniu ciał stałych czy biochemicznym rozkładzie związków organicznych. Całkowita zawartość węgla w próbce to węgiel nieorganiczny i organiczny, z tym że ten pierwszy obejmuje wszystkie formy układu węglanowego występujące w wodzie. Węgiel organiczny to wszystkie związki zawierające C. Więc, źródłami jego pochodzenia są m.in. węglowodany, białka, tłuszcze, kwasy organiczne, detergenty, węglowodory, substancje humusowe wymywane z gleby oraz wiele innych. W ramach tej grupy rozróżnia się węgiel organiczny: ogólny, rozpuszczony, w zawiesinach oraz lotny węgiel organiczny.

Pomierzone w trakcie prowadzenia badań zakresy stężeń węgla (ogółem oraz organicznego) dla poszczególnych przekroi pomiarowych przedstawiono w tabeli 31.

Tabela 31

Table 31

Pomierzone w okresie XI 2002–X 2004 zakresy koncentracji całkowitej węgla (C_{total}) oraz węgla organicznego (C_{org}) w przekrojach batometryczno-hydrometrycznych (M1-4) cieku Mielnica
 Ranges of the total (C_{total}) and organic carbon (C_{org}) concentrations measured in Mielnica hydro-bathometric cross-sections (M1-4) in period XI 2002–X 2004

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Stężenia C w przekrojach Concentrations C in cross-sections			
		M1	M2	M3	M4
C_{total}	mg·dm ⁻³	<u>35,6–148,7</u>	<u>37,1–140,9</u>	<u>41,0–145,8</u>	<u>40,9–133,8</u>
		85,6	87,9	91,4	83,9
C_{org}	mg·dm ⁻³	<u>3,6–87,2</u>	<u>4,3–94,1</u>	<u>4,2–95,6</u>	<u>3,6–95,6</u>
		50,3	52,4	53,8	53,0

Rozpatrując koncentracje węgla występujące w poszczególnych przekrojach, przeciętnie najwyższe (w odniesieniu do węgla całkowitego i organicznego) występują w przekroju M3 zamykającym zlewnię dopływu Mielnicy. Specyfika tego obszaru polega na tym, że charakteryzuje się on największym udziałem obszarów zadrzewionych i najmniejszym udziałem obszarów zabudowanych. Jedną z największych połaci leśnych usytuowaną jest w bezpośrednim sąsiedztwie koryta dopływu Mielnicy, a tym samym w bezpośrednim sąsiedztwie przekroju pomiarowego. Pomierzone koncentracje jednakże nie odbiegają znacząco od stwierdzonych w pozostałych przekrojach.

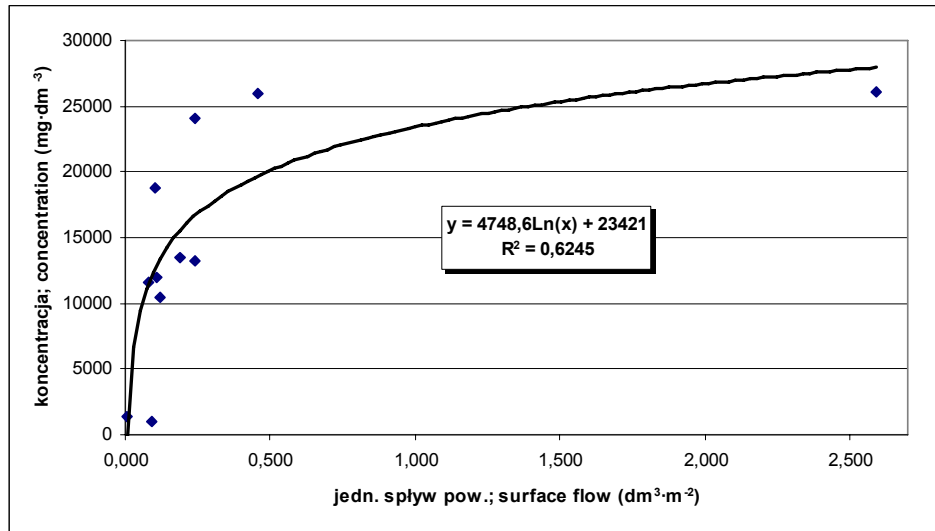
Rozpatrując ładunki węgla odpływające poza przekroje pomiarowe, stwierdzono większe wynoszenia w roku średnio mokrym niż w roku suchym. Podobne tendencje zarysowują się również w poszczególnych półroczach lat hydrologicznych.

7. Funkcjonowanie systemu transportu fluwialnego Mielnicy

7.1. Podsystem stokowy

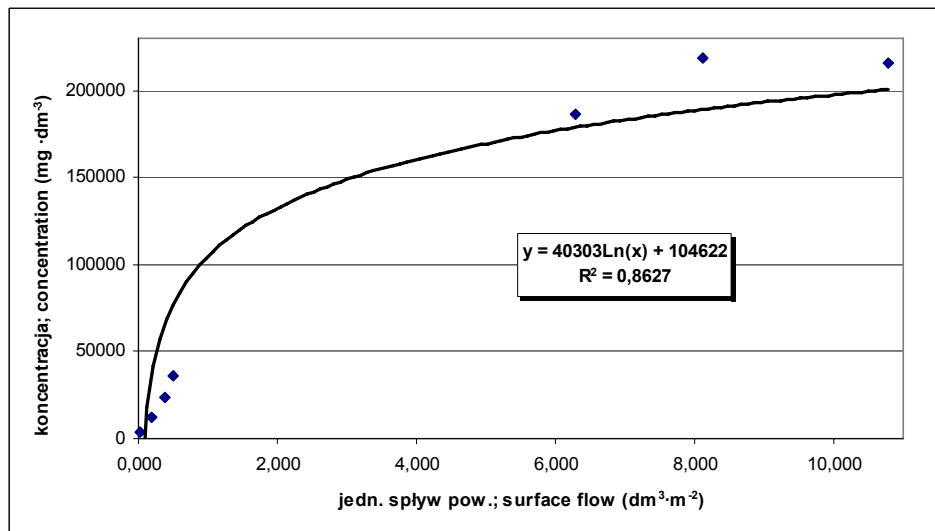
Powszechnie znanym i udowodnionym w wielu pracach naukowych jest fakt, że jednym z najbardziej degradujących środowisko glebowe zjawisk hydrometeorologicznych jest spływ powierzchniowy. O możliwości jego wystąpienia oprócz cech charakteryzujących stosunki powietrzno-wodne środowiska pedologicznego, wybranych cech fizycznych gleby, warunków lokalizacji fizjograficznej, warunków gospodarczych środowiska stokowego oraz rodzaju i stopnia pokrycia roślinnością, w głównej mierze będzie decydowała intensywność opadu atmosferycznego. Z przedstawionej wcześniej charakterystyki gleb zalegających w zlewni Mielnicy wyraźnie wynika, że dominującym gatunkiem są tutaj lessy, a więc gleby zaliczane do pierwszej klasy podatności na zmywanie [Józefaciuk, Józefaciuk 1996]. Dodatkowo charakteryzują się one, wykazaniem analizami laboratoryjnymi, wyraźnym zróżnicowaniem swoich cech fizykochemicznych w ujęciu stoku.

Woda spływając po powierzchni terenu powoduje odspojenie i transport materiału glebowego. Pomierzone koncentracje materiału glebowego istotnie zależą od ilości spływającej wody (rys. 13–15). Równocześnie zaobserwowano, że na koncentracje w spływach powierzchniowych nie wpływają dobowe sumy opadów atmosferycznych, lecz intensywność opadu. Analiza tego czynnika wykazała, że na spodziewany wzrost zmywów glebowych na stoku nie wpływa również średnia intensywność opadów. Natomiast chwilowe maksymalne natężenie nie pozostaje bez znaczenia dla koncentracji w spływie powierzchniowym występującym w partii przywierzchowej (rys. 16). Na zboczu i u podnóża stoku takich zależności nie stwierdzono. Nasuwa się wniosek, że w momencie powstawania spływu powierzchniowego na wierzchowinie o ilościach uruchamianego erozyjnie materiału glebowego decyduje zarówno chwilowe maksymalne natężenie opadu, jak i związana z nim ilość odpływającej wody wynikająca ze zdolności infiltracyjnych gleby. Natomiast w pozostałych strefach stoku odprowadzane ilości tego składnika materii zależą od rozmiarów spływu powierzchniowego.



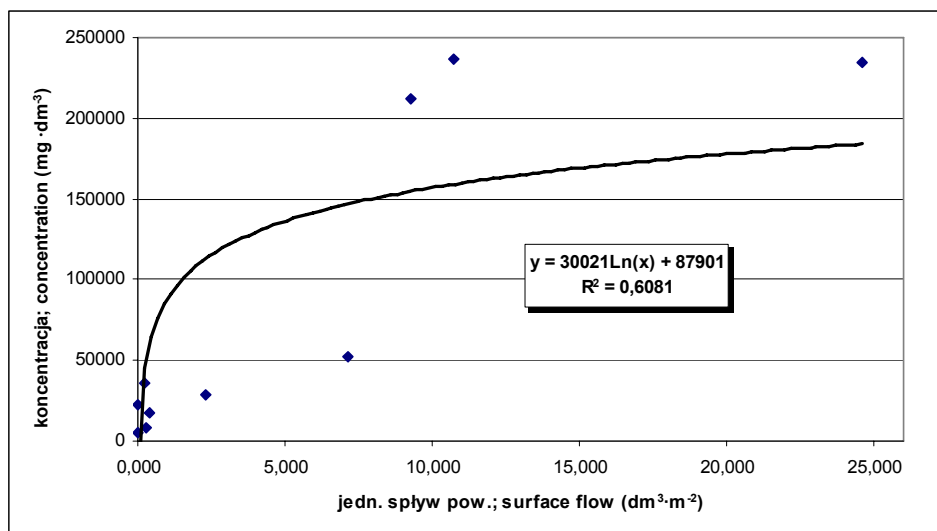
Rys. 13. Zależność koncentracji materiału glebowego w spływie powierzchniowym w górnej części zbocza od jego jednostkowej wielkości

Fig. 13. Relation between sediment concentration in upper slope cross-section surface flow and runoff yield



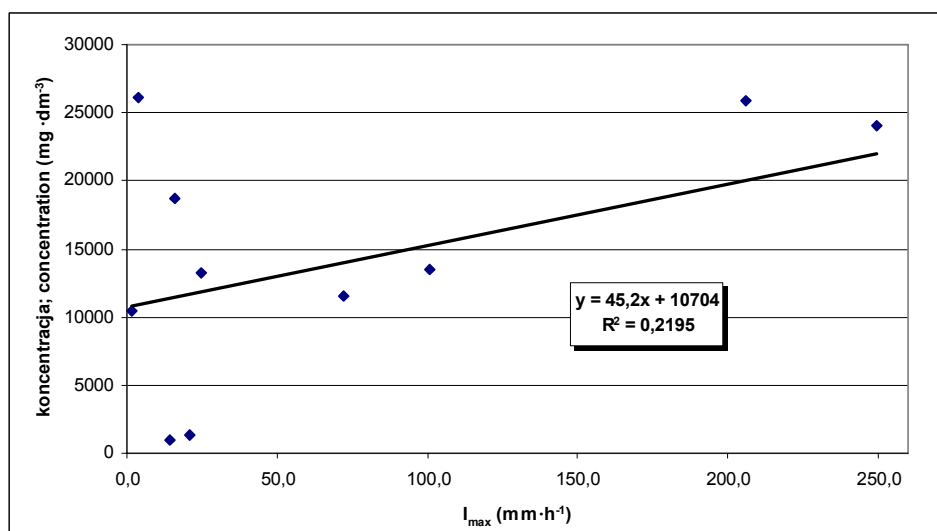
Rys. 14. Zależność koncentracji materiału glebowego w spływie powierzchniowym na zboczu od jego jednostkowej wielkości

Fig. 14. Relation between sediment concentration in slope surface flow and runoff yield



Rys. 15. Zależność koncentracji materiału glebowego w spływie powierzchniowym u podnóża stoku od jego jednostkowej wielkości

Fig. 15. Relation between sediment concentration in foothill surface flow and runoff yield



Rys. 16. Zależność koncentracji materiału glebowego w spływie powierzchniowym w górnej części zbocza od chwilowej maksymalnej intensywności opadu

Fig. 16. Relation between sediment concentration in upper slope cross-section surface flow and the maximum temporary rainfall intensity

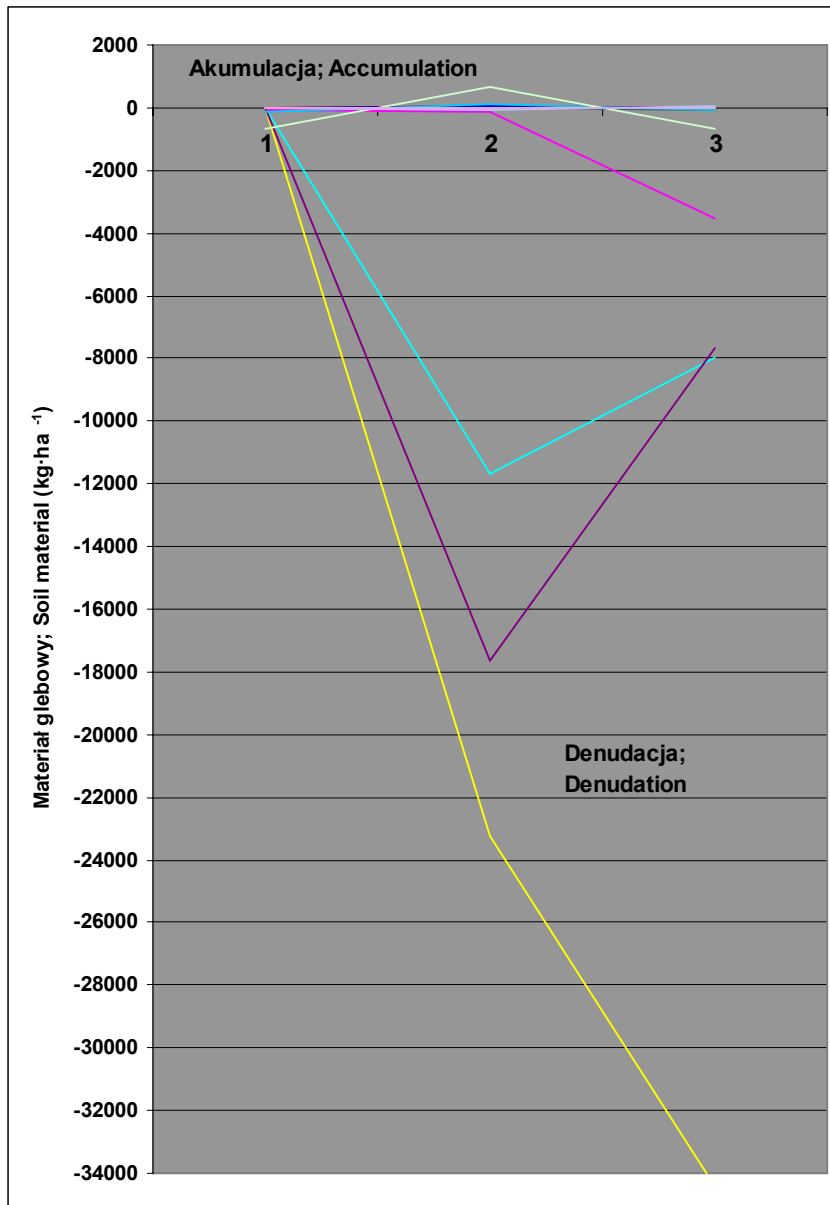
Jak więc spływy powierzchniowe kształtowały rzeźbę stoku w trakcie prowadzenia badań?

W celu udzielenia odpowiedzi na to pytanie przeanalizowano pojedyncze zdarzenia tego zjawiska hydrologicznego, bilansując ładunki materiału glebowego uruchamiane i przemieszczające się w obrębie charakterystycznych elementów ukształtowania terenu. Wyniki przedstawiono na rysunku 17. Analizując charakter przebiegu pojedynczych krzywych można zauważyć, że przemieszczanie materiału glebowego wzdłuż stoku jest bardzo zróżnicowane. Zygzakowaty charakter, zwłaszcza przy zdarzeniach o mniejszej intensywności wskazuje, że w obrębie stoku materiał glebowy przemieszcza się skokowo. Strefy akumulacji zmywu występują wtedy nawet w miejscu, które powszechnie uznawane jest za najsilniej erodowane, czyli na zboczu. W przypadku zdarzeń ekstremalnych redepozycja materiału następuje aż do podnóża stoku, ale i w tym miejscu czasami odpływ jest mniejszy niż dostawa z wyższych stref. Oznacza to, że nie wszystkie zdarzenia o gwałtownym charakterze powodują rosnącą redepozycję w kierunku cieku – część tego transportu jest akumulowana właśnie w tych miejscach. Takie są efekty funkcjonowania systemu stokowego podczas zdarzeń pojedynczych. Gdybyśmy jednak zbilansowali ładunki pomierzone w całym okresie badawczym, to okazuje się, że na stoku nastąpiło ustawiczne zmywanie materiału w kierunku jego podstawy (rys. 18). Charakter przebiegu skumulowanej krzywej zmywania wskazuje, że na stoku następuje ciągła denudacja, przy czym jej najsilniejszy przebieg jest właśnie na zboczu.

Wieloletnie wyłącznie orne użytkowanie pola na stoku doprowadziło do tego, że w profilu glebowym obserwujemy początki tworzenia się „podeszwy płużnej”. Zróżnicowane, w ujęciu zarówno rzeźby stoku, jak i głębokości zalegania warstw, możliwości infiltracji wód opadowych powodują powstawanie kontaktowych spływów hipodermicznych w warstwie ornej. Towarzyszą one prawie wszystkim opadom atmosferycznym, a o ilości odpływającej tą warstwą wody decyduje w głównej mierze wilgotność gleby w chwili wystąpienia opadu. Spływy te stają się również środkiem transportu m.in. materiału glebowego. W roku 2003 na polu uprawiano buraki cukrowe, natomiast w następnym zostało ono obsiane pszenicą ozimą. W górnej części zbocza w obydwu latach stwierdzono istnienie istotnej zależności koncentracji materiału glebowego od chwilowej maksymalnej intensywności opadu (rys. 19 i 20). Koncentracje silniej korelują w warunkach uprawy buraków cukrowych oraz wyraźnie słabną, gdy powierzchnię pola pokrywa pszenica ozima.

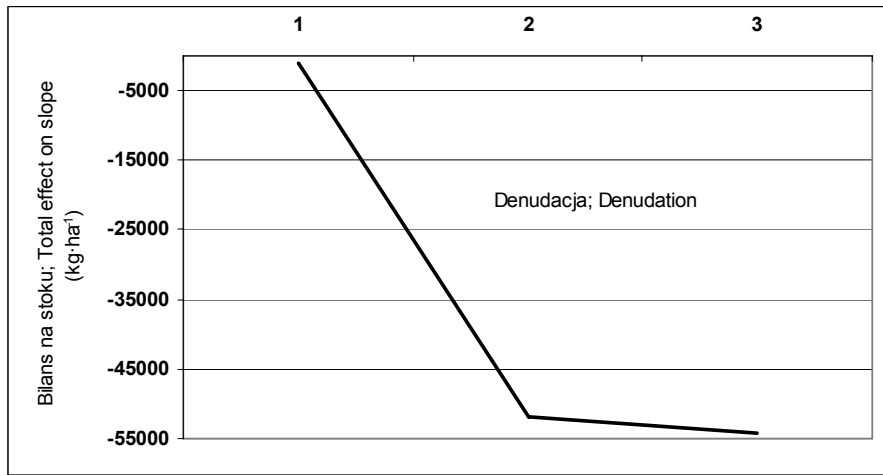
Próba ustalenia istnienia zależności zarówno dla sum dobowych, średniego natężenia opadu, jak i wielkości odpływu zakończyła się niepowodzeniem. Można zatem wnioskować, że w tej strefie stoku, ilości wymywanego spływem hipodermicznym materiału glebowego istotnie zależą od tempa dostawy wody współdecydującego o intensywności przemywania warstwy ornej.

Analizy przeprowadzone dla pozostałych punktów pomiarowych na stoku (zboczu i u jego podnóża) wykazały taką samą tendencję oraz dodatkowo zależność od objętości tego spływu. Podobnie jak w partii przywierzchowinowej współczynniki determinacji osiągają wyższe wartości w warunkach uprawy rośliny okopowej niż zbożowej (tab. 32).



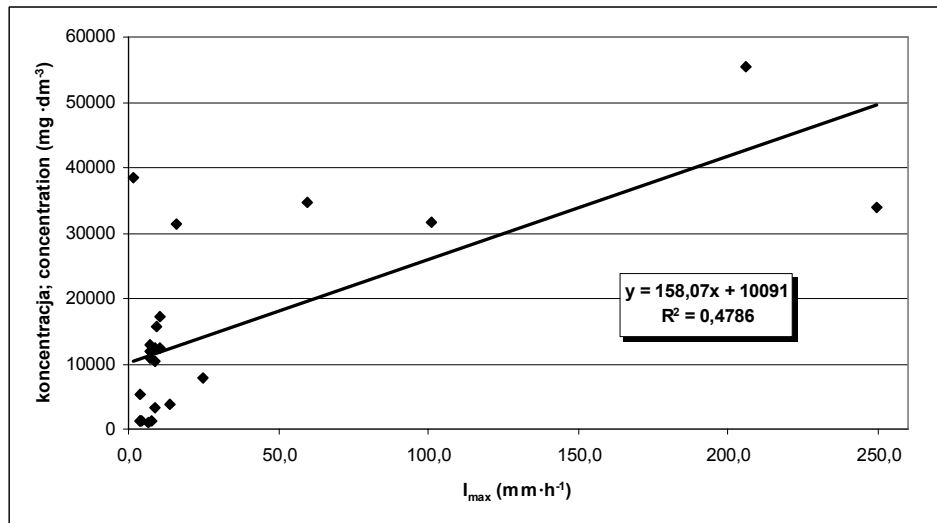
Rys. 17. Odprowadzanie i depozycja materiału glebowego na stoku w trakcie spływów powierzchniowych w roku 2003 i 2004: 1 – partia przywierzchwinowa; 2 – zbocze; 3 – podnóże stoku

Fig. 17. Transport and deposition of soil material on slope during overland flows in 2003 and 2004: 1 – upper slope cross-section, 2 – slope, 3 – foothill



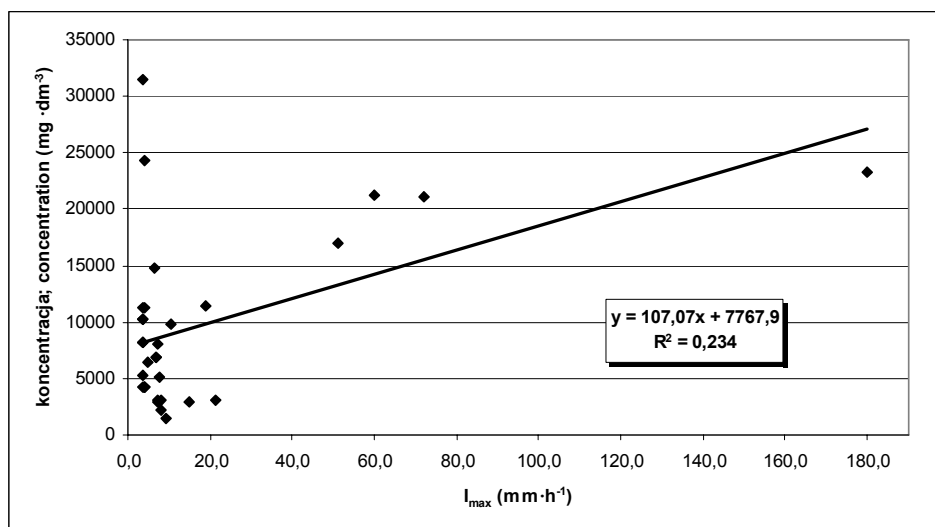
Rys. 18. Skumulowana krzywa transportu materiału glebowego na stoku przemieszczanego w trakcie spływów powierzchniowych w roku 2003 i 2004: 1 – górna część zbocza; 2 – zbocze; 3 – podnóże stoku

Fig. 18. Cumulative curve of soil slope transport during overland flows in 2003 and 2004: 1 – upper slope cross-section; 2 – slope; 3 – foothill



Rys. 19. Zależność koncentracji materiału glebowego w odpływach z warstwy ornej górnej części zbocza od maksymalnych chwilowych intensywności opadów w roku 2003

Fig. 19. Relation between sediment concentration in outflows from upper slope cross-section arable layer and the maximum temporary rainfall intensity in 2003



Rys. 20. Zależność koncentracji materiału glebowego w odpływach z warstwy ornej górnej części zbocza od maksymalnych chwilowych intensywności opadów w roku 2004

Fig. 20. Relation between sediment concentration in outflows from upper slope cross-section arable layer and the maximum temporary rainfall intensity in 2004

Tabela 32
Table 32

Równania zależności koncentracji materiału glebowego od maksymalnej chwilowej intensywności opadu (I_{max}), wielkości spływu hipodermicznego oraz współczynniki determinacji tych równań (R^2) w latach 2003 i 2004

Equations of relation between sediment concentrations and the maximum temporary rainfall intensity, interflow volume and coefficients (R^2) in years 2003 and 2004

Parametr Parameter	2003		2004	
	Równanie Equation	R^2	Równanie Equation	R^2
Zbocze Slope				
I_{max} (mm·h ⁻¹)	$y = 8950,3 \ln(x) - 1844$	0,3547	$y = 101,94x + 10513$	0,1966
Spływ hipodermiczny Interflow (dm ³ ·m ⁻²)	$y = 10962x + 13909$	0,2345	$y = 23417x + 5364,3$	0,1890
Podnóże stoku Foothill				
I_{max} (mm·h ⁻¹)	$y = 147,18x + 14219$	0,2324	$y = 91,589x + 8792,9$	0,2773
Spływ hipodermiczny Interflow (dm ³ ·m ⁻²)	$y = 10968 \ln(x) + 32633$	0,3527	$y = 22066x^{0,6734}$	0,3025

Splywowi powierzchniowemu i hipodermicznemu towarzyszyło przemieszczanie się składników chemicznych. Transport ten odbywał się w dwóch postaciach – jako formy rozpuszczone i związane z materiałem glebowym. Ustalono równania zależności koncentracji składników azotowych od czynników sprawczych ich transportu wraz ze splywem powierzchniowym w poszczególnych elementach stoku przedstawiono w tabeli 33.

Koncentracje rozpuszczonych w wodach splywu powierzchniowego formy azotu ogólnego uzależnione były od ilości odpływającej wody z górnej części zbocza. Po ich uruchomieniu i docieraniu do niższych stref stoku koncentracje te zaczęły być determinowane wysokością opadu atmosferycznego. Przebieg tych zależności wskazuje, że wzrastająca ilość wody opadowej powoduje zmniejszenie koncentracji tego składnika. U podnóża stoku zależność ta wyraźnie słabnie. W przypadku form związanych z materiałem glebowym składnik ten nie wykazywał żadnych zależności od analizowanych czynników.

Koncentracje azotu amonowego pomierzone w analizowanych próbkach wód splywu powierzchniowego uzależnione były od ilości splywającej wody jak i opadu. W partii przywierzchowinowej obserwowano wzrost koncentracji wymywanego składnika wraz ze wzrostem czynników sprawczych. Na zboczu koncentracje rosły wraz z ilością splywającej wody, natomiast u podnóża stoku zależności były wyraźnie słabsze.

Czas trwania opadu atmosferycznego ma wpływ na odprowadzane z górnej części zbocza ilości azotanów i azotynów (ogólnie ujętych jako tlenki azotu). Jego wydłużenie się powoduje, że powierzchnia gleby dłużej poddawana jest procesowi jej przemywania, a koncentracje tlenków azotu maleją. Podobne tendencje zaobserwowano również na zboczu i u podnóża stoku.

Analiza koncentracji składników chemicznych w splywach hipodermicznych wykazała, że związki azotowe zachowywały się różnie zarówno na stoku, jak i w poszczególnych latach. Azot ogólny w górnej części zbocza i u podnóża stoku nie wykazywał żadnych zależności od analizowanych czynników. Natomiast na zboczu zaobserwowano zależność dla form rozpuszczonych od wielkości splywu śródpokrywowego, ale tylko dla okresu, w którym na polu była uprawiana pszenica ozima. Przybrała ona postać funkcji wykładniczej o równaniu:

$$y = 6,8309e^{1,7782x} \quad R^2 = 0,1208$$

Koncentracje azotu amonowego w splywach hipodermicznych, podobnie jak ogólnego, w górnej części zbocza nie wykazywały żadnych zależności, natomiast na zboczu i u podnóża stoku zaobserwowano ich wzrost determinowany wielkością tych splywów występujących w trakcie uprawy pszenicy ozimej. W obydwu przypadkach zależności przybrały postać funkcji potęgowej o równaniach:

$$\begin{array}{ll} - \text{ na zboczu} & y = 5,5006x^{1,1008} \quad R^2 = 0,3740; \\ - \text{ u podnóża stoku} & y = 3,0485x^{1,888} \quad R^2 = 0,4233. \end{array}$$

Tabela 33
Table 33

Zależności form koncentracji składników chemicznych w splywach powierzchniowych od czynników sprawczych w charakterystycznych elementach rzeźby stoku
 Relation between chemical compounds concentrations in flowing waters and drive forces of their transport within slope sections

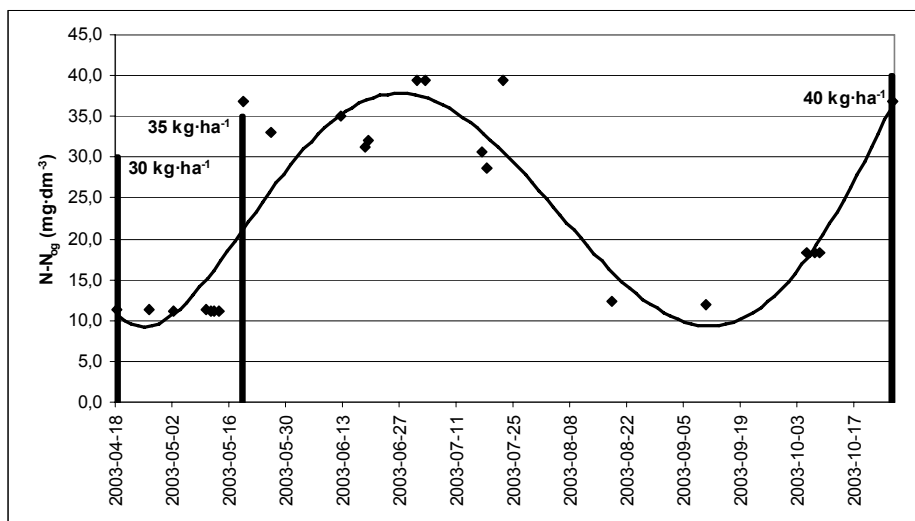
Parametr Parameter	Góra część zbocza Upper slope cross-section		Zbocze Slope		Podnóże stoku Foothill	
	Równanie; Equation	R ²	Równanie; Equation	R ²	Równanie; Equation	R ²
N-N_{og.} rozpuszczony w H₂O N-N_{og.} dissolved in H₂O						
Opad Precipitation (mm)	–	–	$y = -6,7152 \ln(x) + 25,585$	0,3363	$y = -4,5721 \ln(x) + 19,986$	0,1616
Splyw powierzchniowy Surface flow (dm ³ ·m ⁻²)	$y = 3,6399 \ln(x) + 20,923$	0,3683	–	–	–	–
N-NH₃						
Opad Precipitation (mm)	$y = 0,0543x^{1,5735}$	0,3435	–	–	$y = -2,6023 \ln(x) + 9,2773$	0,1600
Splyw powierzchniowy Surface flow (dm ³ ·m ⁻²)	$y = 5,5597x^{0,3506}$	0,2393	$y = 3,2112x^{0,336}$	0,4327	$y = 2,0986x^{0,1987}$	0,1613
N-NO_x						
Czas trwania opadu Rainfall duration (min)	$8,066e^{-0,0014x}$	0,1902	–	–	–	–

Transportowane splywami hipodermicznymi tlenki azotu przybierały koncentracje, które w partii przywierzchowej i na zboczu wzrastały wraz z intensywnością maksymalną opadu. Zależność taką stwierdzono w trakcie uprawy pszenicy ozimej. Natomiast dla uprawy okopowej ważnego znaczenia nabierał czas trwania opadu, którego wzrost powodował zwiększenie zawartości tlenków w odpływających z podnóża stoku wodach hipodermicznych. Dla rośliny zbożowej zależności takiej nie stwierdzono, Poyższe ustalenia przybrały postać:

- w górnej części zbocza $y = 2,4449e^{0,0088x}$ $R^2 = 0,1055$;
- na zboczu $y = 2,0134\ln(x) - 1,5525$ $R^2 = 0,2036$;
- u podnóża stoku $y = 3,86\ln(x) - 9,9476$ $R^2 = 0,1700$.

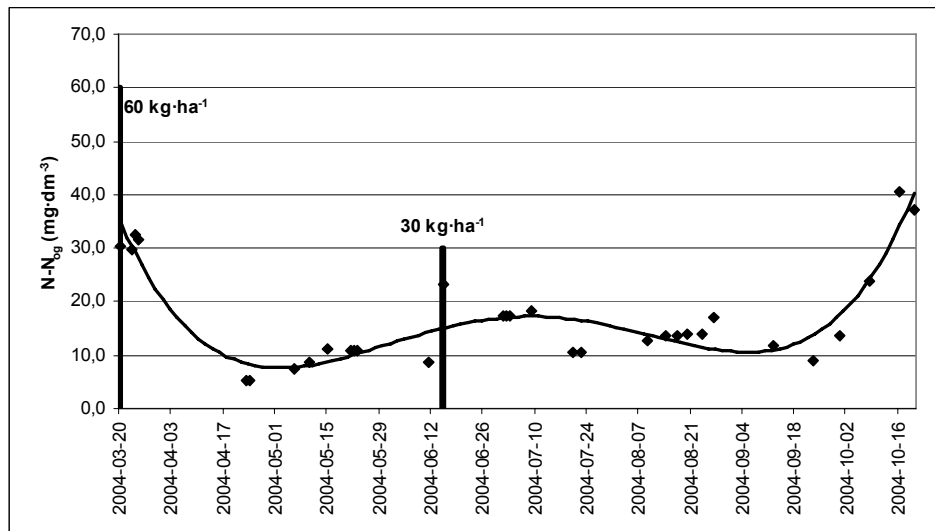
Powyższe zarysowujące się tendencje uwarunkowań zawartości w wodach hipodermicznych składników azotowych skłoniły do przeprowadzenia analizy zmienności sezonowej. Przedstawiają ją rysunki 21–26.

W trakcie prowadzenia badań stwierdzano zróżnicowanie koncentracji składników azotowych wskazujące, że we wszystkich przypadkach (zarówno rodzaju składnika, jak i miejsca lokalizacji poboru próbki splywu w rzeźbie stoku) występowały zwiększone zawartości w splywach hipodermicznych w okresach wiosennych i późnojesiennych. Wprowadzenie nawożenia azotowego powodowało okresowe zwiększenie się koncentracji poszczególnych form w odpływających wodach, przy czym w okresie wiosennym obserwowano szybki jej spadek powodowany zapewne zwiększonym wykorzystaniem azotu przez rośliny. Zakresy tych koncentracji wskazują, że przy zbliżonych dawkach nawozowych intensywniejsze wykorzystanie tego składnika następuje przez roślinę zbożową, w tym przypadku pszenicę ozimą, niż roślinę okopową (buraki cukrowe).



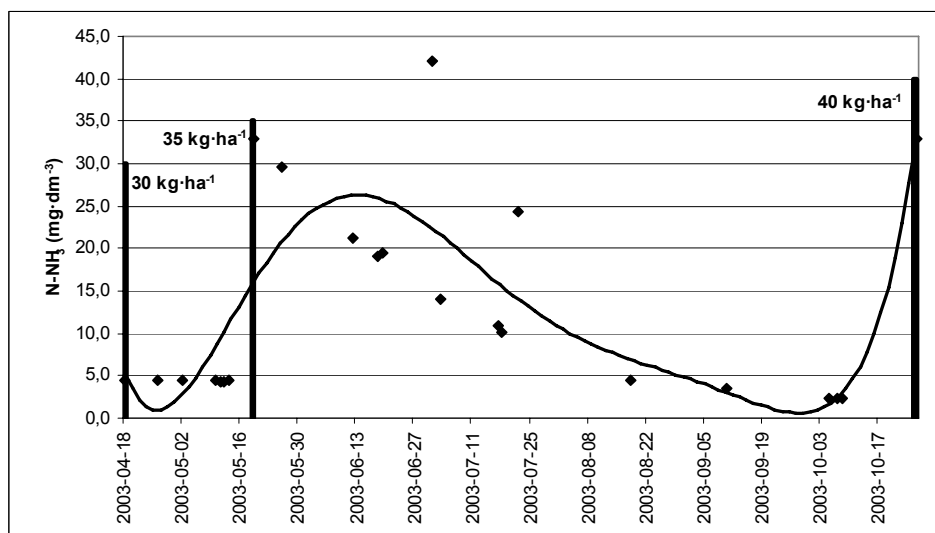
Rys. 21. Koncentracje N-N_{og} w splywach hipodermicznych w górnej części zbocza w okresie od wiosny do jesieni roku 2003 na tle zastosowanych dawek nawożenia azotowego

Fig. 21. N-N_{og} concentration in interflows in upper slope cross-section, from spring to autumn 2003, on the background of applied nitrogen fertilizers doses



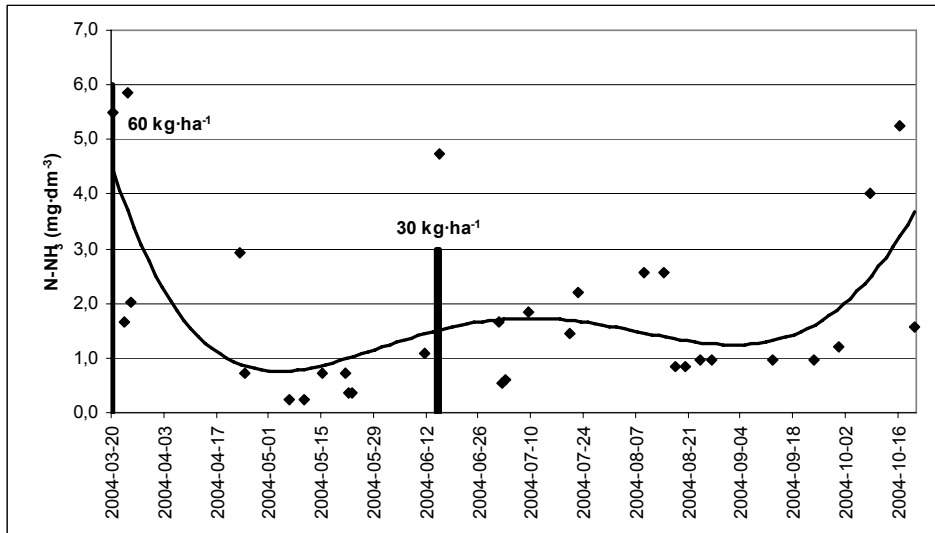
Rys. 22. Koncentracje N-N_{og} w splywach hipodermicznych w górnej części zbocza w okresie od wiosny do jesieni roku 2004 na tle zastosowanych dawek nawożenia azotowego

Fig. 22. N-N_{og} concentration in interflows in upper slope cross-section, from spring to autumn 2004, on the background of applied nitrogen fertilizers doses



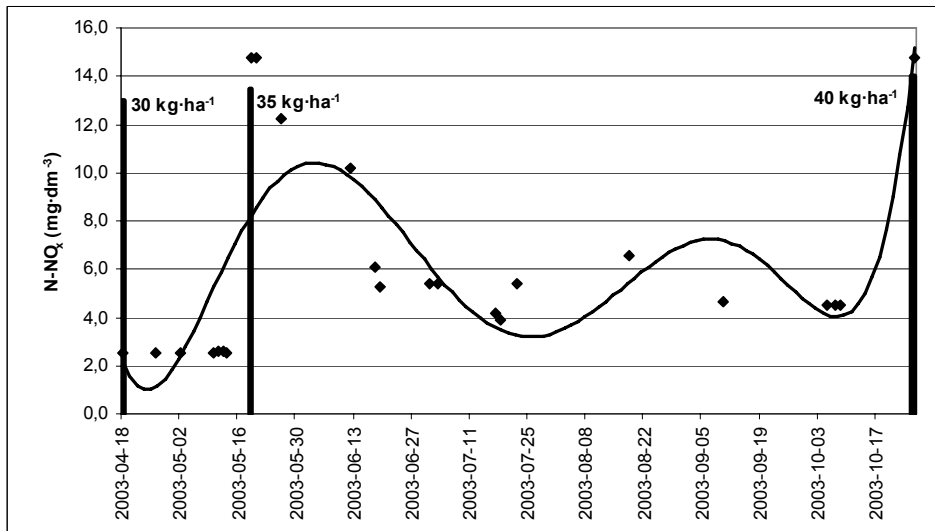
Rys. 23. Koncentracje N-NH₃ w splywach hipodermicznych na zboczu stoku w okresie od wiosny do jesieni roku 2003 na tle zastosowanych dawek nawożenia azotowego

Fig. 23. N-NH₃ concentration in interflows in slope, from spring to autumn 2003, on the background of applied nitrogen fertilizers doses



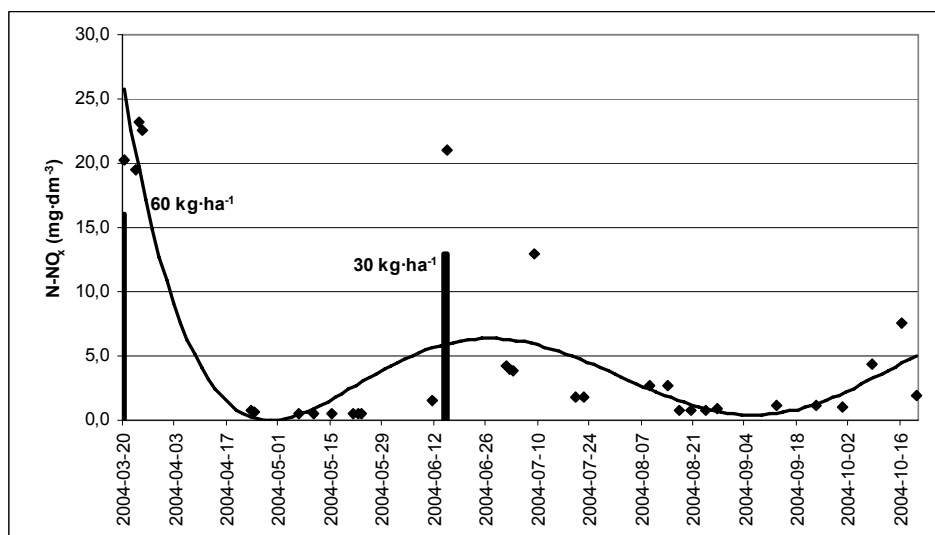
Rys. 24. Koncentracje N-NH₃ w spływach hipodermicznych na zboczu stoku w okresie od wiosny do jesieni roku 2004 na tle zastosowanych dawek nawożenia azotowego

Fig. 24. N-NH₃ concentration in interflows in slope, from spring to autumn 2004, on the background of applied nitrogen fertilizers doses



Rys. 25. Koncentracje N-NO_x w spływach hipodermicznych u podnóża stoku w okresie od wiosny do jesieni roku 2003 na tle zastosowanych dawek nawożenia azotowego

Fig. 25. N-NO_x concentration in interflows in foothill, from spring to autumn 2003, on the background of applied nitrogen fertilizers doses



Rys. 26. Koncentracje N-NO_x w splywach hipodermicznych u podnoża stoku w okresie od wiosny do jesieni roku 2004 na tle zastosowanych dawek nawożenia azotowego

Fig. 26. N-NO_x concentration in interflows in foothill, from spring to autumn 2004, on the background of applied nitrogen fertilizers doses

Fosfor rozpuszczony w wodach splywów powierzchniowych nie wykazywał żadnego związku z analizowanymi czynnikami. Praktycznie składnik ten w tej formie odprowadzany był w stałej koncentracji. Najwyższe jego zawartości stwierdzono w górnej części zbocza, które wyniosły średnio 0,6 mg·dm⁻³ (od 0,3 do 0,9 mg·dm⁻³), nieco niższe na zboczu – średnio 0,3 mg·dm⁻³ (od 0,2 do 0,7 mg·dm⁻³) i zbliżone do nich u podnoża stoku – średnio 0,2 mg·dm⁻³ (od 0,1 do 0,4 mg·dm⁻³). Dla form związanych z materiałem glebowym transportowanym splywami powierzchniowymi również nie stwierdzono żadnych związków z czynnikami powodującymi jego uruchamianie.

Podobnie do rozpuszczonych form fosforu zachowywał się potas rozpuszczony w splywających po powierzchni terenu wodach. Zakres zmienności koncentracji tego składnika wyniósł od 6,2 do 19,1 mg·dm⁻³ (średnio 10,3) w partii przywierzchwinowej i wykazywał on tendencję wzrostu zawartości wraz z wydłużaniem się czasu trwania opadu. Zależność ta ma postać:

$$y = 2,1771 \ln(x) - 2,5617 \quad R^2 = 0,1144$$

Na zboczu zawartości wyniosły od 7,0 do 15,4 mg·dm⁻³ (średnio 8,3), a wzrastające dobowe sumy opadów powodowały spadek koncentracji tego składnika na stoku. Zależność ta przybrała postać:

$$y = 13,123x^{-0,2608} \quad R^2 = 0,4566$$

U podnóża stoku koncentracje w spływających wodach powierzchniowych wahały się od 6,2 do 14,4 mg·dm⁻³ (średnio 8,8) i malały wraz ze wzrostem jego wielkości. Zależność tę prezentuje równanie:

$$y = -0,1553x + 9,6379 \quad R^2 = 0,1703.$$

Wydluzanie czasu trwania opadu atmosferycznego i związany z nim czas ługowania wierzchniej warstwy profilu glebowego miał wpływ na zawartość form potasu rozpuszczonego w wodach spływów hipodermicznych. Istnienie takiej tendencji stwierdzono dla wszystkich elementów stoku, przy czym ma ona silniejszy charakter w okresie, gdy na polu uprawiane są rośliny zbożowe. Dla buraków cukrowych tendencje przybierają podobny charakter, lecz determinacja czynnikiem jest słaba. Dodatkowo na zboczu stwierdzono wzrost zawartości tej formy potasu w spływie hipodermicznym, który powodowany był wzrastającą ilością odpływu z warstwy ornej. Zależności te przybrały postać:

- od czasu trwania opadu (dla górnej części zbocza):
 - w 2003 roku (buraki cukrowe) $y = 3,072 \ln(x) - 5,034$ $R^2 = 0,2229$;
 - w 2004 roku (pszenica ozima) $y = 3,1973 \ln(x) - 6,8812$ $R^2 = 0,5384$;
- od czasu trwania opadu (dla zbocza):
 - w 2003 roku (buraki cukrowe) $y = 1,9954x^{0,3244}$ $R^2 = 0,3638$;
 - w 2004 roku (pszenica ozima) $y = 1,6643x^{0,3119}$ $R^2 = 0,5851$;
- od wielkości spływu hipodermicznego (dla zbocza):
 - w 2003 roku (buraki cukrowe) $y = 15,215x^{0,215}$ $R^2 = 0,2262$;
 - w 2004 roku (pszenica ozima) $y = 22,571x^{0,6173}$ $R^2 = 0,7257$;
- od czasu trwania opadu (dla podnóża stoku):
 - w 2003 roku (buraki cukrowe) $y = 3,3387x^{0,2982}$ $R^2 = 0,3681$;
 - w 2004 roku (pszenica ozima) $y = 2,4781x^{0,3119}$ $R^2 = 0,5851$.

Analiza zawartości potasu wykazała, że zarówno w spływach powierzchniowych, jak i hipodermicznych zasadnicza część wymywanych ilości odprowadzana jest w postaciach związanych z materiałem glebowym i to we wszystkich charakterystycznych miejscach rzeźby stoku. Koncentracje te kilkakrotnie przewyższały zawartości w formie rozpuszczonej, jednakże nie stwierdzono żadnych zależności od czynników sprawczych ich transportu.

Porównanie form odpływu fosforu wykazało, że w postaci rozpuszczonej odprowadzany jest on w stałej koncentracji, rzadko przekraczającej 0,4 mg·dm⁻³. Zasadnicza jego część odprowadzana jest wraz z materiałem glebowym. Zestawienie tej koncentracji z wielkością spływu powierzchniowego, co prawda wykazało tendencję wzrostu zawartości wraz ze zwiększaniem się spływu, ale jego tempo było mniejsze od spodziewanego. Uzyskane wyniki są inne niż te, które spotyka się w literaturze, gdyż zarówno Dojlido [1990, 1995], jak i inni naukowcy [Carpenter i in. 1998, Gacek 2000, Gupta, Subramanian 1998, Jarzabek 1998, Kostrzewski i in. 1994, Koc 1998, Koćmit i in. 1998, 2001, Pijanowski i in. 1995, Pimentel, Kounang 1998, Świąchowicz 2000] wskazują, że geochemicznymi strumieniami transportu tego składnika chemicznego są właśnie spływy powierzchniowe. Przyczyną takiej sytuacji mogła być mała ilość zanotowanych i poddanych analizie zdarzeń. W przypadku spływów hipodermicznych powyższe tendencje zarysowywały się wyraźniej, wykazując większą rozpiętość zarówno samych zawartości

fosforu w odpływających wodach, jak i wielkości spływu hipodermicznego w warunkach uprawy buraków cukrowych. W trakcie uprawy pszenicy ozimej tendencje te były wyraźniejsze i przybrały postać równań:

- w partii przywierzchowej – $y = 3,4365 \ln(x) + 9,6705$ $R^2 = 0,5348$;
- na zboczu – $y = 13,834x^{0,661}$ $R^2 = 0,5998$;
- u podnóża stoku – $y = 15,175x + 2,6112$ $R^2 = 0,5264$.

Zaznaczyć należy, że występujące wówczas spływy hipodermiczne były mniejsze, bardziej wyrównane, a zmienność zawartości fosforu w tej formie odpływu wody ze stoku wykazywała podobny charakter.

Analizując obliczone ładunki materii przemieszczającej się po stoku w trakcie pojedynczych zdarzeń hydrometeorologicznych, nasuwa się wniosek, że zarówno materiał glebowy, jak i składniki chemiczne nie zawsze przemieszczają się w jednakowy sposób. Oznacza to, że zjawiska te, w konkretnych uwarunkowaniach występujących w trakcie prowadzenia powyższych badań, różnie kształtują się w zależności od miejsca lokalizacji w rzeźbie stoku. Zarejestrowane przypadki pojedynczych zdarzeń oraz pomierzone wielkości pozwalają stwierdzić, że w okresach suchych, jakimi były półrocza letnie roku 2003 i 2004, spływy powierzchniowe mogą powstawać lokalnie. Spływ powierzchniowy oraz związany z nim transport materii zainicjowany w górnej partii stoku nie zawsze dociera do samego podnóża stoku. Może on również powstać w partii przywierzchowej, zaniknąć na zboczu stoku, by ponownie się uaktywnić u jego podnóża. Świadczy to o tym, że przemieszczanie materii wraz ze spływem powierzchniowym w okresach suchych następuje w obrębie stoku skokowo. Potwierdzają to inne badania [Froehlich 1982, 1992, 2002, Gerlach 1976, Gil 1999, Gil, Starkel 1979, Rejman i in. 1994, 1998, Steegen i in. 2000, Świąchowicz 2000]. Natomiast prawie we wszystkich przypadkach opadów stwierdzono występowanie spływów hipodermicznych w obrębie całego stoku i towarzyszący im transport materii od górnej partii zbocza do podnóża stoku.

W trakcie prowadzenia badań na stoku pole obsiane było roślinami, którym przypisywana jest odmienna zdolność ochrony przeciwoerozyjnej. Naprzemiennie prowadzono uprawy dobrze okrywające i chroniące glebę, z roślinami, których przydatność do uprawy na terenach erodowanych jest powszechnie negowana. W literaturze powszechnie zaznacza się, że ochronna funkcja przeciwoerozyjna wynika zarówno z rodzaju roślinności, jak i jej faz rozwojowych [Fatyga 1966, Józefaciuk, Józefaciuk 1966, 1999, Józefaciuk i in. 1998, Kędziora 1994, Klima 1998, Kopeć, Misztal 1990, Kostrzewski i in. 1994, Kosturkiewicz i in. 1994, Licznar 1985, Licznar i in. 1992, Lipski i in. 1997, Marcinek, Komisarek 2001, Maślanka, Urbanowicz 1992, Mazur, Mazur 1997, Orlik 1991, Orlik i in. 2001a, 2005a, Pałys 1992, Pałys, Mazur 1994, Pałys, Wnuczek 2002, Prochal i in. 1987]. Potwierdzają to również obserwacje w trakcie wizji terenowych, gdzie stwierdzano, że uprawiane rośliny nie zawsze były w takim samym stopniu powstrzymać energię spływającej po powierzchni terenu wody opadowej i roztopowej.

Jak wspomniano wcześniej w okresie rozruchu badań na objętym pomiarami i obserwacjami polu na stoku uprawiany był jęczmień i w momencie podjęcia obserwacji był już w stanie silnego ukrzewienia. Po jego sprzęcie, pole do czasu podjęcia prac przygotowawczych do siewu buraków cukrowych, pozostało w czarnym ugorze. Praktycznie można uznać, że stan taki utrzymywał się do połowy maja następnego roku. W okresach wschodów buraków cukrowych i ich początkowych faz rozwojowych w zlewni wystąpił

szereg opadów atmosferycznych uaktywniających procesy erozyjne. Wschodzące rośliny nie były w stanie przeciwdziałać splywom wody opadowej, a na powierzchni pola powstawały strefy zmywu powierzchniowego, płytkie żłobiny oraz stożki namywowe u podnóża zbocza (fot. 8).



Fot. 8. Strefa akumulacji materiału glebowego zmywanego ze stoku Mielnicy na polu obsianym burakami cukrowymi – fot. autor, maj 2003 r.

Photo 8. Accumulation zone of soil eroded from Mielnica slope – sugar beet plot – photo author, May 2003

Powszechnie przypisywana roślinom ozimym dobra funkcja ochronna potwierdza się jedynie częściowo. Początkowe fazy rozwojowe pszenicy ozimej (wschody, faza pierwszych liści i początki krzewienia) w miejscowych warunkach agrotechnicznych pozostają bez większego znaczenia przeciwoerozyjnego. Topniejący wiosną roku 2004 śnieg oraz występujące wówczas opady powodowały uaktywnianie się zmywów, a wraz z nimi przemieszczanie się nawet pojedynczych roślin (fot. 9). W okresie późniejszym przemieszczone rośliny ukrzewiły się w powstałych żłobinach w zwiększonym zagęszczeniu stanowiąc zabezpieczenie linii koncentracji splywu powierzchniowego (fot. 10). W półroczu letnim roku 2004 przy w pełni rozwiniętej pszenicy, obserwowane na polu procesy erozji powierzchniowej występowały sporadycznie przyjmując niewielkie rozmiary.



Fot. 9. Szeroka żłobina na polu z uprawą pszenicy ozimej – fot. autor, druga połowa marca 2004 r.

Photo 9. Wide rill in winter wheat plot – photo author, second half of March 2004



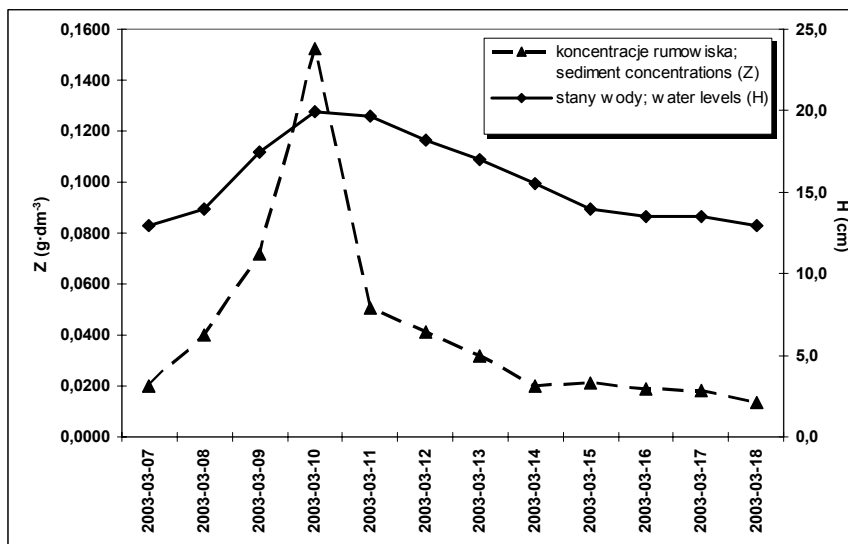
Fot. 10. Ukrzewiona pszenica ozima zabezpieczająca linię koncentracji sylvu powierzchniowego – fot. autor, koniec kwietnia 2004 r.

Photo 10. Tillers of winter wheat protecting flow concentration rill – photo author, end of April 2004

7.2. Podsystem koryta ciek

W trakcie prowadzenia pomiarów rumowiska unoszonego zwrócono uwagę na uśrednianie zróżnicowanych wyników koncentracji przy takich samych stanach wody w cieku. Zagadnienie to staje się ważnym elementem w modelowaniu procesu opad–odpływ–transport rumowiska unoszonego i staje się szczególnie widocznym w trakcie analizowania fal wezbraniowych i prognozowaniu wezbrań powodziowych. Badania prowadzone w zlewni Gzówki [Banasik i in. 2002], Zagożdżonki [Barszcz i in. 2002], Dąbrowy Krynickiej [Gawrysiak i in. 2002], czy też w zlewniach podgórszych i górskich wykazują, że od momentu wystąpienia opadu atmosferycznego do momentu, kiedy odpływ bezpośredni dotrze do przekroju zamykającego zlewnię upływa pewien czas, nazywany czasem opóźnienia odpływu wody (Lag – lag time), któremu towarzyszy czas opóźnienia odpływu rumowiska (Lag_s). W trakcie wznoszenia się fali wezbraniowej koncentracje rumowiska są wyższe niż przy takich samych stanach w trakcie jej opadania [Bajkiewicz-Grabowska i in. 1993, Bednarczyk, Madeyski 1998, Bednarczyk, Michalec 2001, Lambor 1971, Lenzi, Marchi 2000, Steegen i in. 2000]. Wezbrania mogą być powodowane różnymi przyczynami wynikającymi z charakteru istotności czynników meteorologicznych. Podstawowe charaktery wezbrań to wezbranie roztopowe (typ R) i wezbranie opadowe (typ O) [Byczkowski 1999, Lambor 1971].

W roku 2003 przeanalizowano typowe wezbranie roztopowe, które wystąpiło od 7 do 18 marca i poprzedzone było długim okresem temperatur ujemnych oraz wezbranie spowodowane wystąpieniem opadów rozlewnych (typ O_r), które odnotowano w okresie od 8 do 20 maja. Przebieg tych wezbrań przedstawiono na rysunkach 27 i 28.

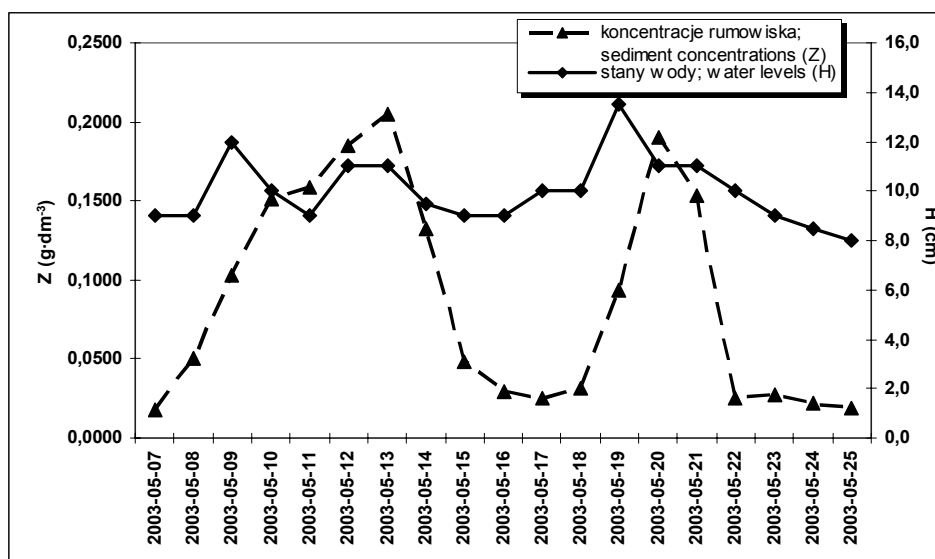


Rys. 27. Hydrogram (H w cm) oraz sedymentogram (Z w $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) wezbrania roztopowego (typ R) w zlewni Mielnicy w dniach 7–18 marca 2003 r.

Fig. 27. Hydrograph (H in cm) and sedimentograph (Z in $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) during snow melt high water (R) in Mielnica catchment in 7–18 March 2003

Analizowane wezbrania miały całkowicie odmienny przebieg. W trakcie roztopów, pomimo gwałtownego ocieplenia, rejestrowane stany wykazały stosunkowo łagodne tempo wzrostu i opadania. Pomierzone koncentracje rumowiska unoszonego początkowo zaczęły gwałtownie wzrastać, osiągając swoją kulminację ($0,1523 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$) w szczycie fali wezbraniowej, aby następnie w krótkim czasie osiągnąć wartość zbliżoną do notowanych przed przybojem wody w trakcie opadania wezbrania.

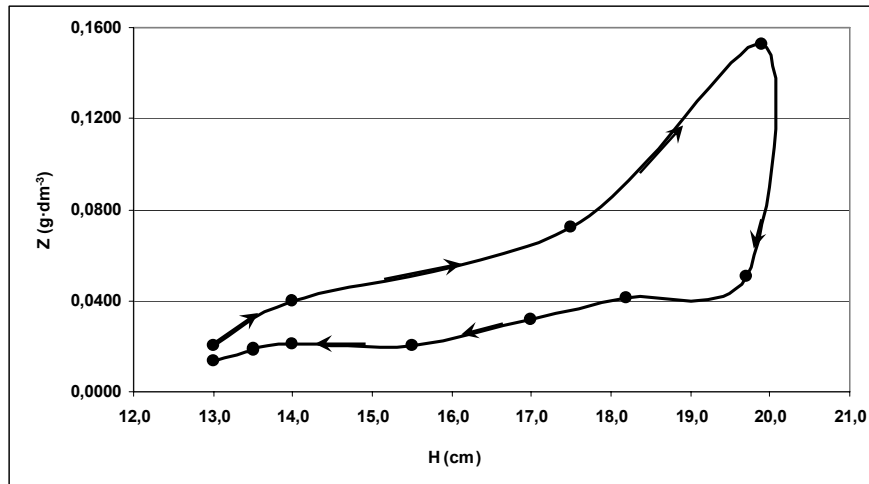
W okresie od 8 do 20 maja 2003 r. wystąpiły opady o dobowych sumach 0,1–17,5 mm rozdzielone dwoma dniami bezopadowymi (15 i 17 maja). Tak znaczne zasilenie zlewni wodami opadowymi przekraczającymi $10 \text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ spowodowało czterokrotny wzrost stanów oraz ich opadanie w trakcie opadów o mniejszych sumach i dniach bezopadowych. Pomierzone koncentracje rumowiska wykazały dwie kulminacje przepływu rumowiska. Wykazały one jednak przesunięcia czasowe ich szczytów w stosunku do szczytów wezbrania. Spowodowane to zapewne było odmiennymi niż przy wezbraniu roztopowym warunkami dostawy rumowiska z obszaru zlewni do koryta cieku. Roślinność, pokrywająca zlewnię i będąca w pełni swojego rozwoju, spowalniała wyraźnie spływ powierzchniowy i powodowała zatrzymywanie części zmywanego z powierzchni materiału glebowego w obrębie samych stoków. Jednakże można stwierdzić, że w dniach, kiedy obserwowano obniżanie się stanów koncentracje rumowiska również znacząco malały.



Rys. 28. Hydrogram (H w cm) oraz sedimentogram (Z w $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) wezbrania opadowego (typ O_r) w zlewni Mielnicy w dniach 8–20 maja 2003 r.

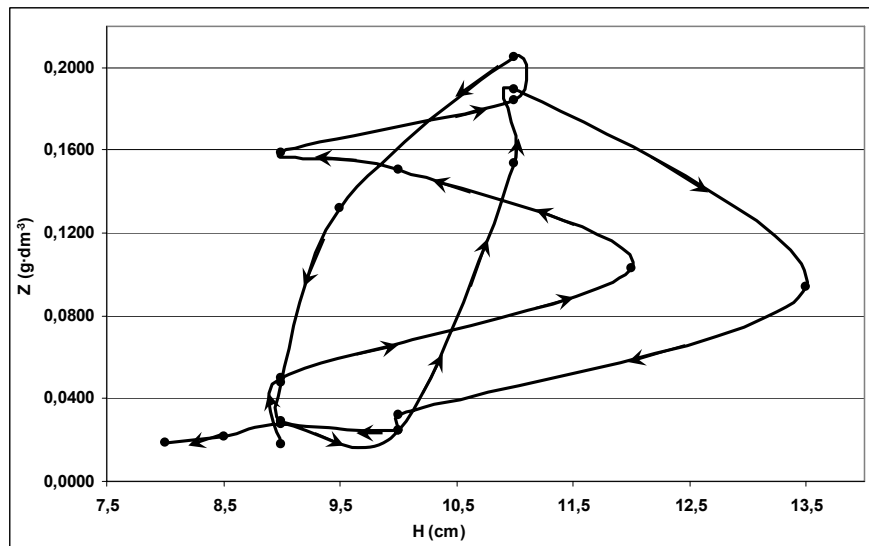
Fig. 28. Hydrograph (H in cm) and sedimentograph (Z in $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) during snow melt high water (O_r) in Mielnica catchment in 8–20 March 2003

Zestawiając pomierzone koncentracje rumowiska unoszonego z odpowiadającymi im stanami uzyskano całkowicie odmienny charakter związku tych dwóch wielkości – rysunek 29 i 30.



Rys. 29. Związek koncentracji rumowiska (Z) ze stanami wody (H) w trakcie wezbrania roztopowego typu R

Fig. 29. Relation between sediment concentrations (Z) and water stages (H) during high water (type R) raised by snow melts

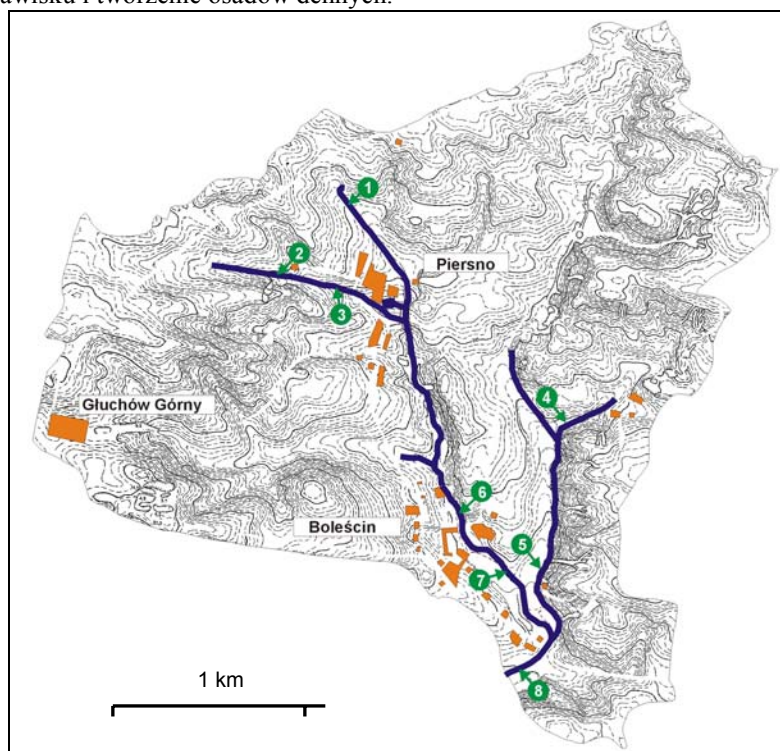


Rys. 30. Związek koncentracji rumowiska (Z) ze stanami wody (H) w trakcie wezbrania opadowego typu Q_r

Fig. 30. Relation between sediment concentrations (Z) and water levels (H) during high water (type Q_r) raised by rainfalls

Zestawienia te potwierdzają spostrzeżenia innych autorów mówiących o zróżnicowaniu koncentracji rumowiska unoszonego przy jednakowych stanach lub też odpowiadających im natężeniach przepływu. Przeprowadzone badania potwierdziły również to, że w trakcie wznoszenia się fali wezbraniowej koncentracja rumowiska jest wielokrotnie wyższa niż podczas jej opadania. Analizując poszczególne zdarzenia można zauważyć elementy różnicujące je. W trakcie wezbrania roztopowego mamy do czynienia z pętlą pojedynczą, natomiast wezbranie opadowe typu rozlewnego charakteryzuje się związkiem o przebiegu pętli wielokrotnej. Obserwacji tych jednakże nie można generalizować, gdyż każde wezbranie jest zdarzeniem indywidualnym, determinowanym kształtowaniem się warunków meteorologicznych, zasobami wodnymi gleb i innymi czynnikami przyspieszającymi lub spowalniającymi tempo dostawy wody do ciek, a nawet stanem samego koryta ciek.

Stwierdzone w trakcie wezbrań zróżnicowanie koncentracji rumowiska unoszonego dowodzi również, że okresy gwałtownego przyboru wód sprzyjają redepozycji materiału, który został dostarczony do koryta ciek podczas wcześniejszych zdarzeń. Opadanie fal oraz okresy niżówkowe powodują akumulowanie rumowiska w miejscach sprzyjających temu zjawisku i tworzenie osadów dennych.



Rys. 31. Mapa poglądowa lokalizacji miejsc poboru osadów dennych koryta ciek Mielnica i jego dopływów – wiosna roku 2004

Fig. 31. Scheme of bottom sediments sampling points in Mielnica stream and its tributaries – spring 2004

Wiosną roku 2002 przeprowadzono badania osadów dennych Mielnicy oraz jej dopływów. Wyniki tych badań zostały szeroko przedstawione w pracy Licznara i in. [2005]. Tego samego typu badania ponowiono wiosną roku 2004 ograniczając je wyłącznie do ustalenia składu granulometrycznego materiału stanowiącego dno cieków. Lokalizację miejsc poboru próbek przedstawiono na rysunku 31, natomiast wyniki badań składu granulometrycznego w tabeli 34.

Tabela 34

Table 34

Skład granulometryczny osadów dennych cieku Mielnica i jego dopływów – wiosna 2004 roku
Grain size distribution of bottom sediments in Mielnica stream and its tributaries – spring 2004

Nr próbki Sample No.	Procentowa zawartość frakcji o ϕ w mm Percentage content of fraction of ϕ diameter in mm							Rodzaj materiału dennego Type of bed material
	>1	1–0,1	0,1–0,05	0,05–0,02	0,02–0,006	0,006–0,002	<0,002	
1	–	6,0	11,0	52,0	18,0	6,0	7,0	pył zwykły silts
2	3,6	5,0	17,0	50,0	18,0	5,0	5,0	pył zwykły silts
3	0,8	4,0	12,0	60,0	17,0	3,0	4,0	pył zwykły silts
4	3,2	9,0	13,0	39,0	21,0	6,0	12,0	pył ilasty silts dust
5	8,1	26,0	12,0	34,0	16,0	5,0	7,0	pył zwykły silts
6	–	10,0	21,0	51,0	12,0	3,0	3,0	pył zwykły silts
7	4,8	18,0	14,0	42,0	15,0	4,0	7,0	pył zwykły silts
8	–	10,0	15,0	49,0	16,0	4,0	6,0	pył zwykły silts

Wyniki analiz składu granulometrycznego wykazują, że utwory te odzwierciedlają warunki pedologiczne panujące w zlewni Mielnicy. We wszystkich punktach pomiarowych materiał ten charakteryzuje się jako pyły zwykłe. Jedynie w próbce numer 4 procentowy udział poszczególnych frakcji klasyfikuje go jako pył ilasty z dominacją frakcji pyłu drobnego. Średnice przeciętne ($d_{50\%}$) poszczególnych próbek osadów kształtują się następująco:

- próbka nr 1 – $d_{50\%} = 0,028$ mm ϕ ,
- próbka nr 2 – $d_{50\%} = 0,031$ mm ϕ ,
- próbka nr 3 – $d_{50\%} = 0,030$ mm ϕ ,
- próbka nr 4 – $d_{50\%} = 0,026$ mm ϕ ,
- próbka nr 5 – $d_{50\%} = 0,037$ mm ϕ ,
- próbka nr 6 – $d_{50\%} = 0,037$ mm ϕ ,
- próbka nr 7 – $d_{50\%} = 0,035$ mm ϕ ,
- próbka nr 8 – $d_{50\%} = 0,032$ mm ϕ .

Przeprowadzone badania udowadniają, że na całej długości ciekę transportowana jest frakcja pyłowa, która stanowi również podstawową frakcję gleb zalegających w zlewni [Żmuda 1998a]. Wraz z wydłużaniem się biegu cieków obserwuje się pewne zróżnicowanie składu granulometrycznego osadów, ale jest ono nieznaczne i wynika ze zmieniających się warunków odpływu wody. W miarę oddalania się od źródeł ciekę głównego i jego dopływów koryto zwiększa swoje napełnienie, wzrastają natężenia przepływów, stąd też transportowane są cząstki o nieznacznie zwiększającej się średnicy.

W próbce numer 4, stwierdzono w jej składzie zwiększony, w porównaniu z innymi próbkami, udział łu koloidalnego. Spowodowane jest to zapewne specyficznymi warunkami samego koryta ciekę. Od wielu lat dopływ ten nie był konserwowany, a obecnie jest praktycznie zarośnięty i pomimo zbliżonej powierzchni zlewni do obszaru zbiorczego M1, prowadzi niewielkie ilości wody uaktywniając się głównie po większych opadach atmosferycznych. Woda w tym ciekę miejscami stagnuje wśród trzciny i roślinności charakterystycznej dla obszarów zabagnionych. Jego trasa przebiega wzdłuż jednej z największych połaci lasów liściastych na tym terenie, co powoduje, że w korycie ciekę deponowane są liście okolicznych drzew, utrudniające odpływ wód i powodujące sedymentację.

Porównując uzyskane wyniki z wynikami uzyskanymi przez Licznara i in. [2005] należy stwierdzić, że są one prawie identyczne i niewiele odbiegają od siebie. Stąd też uznano, że ustalona przez tego autora zawartość składników mineralnych i organicznych reprezentuje przeciętną ich zawartość w osadach dennych Mielnicy.

Zawartość węgla jest podstawową charakterystyką materii organicznej. Według Licznara górne partie ciekę głównego i jego dopływów charakteryzuje wysoka zawartość węgla organicznego w analizowanych próbkach (max 39,14 g C·kg⁻¹). Spowodowane jest to tym, że źródła ciekę głównego umiejscowione są na obszarze zadrzewionym, a woda aż do połączenia z pierwszym dopływem płynie tutaj bardzo wolno, czasami nawet stagnując. Podobnie przedstawia się sytuacja w górnych partiach dopływów Mielnicy, jednakże tutaj koncentracje węgla są nieco niższe, a ciekę praktycznie zbierają wodę z obszarów użytkowanych jako grunty orne. Środkowe odcinki koryt cieków charakteryzują się podwyższonymi koncentracjami węgla (max 29,15 g C·kg⁻¹), co można wytłumaczyć ponownym przejściem cieków przez obszary zalesione oraz przepływem wody w sąsiedztwie terenów zabudowanych. W dolnych odcinkach koncentracje węgla są niższe (max 17,78 g C·kg⁻¹), a koryto ciekę prowadzi w porównaniu do pozostałych miejsc duże ilości wody. Uogólniając powyższe spostrzeżenia można wnioskować, że zawartość materii organicznej transportowana dnem warunkowana jest możliwością dopływu z obszarów przyległych, jak i jej redepozycji w obrębie samego koryta, powodowanej warunkami hydrologicznymi.

W przypadku azotu ogólnego najwyższą zawartość stwierdzono w próbce reprezentującej górny odcinek ciekę głównego (2800 mg N-N_{og}·kg⁻¹), w pozostałych miejscach poboru koncentracje wzrastały zarówno po przejściu przez obszary leśne, jak i tereny zabudowane. Duże zawartości tego składnika w materiale dennym są zjawiskiem niepożądanym, gdyż w przypadku resuspensji powodowanej gwałtownym wzrostem przepływu w ciekę mogą one decydować o jakości odpływającej ze zlewni wody powierzchniowej.

W analizowanych próbkach stwierdzono bardzo zróżnicowane zawartości fosforu, które na podstawie klasyfikacji IUNG [Bojakowska, Sokołowska 1998] zaliczyć można do trzech klas koncentracji tego składnika: wysokiej, średniej i niskiej. Górne odcinki cieków charakteryzują się koncentracjami niskimi (max 41 mg P·kg⁻¹). Zawartość tego składnika wzrasta wraz z biegiem cieku, a szczególnie w miejscach po przejściu przez tereny zabudowane – tam koncentracje są wysokie (max 161 mg P·kg⁻¹). Spowodowane to jest odpływami z gospodarstw domowych, które mogą stanowić źródło zanieczyszczenia wód jak i wzbogacania materiału dennego w ten składnik.

Również pomierzone koncentracje potasu charakteryzują się dużą zmiennością. Najwięcej tego składnika stwierdzono w próbkach reprezentujących dolne partie zlewni (max 151 mg K·kg⁻¹). Licznar wnioskuje, że składnik ten ulegający z reguły bardzo łatwemu wymywaniu redeponuje się wraz z materiałem wzbogacanym w jego zawartość głównie przez odpływy z terenów zabudowanych (obszary nie skanalizowane).

Klasycznymi miejscami akumulacji rumowiska są zbiorniki wodne. Szczególnie ważną rolę w ograniczaniu transportu rumowiska wleczonego i unoszonego odgrywają zbiorniki przepływowe. Jednakże cel jak i charakter ich użytkowania może być różny. Natomiast wspólną cechą decydującą o okresie ich funkcjonowania, czy też charakterze zatrzymywanego rumowiska tworzącego na dnie w efekcie procesu akumulacji osady denne, są procesy erozyjne zachodzące zarówno w zlewni, korycie cieku, jak i bezpośrednim obszarze zbiorczym samego zbiornika wodnego [Bednarczyk, Madeyski 1998, Bednarczyk, Michalec 1996, Czamara 1992, Czamara i in. 1994, Jarząbek 1998, Parzonka, Kempniński 1991, 1992, Madeyski, Parzonka 1999, Murat-Błażejewska 1997].

Zagadnienie roli małych, przepływowych, z czego jednego użytkowanego jako staw rybny, zbiorników wodnych w transporcie materii było przedmiotem badań prowadzonych w latach 1998-2000. Wyniki tych badań zaprezentowano w pracach Sasika i in. [2001a i b], Szewrańskiego [2002], Szewrańskiego i in. [2002] oraz Żmudy i in. [2001b]. W roku 1996 została przeprowadzona konserwacja istniejącego stawu przypałacowego (zbiornik 1 o pow, 0,40 ha), a w roku następnym wybudowano nowy obiekt (zbiornik 2 o pow, 0,33 ha) przeznaczony do chowu ryb karpiowatych. Lokalizacja tych obiektów sprawia, że staw przypałacowy praktycznie spełnia funkcję zbiornika wstępnego dla stawu rybnego. Pomierzone powyżej zbiornika wstępnego koncentracje rumowiska unoszonego (max 0,6377 g·dm⁻³) są wyższe niż na odpływie z niego (max 0,5158 g·dm⁻³), świadczy to o deponowaniu tego materiału w stawie. W przypadku stawu hodowlanego, obserwacje terenowe wykazały, że oprócz gospodarki wodnej związanej z cyklem hodowlanym, ze stawu rybnego często dokonywane były gwałtowne, krótkotrwałe zrzuty wody. Właściciel obiektu przeprowadza je z reguły po większych opadach atmosferycznych uzyskując w ten sposób efekt „płukania stawu”. Pozwala to unikać częstych prac konserwacyjnych stawu, ale równocześnie nie pozostaje bez znaczenia dla jakości odprowadzanych z niego wód. Skutkiem takiego działania jest uruchamianie materii dotychczas zakumulowanej jako osady stawowe. W trakcie takich zabiegów w przekroju pomiarowym znajdującym się poniżej zrzutu wód ze stawu odnotowywano wysokie natężenia przepływów znajdujące swoje odzwierciedlenie w wartości średniej dobowej (max 20,3 dm³·s⁻¹), oraz pośrednio wpływających na okresowe wartości średnie. Równie znacząco wzrastają wówczas koncentracje rumowiska unoszonego (max 0,3774 g·dm⁻³).

Zbilansowanie dopływających i odpływających ze stawów ładunków rumowiska unoszonego wykazało, że w przypadku stawu przypałacowego (zbiornik 1) ilość akumulowanego materiału rośnie wraz z wielkością dostawy w półroczach i roku hydrologicznym. Dla roku hydrologicznego zależność ta ma postać:

$$A = 0,1492R_{D1} + 29,616 \quad R^2 = 0,4848$$

gdzie:

A – wielkość akumulacji w kg,

R_{D1} – dopływający do stawu ładunek rumowiska unoszonego w kg.

Staw ten w ciągu roku zatrzymuje ok. 20–23% dopływającego rumowiska, przy czym większą zdolność akumulacyjną wykazuje w półroczu letnim (ok. 28%) niż zimowym (ok. 18%). W stawie hodowlanym zarysowują się podobne tendencje, jednakże są one znacznie słabsze. Wynika to ze wspomnianej powyżej gospodarki wodnej tego obiektu. Porównując uzyskane wyniki z badaniami na innych obiektach można stwierdzić, że osiągnięty poziom redukcji zawiesiny jest niższy niż w innych tego typu obiektach. Wójcik i Jarząbek [1993] na podstawie badań prowadzonych w Polance, uzyskali poziom redukcji ok. 57%, natomiast Bednarczyk i Madeyski [1992] na podstawie badań prowadzonych w Małopolsce, otrzymali poziom redukcji dla obiektów stawowych zlokalizowanych w zlewni rzeki Rudawy ok. 50%, a dla obiektów w zlewni Hławicy ponad 60%. Autorzy ci jednakże zwracają uwagę na takie czynniki różnicujące poszczególne obiekty, jak: wielkość i charakter użytkowania zlewni, sposób zagospodarowania zbiornika, jego parametry, czy też sposób doprowadzenia wody na czasę stawów. Na istotną rolę doprowadzalnika w procesie odkładania rumowiska zwraca uwagę Murat-Błażejewska [1997] analizując wyniki badań prowadzonych na obszarze Wielkopolski.

Przepływowi wody przez stawy towarzyszą również zmiany jej składu chemicznego. Na mobilność składników chemicznych nie bez wpływu pozostają takie czynniki jak rodzaj i forma składnika oraz towarzyszące transportowi warunki hydrologiczne i meteorologiczne, te ostatnie odmiennie dla poszczególnych pór roku i półroczy lat hydrologicznych.

W przypadku N- N_{og} stwierdzono odmiennie zachowanie się tego składnika w obydwu stawach. W półroczu zimowym, w stawie przypałacowym (zbiornik 1), wraz ze wzrostem dostawy do stawu ładunku całkowitego składnika jak i w formie związanej z rumowiskiem rosła również ilość magazynowana. Inaczej proces ten przebiega w stawie rybnym. Dla zbiornika 1 określone zależności miały postać:

– dla ilości całkowitych N- N_{og} .

$$A_{N-N_{og}} = 0,0058L_{N-N_{og}}^2 - 1,9353L_{N-N_{og}} + 146,85 \quad R^2 = 0,88;$$

– dla ilości N- N_{og} w postaci związanej z rumowiskiem

$$A_{N-N_{og}} = 0,0015L_{N-N_{og}}^2 + 0,3844L_{N-N_{og}} - 16,464 \quad R^2 = 0,77;$$

gdzie:

$A_{N-N_{og}}$ – wielkość akumulacji w kg,

$L_{N-N_{og}}$ – ilość składnika dostarczanego do stawu (w kg) w danej postaci.

W półroczach letnich zaobserwowano sytuację odwrotną. Dla zbiornika 1 ilości magazynowane w stawie wykazywały pewne tendencje zależności od wielkości dostawy, ale bardzo słabe. Natomiast w stawie hodowlanym wzrost dostawy wyraźnie powodował wzrost akumulacji składnika, czego przyczyną mógł być dłuższy czas przebywania wody w obrębie stawu wymuszony jego gospodarką wodną. Zależności te dla tego stawu przybrały postać:

- dla ilości całkowitych N-N_{og}.

$$A_{N-N_{og}} = 0,0074L_{N-N_{og}}^2 - 2,7606L_{N-N_{og}} + 227,16 \quad R^2 = 0,74;$$

- dla ilości N-N_{og} w postaci związanej z rumowiskiem

$$A_{N-N_{og}} = 0,0201L_{N-N_{og}}^2 - 1,3396L_{N-N_{og}} + 1,5997 \quad R^2 = 0,76;$$

gdzie: oznaczenia j.w.

Dopływające do zbiornika 1 ładunki N-NH₃ zachowywały się równie odmiennie w ujęciu półrocznym jak azot ogólny. W okresie zimowym wraz ze wzrostem ładunku składnika docierającego do stawu obserwowano wzrost jego wymywania ze stawu. Natomiast w półroczu letnim staw wyraźnie wpływał na ograniczenie odpływu azotu amonowego. Nasuwa się więc wniosek, że substancje organiczne zmagazynowane w stawie latem poddawane są zwiększonemu wymywaniu zimą, co zapewne związane jest z procesem przemiany materii zachodzącej w zbiorniku. Podobnie zachowują się tlenki azotu (N-NO_x), ale tylko w półroczu zimowym. W drugiej połowie roku zależność ta wyraźnie słabnie. Nieco inaczej przedstawia się sytuacja w stawie hodowlanym. W półroczu zimowym zarówno N-NH₃, jak i N-NO_x zachowują się identycznie i wzrostowi dostawy towarzyszy wzrost akumulacji tych składników. Natomiast w półroczu letnim takich zależności nie stwierdzono, a więc odwrotnie niż w zbiorniku 1. Spowodowane jest to prawdopodobnie tym, że substancje organiczne dostarczane do tego stawu latem podlegają przemianom do form rozpuszczalnych i ulegają wymywaniu wraz z odpływającą wodą. W półroczach zimowych procesy przemian azotu ulegają znacznemu ograniczeniu, zostaje również ograniczony odpływ wody ze stawu, co może być przyczyną wzrostu akumulacji tych składników.

Dopływający do stawów potas zachowywał się podobnie w obydwu zbiornikach. W całym roku hydrologicznym zasadniczą formą odprowadzania były postacie rozpuszczone w wodzie i odprowadzane wraz z odpływem, co tłumaczy brak jego akumulacji w stawach.

Fosfor, w zależności od rodzaju stawu jak i pór roku, zachowywał się podobnie do rumowiska unoszonego docierającego do obydwu stawów. W półroczach zimowych niewielkim miesięcznym dostawom składnika (do ok. 5 kg) do stawu przypałacowego towarzyszyła jego akumulacja, a następnie wraz ze wzrostem dostawy obserwowano jego wymywanie. W półroczach letnich następowała wyraźna akumulacja fosforu w stawie. Ustalone zależności dla tego stawu i okresu letniego przybrały postać:

- dla ładunków całkowitych fosforu

$$A_p = -0,0218L_p^2 + 1,2558L_p - 7,1277 \quad R^2 = 0,79;$$

- dla ładunków fosforu związanego z rumowiskiem unoszonym

$$A_p = -0,0081L_p^2 + 0,9608L_p - 2,4908 \quad R^2 = 0,83,$$

gdzie: oznaczenia j.w.

W stawie hodowlanym dopływające ładunki fosforu zachowywały się podobnie i w okresie zimowym niewielkie dostawy są akumulowane, natomiast wzrostowi dostawy towarzyszy wzrost jego odprowadzania poza staw. W półroczach letnich zaobserwowano wzrost akumulacji w trakcie docierania do stawu hodowlanego miesięcznych ładunków przekraczających 7 kg, natomiast mniejsze są odprowadzane poza obręb obiektu. Na taką sytuację ma wpływ gospodarka wodna prowadzona na tym stawie. W perspektywie dłuższych przedziałów czasowych o ilości zdeponowanego w stawie składnika decydowały pojedyncze zdarzenia uwarunkowane czynnikiem antropogenicznym. Wspomniane już wcześniej „płukanie stawu”, przeprowadzane przez właściciela obiektu, powoduje depozycję składnika ze stawu do wód powierzchniowych Mielnicy, a zasadniczą formą odprowadzania był fosfor związany z rumowiskiem.

7.3. Funkcjonowanie systemu jako zorganizowanej całości

Od występujących w zlewni uwarunkowań fizjograficznych, pedologicznych, przestrzennego zagospodarowania obszaru i sposobu jego wykorzystania, a przede wszystkim przebiegu czynników meteorologicznych, uzależnione są stosunki hydrologiczne w zlewni [Lambor 1971]. Zdarzenia mające miejsce na jej powierzchni i zachodzące w jej podłożu kumulują się i uśredniają w przepływie wody. Woda i tempo jej przemieszczania się od linii wododziałowej w kierunku koryta cieku oraz samym korytem, stanowi zasadniczy nośnik materii organicznej i mineralnej, pochodzącej przede wszystkim ze stokowego środowiska morfogenetycznego. Stąd też zdarzenia geomorficzne zachodzące w zlewni znajdują swoje odbicie w dynamice procesów fluwialnych i stają się stosunkowo dobrym odzwierciedleniem zjawisk erozji wodnej gleb. Pogląd taki wyrażany jest przez wielu naukowców i potwierdzany ich pracami [Bartnik, Madeyski 1992, Figuła 1966, Froehlich 1975, 1992, 2002, Gładki 1978, Kopeć, Misztal 1990, Kostrzewski i in. 1994, Lipski i in. 1997, Pałys 1992, 2001, Święchowicz 2000]. Zastosowanie podejścia systemowego i traktowanie zlewni jako otwartego i dynamicznego systemu składającego się z szeregu kaskadowo powiązanych ze sobą podsystemów sprawia, że możliwe staje się ustalenie relacji między nimi.

Zastosowanie zaproponowanego przez Schumma uniwersalnego modelu systemu fluwialnego pozwoliło na określenie i przeprowadzenie badań podsystemów, w których następuje uruchamianie, transport i akumulacja materii. Funkcjonowanie takiego systemu można przedstawić w postaci wskaźnika dostawy materii, używanego w studiach procesów erozyjnych zachodzących w zlewni z zastosowaniem równania USLE, obrazującego relację między ilością rumowiska uruchamianego erozyjnie na obszarze zlewni a ilością, która odpływa poza przekrój pomiarowy w korycie cieku:

$$DR = \frac{Y}{E}$$

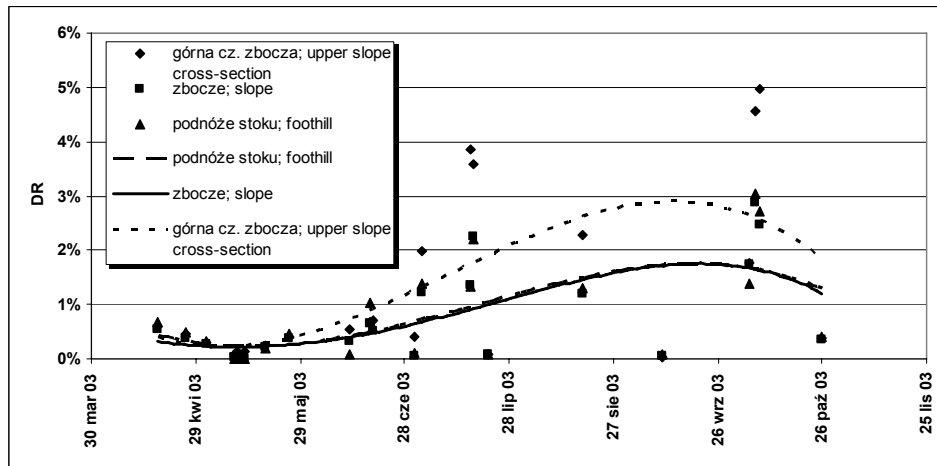
gdzie:

Y – pomierzona w przekroju batometrycznym w korycie cieków ilość rumowiska (Mg),

E – ilość materiału glebowego uruchamianego erozyjnie w zlewni (Mg).

Przeprowadzając ustalenie wielkości tego wskaźnika dla zlewni Mielnicy pominięto materiał wleczony, uznając jego ilość za nieznaczną. Obliczenia przeprowadzono dla pojedynczych zdarzeń, a ilość materiału odpływającego poza przekrój pomiarowy przyjęto dla zlewni oznaczonej symbolem M1, traktując ten obszar jako najmniej zagrożony zanieczyszczeniami punktowymi, a udział terenów wykorzystywanych rolniczo (w zasadzie gruntów ornych) jest w nim największy. Tego samego typu obliczenia przeprowadzono także dla analizowanych składników chemicznych. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku podstawę analizy stanowił wspólny okres prowadzenia równoległych badań stokowych i denudacji odpływowej, czyli lata 2003 i 2004.

Zestawienie ilości materiału glebowego uruchamianego w poszczególnych strefach stoku oraz odpływającego korytem cieków pozwoliło na ustalenie wielkości wskaźnika dostawy rumowiska DR (Delivery Ratio). Natomiast powiązanie go z czasem zaistnienia obydwu zjawisk przedstawiono na rysunkach 32 i 33.



Rys. 32. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy rumowiska do cieków (DR) od wiosny do jesieni roku 2003 dla poszczególnych stref stoku

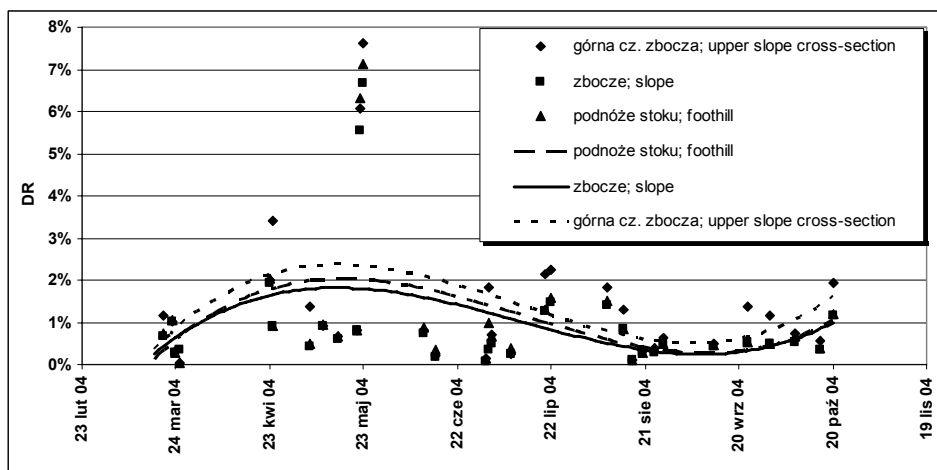
Fig. 32. Time series of sediment delivery ratio (DR) in specific slope sections, from spring to autumn 2003

Z analizy zmienności wskaźnika DR wynika, że w zależności od rodzaju roślinności okrywającej powierzchnię stoku przebieg ten ma różny charakter. W 2003 roku, gdy pole obsiane było burakami cukrowymi, w okresie wiosennym wartości wskaźnika DR były bardzo niskie, świadcząc o większych ilościach uruchamianych na zboczu niż odpływających ciekami. Wraz z rozwojem roślin wartości DR zaczęły się zwiększać, by ponownie zacząć opadać w okresie zbioru plonów z pola. W przebiegu tym odzwierciedla się

funkcja ochronna nadziemnych części roślin, które im lepiej są rozwinięte, tym lepiej osłaniają glebę przed destrukcyjnym działaniem opadu.

Odmienny charakter przebiegu zaobserwowano dla pola obsianego pszenicą ozimą (rok 2004). Tutaj wyraźnie widać, że intensywnemu rozwojowi roślin towarzyszy wzrost funkcji ochronnej gleby. Po zbiorze plonu obserwujemy spadek wartości wskaźnika DR i w okresie jesiennym osiąganie wartości bardzo niskich spowodowanych tym, że gleba jest odsłonięta, w czarnym ugorze, a ilości uruchamiane erozyjnie na stoku są duże.

Określone wartości wskaźnika DR wskazują, że waha się on w bardzo szerokich granicach. W roku 2003 zmieniał się on w zakresie od 0,02 do 4,96% w partii przywierzchowinowej, od 0,0006 do 2,87% na zboczu oraz od 0,0003 do 3,03% u podnóża stoku. Przybierał on wartości minimalne w okresie wiosennym i ponownie do nich dążył jesienią. Okres silnego rozwoju nadziemnych części roślin charakteryzował się wartościami najwyższymi. Natomiast w roku 2004 wartość DR zmieniała się w nieco węższym zakresie, bo od 0,04 do 7,61% w partii przywierzchowinowej, od 0,08 do 6,68% na zboczu oraz od 0,04 do 7,12% u podnóża stoku, co świadczy o lepszej ochronie powierzchni stoku przez uprawę pszenicy ozimej. Generalnie wartości te uwidaczniają, że okresowo korytem ciekłu odprowadzane są znacznie mniejsze ilości materiału glebowego niż uruchamiane na stoku (mniejsze wartości DR) i głównie jest to okres wiosny i jesieni, a więc w terminach największego nasilenia procesów erozyjnych w zlewni. W pozostałych okresach relacja między ilościami odprowadzanymi ciekłem a uruchamianymi w obrębie stoku jest wyższa (większe wartości DR), świadcząc o mniejszej aktywności erozyjnej obszaru.



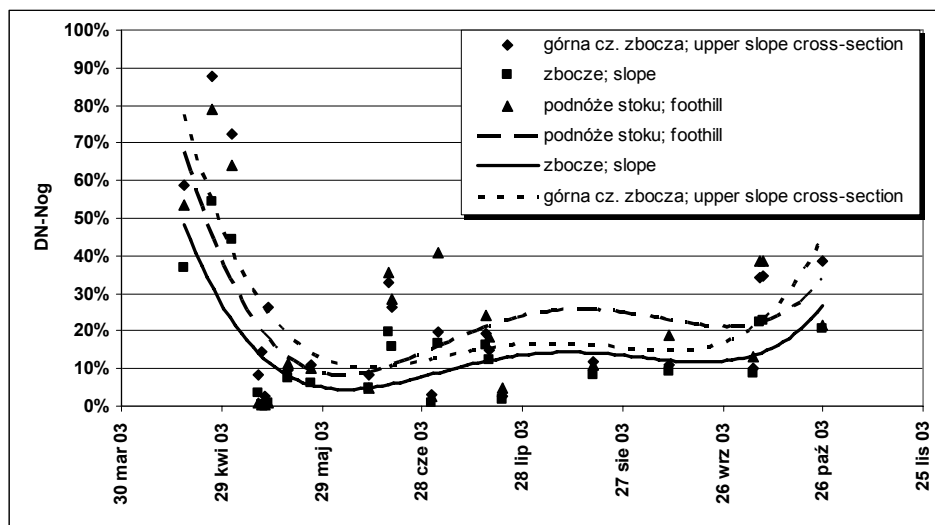
Rys. 33. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy rumowiska do ciekłu (DR) od wiosny do jesieni roku 2004 dla poszczególnych stref stoku

Fig. 33. Time series of sediment delivery ratio (DR) in specific slope sections, from spring to autumn 2004.

Jak kształtowały się wskaźniki dostawy składników chemicznych?

Czasową zmienność wskaźnika dostawy azotu ogólnego przedstawiono na rysunkach 34 i 35.

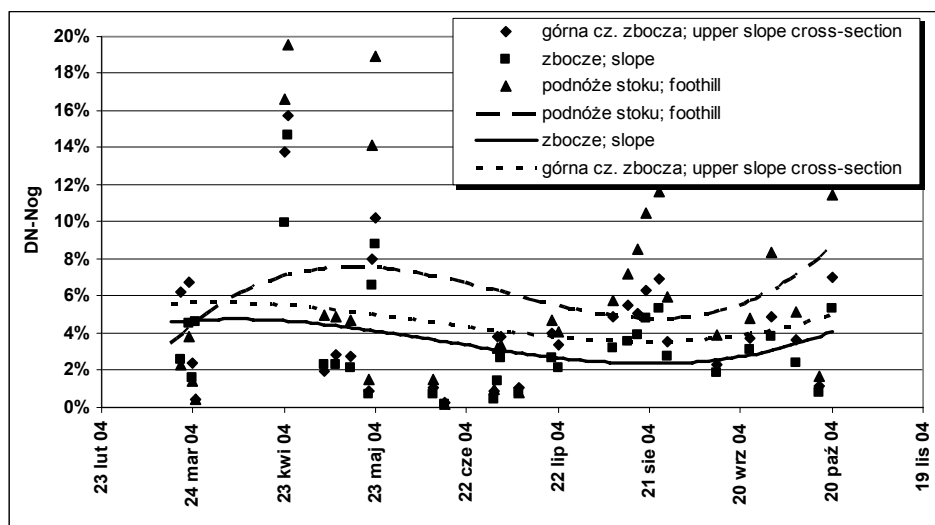
Składniki azotowe uruchamiane w obrębie stoku wykazują w obydwu latach dużą zgodność z ilościami odpływającymi ciekami. Duże ich ilości odprowadzane są wiosną i jesienią, przy czym wartości $DN-N_{og}$ w przypadku rośliny okopowej są o wiele wyższe niż dla zbożowej. Wynika z tego, że w całym sezonie zasadnicza część wymywania tego składnika odbywa się w okresach braku okrywy roślinnej na powierzchni zlewni i początkowych fazach wegetacji. Jednakże zakresy zmienności tego wskaźnika wskazują, że rośliny zbożowe znacznie lepiej go wykorzystują, a tym samym ograniczają jego odpływ ze środowiska stokowego. Podobne charaktery przebiegu zmienności czasowej odnotowano także dla pozostałych postaci azotowych: azotu amonowego i tlenków azotu.



Rys. 34. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy azotu ogólnego ($DN-N_{og}$) do koryta cieków dla poszczególnych stref stoku od wiosny do jesieni roku 2003

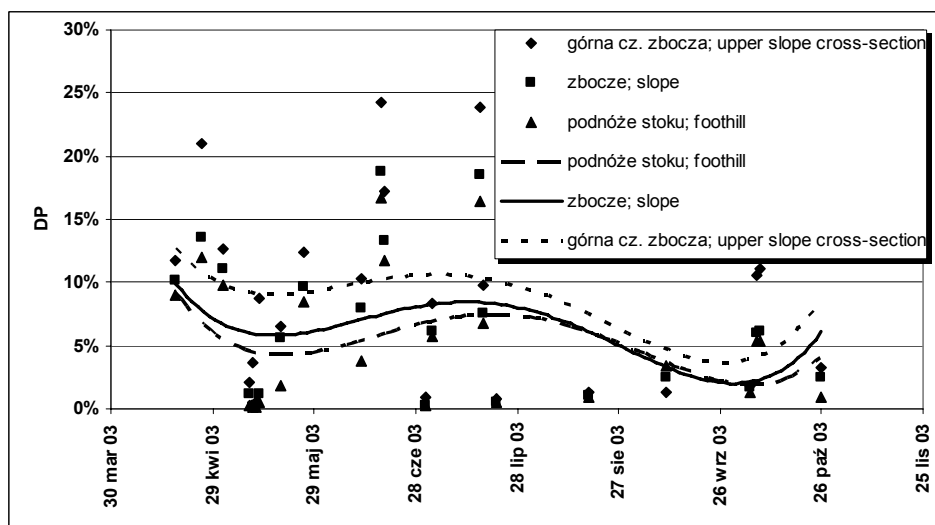
Fig. 34. Time series of nitrogen delivery ratio ($DN-N_{og}$) in specific slope sections, from spring to autumn 2003

Czasową zmienność wskaźnika dostawy fosforu (DP) przedstawiono na rysunkach 36 i 37. Porównując ją z przebiegiem warunków meteorologicznych osiągnięta wielkość determinowana była w okresach wczesnowiosennych terminem i przebiegiem zejścia pokrywy śniegowej, natomiast w okresach późniejszych wystąpieniem opadów atmosferycznych i ich intensywnością. I tak wiosną 2004 roku nastąpiło wyraźne ocieplenie powodujące gwałtowne roztopy. Osiągane w tym okresie wskaźniki dostawy przybrały bardzo niskie wartości odzwierciedlające znacznie większe ilości uruchamianego składnika na stoku niż w odpływających Mielnicą wodach. Charakter przebiegu i osiągnięte wartości DP w okresach późniejszych wskazują, że ilości odpływające korytem cieków były znacząco większe niż uruchamiane na stoku, co wskazuje na redepozycję i resuspensję osadów dennych Mielnicy, a także bardzo istotne znaczenie ochronne pszenicy ozimej.



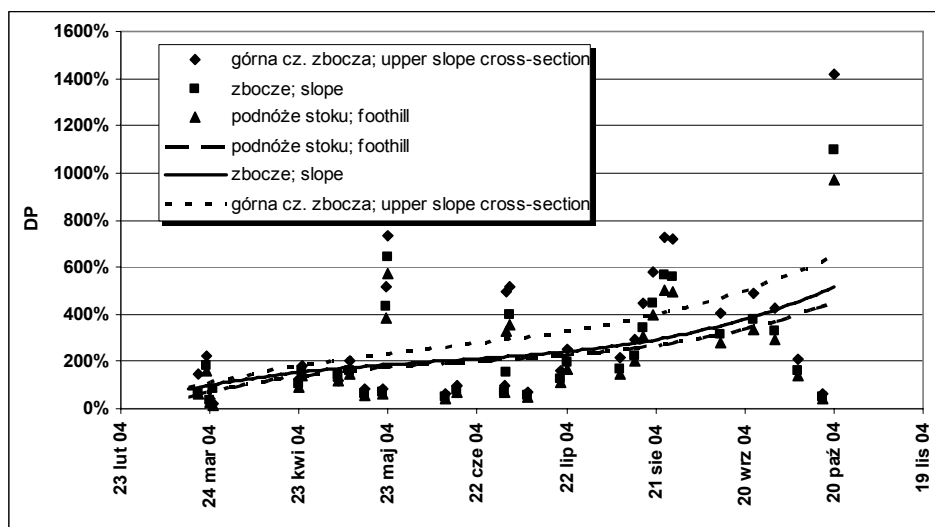
Rys. 35. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy azotu ogólnego (DN-N_{og}) do koryta ciekłu dla poszczególnych stref stoku od wiosny do jesieni roku 2004

Fig. 35. Time series of nitrogen delivery ratio (DN-N_{og}) in specific slope sections, from spring to autumn 2004



Rys. 36. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy fosforu do koryta ciekłu (DP) dla poszczególnych stref stoku od wiosny do jesieni roku 2003

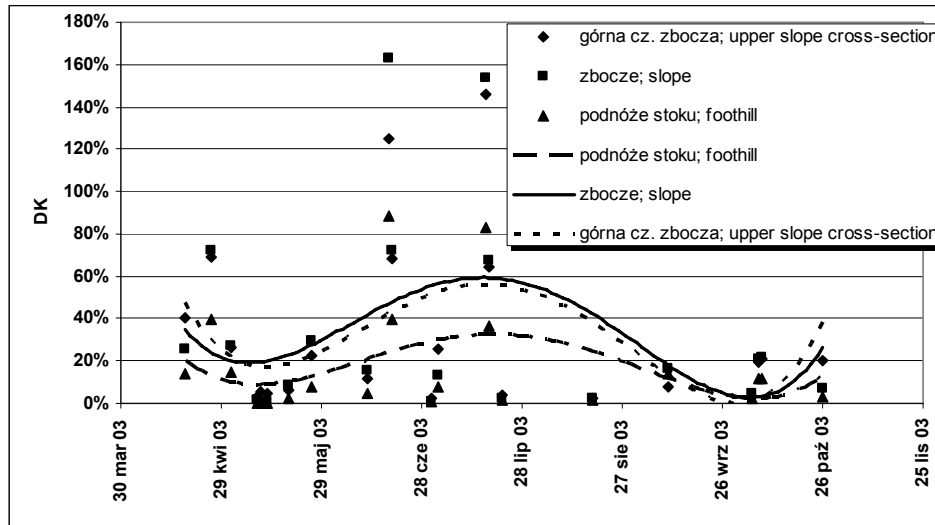
Fig. 36. Time series of phosphorus delivery ratio (DP) in specific slope sections, from spring to autumn 2003



Rys. 37. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy fosforu do koryta ciek (DP) dla poszczególnych stref stoku od wiosny do jesieni roku 2004

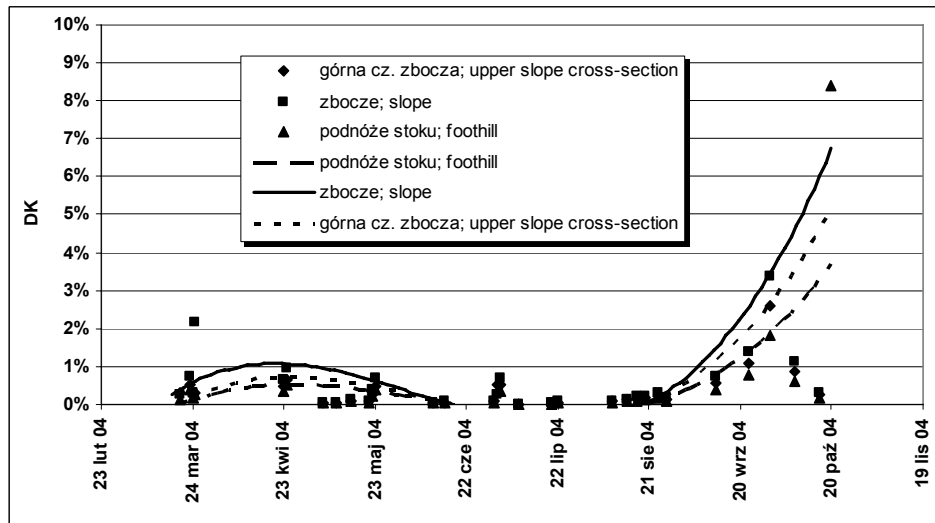
Fig. 37. Time series of phosphorus delivery ratio (DP) in specific slope sections, from spring to autumn 2004

Przedstawiony na rysunkach 38 i 39 wskaźnik, dostawy potasu (DK) wskazuje na nieco odmienny charakter przebiegu w analizowanych latach. Wspólnym elementem dla tych okresów jest jedynie wyraźny wzrost relacji między ilościami odprowadzonymi a uruchamianymi na stoku w okresie jesiennym. Natomiast w pozostałych terminach wskaźnik DK zachowuje się różnie. Wiosną roku 2003 odnotowano wysokie relacje między tymi ilościami, natomiast w roku następnym uruchamiane na stoku były znacznie większe niż odpływające korytem ciek, co odzwierciedliło się niskimi wartościami DK. W okresie letnim 2003 roku ilości odpływające korytem ciek prawie dorównywały ilościom uruchamianym erozyjnie, a czasami je przekraczały. Tymczasem latem roku następnego osiągnięte wartości relacji wskazują na bardzo mały udział odpływu ciekami, w porównaniu do odprowadzanych splywami ze środowiska stokowego. Jednakże osiągnięte wielkości pozwalają domniemać, że znaczenia nabiera prowadzone nawożenie i stosowane dawki. W roku 2003 przeprowadzono pełne nawożenie NPK w trzech dawkach, natomiast w roku następnym na pole wprowadzono tylko dwie dawki i to wyłącznie nawozów azotowych.



Rys. 38. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy potasu do koryta cieków (DK) dla poszczególnych stref stoku od wiosny do jesieni roku 2003

Fig. 38. Time series of potassium delivery ratio (DK) in specific slope sections, from spring to autumn 2003



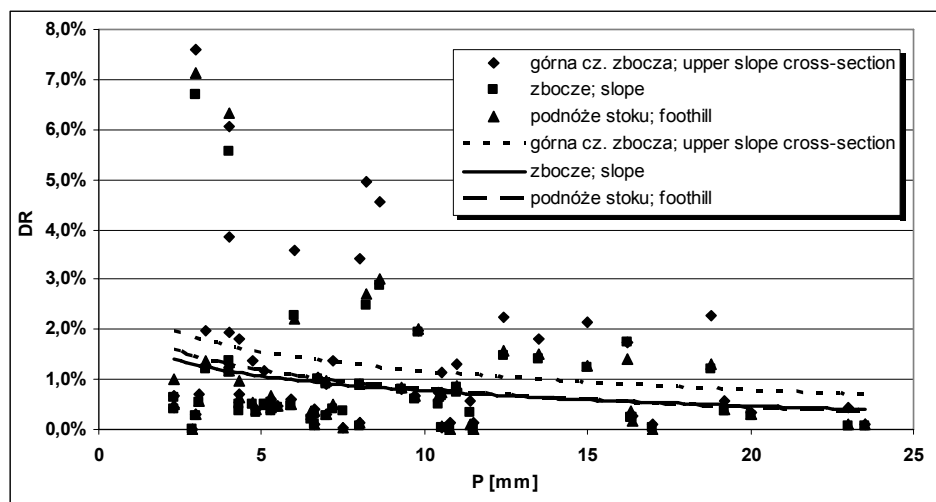
Rys. 39. Zmienność czasowa wskaźnika dostawy potasu do koryta cieków (DK) dla poszczególnych stref stoku od wiosny do jesieni roku 2004

Fig. 39. Time series of potassium delivery ratio (DK) in specific slope sections, from spring to autumn 2004

Przeprowadzone pomiary koncentracji oraz odprowadzane ładunki składników chemicznych i rumowiska, a także wielkości wskaźników dostawy materii były podstawą ustalenia zależności tych wskaźników od czynników inicjujących procesy erozyjne w zlewni. Wyznaczone linie trendu wskazują, że we wszystkich przypadkach dla głównych składników stwierdzono uwarunkowania odprowadzanych ilości zarówno od wysokości opadu atmosferycznego, jak i jego chwilowej intensywności maksymalnej. Przebieg tych linii obrazuje zależność odwrotnie proporcjonalną, czyli wzrostowi opadu lub jego intensywności towarzyszy spadek wartości wskaźnika dostawy materii do koryta Mielnicy. Czynniki te powodują, że w zlewni uruchamiane są wielokrotnie większe ilości materii niż rejestrowane w punkcie pomiarowym w cieku. Przykładowe zależności przedstawiono na rysunkach 40–43.

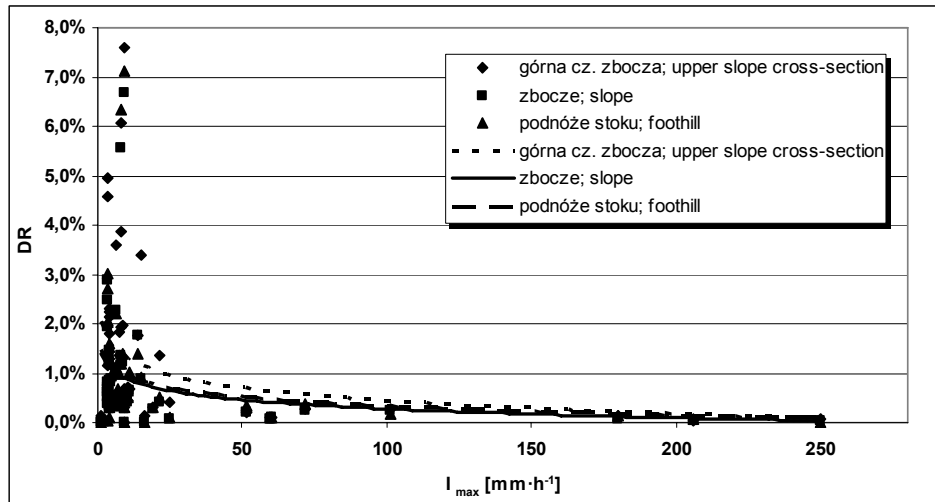
Jak wygląda współdziałanie dwóch zasadniczych podsystemów systemu transportu fluwialnego?

Analiza pojedynczych zdarzeń na stoku oraz obserwacje prowadzone w korycie cieką nasuwają następujące spostrzeżenie. Zdarzenia hydrometeorologiczne zachodzące w zlewni uruchamiają na jej obszarze i w jej podłożu szereg procesów powodujących przemieszczanie się materii w kierunku koryta cieką. W okresach suchych Mielnica prowadzi swoim korytem niewielkie ilości rumowiska oraz składników chemicznych. W warunkach odbiegających od przeciętnych, obserwuje się na posterunku hydrometryczno-batometrycznym wzrost natężeń przepływów i koncentracji rumowiska oraz składników chemicznych. W przypadku rumowiska jest on nieznaczny, natomiast składniki chemiczne odpływają w dużych koncentracjach. Osiągane wskaźniki dostawy materii przybierają wówczas wysokie wartości, co wskazuje na redepozycję i resuspensję materiału wcześniej dostarczonego do cieką.

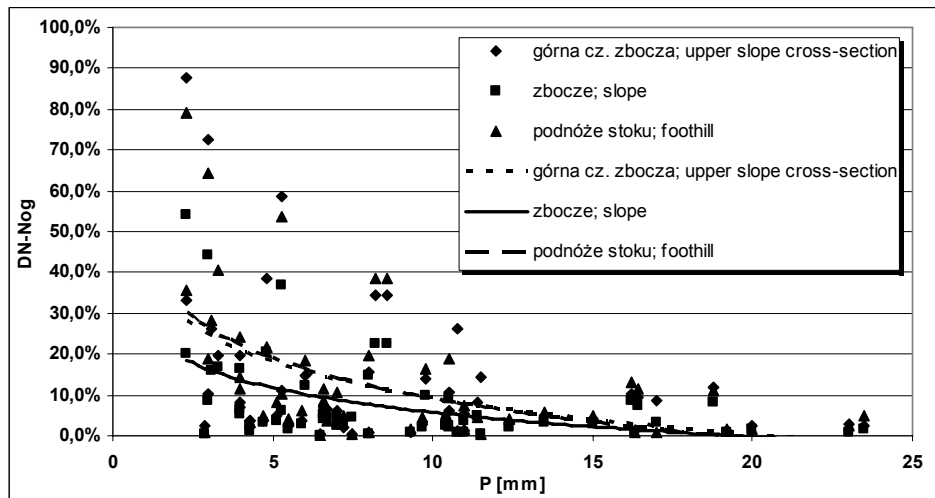


Rys. 40. Zmienność wskaźnika dostawy rumowiska do koryta cieką (DR) od wysokości opadu atmosferycznego (P)

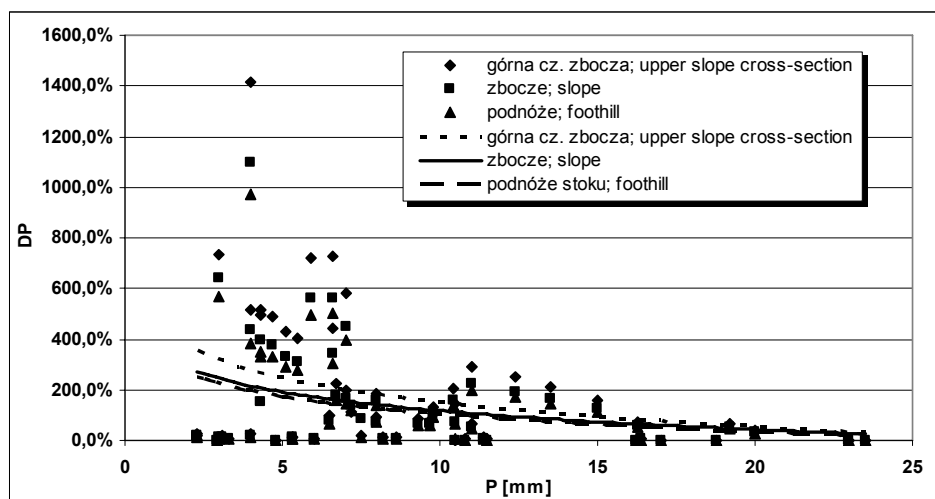
Fig. 40. Relation between sediment delivery ratio (DR) and precipitation height (P)



Rys. 41. Zmienność wskaźnika dostawy rumowiska do koryta cieków (DR) od maksymalnej intensywności opadu atmosferycznego (I_{\max})
 Fig. 41. Relation between sediment delivery ratio (DR) and the maximum rainfall intensity (I_{\max})



Rys. 42. Zmienność wskaźnika dostawy azotu ogólnego do koryta cieków ($DN-N_{og}$) od wysokości opadu atmosferycznego (P)
 Fig. 42. Relation between nitrogen delivery ratio ($DN-N_{og}$) and precipitation height (P)



Rys. 43. Zmienność wskaźnika dostawy fosforu do koryta cieków (DP) od wysokości opadu atmosferycznego (P)

Fig. 43. Relation between phosphorus delivery ratio (DP) and precipitation height (P)

Wyraźny wzrost ilości odprowadzanej materii notowany jest w trakcie zdarzeń ekstremalnych, powodowanych gwałtownymi roztopami oraz opadami deszczu charakteryzującymi się wysoką intensywnością chwilową. Spływy powierzchniowe i hipodermiczne przybierają wówczas znaczne rozmiary, a transportowane tymi wodami ładunki materii docierają aż do podnóża stoku wielokrotnie przekraczając ilości odpływające korytem cieków. Jednakże charakter przebiegu wezbrania notowanego w korycie cieków wyraźnie wskazuje, że wówczas następuje sprzężenie tych dwóch podsystemów. Ale nawet wtedy, osiągnięte minimalne wartości wskaźników dostawy materii oraz generalnie niewspółmiernie niższe koncentracje w wodzie odpływającej korytem cieków niż na stoku, świadczą o tym, że przepływ materii z systemu stokowego do korytowego jest ograniczony. Na drodze jej przepływu między wydzielonymi podstawowymi podsystemami muszą więc istnieć i funkcjonować dodatkowe podsystemy spowalniające dostawę zarówno materiału glebowego, jak i składników chemicznych do cieków. Równocześnie stanowią one bufor chroniący wody powierzchniowe przed znacznymi zanieczyszczeniami.

Wnioski nasuwające się z obserwacji terenowych potwierdzają te spostrzeżenia i pozwalają wyróżnić istnienie oraz funkcjonowanie takich nie zbadanych podsystemów, o których jest mowa w niniejszej pracy, a które to podsystemy przyspieszają lub spowalniają przemieszczanie się materii w obrębie zlewni. Do pierwszej grupy podsystemów należałoby zaliczyć:

- wąwozy, których wskaźnik gęstości jest najwyższy właśnie na południowych stokach Wzgórz Trzebnickich;
- sieć dróg nieutwardzonych i bitych, które częstokroć pełnią rolę linii szybkiego przemieszczania materii w kierunku koryta cieków (fot. 4);

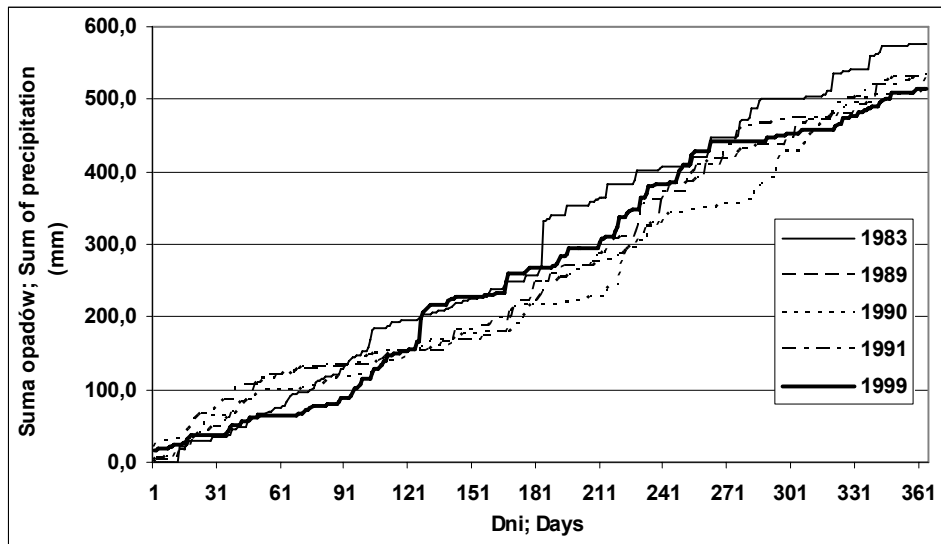
- sieć podstokowych suchych den dolin stanowiących epizodyczne cieki, na drodze których w trakcie zdarzeń ekstremalnych tworzą się głębokie, dochodzące do kilkadziesiąt centymetrów żłobiny (fot. 5).

Do drugiej grupy podsystemów zaliczyć trzeba:

- przykorytowe, często równinne strefy proluwialne zajęte przez użytki zielone i zadrzewienia, są to obszary doliny cieku charakteryzujące się wcześniej omówionymi wysokimi walorami krajobrazowymi i przyrodniczymi;
- obszary leśne, których pasmowa, poprzecznostokowa lokalizacja w miejscach charakteryzujących się występowaniem największych nachyleń terenu stanowi zabezpieczenie przeciwoerozyjne zarówno obszarów, na których lasy występują, jak i terenów niżej położonych (rys. 4, fot. 2).

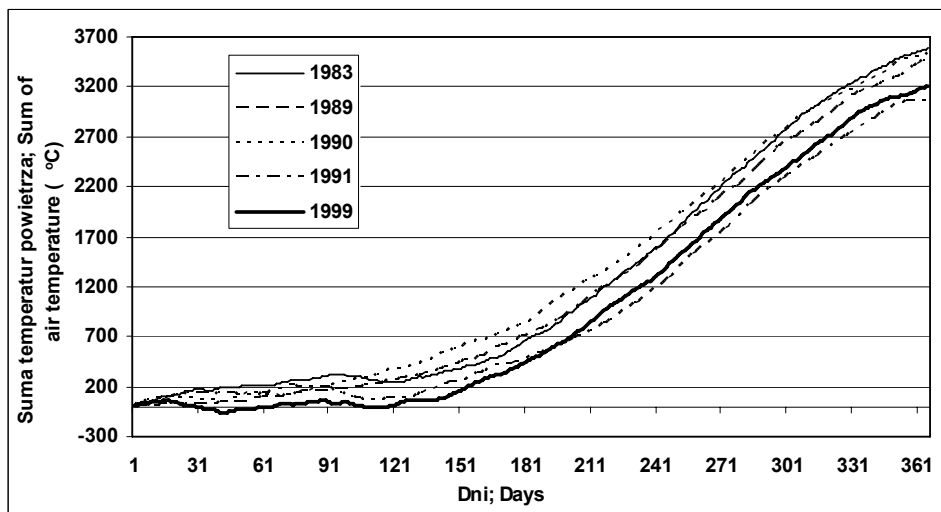
Wieloletnie badania prowadzone w zlewni Mielnicy pozwoliły uchwycić również element transformacji systemu transportu fluwialnego. Przemiany społeczno-gospodarcze, które dokonały się w naszym kraju po roku 1989, wyzwoliły również działania na obszarach wiejskich zmierzające m.in. do efektywniejszego wykorzystania powierzchni produkcyjnej. Przykładem takich działań w zlewni Mielnicy jest odbudowa istniejącego wcześniej stawu stanowiącego element architektury przypałacowej (zbiornik 1) oraz budowa nowego obiektu stawowego przeznaczonego do hodowli ryb karpiowatych. Obiekty te, stanowią nowe elementy w zlewni i traktowane mogą być w dwojaki sposób. Po pierwsze, ze względu na charakter lokalizacji na drodze skoncentrowanego spływu wód powierzchniowych stanowią fragment tego koryta, którego funkcjonowanie zostało omówione w rozdziale wcześniejszym. Po drugie stawy te, stanowią nowy element zagospodarowania przestrzennego zlewni, który w warunkach zlewni Mielnicy nie pozostaje bez znaczenia dla funkcjonowania całego systemu transportu fluwialnego. Powyższa problematyka dotycząca tego obszaru poruszana była w pracach Żmudy i in. [2001] oraz Szewrańskiego i in. [2002b].

Obiektywnej oceny roli stawów w transporcie materii można praktycznie dokonać porównując oddziaływanie przy zaistnieniu takich samych czynników wpływających na procesy zachodzące w zlewni, co przy prowadzeniu badań środowiskowych jest praktycznie niemożliwe. Stąd też takiej oceny dokonano na podstawie doboru lat podobnych z okresu przed wybudowaniem stawów i w trakcie ich funkcjonowania. Jako warunek podobieństwa przyjęto kryterium meteorologiczne uwzględniające prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych oraz odchyłki od średniej wieloletniej temperatury powietrza. Oceny takiej dokonano dla roku hydrologicznego 1999, który był okresem suchym i ciepłym. W wyniku powyższego postępowania, kryterium opadowe do okresów podobnych pozwoliło zaliczyć lata: 1983, 1989, 1990 i 1991, natomiast kryterium termiczne lata: 1983, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992 i 1994. Powyższe doборы przedstawiono na rysunkach 44 i 45.



Rys. 44. Krzywe sumowe opadów dobowych w latach podobnych pod względem prawdopodobieństwa wystąpienia [Żmuda i in. 2001]

Fig. 44. Cumulative curves of the total daily precipitation in years of similar probability of rainfall occurrence [Żmuda i in. 2001]



Rys. 45. Krzywe sumowe średnich dobowych temperatur powietrza w latach podobnych pod względem charakterystyki termicznej [Żmuda i in. 2001]

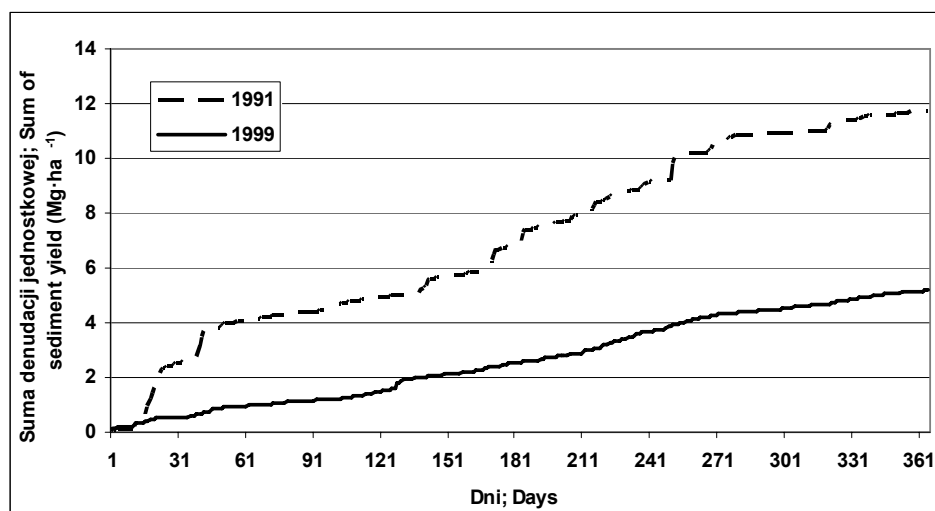
Fig. 45. Cumulative curves of the mean daily air temperature in years of similar thermal characteristics [Żmuda i in. 2001]

Na podstawie analizy rozkładu warunków meteorologicznych w czasie za rok najbardziej podobny uznano 1991. Porównując warunki hydrologiczne występujące w obydwu latach uzyskano potwierdzenie tego wyboru. Średnie miesięczne spływy jednostkowe w roku 1991 wahały się od 0,012 do 0,025 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnio 0,020 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), natomiast w roku 1999 od 0,016 do 0,022 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnio 0,019 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$), tak więc były bardzo zbliżone do siebie. Obliczone miesięczne ładunki rumowiska unoszonego w tych latach kształtowały się następująco:

- w roku 1991 od 176 do 1670 kg (suma roczna 7814 kg),
- w roku 1999 od 114 do 514 kg (suma roczna 3677 kg).

Dysponując obserwacjami dobowymi obliczono wskaźniki jednostkowej denudacji odpływowej dla poszczególnych zdarzeń transportu rumowiska unoszonego w cieku. Porównanie wielkości jednostkowych dało faktyczny obraz wpływu stawów na kształtowanie się transportu fluwialnego w zlewni Mielnicy (rys. 46).

Porównując wskaźniki jednostkowej denudacji odpływowej w okresie przed wybudowaniem stawów i podczas ich funkcjonowania (w roku 1991 – 11,71 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$; w roku 1999 – 5,17 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), stawy redukują wielkość wskaźnika o 56%, czyli w zakresie wyników uzyskanych przez innych autorów. Denudacja odpływowa bardzo często staje się wskaźnikiem zagrożenia zjawiskami erozji wodnej gleb, stąd też występowanie tego typu miejsc akumulacji rumowiska i nieuwzględnianie ich w podejmowaniu decyzji klasyfikujących zlewnię do stopni zagrożenia erozyjnego może doprowadzać do błędnych spostrzeżeń. Na problem ten zwracał uwagę w swojej pracy Szewrański [2002].



Rys. 46. Krzywe sumowe dobowej denudacji jednostkowej [Żmuda i in. 2001]
 Fig. 46. Cumulative curves of the total daily sediment yield [Żmuda i in. 2001]

Uzyskane w trakcie badań w zlewni Mielnicy roczne wartości wskaźnika jednostkowej denudacji odpływowej wahały się od 0,0038 do 0,4437 Mg·ha⁻¹, a wzrostowi powierzchni zbiorczej towarzyszy spadek wartości wskaźnika. Dowodzi to, że górne partie zlewni są silniej erodowane niż pozostałe jej fragmenty. W świetle uzyskanych wyników badań, zaproponowane przez Kowalińskiego i Oświecimskiego [1959, 1977] sklasyfikowanie górnych partii Wzgórz Trzebnickich do silnego stopnia zagrożenia erozją wodną gleb, środkowych partii średnio zagrożonych, a dolnych do słabo zagrożonych należy uznać za najbardziej trafne i zgodzić się z zajmowanym przez tych autorów stanowiskiem. Analizując potrzeby wprowadzenia zabiegów przeciwoerozyjnych według metody zaproponowanej przez Józefaciuków [1996] obszar ten, którego reprezentantem jest zlewnia Mielnicy, należy zaliczyć pod względem pilności objęcia ochroną przeciwoerozyjną do stopnia pierwszego (ochrona niezbędna) [Żmuda 1998a], a propozycja konkretnych działań zmierzających do ograniczenia tych szkodliwych dla środowiska procesów powinna być podejmowana po szczegółowej analizie uwarunkowań lokalnych występowania zjawisk.

8. Podsumowanie i wnioski

Badania transportu materii i jego dynamiki przeprowadzono w zlewni Mielnicy zlokalizowanej na obszarze Wzgórz Trzebnickich, w województwie dolnośląskim, w powiecie Trzebnica. Obszar zbiorczy o powierzchni 7,114 km², usytuowany jest na południowych zboczach Wzgórz. Przeprowadzone w makroskali dotychczasowe rozpoznanie zagrożenia zjawiskami erozji wodnej gleb tej krainy fizjograficznej oraz wieloletnie badania procesów erozyjnych prowadzone przez Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu wskazują, że jest to region, który należy zaliczyć do silnie erodowanych obszarów kraju. W celu osiągnięcia zamierzonych celów, w badaniach posłużono się bezpośrednimi metodami pomiarowymi, obserwacjami terenowymi, badaniami laboratoryjnymi oraz studiami kameralnymi. W analizie funkcjonowania systemu transportu fluwialnego zastosowano podejście systemowe i przeprowadzono ją na uniwersalnym modelu systemu fluwialnego opracowanym przez Schumma. Badania terenowe prowadzono w dwóch odmiennych środowiskach – wodnym koryta cieków i stokowym. W trakcie wyjazdów terenowych przeprowadzano wizje terenowe na obszarze całej zlewni, zwracając szczególną uwagę na występowanie objawów erozji powierzchniowej i liniowej, rodzaj i sposób użytkowania terenu, a także obserwowano na wytypowanym w strefie wododziałowej stoku rodzaj roślin uprawnych i ich fazy rozwojowe.

Dzięki zainstalowanemu na obszarze zlewni własnemu posterunkowi meteorologicznemu oraz prowadzonym na nim obserwacjom opadów oraz średnich dobowych temperatur powietrza możliwe było określenie roli tych czynników meteorologicznych w kształtowaniu erozji wodnej gleb w zlewni. Długi okres badawczy pozwolił obserwować zjawiska erozyjne zarówno w latach przeciętnych, jak i skrajnych. Roczne sumy opadów atmosferycznych kształtowały się od 463,8 do 762,0 mm, a średnioroczne temperatury powietrza wahały się od 6,4 do 9,8°C. Analiza pojedynczych zdarzeń opadowych wykazała, że intensywność opadów wahała się w bardzo szerokim zakresie i tak w roku 2003 wystąpiły opady o średnim natężeniu od 0,6 do 10,5 mm·h⁻¹, a w roku 2004 od 0,5 do 5,0 mm·h⁻¹. Chwilowe natężenia tych opadów były znacznie wyższe i w trakcie prowadzenia badań wyniosły od 1,4 do 249,7 mm·h⁻¹.

Obszar badawczy Wzgórz Trzebnickich pokryty jest prawie w całości zaliczanymi do pierwszej grupy podatności gleb na zmywanie – glebami lessowymi, a przeciętne nachylenie stoków w zlewni wynosi ok. 8%. Przeprowadzone analizy wybranych cech fizykochemicznych gleb wykazały ich zróżnicowanie w ujęciu rzeźby stoku i silny stopień zerodowania obszaru. Dodatkowo wykazano, że na stokach obserwujemy wytworzenie się podeszwy płużnej, co z punktu widzenia ogólnych warunków uprawy roślin jak

i potencjalnej możliwości zaistnienia zjawisk erozji wodnej gleb jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Wierzchnie warstwy profili glebowych wierzchowin charakteryzują się najwyższą przepuszczalnością wodną ($2,53 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), znacznie niższe wartości uzyskano na zboczu ($1,68 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) i najniższe u podnóża stoku ($3,23 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Określone wskaźniki podatności gleb na zmywanie wskazują, że na obszarze tym mamy do czynienia z silnie erodowanymi partiami przywierzchowinowymi i zboczami stoków oraz strefami akumulacji zmywanego materiału glebowego u ich podnóża. Charakterystyczne elementy rzeźby stoku wykazują zróżnicowanie zawartości składników chemicznych w glebach.

Rozpoznanie powyższych cech charakteryzujących zlewnię Mielnicy pozwala wyróżnić w systemie fluwialnym dwa podstawowe podsystemy – koryta cieków oraz stoków.

W systemie koryta cieków wyraźnie zaznacza się strefowość i odcinkowa zmienność jego cech, a cechy te determinowane są charakterem doliny, którą płynie Mielnica. Wydzielić można w niej trzy podstawowe strefy: górnego, środkowego i dolnego odcinka biegu, w których występują różne warunki odpływu wody, dostawy materii i jej przemieszczania. W górnym odcinku spływy jednostkowe osiągają najwyższe wartości i stają się przyczyną uruchamiania materii oraz jej transportu. Wskaźniki denudacji odpływowej osiągają tutaj najwyższe wartości i wraz z biegiem cieków oraz powiększaniem się obszaru zbiorczego maleją.

Intensywność i rozmiar występowania pojedynczych zdarzeń meteorologicznych były przyczyną znaczących wzrostów natężeń przepływów oraz ilości rumowiska unoszonego odprowadzanego poza przekroje. Zjawiska te częstokroć decydują o okresowych wielkościach transportu i wpływają na wielkość wskaźnika denudacji odpływowej. Maksymalną wartość roczną w trakcie prowadzenia badań odnotowano na poziomie $0,44 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i jest ona porównywalna z wynikami denudacji uzyskiwanymi w zlewniach Wyżyny Lubelskiej – obszaru uznawanego za najsilniej erodowany w kraju.

W obrębie koryta cieków wyróżniono także podsystemy spowalniające odpływ materii i stanowiące miejsca jej akumulacji. W zlewni Mielnicy są to stawy, które powodują ograniczenie transportu rumowiska w półroczu zimowym o ok. 18%, a w półroczu letnim o ok. 28%. Istotnego znaczenia dla tego typu obiektów nabiera także sposób gospodarowania wodą. W przypadku stawu hodowlanego dokonywanie gwałtownych zrzutów wody po większych opadach atmosferycznych zaburza pozytywne ich oddziaływanie i staje się przyczyną zanieczyszczenia odpływających wód powierzchniowych. Obecność na drodze skoncentrowanego odpływu rumowiska takich obiektów wpływa również na osiąganą wartość wskaźnika denudacji. Porównując ze sobą lata podobne pod względem warunków meteorologicznych, stawy redukują jego wielkość o ok. 56%.

Koryto cieków jest również odbiornikiem produktów erozji chemicznej. W okresach suchych przeciętna koncentracja N-N_{og} w wodach cieków zbliżona jest do $6,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i niewiele wzrasta wraz z przyrostem powierzchni zlewni. W latach charakteryzujących się większymi natężeniami przepływów obserwuje się stopniowy spadek koncentracji tego składnika, co wskazuje na rozcieńczanie odprowadzanych ilości. Podstawową formą odpływu są postacie rozpuszczone w wodzie, stanowiące przeciętnie ok. 75% odprowadzanych ilości.

Koncentracje azotanów na całej drodze odpływu są w miarę stałe i wykazują tylko niewielki wzrost wraz z biegiem cieków. Podobnie zachowują się azotyny, których stęże-

nia na całej długości kontrolowanego odcinka ciekłu były wyrównane, przeciętnie $0,02 \text{ mg N-NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$.

W przypadku azotu amonowego można przyjąć, że odprowadzany jest on w stałym stężeniu wynoszącym ok. $0,3 \text{ mg N-NH}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$, a zawartość tego składnika w wodach stopniowo wzrastała wzdłuż biegu ciekłu, szczególnie po przejściu przez obszary zabudowane i poniżej odpływu ze stawu hodowlanego. W przypadku fosforu, odpływ tego składnika można przyjąć za stały w koncentracji ok. $0,4 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenia potasu, wykazują zróżnicowanie. Na odpływie z obszarów rolniczych przeciętna koncentracja tego składnika wynosi $7,6 \text{ mg K} \cdot \text{dm}^{-3}$, a po przejściu przez obszary zabudowane i na odpływie ze stawu hodowlanego wzrasta do $9,5 \text{ mg K} \cdot \text{dm}^{-3}$. Składnik ten odprowadzany jest zasadniczo w postaci rozpuszczonej w wodzie, która to forma stanowi ok. 85% całości transportu.

W warunkach sprzyjających opadaniu cząstek rumowiska na dno ciekłu, a więc w okresach niżówkowych, materiał ten akumuluje się tworząc osady denne. Pod względem składu granulometrycznego na całej długości ciekłu, charakteryzują się one jako pyły zwykłe, a więc wytworzone są z materiału glebowego dominującego w zlewni Mielnicy. W osadach górnych partii ciekłów występuje wysoka zawartość materii organicznej (max $39,14 \text{ g C}_{\text{org}} \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz wysoka zawartość azotu ogólnego ($2800 \text{ mg N-N}_{\text{og}} \cdot \text{kg}^{-1}$). W osadach środkowego odcinka ciekłu zawartość materii organicznej jest podwyższona (max $29,15 \text{ g C}_{\text{org}} \cdot \text{kg}^{-1}$), a osady dolnego odcinka ciekłu głównego wykazują zawartość znacznie mniejszą (max $17,78 \text{ g C}_{\text{org}} \cdot \text{kg}^{-1}$). Zawartość azotu ogólnego w osadach pozostałych odcinków ciekłu głównego wzrasta po przejściu przez obszary zabudowane i tereny leśne, co jest zjawiskiem niepożądanym, gdyż może stać się przyczyną niskiej jakości odpływających wód powierzchniowych. Pod względem zawartości fosforu osady klasyfikują się do wysokiej, średniej i niskiej klasy. Górne odcinki ciekłów wykazują zawartości niskie (max $41 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$) i wraz z biegiem ciekłu koncentracje te rosną, by w środkowej strefie osiągnąć już wysokie poziomy zawartości (max $161 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$) i równie wysokie w dolnych partiach ciekłu. Podobnie jest w przypadku potasu, którego największe koncentracje stwierdzono w osadach dolnych partii zlewni (max $151 \text{ mg K} \cdot \text{kg}^{-1}$).

W systemie stokowym, poza takimi cechami wspólnymi jak np. sposób użytkowania i kierunek prowadzenia zabiegów agrotechnicznych oraz upraw, typ i rodzaj gleby, ilość wprowadzanych nawozów, warunki meteorologiczne itp., występują cechy różnicujące poszczególne elementy rzeźby stoku pozwalające zarazem wyodrębnić kolejne podsystemy: wierzchowin, zboczy oraz podnóży stoków. Różnicuje je skład granulometryczny, właściwości fizyko-wodne, odczyn i zawartość składników chemicznych oraz warunki fizjograficzne.

Wszystkie te uwarunkowania powodują, że w trakcie roztopów i intensywnych opadów na stoku pojawiają się tak niekorzystne zjawiska hydrologiczne jak spływy powierzchniowe i hipodermiczne. Te drugie są przypadkiem szczególnym nazywanym jako spływ kontaktowy, a odpływ wody następuje głównie wierzchnią warstwą gleby do głębokości 25 cm, co spowodowane jest występowaniem podeszwy płużnej. Rozmiary obydwu form szybkiego odprowadzania wody determinowane były aktualną wilgotnością gleby, jej przepuszczalnością wodną, ale decydujący wpływ miała chwilowa intensywność opadu. Nie bez znaczenia był także rodzaj uprawianej roślinności (okopowe i zbożowe). Spływy powierzchniowe w trakcie prowadzenia badań występowały sporadycznie

i to w terminach nie zawsze korespondujących ze sobą. W górnej części zbocza wystąpiły 12-krotnie przyjmując rozmiary od 0,001 do 2,593 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$, na zboczu 7-krotnie od 0,020 do 10,784 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$, a u podnóża stoku 10-krotnie od 0,017 do 24,585 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$. Prawie większości opadów towarzyszyły natomiast spływy hipodermiczne przybierając wartości: w górnej części zbocza od 0,075 do 3,203 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$, na zboczu od 0,078 do 3,105 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$, a u podnóża stoku od 0,078 do 3,195 $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$. Odpływów z warstw poniżej 25 cm praktycznie nie stwierdzono.

Przemieszczaniu się wód w kierunku koryta cieku towarzyszył transport materiału glebowego, którego koncentracje w spływach powierzchniowych w partii przywierzchowinowej zbocza wyniosły średnio 14,362 $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Z materiałem tym transportowane było:

- 3,1–4,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- N_{og} ,
- 0,5–4,8 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ P,
- 3,8–32,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ K.

W formie rozpuszczonej wody te zawierały:

- 3,3–32,5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- N_{og} ,
- 0,6–16,6 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- NH_3 ,
- 1,6–12,8 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- NO_x ,
- 0,3–0,9 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ P,
- 6,2–19,1 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ K.

Na zboczu stoku spływy powierzchniowe przemieszczały materiał glebowy w przeciętnej koncentracji 99,527 $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Razem z nim transportowane było:

- 4,5–18,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- N_{og} ,
- 0,7–25,5 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ P,
- 2,5–199,0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ K.

W formie rozpuszczonej wody spływów powierzchniowych zawierały:

- 3,4–29,8 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- N_{og} ,
- 0,3–9,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- NH_3 ,
- 0,4–18,7 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- NO_x ,
- 0,2–0,7 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ P,
- 7,0–15,4 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ K.

U podnóża stoku spływy powierzchniowe transportowały materiał glebowy w przeciętnej koncentracji 85,297 $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wraz z materiałem glebowym odprowadzane było:

- 4,1–22,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- N_{og} ,
- 1,6–10,1 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ P,
- 11,8–86,4 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ K.

W formie rozpuszczonej wody te zawierały:

- 2,1–25,6 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- N_{og} ,
- 0,1–16,0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- NH_3 ,
- 0,4–18,3 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ N- NO_x ,
- 0,1–0,4 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ P,
- 6,2–14,4 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ K.

Wody spływów hipodermicznych występujących w partii przywierzchowinowej zbocza odprowadzały materiał glebowy w koncentracjach od 0,968 do 55,387 $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$. Zakresy koncentracji składników chemicznych odpływających wraz z tymi wodami przedstawiały się następująco:

- azot ogólny związany z materiałem glebowym od 3,3 do 22,5 mg·dm⁻³,
- azot ogólny rozpuszczony w wodzie od 1,9 do 18,2 mg·dm⁻³,
- azot amonowy od 0,2 do 11,8 mg·dm⁻³,
- tlenki azotu od 0,9 do 12,6 mg·dm⁻³,
- fosfor związany z materiałem glebowym od 2,2 do 12,0 mg·dm⁻³,
- fosfor w formie rozpuszczonej od 0,2 do 0,9 mg·dm⁻³,
- potas związany z materiałem glebowym od 6,4 do 124,8 mg·dm⁻³,
- potas w formie rozpuszczonej od 3,4 do 25,4 mg·dm⁻³.

Na zboczu wody spływów hipodermicznych odprowadzały materiał glebowy w koncentracjach od 1,492 do 61,082 g·dm⁻³. Składniki chemiczne z nim związane odprowadzane były w koncentracjach:

- N-N_{og} od 2,8 do 13,7 mg·dm⁻³,
- P od 2,8 do 15,0 mg·dm⁻³,
- K od 2,8 do 153,6 mg·dm⁻³.

W formie rozpuszczonej spływy hipodermiczne na zboczu odprowadzały:

- od 4,3 do 43,0 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 0,2 do 42,0 mg·dm⁻³ N-NH₃,
- od 0,5 do 22,7 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,2 do 1,6 mg·dm⁻³ P,
- od 4,3 do 33,2 mg·dm⁻³ K.

W wodach spływów hipodermicznych u podnóża stoku stwierdzono koncentracje materiału glebowego wahające się od 1,529 do 76,283 g·dm⁻³, z którym odprowadzone zostały składniki chemiczne w stężeniach:

- od 5,1 do 58,0 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 3,1 do 41,4 mg·dm⁻³ P,
- od 6,8 do 307,8 mg·dm⁻³ K.

W formie rozpuszczonej warstwą orną tej strefy stoku odpłynęło:

- od 2,3 do 43,1 mg·dm⁻³ N-N_{og},
- od 0,1 do 18,0 N-NH₃,
- od 0,5 do 23,3 mg·dm⁻³ N-NO_x,
- od 0,3 do 1,6 mg·dm⁻³ P,
- od 6,3 do 50,8 mg·dm⁻³ K.

Obserwując zachowanie się materii na stoku należy stwierdzić, że analizowane składniki wykazują indywidualność w uwarunkowaniu transportu. Zarówno materiał glebowy, jak i składniki chemiczne wykazują zależność od miejsca lokalizacji w rzeźbie stoku, wielkości spływu powierzchniowego i hipodermicznego, tempa dostawy wody na powierzchnię gleby oraz przemywania profilu glebowego, czasu trwania i wysokości opadu atmosferycznego, a nawet rodzaju uprawianej roślinności i jej faz rozwojowych.

Na obszarze zlewni mamy do czynienia z silnie rozwiniętym rolnictwem, gdyż około 82% powierzchni przeznaczona jest na użytkowanie rolnicze, z czego zasadniczą część stanowią grunty orne. Kształt pól oraz dominujący kierunek prowadzenia zabiegów agrotechnicznych (niezgodne z profilaktyką przeciwozyjną uprawy takich obszarów), sprzyjają procesom erozji wodnej gleb. W trakcie prowadzenia badań, na stoku uprawiano rośliny, które powszechnie są uważane za niewskazane do uprawy na terenach erodowanych (buraki cukrowe w 2003 roku), jak i dobrze chroniące glebę (pszenica ozima w

2004 roku). Wprowadzane na powierzchnię pola dawki nawozów były dostosowane do terminów ich stosowalności wynikających ze wskazań praktycznych dla poszczególnych upraw. Obserwacje faz rozwojowych tych roślin wykazały, że przypisywana funkcja ochronna upraw ozimych (szczególnie pszenicy) jest mocno przeszacowana i w okresach wczesnowiosennych występują równie silne sploty i zmywy powierzchniowe jak przy uprawie rośliny okopowej. Uprawa zbożowych nabiera dopiero istotnego znaczenia ochronnego w okresach późniejszych. Dzięki silnemu ukrzewieniu i zagęszczeniu występowaniu stanowią element umocnienia przeciwozyjnego potencjalnych miejsc koncentracji splotu powierzchniowego.

Zastosowanie do obliczeń ładunków metody „przepływ(odpływ) – stężenie” umożliwiło określenie ilości materiału glebowego oraz składników chemicznych uruchamianych erozyjnie na stoku oraz odprowadzanych wraz z odpływającymi ciekami wodami. Relacja między tymi wielkościami określana mianem wskaźnika dostawy „DR” oraz ustalenie jej dla pojedynczych zdarzeń, zobrazowało funkcjonowanie systemu transportu fluwialnego jako zorganizowanej całości. Na osiąganą wartość wskaźnika DR największy wpływ ma wysokość opadu atmosferycznego oraz jego chwilowa intensywność. Zależności w obydwu przypadkach są odwrotnie proporcjonalne, tzn. wzrostowi opadu lub intensywności towarzyszy spadek wartości DR. Jego zakres waha się w bardzo szerokich granicach. W roku 2003 zmieniał się on od 0,02 do 4,96% dla górnej części zbocza, od 0,0006 do 2,87% dla zbocza oraz od 0,0003 do 3,03% dla podnóża stoku. Natomiast w roku 2004 zmieniał się w nieco węższym zakresie, bo od 0,04 do 7,61% dla partii przywierzchowinowej, od 0,08 do 6,68% dla zbocza oraz od 0,04 do 7,12% dla podnóża stoku. Generalnie przybierał on wartości minimalne w okresie wiosennym i ponownie do nich dążył jesienią. Okres silnego rozwoju nadziemnych części roślin charakteryzował się wartościami najwyższymi, a zróżnicowanie przebiegu w obydwu latach świadczy o lepszej ochronie powierzchni stoku przez uprawę pszenicy ozimej. Określone wartości wskaźnika DR uwiadcniają, że okresami największej aktywności erozyjnej zlewni jest wiosna i jesień. W pozostałych terminach relacja między ilościami odprowadzanymi ciekami a uruchamianymi na stoku jest wyższa, świadcząc o mniejszej aktywności erozyjnej obszaru.

Odzwierciedleniem procesów erozyjnych zachodzących w zlewni może być również denudacja odpływowa. Wartość wskaźnika denudacji maleje wraz z biegiem cieku i związanym z tym przyrostem powierzchni zlewni, a o jego wielkości często decydują pojedyncze ekstremalne zdarzenia hydrometeorologiczne. Osiągane przeciętne wartości wskaźnika denudacji oraz jego zmienność strefowa pozwala stwierdzić, że górne partie Wzgórz Trzebnickich zagrożone są w stopniu silnym, partie środkowe średnio zagrożone, a dolne odcinki wykazują zagrożenie słabe. Podobne spostrzeżenia sformułowali Kowaliński i Oświecimski [1959, 1977] i praktycznie należy się z nimi zgodzić. Istotnym elementem w trakcie szacowania denudacji odpływowej jest występowanie stawów na drodze splotu wód powierzchniowych. To miejsce akumulacji materii przyczynia się do zredukowania wartości wskaźnika denudacji odpływowej o ok. 56% i nieuwzględnienie tego typu obiektów może doprowadzić do błędnych wniosków przy określaniu tego wskaźnika dla zlewni.

Przeprowadzone rozpoznanie warunków terenowych, obserwacje prowadzone w trakcie realizacji badań, wykonane badania i analizy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. W otwartym systemie transportu fluwialnego zlewni Mielnicy, będącej reprezentantem obszarów zbiorczych mających swe źródła na Wzgórzach Trzebnickich, funkcjonują dwa podstawowe podsystemy: koryta cieków oraz stokowy. Przeprowadzone na stoku rozpoznanie niektórych cech pedologicznych, fizyko-wodnych, zawartości składników chemicznych oraz warunków fizjograficznych, pozwala wyodrębnić w nim subsystemy takie jak: przywierzchwinowy, zboczowy i podnóża stoków.
2. Przebieg, ilość i natężenie wynoszenia ze zlewni składników materii wykazały, że są one zależne od czynników meteorologicznych, topograficznych, pedologicznych, warunków i sposobu użytkowania oraz przestrzennego zagospodarowania całości zlewni.
3. Faliste ukształtowanie terenu (o spadkach lokalnie przekraczających 20%), zaleganie w zlewni jednych z najbardziej podatnych na zmywanie gleb lessowych oraz dominujące rolnicze użytkowanie obszaru pozwala stwierdzić, że na Wzgórzach Trzebnickich istnieją warunki do powstawania zjawisk erozyjnych oraz zaistnienia zdarzeń hydrologicznych sprzyjających „szybkemu” przemieszczaniu się materii w zlewni.
4. Przeprowadzone badania właściwości fizykochemicznych gleb wykazały, że wskaźniki podatności gleb na zmywanie są zróżnicowane w ujęciu rzeźby stoku wykazując najwyższe wartości u jego podnóża. Gęstość właściwa tych gleb zbliżona jest do $2,6 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ i oscyluje wokół tej wartości będąc wyraźnie niższą w wierzchnich warstwach profili glebowych. Podobnie prezentuje się gęstość objętościowa (ok. $1,5 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), wzrastając wraz z głębokością i wyraźnie zwiększając się na głębokości 50 cm. Lessy Wzgórz Trzebnickich charakteryzują się również zróżnicowaniem w rzeźbie stoku przepuszczalności wodnej, osiągającej najwyższe wartości w warstwie wierzchniej i znacznie malejącej w warstwie podornej. Powyższe cechy wskazują na wytworzenie się podeszwy płuznej, co sprzyja procesom erozji wodnej gleb i szybkiemu odprowadzaniu wody ze stoku. Wierzchnie warstwy gleb zalegających w górnej części zbocza wykazują odczyn lekko kwaśny, natomiast warstwy głębsze odczyn obojętny. Gleby na zboczu i u podnóża stoku generalnie charakteryzują się odczynem obojętnym. Zasobność w składniki chemiczne wykazuje również zróżnicowanie w zależności od lokalizacji miejsca poboru na stoku.
5. Panujące w trakcie realizacji badań zróżnicowane warunki meteorologiczne w powiązaniu z pedologicznymi warunkami fizyko-wodnymi (przepuszczalnością i wilgotnością podłoża) oraz rodzajem występujących roślin powodowały, że spływy powierzchniowe tworzyły się sporadycznie. Opadom erozyjnym generalnie zawsze towarzyszyły spływy hipodermiczne przemieszczające materię w obrębie stoku. Spływy powierzchniowe i towarzyszący im transport materii nie zawsze występowały na całym stoku, co świadczy o skokowym przemieszczaniu materii po powierzchni terenu. Bilans redepozycji materiału glebowego na stoku wskazuje na ustawiczny proces denudacji zachodzący we wszystkich charakterystycznych elementach jego rzeźby. Najintensywniej przebiega on w górnej, przywierzchwinowej części zbocza i na zboczu, a nieco wolniej u podnóża stoku.

6. Koncentracje i ilość, odprowadzanego w spływie powierzchniowym, materiału glebowego uzależnione są od wielkości samego spływu oraz intensywności chwilowej opadu atmosferycznego. Koncentracje i ilości materiału glebowego transportowane spływem hipodermicznym w górnej części zbocza zależą istotnie od intensywności chwilowej opadu, decydującej o tempie przemywania wierzchniej warstwy, a w pozostałych strefach stoku dodatkowo od objętości tego spływu.
7. Uruchamianie w spływach powierzchniowych górnej części zbocza formy azotowe uzależnione są od ilości odpływającej wody, a w niższych partiach stoku od wysokości opadu atmosferycznego. Czas trwania opadu wpływa na uruchamianie w spływach powierzchniowych ilości tlenków azotu i wraz z jego wydłużaniem się koncentracje tego składnika maleją. Pomierzone w spływach hipodermicznych stężenia składników azotowych wykazywały zmienność sezonową warunkowaną rodzajem okrywającej stok roślinności oraz stosowanymi dawkami nawozowymi.
8. Czas trwania opadu i związany z nim czas ługowania wierzchniej warstwy profilu glebowego oraz wielkość spływu hipodermicznego wpływają na koncentracje rozpuszczonych form fosforu. Istnienie takich zależności stwierdzono dla całej rzeźby stoku, jednakże można przyjąć, że odpływa on w stałej koncentracji, nie przekraczającej $0,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Zasadnicza część fosforu odprowadzana jest wraz z materiałem glebowym, a rozmiary transportu warunkowane są zarówno z wielkością spływu powierzchniowego, jak i śródpokrywowego.
9. Ustalone ładunki składników uruchamianych na stoku i w wodach odpływających ciekami oraz wzajemna relacja między tymi wielkościami wykazały zmienność sezonową wartości wskaźnika dostawy do koryta cieków, a osiągnięte wielkości potwierdzają przydatność w ochronie przeciwoerozyjnej obszaru roślin ozimych, ale w późniejszych fazach rozwojowych. W okresie wiosennym funkcja ta nie potwierdza się, a osiągane wtedy niskie wartości wskaźnika DR wskazują, że w obrębie stoku procesy erozyjne zachodzą równie intensywnie jak przy roślinach okopowych.
10. Osiągane wartości wskaźników dostawy materii do koryta cieków determinowane są wysokością opadu atmosferycznego i maksymalną chwilową jego intensywnością. Tendencje przebiegu linii trendu tych zależności wyraźnie wskazują, że osiągnięta wielkość DR jest odwrotnie proporcjonalna do wzrostu wartości ww. czynników.
11. Sprzężenie systemu stokowego z korytowym następuje sporadycznie i to tylko w trakcie zdarzeń o charakterze maksymalnym. Ale nawet wówczas osiągane wartości wskaźnika dostawy materii są bardzo niskie, świadcząc o ograniczonym dopływie do koryta cieków. Wynika z tego, że na drodze przemieszczania się materiału glebowego i składników chemicznych istnieją i funkcjonują dodatkowe poza wyróżnionymi podsystemy, stanowiące bufor oddzielający koryto cieków od środowiska stokowego. Funkcjonowanie takich podsystemów stwierdzano w trakcie wizji terenowych i stanowią je podstokowe suche dna dolin, wąwozy, drogi nieutwardzone i bite, przykorytowe, równinne strefy proluwialne oraz obszary zadrzewione.
12. Odzwierciedleniem procesów erozji wodnej gleb zachodzących w zlewni jest wskaźnik denudacji odpływowej. Uzyskane w trakcie badań jego wartości pozwalają zaliczyć Wzgórze Trzebnickie do silniej erodowanych obszarów kraju. Zmienność strefowa tego wskaźnika obrazująca się spadkiem wartości wraz z przyrostem powierzchni zlewni klasyfikuje górne partie Wzgórz do obszarów silnie erodowanych,

środkowe do średnio, a dolne do słabo erodowanych. Na osiąganą wartość tego wskaźnika niejednokrotnie wpływają pojedyncze zdarzenia hydrometeorologiczne o charakterze maksymalnym. Elementem transformującym cały system, a zarazem wpływającym na wartość wskaźnika denudacji jest wprowadzenie do koryta cieków obiektów stawowych. Te miejsca akumulacji materii redukują szacowaną wartość wskaźnika o 56%.

13. Śledzenie intensywności procesów erozyjnych prowadzone wyłącznie na podstawie pomiarów korytowych daje pewien obraz przebiegu tych zjawisk na obszarze zlewni, jednakże docelowo należy dążyć do prowadzenia większej ilości badań w geomorfologicznym środowisku stokowym, gdyż tylko one odzwierciedlają faktyczne zagrożenie zlewni erozją wodną gleb.

Piśmiennictwo

- Allen P.A.: 2000. Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi. PWN, Warszawa, ss. 475.
- Anioł-Kwiatkowska J.: 2003. Zagrożenia flory synantropijnej Dolnego Śląska – problemy wymierania archeofitów. Zagrożone gatunki flory naczyniowej Dolnego Śląska. s. 151–164.
- Auerswald K.: 1989. Predicting nutrient enrichment from long-term average soil loss. *Soil Technol.* 2, s. 271–277.
- Bac S.: 1928. Przyczynek do badań nad zmianą położenia powierzchni ornych gruntów loesowych. *Rocz. Nauk Rol. i Leś.*, t. XIX, Poznań, ss. 28.
- Bac S.: 1948. Zdobycze pługa w Kotlinie Kłodzkiej. *Rocznik Kłodzki*, s. 119–136.
- Bac S.: 1991. Ocena warunków agroklimatycznych dla potrzeb rolnictwa. *Acta Univ. Wratisl.*, Pr. Geogr., seria A, Geogr. Fiz., t. VI, Wrocław.
- Bac S., Koźmiński C., Rojek M.: 1993. *Agrometeorologia*. PWN, Warszawa, ss. 252.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z.: 1993. *Hydrometria*. PWN, Warszawa, ss. 313.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z.: 1999. *Hydrologia ogólna*. PWN, Warszawa, ss. 313.
- Banasik K., Barszcz M., Pudzianowska J., Czempińska-Świtalska Z.: 2002. Wyznaczanie czasu opóźnienia odpływu wezbraniowego w zlewni rzeki Gzówki. [w:] *Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznoego”*, Zakopane, s. 73–80.
- Banasik K., Górski D.: 1990. Wyznaczenie erozyjności deszczy do uniwersalnego równania strat glebowych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 189, *Melior.* XXXIV, Wrocław, s. 103–109.
- Banasik K., Górski D.: 1992. Wykorzystanie uniwersalnego równania strat glebowych USLE do oceny ilości rumowiska unoszonego odpływającego z małych zlewni. *Gosp. Wod.* 3, s. 62–65.
- Banasik K., Hejduk L.: 2005. Badania granulometrii rumowiska unoszonego w małej rzece nizinnej. *Acta Agrophysica* 116, vol. 5(2), Lublin, s. 253–262.
- Banasik K., Madeyski M.: 1991. Próba wykorzystania zmodyfikowanego równania strat glebowych do oceny ilości rumowiska unoszonego w falach wezbraniowych małych zlewni karpackich. PWN, *Rocz. Nauk Rol.*, *Melioracje ser. F*, t. 82, z. 3/4, Poznań, s. 7–15.
- Barszcz M., Banasik K.: 2002. Czasy opóźnienia odpływu wody i rumowiska unoszonego z małej zlewni podgórskiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 35–44.

- Barszcz M., Hejduk L., Banasik K.: 2002. Badanie czasów opóźnienia odpływu wody i rumowiska unoszonego jako reakcji zlewni na opad. [w:] Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznoego”, Zakopane, s. 88–95.
- Bartnik W.: 1992. Hydraulika potoków i rzek górskich z dnem ruchomym początek ruchu rumowiska wlezonego. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozpr. habil. 171, ss. 122.
- Bartnik W., Madeyski M.: 1992. Denudacja w małych zlewniach górskich jako jeden z czynników określania natężenia erozji. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 271, Sesja nauk, „Erozja gleb i gospodarowanie na terenach urzeźbionych”, z. 35, cz. I, s. 257–265.
- Baryła A., Pierzgałski E.: 2005. Analiza metod obliczania rozstawy tarasów grzbietowych. Acta Agrophysica 116, vol. 5(2), Lublin, s. 263–270.
- Bednarczyk T., Madeyski M.: 1998. Assessment of suspended load trapped in a small reservoir related to the erosion in loess basin. [w:] Modelling Soil Erosion. Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes. IAHS Publ. 249, Vienna, s. 241–247.
- Bednarczyk T., Michalec B.: 1996. Wpływ akumulacji rumowiska w małym zbiorniku wodnym na warunki eksploatacji. Zesz. Nauk. AR Wroc. 289, Konferencje XI, s. 31–38.
- Bednarczyk T., Michalec B.: 2001. Określenie zdolności małych zbiorników wodnych do trwałego zatrzymywania rumowiska unoszonego. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 382, Inżynieria Środowiska 21, Kraków, s. 113–120.
- Bennett H.H.: 1939. Soil conservation. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Berger F.: 1937. Die Anlage der Schlesischen Stauchmoränen. Zentralbl. Miner. Geol. Palänt. Abt. B, S. 417–434, 481–497.
- Bieniek B.: 2001. Właściwości sorpcyjne erodowanych gleb gliniastych w krajobrazie moreny pagórkowatej. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 9–14.
- Bieniek B., Wójciak H.: 1998. Substancja organiczna w erodowanych glebach Pojezierza Mazurskiego. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn, s. 251–259.
- Biernacka E., Pijanowska H.: 1996. Ocena przydatności płytkich wód czwartorzędowych dla zaopatrzenia w wodę na obszarach o różnym stopniu zagrożenia antropopresją. [w:] I Forum Inżynierii Ekologicznej, Wyd. Ekoinżynieria, Lublin, s. 315–319.
- Bogacki M., Kowalczyk I.: 2000. Geomorfologia ekologiczna systemów fluwialnych. Wyd. Akadem. Dialog, Warszawa, ss. 122.
- Bogda A., Chodak T., Szerszeń L.: 1998. Właściwości i skład minerałów ilastych gleb Dolnego Śląska. Zesz. Nauk. AR Wroc. 325, Monografie XII, Wrocław, ss. 89.
- Bojakowska I., Sokołowska G.: 1998. Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. Przegl. Geol. 46/1, s. 49–54.
- Brandyk T., Hewelke P.: 1996. Ochrona i zrównoważony rozwój środowiska wiejskiego. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Brański J.: 1968. Charakterystyka transportu rumowiska unoszonego w rzekach polskich. Gosp. Wod. 11, s. 415–418.

- Buraczyński J.: 1990. Rozwój wąwozów na Roztoczu Gorajskim w ostatnim tysiącleciu. *Annales UMCS*, vol. XLIV/XLV, sectio B, Lublin, s. 95–104.
- Burdukiewicz J.M.: 1980. Wyniki badań stanowiska dolnopaleolitycznego Trzebnica 2. *Śląskie Spr. Archeol.*, t. 31, s. 7–24.
- Brzozowski M., Pierzgałski E.: 1998. Zastosowanie modelu AGNPS do oceny procesów erozyjnych w basenie jeziora Drużno. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, Olsztyn, s. 143–156.
- Byczkowski A.: 1999. *Hydrologia – t. I i II*. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Carpenter S., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley A.N., Smith V.H.: 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.*, vol. 8, no. 3.
- Cegła J.: 1972. Sedymentacja lessów Polski. *Acta Univ. Wratisl., Studia Geogr.* 168, Wrocław, ss. 71.
- Chapman P.J., Reynolds B., Wheeler H.S.: 1993. Hydrochemical changes along stormflow pathways in a small moorland headwater catchment in mid-Wales. UK, *Wyd. J. Hydrol.* 151, s. 241–265.
- Chudecki Z., Koćmit A., Tomaszewicz T.: 1991. Wpływ agrotechniki na rozwój erozji wodnej gleb w młodoglacjalnym krajobrazie Pomorza Zachodniego. *Wyd. AR w Lublinie „Erozja gleb i jej zapobieganie”*, s. 261–276.
- Cook R.L., Ellis B.G.: 1987. *Soil Management*. Wyd. John Wiley, New York, s. 94–110.
- Czajka W.: 1931. *Der Schlesische Landrücken*. *Veroff. Schles. Ges. Erdk.* 11, S. 26–57.
- Czamara W.: 1992. Prognoza erozji powierzchniowej w zlewniach zbiorników wodnych zlokalizowanych na przedgórzcu sudeckim. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 271, s. 79–89.
- Czamara W., Krężel J., Łomotowski J.: 1994. Wpływ retencji zbiornikowej na jakość wody powierzchniowej w zlewni Nysy Szalonej. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 246, Konferencje III, t. 2, Wrocław, s. 53–62.
- Czyżyk F.: 1994. Wpływ wieloletnich nawodnień ściekami na glebę, wody gruntowe i rośliny. *Rozpr. hab., IMUZ Wrocław–Falenty*, ss. 77.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A.: 1982. *Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych*. PWRiL, Warszawa.
- Deumlich D., Völker L.: 2001. Use of Erosion-2D/3D model for a watershed in the unconsolidated rock region of Brandenburg. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 33–36.
- Dębski K.: 1955. *Hydrologia kontynentalna – cz. I Hydrometria*. Wyd. Komunikacyjne, Warszawa.
- Dobrowolski A.: 2002. Pomiary rumowiska unoszonego w służbach hydrologicznych krajów europejskich. [w:] *Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznoego”*, Zakopane, s. 58–63.
- Dojlido J.R.: 1995. *Chemia wód powierzchniowych*. Wyd. *Ekonomia i Środowisko*, Białystok, ss. 342.
- Dojlido J.R., Leszczyński A., Włodarczyk E.: 1990. Zanieczyszczenia obszarowe w zlewni rzeki Skierniewki. [w:] *Wyd. IMUZ „Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych”*, *Mat. semin.* 26, Falenty, s. 197–202.

- Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego. Official Journal L 375, 31/12/1991 P. 0001–0008.
- Fatyga J.: 1966. Występowanie i nasilenie żłobinowej erozji gleb na polach przeciwerozyjnych w Ławicy przy uprawie niektórych roślin. Wiad. IMUZ, t. 5, z. 4, s. 127–155.
- Fatyga J.: 1989. Stan badań nad erozją wodną gleb w Sudetach. Wyd. PTG i AR we Wrocławiu „Wpływ czynników naturalnych i antropogenicznych na procesy erozji gleb”, s. 19–30.
- Fatyga J.: 1997. Perspektywy kształtowania granicy rolno-leśnej w terenach górskich Polski południowej. Wyd. AR w Poznaniu, mat. II Ogólnopol. Konf. Nauk. „Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego”, Poznań, s. 23–29.
- Fatyga J.: 1998. Problemy erozyjne Dolnego Śląska. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4A/98, Olsztyn, s. 15–28.
- Fatyga J.: 2001. Zapobieganie erozji na gruntach ornych w terenach górskich (zalecenia praktyczne). Wyd. IMUZ, Falenty-Wrocław, ss. 26.
- Fatyga J.: 2002. Kształtowanie granic rolno-leśnej i darniowo-polowej w Sudetach w systemie ochrony gleby przed erozją wodną. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 487, Warszawa, s. 67–77.
- Fatyga J., Stodolak R.: 2005. Kształtowanie się spływu śródpokrywowego na obszarze zlewni badawczej w Boguszynie (Sudety Środkowe) w 2004 roku. Wyd. IMUZ „Woda–Środowisko–Obszary wiejskie”, t. 5, z. 2 (15), s. 175–184.
- Figuła K.: 1955. Wstępna charakterystyka zjawisk erozji na terenie kilku powiatów województwa krakowskiego. Roczn. Nauk Rol., t. 71-F-1, Warszawa, s. 111–148.
- Figuła K.: 1966. Badania transportu rumowiska w ciekach górskich i podgórskich o różnej budowie geologicznej i użytkowaniu. PWRiL, Wiad. IMUZ, t. VI, z. 3, Warszawa, s. 131–145.
- Froehlich W.: 1975. Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. Pr. Geogr. IGiPZ PAN, 114.
- Froehlich W.: 1982. Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej. Pr. Geogr. IGiPZ PAN 143, ss. 144.
- Froehlich W.: 1992. Mechanizm erozji i transportu fluwialnego w zlewniach beskidzkich. Pr. Geogr. IGiPZ PAN, 155.
- Froehlich W.: 2002. Badania transferu zwietrzelin w beskidzkim systemie fluwialnym. Mat. Symp. Nauk. „Erozja gleb i transport rumowiska rzeczno”, Zakopane 10–12 X 2002, s. 52–57.
- Froehlich W., Słupik J.: 1980. Drogi polne jako źródła dostawy wody i zwietrzliny do koryta cieku. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 235, Warszawa, s. 257–268.
- Froehlich W., Słupik J.: 1986. Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpacczych zlewniach fliszowych. Prz. Geogr. 58, z. 1–2, s. 67–87.
- Gacek T.: 2000. Czynniki dostawy fosforu do wód powierzchniowych na Pogórzu Karpackim. [w:] Wyd. Inst. Geogr. UJ „Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim”, Kraków, s. 65–82.

- Gawrysiak L., Janicki G., Rodzik J., Stepniewski K.: 2002. Odpływ i transport zawiesiny podczas spływu epizodycznego z rolniczej zlewni lessowej. [w:] Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznego”, Zakopane, s. 64–72.
- Gerlach T.: 1966. Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka (Beskid Wysoki – Karpaty Zachodnie). Wyd. Geolog., PAN Inst. Geogr., Pr. Geogr. 52, Warszawa, ss. 111.
- Gerlach T.: 1976. Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach fliszowych. Wyd. PAN, Inst. Geogr. i Przestrz. Zagosp., Pr. Geogr. 122, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk, ss. 116.
- Giegużyńska E., Gołębiowska D., Koćmit A., Sasim S.: 2001. Zawartość i skład frakcyjny próchnicy w erodowanych glebach uprawnych wsi Brwice (zachodniopomorskie). *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 43–48.
- Gil E.: 1999. Obieg wody i splukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980–1990. *Zesz. IGiPZ PAN*, 60, Warszawa, ss. 78.
- Gil E., Słupik J.: 1972. The influence of the plant cover and land use on the surface runoff and wash down during heavy rain. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.* 6, s. 181–190.
- Gil E., Starkel L.: 1979. Long-term extreme rainfalls and their role in the modelling of flysch slopes. *Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan.* 13, s. 207–220.
- Gładki H.: 1976. Opory i prędkość przepływu w korytach rzek górskich na przykładzie karpaccich dopływów Wisły. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 118, *Rozprawy* 43, Kraków, ss. 142.
- Gładki H.: 1978. Badania ilościowe natężenia erozji na obszarze Karpat i Podkarpacia. [w:] Wyd. PTG „Natężenie erozji gleb górskich na podstawie badań ruchu rumowiska”, Warszawa, s. 15–28.
- Graf W.H.: 1971. *Hydraulics of sediment transport*. Wyd. McGraw-Hill Book Company, New York, ss. 513.
- Gupta L.P., Subramanian V.: 1998. Geochemical factors controlling the chemical nature of water and sediments in the Gomti River, India. *Wyd. Springer-Verlag, Environmental Geology* 36 (1–2), s. 102–108.
- Gutry-Korycka M., Werner-Więckowska H.: 1989. *Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych*. PWN, Warszawa, ss. 275.
- Horton R.E.: 1935. *Surface runoff phenomena: Analysis of the hydrograph Voorheesville*. Horton Hydrol. Laboratory Publ., New York, ss. 101.
- Hrabě F.: 1991. Produkcyjność i przeciwerozyjne znaczenie użytków zielonych w rejonach podgórskich. *PWRiL, Wiadomości IMUZ*, t. XVI, z. 4, Warszawa, s. 131–138.
- Hus S.: 1994. Ocena wpływu gospodarki wodno-ściekowej wsi górskiej na jakość wód powierzchniowych. *Probl. Zagosp. Ziem Górskich* 37, Kraków, s. 217–230.
- Hus S., Pulikowski K., Nowacki J.: 1998. Jakość wód w niektórych małych ciekach górskich przepływających przez pastwiska na terenie Sudetów. *Probl. Zagosp. Ziem Górskich* 44, Kraków, s. 87–101.

- Janik G.: 2005. Próba zastosowania reflektometrii czasowej (TDR) do szacowania spływu powierzchniowego. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 420, Inżynieria Środowiska 26, Kraków, s. 83–91.
- Jarząbek A.: 1998. Zmiany ładunku fosforanów przy przepływie przez małe zbiorniki. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 458, Warszawa, s. 389–396.
- Jary Z.: 1991. Profil utworów lessowych w Trzebnicy koło Wrocławia. [w:] Pr. zb. pod red. H. Maruszczaka „Podstawowe profile lessów w Polsce”, UMCS, Lublin, s. 196–200.
- Jary Z.: 1996. Chronostratygrafia oraz warunki sedymentacji lessów południowo-zachodniej Polski na przykładzie Płaskowyżu Głubczyckiego i Wzgórz Trzebnickich. *Acta Univer. Wratisl.* 1766, *Studia Geogr.* LXIII, Wrocław, ss. 99.
- Jary Z., Chodak T., Krzyszkowski D.: 1990. Utwory pyłowe na stanowisku archeologicznym Trzebnica 2. *Śląskie Spraw. Arch.* 31, s. 31–49.
- Jary Z., Kida J.: 2002. Erozja wązowa na obszarach lessowych południowo-zachodniej Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 79–86.
- Jaworski J., Szkutnicki J.: 2001. Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych. Pr. zb. pod red. J. Jaworskiego i J. Szkutnickiego, Wyd. PTGeofiz. i IMGW, Warszawa, ss. 181.
- Józefaciuk A.: 1982. Podstawy kompleksowego zagospodarowania rolniczych terenów erodowanych na przykładzie badań w zlewni Opatówki. IUNG Puławy.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1992a. Struktura zagrożenia erozją wodną fizjograficznych krain Polski. Wyd. IUNG, Pamiętnik Puławski, supl. do z. 101, Puławy, s. 23–49.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1992b. Zarys morfogenetycznej klasyfikacji erozji gleb. Wyd. IUNG, Pamiętnik Puławski, supl. do z. 101, Puławy, s. 5–21.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1992c. Gęstość sieci wązowej w fizjograficznych krainach Polski. Wyd. IUNG, Pamiętnik Puławski, supl. do z. 101, Puławy, s. 51–65.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1995. Erozja agroekosystemów. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, ss. 168.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1996. Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, ss. 146.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1998. Erozja gleb i melioracje przeciwerozyjne w regionie wyżyn południowo-wschodniej Polski. Cz. I. Ocena nasilenia erozji gleb. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4A/98, Olsztyn, s. 145–167.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C.: 1999. Ochrona gruntów przed erozją. Poradnik dla władz administracyjnych i samorządowych oraz służb doradczych i użytkowników gruntów. Wyd. IUNG, Puławy.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C., Woch F.: 1998. Melioracje przeciwerozyjne jako czynnik kształtowania stosunków wodnych. *Przeł. Nauk. Wydz. Melior. i Inż. Środ.* 15, SGGW, Warszawa, s. 24–34.
- Józefaciuk C.: 1966. Zastosowanie deszczowni do badań erozji wodnej gleb. *PWRiL, Wiad. IMUZ*, t. VI, z. 3, Warszawa, s. 285–290.
- Józefaciuk C., Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: 2001. Struktura zagrożenia gleb erozją wodną powierzchnią w województwie zachodniopomorskim. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 65–68.

- Józefaciuk C., Józefaciuk A., Nowocień E., Wawer R.: 2002. Przeciwerozyjne zagospodarowanie zlewni wyżynnej potoku Grodarz z uwzględnieniem ograniczania powodzi. Wyd. IUNG, Monografie i Rozprawy Naukowe 4, Puławy, ss. 69.
- Józefaciuk C., Nowocień E., Podolski B.: 2005. Ocena melioracji przeciwerozyjnych w wybranych obiektach badawczo-wdrożeniowych. *Acta Agrophysica* 116, vol. 5(2), Lublin, s. 291–305.
- Józefaciuk C., Nowocień E., Wawer R.: 2001. Rozwój wąwozu drogowego i koncepcja jego zabudowy. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 69–72.
- Jóźwiak M.: 1992. Określenie intensywności erozji wodnej powierzchniowej w warunkach symulowanego deszczu. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 273, *Sesja Naukowa* 35, cz. II, Kraków, s. 105–112.
- Kaczmarczyk M.: 1991. Wstępne badania splywu śródpokrywowego pod Szrenicą (Karkonosze Zachodnie). *Wiad. IMUZ*, t. 16, z. 4, s. 58–69.
- Kanownik W., Pijanowski Z.: 2002. Jakość wód powierzchniowych w górskich mikro-zlewniach rolniczo-leśnych. Wyd. AR w Krakowie, *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 1–2, Kraków, s. 61–70.
- Kaszowski L., Kotarba A.: 1970. Wpływ katastrofalnych wezbrań na przebieg procesów fluwialnych. PWN, Inst. Geogr. PAN, Pr. Geogr. 80, Warszawa, s. 5–87.
- Katrycz M.: 2002. Ilościowa ocena transportu rumowiska w eksperymentalnej zlewni Wilczego Potoku w Karkonoszach. [w:] Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznoego”, Zakopane, s. 137–145.
- Kędziora A.: 1994. Rola czynników meteorologicznych i pokrywy roślinnej w kształtowaniu warunków erozyjnych. *Rocz. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, Poznań, s. 47–54.
- Kida J.: 1996. Niektóre cechy rzeźby lessowej Opolszczyzny. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 1808, seria A, t. VIII, Wrocław, s. 43–61.
- Klima K.: 1998. Glebochronna wartość niektórych roślin uprawnych w zależności od faz rozwojowych i nachylenia stoku w warunkach opadu symulowanego. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, Olsztyn, s. 303–312.
- Klimaszewski M.: 1994. Geomorfologia. PWN, Warszawa, ss. 281.
- Klimowicz Z., Uziak S.: 2001. Ewolucja wierzchniej warstwy gleby pod wpływem erozji w wybranych częściach Wyniosłości Giełczewskiej. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 93–96.
- Knighton A.D.: 1998. *Fluvial forms and processes: A new perspective*. Wyd. Arnold, London, ss. 383.
- Koc J.: 1998. Wpływ intensywności użytkowania terenu na wielkość odpływu biogenów z obszarów rolniczych. *Rocz. AR w Poznaniu CCCVII*, 52, s. 101–106.
- Kociuba W., Stepniowska S.: 2002. Rola wezbrań w transporcie rumowiska rzecznoego górnego Wieprza. [w:] Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznoego”, Zakopane, s. 156–162.
- Koćmit A.: 1992. Aktualny stan przeobrażeń gleb podlegających erozji wodnej w warunkach Pomorza Zachodniego. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 271, *Sesja nauk. „Erozja gleb i gospodarowanie na terenach urzeźbionych”*, z. 35, cz. I, s. 65–77.

- Koćmit A.: 1998. Erozja wodna w obszarach młodoglacjalnych Pomorza i możliwości jej ograniczenia. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, Olsztyn, s. 83–99.
- Koćmit A., Roy M., Tomaszewicz T., Chudecka J., Podlasiński M.: 1998. Zawartość azotu i fosforu w glebach rolniczych oraz erozyjne przemieszczanie tych pierwiastków do cieków w zlewni Warty i dolnej Odry. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*, 4B/98, Olsztyn, s. 101–112.
- Koćmit A., Winkler L., Deumlich D., Kamińska G., Podlasiński M.: 2001. Obliczony zmyw gleby i ładunek substancji przenoszonych erozyjnie do wód powierzchniowych w zlewni Płoni na Pomorzu Zachodnim. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 475, Warszawa, s. 429–438.
- Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej: 2004. Wyd. Min. Rol. i Rozw. Wsi, Min. Środ., Warszawa, ss. 93.
- Kondracki J.: 1994. *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*. PWN, Warszawa.
- Kopeć S., Misztal A.: 1990. Wpływ różnej okrywy roślinnej na ochronę przed erozją gleb użytkowanych rolniczo w warunkach górskich. *Probl. Zagosp. Ziem Górsk.* 30, s. 127–138.
- Koreleski K.: 1994. Amerykańskie systemy prognozowania erozji wodnej i wietrznej. *Rocz. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, Poznań, s. 341–347.
- Koreleski K.: 1998. Zwalczenie erozji gleb jako element ekorozwoju ze szczególnym uwzględnieniem terenów górskich. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4A/98, Olsztyn, s. 65–79.
- Koreleski K.: 2005. Wybrane zagadnienia przeciwoerozyjnej ochrony gleb w świetle wymagań zrównoważonego rozwoju. *Acta Agrophysica* 115, vol. 5(1), Lublin, s. 49–55.
- Koreleski K., Żurek E.: 1997. Analiza potrzeb w zakresie przeciwoerozyjnego zabezpieczenia gruntów w Polsce. *Rocz. AR w Poznaniu CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 19, cz. I, s. 177–184.
- Kostrzewa S., Pulikowski K., Paluch J.: 1999. Odptyw metali ciężkich z sieci drenarskiej do otwartych koryt cieków wodnych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 18, s. 271–279.
- Kostrzewa S., Pulikowski K., Strzelczyk M.: 2001. Oddziaływanie odpływów drenarskich na jakość wód w małej zlewni rolniczej Sudetów Środkowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 477, Warszawa, s. 73–79.
- Kostrzewa S., Paruch A., Paluch J., Pulikowski K.: 2003. Regeneracja terenów nawadnianych ściekami miejskimi. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiec-tus* 2(2), s. 93–102.
- Kostrzewski A.: 2001. Stan badań erozji gleb na Pomorzu Zachodnim. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 117–124.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z.: 1994. Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. *Wyd. Stow. Geomorfologów Polskich*, Poznań, ss. 165.
- Kostuch R.: 1992. Niektóre problemy erozyjne górskich gleb uprawnych. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 271, *Sesja Naukowa* 35, cz. I, Kraków, s. 55–64.

- Kosturkiewicz A., Szafrński C., Fiedler M.: 1994. Agromelioracje jako czynnik ograniczający erozję wodną gleb terenów bogato rzeźbionych. *Rocz. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, Poznań, s. 281–293.
- Kowaliński S., Oświecimski A.: 1959. Regiony występowania erozji gleb. PWRN, Wyd. Rol. i Leś. „Zarys rejonizacji przyrodniczo-leśnej w województwie wrocławskim”, Wrocław, s. 41–54.
- Kowaliński S., Oświecimski A.: 1977. Stopnie zagrożenia terenów Dolnego Śląska przez powierzchnię erozję wodną. Wyd. PAN Oddz. Wrocław „Perspektywy gospodarki wodnej w rolnictwie na Dolnym Śląsku”, Wrocław, s. 163–203.
- Kowalski J., Moryl A.: 1990. Metodyka i wstępne wyniki badań wpływu nawożenia mineralnego na zanieczyszczenie wód gruntowych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 189, Melio. XXXIV, Wrocław, s. 151–156.
- Koźmiński C. i in.: 1987. Atlas klimatycznych elementów i zjawisk atmosferycznych szkodliwych dla rolnictwa w Polsce. Pr. zb. pod red. C. Koźmińskiego, Wyd. IUNG Puławy, ss. 63.
- Krzemień K., Świąchowicz J.: 1992. Zróżnicowanie i zmienność koncentracji zawiesiny w zlewni Starej Rzeki. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.* 88, Kraków, s. 73–86.
- Kuś J., Nawrocki S.: 1998. Współczesne rozwiązania w agrotechnice przeciwoerozyjnej. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, Olsztyn, s. 273–283.
- Lambor J.: 1971. *Hydrologia inżynierska*. Arkady, Warszawa.
- Lane L.J., Hernandez M., Nichols M.: 1997. Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale. [w:] Wyd. Elsevier „*Environmental Modelling & Software*”, vol. 12, no. 4, s. 355–369.
- Lane L.J., Shirley E.D., Singh V.P.: 1988. Modelling erosion on hillslopes. [w:] *Modelling Geomorphological Systems*, Wyd. John Wiley & Sons Ltd., s. 287–308.
- Lenzi M.A., Marchi L.: 2000. Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *Wyd. Elsevier Science B.V., Catena* 39, s. 267–282.
- Lewis J.: 1996. Turbidity – controlled suspended sediment sampling for runoff – event load estimation. *Water Resources Research* 32(7), s. 2299–2310.
- Lewis J.: 2002. Turbidity – controlled sampling for suspended sediment load estimation. [w:] *Erosion and Sediment Transport Measurement: Technological and Methodological Advances*. Workshop, Oslo 19-21 June 2002, IAHS-AISH.
- Licznar M.: 1985. Właściwości gleb i kierunki ich ewolucji na terenach erodowanych Płaskowyżu Głubczyckiego. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 48, Rozpr. habil.
- Licznar M.: 1995. Erozja gleb w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418, Warszawa, s. 91–100.
- Licznar M., Drozd J.: 1989. Stan badań nad erozją gleb terenów nizinnych i wyżynnych Polski południowo-zachodniej. [w:] *Mat. Ogólnopol. Symp. Nauk. „Wpływ czynników naturalnych i antropogenicznych na procesy erozji gleb”*, Wrocław, s. 5–18.
- Licznar M., Drozd J., Licznar S.E.: 1991. Rola procesów erozji w kształtowaniu żyzności i urodzajności gleb topogenicznych na obszarze występowania gleb pływych. *Wyd. AR w Lublinie „Erozja gleb i jej zapobieganie”*, Lublin, s. 7–20.

- Licznar M., Drozd J., Licznar S.E.: 1992. Plonowanie rzepaku ozimego na terenach erodowanych Płaskowyżu Głubczyckiego. Zesz. Nauk. AR Kraków 271, s. 137–149.
- Licznar M., Licznar S.E., Zawerbny T.: 1998. Wpływ erozji na niektóre właściwości fizykochemiczne gleb lessowych Dolnego Śląska. Bibliotheca Fragmenta Agromonica 4A/98, Olsztyn, s. 29–39.
- Licznar M., Licznar S.E., Licznar P., Żmuda R.: 2005. Właściwości osadów dennych cieku Mielnica. Acta Agrophysica 116, vol. 5(2), Lublin, s. 345–355.
- Licznar P.: 2003. Modelowanie erozji wodnej gleb. Zesz. Nauk. AR Wroc. 456, Monografie XXXII, Wrocław, ss. 101.
- Licznar P., Sasik J., Żmuda R.: 2002. Prognozowanie erozji wodnej w małych zlewniach rolniczych Wzgórz Trzebnickich. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 487, Warszawa, s. 137–146.
- Lipski C.: 1983. Erozja gleb górskich w zlewni potoku Kasina. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 272, Warszawa, s. 19–30.
- Lipski C., Kostuch R.: 2005. Kształtowanie krajobrazów terenów erodowanych. Acta Agrophysica 116, vol. 5(2), Lublin, s. 245–252.
- Lipski C., Żołubak P., Jakubowski T.: 1997. Wpływ użytkowania na ochronę gleb przed erozją na przykładzie części zlewni potoku Kamienica Zabrzeńska. [w:] Wyd. AR w Poznaniu „Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego”, Poznań, s. 107–111.
- Łomotowski J.: 1992. Wpływ rolnictwa na jakość wód naturalnych na przykładzie zlewni doświadczalnej Ciesielska Woda. Zesz. Nauk. AR Wroc. 211, Melior. XL, Wrocław, s. 353–366.
- Łomotowski J., Skolimowska J.: 2000. Zmiany jakości wód gruntowych na terenach wiejskich na przykładzie wsi Poniatowice. [w:] Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, Wyd. PZI i TS, Poznań, s. 237–244.
- Łyczko W., Olszewska B., Pływaczyk L.: 2000. Porównanie metody TDR oraz metody suszarkowo-wagowej do określania uwilgotnienia różnych typów gleb w dolinie Odry. Zesz. Nauk. AR Wroc. 385, Inżynieria Środowiska XI, Wrocław, s. 253–260.
- Mackin J.H.: 1948. Concept of the graded river. Geol. Soc. Am. Bul., v. 59, New York, s. 463–512.
- Madeyski M.: 1976. Związek między ilością rumowiska unoszonego i przepływem w falach powodziowych dla przekroju Proszówki na rzece Rabie. PWN, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, PAN Kom. Zagosp. Ziem Górskich, z. 17, Warszawa–Kraków, s. 167–177.
- Madeyski M.: 2001. Wpływ stawów rybnych na wybrane elementy środowiska naturalnego. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 382, Inżynieria Środowiska 21, Kraków, s. 139–144.
- Madeyski M., Parzonka W.: 1999. Physical and rheological features of bottom sediments from selected fish ponds. Roczn. AR w Poznaniu CCCX, Melior. i Inż. Środ. 20, cz. II, Poznań, s. 51–59.
- Magnuszewski A., Soczyńska U.: 2001. Międzynarodowy słownik hydrologiczny. PWN, Warszawa, ss. 250.

- Malicki M.: 1990. Reflectometric (TDR) meter of moisture content in soil and other capillary-porous materiale. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 388, Warszawa, s. 107–114.
- Marcinek J.: 1994. Rozmiary erozji wodnej gleb w Wielkopolsce. Roczn. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska 14, s. 63–73.
- Marcinek J., Komisarek J.: 2001. Przekształcenia pokrywy glebowej na skutek przyspieszonej erozji wodnej falistych i pagórkowatych terenów Niziny Wielkopolski. Folia Univeristatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 135–146.
- Maruszczak H.: 1991. Ogólna charakterystyka lessów w Polsce. [w:] Pr. zb. pod red. H. Maruszczaka „Podstawowe profile lessów w Polsce”, Wyd. UMCS w Lublinie, sectio A, s. 1–12.
- Maślanka K., Policht A.: 2005. Wstępna ocena nowych technologii przeciwdziałania ruchom osuwiskowym. Acta Agrophysica 115, vol. 5(1), Lublin, s. 75–83.
- Maślanka K., Urbanowicz A.: 1992. Koncepcja zagospodarowania zlewni potoku Słomka w aspekcie zapobiegania zjawiskom erozji wodnej. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 271, Sesja Naukowa 35, cz. I, Kraków, s. 181–197.
- Mazur Z.: 1983. Zróżnicowanie gleb i plonów na terenie falistym na czarnoziemach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 272, Warszawa, s. 55–64.
- Mazur Z., Mazur A.: 1997. Plonowanie roślin na erodowanych lessach przy dwóch kierunkach upraw w świetle wieloletnich badań. Wyd. AR, Mat. konf. „Przyrodnicze i techniczne problemy ochrony i kształtowania środowiska rolniczego”, Poznań, s. 233–241.
- Mazur Z., Pałys S.: 1985. Wpływ erozji wodnej na morfologię i zmienność pokrywy glebowej terenów lessowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 292, Warszawa, s. 21–37.
- Mazur Z., Pałys S.: 1991. Natężenie erozji wodnej w małych zlewniach terenów lessowych Wyżyny Lubelskiej w latach 1986–1990. [w:] Wyd. AR „Erozja gleb i jej zapobieganie”, Lublin, s. 63–78.
- Mazur Z., Pałys S.: 1992. Zapasy wody w glebie na zboczach lessowych zabezpieczonych i niezabezpieczonych przed erozją w Elizówce. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 273, Sesja Nauk. 35, cz. II, Kraków, s. 41–47.
- Mazur Z., Pałys S.: 1994. Zróżnicowanie uwilgotnienia gleby w zależności od kierunku uprawy w urzeźbionym terenie lessowym. Zesz. Nauk. AR Wroc. 246, Konferencje III, t. II, Wrocław, s. 177–183.
- Meister E.: 1935. Erläuterungen zu Blatt Weise. Geologische Karte von Preussen und Benachbarten Deutschen Landern. Preuss. Geol. Landesanst., s. 51.
- Michalik A.: 1990. Badania intensywności transportu rumowiska wleczonego w rzekach karpackich. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozpr. hab. 138, Kraków, ss. 115.
- Michalik A., Książek L.: 2001. Wpływ okrywy roślinnej dna na początek ruchu rumowiska wleczonego rzeki Dunajec. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 382, Inżynieria Środowiska 21, Kraków, s. 121–128.
- Mierzwa W., Prochal P.: 1994. Optymalna zabudowa koryta potoku górskiego na przykładzie Wierchomli Wielkiej. Roczn. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska 14, Poznań, s. 305–318.

- Miler A.T.: 2002. Skład chemiczny oraz unosiny i zawiesiny w ciekach dwóch mikro-zlewni o kontrastowym zalesieniu. *Mat. Symp. Nauk. „Erozja gleb i transport rumowiska rzecznego”*, Zakopane 10–12 X 2002, s. 96–102.
- Mioduszeński W.: 1997. Gospodarka wodna w małych zlewniach rolniczych elementem ochrony zasobów wodnych. *Melioracje Rolne* 1–2, s. 2–13.
- Mioduszeński W., Zdanowicz A., Dannowski R., Seidl J., Deumlich D., Radczuk L., Kajewski I.: 2000. Ocena ładunku azotu i fosforu ze źródeł rolniczych wnoszonych do rzek w zlewni Odry. *Gospodarka Wodna* 11, s. 417–421.
- Murat-Błazejewska S.: 1997. Przesięki w bilansie wodnym stawów rybnych. *Rocz. AR w Poznaniu, Rozprawy Naukowe* 275, Poznań, ss. 89.
- Namieśnik J., Łukasiak J., Jarmógiewicz Z.: 1995. Pobieranie próbek środowiskowych do analizy. PWN, Warszawa, ss. 277.
- Narodowy Atlas Polski. Inst. Geogr. PAN, Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wyd. PAN, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk 1973–1978.
- Niewiadomski W.: 1968. Badania nad erozją gleb na północy Polski (okres 1950–1967). PWRiL „Problemy erozyjne i problem ochrony gleb w Polsce”, Warszawa, s. 29–49.
- Niewiadomski W., Boreńska L.: 1977. Efektywność nawożenia mineralnego na erodowanym stoku. PWN, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 193, cz. V, Warszawa, s. 123–134.
- Niewiadomski W., Grabarczyk S.: 1977. Struktura użytkowania ziemi jako czynnik ochrony gleby przed erozją wodną. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 193, cz. V, Warszawa, s. 135–155.
- Nowocień E., Podolski B., Wawer R.: 2002. Badania ilościowe podatności różnych gatunków gleb na erozję wodną w warunkach symulowanego deszczu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 175–180.
- Nowocień E., Podolski B., Wawer R.: 2004. Estimating outflow and sediment uptake chosen polish soil kinds in simulated conditions. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Environmental Development*, vol. 7, Issue 2.
- Okruszko H., Dirksen W.: 1999. Diffuse entries in rivers of the Oder basin. PAN/DVWK Joint Project „Investigation on the quantity of diffuse entries in the rivers of the catchment area of the Odra and the Pomeranian Bay to develop decision facilities for an integrated approach an waters protecion”, *Materialien DVWK* 9/1999, ss. 132.
- Old G.H., Leeks G.J.L., Cooper D., McNeil D., Smith P.: 2002. Two technological advantages in continuous monitoring of suspended sediment transport and particle characteristics. [w:] *Erosion and Sediment Transport Measurement: Technological and Methodological Advances*. Workshop, Oslo 19–21 June 2002, IAHS-AISH.
- Oleszczuk R., Brandyk T., Szatyłowicz J.: 1998. Analiza możliwości zastosowania metody TDR do pomiaru uwilgotnienia w glebie torfowo-murszowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 458, Warszawa, s. 263–274.
- Olszewska B., Łyczko W., Pływaczyk L.: 2005. Uwilgotnienie gleb w dolinie Odry przed wybudowaniem stopnia wodnego „Malczyce”. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 420, *Inżynieria Środowiska* 26, Kraków, s. 139–148.

- Orlik T.: 1971. Niektóre problemy gospodarki rolniczej na erodowanych glebach nalesowych na przykładzie RZD Elizówka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 119, Warszawa, s. 103–121.
- Orlik T.: 1991. Plonowanie roślin w czteropolowym płodozmianie na erodowanej glebie lessowej. Wyd. AR Lublin „Erozja gleb i jej zapobieganie”, s. 205–215.
- Orlik T.: 1998. Zadania agrotechniki jako metody przeciwdziałania degradacji gleb na obszarach erodowanych. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4A/98, Olsztyn, s. 315–337.
- Orlik T., Józwiakowski K., Marzec M.: 2001a. Wpływ użytku zielonego na ograniczenie zanieczyszczeń obszarowych pochodzących z rolnictwa. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 382, Inżynieria Środowiska 21, s. 13–20.
- Orlik T., Józwiakowski K., Marzec M.: 2005a. Rola użytku zielonego w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych pochodzących z rolnictwa na terenie urzeźbionym. Acta Agrophysica 115, vol. 5(1), Lublin, s. 93–101.
- Orlik T., Marzec M.: 2004. Wpływ obornika i kompostu na właściwości fizyczno-chemiczne gleb na zboczu lessowym. Roczn. AR w Poznaniu CCCLVII, Melioracje i Inżynieria Środowiska 25, Poznań, s. 421–427.
- Orlik T., Popławski E.: 1992. Wpływ nawożenia azotem i elementów rzeźby terenu na plony i cechy biologiczne roślin uprawianych na glebach wytworzonych z lessu. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 271, Sesja Naukowa 35, cz. I, Kraków, s. 123–135.
- Orlik T., Popławski E., Marzec M.: 2001b. Wpływ zróżnicowanych dawek azotu na plonowanie niektórych roślin w lessowym terenie erodowanym. Folia Universitatis Agriculturae Stetinesis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 163–166.
- Orlik T., Wesołowska-Janczarek M., Marzec M.: 2005b. Porównanie wpływu dolistnego dokarmiania i nawożenia doglebowego na plonowanie zbóż w terenach erodowanych. Acta Agrophysica 116, vol. 5(2), Lublin, s. 367–375.
- Orlik T., Węgorek T.: 1994. Melioracje przeciwozyjne w ochronie krajobrazu agrosystemów terenów wyżynnych. Zesz. Nauk. AR Wroc. 246, Konferencje III, t. II, s. 209–216.
- Orlik T., Węgorek T.: 1995. Zagrożenie erozyjne w zlewni rzeki Ciemięgi i koncepcja przeciwdziałania. [w:] Mat. konf. nauk-techn. „Proekologiczne zagospodarowanie zlewni rzeki Ciemięgi”, 16–17.11.1995, Lublin, s. 51–63.
- Orlik T., Węgorek T.: 1997. Cel i zakres melioracji zlewni lessowych na przykładzie programu przeciwozyjnego zagospodarowania obszaru chronionego krajobrazu „Dolina Ciemięgi”. Roczn. AR w Poznaniu CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska 19, cz. I, Poznań, s. 167–175.
- Orzepowski W., Pęczkowski G., Kostrzewa S.: 2005a. Zmiany zasobów retencji glebowej na terenach przyległych do niewielkiego zbiornika wodnego w Rybnicy. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 420, Inżynieria Środowiska 26, Kraków, s. 67–74.
- Orzepowski W., Pęczkowski G., Kostrzewa S.: 2005b. Odnawialność zasobów wodnych gleb na użytkach rolnych przylegających do niewielkiego zbiornika wodnego. Roczn. AR w Poznaniu CCCLXV, Melioracje i Inżynieria Środowiska 26, Poznań, s. 313–318.

- Ostrowski K., Kowalik T., Rajda W., Piórecki M.: 2005. Stężenia i ładunki wybranych składników wnoszonych z opadami i odpływających z mikrozwlewni podgórskiej. *Acta Scietiarum Polonorum, Formatio Circumictus* 4(1), s. 25–35.
- Pachucki C.: 1952. Badania geologiczne na arkuszach 1:100 000 Trzebnica i Syców. *Biul. Inst. Geol.* 66, s. 355–394.
- Paluch J.: 1994. Porównanie jakości wód odpływających z sąsiadujących ze sobą zlewni rolniczej i zalesionej w Kotlinie Marciszowskiej w latach 1987–1989. Wyd. Instytut Badawczy Leśnictwa, *Prace IBL* 21/1, ser. B, s. 129–143.
- Paluszek J.: 2002. Sezonowa zmienność wodoodporności agregatów w glebach wytworzonych z lessu w aspekcie ich podatności na erozję wodną. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 213–221.
- Pałys S.: 1992. Wpływ zabiegów przeciwoerozyjnych na natężenie erozji wodnej gleb w Elizówce. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 273, Sesja Naukowa 35, cz. II, Kraków, s. 3–9.
- Pałys S.: 2001. Erozja wodna w zlewniach z okresowym odpływem wody na Wyżynie Lubelskiej w latach 1987–1999. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 179–182.
- Pałys S., Mazur A.: 2002. Wpływ zabudowy biotechnicznej na ilość materiału glebowego zatrzymanego na dnie wąwozu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 223–230.
- Pałys S., Mazur Z.: 1994. Erozja wodna gleb w zlewni rolniczej i leśnej na Wyżynie Lubelskiej. *Rocz. AR w Poznaniu, CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, s. 129–137.
- Pałys S., Mazur Z., Mitrus W.: 1997. Natężenie erozji wodnej w małej zlewni lessowej na Wyżynie Lubelskiej. *Rocz. AR w Poznaniu, CCXCIV, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 19, cz. I, s. 161–166.
- Pałys S., Wnuczek A.: 2002. Natężenie erozji wodnej w małej zlewni rolniczej na Wyżynie Lubelskiej w latach 1999–2001. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 231–237.
- Parzonka W.: 1991. Erozja, transport i sedymentacja rumowiska w rzekach i zbiornikach. XI Ogólnopolska Szkoła Hydrodynamiki, IBW-PAN, Gdańsk.
- Parzonka W., Bartnik W., Kasperek R.: 2002. Modelowanie transportu rumowiska wleczonego w korytach rzek z dnem aluwialnym na przykładzie Górnej i Środkowej Odry. [w:] Wyd. pod red. K. Banasika „Erozja gleb i transport rumowiska rzeczno-”, Zakopane, s. 104–111.
- Parzonka W., Kempański J.: 1991. Reologiczna ocena procesu sedymentacji i osadzania namulów jeziorowych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 209, *Melior.* XXXIX, Wrocław, s. 177–187.
- Parzonka W., Kempański J.: 1992. Charakterystyka reologiczna namulów jeziorowych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 212, *Melior.* XLI, Wrocław, s. 55–64.
- Parzonka W., Mokwa M., Banasiak R., Głowski R., Jelonek L., Kasperek R.: 1996. Ocena zmienności uziarnienia materiału tworzącego dno Środkowej Odry. XVI Ogólnopol. Szk. Hydraul., IBW PAN, Gdańsk.
- Pawlak W.: 1997. Atlas Śląska Dolnego i Opolskiego. Pr. zb. pod red. W. Pawlaka, Univ. Wrocł., Pracownia Atlasu Dolnego Śląska, Wrocław.

- Pawlik-Dobrowolski J.: 1990. Źródła substancji chemicznych w zlewni, ich klasyfikacja i metody obliczania. [w:] Wyd. IMUZ „Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych”, Mat. semin. 26, Falenty, s. 7–15.
- Pender K., Rybałtowska Z.: 1995. Szata roślinna rezerwatu „Las bukowy w Skarszynie”. *Acta Universitatis Wratislaviensis* 1667, Wrocław, s. 79–99.
- Piechnik L.: 1992. Nowe konstrukcje symulatorów deszczu do badań odporności gleby na erozję. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 273, Sesja Naukowa 35, cz. II, Kraków, s. 113–124.
- Piechnik L.: 1994. Natężenie erozji wodnej w koleinach. *Rocz. AR Poznań*, CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska 14, Poznań, s. 399–406.
- Pierzynski G.M., Sims J.T., Vance G.F.: 2005. *Soils and environmental quality*. Wyd. Taylor & Francis Group, Boca Raton-London-New York-Singapore, ss. 569.
- Pijanowski Z., Kanownik W.: 1997. Zmienność stężeń wybranych substancji chemicznych w wodach powierzchniowych przepływających przez tereny wiejskie o różnym zagospodarowaniu. *Rocz. AR w Poznaniu CCXCIV*, Melioracje i Inżynieria Środowiska 19, cz. 2, Poznań, s. 347–358.
- Pijanowski Z., Rumian A., Kanownik W.: 1995. Wpływ użytkowania mikrozwlewni górskich na skład chemiczny odpływu wód powierzchniowych. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, ser. Sesja Naukowa 45, s. 23–33.
- Pimentel D., Allen J., Beers A., Guinand L., Hawkins A., Linder R., McLanghlin P., Meer B., Musonda D., Perdue D., Poisson S., Salazar R., Siebert S., Stoner K.: 1993. Soil erosion and agricultural productivity. [w:] *World soil erosion and conservation*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, s. 277–292.
- Pimentel D., Kounang N.: 1998. Ecology of soil erosion in ecosystems. [w:] Wyd. Springer-Verlag „Ecosystems”, 1, s. 416–426.
- Pływaczyk L.: 1997. Oddziaływanie spiętrzenia rzeki na dolinę na przykładzie Brzegu Dolnego. Wyd. AR we Wrocławiu, ss. 47.
- Pływaczyk L., Żmuda R., Sasik J.: 1999. Water erosion in Trzebnica Hills catchment on background of hydrological conditions. *Rocz. AR w Poznaniu CCCX*, Melioracje i Inżynieria Środowiska 20, cz. I, Poznań, s. 151–163.
- Poesen J.: 1986. Field measurements of splash erosion to validate a splash transport model. *Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd.* 58, s. 81–91.
- Podolski B., Wawer R.: 2002. Plonowanie zbóż ozimych w strefie oddziaływania zadrzewień śródpolnych na terenach urzeźbionych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 267–274.
- Polak S., Witek T.: 1966. Wstępne badania nad skutecznością zabiegów przeciwoerozyjnych na polu doświadczalnym Brzezina powiat Nowy Sącz. *Wiad. IMUZ*, t. 6, z. 3, s. 103–115.
- Poskrobko B.: 1998. Zarządzanie środowiskiem. PWE, Warszawa, ss. 402.
- Prochal P.: 1968. Badania nad erozją gleb w terenach górskich. PWRiL „Problemy erozyjne i problem ochrony gleb w Polsce”, Warszawa, s. 51–92.
- Prochal P. i in. 1987. Podstawy melioracji rolnych t. 2. PWRiL, Warszawa, s. 264–342.
- Prochal P., Mierzwa W.: 1992. Erozja gleb i melioracje przeciwoerozyjne w terenach górzystych. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 271, Sesja Naukowa 35, cz. I, Kraków, s. 23–35.

- Prochal P., Urbanowicz A., Mierzwa W.: 1998. Działanie biotechnicznej zabudowy koryta potoku Kasina. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4A/98, Olsztyn, s. 127–143.
- Pulikowski K.: 2004. Zanieczyszczenia obszarowe w małych zlewniach rolniczych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 479, *Rozprawy CCXI*, ss. 137.
- Raczkowski W.: 1976. Niektóre problemy genezy lessów Przedgórze Sudeckiego. *Biul. Inst. Geogr.* 297, s. 329–343.
- Radczuk L.: 1986. Zlewnia rolnicza jako system dynamiczny. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 57, *Rozprawy*, ss. 66.
- Rajda W., Kowalik T., Marzec J., Ostrowski K.: 1992. Wpływ ukształtowania mikro-zlewni rolniczej na ilość i skład chemiczny odpływu. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, ser. Sesja Naukowa 35, 273, s. 133–144.
- Rajda W., Ostrowski K., Bogdal A., Policht A.: 2004. Dobowa i godzinowa zmienność fizykochemicznych cech wody odpływającej z mikro-zlewni osadniczo-rolniczej. *Rocz. AR w Poznaniu CCCLVII, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 25, Poznań, s. 505–515.
- Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J.: 1994a. Erozja chemiczna w mikro-zlewniach rolniczych na terenie podgórskim. *Rocz. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, Poznań, s. 139–152.
- Rajda W., Ostrowski K., Kowalik T., Marzec J.: 1994b. Zawartość niektórych składników chemicznych w wodzie opadowej i odpływającej z mikro-zlewni rolniczych. *Rocz. AR w Poznaniu CCLXVIII, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 15, cz. I, Poznań, s. 83–91.
- Rajda W., Natkaniec J.: 2001. Jakość wody odpływającej z mikro-zlewni podgórskiej o zróżnicowanym użytkowaniu. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie*, 382, *Inżynieria Środowiska* 21, s. 33–40.
- Rejman J.: 2001. Ocena przemieszczania materiału glebowego w procesie erozji wodnej na glebie lessowej. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 217, *Agricultura* 87, Szczecin, s. 195–200.
- Rejman J.: 2002. Zastosowanie wartości progowych opadów w prognozowaniu erozji wodnej na stoku lessowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 305–313.
- Rejman J., Link M., Dębicki R.: 1994. Podatność na erozję gleby lessowej w badaniach z symulowanym opadem deszczu. *Rocz. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, Poznań, s. 227–232.
- Rejman J., Paluszek J.: 2005. Ocena przemieszczania gleby pod wpływem orki głębokiej. *Acta Agrophysica* 115, vol. 5(1), Lublin, s. 129–135.
- Rejman J., Turski R., Paluszek J.: 1998. Spatial and temporal variations in erodibility of loess soil. *Soil & Tillage Res.* 46, s. 61–68.
- Rejman J., Usowicz B.: 1998. Zastosowanie modelu USLE do prognozowania natężenia erozji wodnej gleb pływowych Wyżyny Lubelskiej: teoria i praktyka. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4A/98, Olsztyn, s. 231–244.
- Reniger A.: 1950. Próba oceny nasilenia i zasięgów potencjalnej erozji gleb w Polsce. [w:] *Pr. zb. pod red. S. Baca i J. Ostromięckiego „Badania nad erozją gleb w Polsce”*, PWRiL, Warszawa, s. 1–59.

- Rogalski D.: 1987. Ocena degradacji gleb terenów morenowych pod kątem ich kompleksowej ochrony na przykładzie gminy Trzemeszno. PWN, Roczn. Gleb., t. XXXVIII, Warszawa, s. 229–235.
- Rojek M.: 1987. Rozkład czasowy i przestrzenny klimatycznych i rolniczoklimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski. Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozprawy 62, ss. 67.
- Rojek W.: 1989. Ocena dynamiki transportu rumowiska w zlewni Mielnicy. Mat. XII Szkoły Letniej, Sobieszów, s. 227–234.
- Rojek W.: 1992. Ocena dynamiki wynoszenia rumowiska ze zlewni potoku Mielnica (Wzgórze Trzebnickie). Zesz. Nauk. AR Wroc. 211, Melior. XL, Wrocław, s. 65–76.
- Rojek W., Żmuda R.: 1991. Denudacja chemiczna w zlewniach potoków „Jastrząb” i „Wilkanowski” (Sudety Wschodnie). Zesz. Nauk. AR Wroc. 214, Roln. LVI, s. 41–50.
- Rojek W., Żmuda R.: 1992. Denudacja chemiczna w zlewniach potoków „Jarków” i „Ptasznica” w Sudetach Wschodnich. Wyd. AR w Lublinie „Erozja gleb i jej zapobieganie”, s. 129–136.
- Rokicki J.: 1950. Warunki występowania utworów pyłowych i loessów na Dolnym Śląsku. Ann. UMCS, vol. 3, sectio B, Lublin, s. 53–95.
- Rokicki J.: 1952. Lessy i utwory pyłowe Wzgórz Trzebnickich. Biul. PIG 65, s. 479–512.
- Roy M.: 2001. Zasoby fosforu i jego podatność na migrację w erodowanych glebach obszaru moreny czołowej na Pomorzu Zachodnim. Folia Universitatis Stetinensis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 205–208.
- Ryszkowski L.: 1993. Soil erosion and conservation in Poland. [w:] World soil erosion and conservation. Red. Pimentel D., Cambridge Univ. Press.
- Rytelewski J., Mirowski Z., Nożyński A., Wójciak H.: 1998. Plonowanie roślin uprawnych w terenach urzeźbionych północno-wschodniej Polski. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn, s. 243–250.
- Sarna S., Jarząbek A.: 1998. Wpływ rolniczego użytkowania zlewni na jakość wód powierzchniowych obszaru Pogórze. [w:] Mat. Międz. Konf. Nauk.-Techn. „Ochrona jakości i zasobów wód – zasady racjonalnej gospodarki wodą”, Zakopane-Kościelisko, s. 93–100.
- Sasik J., Szewrański S., Żmuda R.: 2001a. Rola zbiornika małej retencji wodnej w kształtowaniu denudacji odpływowej i chemizmu odpływu. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 209–212.
- Sasik J., Żmuda R., Szewrański S., Licznar P.: 2001b. Wpływ zbiorników małej retencji wodnej na ilość wynoszonych składników chemicznych i rumowiska z lessowej zlewni rolniczej Wzgórz Trzebnickich. Zesz. Nauk. AR Wroc. 417, Melio. XLIII, Wrocław, s. 151–176.
- Schumm S.A.: 1977. The fluvial system. Wyd. John Wiley, New York, ss. 338.
- Schwarzbach M.: 1942. Das Diluvium Schlesiens. N. Jb. F. Miner., Geol., Paleont., Bd. 86, Stuttgart, s. 189–246.
- Serafin S., Pływaczek L.: 1991. Określenie zmian zwierciadła wody w rzece i terenie przyległym w wyniku obniżania się dna rzeki Odry poniżej stopnia w Brzegu Dolnym. Zesz. Nauk. AR Wroc. 210, Geodezja i Urządzenia Rolne X, s. 205–217.

- Shirley E.D., Lane L.J.: 1978. A sediment yield equation from an erosion model. [w:] Hydrology and water resources in Arizona and the southwest, vol. 8, s. 90–96.
- Smółucha J., Gotkiewicz J.: 2002. Strefowość zagrożeń erozyjnych i ochrona pokrywy glebowej Pojezierza Mazurskiego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 487, Warszawa, s. 333–344.
- Soczyńska U.: 1990. Podstawy hydrologii dynamicznej. Wyd. Uniwersytetu Warsz., Warszawa, ss. 434.
- Soczyńska U.: 1997. Hydrologia dynamiczna. Pr. zb. pod red. U. Soczyńskiej, PWN, Warszawa, ss. 399.
- Soja R. 1981. Analiza odpływu z fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski). Dok. Geogr. 2, s. 25–36.
- Soja R. Prokop P.: 1995. Drogi jako element antropogenicznego przekształcenia środowiska. [w:] Pr. zb. pod red. R. Soja, P. Prokop „Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Monitoring geoekosystemów górskich, Szymbark 1995”, Bibl. Monitoringu Środ., PIOŚ, Warszawa.
- Sokalska D., Nyc K.: 2005. Określenie przestrzennej zmienności uwilgotnienia gleby w warunkach nawodnień kropłowych. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 420, Inżynieria Środowiska 26, Kraków, s. 149–156.
- Solarski H., Solarski K.: 1994. Erozja składników biogennych na użytkach rolnych i leśnych Pojezierza Olsztyńskiego. Roczn. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska 14, s. 153–161.
- Sowiński P., Piaśnik H. 1998. Procesy stokowe w świetle badań geomorfologicznych. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn, s. 213–219.
- Stach A.: 1998. Zmienność przestrzenna właściwości warstwy ornej na niejednorodnym litologicznie stoku morenowym. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn, s. 125–142.
- Stachowicz K.: 1990. Zanieczyszczenia obszarowe ze zlewni rolniczych o różnym sposobie zagospodarowania i ukształtowania terenu. [w:] Wyd. IMUZ „Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych”, Mat. semin. 26, Falenty, s. 221–232.
- Starkel L.: 1980. Erozja gleb a gospodarka wodna w Karpatach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 235, Warszawa, s. 103–118.
- Stasik R., Szafrąński C.: 2001. Próba zastosowania modelu USLE do prognozowania natężenia erozji wodnej gleb na Pojezierzu Gnieźnieńskim. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 213–216.
- Stasik R., Szafrąński C.: 2005. Zmiany w pokrywie glebowej erodowanych terenów Pojezierza Gnieźnieńskiego. Acta Agrophysica, 5(2), Lublin, s. 447–454.
- Steege A., Govers G., Nachtergaele J., Takken I., Beuselinck L., Poesen J.: 2000. Sediment export by water from an agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium. Wyd. Elsevier Science B.V., Geomorphology 33, s. 25–36.
- Strutyński J.: 1998. Obniżenie zawartości wybranych metali ciężkich na drodze przepływu wód zanieczyszczonych przez stawy rybne. [w:] Mat. Międz. Konf. Nauk.-techn. „Ochrona jakości i zasobów wód – zasady racjonalnej gospodarki wodą”, Zakopane–Kościelisko, s. 273–281.
- Swank B.: 1986. Biological control of solute losses from forest ecosystem. [w:] S.T. Trudgill (Ed.) „Solute Processes”, Wiley, Chichester, s. 85–139.

- Szafrński C.: 1992. Spływy powierzchniowe i erozja wodna gleb na bogato rzeźbionych terenach polodowcowych. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 271, Sesja Naukowa 35, cz. I, Kraków, s. 101–109.
- Szafrński C.: 1993. Gospodarka wodna gleb terenów bogato rzeźbionych i potrzeby ich melioracji. Roczn. AR w Poznaniu, 244, ss. 98.
- Szafrński C.: 1996. Wpływ spulchniania na właściwości fizyko-wodne erodowanych gleb pływowych. Prace nauk. IUNG, K 11/2, Puławy, s. 169–176.
- Szafrński C., Fiedler M., Stasik R.: 1998a. Erozja wodna w małej zlewni użytkowanej rolniczo na Pojezierzu Gnieźnieńskim. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn, s. 73–81.
- Szafrński C., Fiedler M., Stasik R.: 1998b. Rola zabiegów melioracyjnych w ochronie przeciwerozynnej gleb terenów bogato urzeźbionych. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4B/98, Olsztyn, s. 65–72.
- Szczepankiewicz S.: 1984. Sudety i Nizina Śląska. [w:] Wyd. Geol. „Budowa geologiczna Polski. Czwartorzęd”, t. 1, cz. 3b, Warszawa.
- Szczepankiewicz S.: 1989. Ziemia południowo-zachodniej Polski – morfogeneza i dzieje czwartorzędowe. Acta Univ. Wratisl. 1029, Studia Geogr. XLVII, Wrocław, ss. 136.
- Szewrański S.: 2002. The influence of the small reservoirs on the amount of suspended sediment in a stream and the sediment yield value. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Environmental Development, volume 5, Issue 2, <http://www.ejpau.media.pl/series/volume5/issue2/environment/art-02.html>.
- Szewrański S.: 2005. Wstępna ocena natężenia erozji rozbrzygowej na glebie lessowej. Acta Agrophysica 115, vol. 5(1), Lublin, s. 167–178.
- Szewrański S., Żmuda R., Licznar P.: 2000. Water erosion of agricultural loess catchment in Trzebnica Hills. Acta Agrophysica 35, Lublin, s. 191–199.
- Szewrański S., Sasik J., Żmuda R.: 2002a. Ocena zamulania małych zbiorników wodnych zlokalizowanych w silnie erodowanej zlewni rolniczej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 487, Warszawa, s. 345–352.
- Szewrański S., Sasik J., Żmuda R.: 2002b. The water erosion process against the background of outflow condition changes in upland catchment. Geografický časopis 54, z. 4, s. 355–365.
- Szewrański S., Sasik J., Żmuda R.: 2003. Land degradation in Poland. [w:] European Soil Bureau Research Report No. 10, EUR 20688 EN „Land degradation in Central and Eastern Europe”, eds. R.J.A. Jones & L. Montanarella, Luxembourg, s. 225–239.
- Szewrański S., Żmuda R., Wawer R.: 2005. Ocena natężenia erozji wodnej i denudacji jednostkowej z wykorzystaniem nefelometrycznych pomiarów mętności wody. Wyd. IUNG, Pamiętnik Puławski 139, Puławy, s. 245–254.
- Szewrański S., Żmuda R., Krukowski M., Wawer R.: 2006. Ocena obciążeń antropogenicznych i koncepcja rewaloryzacji cieków w małej zlewni rolniczej. Roczn. Glebozn. LVII, nr 1/2, Warszawa, s. 192–199.
- Szperliński Z., Guberski S.: 1990. Wpływ parametrów zlewni i jej zagospodarowania na poziom spływu zanieczyszczeń z wodami rzecznoymi zlewni Górnej Wilgi. [w:]

- Wyd. IMUZ „Zanieczyszczenia obszarowe w zlewniach rolniczych”, Mat. semin. 26, Falenty, s. 211–219.
- Szpikowski J.: 1998. Wielkość i mechanizm erozji wodnej gleb na stokach użytkowanych rolniczo w zlewni młodoglacjalnej (Górna Parsęta, Chwałimski Potok). *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, Olsztyn, s. 113–124.
- Szponar A.: 1998. Wybrane problemy czwartorzędu południowo-zachodniej Polski. *Acta Universit. Wratisl.* 2083, *Studia Geogr.* LXXI, Wrocław, ss. 92.
- Szulczewski W.: 2003. Modelowanie migracji zanieczyszczeń w nienasyconych gruntach i glebach. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 466, *Rozprawy CCI*, Wrocław, ss. 112.
- Szymański J., Rojek W., Tymrakiewicz L.: 1984. Erozja wodna w dorzeczu Odry. *Wyd. Instytutu Śląskiego „Odra i Nadodrze”*, Opole, s. 67–90.
- Szymczak T.: 1992. Charakterystyka rumowiska unoszonego w małej zlewni nizinnej oraz jego akumulacji na przykładzie rzeki Mławki i zbiornika Ruda. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* 21, *Melio.* XL, Wrocław, s. 101–116.
- Szymczak T., Szelenbaum C.: 2003. Badania odpływu podpowierzchniowego zlewni górnej Mławki. *Wiad. Melior.* 2.
- Śnieszko Z.J.: 1995. Geologiczne tło stanowiska dolnopaleolitycznego w Trzebnicy. *Śląskie Spr. Archeol.* 36, s. 19–34.
- Świetlik R., Dojlido J.R.: 1999. *Metody analizy wody i ścieków*. Wyd. Politechn. Rad., Radom, ss. 188.
- Święchowicz J.: 2000. Rola stoków i den dolin w odprowadzaniu zawiesiny ze zlewni pogórskiej. [w:] *Wyd. Inst. Geogr. UJ „Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim”*, Kraków, s. 31–49.
- Tałałaj Z.: 2001. Fitomelioracje najskuteczniejszą formą ochrony gleb przed erozją. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 382, *Inżynieria Środowiska* 21, Kraków, s. 237–244.
- Ugla H., Solarski H., Rytelewski J., Mirowski Z., Nożyński A., Grabarczyk S.: 1998. Problematyka erozji wodnej gleb północno-wschodniej Polski. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 4B/98, Olsztyn, s. 179–197.
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych. *Dz. U.* 2004, poz. 1266, ze zm.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. *Dz. U.* 2001 Nr 62, poz. 627, ze zm.
- Walczak W.: 1951. Sprawozdanie z badań nad stratygrafią i morfologią utworów plejstoceńskich w okolicy Trzebnicy. *Czas. Geogr.* 21/22, Wrocław, s. 434–438.
- Walczak W.: 1970. *Obszar przedsudecki*. PWN, Warszawa, ss. 415.
- Wawer R.: 2005. Cyfrowy model zlewni jako podstawa do planowania melioracji przeciwozyjnych w zlewniach rolniczych. *Acta Agrophysica* 115, vol. 5(1), Lublin, s. 201–209.
- Werner W., Wodsak H-P.: 1994. Regional differenzierter Stickstoff- und Phosphateintrag in Fließgewässer Deutschlands unter Berücksichtigung der Berücksichtigung des Lockergesteinsbereichs der ehemaligen DDR. *Im Auftrag des Umweltbundesamtes*, ss. 242.
- Winpenny J.T.: 1995. *Wartość środowiska – metody wyceny ekonomicznej*. PWE, Warszawa.
- Winnicki J.: 1990. *Arkusze Trzebnica. Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000*. Wyd. Inst. Geol., Warszawa, ss. 78.

- Winnicki J.: 1991. Wstępne wyniki badań geologicznych osadów czwartorzędowych w rejonie Trzebnicy. *Śląskie Spr. Archeol.* 32, s. 21–28.
- Winnicki J.: 1994. Utwory pyłowe Wzgórz Trzebnickich. *Śląskie Spr. Archeol.* 35, s. 26–38.
- Wischmeier W.H., Smith D.D.: 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *Agricultural Handbook 537*, ARS, Washington, ss. 58.
- Wiszniewski W., Chelchowski W.: 1975. Charakterystyka klimatu i regionalizacja klimatologiczna Polski. WKiŁ, Warszawa, ss. 37.
- Woch F.: 2001. Optymalne parametry rozłogu gruntów gospodarstw rodzinnych dla wyżynnych terenów Polski. *Wyd. IUNG, Pamiętnik Puławski 127*, Puławy, ss. 105.
- Woch F.: 2005. Kształtowanie środowiska rolniczego na obszarach urzeźbionych w Polsce na tle wzorców unijnych. *Acta Agrophysica 116*, vol. 5(2), Lublin, s. 471–480.
- Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J.: 1994. Regulacja rzek i potoków. *Wyd. AR we Wrocławiu.*
- Wójcik D., Jarzabek A.: 1993. Wpływ zbiorników wodnych o zróżnicowanych parametrach przepływu wody na wybrane substancje pokarmowe. [w:] *Mat. Konf. „Współczesne problemy inżynierii wodnej”*, Poręba, s. 237–244.
- Wren D.G., Barkdoll B.D., Kuhnle R.A., Derrow R.W.: 2000. Field Techniques for Suspended-Sediment Measurement. [w:] *Journal of Hydraulic Engineering 126*(2), s. 97–104.
- Xixi L., Higgitt D.L.: 1998. Recent changes of sediment yield in the Upper Yangtze, China. *Wyd. Springer-Verlag, Environmental Management*, vol. 22, No 5, New York, s. 697–709.
- Zabłocki Z., Pieńkowski P., Kupiec M.: 2001. Chemizm wód cieków odwadniających zlewnie rolnicze Niziny Pyrzyckiej w latach 1998–1999. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura 87*, Szczecin, s. 233–238.
- Ziemnicki S.: 1950. Zapobieganie i zwalczanie erozji gleb na lessach. [w:] *Pr. zb. pod red. S. Baca i J. Ostromęckiego „Badania nad erozją gleb w Polsce”*, PWRiL, Warszawa, s. 155–188.
- Ziemnicki S.: 1968a. Melioracje przeciwoerozyjne. PWRiL, Warszawa.
- Ziemnicki S.: 1968b. Badania nad erozją gleb wyżyn Polski południowo-wschodniej. PWRiL „Problemy erozyjne i problem ochrony gleb w Polsce”, Warszawa, s. 93–111.
- Ziemnicki S.: 1973a. Zastosowanie kieszek faszynowych dla umocnienia zbocza zwału kopalni odkrywkowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 151, Warszawa, s. 133–149.
- Ziemnicki S.: 1973b. Umacnianie wąwozów na zboczu zwału kopalni odkrywkowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 151, Warszawa, s. 151–165.
- Ziemnicki S.: 1978. Ochrona gleb przed erozją. PWRiL, Warszawa.
- Ziemnicki S., Pałys S.: 1977. Erozja wodna w zlewni rzeki Bystrej. PWN, *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, z. 193, Warszawa, s. 43–71.
- Zubala T.: 2002. Jakość wód odpływających z lessowych mikrozelewni rolniczych w zlewni rzeki Ciemięgi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 487, Warszawa, s. 381–388.

- Żbikowski A., Żelazo J.: 1993. Ochrona środowiska w budownictwie wodnym. Mat. inf. Min. Ochr. Środ., Zasobów Nat. i Leś., Warszawa.
- Żmuda R.: 1994. Wymywanie składników chemicznych z obszaru dwóch zlewni w Sudetach Wschodnich o różnorodnym użytkowaniu. Roczn. AR w Poznaniu CCLXVI, Melioracje i Inżynieria Środowiska 14, s. 171–176.
- Żmuda R.: 1996. Czynniki warunkujące wielkość wskaźnika denudacji na przykładzie lessowej zlewni rolniczej Wzgórz Trzebnickich. Zesz. Nauk. AR Wroc., Melioracja XLII, 283, s. 69–76.
- Żmuda R.: 1998a. Natężenie erozji wodnej w małej zlewni rolniczej Wzgórz Trzebnickich na tle wybranych elementów hydrometeorologicznych. Zesz. Nauk. AR Wroc. 349, Inżynieria Środowiska X, s. 233–259.
- Żmuda R.: 1998b. Wpływ czynników hydrometeorologicznych na natężenie erozji wodnej w zlewni cieką Mielnica na obszarze Wzgórz Trzebnickich. Bibliotheca Fragmenta Agronomica 4A/98, Olsztyn, s. 41–63.
- Żmuda R., Sasik J., Szewrański S.: 2001a. Próba oceny wpływu zmian użytkowania na wielkość denudacji odpływowej. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis 217, Agricultura 87, Szczecin, s. 239–242.
- Żmuda R., Sasik J., Szewrański S.: 2001b. Wpływ sposobu użytkowania małego stawu na ilość odprowadzanych składników chemicznych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 475, Warszawa, s. 527–537.
- Żmuda R., Sasik J., Szewrański S.: 2005. Analiza potrzeb zmian zagospodarowania przestrzennego Wzgórz Trzebnickich w aspekcie ochrony przed erozją wodną gleb. Acta Agrophysica 115, vol. 5(1), Lublin, s. 229–237.

FLUVIAL TRANSPORT SYSTEM FUNCTIONING IN SMALL CATCHMENT THREATENED BY SOIL WATER EROSION

Summary

Research on matter transport and its dynamics had been carried out in Mielnica catchment in years 1983–2004. Study site area is 711,4 ha. Catchment, located in Low Silesia voivodship, represents basins of streams, which springs can be met in southern slopes of Trzebnica Hills. Direct measurements, survey investigations, laboratory analyses and indoor studies had been carried out during research on river channel and slope sections. Analyse of fluvial transport system functioning was based on universal fluvial system model by Stanley A. Shumm.

Diverse hydro-meteorological conditions had been recorded during investigation. The total annual precipitation ranged from 463,8 to 762,0 mm, and the mean annual air temperatures ranged from 6,4 to 9,8°C. The mean rainfall intensity ranged from 0,5 to 10,5 mm·h⁻¹. Temporary intensity was much higher and ranged from 1,4 to 249,7 mm·h⁻¹. Overland flows had been noticed rarely. On upper slope cross-section surface runoff yield ranged from 0,001 to 2,593 dm³·m⁻², on slope from 0,020 to 10,784 dm³·m⁻², on foothill from 0,017 to 24,585 dm³·m⁻². The most rainfalls caused subsurface interflows. At depth of 0,25 m., interflow reached: on upper slope cross-section from 0,075 to 3,203 dm³·m⁻², on slope 0,078 to 3,105 dm³·m⁻², on foothill 0,078 to 3,195 dm³·m⁻². Interflow below depth of 25 cm does not exist practically.

Mielnica catchment is cover by loess soils, characterised by diverse water permeability: highest on upper slope cross-section 2,53·10⁻⁴ m·s⁻¹, on slope 1,68·10⁻⁵ m·s⁻¹ and lowest on foothill 3,23·10⁻⁶ m·s⁻¹. Diverse chemical composition is characteristic for soils, which cover the hills with the mean slope of 8%. Mentioned factors allowed subdividing fluvial system into 2 basic subsystems – river channel and single hill.

Zonal and sectional variability of channel system characteristics make different conditions of water runoff, matter deliver and concentrated transport. In upper stream the runoff yields reach the highest values and cause matter transport. Fluvial transport dynamics is determined by meteorological events. Sediment yields are also the highest, they rise with river length and basin area increase. The maximum annual sediment yield was recorded at level of 0,44 Mg ha⁻¹, which allow classifying Trzebnica Hills as one of the most eroded region in Poland.

Mostly precipitation high and its temporary intensity determine delivery ratio value. In both cases, the relationship between mentioned factors is indirect: if higher rainfall depth and intensity, then DR is lower. Its value ranged from 0,0003 to 7,61%. Index was minimal in spring and autumn, what confirms the most active erosion processes during these periods. Reached DR values and concentrations measured in runoffs show sporadic systems feedback, mainly during extreme meteorological events. Even then, DR is very low and process of sediment delivery to river channel is limited. Mentioned facts indicate some additional subsystem buffer barrier, which separate channel and slope environments. A subsystem functioning was evidenced during survey investigations, when dry foothill valleys bottom, gullies, unpaved and paved roads, riverbanks, proluvial flatplains, forested area and places unexplored in research had been recognised.