

Seria

WSPÓŁCZESNE PROBLEMY INŻYNIERII ŚRODOWISKA

Rada Programowa: prof. dr hab. inż. Jerzy Sobota – przewodniczący
prof. dr hab. inż. Stanisław Czaban
prof. dr hab. inż. Krzysztof Kuczewski
prof. dr hab. inż. Leszek Pływaczyk

Dotychczas w serii ukazały się:

I. ZASOBY I JAKOŚĆ WÓD

Monografia pod redakcją prof. dr hab. inż. Laury Radczuk

II. OCHRONA OD POWODZI

Monografia pod redakcją prof. dr. hab. inż. Włodzimierza Czamary

III. BILANSE WODNE EKOSYSTEMÓW ROLNICZYCH

Monografia pod redakcją prof. dr. hab. inż. Mariana Rojka

**IV. SYSTEMY I TECHNOLOGIE WYDOBYCIA KONKRECI
Z DNA OCEANÓW**

Monografia pod redakcją prof. dr. hab. inż. Jerzego Soboty



**WSPÓŁCZESNE PROBLEMY
INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

**Beata Głuchowska
Leszek Pływaczyk**

**ZWIERCIADŁO WODY GRUNTOWEJ
W DOLINIE ODRY
PONIŻEJ STOPNIA WODNEGO
W BRZEGU DOLNYM**

V



Wrocław 2008

Autorzy:

Beata Głuchowska, Leszek Pływaczyk

Opiniodawca

prof. dr hab. inż. Czesław Szafrąński

Redaktor merytoryczny

dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski

Opracowanie redakcyjne

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

Korekta:

dr Ewa Jaworska
Janina Szydłowska

Łamanie

Halina Sebzda

Projekt okładki

Krzysztof Wyszatycki

Monografie LIV

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008

ISSN 1898–1151

ISBN 978–83–60574–26–3

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel. 071 328–12–77
e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. druk. 7,0
Druk i oprawa: Wydawnictwo Tekst Sp. z o.o.
ul. Kossaka 72, 85–307 Bydgoszcz

SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	5
2. Przegląd piśmiennictwa	8
3. Cel, zakres i metodyka pracy	19
4. Charakterystyka lewobrzeżnej doliny Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym	23
4.1. Położenie geograficzne i morfologia terenu	23
4.2. Warunki hydrogeologiczne.....	24
4.3. Warunki glebowe.....	27
4.4. Struktura użytkowania doliny.....	28
4.5. Warunki meteorologiczne	29
4.5.1. Temperatury powietrza	29
4.5.2. Opady atmosferyczne	32
5. Wody gruntowe w dolinie.....	37
5.1. Położenie zwierciadła wody gruntowej u podnóża wysoczyzny	38
5.2. Kształtowanie się zwierciadła wody gruntowej na wododziale.....	40
5.3. Położenie zwierciadła wody gruntowej w pobliżu Odry	43
5.4. Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia	46
5.5. Tendencja zmian położenia zwierciadła wody gruntowej	48
5.5.1. Trendy zmian głębokości zalegania wody gruntowej	48
5.5.2. Tempo zmian położenia zwierciadła wody gruntowej w różnych miejscach doliny	51
5.6. Układ zwierciadła wód gruntowych w dolinie	59
5.6.1. Hydroizohipsy	59
5.6.2. Hydroizobaty	61
6. Zapasy wody w profilu glebowym	63
7. Zasięg oddziaływania stanów wody w Odrze swobodnie płynącej poniżej stopnia w Brzegu Dolnym na przyległą dolinę	72
7.1. Analiza codziennych pomiarów głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej na tle stanów wody w Odrze.....	73

7.2. Ocena reakcji zwierciadła wody gruntowej na stany wody w Odrze za pomocą modelu matematycznego	81
8. Podsumowanie i wnioski.....	93
9. Piśmiennictwo.....	98

1. WSTĘP

Dolina rzeczna była, jest i będzie miejscem życia i gospodarowania człowieka. Od zarania dziejów ludzie osiedlali się w dolinach wielkich rzek, które stwarzały dogodne warunki bytowe. Stąd też w miejscach osadnictwa aluwialnego następowały głębokie przekształcenia antropogeniczne. Z biegiem lat i wraz z rozwojem nauki wykształciły się rozmaite sposoby zagospodarowania dolin rzecznych w dziedzinie rolnictwa, leśnictwa, a także zabezpieczeń przeciwpowodziowych. Gromadzenie wody w zbiornikach zaporowych, przystosowanie koryt rzecznych do żeglugi, budowa stopni wodnych wraz z elektrowniami w celu pozyskiwania energii elektrycznej oddziałuje na warunki wodne doliny.

Rzeki płynące wieloma korytami koncentrowano w jednym, prostowano bieg rzeki, odcinając meandry i zakola. Często otaczano je wałami w bliskiej odległości od koryta, w międzywałach wycinano las i zakrzaczenia w celu ułatwienia przepływu wezbrań. Aby obniżyć poziom wód gruntowych w dolinie, obniżano poziom dna rzeki.

Inwestycje wywołują pozytywne zmiany w zakresie zadań i celów, dla których były realizowane. Natomiast na terenach przyległych pojawiają się często negatywne skutki działalności człowieka (np. spadek bioróżnorodności ekosystemów, zmniejszenie retencji doliny) [Żbikowski, Żelazo 1993; Wawręty 2000]. Liniowy charakter dolin, a także połączenia z innymi środowiskami powodują, że są one najlepszymi korytarzami ekologicznymi, umożliwiając przemieszczanie się roślin i zwierząt. Doliny rzeczne, nawet częściowo przekształcone przez człowieka, posiadają wysokie walory przyrodnicze (wzdłuż rzek występują cenne lasy łęgowe, parki narodowe, rezerваты i inne) [Adamski 1993; Bieszczad, Sobota 1993; Jankowski, Świerkosz 1995; Atlas obszarów zalewowych Odry 2000].

Budowa zbiorników zaporowych i stopni wodnych bardzo silnie wpływa na reżim hydrologiczny rzek. Ingerencja człowieka w naturalne środowisko wodne powoduje zachwianie istniejącego układu. Przegrodzenie koryta cieku i spiętrzenie wody powoduje zmianę charakteru rzeki w stosunku do terenu przyległego. Poniżej budowli piętrzącej występuje wzmoczony proces erozji liniowej i lokalnej, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia stanów wód w rzece i w rezultacie wód gruntowych w przyległej dolinie. W ślad za tym następuje przesuszanie terenów przyrzecznych. Rzeka ma charakter drenujący w stosunku do sąsiednich obszarów. Systematyczne obniżanie się głębokości zalegania wody gruntowej stanowi zagrożenie dla wartości przyrodniczych i rolniczych doliny.

Natomiast powyżej budowli piętrzącej zachodzi zjawisko infiltracji wody ze zbiornika i zasilanie doliny. Zwierciadło wody gruntowej kształtuje się zbyt blisko terenu, co powoduje niekorzystne stosunki powietrzno-wodne dla roślin.

Działalność człowieka w dolinach wielkich rzek przez ostatnie 200 lat koncentrowała się na pracach regulacyjnych koryt rzecznych, budowie stopni, zapór oraz odwadnianiu terenów zalewowych. Odra, druga co do wielkości rzeka Polski, również została uregulowana. W największym stopniu przekształcono odcinek od Koźła do Brzegu Dolnego. Wykonano 23 stopnie wodne. Odra prawie na całej długości została obwałowana [Wójcik 1999; Miłkowski 2003]. Takie zabiegi odcięły teren zawała od żyznych zalewów. To miało negatywny wpływ na lasy znajdujące się na terenach zalewowych dolin rzecznych. Na skutek zabudowy hydrotechnicznej nastąpiła zmiana morfologiczna koryta rzeki i wód powierzchniowych. Poniżej budowli piętrzącej obserwuje się obniżanie poziomu zwierciadła wody gruntowej, co powoduje, że lasy są coraz rzadziej zalewane przez wodę [Jankowski 1993; Tomiałojć, Dyrz 1993].

Ostatnim stopniem wodnym na Odrze jest stopień w Brzegu Dolnym (w km 281+600), który do eksploatacji został oddany w 1958 r. W tej sytuacji w dolinie wytworzyły się dwie odmienne strefy oddziaływania rzeki na stosunki wodne terenów przyległych. Powyżej budowli piętrzącej dolina znajduje się pod wpływem zasilania wód przesiąkowych z Odry, a poniżej stopnia rzeka w stosunku do terenów przyległych ma charakter drenujący. Eksploatacja stopnia wywołała określone zmiany zarówno w samym korycie cieku, jak i przyległej dolinie [Pływaczyk 1997, 2000].

Kolejną budowlą istniejącej drogi wodnej rzeki Odry ma być stopień wodny „Malczyce” (w km 300+000). Starania o budowę stopnia rozpoczęły się w początkach lat 70. XX wieku. Trafność wybranego miejsca potwierdza literatura [Wysocki 1984] oraz badania archeologiczne (w miejscu aktualnie budowanej śluzy została odkryta drewniana śluza z XIX wieku) [Ratownicze badania archeologiczne 2003; Miłkowski, Przybyszewska 2007].

Przyjęta do realizacji wersja budowy stopnia „Malczyce” jest wynikiem kompromisu racji prezentowanych przez gremia hydrotechników oraz przyrodników. Maksymalne piętrzenie zwierciadła wody w Odrze zostało ustalone w rzędnej 101,40 m n.p.m. Wysokość spiętrzenia wynosi ok. 1,40 m ponad rzędną terenu doliny w przekroju stopnia.

Stopień wodny „Malczyce”, podobnie jak stopień w Brzegu Dolnym, spowoduje wytworzenie w dolinie Odry dwóch różnych obszarów oddziaływania rzeki na stosunki wodne terenów przyrzecznych. Powyżej stopnia nastąpi dodatkowe zasilanie doliny wodami infiltrującymi ze zbiornika korytowego, co wywoła m.in. podniesienie poziomów wód gruntowych w dolinie. Poniżej spiętrzenia dno rzeki będzie ulegało procesom erozji zarówno lokalnej, jak i liniowej. Skutek tego zjawiska – to obniżanie się stanów wody w Odrze i zwiększanie głębokości zalegania wód podziemnych w przyległym terenie.

Inwestycja stopień wodny „Malczyce” na rzece Odrze wpłynie korzystnie na postępujący proces degradacji środowiska poniżej stopnia w Brzegu Dolnym [Głuchowska i in. 2001; Głuchowska, Pływaczyk 2003 a]. Powstanie zbiornik wodny w górnym stanowisku stopnia, który zmieni rolę rzeki na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce w dolinie,

poprawi bezpieczeństwo stopnia w Brzegu Dolnym, a także umożliwi grawitacyjne nawodnienie kompleksu lasów usytuowanych poniżej projektowanego stopnia (na prawym brzegu, w okolicach Lubięża).

Po wybudowaniu stopnia, według opracowanej prognozy [Praca zbiorowa 1974], nastąpi podniesienie się poziomu wód gruntowych w dolinie. W wyschniętych obecnie starorzeczach poprawią się m.in. warunki do zasiedlenia ich przez rozmaite gatunki ptaków wodnych (np. siewki, żurawie).

W chwili obecnej zwierciadło wód gruntowych kształtuje się na głębokości od ok. 2,0 do ok. 5,0 m od powierzchni terenu. Po wybudowaniu stopnia będzie możliwe:

- podniesienie poziomu zwierciadła wody gruntowej, a tym samym zwiększenie udziału wód gruntowych w uwilgotnieniu profilu glebowego,
- utrzymanie zwierciadła wody gruntowej w granicach dopuszczalnych norm odwodnienia dla danych gleb i użytków,
- uzyskanie gwarancji stabilności plonów,
- zachowanie walorów przyrodniczych doliny Odry,
- pozyskanie czystej ekologicznie energii elektrycznej dzięki przystopniowej elektrowni wodnej,
- poprawienie warunków żeglugowych na Odrze,
- gospodarcze ożywienie regionu dzięki nowym miejscom pracy,
- powstanie sprzyjających warunków dla uprawiania sportów wodnych i rekreacji.

Dzięki współpracy hydrotechników i przyrodników stopień wodny „Malczyce” może spełniać funkcje proekologiczne.

2. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

W dawnych czasach stosunki wodne w dolinach rzecznych zmieniały się nieznacznie. Głównie zalegały tam lasy i użytki zielone. Dzięki istnieniu młynów wodnych łąki często ulegały zalewom. Gromadzenie wody w przymłyńskich zbiornikach pozwalało na wykorzystywanie jej do nawodnień. Taka gospodarka nie powodowała stagnacji wody, nie przyczyniała się do zabagnienia terenów przyległych, a jednocześnie nie pozwalała na obniżanie się poziomu wód gruntowych [Smólska 1980; Łoś 1995].

Większa opłacalność pól ornych niż łąk, a także żyzne gleby w dolinach rzek spowodowały wkraczanie w doliny użytków polowych i siedlisk ludzkich. W miarę rozwoju cywilizacji coraz więcej miast, wiosek i osad budowano w pobliżu rzek, to z kolei zmusiło do zabezpieczenia terenów przed zalewami, budowy obwałowań czy regulacji cieków [Kułtuniak 2002].

Odra przed tysiącem lat płynęła szeroką doliną, tworząc liczne zakola i koryta, bogatą mozaikę środowisk (lasy łęgowe, olsy, grądy, torfowiska). Jej szerokość wynosiła od kilku do kilkunastu kilometrów (3–10 km). W czasie licznych wezbrań rzeka użyźniała gleby terenów nadbrzeżnych. Duża ilość ryb, zwierzyny w okolicznych lasach, a także umiarkowany klimat sprzyjały osadnictwu. W celu zagospodarowania dolin rzecznych, ochrony przed powodzią oraz wykorzystania żeglugowego rzek podejmowano różne prace hydrotechniczne. Dla gromadzenia wody na potrzeby ludności, przemysłu i rolnictwa budowano zbiorniki zaporowe [Jankowski, Świerkosz 2005].

Żegluga Odrą w dawnych czasach była trudnym przedsięwzięciem. Kręta rzeka, z licznymi przeszkodami (pnie drzew), o dużej zmienności stanów wody i nurtu rzeki, a także tamami i jazami utrudniała żeglugę. W XVI w. liczba jazów na Dolnym Śląsku dochodziła do 20 (m.in. w Rzeczy, Chobieni, Głogowie). W takich warunkach wykorzystanie Odry dla żeglugi było niewielkie. Pierwsze wzmianki pochodzą z XIII w. w dokumencie Henryka Brodatego, który nadaje klasztorowi w Lubiążu prawo żeglugi po Odrze. Statki zakonników transportowały sól z Gubina i śledzie ze Szczecina [Wysocki 1984; Zawadka 1998].

Prawie cała Odra na terenie Polski została uregulowana. Naturalny odcinek rzeki zachował się w górnym jej biegu, pomiędzy Chałupkami a ujściem Olzy. Liczy ok. 5 km długości. Okres prac hydrotechnicznych można podzielić na dwa przedziały. Pierwszy to prace regulacyjne, datujące się od XIII do XVIII w., a drugi to kanalizacja Odry.

Regulacja rzeki to jej przystosowanie do łatwego przewozu ludzi i towarów poprzez nadanie korytu rzeki odpowiedniego profilu poprzecznego i podłużnego dzięki specjal-

nym budowlom regulacyjnym (dotyczy brzegów i dna). Na Odrze przeprowadzono ją za pomocą obwałowań, ostróg i opasek brzegowych, podłużnych tam i przetamowań, wyprostowania koryta i biegu, budowy kanałów lateralnych w celu poprawy żeglugi, ochrony przeciwpowodziowej oraz wykorzystania do innych celów [Herman 1991].

Kanalizacja Odry rozpoczęła się w roku 1874 (powstanie na Odrze nowej ogólnodrzańskiej administracji – Zarządu Regulacji Rzeki Odry). Polegała ona na zabudowie rzeki obiektami hydrotechnicznymi (śluzy, jazy, zbiorniki wodne) [Przybyszewska i in. 2001].

Historia miast i osad usytuowanych w dolinie Odry związana jest z powodzią. Ochrona upraw i domostw przed wielką wodą była wielkim wyzwaniem. Już w XIII w. wybudowano pierwsze wały tzw. letnie, które chroniły pola przed letnimi wezbraniem. Do końca XVII w. w większości miast położonych wzdłuż biegu rzeki pojawiły się wały (Racibórz, Krapkowice, Opole, Oława, Wrocław, Ścinawa, Głogów) [Szczegieliński 1997].

Obok budowy wałów przeciwpowodziowych rozpoczęto oczyszczanie koryta rzeki, a także prostowanie jej biegu za pomocą przekopów. Pod koniec XV w. regulacja Odry wkroczyła w okres zastoju i zahamowań prac na rzece. Powołanie przez cesarza Ferdynanda specjalnej komisji uszlawnienia rzeki w roku 1557 zapoczątkowało nowe roboty regulacyjne w wieku XVI i XVII. Zadaniem komisji była likwidacja jazów, pogłębienie Odry na odcinku od Brzegu do Frankfurtu do głębokości 16 łokci (9 m), budowa śluz i ostróg, a także regulacja rzeki w dół od Wrocławia. Tak szeroki zakres robót nie został w pełni zrealizowany [Wysocki 1984].

Regulację Odry prowadzono za pomocą prostowania meandrów rzeki. Na szeroką skalę przekopy zaczęto stosować w XVIII w. Najwcześniej miało to miejsce na odcinku ujście Nysy Kłodzkiej – Uraz. W roku 1494 miasto Wrocław wykonało przekop od Bartoszowic do Dąbia, a w 1555 – od Dąbia do Szczytnik. Obydwa przekopy zostały wykonane w celu ochrony młynów i stanowią one do dzisiaj koryto rzeki w mieście. W przeciągu ok. 80 lat skrócono rzekę o ok. 160 km, a do początku XX w. – o dalsze 30 km [Roman i in. 1999].

Kolejnym sposobem regulacji Odry były kanały żeglugowe. Do końca XVII w. zbudowano dwa, były to: Kanał Odra – Sprewa i Kanał Winawski.

Pierwsze prace wokół Kanału Odry – Sprewa rozpoczęto w latach sześćdziesiątych XVI w. Pierwszy statek przepłynął kanałem w roku 1669, przewiózł zboże bezpośrednio z Wrocławia do Hamburga. Równocześnie z myślą połączenia Odry ze Sprewą zrodziła się koncepcja połączenia Odry z Łabą. To stało się punktem wyjścia do budowy Kanału Winawskiego, którego budowa trwała od 1556 do 1620 r. [Miłkowski 2003].

Prace nad podniesieniem żeglowności Odry nabrały rozmachu w wieku XVIII. Względy polityczne i naturalne spowodowały, że prawie cała Odra od czasów piastowskich znalazła się na terenie jednego państwa. Nastąpiło ożywienie żeglugi, głównie spławiano drewno do Szczecina. W związku z połączeniem Górnego Śląska z Odrą poprzez Kanał Kłodzki (wybudowany pod koniec XVIII w.) pojawił się nowy towar – węgiel kamienny. Na przeszkodzie żegludze stał bardzo zły stan rzeki. Coraz większe zasiedlenie doliny powodowało zwężenie koryta wód powodziowych. Ludność zaczynała

powoli ujarzmiac rzekę różnymi sposobami. Na plan pierwszy wysunęły się obwałowania. Rzeka coraz częściej wyrządzała szkody uprawom rolnym i ludziom [Szczegieliński 1997].

W XIX w. rozwój żeglugi miał decydujący wpływ na charakter i rozmiar prac regulacyjnych. W XIII w. po Odrze pływały 10-tonowe łodzie, natomiast już w roku 1859 barki 100-tonowe. Zapewnienie odpowiednich głębokości żeglownych miała spowodować regulacja koryta rzeki poprzez zwężenie za pomocą ostróg [Zawadka 1998]. Zbudowane ostrogi (w ilości 10 tys.) nie zapewniały pożądanego efektów. Szybkie odpływy wód zmniejszały nurt i utrudniały żeglowanie w górę rzeki. Przy niskich stanach występowały mielizny. Celem Protokołu Bohumińskiego (z 7 lipca 1819 r.) było przeprowadzenie użegłownienia rzeki. Dokument ten był pierwszym jednolitym planem regulacji Odry. Przewidywał m.in. zmniejszenie szkodliwych skutków przekopów (wytworzenie wijącej się trasy), usunięcie płycizn, jak również ustalono szerokości koryta Odry dla średniej wody:

- odcinek Racibórz – Koźle 68 m,
- ujście Nysy Kłodzkiej – ujście Widawy 90–93 m,
- ujście Nysy Łużyckiej – ujście Warty 150 m.

Pod koniec XIX w., po powodzi z 1897 r., przystąpiono do regulacji i zabudowy potoków górskich oraz opracowano projekty budowy zbiorników retencyjnych. Na początku XX w. rozpoczęto budowę tzw. suchych zbiorników przeciwpowodziowych zlokalizowanych w zlewniach rzek: Nysy Kłodzkiej, Kaczawy, Bobru (Międzygórze, Stronie Śląskie, Jarnołtówek), równocześnie realizowano inwestycje zbiorników wielozadaniowych, m.in. Pilchowice na Bobrze, Leśna, Złotniki na Kwisie, Lubachów na Bystrzycy, Otmuchów na Nysie Kłodzkiej [Grodek i in. 1948].

Na odcinku górnej Odry od Koźla do Wrocławia wybudowano 22 stopnie o łącznym spadzie 63 m. Jednocześnie z ostatnim stopniem w Rędzinie został zmodernizowany Wrocławski Węzeł Wodny. Z historii budowy ostatnich stopni kaskady odrzańskiej można przytoczyć kilka dat:

- lata 90. XIX stulecia – przebudowa miejskiego szlaku żeglugowego we Wrocławiu – budowa Śluzy Miejskiej,
- budowa kolejnego stopnia wodnego – Rędzin (1917–1923),
- budowa kolejnego stopnia piętrzącego w Brzegu Dolnym (1948–1958) [Hermann 1930].

Następnym stopniem istniejącej drogi wodnej rzeki Odry ma być stopień wodny „Malczyce”. Zasadniczym celem jego budowy jest zabezpieczenie stateczności stopnia w Brzegu Dolnym, zahamowanie erozji dna rzeki oraz podniesienie stanów wody w korycie cieku.

Strategia modernizacji Odrzańskiego Systemu Wodnego zawarta jest w Programie dla Odry 2006 [2000], określa gospodarcze wykorzystanie Odry poprzez rozwój transportu rzeczno-żeglownego. Realizacja celów wymaga m.in.:

- dokończenia budowy stopnia wodnego Malczyce,
- ewentualnej budowy ostatniego stopnia kaskady Odry – Lubiąż,
- odtworzenia i modernizacji szlaku żeglugowego na Odrze swobodnie płynącej.

Program dla Odry 2006 zakłada eksploatację i sanację istniejącej infrastruktury hydrotechnicznej, a w przypadku nowych inwestycji – obiekty towarzyszące, które przyczynią się do renaturyzacji doliny Odry.

Doliny rzek są złożonymi ekosystemami, a budowle hydrotechniczne całkowicie przekształcają warunki siedliskowe w całej dolinie. Stopnie wodne zaburzają naturalny dynamizm warunków wodnych. Podstawowym ich zadaniem jest umożliwienie żeglugi poprzez wyrównywanie przepływów, ograniczenie wahań poziomu wody i występowania stanów niskich, dodatkowo służą do produkcji energii elektrycznej. Przegrodzenie koryta rzeki powoduje negatywne skutki dla środowiska przyrodniczego. Są one szczególnie nateżone poniżej ostatniego w kaskadzie stopnia w dole rzeki.

Poniżej stopni „niepodpartych” obserwuje się zarówno erozję lokalną, jak i liniową. Zasięg erozji liniowej dochodzi do 100 km, a maksymalne głębokości lokalnych obniżen dna mogą wynosić do 10 m [Mokwa 2002]. Budowle piętrzące powodują szereg zmian warunków naturalnych, m.in. zamulanie zbiornika korytowego, zmieniają się fizyczne i biologiczne właściwości wody, jej temperatura, ciężar właściwy i skład chemiczny, powstają warunki do rozwoju innej fauny i flory niż ta, która występowała w rzece przed jej przegrodzeniem. Przegroda na rzece jest barierą bardzo trudną lub wręcz niemożliwą do pokonania dla organizmów wędrujących w górę rzeki. Brzegi ulegają przekształceniu – falowanie oraz zmiany położenia zwierciadła wody naruszają warunki równowagi, następuje ich przeobrażenie ze stromych na łagodniejsze, a w niektórych wypadkach zdarzają się osuwiska [Wawręty 2000].

Wykorzystywanie i przystosowanie rzek do funkcji transportowych, rozbudowywanie systemu budowli przeciwpowodziowych oraz rozwój osadnictwa na przybrzeżnych powodował odbieranie rzekom ich naturalnych przestrzeni, przekształcając całe doliny rzeczne lub ich duże fragmenty w zabudowane kanały z naruszeniem lub zniszczeniem ich ekosystemów. Proces ten nie został jeszcze całkowicie zatrzymany, o czym świadczą nowe inwestycje hydrotechniczne, m.in. budowa zbiorników czy stopni wodnych [Dobrowolski i in. 1991; Kajak 1992; Żbikowski, Żelazo 2000].

Głównymi przyczynami, które powodowały i nadal powodują wznoszenie budowli wodnych typu stopnie, zbiorniki, poldery, są:

- ułatwienie spływu wody w korytach,
- ochrona przed powodzią terenów przyległych do rzeki, ograniczenie gwałtownych przyborów wody, zwłaszcza w okresie wiosennym,
- usprawnienie żeglugi,
- dostosowanie trasy i zwierciadła wody w przekroju podłużnym do innych zadań (ujęcia wody pitnej, wody przemysłowej, odprowadzanie ścieków, wykorzystanie energii wodnej, regulacja stosunków powietrzno-wodnych).

Budowle regulacyjne, obok pozytywnych, przyczyniają się do wielu negatywnych przemian w środowisku. Ujednolicenie brzegów i warunków przepływu szkodzi organizmom wodnym, gdyż pozbawia je kryjówek, miejsc odpoczynku, co w konsekwencji prowadzi doubożenia świata roślinnego i zwierzęcego [Adamski 1993; Jankowski 1993; Niwiński 1998; Studium 2001].

Wały przeciwpowodziowe i ich długie nasypy są obcym elementem w naturalnej dolinie. Negatywne skutki obwałowań to:

- pozbawienie terenów doliny zalewów wraz z żyznymi namułami;
- utrata części retencji dolinowej;
- utrudnienie odwodnienia obszarów odciętych od rzeki;
- duże rozmiary katastrof w przypadku przerwania wałów – wały nie dają pełnej gwarancji bezpieczeństwa dla chronionych terenów, których zatopienie po przerwaniu obwałowań powoduje znacznie wyższe straty niż wtedy, gdy obszary te nie były obwałowane;
- zanik akwenów, bagien i mokrych siedlisk na zawału;
- zmiana sposobu użytkowania terenu – użytki zielone są zamieniane na grunty orne, pociąga to za sobą zubożenie bogatej gatunkowo i osobniczo flory i fauny,
- zakłócenia krajobrazowe – wały zasłaniające brzegi obniżają walory estetyczne doliny.

Innym rodzajem budowli wodnej, która wpływa negatywnie na środowisko dolin rzecznych, są zbiorniki, służące głównie do zatrzymywania, magazynowania odpływu rzecznoego w celu wykorzystania wody do różnych przedsięwzięć (rezerwuar wody na cele wodociągowe, np. zbiorniki: Sosnowka, Goczałkowice, Słup; energetyczne, rekreacyjne) [Kardasz, Simoni 1977; Majewski 1992; Czamara 1996].

Negatywne działanie zbiorników to m.in.:

- zatopienie pewnej powierzchni łądu – razem z łądem może nastąpić utrata rzadkich czasem gatunków roślin i zwierząt oraz wartości krajobrazowych;
- podniesienie poziomu wód gruntowych w sąsiedztwie zbiornika, co pociąga za sobą zmianę warunków wilgotnościowych, warunków życia fauny i flory, produkcji rolniczej itd. [Lenczewski 1982; Kowalski 1990];
- abrazja brzegów – wahania poziomu zwierciadła wody i falowanie wiatrowe są przyczyną ścierania skał na brzegach, co z kolei powoduje powstawanie unosin i wzrost zamulania zbiornika;
- pogorszenie stabilności bilansu tlenowego poprzez zwiększenie głębokości wody i zmniejszenie prędkości przepływu, a z nią turbulencji powoduje, że maleje wymiana tlenowa zbiornika z atmosferą, może to doprowadzać do powstania deficytu tlenowego szkodliwego dla organizmów wodnych [Dąbkowski, Misiak 1996];
- zmiana termiki wód (może prowadzić do stratyfikacji termicznej), która wpływa niekorzystnie na życie biologiczne [Wawręty 2000];
- zmiana w przebiegu zjawisk lodowych – często dochodzi do zatorów lodowo-śryżowych [Głazik, Grześ 1999; Fiedler-Krukowicz, Żelazo 2000; Studium 2000].

Spiętrzeniu wody płynącej towarzyszy zmiana dotychczasowego układu stosunków wodnych. Zmiany te mają charakter pozytywny w zakresie zadań i celów, dla których zostały zrealizowane, ale na terenach przyległych, szczególnie do zbiorników nizinnych, obserwuje się negatywne oddziaływanie spiętrzonej wody [Kornacki 1974; Lubczyński 1989; Goczan, Loczy 1990; Olszamowski 1993; Sokołowski 1995].

Czynnikami, które wpływają na zakres i skutki wywołane spiętrzeniem wody, są:

- wysokość piętrzenia,
- budowa hydrogeologiczna terenu (zarówno pod budowlą, jak i przyległego terenu),

- geometryczne i fizyczne parametry piętrzenia (np. wielkość zalewu, długość cofki, zakres i amplituda wahań wody),
- zagospodarowanie i użytkowanie przyległego terenu.

Oddziaływanie zbiornika retencyjnego Jeziorsko na rzece Warcie ujawniło się w postaci: trwałych i okresowych podtopień terenu, pogorszenia jakości wód gruntowych, a nawet zmian w naprężeniach pierwotnych i wtórnych w gruncie [Płuciennik, Matecki 1999].

Ingerencja człowieka w naturalny rozwój rzeki wpływa na zmianę elementów bilansu wodnego zlewni [Kowalski 1990; Dubicki 1993; Drabiński 1997] i mikroklimatu [Obrębska-Starkłowa, Przyborowska 1995; Begalishvili i in. 1996]. Na podstawie „Oceny oddziaływania na środowisko zbiornika wodnego Domaniów” Prałat [1990] szacuje podwyższenie minimalnej temperatury powietrza w godzinach rannych i wieczornych w granicach: 0,5–1,5°C. Jesienią zostaje wydłużony okres bezprzymrozkowy, a także wyrównana wilgotność powietrza. Ulegają zmianie procesy korytotwórcze [Serafin, Pływaczek 1988; Parzonka i in. 1993].

Wśród wymienionych oddziaływań zbiorników wodnych bardzo ważne znaczenie zarówno gospodarcze, jak i przyrodnicze mają przekształcenia systemu wodnego na terenach przyległych [Błazejewski 1992; Ambrożewski 1998; Czamara 1998; Bykowski i in. 2001; Chełmicki 2001].

Rejony dolin rzecznych należą do obszarów ścisłego kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych [Benatin 1982; Rzegocki 1982; Wieczysty 1982; Nawalany 1984; Winter 1995, 2001; Liberacki 2004; Szafranski, Stasik 2004]. Wpływy te potęgują się, gdy dochodzi do zmian naturalnego reżimu hydrodynamicznego. Z takim zjawiskiem mamy do czynienia podczas piętrzenia wód powierzchniowych. Na przyległych terenach dochodzi do silnych wpływów spiętrzonych wód, które mogą się przejawiać w postaci ucieczek wód powierzchniowych do gruntu, a tym samym zasilania wód gruntowych bądź spowolnienia odpływu wód podziemnych w wyniku spadku gradientu hydraulicznego w sąsiedztwie strefy spiętrzonych wód [Przybyłek 1999].

Flisowski i Wieczysty [1965] wyróżnili trzy strefy oddziaływania zbiornika:

- strefa I – przybrzeżna – obejmuje obszar, w którym głębokość wody podziemnej (h) jest funkcją stanów wody powierzchniowej (H), $h = F(H)$,
- strefa II – środkowa – na poziom wód podziemnych wpływa opad (P), $h = f(P)$,
- strefa III – zewnętrzna – obejmuje obszar zboczy i stoków, występuje zależność poziomów wód podziemnych od dopływu podziemnego (q), $h = f(q)$.

Według Hanczarskiego i Sokołowskiego [1977] występują następujące strefy:

- 1) bezpośredniego wpływu na wody gruntowe – ruch wody odbywa się od zbiornika na zewnątrz i zależy od wysokości piętrzenia oraz warunków geologicznych i hydrologicznych; zasięg tej strefy kształtuje się od kilkunastu do kilkuset metrów;
- 2) bardziej oddalone tereny podlegają pośredniemu oddziaływaniu zbiornika – ruch wody odbywa się w kierunku zbiornika, a jego dynamika zależy od warunków meteorologicznych w zlewni;
- 3) zastoisłkowa – na granicy omówionych stref. To obszar na styku wód płynących ze zbiornika i do zbiornika, czego efektem jest ich wypiętrzenie. Zjawisku temu towarzyszy proces okresowego lub trwałego zabagnienia terenu [Kostrzewa, Pulikowski 1993; Grzywna 2004].

Na podstawie badań bilansu krążenia wód podziemnych dla zbiornika Jeziorsko Przybyłek [1999] oszacował wielkości ucieczek wody ze zbiornika do systemu wód podziemnych. Istniejące warunki hydrogeologiczne zbiornika decydują o tempie i rozległości przenoszenia się reakcji hydrodynamicznych związanych z eksploatacją zbiornika Jeziorsko.

W kształtowaniu stosunków wodnych biorą udział również małe zbiorniki wodne, np. stawy, rowy [Marcilonek i in. 1990; Sasik 1992; Marcilonek 1994; Kosturkiewicz i in. 2002]. Obiekty te pozytywnie oddziałują na obieg wody w zlewni. Wpływają na poziom wód gruntowych, zwiększają uwilgotnienie gleb sąsiadujących. Zmieniają mikroklimat terenów przyległych, a także wyrównują odpływ wód ze zlewni [Obrębska-Starkłowa, Grzyborowska 1995; Begalishvili i in. 1996; Orzepowski i in. 2004]. Posiadają znaczne zdolności retencyjne [Nyc i in. 1992].

Wpływ zbiorników na okoliczny obszar należy rozpatrywać w wielu aspektach, np. przyrodniczym, ekonomicznym czy społecznym. Każda inwestycja hydrotechniczna ma indywidualny charakter ekologiczny i jest kreacją czegoś nowego, indywidualnego [Dobrowolski i in. 1991; Szyszka 1994; Bonacci 1998].

Już na etapie planowania inwestycji konieczne jest jak najdokładniejsze rozeznanie warunków geologicznych, hydrogeologicznych terenu przeznaczonego pod budowę i okolicy. W jak najszerszym zakresie niezbędne jest prowadzenie monitoringu wód podziemnych i ustalenie ich związku z wodami powierzchniowymi [Skalova, Klementova 2001]. Ważne jest specjalistyczne opracowanie w zakresie oddziaływania spiętrzenia wody na tereny przyległe. Wagę problemu doceniają naukowcy wielu krajów na świecie. Ma to swoje odbicie w organizowanych międzynarodowych konferencjach [Parzonka i in. 1992; Sørensen i in. 1997; Raport 2000].

Eksploatacja zbiornika Jeziorsko ujawniła ujemne skutki piętrzenia. Głównym powodem jest skomplikowana budowa geologiczna, a także błędna ocena strefy zasięgu maksymalnego piętrzenia [Przedwojski i in. 1993; Sokołowski 1995]. Analizowano wpływ dużego zbiornika nizinnego na stany i przepływy rzeki Warty. Oceniono, że oddziaływanie zbiornika Jeziorsko malało jednocześnie ze wzrostem odległości od koryta ciekłu. Przybyłek [1999] tłumaczy to przede wszystkim zastępowaniem retencji zbiornikowej naturalną retencją w korycie i dolinie Warty oraz na polderze.

Stopień wodny „Włocławek” jest pierwszym i największym elementem planowanej kaskady dolnej Wisły. W wyniku spiętrzenia Wisły zmienił się ustrój hydrologiczny rzeki na odcinku stopień wodny – Płock. W ciągu dwudziestoletniej eksploatacji poniżej zapory dno koryta rzeki obniżyło się o ok. 3,0 m [Studium 2001]. Większość problemów eksploatacyjnych stopnia wodnego „Włocławek” (spadki zwierciadła wody, prędkości przepływu i amplitudy stanów wody oraz zwiększenie zagrożenia powodziami zatorowymi) wynika z zaniechania budowy kolejnych stopni. Najrozsądniejszym sposobem zahamowania wielu niekorzystnych zjawisk jest budowa kolejnych stopni wodnych.

W przypadku zbiornika Nielisz prognozą wpływu budowli na okoliczne tereny objęto środowisko przyrodnicze rzeki Wieprz poniżej zapory, położenie i zasoby wód podziemnych na terenach przyległych, warunki siedliskowe flory i fauny. Dokonano analizy wpływu zbiornika na przyległą okolicę. Na podstawie badań stwierdzono, że zbiornik

pozytywnie oddziałuje na środowisko (m.in. nastąpił przyrost powierzchni akwenów, zwiększenie retencji wodnej i zasobów wód dyspozycyjnych w rzece poniżej zapory) [Pawłat, Dąbkowski 1995].

Ingerencja człowieka wywołuje zmiany naturalnego reżimu hydrologicznego. Z taką sytuacją mamy do czynienia podczas piętrzenia wód powierzchniowych. Dochodzi wtedy do silnych wpływów spiętrzonych wód na tereny przyległe. Zagadnienie jest trudne do oszacowania, gdyż następuje zmiana układu wód gruntowych na dużych powierzchniach. Zasadniczego znaczenia nabierają badania związane z poznawaniem kształtowania się stanów w spiętrzonych ciekach i zbiornikach oraz poziomów wód gruntowych na obszarach będących w zasięgu ich oddziaływania [Kordas 1966; Brandyk 1990; Barendregt 1991; Bednarczyk 1996; Czamara i in. 1999; Bykowski 2001].

Prognozę głębokości zalegania wód gruntowych można opracować w oparciu o model matematyczny. Ostatnie lata przyniosły znaczny postęp w technikach informacyjnych, co pozwoliło na modelowanie procesów hydrologicznych [Schmid, Braess 1988; Ackere 1990; Sørensen i in. 1997; Winter 2001]. Możliwe stało się stosowanie numerycznych metod modelowania i rozwiązywanie szeregu zagadnień, w tym również filtracji [Mioduszewski 1989; Somorowski 1993; Wosiewicz i in. 2005]. Rozwiązania zagadnień związanych z problemem filtracji, oddziaływaniem piętrzeń wód powierzchniowych na wody gruntowe było przedmiotem wielu opracowań, m.in. [Flisowski i in. 1986; Ujfaludi, Maginecz 1986; Lubczyński 1989; Pływaczyk i in. 1992; Christensen 1995; Dillon, Summers 1998; Balážová i in. 2002].

Pierwsze systematyczne badania wód gruntowych (głębokość zalegania, występowanie ekstremów, amplitudy) można zawdzięczać teoriom o związkach między stanami wód a umieralnością na tyfus. W połowie XIX w. rozpoczęto w Monachium, Berlinie, Zurychu i Wrocławiu stałe pomiary głębokości wód gruntowych [Kajewski, Kowalski 1996]. Obserwacje prowadzone we Wrocławiu obejmowały zakresem codzienne pomiary stanu wody i jej temperaturę. Właściwe poznanie stosunków wód podziemnych, m.in. głębokości występowania, dynamiki zmian oraz czynników je kształtujących jest niezbędne do prawidłowego projektowania i wykonawstwa budowli inżynierskiej, jak również w przygotowaniu planów przestrzennych. Wynikiem badań było opracowanie „Wpływu piętrzenia Odry miejskiej we Wrocławiu na warunki wodno-gruntowe na terenie miasta” [Kowalski 1977]. Jak wynika z układu zwierciadła wód gruntowych, Odra w śródmiejskiej części Wrocławia ma charakter infiltrujący. Zwierciadło wody gruntowej układu się powyżej pierwotnej powierzchni terenu. Głębokość zalegania wód gruntowych oraz kierunek przepływu w obrębie doliny limitowane są głównie przez stany średnie wody w Odrze Miejskiej i Starej Odrze. Badania korelacyjne wykazały, że dla terenu Starego Miasta i Śródmieścia istnieje silne powiązanie między stanami wód powierzchniowych i gruntowych.

Z badań Kowalskiego [1977] wynika, że wpływ stanów Odry na wody gruntowe zależy nie tylko od odległości od rzeki. Znaczne różnice w oddziaływaniu Odry na poziomy wód gruntowych występują między punktami równoodległymi od Odry na prawym i lewym brzegu rzeki. Zmienność głębokości wód gruntowych jest funkcją czynników naturalnych (meteorologicznych, hydrologicznych) i antropogenicznych.

Związki korelacyjne między stanami wód powierzchniowych i gruntowych zanikają jednocześnie ze wzrostem odległości od brzegu. Na podstawie badań numerycznych Kajewski i Kowalski [1996] wykazują, że już 10-dniowa fala o wysokości 1,0 m ponad średni stan (ŚW) oddziałuje na odległość ok. 750 m.

Wpływ dynamiki wód gruntowych na środowiska leśne jest tematem wielu opracowań [Cifra 1987; Krajewski 1996; Sokołowski 1996; Smelko i in. 1999, Chełmicki i in. 2002; Szafranski, Stasik 2004]. Badania i pomiary wód gruntowych na terenach przyległych do zbiornika Siemianówka na Narwi nie wykazały istotnych zmian w siedliskach leśnych. Położenie zbiornika Siemianówka narzuca mu zadanie zasilania wodą Narwiańskiego Parku Narodowego, nawadnianie użytków zielonych w dolinie Narwi, prowadzenie gospodarki rybackiej [Pałys i in. 1996; Mioduszewski i in. 1997].

Badania dotyczące głębokości wody gruntowej i uwilgotnienia gleb w małej zlewni leśnej prowadził Liberadzki [2004]. W ciągu 5 lat badań ocenił dynamikę zmian położenia zwierciadła wody gruntowej. Uzyskane wyniki potwierdzają zależność głębokości zalegania wody gruntowej od warunków meteorologicznych oraz położenia i odległości od ciek.

Analizę zależności głębokości zalegania wód gruntowych od warunków klimatycznych i stanów wód powierzchniowych na obszarze południowo-wschodniej Wielkopolski prowadził Wójcik [1999]. Przeprowadzone obliczenia potwierdzają, że decydującą rolę w kształtowaniu zasobów wód gruntowych odgrywają opady atmosferyczne. Na badanym terenie stwierdzono silną więź hydrologiczną wód podziemnych i powierzchniowych (identyczną zależność stwierdził Chełmicki [1986] na obszarze dorzecza Wisły).

Straty przyrodnicze, jakie powstają w wyniku technicznej zabudowy rzek, wykraczają poza doliny. Obejmują obszar całej zlewni. Regulacja, obwałowanie i melioracje odwadniające przyczyniają się do spadku naturalnej retencji. Woda nie zatrzymuje się w zlewni, tylko spływa w kierunku morza. To powoduje obniżanie się poziomu wód gruntowych, a w rezultacie prowadzi do pustynnienia i stepowienia ziemi. Istotnym problemem przy projektowaniu większości budowli hydrotechnicznych jest trudność określenia poziomu zmian, jakie mogą wystąpić w środowisku wodnym [Kajak 1992; Wawręty 2000; Żelazo, Mosiej 2000].

Regulacja rzek mająca na celu stworzenie drogi wodnej wymaga nadania korytom rzek odpowiedniego spadku, kształtu i głębokości. Najczęściej odpowiednie warunki dla żeglugi uzyskuje się za pomocą stopni wodnych. Budowla zmienia reżim hydrologiczny i warunki użytkowania rolniczego. Spiętrzenie wód wymusza zabezpieczenie terenów w najbliższym otoczeniu stopnia przed nadmiarem wilgoci [Kowalski 1990; Pawlik, Rogala 1992; Dąbkowski, Misiak 1996; Gacka-Grzesikiewicz 2000].

Przykładem jest istniejący na Wiśle stopień we Włocławku. Powoduje on negatywne skutki środowiskowe obejmujące rzekę oraz jej dopływy zarówno powyżej, jak i poniżej stopnia. Przekształcenie płynącej rzeki w zbiornik zaporowy doprowadziło m.in. do spowolnienia tempa przepływu wód, a w rezultacie do osadzania się unoszonego i wlezonego materiału rzeczno-geologicznego (szacuje się, że za ok. 80 lat zbiornik przestanie istnieć), zmniejszenia różnorodności biologicznej spotęgowały erozję poniżej stopnia.

Stałe obniżanie zwierciadła wody w korycie pogarsza warunki wodne w przyległej dolinie [Fiedler-Krukowicz, Żelazo 2000; Szafrński, Stasik 2004; Ankiersztejn, Szamowski 2005].

Budowa Kaskady Górnej Wisły, powyżej Krakowa przyczyniła się do zmian stosunków wodnych w dolinie Wisły. Na przykładzie stopnia wodnego Smolice [Bednarczyk i in. 2004] określono zmiany głębokości zalegania wód gruntowych na obszarze będącym w zasięgu oddziaływania stopnia. Oceny dokonano metodą hydrologiczną, która polega na równoczesnych obserwacjach stanów zwierciadła w rzece oraz w punktach obserwacyjnych, a następnie poszukuje się między nimi korelacji. Zaletą metody są bezpośrednie wyniki pomiarów głębokości zalegania wód gruntowych i powierzchniowych, które uwzględniają wpływ czynników hydrologicznych i meteorologicznych na zmienność poziomów wód gruntowych. Przeprowadzone badania potwierdzają związek między stanami wód Wisły a głębokością zalegania wód gruntowych. Oddziaływanie spiętrzenia sięga na odległość do ok. 900 m od koryta cieku.

Piętrzenie wody jest człowiekowi potrzebne m.in. do: polepszenia warunków żeglugi rzecznej, wykorzystania energii spadającej wody oraz zmniejszenia prędkości przepływu. Przegrodzenie koryta rzeki jazem powoduje wytworzenie dwóch stref: w górnym stanowisku stopnia i dolnym. W górnym stanowisku stopnia powstaje zbiornik korytowy, występuje zjawisko zasilania przyległych terenów, które prowadzi do podnoszenia zwierciadła wód podziemnych [Lenczewski 1962; Hamadi 1989; Pływaczyk 1997; Olszewska 1998].

Poniżej budowli piętrzącej występuje wzmoczony proces erozji liniowej i lokalnej. Zmiany zachodzące w profilu podłużnym rzeki przegrodzonej stopniem piętrzącym zależą m.in. od rodzaju zabudowy (kaskada, stopień pojedynczy lub ostatni w kaskadzie), przegrody (jaz stały lub ruchomy) i wysokości piętrzenia [Parzonka i in. 1993; Parzonka 1995]. Taka sytuacja ma miejsce w Brzegu Dolnym – ostatnim stopniu wodnym na Odrze. Poniżej jazu piętrzącego zaobserwowano zarówno erozję lokalną, jak i liniową [Parzonka, Mokwa 1993]. Tuż za jazem i śluzą powstały lokalne wyboje (o głębokości do ok. 13 m), które zagrażały stateczności i eksploatacji budowli [Parzonka i in. 1993; Mokwa 2002].

Odcinek rzeki Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym wykazuje znaczną dynamikę obniżania się dna. W wyniku tego procesu następuje obniżanie się stanów wody w rzece oraz wód gruntowych w przyległym terenie [Szymański i in. 1985; Parzonka i in. 1992].

Wieloletnie badania prowadzone przez Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w zakresie wpływu stanów wody w Odrze powyżej i poniżej stopnia w Brzegu Dolnym na:

- wody gruntowe przyległej doliny [Praca zbiorowa 1970–2003; Pływaczyk 1988; Pływaczyk 1997, 2000],
- zasoby wód powierzchniowych [Praca zbiorowa 1970–2003; Pływaczyk 1980, Pływaczyk, Olszewska 1995; Olszewska 1998; Olszewska i in. 2004],
- gospodarkę wodną profilu glebowego [Olszewska, Pływaczyk 1994, 1999; Pływaczyk i in. 2001; Łyczko i in. 2002],
- bioróżnorodność siedlisk [Olszewska 1998],

wykazały wieloraki i złożony charakter oddziaływania stanów wody w Odrze na przyległą dolinę.

W górnym stanowisku stopnia wodnego w Brzegu Dolnym występuje zjawisko infiltracji wody ze zbiornika korytowego. Dzięki niemu dolina Odry jest bogatsza w zasoby wodne w porównaniu z terenami poniżej dolnego stanowiska stopnia [Pływaczyk 1997; Olszewska 1998]. Odmienne również kształtuje się gospodarka wodna gleb. Na terenach przyległych do Odry swobodnie płynącej uwilgotnienie profilu glebowego zależy głównie od opadów atmosferycznych [Pływaczyk 1988]. Na obszarze powyżej stopnia wodnego występuje napięte zwierciadło wody gruntowej i zapewnia odpowiednie warunki wilgotnościowe gleb.

Poniżej piętrzenia rzeka ma charakter drenujący w stosunku do przyległej doliny, zwierciadło wody gruntowej występuje głęboko od powierzchni terenu [Pływaczyk 2000]. Brak podparcia od dolnej wody ostatniego stopnia wodnego w kaskadzie, jakim jest Brzeg Dolny, wywołuje procesy erozyjne dna, które z kolei powodują systematyczne obniżanie się stanów wody w rzece oraz wód gruntowych w przyległej dolinie. Powolne obniżanie się poziomu wody gruntowej przyczyniło się do zmiany użytków zielonych na grunty orne, obniżania się lustra wody w starorzeczach [Pływaczyk 1997; Olszewska 1998].

W ostatnich latach w środowisku hydrotechnicznym zwraca się coraz większą uwagę na zagadnienia ekologiczne. Międzynarodowa Agencja Badań Hydraulicznych (IAHR) poświęciła tej problematyce wiele miejsca na kongresach czy seminariach [Zijlstra i in. 1994; Christensen 1995], a Międzynarodowa Komisja Wielkich Zapór (ICOLD) na 17 Kongresie podejmowała problemy środowiska wodnego [Raport 2000].

Niezabudowane koryta rzek pozostają w dynamicznej równowadze, podtrzymywanej przez unoszony i osadzany rumosz skalny. Zabudowa techniczna cieków, brzegów oraz budowa zapór i stopni wodnych zaburzają te procesy. Właściwa organizacja mechanizmów podejmowania decyzji, dotyczących budowli hydrotechnicznych powinna opierać się na pracy zespołów, obejmujących wszystkich specjalistów związanych ze środowiskiem wodnym, m.in. ekologów, hydrologów, hydrotechników, a także dostępnych metod i rozwiązań [Bieszczad, Sobota 1993; Visinescu, Zamfirache 1998; Wiśniewski 1999; Żelazo, Mosiej 2000; Chełmicki 2001].

3. CEL, ZAKRES I METODYKA PRACY

Celem pracy jest ocena kształtowania się i tendencji zmian głębokości zalegania wód gruntowych w dolinie rzecznej na przykładzie Odry w latach 1971–2003 poniżej ostatniego stopnia wodnego w Brzegu Dolnym oraz próba oceny zasięgu oddziaływania stanów wody w Odrze na poziom wód gruntowych w przyległej dolinie, a także ocena wpływu głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej na gospodarkę wodną profilu glebowego.

Praca oparta jest na analizie wyników badań terenowych prowadzonych w latach 1971–2003 przez Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w lewobrzeżnej dolinie Odry, poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym.

W ramach tak postawionego celu dokonano rozpoznania warunków:

- fizjograficznych,
- hydrogeologicznych,
- glebowych,
- meteorologicznych,
- użytkowania terenu,

i na tym tle przeprowadzono analizę:

- układu wód gruntowych w dolinie,
- głębokości zalegania zwierciadła wód gruntowych,
- amplitud poziomów wód gruntowych,
- tendencji zmian głębokości zalegania wód gruntowych,
- oddziaływania stanów wody w Odrze na poziomy wód gruntowych,
- zasobów wody i dynamiki uwilgotnienia w wybranym profilu glebowym.

Warunki fizjograficzne, hydrogeologiczne i geologiczne opracowano na podstawie archiwalnych materiałów dotyczących realizowanego stopnia wodnego Malczyce, badań własnych oraz mapy sytuacyjno-wysokościowej (skala 1:25 000) [Praca zbiorowa, 1970–2003, 1968]. Do rozpoznania warunków glebowych wykorzystano mapy glebowe (skala 1:25 000), glebowo-rolnicze (skala 1: 5 000) i literaturę przedmiotową [Dobrzański, Zawadzki 1981; Giedroń 1990; Klimaszewski 1994; Drozd i in. 1997].

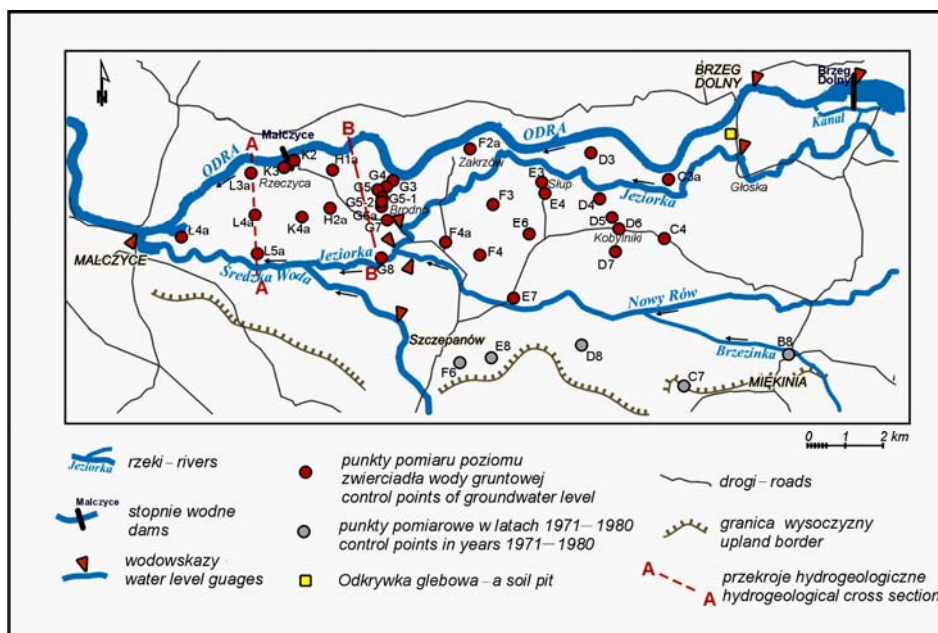
Charakterystykę warunków meteorologicznych na analizowanym fragmencie lewobrzeżnej doliny Odry przeprowadzono w oparciu o dane meteorologiczne obejmujące: opady i temperatury powietrza. Powyższe dane uzyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej we Wrocławiu. Pomiary temperatury pochodzą ze stacji Wrocław – Starachowice, a dane opadowe – z posterunków opadowych Brzeg Dolny i Malczyce,

znajdujących się na terenie obiektu badawczego. Przebieg sum opadów oraz rozkład dla wartości miesięcznych i okresowych są w obu posterunkach zbliżone. Do oceny warunków opadowych posłużono się danymi z posterunku w Brzegu Dolnym.

Natomiast dane opadowe uzyskane z posterunku opadowego w Malczycach zostały wykorzystane w modelu matematycznym.

Strukturę użytkowania terenu określono na podstawie map użytkowania (skala 1:25 000), badań własnych i dostępnych materiałów [Praca zbiorowa 1959, 1974, 1970–2003].

W latach 1971–2003 w lewobrzeżnej dolinie Odry poniżej stopnia w Brzegu Dolnym prowadzone były pomiary położenia zwierciadła wód gruntowych w punktach pomiarowych (piezometry i studnie gospodarskie), codzienne – w trzech piezometrach, a od 2001 r. dodatkowo jeszcze w dwóch, natomiast w pozostałych punktach obserwacyjnych raz w tygodniu. Ich rozmieszczenie przedstawia rys. 1. W latach 1990–1996 obserwacje zostały przerwane.



Rys. 1. Plan sytuacyjny obiektu badawczego
Fig. 1. Plan of the investigated area

W dolinie przyległej do Odry swobodnie płynącej w km 296,5 prowadzone były codzienne pomiary zalegania zwierciadła wody gruntowej w trzech piezometrach (G3, G4, G5), które są zlokalizowane odpowiednio 120, 220, 550 m od koryta rzeki.

W kwietniu 2001 r. zostały dodatkowo zainstalowane 2 studzienki piezometryczne (G5-1 i G5-2) w odległości ok. 750 i 1000 m od Odry, w których również dokonywano codziennych pomiarów głębokości zalegania wód gruntowych. Na podstawie dotychczasowych badań prowadzonych w dolinie Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym [Pływaczyk 1988, 1992], na potrzeby niniejszej pracy, w analizowanej części doliny, wydzielono trzy obszary:

- w pobliżu rzeki – do ok. 1 km od koryta Odry,
- tereny wododziałowe rozdzielające spływ wód gruntowych do Odry i do cieków Nowy Rów (w odległości do ok. 4 km od Odry),
- obszar u podnóża wysoczyzny.

Dla oceny układu i głębokości zalegania zwierciadła wód gruntowych oraz określenia tempa i trendów zmian położenia zwierciadła wody gruntowej w różnych odległościach od rzeki wyniki pomiarów terenowych z lat 1971–2003, obejmujące cotygodniowe oraz codzienne głębokości zalegania wód gruntowych, poddano obróbce za pomocą odpowiednich programów komputerowych (WordPad, Excel itd.), a także pakietu do obliczeń statystycznych Statistica [Dąbkowski 1992; Dąbrowski i in. 1997; Makać, Urbanek-Krzysztofik 1999; Łomnicki 2003; Sobczyk 2004].

Ocena oddziaływania stanów wody w Odrze poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym na poziomy wód gruntowych w przyległej dolinie została dokonana w oparciu o wyniki bezpośrednich, cotygodniowych i codziennych obserwacji zwierciadła wody gruntowej i codziennych stanów wody w Odrze na wodowskazach Brzeg Dolny i Malczyce oraz na podstawie wyników badań modelowych. Do obliczeń wykorzystano model komputerowy FIZ (Filtracja i Zanieczyszczenie) odpowiednio zaadaptowany do rozwiązania problemu [Chalfen 1990 a, 1990 b].

Podstawą modelu FIZ (nieustalonego ruchu wody w strefie nasyconej) jest równanie Boussinesq'a.

Modelowany obszar graniczy od północy z Odrą, od południa ze Średzką Wodą i jej dopływem Jeziorką. Wschodnią i zachodnią granicę wyznaczają przekroje B-B i A-A, przeprowadzone przez dolinę prostopadle do cieków przez istniejące w terenie punkty pomiarowe. Powierzchnia modelowanego obszaru wynosi ok. 10 km² (rys. 1).

Aby ocenić kształtowanie się zasobów wody w glebie oraz dynamiki uwilgotnienia w okresie wegetacji (IV–IX), w latach 2001–2003 dokonano analizy przebiegu uwilgotnienia gleb na przykładzie charakterystycznego profilu glebowego (rys. 1). Znajduje się on w pobliżu miejscowości Głoska w międzywalu rzeki Odry. Próbkę gleby pobierano w trzech powtórzeniach z następujących przedziałów głębokości: 0–10, 20–30, 40–50, 65–75, 90–100, 140–150 cm do głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej, ale nie większej niż 150 cm. Frakcje granulometryczne, gęstość właściwą i objętościową oraz porowatość dla poszczególnych warstw analizowanego profilu glebowego określono w pracy Olszewskiej [1998].

Na podstawie pomierzonej wilgotności gleby obliczono zapasy wody w latach 2001–2003 w profilu glebowym i przedstawiono je na tle opadów atmosferycznych, połowej pojemności wodnej (PPW), pojemności okresu suszy (POS) i uwilgotnienia odpowiadającemu stanowi trwałego więdnięcia roślin (PTW). Obliczenia przeprowadzono

dla warstw: 0–50 cm, 0–100 cm, 0–150 cm, 50–100 cm i 100–150 cm. Aby ocenić wpływ głębokości zalegania wody gruntowej na zapasy wody w wierzchniej warstwie gleby, wykorzystano krzywe retencyjności dla profilu glebowego wykonane w pracy Olszewskiej [1998]. Krzywe pF wyznaczono dla następujących warstw profilu: 0–10, 10–60, 60–90, 90–100, 100–150 cm w zakresie od pF=1,0 do pF=4,7.

4. CHARAKTERYSTYKA LEWOBRZEŻNEJ DOLINY ODRY PONIŻEJ STOPNIA WODNEGO W BRZEGU DOLNYM

4.1. Położenie geograficzne i morfologia terenu

Badany teren stanowi część rozległej równiny wrocławskiej i obejmuje wycinek dorzecza środkowej Odry pomiędzy Brzegiem Dolnym a Malczycami. Omawiany fragment doliny Odry jest wynikiem akumulacji lodowcowej oraz erozji wód płynących. Charakterystyczny element morfologiczny równiny wrocławskiej to pradolina Odry, zwana wrocławsko-magdeburką, która powstała w okresie zlodowacenia środkowopolskiego, gdy lądolód zatrzymał się na linii Wzgórz Trzebnickich. Przebieg pradoliny wrocławsko-magdeburskiej o kierunku równoleżnikowym wyznacza bieg dzisiejszej Odry na odcinku Uraz – Malczyce [Praca zbiorowa 1968].

Obiekt badawczy położony jest między $51^{\circ}14' E$ $16^{\circ}43' N$ a $51^{\circ}13' E$ $16^{\circ}29' N$. Powierzchnia analizowanego terenu wynosi ok. 80 km². Dolina Odry na omawianym odcinku tworzy dość rozległą równinę ograniczoną od północy i południa wysoczyzną plejstoceńską. Szerokość doliny wynosi od ok. 4,0 km w rejonie Malczyc do ok. 8,0 km w rejonie Brzegu Dolnego. Spadek podłużny doliny waha się od 0,1–0,5‰, lokalne spadki poprzeczne wynoszą 4–15‰. Rzeka Odra na odcinku od Brzegu Dolnego do Rzeczyca płynie równoleżnikowo wzdłuż prawego stoku wysoczyzny, a poniżej Rzeczyca zbliża się do lewego brzegu. Odra na odcinku od Brzegu Dolnego do Malczyc ma charakter rzeki typowo nizinnej. Średni spadek dna rzeki wynosi ok. 0,25‰ [Pływaczyk 1988; Olszewska 1998].

Na obszarach lewobrzeżnej doliny Odry znajdują się następujące ciek: Średzka Woda, Jeziorka i Nowy Rów (rys. 1).

Ciek Średzka Woda jest lewobrzeżnym dopływem Odry i wpada do niej w km 304+800 w miejscowości Malczyce. Ukształtowanie terenu dolnej części zlewni Średzkiej Wody położonej w dolinie Odry jest mało urozmaicone. Rzędne terenu wynoszą od 115 do 100 m n.p.m. Spadek podłużny zlewni wynosi ok. 0,76‰, a spadek poprzeczny średnio ok. 9,4‰.

Ciek Jeziorka jest prawobrzeżnym dopływem Średzkiej Wody. Odległość koryta Jeziorki od koryta Odry wynosi od 200 do 2 500 m. Ukształtowanie terenu zlewni nie jest urozmaicone, rzędna terenu źródłiskowego ma ok. 105 m n.p.m. a rzędna terenu

ujścia ok. 100 m n.p.m. Spadek podłużny zlewni wynosi ok. 0,30‰, a spadek poprzeczny – średnio ok. 5,0‰. Zlewnia Jeziorki w całości położona jest w dolinie Odry.

Lewobrzeżnym dopływem Jeziorki jest ciek Nowy Rów i wpada do niej w km 2+800. Dolna i środkowa część zlewni ciek Nowy Rów położona jest w dolinie Odry, a część górna na wysoczyźnie. Rzędne terenu zmieniają się od ok. 102 do ok. 105 m n.p.m. Spadek podłużny wynosi ok. 0,48‰, a spadek poprzeczny średnio ok. 15‰ [Pływaczyk 1980, 1988].

4.2. Warunki hydrogeologiczne

W odniesieniu do analizowanego fragmentu Odry dokumentacja geologiczno-inżynierska [Praca zbiorowa 1968] wskazuje na występowanie utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych. Wśród utworów czwartorzędowych wyróżnia się:

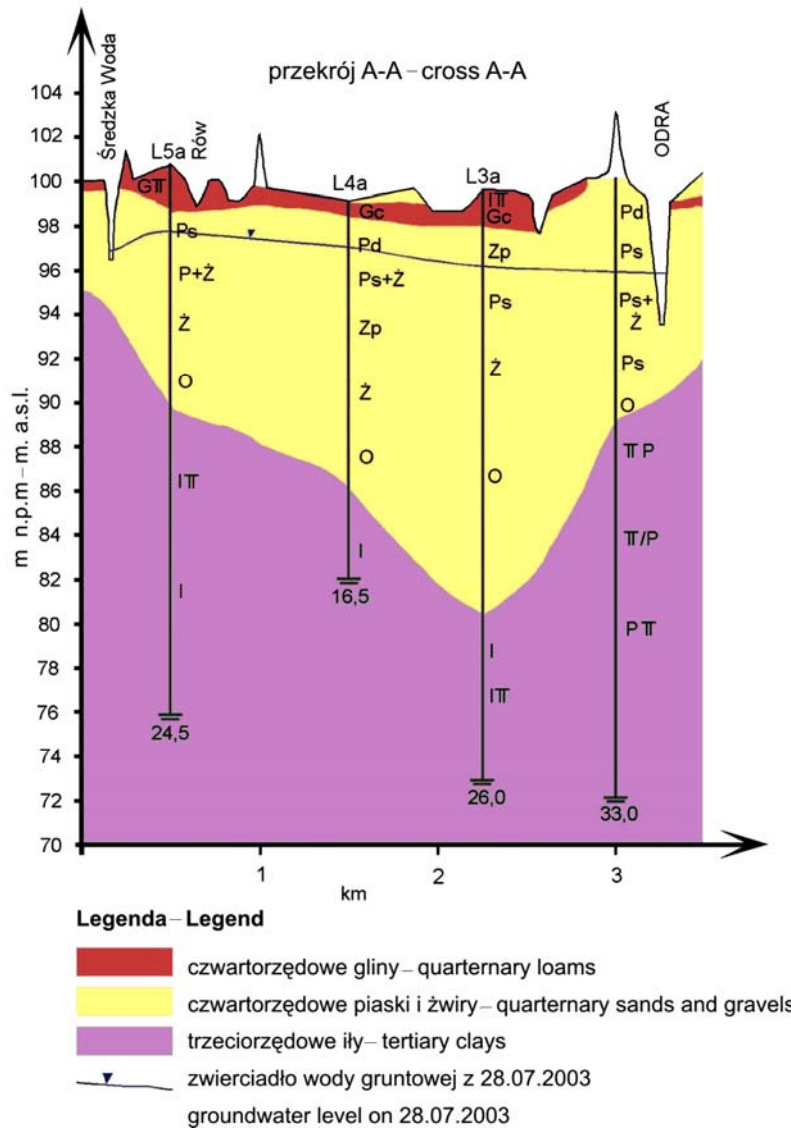
- osady holoceniowe – osady akumulacji rzecznej, są to głównie piaski i żwiry aluwialne (o miąższości ok. 4,5 m) oraz mady i namuły organiczne (miąższość ich waha się od 0,5 do 3,5 m);
- utwory plejstoceniowe – utwory akumulacji lodowcowej, wodnolodowcowej i rzecznej, w ich skład wchodzi żwiry i piaski rzeczne (o miąższości od 14 m do 30 m), które zalegają na powierzchni ilów trzeciorzędowych oraz piasków, żwirów wodnolodowcowych i glin zwałowych występujących na obszarze wysoczyzny.

Osady trzeciorzędowe reprezentowane są przez ropy i pyły niebiesko-szare z czerwonymi smugami. Zaliczane są do pliocenu. W dolinie Odry ropy plioceniowe stanowią warstwę nieprzepuszczalną pokrytą utworami czwartorzędowymi. Strop ilów trzeciorzędowych znajduje się na głębokości od kilku do kilkunastu metrów, a lokalnie deniwelacje osiągają ok. 30 m.

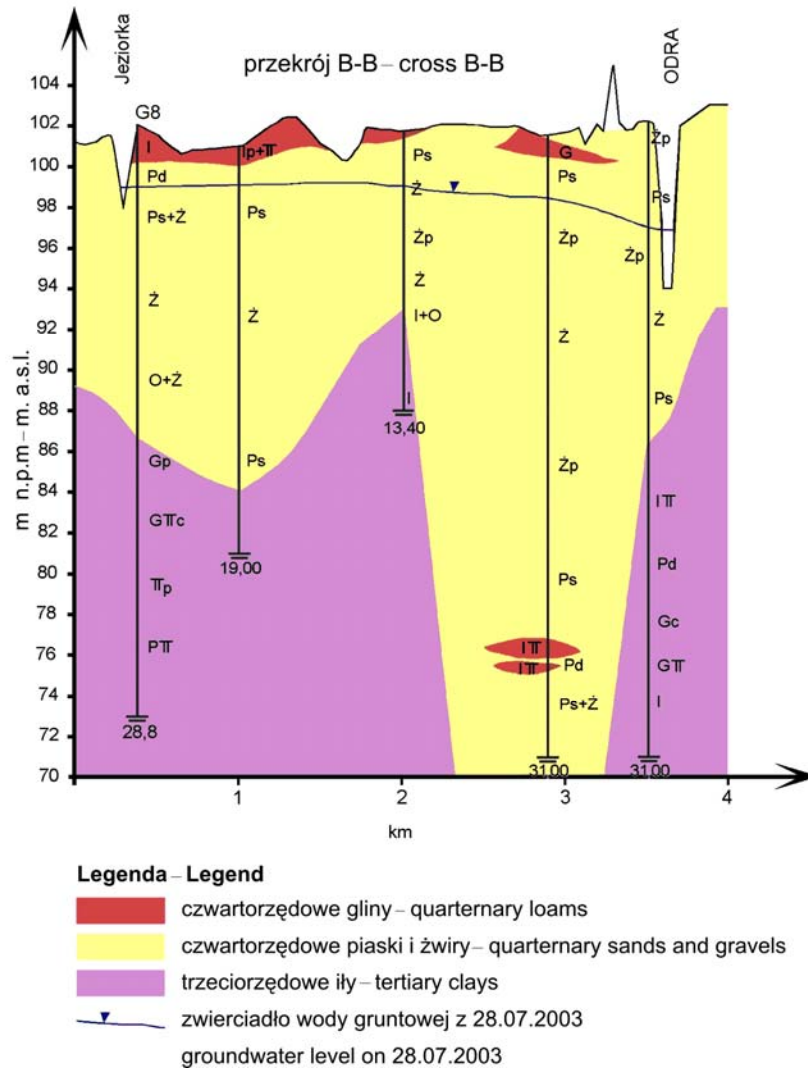
Warstwę wodonośną w dolinie stanowią piaski, pospółki oraz żwiry holoceniowe i plejstoceniowe. Współczynnik filtracji waha się:

- w piaskach od 0,86 do 4,32 [$m \cdot doba^{-1}$],
- w żwirach od 3,46 do 138,20 [$m \cdot doba^{-1}$].

Wierzchnią warstwę doliny stanowią utwory o małej przepuszczalności (średnia miąższość wynosi ok. 2 m). Pod nimi zalegają utwory o dużej przepuszczalności (ich miąższość waha się od 2 do 30 m). W analizowanym fragmencie doliny Odry zwierciadło wody gruntowej zalega w warstwach wodonośnych piaszczysto-żwirowych. Występujący układ hydrogeologiczny stwarza dobre warunki kontaktu pomiędzy wodami w Odrze i przepływających ciekach a wodami gruntowymi w dolinie [Pływaczyk 1988]. Schematyczne przekroje hydrogeologiczne przez dolinę Odry przedstawiają rys. 2 i 3.



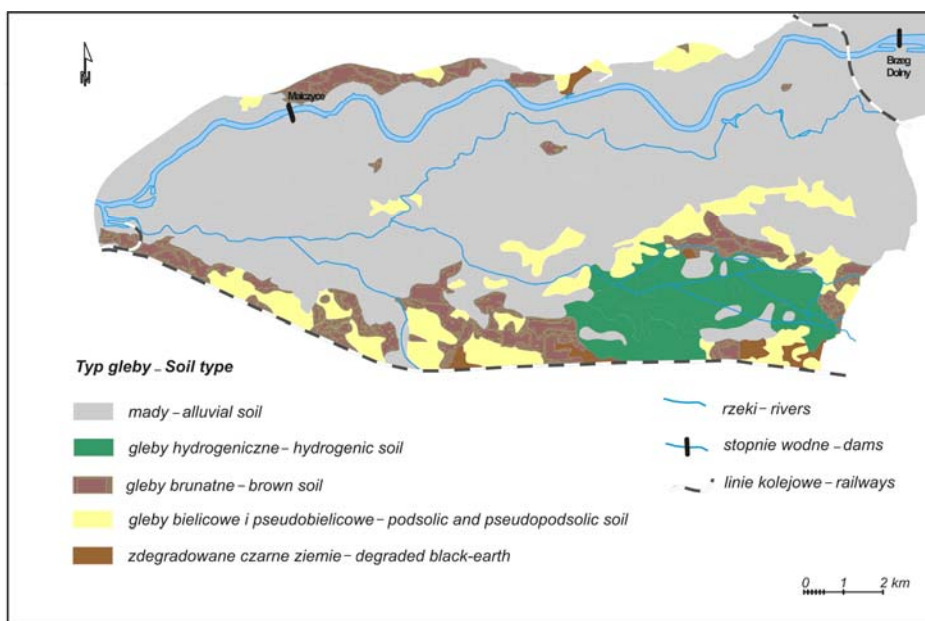
Rys. 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez dolinę Odry, przekrój A-A
 Fig. 2. Diagrammatic hydrogeology cross-section of the Odra river valley, cross-section A-A



Rys. 3. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez dolinę Odry, przekrój B-B
 Fig. 3. Diagrammatic hydrogeology cross-section of the Odra river valley, cross-section B-B

4.3. Warunki glebowe

Na podstawie archiwalnych opracowań, literatury, a także studiów terenowych na omawianym obszarze można wyróżnić pięć typów gleb: bielnicowe i pseudobielnicowe, brunatne, czarne ziemie, mady i gleby hydrogeniczne. Dominującym typem są mady, zajmujące ok. 82% powierzchni doliny Odry, a 18% – pozostałe typy (rys. 4). Mady powstały w wyniku akumulacyjnej działalności Odry w czasie jej wylewów. Na obiekcie badawczym głównie występują mady ciężkie wytworzone z glin średnich, częściowo pylastych i mady bardzo ciężkie, wytworzone z glin ciężkich i ilów (ok. 53% powierzchni). Rozciągają się wzdłuż Odry, Średzkiej Wody, Nowego Rowu i na całej długości Jeziorki. Zajmują prawie cały obszar Pradoliny z wyjątkiem terenów położonych na południu obiektu badawczego. Udział gleb brunatnych i bielnicowych na omawianym fragmencie doliny wynosi ok. 8% powierzchni, czarnych ziem ok. 1%, a hydrogenicznych ok. 9% (tworzą zwarty kompleks usytuowany na południowym wschodzie analizowanego fragmentu doliny).



Rys. 4. Mapa glebowa
Fig. 4. The soil scheme map

Pod względem wartości rolniczej przeważają gleby III i IV klasy, zalicza się je do kompleksu przydatności rolniczej pszenne dobre, pszenne wadliwe i żytnio-ziemniaczane bardzo dobre. Gleby występujące w dolinie, po zapewnieniu odpowiednich stosunków powietrzno-wodnych, mogą być wykorzystywane do bardzo intensywnej produkcji rolnej.

4.4. Struktura użytkowania doliny

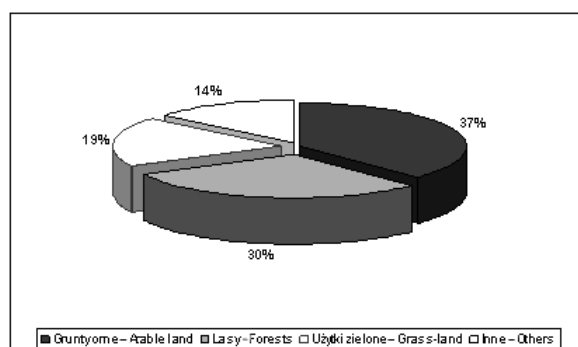
Użytkowanie ziemi jest formą ingerencji człowieka w środowisko naturalne, którego struktura wpływa na warunki hydrologiczne i reżim wodny zlewni. Gospodarcza działalność człowieka determinuje zmianę zasilania wód gruntowych opadami. Wpływ poszczególnych składowych struktury użytkowania jest różny. Ekosystem leśny odgrywa dużą rolę w szeroko pojętej gospodarce wodnej zlewni. Duża porowatość gleb leśnych sprawia, że wody opadowe infiltrują szybko w głąb profilu, powodując tym samym zmniejszenie spływu powierzchniowego. Badania Szymańskiego [1968] pokazują, że zwiększając powierzchnię lasów o 1%, można oczekiwać wzrostu sumy rocznej opadów o 5 mm. Woda opadowa, przechodząc przez kolejne piętra roślinności, ulega zatrzymaniu. Intercepcja wody w koronach drzew zależy od charakteru opadu, gatunku i ulistnienia drzew. Las potrafi zatrzymać w koronach drzew i w podsyciu od 10 do 20% opadu.

Lasy wpływają na bilans wodny (zmniejszają parowanie z gruntu, prędkości wiatru, opóźniają tajanie śniegu) i kształtowanie odpływów wody ze zlewni (zwiększenie szorstkości powierzchni terenu powoduje opóźnienie spływu powierzchniowego oraz ułatwia infiltrację). Duża retencja wody w zlewniach i podziemne zaopatrywanie rzek łagodzą ekstremalne przepływy, zapewniają równomierność odpływu w ciągu roku [Byczkowski 1996].

Użytki zielone spełniają podobną rolę jak środowiska leśne. W przypadku gruntów ornych ich rola w udziale zmian stosunków hydrologicznych zlewni zależy od rodzaju gleby, gatunków uprawianych roślin i stosowanych zabiegów agrotechnicznych.

Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej zależy m.in. od wielkości odpływu lub dopływu wynikającego z infiltracji efektywnej albo poboru wody ze strefy nasyconej na skutek ewapotranspiracji. Pobór wody gruntowej może być spowodowany czynnikami naturalnymi, np. ewapotranspiracją lub antropogenicznymi – pobór wody ze studni (powoduje obniżenie głębokości zalegania wód gruntowych). W sytuacji gdy wartość opadu efektywnego przewyższa parowanie, obserwuje się podnoszenie zwierciadła wody gruntowej.

Rozpatrywana lewobrzeżna dolina Odry na badanym obszarze jest użytkowana rolniczo (rys. 5). Użytki rolnicze zajmują ok. 56%, lasy i zadrzewienia ok. 30%, a pozostałe 14% zajmują inne rodzaje użytków (sady, wody płynące i stojące, osiedla).



Rys. 5. Struktura użytkowania terenu
Fig. 5. Land use pattern

4.5. Warunki meteorologiczne

Analizowany obiekt, według Schmucka, znajduje się w obrębie regionu I – nadodrzańskiego, który charakteryzuje się średnią roczną temperaturą $8,7^{\circ}\text{C}$, opadem rocznym ok. 600 mm i względną wilgotnością powietrza ok. 75% [Praca zbiorowa 1959]. W regionie występują najniższe roczne amplitudy temperatur powietrza, a czas trwania bezzimnia przekracza 300 dni. Miesiącem najcieplejszym jest lipiec, w tym okresie notowane są najwyższe sumy średnich miesięcznych opadów. Natomiast styczeń to miesiąc najchłodniejszy, a najniższe sumy średnich miesięcznych opadów notuje się w lutym. Opisywany obszar, według Baca [1991, 1993], położony jest w regionie agroklimatycznym B-2, który można ocenić jako umiarkowanie wilgotny, ciepły i umiarkowanie słoneczny.

Charakterystyki warunków meteorologicznych dokonano na podstawie wysokości opadu atmosferycznego (mierzonego na posterunku opadowym w Brzegu Dolnym) i temperatury powietrza (wartości ze stacji Wrocław – Strachowice). Analizę warunków meteorologicznych przeprowadzono na tle wartości z wielolecia 1954–2000, bezpośrednio poprzedzającego okres ostatnich 3 lat, tj. 2001–2003.

4.5.1. Temperatury powietrza

Analizę warunków termicznych przeprowadzono na podstawie wartości temperatur powietrza pochodzących ze stacji Wrocław – Strachowice. Przebieg średnich dobowych temperatur w okresie 2001–2003 przedstawia rys. 6. Na podstawie średnich miesięcznych wartości przeanalizowano przebieg warunków termicznych w latach 2001–2003. W tab. 1 zestawiono wartości średnie z wielolecia 1954–2000, a na ich tle dokonano analizy przebiegu warunków termicznych w latach 2001–2003, natomiast w tab. 2 zestawiono miesięczne i okresowe odchylenia temperatur powietrza w okresie 2001–2003 od średniej z wielolecia 1954–2000.

Dla oceny warunków termicznych przyjęto następujące kryteria [Kosturkiewicz 1979]:

- odchylenie powyżej +2,0°C – okres bardzo ciepły
- odchylenie od +0,5 do +2,0°C – okres ciepły
- odchylenie od +0,4 do –0,4°C – okres normalny
- odchylenie od –0,5 do –2,0°C – okres chłodny
- odchylenie poniżej –2,0°C – okres bardzo chłodny.

Przebieg średnich miesięcznych temperatur w latach 2001–2003 kształtował się następująco. Najwyższe temperatury w tym okresie zanotowano w lipcu i sierpniu. Średnie miesięczne temperatury w podanych miesiącach w kolejnych latach były wyższe od odpowiadających im wartości z wielolecia 1954–2000 o odpowiednio 1,4; 1,3; 2,2°C w lipcu i 1,0; 1,8 i 2,3°C w sierpniu. Najniższą średnią miesięczną temperaturę w roku 2001 zanotowano w styczniu: 0,1°C, a w latach 2002 i 2003 w grudniu: –1,9 i –3,7°C.

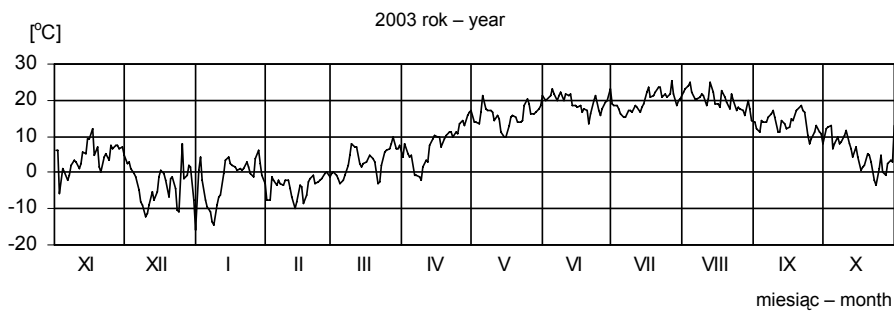
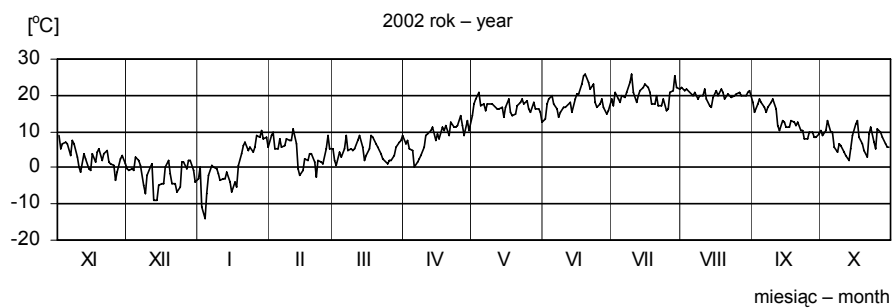
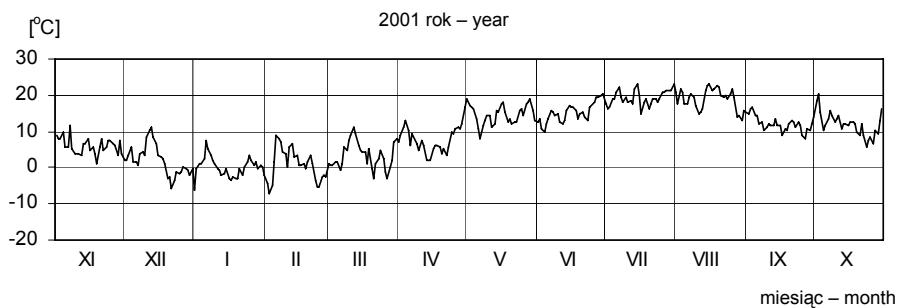
Półrocza zimowe 2001 i 2002 roku scharakteryzowano jako ciepłe (różnica odchyłeń od średniej z wielolecia wyniosła odpowiednio 1,0 i 0,9°C). Natomiast w półroczu zimowym w 2003 r., średnia temperatura była niższa o 1,3°C od średniej z wielolecia, okres ten został zakwalifikowany jako chłodny. Półrocze letnie roku 2001 charakteryzowało się temperaturą wyższą o 0,4°C od wartości z lat 1954–2000. To pozwoliło ocenić analizowany okres jako normalny. Półrocza letnie 2002 i 2003 zakwalifikowano jako ciepłe (różnica odchyłeń od średniej z wielolecia wyniosła odpowiednio 0,8 i 0,7°C).

Inaczej przedstawiają się temperatury średnie roczne na tle wartości z analizowanego wielolecia. W latach 2001 i 2002 były wyższe o 0,7 i 0,8°C i lata te można ocenić jako ciepłe. Rok hydrologiczny 2003 był rokiem normalnym, średnia roczna temperatura była niższa od wartości z wielolecia o 0,4°C.

Tabela 1
Table 1

Minimalne, średnie i maksymalne miesięczne oraz okresowe temperatury powietrza [°C]
w latach 2001–2003 na tle wielolecia 1954–2000
Mean monthly and periodical air temperature [°C] for years 1954–2000 and 2001–2003

Lata Years	Wartość Value	Miesiąc Month												Okres Period		
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	XI–X
1954–2000	śr.	2,2	–0,1	–0,9	0,3	3,1	9,5	14,1	17,1	17,9	17,8	13,4	9,6	2,3	15,0	8,7
2001	min.	0,9	–5,8	–3,5	–7,1	–3,2	1,9	8,0	9,0	14,8	13,2	8,2	5,6	–7,1	5,6	–7,1
	śr.	6,1	1,9	0,1	0,7	3,2	7,6	14,6	15,1	19,3	19,1	12,1	12,1	3,3	15,4	9,4
	maks.	11,6	11,1	7,6	8,7	11,0	12,9	19,2	20,2	23,2	23,2	16,8	20,3	12,9	23,2	23,2
2002	min.	–3,3	–9,2	–14,2	–2,4	0,6	0,1	14,1	12,5	15,7	16,5	7,8	1,9	–14,2	1,9	–14,2
	śr.	2,9	–1,9	0,4	4,5	4,8	8,6	16,9	18,3	20,1	18,8	13,1	7,6	3,2	15,8	9,5
	maks.	8,7	2,8	10,5	10,8	9,1	14,6	21,0	26,1	26,1	22,0	19,1	12,8	14,6	26,1	26,1
2003	min.	–2,2	–12,0	–16,0	–7,7	–3,0	–2,1	9,6	13,7	15,3	14,2	8,2	–3,6	–16,0	–3,6	–16,0
	śr.	4,4	–3,7	–2,0	–3,7	3,2	7,7	15,7	19,5	19,7	20,1	13,6	5,3	1,0	15,7	8,3
	maks.	11,9	4,6	6,2	0,1	8,1	16,5	21,2	23,2	25,3	25,1	18,7	12,8	16,5	25,3	25,3



Rys. 6. Przebieg średnich dobowych temperatur powietrza [°C] w latach 2001–2003 dla stacji Wrocław – Strachowice
 Fig. 6. Course of mean daily values of air temperature [°C] in years 2001–2003 for station Wrocław – Strachowice

Tabela 2
Table 2

Odchylenia średnich miesięcznych temperatur powietrza [°C] w latach 2001–2003 od średnich miesięcznych temperatur z wielolecia 1954–2000 dla stacji Wrocław – Strachowice
Deviations of mean monthly air temperature [°C] in years 2001–2003 from mean monthly air temperature from years 1954–2000 for station Wrocław – Strachowice

Lata Years	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X
1954–2000	2,2	-0,1	-0,9	0,3	3,1	9,5	14,1	17,1	17,9	17,8	13,4	9,6	2,3	15,0	8,7
2001	3,9	2,0	1,0	0,5	0,1	-1,9	0,5	-2,0	1,4	1,3	-1,3	2,5	1,0	0,4	0,7
2002	0,7	-1,8	1,3	4,2	1,6	-0,9	2,8	1,2	2,2	1,0	-0,3	-2,0	0,9	0,8	0,8
2003	2,2	-3,6	-1,1	-4,0	0,0	-1,8	1,6	2,4	1,8	2,3	0,2	-4,3	-1,3	0,7	-0,4

4.5.2. Opady atmosferyczne

Do analizy wysokości opadów przyjęto opady z posterunku meteorologicznego w Brzegu Dolnym.

Na rys. 7 przedstawiono przebieg dobowych sum opadów w okresie 2001–2003. W tab. 3 zestawiono średnie miesięczne i okresowe sumy opadów atmosferycznych dla posterunku meteorologicznego w Brzegu Dolnym, dla wielolecia 1954–2000 oraz sumy dla lat hydrologicznych 2001–2003.

Tabela 3
Table 3

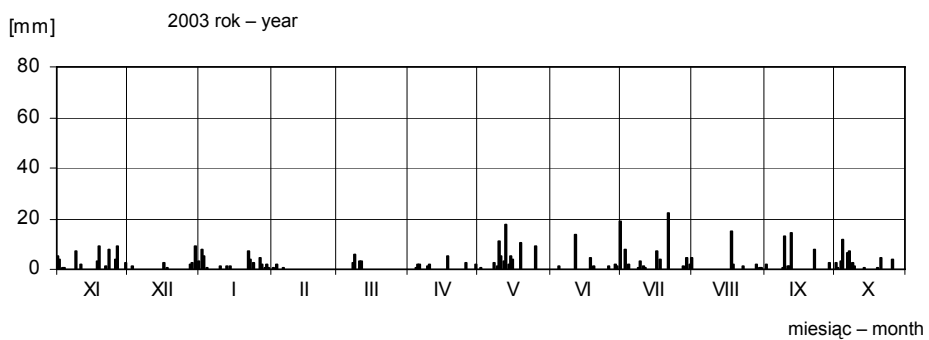
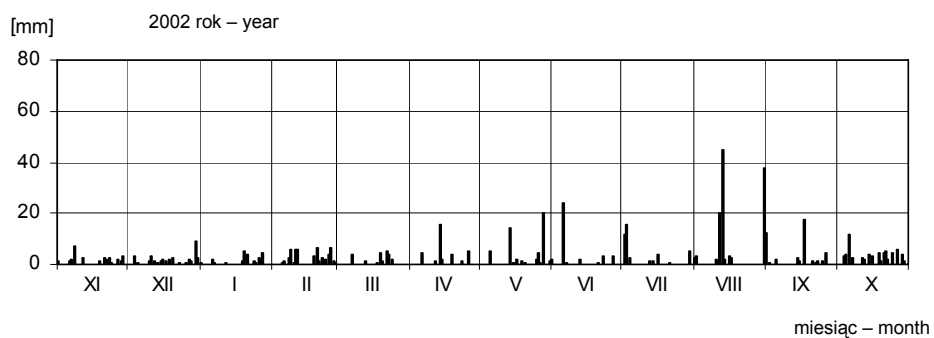
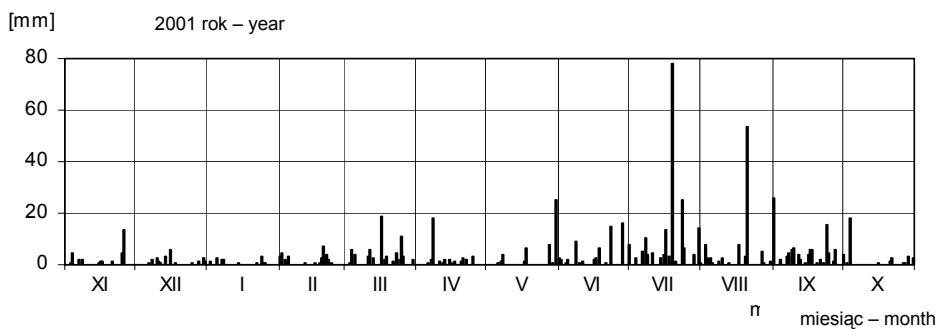
Miesięczne i okresowe sumy opadów [mm] dla posterunku meteorologicznego Brzeg Dolny dla wielolecia 1954–2000 i lat 2001–2003
Monthly and periodical sums of precipitation [mm] in years 1954–2000 and 2001–2003 for meteorological station Brzeg Dolny

Lata Years	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI-IV	V-X	XI-X
1954–2000	29	29	33	35	47	39	69	69	107	54	47	41	212	388	600
2001	32	21	15	32	70	37	48	62	186	91	101	34	209	520	729
2002	31	41	26	53	22	34	52	35	43	119	45	65	208	360	568
2003	58	19	45	4	16	17	72	25	76	27	43	46	159	289	448

Na podstawie miesięcznych sum opadów z wielolecia 1954–2000 sporządzono krzywe prawdopodobieństwa występowania rocznych i okresowych sum opadów atmosferycznych, stosując metodę decylów Dębskiego. Do oceny poszczególnych lat i półroczy analizowanego okresu, pod względem opadów, przyjęto prawdopodobieństwo wystąpienia danej wielkości opadów, według następujących kryteriów [Kostrzewa i in. 1992]:

- opady o prawdopodobieństwie poniżej 20% – okres mokry
- opady o prawdopodobieństwie od 20 do 39% – okres średnio mokry

- opady o prawdopodobieństwie od 40 do 59% – okres normalny
- opady o prawdopodobieństwie od 60 do 79% – okres średnio suchy
- opady o prawdopodobieństwie powyżej 80% – okres suchy



Rys. 7. Przebieg dobowych sum opadów [mm] w latach 2001–2003 dla posterunku meteorologicznego Brzeg Dolny
 Fig. 7. Course of daily sums of precipitation [mm] in years 2001–2003 for meteorological station Brzeg Dolny

Tabela 4
Table 4

Ocena okresowych sum opadów P [mm] w latach 2001–2003 dla posterunku meteorologicznego Brzeg Dolny
Assessment of periodical sums of precipitation P [mm] in years 2001–2003 for meteorological station Brzeg Dolny

Rok Year	XI–IV			V–X			XI–X		
	P [mm]	Prawd. Probab. [%]	Ocena Assessm.	P [mm]	Prawd. Probab. [%]	Ocena Assessm.	P [mm]	Prawd. Probab. [%]	Ocena Assessm.
2001	209	60	średnio suchy	520	1	mokry	729	1	mokry
2002	208	57	normalny	360	58	normalny	568	60	średnio suchy
2003	159	87	suchy	289	77	średnio suchy	448	91	suchy

Przebieg opadów w okresie badawczym okazał się zróżnicowany (tab. 4). Przytoczone kryteria pozwoliły scharakteryzować poszczególne półrocza i lata hydrologiczne. Rok 2001 oceniono jako mokry, 2002 został sklasyfikowany jako średnio suchy, a 2003 jako suchy.

W roku hydrologicznym 2001 suma opadów w półroczu letnim była wyższa o 132 mm od wartości średniej z wielolecia 1954–2000, również suma opadu rocznego była wyższa od średniej wartości z wielolecia (o 129 mm).

Opady w roku 2002 kształtowały się odmiennie, zarówno suma opadów w półroczu letnim, jak i w ciągu roku były niższe od średniej wartości z analizowanego okresu 1954–2000 (o 28 mm i o 32 mm).

W roku 2003 suma opadów w półroczu letnim była niższa o 99 mm, również suma opadu rocznego była niższa o 152 mm od wielkości średniej rocznej z wielolecia.

Liczbę dni z opadem w latach 2001–2003 przedstawia tab. 5.

Tabela 5
Table 5

Dni z opadem w latach 2001–2003
Days with the precipitation in years 2001–2003

Rok Year	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	XI–X
2001	14	17	16	18	18	16	11	16	17	14	21	11	99	90	189
2002	15	22	17	19	12	12	13	10	12	12	13	19	97	79	176
2003	18	12	19	9	7	11	13	8	14	8	8	16	76	67	143

Lata 2001 i 2002 charakteryzują się zbliżonym rozkładem dni, w których wystąpił opad. W roku 2001 liczba dni z opadem wahała się od 11 dni w maju i październiku do 21 dni we wrześniu, łącznie wystąpiło 189 dni z opadem, a w 2002 od 10 dni w czerwcu

do 22 dni w grudniu (w sumie 176 dni w ciągu roku). Rok 2003 charakteryzuje się większą zmiennością, w marcu zanotowano 7 dni z opadem, w styczniu 19 dni, a rocznie 143 dni.

Liczba dni z opadem w okresie wegetacyjnym (IV–IX) w latach 2001–2003 wahała się od 8 (VI, VIII, IX 2003) do 21 (IX 2001).

Najdłuższe okresy bezopadowe na analizowanym terenie wynosiły: w 2001 r. – 9 dni (maj), w latach 2002 i 2003 – 13 i 16 dni (sierpień).

Rozkład opadów w okresie wegetacyjnym ma duże znaczenie dla roślin. Wiosną rozpoczyna się wzrost roślin i wilgotność ma funkcję stymulującą. Długie okresy bezopadowe powodują opóźnienie tempa rozwoju roślinności.

Odchylenia miesięcznych sum opadów atmosferycznych [mm] w latach 2001–2003 od wartości średnich z wielolecia 1954–2000 dla posterunku meteorologicznego Brzeg Dolny zawiera tab. 6.

Tabela 6
Table 6

Odchylenia miesięcznych sum opadów [mm] w latach 2001–2003 od wartości średnich z wielolecia 1954–2000 dla posterunku meteorologicznego Brzeg Dolny
Deviations of monthly sums of precipitation [mm] in years 2001–2003 from mean monthly sums of precipitation from years 1954–2000 for meteorological station Brzeg Dolny

Lata Years	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI–IV	V–X	XI–X
1954–2000	29	29	33	35	47	39	69	69	107	54	47	41	212	388	600
2001	3	-8	-18	-3	23	-2	-21	-7	79	37	54	-7	-5	134	129
2002	2	12	-7	18	-25	-5	-17	-34	-64	65	-2	24	-5	-29	-24
2003	29	-10	12	-31	-31	-22	3	-44	-31	-27	-4	5	-53	-99	-152

Analiza pokazuje, że przebieg opadów w latach 2001–2003 był odmienny. W niektórych miesiącach suma opadów była podobna, a odchylenia niewielkie (XI i XII 2000, II, IV, VI X i XI 2001, I, IV i IX 2002, V, IX i X 2003 r.). W 2001 r. największe różnice wystąpiły w maju (opady były niższe od wartości z wielolecia o 21 mm) i lipcu (opady były wyższe o 79 mm).

W roku hydrologicznym 2002 najwyższą różnicę zanotowano w sierpniu, opad był wyższy o 65 mm, a najniższą w lipcu – opad niższy o 64 mm od średnich z wielolecia 1954–2000.

Rok 2003 charakteryzował się, w przeważającej części (8 miesięcy), niższymi opadami od wartości z lat 1954–2000 (największa różnica wystąpiła w czerwcu – 44 mm). W okresie od lutego do września (z wyjątkiem maja – odchylenie wyniosło + 3 mm) opady miesięczne były niższe od wartości z wielolecia, przeciętnie o ok. 30 mm.

Przebieg warunków opadowych i termicznych w okresie 2001–2003 był zróżnicowany. Pod względem opadów wystąpił rok mokry (2001), średnio suchy (2002) i suchy (2003). Pod względem termicznym lata 2001 i 2002 sklasyfikowano jako ciepłe, a rok 2003 jako normalny.

Lata badań, tj. 1971–2003, charakteryzowały się dużą zmiennością występowania opadów i temperatur. Suma rocznych opadów wahała się w przedziale od 360 mm (rok 1982) do 737 mm (rok 1981), średnia roczna suma opadów w wieloleciu wyniosła 586 mm. Wystąpiło: 6 lat mokrych, 4 średnio mokrych, 6 normalnych, 8 średnio suchych i 10 lat suchych.

Średnie roczne temperatury powietrza kształtowały się od 7,3°C (rok 1980, 1985, 1987) do 9,7°C (1989, 2000). W ciągu analizowanego okresu wystąpiło: 6 lat ciepłych, 15 lat normalnych i 13 lat chłodnych.

Warunki opadowe i termiczne w okresie 2001–2003 nie odbiegały od tych, które wystąpiły w latach 1971–2000. Suma opadów w latach hydrologicznych: 2001, 2002 i 2003 wyniosła: 729 mm, 568 mm i 448 mm, a średnia roczna temperatura w analogicznych okresach: 9,4, 9,5 i 8,3°C. To pozwala przyjąć okres 1971–2003 jako miarodajny do oceny warunków wodnych w dolinie.

5. WODY GRUNTOWE W DOLINIE

Decydującym czynnikiem, który w warunkach naturalnych determinuje poziom wody gruntowej, jest opad. Wpływ ten inaczej objawia się w obrębie dolin rzecznych i inaczej na terenach wododziałowych. Na terenach wododziałowych na poziom wody gruntowej głównie oddziałują opady atmosferyczne. Stosunki wodne na terenach przy wysoczyźnie dodatkowo kształtują napływające wody obce [Flisowski, Wieczysty 1965].

W dolinach rzecznych na ogół znajdują się przepuszczalne warstwy aluwialne, które umożliwiają wzajemne przenikanie się wód gruntowych i powierzchniowych. Koryto rzeczne spełnia rolę naturalnego ciek drewnącego, do którego napływa woda z terenów sąsiednich. W związku z tym poziom wody gruntowej dodatkowo uzależniony jest od stanów wody w rzece [Rzegocki 1982; Wieczysty 1982; Murat-Błażejewska, Sojka 2004].

Kształtowanie się wód gruntowych w dolinach rzecznych jest złożone. Wpływa na to szereg czynników [Lubczyński 1989; Lenczewski 1992; Marcilonek 1994]:

- stosunki meteorologiczne,
- odległość od koryta ciek,
- warunki hydrogeologiczne,
- ukształtowanie terenu,
- użytkowanie zlewni,
- stany wody w ciekach, ich amplituda i czas trwania,
- napływ wody ze zboczy,
- infrastruktura melioracyjna.

Aby sporządzić bilans wodny danej powierzchni dla dowolnego przedziału czasowego, niezbędne są dane meteorologiczne, glebowe, hydrogeologiczne i hydrologiczne. Szczegółowe równanie bilansu wodnego można przedstawić za pomocą następującego równania [Marcilonek 1994]:

$$(P + D_p + D_g + D_{pz} + K) - (E_g + E_w + T + H_p + H_g) = \Delta W_p + \Delta W_a + \Delta W_g$$

gdzie:

- P – opad atmosferyczny [mm],
- D_p – dopływ wód powierzchniowych [mm],
- D_g – dopływ wód gruntowych [mm],
- D_{pz} – dopływ wód podziemnych [mm],

K – kondensacja wilgoci na powierzchni i w glebie [mm],
 E_g – parowanie z powierzchni gleby [mm],
 E_w – parowanie z powierzchni wodnej [mm],
 T – transpiracja [mm],
 H_p – odpływ powierzchniowy poza obszar bilansowania [mm],
 H_g – odpływ gruntowy poza obszar bilansowania [mm],
 $\Delta W_p, \Delta W_a, \Delta W_g$ – zmiany zapasów wody odpowiednio na powierzchni gleby, w strefie aeracji i strefie wód gruntowych [mm].

Równanie to pokazuje, że bilans wodny powinien być rozpatrywany w układzie dynamicznym, uwzględniając wielkość zasilania, stan zasobów oraz ubytek wody z terenu.

Na składowe równania bilansu wodnego w dolinie rzecznej znaczny wpływ wywiera rola cieków w stosunku do terenu przyległego (drenująca czy infiltrująca). Typowym przykładem jest dolina Odry. Poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym Odra drenuje teren przyległy, natomiast powyżej zachodzi zasilanie doliny wodami infiltrującymi ze zbiornika. Zwierciadło wody gruntowej w dolinie przyległej do rzeki drenującej obniża się w kierunku ku rzece, a w przypadku rzeki infiltrującej najwyższe rzędne zwierciadła wody gruntowej znajdują się przy korycie cieków i obniżają w kierunku doliny.

W dolinie Odry na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce można wydzielić trzy obszary, na których dominacja czynników wpływających na poziom zwierciadła wody gruntowej jest zróżnicowana (rys.1):

- strefa I – w pobliżu koryta Odry (C3a, D3, F2a, G3, G4, G5, H1a, K2, K3, L3a, L4a),
- strefa II – tereny wododziałowe (C4, D4, D5, D6, D7, E3, E4, E6, E7, F3, F4, F4a, G6a, G7, G8, H2a, K4a, L4a, L5a),
- strefa III – tereny u podnóża wysoczyzny (B8, C7, D8, E8, F6).

5.1. Położenie zwierciadła wody gruntowej u podnóża wysoczyzny

Na terenach u podnóża wysoczyzny pomiary głębokości zalegania wód gruntowych były prowadzone w latach 1971–1980 w 5 punktach pomiarowych, tj. w 2 piezometrach i w 3 studniach gospodarskich (rys. 1). Z danych zestawionych w tabeli 7 wynika, że średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej z lat 1971–1980 wynosi od 100 cm (piezometr D8) do 204 cm (studnia F6). Wartość minimalna wynosi od 74 do 180 cm, a maksymalna od 120 do 232 cm. Wartości mniejsze zaobserwowano w piezometrze D8, a większe w studni F6 (jest to wynikiem eksploatacji studni dla celów gospodarczych).

Największą roczną amplitudą charakteryzował się piezometr C7 – 69 cm, a najniższą studnia E8 – 39 cm. W półroczach zimowym i letnim oraz okresie wegetacyjnym największe amplitudy wystąpiły w piezometrze C7 (48 cm w półroczu zimowym, 61 cm w półroczu letnim oraz 60 cm w okresie wegetacyjnym), a najmniejsze odnotowano w piezometrze D8 i wynosiły: 34, 28 i 30 cm w analogicznych okresach.

Tabela 7
Table 7

Średnie okresowe i amplitudy głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej [cm]
w latach 1971–1980 w strefie III
Mean periodical and amplitude of groundwater level [cm] in zone III in years 1971–1980

Studzienki Wells	XI–IV				V–X				IV–IX				XI–X			
	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda
B8	170	152	192	40	182	159	199	40	176	155	195	40	176	152	199	47
C7	113	95	143	48	139	103	164	61	131	100	160	60	126	95	164	69
D8	91	74	108	34	108	92	120	28	105	88	118	30	100	74	120	46
E8	135	116	153	37	136	116	153	37	133	114	151	37	136	114	153	39
F6	204	186	222	36	203	186	219	33	200	185	216	31	204	180	232	52

Analiza głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w punktach pomiarowych pokazała, że w większości – wartości minimalne (zwierciadło wody gruntowej najbliżej powierzchni terenu) wystąpiły w roku hydrologicznym 1980, a maksymalne (najgłębiej zalegające zwierciadło wody gruntowej) w roku 1974. Rok hydrologiczny 1980 charakteryzował się roczną sumą opadów 676 mm i średnią roczną temperaturą +7,3°C, a rok 1974 – 651 mm i +8,9°C. Opad w roku 1980 był wyższy o 25 mm, a średnia roczna temperatura niższa o 1,6°C od wartości w roku 1974. Taki układ warunków opadowych i termicznych miał wpływ na kształtowanie poziomu zalegania wód gruntowych. Wyższy opad i niższa temperatura (mniejsze parowanie) w roku 1980 spowodowały, że zwierciadło wody gruntowej podniosło się. Wyższa temperatura powietrza i niższa wartość opadu w roku 1974 wpłynęły na mniejsze zasilanie wód gruntowych, a tym samym – spadek głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej.

W tab. 8 zestawiono średnie roczne głębokości zalegania wody gruntowej z okresu 1971–1980 oraz w latach 1974 i 1980 dla wybranych punktów pomiarowych.

Tabela 8
Table 8

Średnie roczne głębokości zalegania wody gruntowej [cm] w strefie III z wielolecia 1971–1980
oraz w latach 1974 i 1980
Mean annual of groundwater level [cm] in zone III in years 1971–1980 and 1974, 1980

Studzienki Wells	1971–1980	1974	1980	Amplituda Amplitud
B8	176	204	158	46
C7	126	139	103	36
D8	100	105	79	26
E8	136	150	105	45
F6	204	241	157	84

Z przedstawionych danych wynika, że zwierciadło wody gruntowej w studni F6 waha się od 241 do 157 cm, a w piezometrze D8 od 79 do 105 cm od powierzchni terenu. Wartość średnia roczna dla analizowanych punktów w roku hydrologicznym 1980 wynosi ok. 121 cm, w roku 1974 ok. 168 cm. Zatem amplituda tych wartości wynosi ok. 50 cm.

5.2. Kształtowanie się zwierciadła wody gruntowej na wododziale

Na terenie wododziału pomiary głębokości zalegania wód gruntowych były prowadzone w latach 1971–1989 oraz 1997–2003 w 19 punktach pomiarowych, tj. w 11 piezometrach i w 8 studniach gospodarskich (rys. 1).

W tab. 9a zostały zamieszczone średnie okresowe głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej od terenu dla wybranych punktów pomiarowych z lat 1971–1989, a w tab. 9b z lat 1997–2003.

Z danych zestawionych w tabeli 9a wynika, że średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w latach 1971–1989 wynosiła od 129 cm (piezometr E6) do 503 cm (studnia E4). Wartość minimalna zmienia się od 96 do 476 cm, a maksymalna od 169 do 535 cm od powierzchni terenu. Niższe wartości zaobserwowano w piezometrze E6, a wyższe w studni E4. Największą roczną amplitudą charakteryzowała się studnia D6 – 87 cm, a najmniejszą piezometr E7 – 47 cm. W półroczu zimowym największą wartość amplitudy odnotowano w studni D6 – 58 cm, a najmniejszą – 20 cm (piezometr E7). W okresie od V do X największą wartość amplitudy odnotowano w studni D6 – 62 cm, a najmniejszą – 34 cm (studnia E4). W okresie wegetacyjnym największa amplituda wystąpiła w studni D6 – 66 cm, a najmniejsza – 29 cm w piezometrze E7.

Tabela 9a

Table 9a

Średnie okresowe i amplitudy głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej [cm]
w latach 1971–1989 w strefie II

Mean periodical and amplitude of groundwater level [cm] in zone II in years 1971–1989

Studzienki Wells	XI–IV				V–X				IV–IX				XI–X			
	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
C4	185	163	206	43	196	174	216	42	190	167	202	35	191	155	223	68
D4	205	188	224	36	205	186	221	35	202	185	217	32	205	177	232	55
D5	207	185	233	48	204	175	230	55	200	173	227	54	206	165	251	86
D6	205	175	233	58	213	178	240	62	205	170	236	66	209	165	252	87
D7	148	126	169	43	153	126	177	51	147	124	174	50	151	120	189	69
E3	355	333	374	41	333	333	371	38	348	331	366	35	344	320	382	62
E4	506	487	524	37	501	485	519	34	498	484	514	30	503	476	535	59

Tabela 9a cd.
Table 9a cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
E6	125	104	149	45	134	107	156	49	126	101	152	51	129	96	169	73
E7	308	297	317	20	310	289	328	39	308	293	322	29	309	285	332	47
F3	237	218	255	37	237	214	259	45	231	211	253	42	237	208	270	62
F4	272	251	296	45	272	245	292	47	267	245	285	40	272	240	305	65
F4a	174	152	195	43	177	153	199	46	172	148	196	48	175	143	212	69
G6a	414	386	438	52	413	393	434	41	410	391	429	38	413	377	449	72
G7	433	411	450	39	435	415	453	38	433	413	450	37	434	401	480	79
G8	203	186	217	31	209	185	227	42	208	184	226	42	206	173	232	59
H2a	164	140	169	29	162	141	181	40	155	140	177	37	163	130	179	49
K4a	207	183	226	43	207	183	229	46	201	178	228	50	207	172	240	68
L4a	187	158	211	53	185	157	210	53	178	151	205	54	183	142	222	80
L5a	227	208	244	36	229	203	249	46	227	201	246	45	228	192	254	62

Tabela 9b
Table 9b

Średnie okresowe i amplitudy głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej [cm]
w latach 1997–2003 w strefie II

Mean periodical and amplitude of groundwater level [cm] in zone II in years 1997–2003

Studzienki Wells	XI–IV				V–X				IV–IX				XI–X			
	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda
C4	178	165	189	24	204	180	229	49	194	170	217	47	191	165	230	65
D4	190	169	205	36	204	178	224	46	197	168	221	53	196	161	229	68
D5	191	167	214	47	201	165	233	68	193	158	231	73	196	151	242	91
D6	194	172	218	46	221	177	262	85	208	168	250	82	208	161	267	106
D7	150	132	171	39	176	149	204	55	169	140	194	54	163	127	207	80
E3	321	297	340	43	337	310	362	52	330	304	357	53	329	290	367	77
E4	476	459	490	31	483	459	510	51	477	453	506	53	480	448	518	70
E6	113	93	131	38	139	107	165	58	131	96	163	67	126	86	169	83
E7	282	270	292	22	297	283	306	23	293	275	306	31	289	265	308	43
F3	221	196	240	44	235	206	262	56	227	194	260	66	228	187	272	85
F4	290	269	307	38	308	276	333	57	300	267	331	64	299	259	341	82
F4a	154	134	172	38	174	146	195	49	166	135	191	56	164	127	201	74
G6a	243	220	267	47	247	228	268	40	241	219	260	41	245	215	286	71
G7	421	401	432	31	419	392	441	49	413	390	434	44	420	390	451	61
G8	191	175	204	29	212	196	227	31	208	178	227	49	201	170	228	107
H2a	125	106	140	34	143	110	166	56	135	104	162	58	134	94	172	78
K4a	211	196	223	27	226	197	248	51	221	191	244	53	219	182	253	71
L4a	202	187	212	25	205	176	232	56	201	174	227	53	204	167	241	74
L5a	236	220	247	27	239	218	253	35	236	212	251	39	238	204	260	56

Z danych zestawionych w tabeli 9b wynika, że średnia roczna głębokość zwierciadła wody gruntowej w latach 1997–2003 wynosiła od 126 cm (piezometr E6) do 480 cm (studnia E4). Wartość minimalna zmienia się od 86 do 448 cm, a maksymalna od 169 do 518 cm. Niższe wartości zaobserwowano w piezometrze E6, a wyższe w studni E4. Największą roczną amplitudą charakteryzował się piezometr G8 – 107 cm, a najmniejszą piezometr E7 – 43 cm. W półroczu zimowym największą wartość amplitudy odnotowano w studniach D5 i G6a – 47 cm, a najmniejszą – 22 cm (piezometr E7). W okresie od V do X największą wartość amplitudy odnotowano w studni D6 – 85 cm, a najmniejszą – 23 cm (piezometr E7). W okresie wegetacyjnym największa amplituda wystąpiła w studni D6 – 82 cm, a najmniejsza – 31 cm w piezometrze E7.

Tabela 10
Table 10

Średnie roczne głębokości zalegania wody gruntowej [cm] z wielolecia 1971–1989, 1997–2003 oraz w latach 1977 i 1980 w strefie II
Mean annual of groundwater level [cm] in zone II in years 1971–1989, 1997–2003 and 1977, 1984

Studzienki Wells	Lata – Years		1977	1984	Amplituda Amplitude
	1971–1989	1997–2003			
C4	191	191	138	252	114
D4	205	196	152	259	107
D5	206	196	147	258	111
D6	209	208	153	280	127
D7	151	163	132	208	76
E3	344	329	298	408	110
E4	503	480	461	554	93
E6	129	126	89	176	87
E7	309	289	293	332	39
F3	237	228	190	291	101
F4	272	299	237	325	88
F4a	175	164	130	216	86
G6a	413	245	357	474	117
G7	434	420	385	487	102
G8	206	201	160	244	84
H2a	163	143	134	189	55
K4a	207	219	139	281	142
L4a	183	204	114	256	142
L5a	228	238	162	277	115

Porównując wartości średnich okresowych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej zamieszczonych w tabelach 9a i 9b, można zauważyć, że średnia roczna z okresu 1997–2003 (dla analizowanych punktów pomiarowych) jest niższa o 13 cm od analogicznej wartości z lat 1971–1989. Podobnie wartości średnie minimalne i maksymalne z lat 1997–2003 są niższe od analogicznych wielkości z okresu 1971–1989 o: 15, 9 cm, a średnia amplituda jest wyższa o 9 cm.

Analiza głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej we wszystkich punktach pomiarowych, w latach obserwacji 1971–2003, pokazała, że w 12 otworach badawczych wartości minimalne wystąpiły w roku hydrologicznym 1977, a maksymalne w roku 1984.

Z przedstawionych w tabeli 10 wartości, wynika, że średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej dla wszystkich analizowanych punktów w roku hydrologicznym 1977 wyniosła ok. 204 cm, w roku 1984 ok. 303 cm, a amplituda tych wartości wynosi ok. 100 cm.

Warunki meteorologiczne i hydrologiczne w roku 1977 spowodowały wezbranie na Odrze i podpiętrzenie wód w ciekach płynących przez dolinę. Odzwierciedliło się to w głębokościach zalegania wód gruntowych. W roku 1984 średnia roczna suma opadów wyniosła 523 mm, a temperatura powietrza +8,2°C. W okresie poprzedzającym analizowany rok suma roczna opadu wyniosła 360 mm (jest to najniższa wartość, jaką odnotowano w okresie 1971–2003). Niewielki opad i wysoka temperatura (9,0°C) spowodowały zwiększenie głębokości zalegania wód gruntowych.

5.3. Położenie zwierciadła wody gruntowej w pobliżu Odry

Na terenie w pobliżu Odry pomiary głębokości zalegania wód gruntowych były prowadzone w latach 1971–1989 oraz 1997–2003 w 11 punktach pomiarowych; w 9 piezometrach i 2 studniach gospodarskich (rys. 1).

Tabela 11a
Table 11a

Średnie okresowe i amplitudy głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej [cm]
w latach 1971–1989 w strefie I

Mean periodical and amplitude of groundwater level [cm] in zone I in years 1971–1989

Studzienki Wells	XI–IV				V–X				IV–IX				XI–X			
	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda
C3a	388	333	434	101	391	334	438	104	383	320	431	111	390	304	453	149
D3	201	167	228	61	194	163	224	61	186	160	217	57	197	148	237	89
F2a	316	266	360	94	318	258	361	103	308	255	351	96	317	239	376	137
G3	258	214	296	82	260	210	295	85	252	205	291	86	259	195	313	118
G4	176	141	192	51	175	140	204	64	168	135	200	65	175	127	218	91
G5	157	132	177	45	154	127	179	52	149	125	176	51	156	118	181	63
H1a	219	193	244	51	218	188	245	57	207	177	238	61	219	167	258	91
K2	358	320	389	69	357	316	390	74	350	312	385	73	358	301	404	103
K3	342	297	378	81	340	289	379	90	333	289	374	85	341	275	392	117
L3a	193	154	224	70	185	145	222	77	178	139	219	80	189	127	243	116
Ł4a	303	259	342	83	304	247	347	100	296	244	341	97	303	224	360	136

Z danych zestawionych w tab. 11a wynika, że średnia roczna głębokość zwierciadła wody gruntowej w latach 1971–1989 zmienia się od 156 cm (piezometr G5) do 390 cm (piezometr C3a). Wartość minimalna wynosi od 118 do 304 cm, a maksymalna od 181 do 453 cm. Mniejsze wartości zaobserwowano w piezometrze G5, a większe w piezometrze C3a. Największą amplitudą charakteryzował się piezometr C3a – 149 cm, a najmniejszą piezometr G5 – 63 cm.

W półroczu zimowym, letnim oraz okresie wegetacyjnym największe wartości amplitud odnotowano w piezometrze C3a (101, 104 i 111 cm), a najmniejsze w piezometrze G5 (45, 52 i 51 cm) w analogicznych okresach.

Tabela 11b

Table 11b

Średnie okresowe i amplitudy głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej [cm]
w latach 1997–2003 w strefie I

Mean periodical and amplitude of groundwater level [cm] in zone I in years 1997–2003

Studzienki Wells	XI–IV				V–X				IV–IX				XI–X			
	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda	śr.	min.	maks.	ampli- tuda
C3a	425	372	464	92	446	391	489	98	434	369	478	109	436	351	498	147
D3	204	176	223	47	221	171	273	102	213	160	270	110	212	157	281	124
F2a	318	267	315	48	351	292	335	43	337	266	393	127	334	243	413	170
G3	274	232	301	69	288	253	320	67	279	236	315	79	281	216	327	111
G4	186	155	205	50	196	163	225	62	188	151	219	68	191	141	234	93
G5	137	119	149	30	141	119	161	42	136	113	158	45	139	109	168	59
H1a	227	210	239	29	239	210	234	54	234	205	260	55	233	194	268	74
K2	367	331	393	62	378	346	413	67	371	324	404	80	373	313	419	106
K3	353	314	382	68	370	325	408	83	364	311	407	96	361	290	410	120
L3a	234	197	258	61	249	203	293	90	238	183	283	100	242	176	302	126
Ł4a	340	286	377	91	353	306	392	86	344	293	387	94	347	265	400	135

Najwyższe wartości średniej rocznej głębokości zwierciadła wody gruntowej, minimalnej, maksymalnej oraz amplitudy w latach 1997–2003 (tab. 11b) zaobserwowano w piezometrze C3a, wyniosły: 436, 351, 498 i 147 cm. Taką sytuację należy tłumaczyć usytuowaniem tego punktu pomiarowego (znajduje się on w pobliżu Odry).

Natomiast najniższe wartości średniej rocznej głębokości zwierciadła wody gruntowej, minimalnej, maksymalnej oraz amplitudy w analizowanym okresie 1997–2003 wystąpiły w piezometrze G5: 139, 109, 168 i 59 cm.

W półroczu zimowym największą wartość amplitudy odnotowano w piezometrze C3a – 92 cm, a najmniejszą – 29 cm (piezometr H1a). W okresie od V do X największą wartością amplitudy charakteryzował się piezometr D3 – 102 cm, a najmniejszą – 42 cm (piezometr G5). W okresie wegetacyjnym największa amplituda wystąpiła w piezometrze F2a – 127 cm, a najmniejsza – 45 cm w piezometrze G5.

Porównując wartości średnich okresowych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej zamieszczonych w tab. 11a i 11b, wartość średnia roczna z okresu 1997–2003

(dla analizowanych punktów pomiarowych) jest wyższa o 22 cm od analogicznej wartości z lat 1971–1989. Podobnie wartości średnie: minimalne, maksymalne i amplituda z lat 1997–2003 są wyższe od analogicznych wartości z okresu 1971–1989 o: 21, 26 i 5 cm.

Analiza głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej we wszystkich punktach pomiarowych, w ciągu całego okresu obserwacji (1971–2003), pokazała, że podobnie jak na terenach wododziału wód podziemnych – w 11 studzienkach obserwacyjnych wartości minimalne wystąpiły w roku hydrologicznym 1977, a maksymalne w roku 1984. Taki układ wód gruntowych spowodowały warunki hydrologiczne i meteorologiczne, jakie wystąpiły w latach 1977 i 1984.

Tabela 12
Table 12

Średnie roczne głębokości zalegania wody gruntowej [cm] z wielolecia 1971–1989, 1997–2003 oraz w latach 1977 i 1980 w strefie I
Mean annual of groundwater level [cm] in zone I in years 1971–1989, 1997–2003 and 1977, 1984

Studzienki Wells	Lata – Years		1977	1984	Amplituda Amplitud
	1971–1989	1997–2003			
C3a	390	436	283	479	196
D3	197	212	134	266	132
F2a	317	334	215	401	186
G3	259	281	171	339	168
G4	175	191	95	252	157
G5	156	139	86	228	142
H1a	219	233	144	297	153
K2	357	373	265	448	183
K3	341	361	233	433	200
L3a	189	242	99	300	201
Ł4a	303	347	194	393	199

Z przedstawionych w tab. 12 wartości wynika, że amplituda pomiędzy średnią roczną głębokością zalegania zwierciadła wody gruntowej pomiędzy latami 1977 a 1984 waha się od 132 cm (piezometr D3) do 201 cm (piezometr L3a). Średnia wartość amplitudy dla wszystkich punktów wynosi ok. 170 cm.

Średnia amplituda głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej wynosi:

- u podnóża wysoczyzny – ok. 50 cm,
- na terenach wododziałowych – ok. 100 cm,
- w pobliżu Odry – ok. 170 cm.

Amplitudy głębokości zalegania wody gruntowej, jakie wystąpiły na obszarze w pobliżu Odry, mają większe wartości (o ok. 70 cm) niż na terenach wododziałowych i ok. 120 cm niż u podnóża wysoczyzny. Zaznaczył się wpływ rzeki na wody gruntowe. Wahania poziomu wody gruntowej w pasie doliny w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki są ściśle związane ze stanami wody w Odrze, jednocześnie ze wzrostem odległości od ciekku amplituda maleje. Na terenach usytuowanych u podnóża wysoczyzny na poziomie wody gruntowej ma wpływ opad atmosferyczny i zasilanie ze zboczy.

5.4. Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia

Na podstawie średnich miesięcznych głębokości zalegania wody gruntowej z lat 1971–2003 dla wybranych punktów obserwacyjnych usytuowanych w pobliżu Odry (G3, G4, G5, H1a, L3a), na terenach wododziałowych (G8, H2a, K4a, L4a i L5a) oraz u podnóża wysoczyzny (B8, C7, D8, E8, F6) obliczono prawdopodobieństwo wystąpienia określonego poziomu wody gruntowej wraz z wyższymi. Dla obliczonych średnich miesięcznych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej (mierzonej od powierzchni terenu) wyznaczono krzywe prawdopodobieństwa poziomów wód gruntowych, z których odczytano wielkości odpowiadające 10, 25, 50, 75 i 90% prawdopodobieństwu wystąpienia.

Tabela 13
Table 13

Prawdopodobieństwo wystąpienia określonej głębokości wody gruntowej [cm] w piezometrach usytuowanych w dolinie Odry w różnej odległości od rzeki
Probability of occurrence the specified groundwater level [cm] in Odra valley in the piezometers situated in the different distance from the river

Strefa Zona	Studzienki Wells	Prawdopodobieństwo wystąpienia poziomów wody gruntowej Probability of occurrence the specified groundwater level				
		10%	25%	50%	75%	90%
I	G3	190	235	271	308	330
	G4	110	151	184	216	240
	G5	90	124	153	184	209
	H1a	140	184	230	265	288
	L3a	100	155	205	260	290
	Średnia Mean	126	170	209	247	271
II	G8	167	190	205	225	243
	H2a	90	130	159	184	215
	K4a	140	178	217	246	257
	L4a	110	150	183	220	242
	L5a	180	208	232	250	266
	Średnia Mean	137	171	200	225	245
III	B8	138	158	179	194	207
	C7	93	102	118	147	169
	D8	70	88	102	114	122
	E8	96	116	139	160	175
	Średnia Mean	99	116	134	154	168

Dane zawarte w tabeli 13 pokazują, że dla piezometrów usytuowanych w pobliżu rzeki głębokości zalegania wody gruntowej wahają się od 90 do 190 cm dla prawdopodobieństwa 10% (amplituda 100 cm) i od 209 do 330 cm dla prawdopodobieństwa 90% (amplituda 121 cm). Dla punktów pomiarowych usytuowanych na terenach wododziałowych głębokości wody gruntowej mają następujący przebieg:

- dla prawdopodobieństwa 10% – od 90 do 180 cm (amplituda 51 cm)
- dla prawdopodobieństwa 90% – od 215 do 266 cm (amplituda 90 cm).

Dla obszarów usytuowanych u podnóża wysoczyzny odczytano następujące wartości:

- dla prawdopodobieństwa 10% – od 70 do 138 cm (amplituda 85 cm)
- dla prawdopodobieństwa 90% – od 122 do 207 cm (amplituda 68 cm).

W warunkach normalnych (można to odnieść do prawdopodobieństwa 50%) zwierciadło wody gruntowej waha się od 153 do 271 cm na terenach w pobliżu rzeki, od 159 do 232 cm na wododziale i od 102 do 179 cm u podnóża wysoczyzny.

Na podstawie uzyskanych wyników można zauważyć, że średnio poziom wody gruntowej dla prawdopodobieństwa 10% (lata mokre) wynosi:

- strefa I 126 cm,
- strefa II 137 cm,
- strefa III 99 cm.

dla prawdopodobieństwa 50% (lata normalne):

- strefa I 209 cm,
- strefa II 200 cm,
- strefa III 134 cm.

oraz dla prawdopodobieństwa 90% (lata suche):

- strefa I 271 cm,
- strefa II 245 cm,
- strefa III 168 cm.

Z przedstawionych danych wynika, że amplituda zmian stanów wody gruntowej maleje jednocześnie ze wzrostem odległości od rzeki. Największe amplitudy wystąpiły w strefie I. W pasie do 1 km od koryta cieku głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej zależy od stanów wody w Odrze. W strefie II (odległość od Odry ok. 4 km) średnie głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej wykazują mniejszą amplitudę. Strefa III znajduje się poza zasięgiem oddziaływania stanów wody w Odrze. Poziom wody gruntowej zależy od opadów atmosferycznych i zasilania z terenów przyległych.

Rozpoznanie hydrogeologiczne doliny Odry między Brzegiem Dolnym a Malczycami [Praca zbiorowa 1968] dowodzi, że w większości wierzchnia warstwa doliny pokryta jest utworami słaboprzepuszczalnymi. Pod nimi zalegają żwiry, pospółki oraz piaski grube, średnie i drobne, o miąższości do kilkudziesięciu metrów. Zwierciadło wody gruntowej znajduje się głównie w warstwie utworów o małym podsiąku kapilarnym (piasek luźny – 10 cm, żwiry i pospółki – ok. 5 cm) [Kowalski 1987] i wywiera znikomy wpływ na uwilgotnienie czynnej warstwy gleby.

5.5. Tendencja zmian położenia zwierciadła wody gruntowej

Zjawiska przyrodnicze odznaczają się zmiennością w czasie. Zmiany pojawiające się regularnie określane są wahaniami okresowymi. Szczególnym ich przypadkiem są wahania sezonowe, które łączą się z występowaniem pór roku i kształtowane są przyczynami związanymi z przyrodą.

Analiza szeregów czasowych pozwala poznać naturę zjawiska w przeszłości, a także umożliwić przewidywanie jego zmian w przyszłości. Ocena kształtu zmian w czasie wymaga wyodrębnienia składników wpływających na poziom zjawiska; są to:

- a) tendencja rozwojowa (trend) – ogólny kierunek zmian w czasie, może być rosnąca, malejąca lub wyrównana,
- b) wahania okresowe (sezonowe) – powtarzające się regularnie w kolejnych cyklach zmiany poziomu zjawiska,
- c) wahania przypadkowe – nieregularne zmiany poziomu zjawiska wywołane przyczynami losowymi.

Wyżej wymienione składniki są oceniane za pomocą odpowiednich charakterystyk liczbowych: trend opisywany jest dzięki średnim ruchomym, wahania sezonowe są szacowane za pomocą wskaźników sezonowości. Ich miarą jest współczynnik zmienności.

Ocena tendencji zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej została przeprowadzona dla punktów pomiarowych usytuowanych w różnych miejscach doliny. Średnie miesięczne głębokości wody gruntowej z okresu obserwacji zostały uszeregowane i ocenione za pomocą charakterystyk liczbowych (średnich ruchomych, funkcji analitycznych i wskaźników sezonowości). Średnie ruchome wygładzają szereg w sposób naturalny i nie zacierają śladów najsilniejszych wahań [Makać, Urbanek-Krzysztofik 1999; Sobczyk 2004]. Metoda ta skraca szereg pierwotny i dlatego dla przeprowadzenia obliczeń przyjęto dwa rodzaje średnich ruchomych: 12-miesięczną (dla ciągów obserwacji 10-letnich, są to dane uzyskane z terenów u podnóża wysoczyzny) i 24-miesięczną (dla obserwacji 26-letnich, dla terenów wododziałowych i w pobliżu koryta Odry).

Z wykresów i analizy równań funkcji liniowej oszacowano kierunek zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej.

5.5.1. Trendy zmian głębokości zalegania wody gruntowej

Poniżej zestawiono równania trendu liniowego dla obserwacji średnich miesięcznych (z okresu 1971–1980), wygładzonych średnią ruchomą 12-miesięczną dla wybranych punktów usytuowanych w strefie III.

Dla punktów pomiarowych usytuowanych u podnóża wysoczyzny równania liniowe, wyszczególnione w tabeli 14, wskazują na podnoszenie się wody gruntowej. W analizowanym okresie 1971–1980 największe przyrosty wystąpiły w studniach: E8 ok. 35 cm i F6 ok. 50 cm, a w piezometrze C7 ok. 20 cm. Przyczyny takiego stanu należy upatrywać w zaistniałych warunkach meteorologicznych w latach 1971–1980.

W tym okresie zanotowano tendencję wzrostową opadów atmosferycznych i spadku temperatury powietrza [Bryś K., Bryś T. 2002].

Tabela 14
Table 14

Równania funkcji liniowej dla studzienek usytuowanych w strefie III
Linear equation for wells situated in zone III

Studzienki Wells	Równanie funkcji liniowej Linear equation
B8	$y = -0,2780x + 192,61$
C7	$y = -0,2258x + 137,82$
E8	$y = -0,3108x + 155,49$
F6	$y = -0,4851x + 233,12$

gdzie:

y – głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w danym miesiącu [cm],
x – czas [miesiąc].

Równania trendu liniowego dla obserwacji średnich miesięcznych (z okresu 1971–2003), wygładzonych średnią ruchomą 24-miesięczną dla punktów pomiarowych usytuowanych na terenach wododziałowych, zestawiono w tab. 15.

Tabela 15
Table 15

Równania funkcji liniowej dla studzienek usytuowanych w strefie II
Linear equation for wells situated in zone II

Studzienki Wells	Równanie funkcji liniowej Linear equation
C4	$y = 0,0451x + 194,16$
C5	$y = 0,0309x + 220,44$
D4	$y = 0,0033x + 203,17$
D5	$y = 0,0125x + 205,43$
D6	$y = 0,0185x + 205,48$
D7	$y = 0,0293x + 149,23$
E6	$y = 0,0018x + 128,31$
F3	$y = 0,0231x + 238,04$
G7	$y = 0,0231x + 434,22$
G8	$y = 0,0204x + 207,18$
K4a	$y = 0,1521x + 181,49$
L4a	$y = 0,1074x + 169,98$
L5a	$y = 0,0637x + 218,70$

Na podstawie uzyskanych równań funkcji liniowej i wykresów przebiegu głębokości zalegania wody gruntowej w analizowanym okresie 1971–2003 na terenach wododziałowych widać obniżanie się zwierciadła wody gruntowej. W latach 1971–2003 obniżenie głębokości wody gruntowej waha się od ok. 55 cm (K4a, L5a) do ok. 10 cm (D7).

Dla punktów pomiarowych usytuowanych w pobliżu Odry zestawiono równania trendu liniowego dla obserwacji średnich miesięcznych (z okresu 1971–2003) wygładzonych średnią ruchomą 24-miesięczną.

Równania trendu liniowego dla obserwacji średnich miesięcznych (z okresu 1971–2003), wygładzonych średnią ruchomą 24-miesięczną dla punktów pomiarowych usytuowanych na terenach w pobliżu Odry, zestawiono w tab. 16.

Tabela 16
Table 16

Równania funkcji liniowej dla studzienek usytuowanych w strefie I
Linear equation for wells situated in zone I

Studzienki Wells	Równanie funkcji liniowej Linear equation
C3a	$y = 0,2282x + 364,06$
D3	$y = 0,0724x + 187,28$
F2a	$y = 0,1030x + 299,04$
G3	$y = 0,1187x + 242,75$
G4	$y = 0,1045x + 160,29$
G5	$y = 0,0141x + 152,35$
H1a	$y = 0,1805x + 187,87$
K3	$y = 0,2389x + 330,10$
L3a	$y = 0,2391x + 159,38$
Ł4a	$y = 0,2599x + 272,84$

W piezometrach i studniach równania wskazują na obniżanie się poziomu zwierciadła wody gruntowej. Wartość obniżenia głębokości zalegania wody gruntowej w okresie 1971–2003 zmienia się od ok. 90 cm (C3a, K3, L3a, Ł4a) do ok. 45 cm (D3, F2a, G3, H1a, K2).

Na podstawie przedstawionych danych można zauważyć, że w strefie III wystąpiła tendencja podnoszenia się zwierciadła wody gruntowej. Średnia wartość w całej strefie wynosi średnio ok. 30 cm.

W strefie I i II zaobserwowano tendencję obniżania się zwierciadła wody gruntowej. Średnia wartość w latach 1971–2003 wyniosła ok. 60 cm (strefa I) i ok. 20 cm (strefa II).

Pomiary głębokości zalegania wody gruntowej dla punktów pomiarowych usytuowanych w strefie III zostały przerwane w roku 1980.

Z wyników uzyskanych w latach 1980–1984 zarówno w strefie I, jak i II zauważalny jest spadek głębokości wody gruntowej. W dalszych latach wyraźnie zarysowała się cykliczność w wahaniami wody gruntowej. Analiza szeregów czasowych pozwoliła ocenić trendy kształtowania się poziomów wody gruntowej w omawianej części doliny. Przyjęto trendy liniowe, które m.in. pozwalają prognozować zmiany głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w czasie [Sobczyk 2004].

5.5.2. Tempo zmian położenia zwierciadła wody gruntowej w różnych miejscach doliny

W celu oceny tempa zmian położenia zwierciadła wody gruntowej przeprowadzono obliczenia statystyczne za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excel i funkcji statystycznych w nim zawartych oraz programu Statistica.

Jednym z częściej stosowanych mierników dynamiki badanego zjawiska jest tempo przyrostu (obniżenia), czyli względny przyrost łańcuchowy [Makać, Urbanek-Krzysztofik 1999].

Zmiany w szeregach czasowych pomierzono za pomocą wskaźników dynamiki, zwanych indeksami (wartości wyrażane są w procentach). Pokazują one względne zmiany głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w danym roku w stosunku do poprzedniego, którego średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej stanowi podstawę porównań. Dzieląc wartość średnią roczną głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej badanego roku do roku poprzedniego, otrzymujemy wielkość zmian głębokości zwierciadła wody gruntowej w skali roku oraz tempo zmian.

W celu ustalenia zmian obliczono średni łańcuchowy wskaźnik dynamiki, a następnie – średnie tempo zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej. Wskaźnik ten zinterpretowano jako średnią zmianę badanego zjawiska.

Obserwując szeregi indeksów jednopodstawowych, można zauważyć ogólną tendencję zmian w odniesieniu do stanu wyjściowego (głębokość zwierciadła wody gruntowej w pierwszym roku obserwacji). Indeksy łańcuchowe pokazują względne zmiany z roku na rok [Makać, Urbanek-Krzysztofik 1999, Sobczyk 2004].

Dla wybranych punktów pomiarowych (B8, C7) usytuowanych u podnóża wysoczyzny, dla okresu obserwacji (1971–1980), obliczono wartości indeksów łańcuchowych (tab. 17 i 18).

Tabela 17
Table 17

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla studni B8 w latach 1971–1980
Value dynamic indicator and rate [%] for well B8 in years 1971–1980

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	175	100	–	–
1972	180	102,86	102,86	2,86
1973	189	108,00	105,00	5,00
1974	204	116,57	107,94	7,94
1975	176	100,57	86,27	-13,73
1976	184	105,14	104,54	4,54
1977	143	81,71	77,72	-22,28
1978	184	105,14	128,67	28,67
1979	171	97,71	92,93	-7,07
1980	158	90,29	92,40	-7,60

Średnie roczne tempo głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla studni B8 wynosi: - 0,2%.

Tabela 18

Table 18

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla piezometru C7 w latach 1971–1980
Value dynamic indicator and rate [%] for piezometer C7 in years 1971–1980

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	133	100,00	–	–
1972	136	102,26	102,26	2,26
1973	138	103,76	101,47	1,47
1974	139	104,51	100,72	0,72
1975	124	93,23	89,21	-10,79
1976	132	99,25	106,45	6,45
1977	105	78,95	79,54	-20,43
1978	131	98,50	124,76	24,76
1979	130	97,74	99,24	-0,76
1980	103	77,44	79,23	-20,77

Średnie roczne tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla piezometru C7 wynosi: - 1,7%.

Dla analizowanych punktów pomiarowych usytuowanych u podnóża wysoczyzny w latach 1971–1980 średnioroczne tempo podnoszenia się zwierciadła wody gruntowej wynosi: ok. - 0,9%, co stanowi ok. 1,5 cm (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej dla okresu obserwacji w strefie III wynosi 148 cm).

W omawianym okresie (1971–1980) wystąpiły trendy wzrostu opadów atmosferycznych i spadku temperatur powietrza, co spowodowało podnoszenie poziomu wody gruntowej.

Dla wybranych punktów pomiarowych (D4, G7, G8), usytuowanych na terenach wododziałowych, dla okresów obserwacji 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003, obliczono wartości indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych oraz tempa zmian (tab. 19, 20 i 21).

Średnie tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla piezometru D4 w latach 1971–1980 wynosi: +0,2%, 1971–1989: +2,0%, a w okresie 1997–2003: +2,9%.

Średnie tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w latach 1971–1980 dla studni G7 wynosi: +0,2%, 1971–1989: +0,8%, a w okresie 1997–2003: +0,4%.

Średnie tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w latach 1971–1980 dla piezometru G8 wynosi: +0,9%, 1971–1989: +1,6%, a w okresie 1997–2003: +0,3%.

Tabela 19
Table 19

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla piezometru D4
w latach 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003
Value dynamic indicator and rate [%] for piezometer D4
in years 1971–1980, 1971–1989 and 1997–2003

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index previous year=100	Tempo Rate [%]
1971	203	100,00	–	–
1972	210	103,45	103,45	3,45
1973	213	104,93	101,43	1,43
1974	238	117,24	111,73	11,73
1975	204	100,49	85,71	–14,29
1976	210	103,45	108,25	8,25
1977	152	74,88	72,38	–27,62
1978	197	97,04	129,60	29,60
1979	194	95,57	98,48	–1,52
1980	173	85,22	89,17	–10,83
1981	179	88,18	103,47	3,47
1982	172	84,73	96,09	–3,91
1983	240	118,23	139,53	39,53
1984	259	127,59	107,92	7,92
1985	205	100,98	79,15	–20,85
1986	194	95,57	94,63	–5,37
1987	212	104,43	109,28	9,28
1988	208	102,26	98,11	–1,89
1989	238	117,24	114,42	14,42
1997	174	100,00	–	–
1998	179	102,87	102,87	2,87
1999	185	106,32	103,35	3,35
2000	220	126,44	118,92	18,92
2001	206	118,39	93,64	–6,36
2002	186	106,90	90,29	–9,71
2003	207	118,97	111,29	11,29

Tabela 20
Table 20

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla studni G7
w latach 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003
Value dynamic indicator and rate [%] for well G7
in years 1971–1980, 1971–1989 and 1997–2003

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	420	100,00	–	–
1972	426	101,43	101,43	1,43
1973	437	104,05	102,58	2,58
1974	482	114,76	110,30	10,30
1975	415	98,81	86,10	–13,90
1976	433	103,09	104,38	4,38
1977	385	91,17	88,91	–11,09
1978	415	98,81	107,79	7,79
1979	413	98,33	99,52	–0,48
1980	417	99,29	100,97	0,97
1981	416	99,05	99,76	–0,24
1982	401	95,48	96,36	–3,61
1983	472	112,38	117,71	17,71
1984	487	115,95	103,18	3,18
1985	453	107,86	93,02	–6,98
1986	438	104,29	96,69	–3,31
1987	425	101,19	97,03	–2,97
1988	437	104,05	102,82	2,82
1989	468	111,43	107,09	7,09
1997	414	100,00	–	–
1998	417	100,72	100,72	0,72
1999	418	100,97	100,24	0,24
2000	436	105,31	104,31	4,31
2001	415	100,24	95,18	–4,82
2002	411	99,27	99,04	–0,96
2003	425	102,66	103,41	3,41

Tabela 21
Table 21

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla piezometru G8
w latach 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003
Value dynamic indicator and rate [%] for piezometer G8
in years 1971–1980, 1971–1989 and 1997–2003

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	197	100,00	–	–
1972	207	105,08	105,08	5,08
1973	220	111,67	106,28	6,28
1974	230	116,75	104,54	4,54
1975	180	91,37	78,26	–21,74
1976	209	106,09	116,11	16,11
1977	160	81,22	76,55	–23,45
1978	206	104,57	128,75	28,75
1979	210	106,60	101,94	1,94
1980	192	97,46	91,43	–8,57
1981	204	103,55	106,25	6,25
1982	207	105,08	101,47	1,47
1983	244	123,86	117,87	17,87
1984	244	123,86	100,00	0,0
1985	202	102,54	82,79	–17,21
1986	197	100,00	97,52	–2,48
1987	177	89,85	89,85	–10,15
1988	205	104,06	115,82	15,82
1989	225	114,21	109,76	9,76
1997	208	100,00	–	–
1998	205	98,56	98,56	–1,44
1999	204	98,08	99,51	–0,49
2000	200	96,15	98,04	–1,96
2001	188	90,38	94,00	–6,00
2002	196	94,23	104,26	4,26
2003	211	101,44	107,65	7,65

Dla analizowanych punktów pomiarowych usytuowanych w strefie II w latach 1971–1980 średnioroczne tempo podnoszenia zwierciadła wody gruntowej wynosi: ok. 0,5%, co stanowi ok. 1,5 cm (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w strefie II dla analizowanego okresu badawczego wynosi 274 cm), w okresie

1971–1989 średnioroczne tempo opadania zwierciadła wody gruntowej wynosi: ok. 1,5%, co stanowi ok. 4,0 cm (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w strefie II dla analizowanego okresu badawczego wynosi 251 cm), a w latach 1997–2003: 1,2%, co stanowi ok. 3,0 cm (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej wynosi 239 cm).

Dla wybranych punktów pomiarowych (G3, G4, L3a), usytuowanych w pobliżu Odry, dla okresów obserwacji 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003, obliczono wartości indeksów jednopodstawowych i łańcuchowych oraz tempo zmian (tab. 22, 23 i 24).

Tabela 22
Table 22

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla piezometru G3
w latach 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003
Value dynamic indicator and rate [%] for piezometer G3
in years 1971–1980, 1971–1989 and 1997–2003

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	239	100,00	–	–
1972	245	102,51	102,51	2,51
1973	273	114,23	111,43	11,43
1974	302	126,36	110,62	10,62
1975	224	93,72	74,17	–25,83
1976	256	107,11	114,29	14,29
1977	171	71,55	66,80	–33,20
1978	234	97,91	136,84	36,84
1979	234	97,91	100,00	0,00
1980	242	101,26	103,42	3,42
1981	247	103,35	102,07	2,09
1982	221	92,47	89,47	–10,53
1983	302	126,36	136,65	36,65
1984	339	141,84	112,22	12,25
1985	278	116,32	82,01	–17,99
1986	273	114,23	98,20	–1,80
1987	227	94,98	83,15	–16,85
1988	283	118,41	124,67	24,67
1989	320	133,89	113,07	13,07
1997	261	100,00	–	–
1998	263	100,77	100,77	0,77
1999	264	101,15	100,38	0,38
2000	297	113,79	112,50	12,50
2001	274	104,98	92,26	–7,74
2002	277	106,13	101,09	1,09
2003	314	120,31	113,36	13,36

Tabela 23
Table 23

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla piezometru G4
w latach 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003
Value dynamic indicator and rate [%] for piezometer G4
in years 1971–1980, 1971–1989 and 1997–2003

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	158	100,00	–	–
1972	169	106,96	106,96	6,96
1973	187	118,35	110,65	10,65
1974	222	140,51	118,72	18,72
1975	140	88,61	63,06	-36,94
1976	175	110,76	125,00	25,00
1977	95	60,13	54,29	-45,71
1978	143	90,51	150,53	50,53
1979	149	94,30	104,20	4,20
1980	148	93,67	99,33	-0,67
1981	161	101,90	108,78	8,78
1982	131	82,91	81,37	-18,63
1983	221	139,87	168,70	68,70
1984	252	159,49	114,03	14,03
1985	201	127,22	79,76	-20,24
1986	189	119,62	94,03	-5,97
1987	157	99,37	83,07	-16,93
1988	193	122,15	122,93	22,93
1989	232	146,84	120,21	20,21
1997	166	100,00	–	–
1998	170	102,41	102,41	2,41
1999	176	106,02	103,53	3,53
2000	212	127,71	120,45	20,45
2001	192	115,66	90,57	-9,43
2002	182	109,64	94,79	-5,21
2003	218	131,33	119,78	19,78

Średnie tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla piezometru G3 w latach 1971–1980 wynosi: +2,0%, 1971–1989: +3,2%, a w latach 1997–2003: +2,9%.

Średnie tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla piezometru G4 w latach 1971–1980 wynosi: +3,3%, 1971–1989 ma: +5,5% i +4,5%, w latach 1997–2003.

Tabela 24
Table 24

Wartości wskaźników dynamiki i tempa [%] dla piezometru L3a
w latach 1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003
Value dynamic indicator and rate [%] for piezometer L3a
in years 1971–1980, 1971–1989 and 1997–2003

Rok Year	Głębokość zalegania zw. wody gr. Groundwater level [cm]	Indeksy jednopodstawowe (rok 1971 = 100) Basic index (year 1971 = 100)	Indeksy łańcuchowe (rok poprzedni = 100) Chain index (previous year=100)	Tempo Rate [%]
1971	157	100,00	–	–
1972	176	112,10	112,10	12,10
1973	195	124,20	110,80	10,80
1974	238	151,59	122,05	22,05
1975	144	91,72	60,50	–39,50
1976	187	119,11	129,86	29,86
1977	99	63,06	52,94	–47,06
1978	146	92,99	147,47	47,47
1979	149	94,90	102,05	2,05
1980	151	96,18	101,34	1,34
1981	163	103,82	107,95	7,95
1982	144	91,72	88,34	–11,66
1983	253	161,15	175,69	75,69
1984	300	191,08	118,58	18,58
1985	230	146,50	76,67	–23,33
1986	209	133,12	90,87	–9,13
1987	167	106,37	79,90	–20,10
1988	193	122,93	115,57	15,57
1989	277	176,43	143,52	43,52
1997	197	100,00	–	–
1998	200	101,52	101,52	1,52
1999	212	107,61	106,00	6,00
2000	262	132,99	123,58	23,58
2001	241	122,34	91,98	–8,02
2002	232	117,77	96,27	–3,73
2003	306	155,33	131,90	31,90

Średnie tempo dynamiki zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla piezometru L3a w latach 1971–1980 wynosi: +3,9%, 1971–1989: +7,2% oraz +2,5% w okresie 1997–2003.

Dla analizowanych punktów pomiarowych, usytuowanych w strefie I w latach 1971–1980 średnioroczne tempo opadania zwierciadła wody gruntowej, wynosi: ok. 3,0%, co stanowi ok. 6,0 cm na rok (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w strefie I dla analizowanego okresu badawczego wynosi 187 cm), w okresie

1971–1989 średnioroczne tempo opadania zwierciadła wody gruntowej ma: ok. 5,0%, co stanowi ok. 13,0 cm na rok (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w strefie I dla analizowanego okresu badawczego wynosi 259 cm), a w latach 1997–2003: 3,0%, co stanowi ok. 9,0 cm na rok (średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej wynosi 287 cm).

Z przeprowadzonych obliczeń w lewobrzeżnej dolinie Odry, w pierwszym okresie obserwacji, tj. lata 1971–1980 w strefie III zaobserwowano tendencje podnoszenia się zwierciadła wody gruntowej (średnio ok. 1,5 cm na rok). Dla punktów badawczych usytuowanych zarówno w strefie II, jak i I zanotowano obniżanie się zwierciadła wody gruntowej (średnio 1,5 cm na rok w strefie II i ok. 4,0 cm w strefie I).

W latach 1971–1989 dla punktów obserwacyjnych usytuowanych zarówno w pobliżu Odry, jak i na terenach wododziałowych zanotowano obniżanie się głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej. W strefie I wyniosło ok. 13,0 cm i 4,0 cm w strefie II.

W okresie 1971–2003 w obu strefach (I i II) wystąpiła tendencja obniżania wody poziomu gruntowej średnio: 9,0 cm rocznie w strefie I, ok. 3,0 cm w II.

To potwierdza wpływ stanów wody w rzece na przyległą dolinę. Jednocześnie ze wzrostem odległości od koryta cieką zmniejsza się wartość średniego obniżenia zwierciadła wody gruntowej.

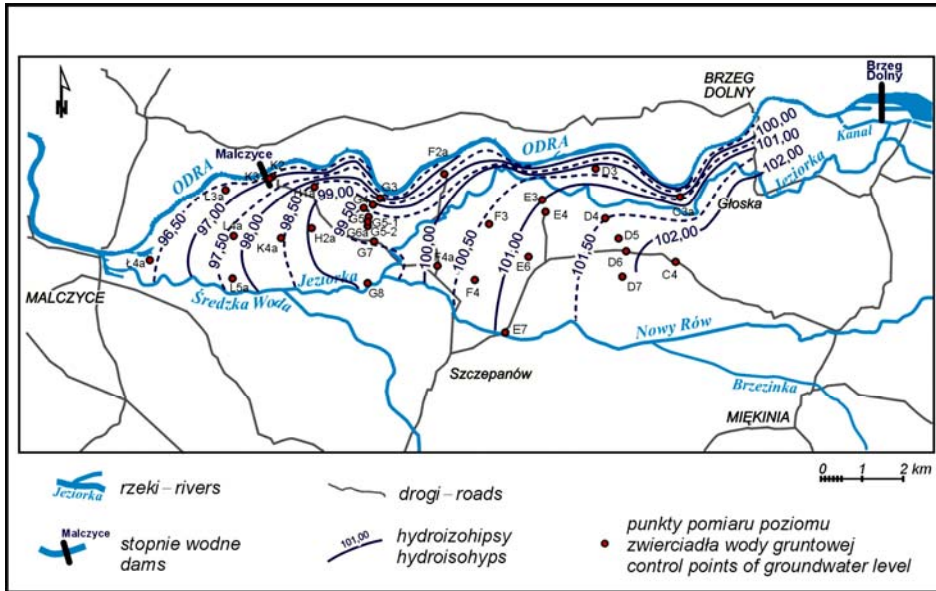
5.6. Układ zwierciadła wód gruntowych w dolinie

Obserwacje stanów wody gruntowej w lewobrzeżnej dolinie Odry, prowadzone w latach 1971–2003, pozwoliły na graficzne odwzorowanie przebiegu głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej. Dla pomierzonych głębokości zalegania wody gruntowej obliczono średnie miesięczne i roczne. Dla średnich rocznych wartości z lat 1997–2003 głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej oraz dla głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej, zmierzonej w dniu 28.07.2003 r., sporządzono mapy hydroizohips. Wybrany dzień przedstawia chwilowy układ wód gruntowych w dolinie, charakteryzował się on ustabilizowanym stanem wody w Odrze oraz poziomem wód gruntowych.

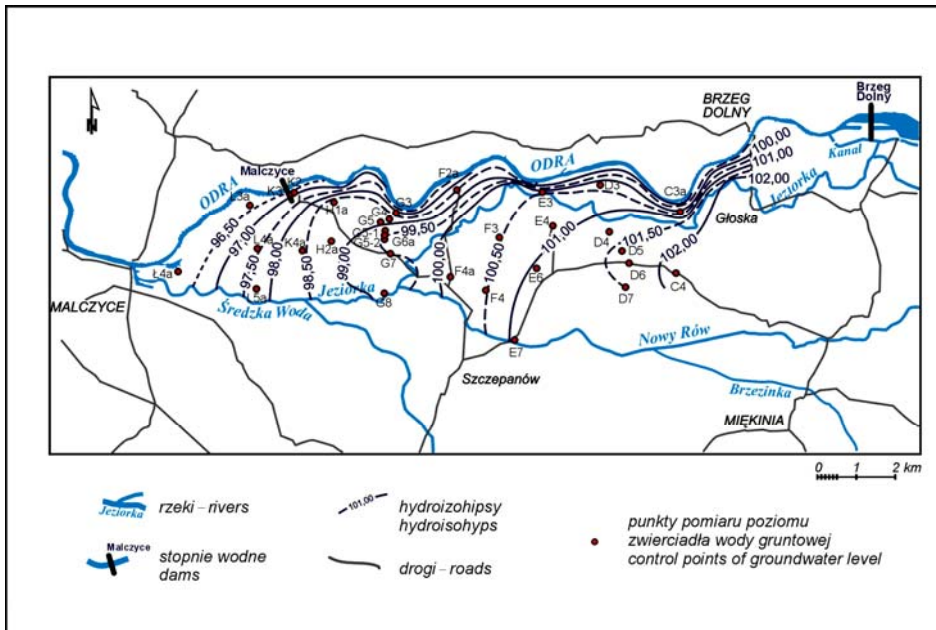
Na podstawie mapy hydroizohips oraz mapy sytuacyjno-wysokościowej w skali 1: 25 000 sporządzono mapę hydroizobat.

5.6.1. Hydroizohipsy

Rysunek 8 przedstawia układ hydroizohips dla średnich rocznych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla okresu 1997–2003, a rys. 9 układ, jaki wystąpił w dniu 28.07.2003 r. Do ich wykonania wykorzystano: obserwacje stanów wody w ciekach Jeziorka, Nowy Rów, Średzka Woda oraz w Odrze na wodowskazach Brzeg Dolny i Malczyce, a także cotygodniowe pomiary zwierciadła wody gruntowej w piezometrach i studniach gospodarskich.



Rys. 8. Hydroizohipsy wód gruntowych z okresu 1997–2003
 Fig. 8. Hydroisohyps of the groundwater for the period 1997–2003



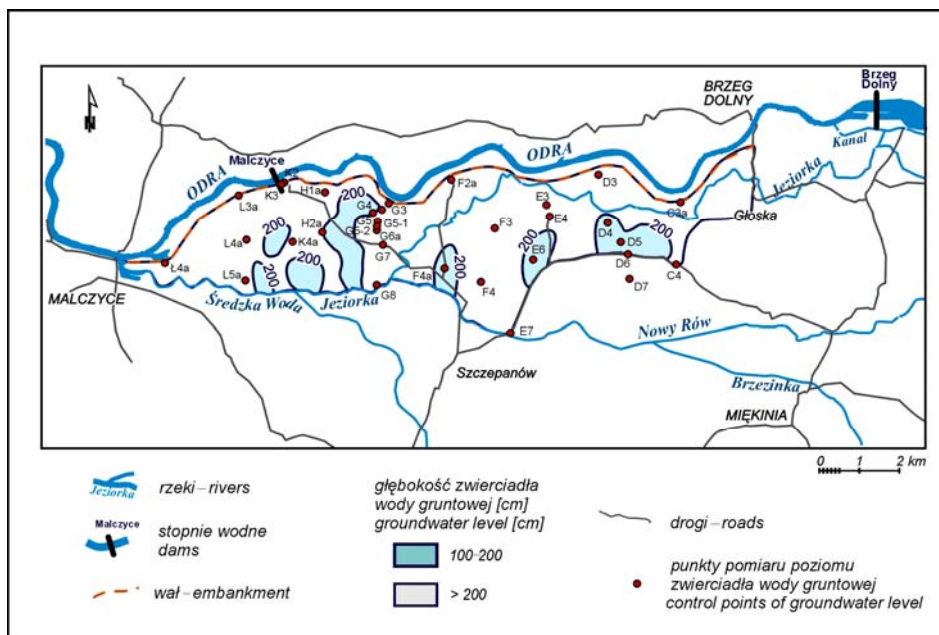
Rys. 9. Hydroizohipsy wód gruntowych z dnia 28.07.2003 r.
 Fig. 9. Hydroisohyps of the groundwater in 28.07.2003

Układ poziomów wód gruntowych doliny dla okresu 1997–2003 i w dniu 28.07.2003 r. jest podobny do układu wartości średnich rocznych w latach 1971–1989 [Praca zbiorowa 1970–2003; Pływaczyk 1988].

Izolinie na terenie doliny Odry przebiegają skośnie, prostopadle i równoległe do jej osi. Ich wartości zmieniają się od 96,5 do 102,0 m n.p.m. Dla obu układów wód gruntowych zaznacza się wododział między Nowym Rowem a Odrą w odległości ok. 2,8–3,3 km i między Średzką Wodą a Odrą w odległości ok. 1,8–2,2 km. Widoczny jest drenujący charakter Odry i niewielki wpływ Jeziorki na wody gruntowe. Spadki zwierciadła wody gruntowej skierowane są do rzeki i wahają się od ok. 10% (na terenach znajdujących się w pobliżu Odry i Jeziorki) do 1% (z dala od rzeki).

5.6.2. Hydroizobaty

Wykorzystując mapę sytuacyjno-wysokościową w skali 1: 25 000 i 1: 10 000 oraz mapę hydroizohips (średnich rocznych dla okresu 1997–2003), wykreślono hydroizobaty wód gruntowych (rys. 10). Obliczono głębokości zalegania wód gruntowych w punktach pomiarowych i w dolinie, a następnie wykreślono izolinie głębokości. Na obiekcie badawczym naniesione hydroizobaty zmieniają się od 100 do ponad 200 cm.



Rys. 10. Hydroizobaty wód gruntowych z okresu 1997–2003
Fig. 10. Hydroisobaths for the period 1997–2003

W strefie I (tereny w pobliżu Odry) zwierciadło wody gruntowej na ok. 90% powierzchni znajduje się w odległości ponad 200 cm od powierzchni terenu (lokalnie ponad 400 cm), na pozostałych 10% zwierciadło wody gruntowej zalega na głębokości od 100 do 200 cm.

Na terenach strefy II (tereny wododziałowe) zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości od 100 do 200 cm od powierzchni terenu (na ok. 40% powierzchni). W pozostałej części hydroizobaty przyjmują wartość ponad 200 cm (ok. 60% powierzchni).

6. ZAPASY WODY W PROFILU GLEBOWYM

Na stosunki powietrzno-wodne w wierzchniej warstwie profilu glebowego wpływają: ilość i rozkład opadów atmosferycznych, temperatury powietrza, głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej, właściwości fizyko-wodne gleb oraz rodzaj upraw.

Uwilgotnienie gleby jest istotnym czynnikiem w zagadnieniach produkcji rolnej. Od warunków wodnych m.in. zależy wysokość i stabilność plonów roślin, rodzaj upraw [Trybała 1996].

Na rozpatrywanym obszarze dominują mady wytworzone z glin średnich oraz glin ciężkich i ilów. Gleby te powstają w wyniku wylewu rzek i osadzania się w dolinie materiału glebowego. Frakcja granulometryczna mad jest złożona, co wraz ze zróżnicowaniem zawartości w tych glebach substancji organicznej wpływa na właściwości fizyko-wodne. Mady w warunkach dużego uwilgotnienia są lepkie i utrudniają wykonywanie określonych zabiegów agrotechnicznych. W okresach zbyt suchych zbrylają się i pękają, stwarzając duże trudności w uprawie.

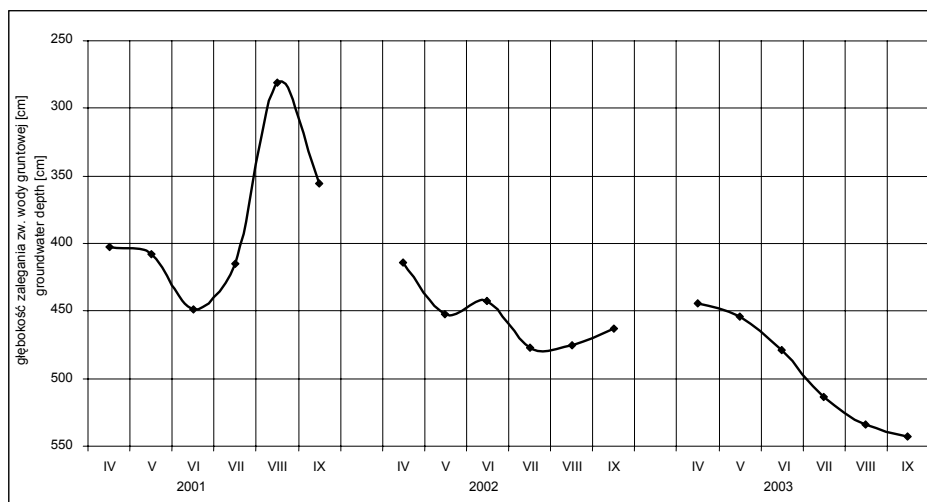
W madach występuje zjawisko pęcznienia gleby, co wpływa ujemnie na stosunki powietrzno-wodne. Po napełnieniu gleby są nieprzepuszczalne i nieprzewiewne. Na skutek utraty wilgotności mady znacznie się kurczą. Powstają wówczas pionowe szczeliny, które potęgują wysychanie gleby i niekorzystnie wpływają na system korzeniowy roślin. Zatem gleby te są wrażliwe zarówno na nadmiar, jak i niedobór wilgoci. Aby utrzymać je w zdolności do intensywnej produkcji rolnej, należy zapewnić im optymalne warunki wilgotnościowe [Dobrzański, Zawadzki 1981; Giedrońc 1990].

Wilgotność profilu glebowego jest związana m.in. z głębokością zalegania zwierciadła wody gruntowej. W profilu glebowym, gdzie zwierciadło wody gruntowej położone jest głęboko i wpływa w znikomym zakresie na uwilgotnienie czynnej warstwy gleby, mamy do czynienia z opadowo-wodnym typem gospodarki wodnej gleby. Uwilgotnienie gleby zależy od wysokości i rozkładu opadów.

W glebach, w których poziom wody gruntowej znajduje się w niewielkiej odległości od powierzchni terenu i wierzchnia warstwa gleby jest dodatkowo zasilana poprzez podsiąk kapilarny, występuje gruntowo-wodny typ gospodarki [Pływaczyk 1988].

W lewobrzeżnej dolinie Odry w okolicach miejscowości Głoska w comiesięcznych terminach okresu wegetacyjnego lat 2001–2003 prowadzono pomiary uwilgotnienia gleby oraz obliczono sumy zapasów wody w warstwach: 0–50, 0–100, 0–150, 50–100 i 100–150 cm w profilu glebowym (tab. 26). Odkrywka położona jest w międzywalu Odry, w odległości ok. 200 m od koryta rzeki (rys. 1). Jest to trwały użytek zielony.

Średnie miesięczne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w piezometrze C3a (usytuowanym w odległości ok. 300 m od koryta Odry) w okresie IV–IX lat 2001–2003 kształtowały się od 2,8 m do 5,4 m od powierzchni terenu (rys. 11).



Rys. 11. Średnie miesięczne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej [cm] w piezometrze C3a w okresach wegetacyjnych lat 2001–2003

Fig. 11. Means month depth of the groundwater level [cm] in the piezometer C3a in the vegetation periods of 2001–2003

Tabela 25
Table 25

Procentowa zawartość frakcji granulometrycznych próbek glebowych pobranych w dolinie Odry [Olszewska 1998]

Percent of grain size distribution of soil samples in the Odra valley

Warstwa Layer [cm]	Szkielet Skeleton >1,0 mm	Piasek – Sand [mm]			Pył – Fines [mm]		H – Clay [mm]			Suma części Sflawialnych Total floatable fraction	Grupa granulometryczna Grain size group
		1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,02	0,02–0,006	0,006–0,002	kolo- idy colloid <0,002		
0–10	1,7	5	17	7	12	20	11	12	16	39	gsp
20–30	0,9	3	6	21	17	20	12	7	14	33	glp
40–50	0	2	9	6	10	25	18	9	21	48	gsp
65–75	0	5	30	15	9	4	9	12	16	37	gs
90–100	0,2	4	45	25	6	8	6	4	2	12	pgl
140–150	0,5	8	54	20	4	6	4	2	2	8	ps

Na podstawie badań i przeprowadzonych analiz stwierdzono, że na terenie objętym badaniami znajduje się typowa gleba dla doliny Odry. Jest to mada średnia, wierzchnią jej warstwę (do ok. 100 cm) stanowią gliny średnie pylaste, gliny lekkie pylaste i gliny średnie (tab. 25). Warstwy te są podścielone piaskami gliniastymi lekkimi i słabogliniastymi [Praca zbiorowa 1970–2003].

W opracowaniu Olszewskiej [1998], dla analizowanego profilu glebowego, zostały sporządzone krzywe retencyjności wodnej, a także określona gęstość objętościowa i właściwa oraz porowatość całkowita. Na potrzeby niniejszej monografii woda nieużyteczna dla roślin została określona jako wilgotność przy $pF=4,2$. Wodę trudno dostępną dla roślin wyznaczono z różnicy między wilgotnością przy $pF=3,0$ i wilgotnością przy $pF=4,2$, a wodę łatwo dostępną – z różnicy pomiędzy $pF=3,0$ i wilgotnością przy połowej pojemności wodnej ($pF=2,0$). Woda grawitacyjna została określona z różnicy między pojemnością wodną całkowitą a wilgotnością przy $pF=2,0$ [Dobrzański, Zawadzki 1981]. Dla warstw określono wilgotność przy połowej pojemności wodnej i pojemności okresu suszy, która odpowiednio wynosi dla warstwy: 0–50 cm: 179 i 154 mm, 50–100 cm: 134 i 126 mm, 100–150 cm: 73 i 61 mm. Dla miąższości 0–100 cm: 313 i 280 mm oraz 0–150 cm: 386 i 341 mm.

Wpływ poziomy wód gruntowych na stan uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby przedstawiono na tle warunków meteorologicznych, stanów wody w Odrze i głębokości zalegania wód gruntowych.

Tabela 26 przedstawia sumy zapasów wody [mm] w warstwach 0–50, 0–100, 0–50, 50–100 i 100–150 cm w profilu glebowym w poszczególnych terminach okresu wegetacyjnego w latach 2001–2003.

W mokrym, pod względem opadów, okresie IV–IX 2001 w analizowanych warstwach profilu glebowego od początku okresu wegetacyjnego obserwowano stopniowe wyczerpywanie się rezerw wilgoci. Najniższą wartość zapasów wody zanotowano w warstwie: 0–50 cm – 92 mm (początek lipca), 50–100 cm – 113 mm (koniec maja) i 100–150 cm – 42 mm (koniec kwietnia). Uwilgotnienie półmetrowej warstwy gleby w kwietniu odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej, a w ciągu kolejnych miesięcy poniżej wody trudno dostępnej dla roślin. Od początku lipca nastąpił wzrost wilgotności gleby, najwyższą wartość zapasów wody w glebie zmierzono pod koniec września – 185 mm.

Uwilgotnienie w sierpniu i wrześniu odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej dla roślin.

W warstwie 50–100 cm sumy zapasów wody wynosiły 113–195 mm. Wyczerpywanie się wilgoci wystąpiło od końca marca, a uwilgotnienie gleby w kwietniu odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej, w maju i czerwcu wody trudno dostępnej dla roślin. Od początku lipca zaobserwowano wzrost wilgotności, uwilgotnienie odpowiadało wartościom wody wolnej.

W kolejnej omawianej warstwie 100–150 cm sumy zapasów wody zmieniały się od 42 do 88 mm. Od kwietnia do końca czerwca uwilgotnienie gleby odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej dla roślin, a w następnych miesiącach (lipiec – wrzesień) wody łatwo dostępnej dla roślin i wody wolnej.

Tabela 26
Table 26

Sumy zapasów wody [mm] w warstwach 0–50, 0–100, 0–150, 50–100 i 100–150 [cm]
w profilu glebowym w okresie wegetacyjnym w latach 2001–2003
Water reserves [mm] in the layers: 0–50, 0–100, 0–150, 50–100, 100–150 [cm]
in vegetation period in 2001–2003

Data Date	Sumy zapasów wody – Water reserves [mm]				
	0–50 [cm]	0–100 [cm]	0–150 [cm]	50–100 [cm]	100–150 [cm]
30.03.2001	155	296	353	141	57
27.04.2001	153	288	330	135	42
30.05.2001	105	218	266	113	48
02.07.2001	92	217	276	125	59
02.08.2001	132	309	397	177	88
30.08.2001	165	341	426	176	85
27.09.2001	185	380	466	195	86
03.04.2002	191	343	453	152	110
30.04.2002	170	336	405	166	69
29.05.2002	153	302	404	149	102
02.07.2002	92	188	224	96	36
29.07.2002	92	189	230	97	41
29.08.2002	118	193	224	75	31
30.09.2002	126	208	236	82	28
01.04.2003	183	362	418	179	56
30.04.2003	141	303	363	162	60
30.05.2003	129	301	431	172	130
01.07.2003	64	205	342	141	137
30.07.2003	72	191	286	119	95
29.08.2003	66	179	274	113	95
30.09.2003	75	261	338	186	77

Pod względem opadowym okres wegetacyjny roku 2002 scharakteryzowano jako normalny. W półmetrowej, wierzchniej warstwie profilu glebowego od początku kwietnia obserwowano stopniowe wyczerpywanie się wilgoci. Uwilgotnienie gleby odpowiadało wartościom wody wolnej i łatwo dostępnej dla roślin. W kolejnych miesiącach notowano spadek wilgotności, a uwilgotnienie odpowiadało wodzie trudno dostępnej dla roślin. W warstwie 50–100 cm sumy zapasów wody wynosiły 75–166 mm. W kwietniu i maju uwilgotnienie gleby odpowiadało wodzie wolnej, w pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego – wodzie trudno dostępnej dla roślin.

W kolejnej omawianej warstwie, tj. 100–150 cm pomierzone sumy zapasów zmieniły się od 28 mm (koniec września) do 110 mm (początek kwietnia). Uwilgotnienie gleby od kwietnia do połowy czerwca odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej dla roślin, w kolejnych miesiącach zaobserwowano stałe zmniejszanie się wielkości zapasów wody. Uwilgotnienie warstwy 100–150 cm odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej dla roślin.

W średnio suchym pod względem opadowym okresie wegetacyjnym 2003 roku w analizowanych warstwach pomierzone sumy zapasów wynosiły: w 0–50 cm – 64–183 mm, w 50–100 cm – 113–186 mm i 100–150 cm – 56–137 mm. Na początku kwietnia uwilgotnienie profilu glebowego w półmetrowej wierzchniej warstwie odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej dla roślin. Stopniowe wyczerpywanie się wilgoci obserwowano do lipca, a uwilgotnienie odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej dla roślin. W warstwie 50–100 cm w miesiącach IV–VI uwilgotnienie odpowiadało wartościom wody wolnej. W kolejnych miesiącach zaobserwowano stopniowe wyczerpywanie się wilgoci, uwilgotnienie odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej, a od sierpnia wody trudno dostępnej dla roślin. W kolejnej warstwie 100–150 cm sumy zapasów wody zmieniały się od 56 mm (kwiecień) do 137 mm (lipiec).

Na początku okresu wegetacyjnego uwilgotnienie gleby odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej. Od czerwca obserwowano wzrost wielkości zapasów wody, uwilgotnienie odpowiadało wartościom wody wolnej.

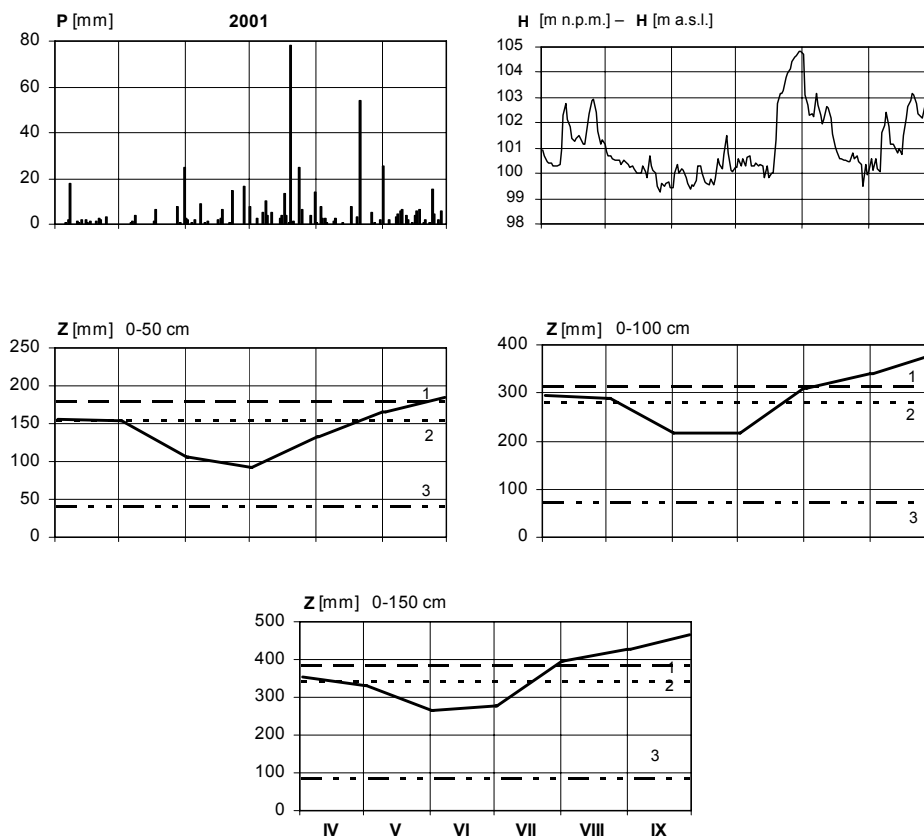
Wykorzystując sumy zapasów wody w okresie wegetacyjnym, opad atmosferyczny i stan wody w Odrze na wodowskazie Brzeg Dolny, sporządzono wykresy przebiegu sum zapasów wody.

Rysunki 12, 13 i 14 przedstawiają przebieg sum zapasów wody w warstwach: 0–50 cm, 0–100 i 0–150 cm w okresie wegetacyjnym w roku 2001, 2002 i 2003 na tle codziennych opadów atmosferycznych z posterunku Brzeg Dolny, stanów wody w Odrze w przekroju Brzeg Dolny – Nadzór oraz zapasów wody przy połowej pojemności wodnej, a także pojemności okresu suszy.

W okresie wegetacyjnym (IV–IX) roku 2001 dla warstw 0–50 cm, 0–100 i 0–150 cm sumy zapasów wody zmieniały się odpowiednio: w warstwie od 92 do 185 mm, od 217 do 380 mm i od 266 do 466 mm. Dla warstwy półmetrowej najmniejsze wartości sum zapasów wody zanotowano na początku lipca – 92 mm, jednometrowej – 217 mm (początek lipca), a dla półtorametrowej na koniec maja – 266 mm. Od początku lipca notowano wzrost wilgotności i na koniec okresu wegetacji sumy zapasów wody wyniosły w warstwie: 0–50 cm – 185 mm, 0–100 cm – 380 mm, 0–150 cm – 466 mm.

W warstwie 0–50 cm od kwietnia do połowy sierpnia uwilgotnienie profilu glebowego odpowiadało wartościom wody trudno dostępnej dla roślin. W kolejnych miesiącach zanotowano wzrost wielkości zapasów wody. We wrześniu uwilgotnienie mieściło się w przedziale odpowiadającym wodzie łatwo dostępnej dla roślin.

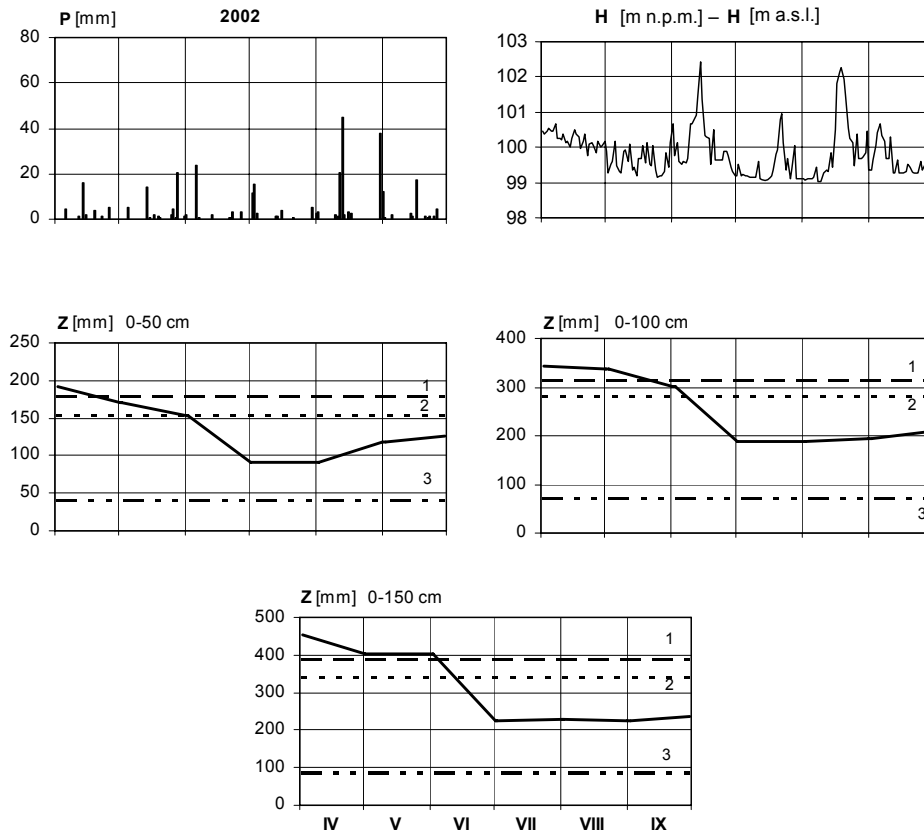
Uwilgotnienie warstw 0–100 cm i 0–150 cm w miesiącach IV–VII utrzymywało się na poziomie wody trudno dostępnej dla roślin. Od sierpnia obserwowano wzrost wilgotności profilu glebowego, uwilgotnienie odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej dla roślin i wody wolnej. Przyczyną takiej sytuacji były opady atmosferyczne i stany wody w Odrze. W półroczu letnim 2001 r. suma opadów wyniosła 520 mm, z tego w lipcu 186 mm. Na wodowskazie Brzeg Dolny – Nadzór na przełomie lipca i sierpnia wystąpiło wezbranie o półtoramiesięcznym czasie trwania i maksymalnej wysokości ok. 5,0 m. Porównując przebieg zapasów wody w analizowanych warstwach, można zauważyć, że od lipca nastąpił wzrost zapasów wody, spowodowany infiltracją efektywną (w czerwcu zanotowano 16, a w lipcu 17 dni, w których wystąpił opad). Na początku sierpnia w warstwie metrowej i półtorametrowej woda gruntowa dodatkowo zwiększyła uwilgotnienie profilu glebowego.



Rys. 12. Przebieg sum zasobów wody Z (mm) w warstwach: 0–50, 0–100, 0–150 cm na tle opadów atmosferycznych P (mm) i rzędnych zwierciadła wody w Odrze w przekroju Brzeg Dolny – Nadzór H (m n.p.m.) w okresie IV–IX w roku 2001; 1 – połowa pojemność wodna, 2 – pojemność okresu suszy, 3 – punkt trwałego wędnięcia roślin

Fig. 12. Course of water reserves Z (mm) in the layers: 0–50, 0–100, 0–150 cm on the background of the precipitation P (mm) and daily water levels in the Odra in the Brzeg Dolny section H (m a.s.l.) in period IV–IX 2001, 1 – field water capacity, 2 – drought water capacity, 3 – wilting point

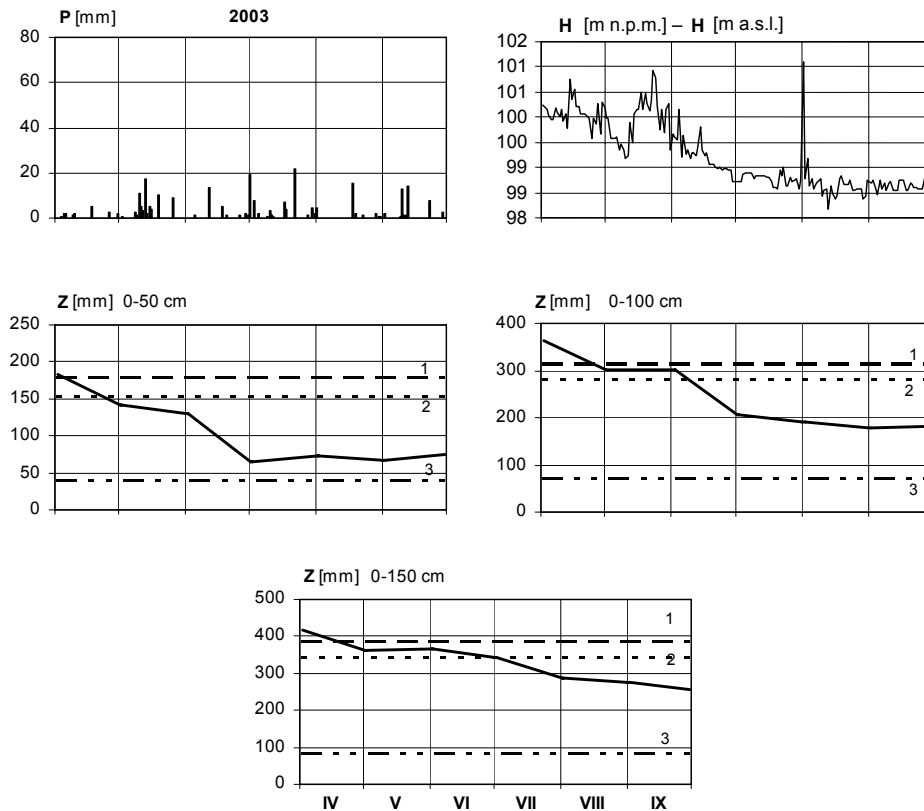
Przebieg zasobów wody oraz dynamika uwilgotnienia w okresie wegetacyjnym 2002 roku były zróżnicowane. Największe wartości sum zasobów wody dla analizowanych warstw zmierzono w kwietniu. W warstwie 0–50 cm – 191 mm, 0–100 cm – 343 mm i 0–150 cm – 453 mm. Od kwietnia do końca czerwca zaobserwowano wyczerpywanie się zasobów. Na początku lipca, dla wszystkich warstw, zanotowano najmniejsze wartości sum zasobów wody – 92, 188 i 224 mm dla warstw 0–50 cm, 0–100 i 0–150 cm. W warstwie półmetrowej wystąpił wzrost uwilgotnienia profilu glebowego i suma zasobów wody na koniec września wyniosła 126 mm. W warstwach metrowej i półorame-trowej zaobserwowano niewielki wzrost wilgotności i na koniec okresu wegetacji sumy zasobów wody odpowiednio wyniosły 208 i 236 mm.



Rys. 13. Przebieg sum zasobów wody Z (mm) w warstwach: 0–50, 0–100, 0–150 cm na tle opadów atmosferycznych P (mm) i rzędnych zwierciadła wody w Odrze w przekroju Brzeg Dolny – Nadzór H (m n.p.m.) w okresie IV–IX w roku 2002; 1 – połowa pojemność wodna, 2 – pojemność okresu suszy, 3 – punkt trwałego wędnięcia roślin

Fig. 13. Course of water reserves Z (mm) in the layers: 0–50, 0–100, 0–150 cm on the background of the precipitation P (mm) and daily water levels in the Odra in the Brzeg Dolny section H (m a.s.l.) in period IV–IX 2002, 1 – field water capacity, 2 – drought water capacity, 3 – wilting point

Stopniowe wyczerpywanie się wilgoci w profilu obserwowano od początku okresu wegetacyjnego. W warstwie 0–50 cm uwilgotnienie gleby odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej (IV, V), a w następnych miesiącach (VI, VII, VIII i IX) wartościom wody trudno dostępnej dla roślin. W kolejnych warstwach 0–100 i 0–150 cm od początku kwietnia do końca maja uwilgotnienie profilu odpowiadało wartościom wody wolnej, łatwo dostępnej (przełom maja i czerwca), a w następnych miesiącach okresu wegetacyjnego – wody trudno dostępnej dla roślin. W sierpniu wystąpiło 12 dni z opadem o łącznej sumie 120 mm. Na wodowskazie Brzeg Dolny – Nadzór w miesiącach IV–IX 2002 r. odnotowano dwa krótkotrwałe wezbrania (VI, VIII) o wysokości ok. 3,5 m.



Rys. 14. Przebieg sum zasobów wody Z (mm) w warstwach: 0–50, 0–100, 0–150 cm na tle opadów atmosferycznych P (mm) i rzędnych zwierciadła wody w Odrze w przekroju Brzeg Dolny – Nadzór H (m n.p.m.) w okresie IV–IX w roku 2003; 1 – połowa pojemność wodna, 2 – pojemność okresu suszy, 3 – punkt trwałego wędnięcia roślin

Fig. 14. Course of water reserves Z (mm) in the layers: 0–50, 0–100, 0–150 cm on the background of the precipitation P (mm) and daily water levels in the Odra in the Brzeg Dolny section H (m a.s.l.) in period IV–IX 2003; 1 – field water capacity, 2 – drought water capacity, 3 – wilting point

W okresie wegetacyjnym 2002 r. zwierciadło wody gruntowej zalegało na głębokości od 414 do 477 cm od powierzchni terenu (średnio 454 cm). Zaobserwowane wezbrania w cieku i zanotowane opady atmosferyczne nie spowodowały znacznego wzrostu wilgotności gleby.

W okresie IV–IX roku 2003 największe sumy zasobów dla omawianych warstw profilu glebowego wystąpiły na początku kwietnia: 183, 362 i 418 mm (warstwa 0–50 cm i 0–100 cm, 0–150 cm). Dla warstwy półmetrowej najmniejsze wartości sumy zasobów wody pomierzono na początku lipca i wyniosły 64 mm, dla warstw metrowej i półtora-metrowej na koniec sierpnia wyniosły odpowiednio 179 mm oraz 274 mm. W ciągu

całego okresu wegetacyjnego obserwowano zmniejszanie się zapasów wody. Uwilgotnienie w półmetrowej wierzchniej warstwie w kwietniu odpowiadało wartościom wody łatwo dostępnej, a w kolejnych miesiącach (maj – wrzesień) wody trudno dostępnej dla roślin. W warstwie metrowej i półtorametrowej, na początku wegetacji, uwilgotnienie profilu glebowego odpowiadało wartościom wody wolnej, od maja łatwo dostępnej oraz trudno dostępnej dla roślin (VI–IX). W miesiącach IV–IX 2003 r. suma opadów wyniosła 261 mm, najwyższą wartość miesięcznej sumy opadów zanotowano w lipcu (22 mm). W okresie wegetacyjnym 2003 r. zwierciadło wody gruntowej zalegało na głębokości przeciętnie od 444 do 543 cm od powierzchni terenu (średnio 495 cm). Na wodowskaziu Brzeg Dolny – Nadzór w analizowanym okresie odnotowano kilkudniowe wezbranie w Odrze o wysokości ok. 2,5 m. Zaobserwowane stany wody w rzece i opady atmosferyczne nieznacznie wpłynęły na wilgotność wierzchniej warstwy profilu glebowego.

Gospodarka wodna profilu glebowego w dolinie Odry oparta jest głównie na retencjonowaniu wód opadowych i zależy od ilości i rozkładu opadów atmosferycznych. Poziom zwierciadła wody gruntowej w piezometrze C3a w ciągu analizowanych okresów wegetacyjnych lat 2001–2003 kształtował się na głębokości ponad 3,5 m od powierzchni terenu. Jedynie w sierpniu 2001 r. głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej wyniosła ok. 2,8 m (rys. 11). Przyczyną takiej sytuacji były stosunkowo wysokie opady w lipcu i sierpniu oraz wezbranie na Odrze (ok. 5,0 m). Głęboko zalegające wody gruntowe mają niewielki wpływ na uwilgotnienie wierzchniej warstwy gleby.

7. ZASIĘG ODDZIAŁYWANIA STANÓW WODY W ODRZE SWOBODNIE PŁYNĄCEJ PONIŻEJ STOPNIA W BRZEGU DOLNYM NA PRZYLEGŁĄ DOLINĘ

Wpływ stanów wody w rzekach na poziom wód podziemnych występuje pod nazwą „związku stanu wód podziemnych i powierzchniowych”. Stosunek zmian stanów wody gruntowej do zmian stanów wody w cieku określany jest jako współczynnik zmienności stanów. Wielkość jego zmniejsza się w miarę oddalania się od koryta rzeki. Położenie wody gruntowej w sąsiedztwie rzeki jest ściśle związane ze stanami wody w cieku [Rze-gocki 1982; Mioduszeowski 1989].

Przy istnieniu współzależności stanów wody gruntowej i powierzchniowej w dolinie rzecznej zmiany korytotwórcze wpływają na poziom wody gruntowej. Zmiany rzędnych dna cieku nie pozostają bez wpływu na stany wody w korycie cieku oraz na kształtowanie się zwierciadła wody gruntowej w terenie przyległym. Wzmógł i długotrwały proces erozji dna poniżej budowli piętrzącej powoduje obniżanie się zwierciadła wody w cieku, a tym samym zwierciadła wody gruntowej w przyległej dolinie.

W celu oceny oddziaływania stanów wody w Odrze na wahania wód gruntowych w przyległej dolinie została przeprowadzona analiza codziennych bezpośrednich pomiarów głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w piezometrach położonych w różnej odległości od rzeki (od ok. 120 do ok. 1000 m) w okresie 11.04.2001–31.10.2003 na tle stanów wody w Odrze na wodowskaziu Malczyce. Za pomocą modelu matematycznego przeprowadzono symulację wezbrań na rzece w celu określenia zasięgu oddziaływania fali na przyległą dolinę. Dodatkowo określono zależności korelacyjne średnich tygodniowych stanów wody gruntowej w piezometrach i stanów wody w Odrze w analogicznym okresie.

7.1. Analiza codziennych pomiarów głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej na tle stanów wody w Odrze

W dolinie rzecznej na poziom wód gruntowych wpływa wiele czynników. Między innymi stany wody w korycie cieku oraz ich amplituda oddziałują na położenie i wahania zwierciadła wody gruntowej w terenie przyległym. Rzeka na analizowanym odcinku ma charakter drenujący w stosunku do sąsiadujących terenów doliny. Istniejący układ hydrogeologiczny umożliwia dobry kontakt wód powierzchniowych i gruntowych w dolinie [Praca zbiorowa 1968].

Amplituda wahań zwierciadła wody gruntowej pod wpływem stanów wody w rzece zależy głównie od: odległości od koryta rzeki, warunków hydrogeologicznych i meteorologicznych, amplitudy wahań oraz czasu trwania wezbrań wody w rzece.

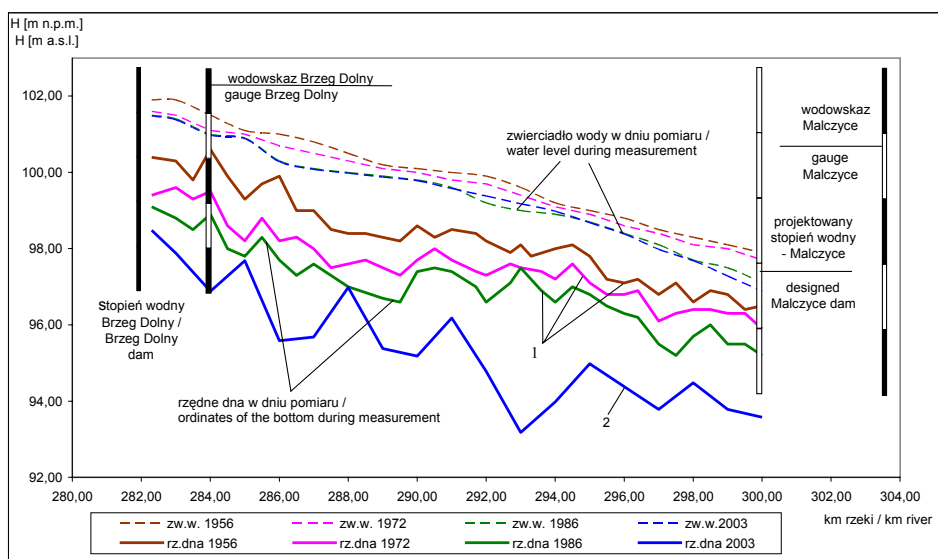
Eksploatacja stopnia w Brzegu Dolnym spowodowała niekorzystne zmiany w dnie rzeki poniżej stopnia. Poniżej budowli piętrzącej można zaobserwować nasilający się przebieg erozji lokalnej i liniowej. Aktualnie erozja liniowa obejmuje odcinek o długości ok. 60 km poniżej budowli. Przebieg zmian koryta Odry na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce przedstawia rys. 15 [Praca zbiorowa 1970–2003]. Coraz głębsze wcinanie się koryta rzeki powoduje zawężanie się koryta rzecznej, co utrudnia żeglugę. Wydłuża się czas służowania taboru rzecznej przez służę w Brzegu Dolnym z uwagi na zbyt małe napełnienie na dolnym progu, a także często wypłynięcie ze służy na wodę dolną staje się niemożliwe [Parzonka, Mokwa 1993].

Wieloletnie obserwacje procesów erozyjnych pozwoliły określić przebieg obniżania się dna Odry w Brzegu Dolnym i Malczycach [Serafin, Pływaczyk 1988; Parzonka i in. 1993]. Mokwa [2002] na podstawie uzyskanych wyników prognozuje, że rozwój erozji poniżej stopnia w Brzegu Dolnym w 2010 r. w stosunku do 1958 r. (oddanie stopnia do eksploatacji) w przekroju wodowskazowym Malczyce osiągnie głębokość ok. 4,0 m.

Zmiany rzędnych dna cieku nie pozostają bez wpływu na stany wody w rzece, które z kolei w sposób zasadniczy kształtują aktualne i przyszłe warunki wodne przyległej doliny, m.in. głębokość wody gruntowej.

Dokonano analizy najczęściej występujących oraz średnich rocznych stanów wody w Odrze na wodowskazie w Brzegu Dolnym, i Malczycach. Rozpatrywano okres przed wybudowaniem stopnia w Brzegu Dolnym, tj. lata 1950–1958 oraz 4 okresy po oddaniu do eksploatacji: 1959–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000 i lata: 2001, 2002, 2003. W ciągu analizowanych lat uległo obniżeniu, o 1,0 m, zero lat wodowskazowych zarówno w Brzegu Dolnym, jak i Malczycach. Dane zawarte w tab. 27 i 28 sprowadzono do porównywalnych wartości.

Najczęściej występujące stany wody w Odrze na obu wodowskazach obniżają się. Stan najczęściej występujący w Brzegu Dolnym i Malczycach w latach 1991–2000, w stosunku do okresu przed wybudowaniem stopnia, obniżył się o 190 cm. W 2001 r. stan najczęściej występujący wynosił 125 cm (zarówno w Brzegu Dolnym, jak i Malczycach), w roku 2003: –5 cm (na obu wodowskazach).



Rys. 15. Przebieg zmian dna koryta Odry i pomierzonego zwierciadła wody w latach 1956, 1972, 1986 i 2003 na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce; 1 – średnie rzędne dna w przekrojach pomiarowych koryta rzeki, 2 – rzędna dna w nurcie rzeki

Fig. 15. Course of the changes of the Odra river bed and measured water levels on the section Brzeg Dolny – Malczyce in 1956, 1972, 1986 and 2003; 1 – mean ordinates of the bottom in measured section of the river bed, 2 – ordinate of the bottom in the current

Tabela 27
Table 27

Stany najczęściej występujące w Odrze [cm] w okresie 1950–2003
Stages occurring the most frequently in the Odra river [cm] in 1950–2003

Okres Period	Stany najczęściej występujące Stages occurring the most frequently [cm]	
	Brzeg Dolny	Malczyce
1950–1958*	255	245
1959–1970	215	235
1971–1980	205	215
1981–1990	145	145
1991–2000	65	55
2001	125	125
2002	135	95
2003	–5	–5

*– okres przed wybudowaniem stopnia w Brzegu Dolnym
period before Brzeg Dolny dam was built

Tabela 28
Table 28

Średnie roczne stany wody w Odrze [cm] w okresie 1950–2003
Mean annual stages in the Odra river [cm] in 1950–2003

Okres Period	Średnie roczne stany wody Mean annual stages [cm]	
	Brzeg Dolny	Malczyce
1950–1958*	298	280
1959–1970	279	283
1971–1980	251	265
1981–1990	201	203
1991–2000	179	202
2001	184	182
2002	140	140
2003	79	78

* – okres przed wybudowaniem stopnia w Brzegu Dolnym
before Brzeg Dolny dam was built

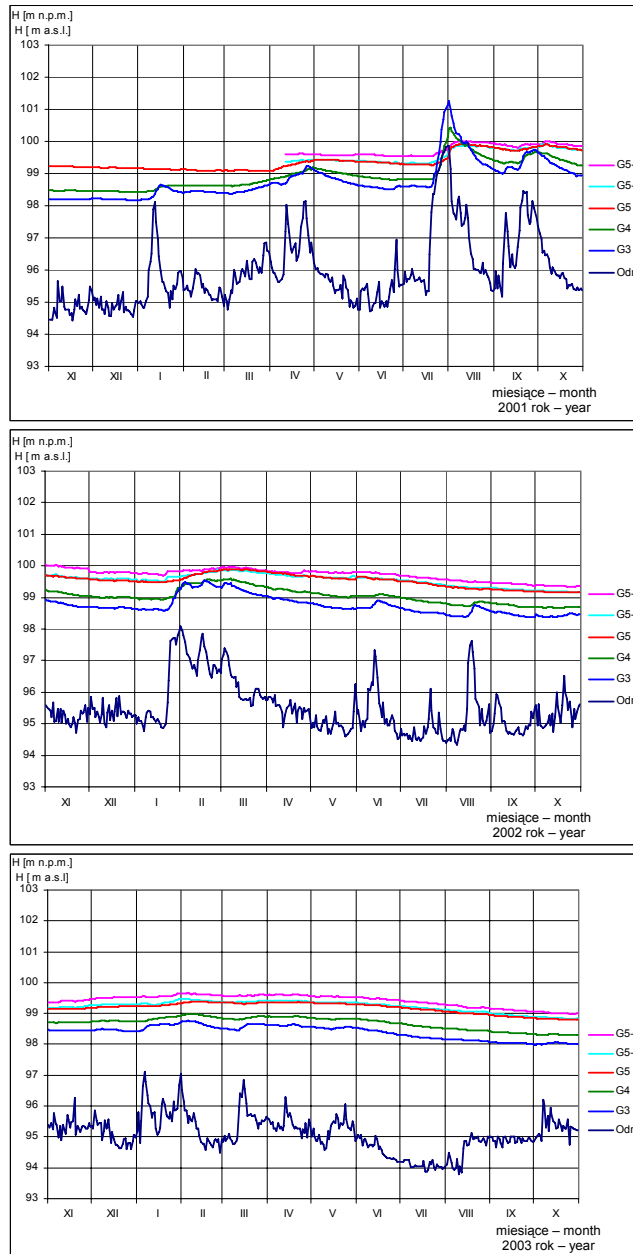
Obniżenie stanu najczęściej występującego spowodowało również obniżanie zwierciadła wody gruntowej w dolinie. Na terenach przyległych do Odry w latach 1971–1980 średni miesięczny poziom wody gruntowej układał się na ogół na głębokości większej od 250 cm, w kolejnych latach 1980–1995 poziom ten obniżył się o dalsze 50–80 cm. Powoduje to stopniową degradację pod względem przyrodniczym terenów i siedlisk w dolinie Odry (wysychanie starorzeczy) [Pływaczyk 1997, 2000; Olszewska 1998].

Średnie roczne stany wody w Odrze w okresie od 1950 do 2000 r. w obu wodowskazach się obniżają. Stan średni roczny w Brzegu Dolnym i Malczycach w latach 1991–2000 w stosunku do okresu przed wybudowaniem stopnia zmniejszył się o 119 cm w Brzegu Dolnym i 78 cm w Malczycach. W latach 2001, 2002 i 2003 w obu przekrojach wodowskazowych średnie roczne stany osiągnęły podobne wartości.

Do oceny wpływu stanów wody w rzece na kształtowanie się wody gruntowej wykorzystano codzienne pomiary głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w piezometrach (G3, G4, G5, G5-1 i G5-2), zlokalizowanych w dolinie Odry (km rzeki 296+500, na wysokości miejscowości Brodno) w odległości odpowiednio 120, 220, 550, 750 i 1000 m od koryta tej rzeki (rys. 1) oraz stanów wody w Odrze na wodowskazie Malczyce.

Na rys. 16 przedstawiono codzienne rzędne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w piezometrach (G3, G4, G5, G5-1 i G5-2) na tle codziennych stanów wody w Odrze w przekroju wodowskazowym Malczyce.

W 2001 r. zanotowano wezbranie na Odrze o wysokości 4,6 m. Stan wody w rzece wywołał reakcję wody gruntowej. W piezometrze G3 (w odległości ok. 120 m) wyniosło: 2,68 m (co stanowi 58,3% wysokości fali w Odrze) i 0,47 m (10,2%) w piezometrze G5-2 (usytuowanym w odległości ponad 1000 m).



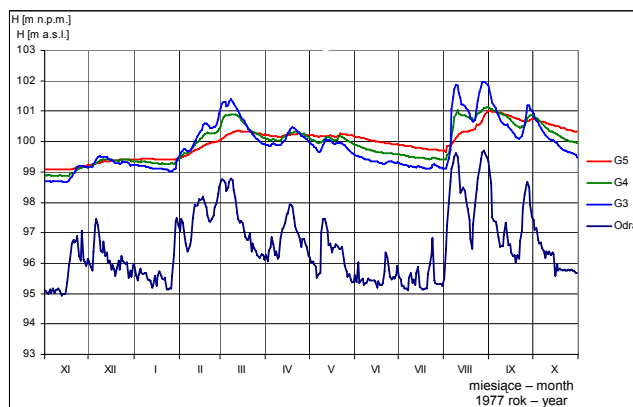
Rys. 16. Przebieg codziennych rzędnych zwierciadła wody w Odrze w przekroju Malczyce oraz w piezometrach G3, G4, G5, G5-1, G5-2 w latach 2001–2003

Fig. 16. Daily water levels in the Odra river in the Malczyce section and in the piezometers G3, G4, G5, G5-1, G5-2 in 2001–2003

W kolejnym roku 2002 zaobserwowano falę o wysokości 3,22 m. Spowodowała ona mniejsze przyrosty wody gruntowej. Największe wystąpiły w piezometrze G3: 0,88 m (co stanowi 27,3% wysokości fali w Odrze), a najmniejsze w piezometrze G5-2: 0,28 m (8,7% wysokości wezbrania).

Rok 2003 zaznaczył się wyrównanym przebiegiem zwierciadła wody w cieku. Największa wysokość wezbrania krótkotrwałego wyniosła 2,5 m. Przebieg codziennych rzędnych zwierciadła wody gruntowej, w analizowanych piezometrach, był wyrównany. W piezometrze G3 przyrost zwierciadła wody gruntowej wyniósł: 0,35 m (14,0% wysokości wezbrania w Odrze), a w G5-2: 0,14 m (5,6% wysokości fali).

Na rys. 17 przedstawiono codzienne rzędne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w piezometrach (G3, G4, G5) na tle wezbrania wody w Odrze w przekroju wodowskazowym Malczyce w roku 1977.



Rys. 17. Przebieg codziennych rzędnych zwierciadła wody w Odrze w przekroju Malczyce oraz w piezometrach G3, G4, G5 w roku 1977

Fig. 17. Daily water levels in the Odra river in the Malczyce section and in the piezometers G3, G4, G5 in 1977

Przebieg linii pokazuje, że wahania zwierciadła wody gruntowej zależą od stanów wody w Odrze, ich amplitudy i czasu trwania oraz odległości od koryta cieku [Głuchowska, Pływaczyk 2003 b; Głuchowska i in. 2004]. Na rys. 17 można zauważyć, że współczynnik zmienności stanów wody gruntowej, rozumiany jako stosunek zmian wody gruntowej do zmian wody w rzece, maleje jednocześnie ze wzrostem odległości od cieku [Pływaczyk 1997].

Wykorzystując codzienne obserwacje w okresie 11.04.2001–31.10.2003 w 5 piezometrach (G3, G4, G5, G5-1 i G5-2), opracowano zależność średnich tygodniowych stanów wody gruntowej w punktach pomiarowych od średnich tygodniowych stanów wody w Odrze, w przekroju wodowskazowym Malczyce. Przedstawiają się one następująco:

- piezometr G3 $y = -0,4318 \cdot x + 387,68$ $r = -0,849$
- piezometr G4 $y = -0,2977 \cdot x + 263,85$ $r = -0,721$

- piezometr G5 $y = -0,1722 \cdot x + 184,58$ $r = -0,527$
- piezometr G5-1 $y = -0,1670 \cdot x + 227,32$ $r = -0,507$
- piezometr G5-2 $y = -0,1521 \cdot x + 238,32$ $r = -0,504$

gdzie:

x – stan wody gruntowej w piezometrze (odległość od krawędzi piezometru) [cm],

y – stan wody w Odrze na wodowskaziu Malczyce [cm],

r – współczynnik korelacji.

Współczynnik korelacji przyjmuje największą wartość (0,849) dla piezometru G3, którego odległość od koryta rzeki wynosi 120 m, a dla piezometru G5-2, położonego najdalej od ciekłu (ok. 1000 m), wynosi 0,504.

Z opracowanych zależności wynika, że jednocześnie ze wzrostem stanów wody w Odrze podnosi się poziom wody gruntowej w terenie przyległym. Największe zmiany głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej występują w pasie doliny w najbliższym sąsiedztwie rzeki [Głuchowska, Pływaczyk 2003 b; Głuchowska i in. 2004; Olszewska i in. 2006].

Dysponując codziennymi głębokościami zalegania wody gruntowej w piezometrach G3, G4 i G5 w latach 1976–1989 i 1997–2003 oraz w G5-1 i G5-2 (w okresie 2001–2003), a także codziennymi stanami na wodowskaziu Malczyce, obliczono stany najczęściej występujące w punktach pomiarowych i zestawiono je w tab. 29.

Tabela 29

Table 29

Najczęściej występujące głębokości zalegania wód gruntowych [m] w piezometrach G3, G4, G5, G5-1 i G5-2 i Odrze w latach 1976–2003

Occurring the most frequently groundwater level [m] in piezometers G3, G4, G5, G5-1 i G5-2 and in the Odra river in years 1976–2003

Rok Year	G3 [m]	G4 [m]	G5 [m]	G5-1 [m]	G5-2 [m]	Odra [m]
1	2	3	4	5	6	7
1976	2,85	2,05	1,95	□	□	1,15
1977	2,45	0,95	0,85	□	□	2,15
1978	2,85	1,95	1,85	□	□	1,45
1979	2,55	1,75	1,75	□	□	1,25
1980	2,75	1,85	1,75	□	□	1,15
1981	2,65	1,65	1,55	□	□	1,05
1982	3,35	2,35	2,15	□	□	2,05
1983	3,55	1,95	2,05	□	□	0,75
1984	3,35	2,45	2,35	□	□	1,45
1985	2,75	1,85	1,65	□	□	1,85
1986	2,95	2,05	1,75	□	□	1,75
1987	3,05	2,15	1,85	□	□	1,55
1988	3,25	2,25	1,65	□	□	1,45
1989	3,25	2,35	2,05	□	□	1,35
1990	3,23	2,27	2,05	□	□	0,65

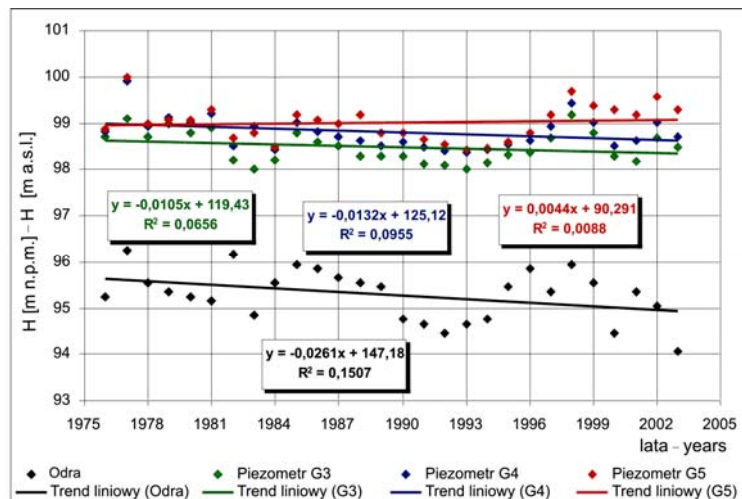
Tabela 29 cd.
Table 29 cont.

1	2	3	4	5	6	7
1991	3,42	2,38	2,19	□	□	0,55
1992	3,44	2,48	2,28	□	□	0,35
1993	3,53	2,51	2,44	□	□	0,55
1994	3,38	2,45	2,50	□	□	0,65
1995	3,22	2,32	2,24	□	□	1,35
1996	3,15	2,25	2,05	□	□	1,75
1997	2,85	1,95	1,65	□	□	1,25
1998	2,35	1,45	1,15	□	□	1,85
1999	2,75	1,85	1,45	□	□	1,45
2000	3,25	2,35	1,55	□	□	0,35
2001	3,35	2,25	1,65	1,95	2,05	1,25
2002	2,85	1,85	1,25	1,65	1,85	0,95
2003	3,05	2,15	1,55	1,95	2,05	-0,05

Podjęmowano próby uzupełnienia ciągów obserwacji wód gruntowych w dolinie Odry, jednak uzyskane wyniki były niezadowolające [Chalfen i in. 2002].

Brakujące średnie roczne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w okresie 1991–1995 dla piezometrów G3, G4 i G5 uzupełniono, wykorzystując program komputerowy FIZ (opisany w podrozdziale 7.2 niniejszej pracy).

Graficzną ilustrację tendencji zmian stanów najczęściej występujących w analizowanych punktach piezometrycznych i Odrze przedstawiono na rys. 18.



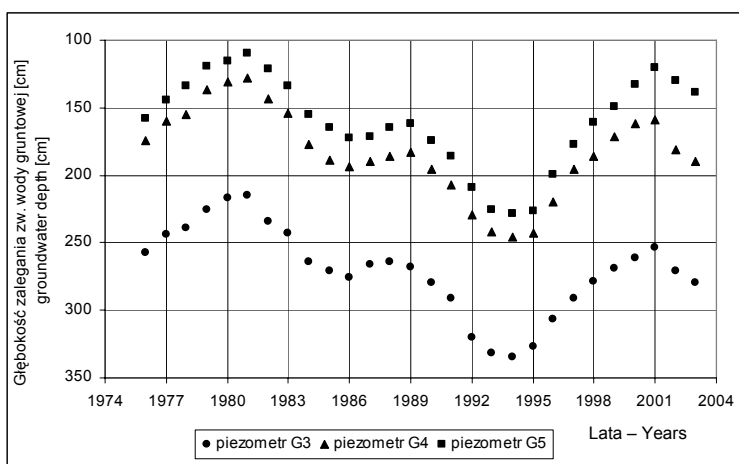
Rys. 18. Tendencja obniżania się najczęściej występujących stanów wody w Odrze i wody gruntowej w piezometrach G3, G4 i G5 [m n.p.m.] oraz równania trendu liniowego w latach 1976–2003

Fig. 18. Tendency the most frequent water levels in the Odra river and in the piezometers G3, G4, G5 [m a. s. l.] and equations trend line in years 1976–2003

Z analizy wykresów wynika, że występuje tendencja obniżania się stanów najczęściej występujących zarówno w Odrze, jak i piezometrach G3 i G4. Dla piezometru G5 (oddalonego ok. 550 m od koryta cieku) zaobserwowano nieznaczną tendencję wzrostową.

Tempo obniżania się stanów wody gruntowej najczęściej występujących jest zmienne w czasie i zależy od dynamiki zmian stanów wody w Odrze.

W celu przedstawienia kształtowania się głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w okresach wegetacyjnych lat 1976–2003 dokonano analizy średnich głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w okresie wegetacyjnym (IV–IX) w piezometrach G3, G4 i G5. Na podstawie tych wartości sporządzono wykres przebiegu średnich głębokości zalegania wody gruntowej z 5-leci przesuwanych o jeden rok w okresie wegetacyjnym w latach 1976–2003 (rys. 19).



Rys. 19. Przebieg średnich głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej z 5-leci przesuwanych o jeden rok w okresie wegetacyjnym w latach 1976–2003 dla piezometrów G3, G4 i G5
 Fig. 19. Course of the mean from 5 years deplced of one groundwater level in the piezometers G3, G4, G5 in the vegetation periods of years 1976–2003

Z analizy przebiegu średnich głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w okresach wegetacyjnych w latach 1976–1981 wynika, że we wszystkich punktach pomiarowych poziom wody gruntowej podnosił się; w piezometrze G3 ok. 42 cm, w G4 ok. 46 cm i ok. 48 cm w piezometrze G5.

W latach 1982–1986 zwierciadło wody gruntowej w omawianych studzienkach badawczych obniżyło się średnio ok. 63 cm. W drugiej połowie lat 80. zaobserwowano nieznaczne wahania głębokości zalegania wody gruntowej.

W okresie 1989–1994 woda gruntowa systematycznie opadała. Odległość zwierciadła wody gruntowej od terenu zwiększyła się w piezometrze: G3 ok. 67 cm, G4 ok. 63 cm i G5 ok. 66 cm.

W latach 1995–2001, w analizowanych punktach pomiarowych, stwierdzono podniesienie się poziomu wody gruntowej – średnio o ok. 70 cm. W 2001 r. zwierciadło wody

gruntowej znajdowało się najbliżej od terenu, w kolejnych latach (2002 i 2003) poziom wody gruntowej się obniżał.

Przedstawione linie pokazują, że w analizowanej części lewobrzeżnej doliny Odry w latach 1981–1994 zwierciadło wody gruntowej systematycznie się obniżało. W roku 1994 we wszystkich piezometrach zanotowano największe odległości wody gruntowej od terenu (G3 – 335 cm, G4 – 246 cm i G5 – 228 cm).

Zaobserwowane głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w okresach wegetacyjnych lat 1976–2003 nie osiągnęły wartości z roku 1981, kiedy to zwierciadło wody gruntowej zalegało najpłycej, odległość wody gruntowej od terenu wahała się w granicach: 215 cm (piezometr G3), 128 cm (piezometr G4) i 110 cm (piezometr G5).

7.2. Ocena reakcji zwierciadła wody gruntowej na stany wody w Odrze za pomocą modelu matematycznego

Podstawową zaletą matematycznych badań modelowych jest możliwość uwzględnienia parametrów hydrogeologicznych, dwuwymiarowych przepływów wody podziemnej oraz różnorodnych kształtów granic obszarów. W obliczeniach symulacyjnych wykorzystano program komputerowy FIZ (Filtracja i zanieczyszczenie), przeznaczony do modelowania nieustalonego przepływu wód w strefie pełnego nasycenia [Chalfen i in. 1989; Chalfen 1990 a, 1990 b]. Zastosowany model jest modelem płaskim w planie, w układzie dwóch zmiennych przestrzennych.

Proces przepływu wody podziemnej przez ośrodek porowaty, niejednorodny pod względem wodoprzepuszczalności opisuje, równanie Boussinesque'a:

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_1 \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_2 \frac{\partial h}{\partial y} \right) + W$$

gdzie:

x, y – zmienne przestrzenne, $(x, y) \in \Omega$, Ω - obszar modelowany [m^2],

t – czas [doba],

h – funkcja trzech zmiennych (x, y, t) , niewiadoma oznaczana fizycznie jako wysokość piezometryczna w punkcie o współrzędnych x, y w chwili t [m],

$\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial y}, \frac{\partial h}{\partial t}$ – pochodne cząstkowe funkcji niewiadomej po zmiennej x, y lub t [$m^2 \cdot \text{doba}^{-1}$],

μ – parametr określający odsączalność, zależny od rodzaju filtracji [-],

T_1 – wodoprzepuszczalność w kierunku osi OX, $T_1 = k_1 (h - a)$ [$m^2 \cdot \text{doba}^{-1}$],

T_2 – wodoprzepuszczalność w kierunku osi OY, $T_2 = k_2 (h - a)$ [$m^2 \cdot \text{doba}^{-1}$],

k_1, k_2 – współczynnik wodoprzepuszczalności w kierunku osi OX i OY [$m \cdot \text{doba}^{-1}$],

a – rzędna spągu [m n.p.m.],

W – funkcja źródłowa (tutaj infiltracja efektywna) [$m \cdot \text{doba}^{-1}$].

Równanie to uzupełniono warunkiem początkowym i odpowiednio dobranymi warunkami brzegowymi Neumana.

Rozwiązanie równania Boussinesque'a następuje przy wykorzystaniu metody elementów skończonych. Obszar filtracji Ω został podzielony na skończoną ilość elementów trójkątnych. Dla każdego z wierzchołków, które tworzą węzły siatki, określono następujące wielkości: współczynnik filtracji k w kierunku osi OX i OY , współczynnik odsączalności grawitacyjnej μ oraz rzędne stropu i spągu warstwy przepuszczalnej. Dane hydrogeologiczne zostały opracowane na podstawie posiadanych materiałów, w tym map, przekrojów hydrogeologicznych przez dolinę Odry (rzędne spągu, stropu i terenu), opracowań, zestawień (współczynniki filtracji i odsączalności) [Praca zbiorowa 1968, 1970–2003; Nawalany, Pływaczyk 1984, 1985; Pływaczyk i in. 1992].

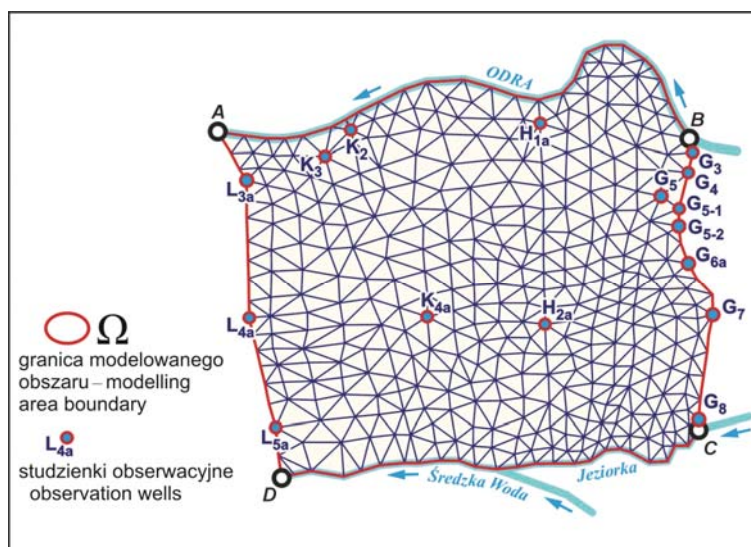
Program komputerowy FIZ zastosowano do obliczenia głębokości zwierciadła wody gruntowej na wybranym obszarze lewobrzeżnej doliny Odry pomiędzy 296 km a 301 km rzeki. Północną granicę terenu stanowi Odra (AB), południową – Średzka Woda i jej dopływ Jeziorka (CD), natomiast wschodnią i zachodnią wyznaczają przekroje poprowadzone przez dolinę prostopadle do cieków (BC i AD). Na granicy wschodniej i zachodniej oraz wewnątrz obszaru znajdują się punkty pomiarowe (studnie gospodarskie i piezometry), w których prowadzono pomiary głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej. Modelowany fragment lewobrzeżnej doliny Odry ma powierzchnię ok. 10 km².

Obszar przewidziany do modelowania został pokryty siatką elementów trójkątnych (trójkąty o długości boku średnio ok. 100 m). Siatka liczy 685 trójkątów i 385 węzłów. Każdemu trójkątowi przypisano numery węzłów. Rysunek 20 przedstawia modelowany obszar doliny Odry pokryty siatką trójkątów.

Po wprowadzeniu wszystkich niezbędnych danych przeprowadzono proces tarowania modelu. Tarowanie miało na celu sprawdzenie przyjętych wartości parametrów m.in. współczynnika filtracji i odsączalności, wielkości infiltracji efektywnej i natężenia przepływu – warunek Neumana. Następnie porównano położenie zwierciadła wody gruntowej w punktach pomiarowych, obliczonych za pomocą modelu z wartościami pomierzonymi w terenie.

Tarowanie zostało przeprowadzone dla okresu 1978–2002. Na tym etapie określono następujące parametry: wielkość natężenia dopływu przez brzeg BC i odpływu przez brzeg AD, infiltrację efektywną oraz parowanie wody ze strefy saturacji. Wstępnie wartości natężenia przepływu i infiltracji efektywnej zostały przyjęte na podstawie badań przeprowadzonych w lewobrzeżnej dolinie Odry [Pływaczyk 1988, 1992].

Dla wprowadzonych danych dotyczących parametrów hydraulicznych systemu, danych meteorologicznych oraz warunków brzegowego i początkowego uzyskano wyniki niezadowolające. Aby je poprawić, skorygowano m.in. wartość infiltracji efektywnej.



Rys. 20. Siatka trójkątów: ABCD – granice modelowanego obszaru
 Fig. 20. Triangular network: ABCD – modelling area boundary

Infiltrację efektywną określa się za pomocą wskaźnika infiltracji „w”, oznacza on stosunek wysokości infiltracji do wysokości opadu rocznego:

$$w = W/P$$

gdzie:

- W – wysokość infiltracji efektywnej [mm],
- P – suma roczna opadu [mm].

Wielkość współczynnika infiltracji można określić z wykresów. Na podstawie badań lizymetrycznych, oddzielnie dla utworów piaszczystych i gliniastych, zostały sporządzone wykresy. Wynika z nich, że infiltracja wzrasta liniowo jednocześnie ze wzrostem opadów. Posługując się wykresami, można wyznaczyć orientacyjne wartości infiltracji w zależności od wysokości opadu, rodzaju gleby i roślinności [Kowalski 1987].

Określenie wielkości zasilania wód gruntowych nie jest łatwe, stosując różne metody [Pływaczyk 1992], uzyskuje się różne wielkości. Wynikają one z odmiennej metodyki oraz zastosowanych uproszczeń. Zasilanie wód gruntowych [W] wg badań opartych:

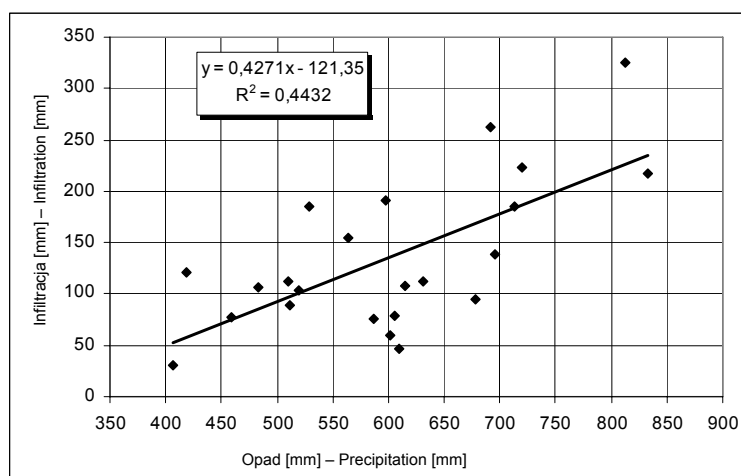
- o wahań poziomu wód gruntowych $W = 124 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$,
- na wskaźniku odpływu ze zlewni $W = 68 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$,
- o pomiary lizymetryczne $W = 112 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Złożoność zjawiska nie pozwala na dokładne obliczenie wielkości infiltracji, a jedynie na oszacowanie.

Średnia roczna wartość zasilania wód gruntowych opadami atmosferycznymi wynosi $W=101 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1} \rightarrow \text{mm}=0,28 \text{ m} \cdot \text{doba}^{-1}$ (dla wartości opadu rocznego $P \approx 600 \text{ mm}$ W stanowi $\approx 17\%$ opadu) [Pływaczyk 1997].

Na potrzeby modelu wprowadzono uproszczenia, dotyczące przyjętych wartości wskaźnika infiltracji oraz parowania ze strefy saturacji.

Przyjęto wartość infiltracji efektywnej dla rocznej sumy opadów w każdym roku (w okresie 1978–2003), następnie oceniono zależność pomiędzy tymi wielkościami. Rysunek 21 przedstawia zależność wielkości infiltracji od opadu.



Rys. 21. Zależność infiltracji od opadu
Fig. 21. Relationship between infiltration and precipitation

Dla tak wyznaczonych wartości wskaźnika infiltracji obliczony współczynnik korelacji wynosi: $r=0,66$ i wg Sobczyka [2004] jest to korelacja wysoka.

Wartość parowania oszacowano wg schematu: w miesiącach od X do III wielkość parowania przyjęto $0,35 \text{ [mm} \cdot \text{doba}^{-1}]$, a w miesiącach letnich (IV–IX) $0,5 \text{ [mm} \cdot \text{doba}^{-1}]$ [Rojek 1989]. Do utworzenia pliku określającego opad i parowanie zostały wykorzystane dobowe sumy opadów atmosferycznych z posterunku meteorologicznego IMGW w Malczycach.

Weryfikację modelu przeprowadzono na niezależnych danych pomiarowych głębokości zwierciadła wody gruntowej w wybranych punktach pomiarowych w roku hydrologicznym 2003. Zostały porównane wyniki badań modelowych z wartościami uzyskanymi z pomiarów terenowych w piezometrach i studniach gospodarskich. Klasyfikacji jakości modelu dokonano wg Sarmy [1973], w której uwzględnia się:

- całkowity błąd kwadratowy CBK

$$CBK = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [H_o(t) - H_m(t)]^2}}{\sum_{i=1}^n H_o(t)} \cdot 100$$

– specjalny współczynnik korelacji RS

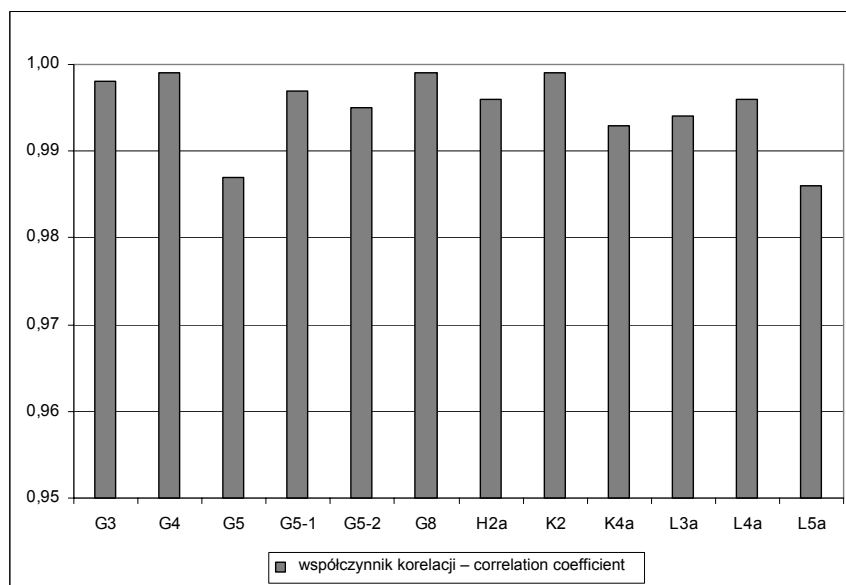
$$RS = \sqrt{\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n [H_o(t) \cdot H_m(t)] - \sum_{i=1}^n [H_m(t)]^2}{\sum_{i=1}^n [H_o(t)]^2}}$$

gdzie:

$H_o(t)$ – pomierzona głębokość zwierciadła wody gruntowej po czasie t [m],

$H_m(t)$ – obliczona głębokość zwierciadła wody gruntowej po czasie t [m].

Na podstawie obliczonych i przedstawionych (rys. 22) wskaźników oceny jakości modelu (CBK i RS), dla większości punktów pomiarowych, model oceniono jako bardzo dobry.



Rys. 22. Obliczony współczynnik korelacji (RS) dla studzienek
Fig. 22. Calculation correlation coefficient for wells

Analiza porównawcza rzędnych zwierciadła wody gruntowej obliczonych z zastosowaniem modelu z wielkościami pomiarów terenowych wykazuje, że lepszą zgodność uzyskano dla punktów badawczych znajdujących się na brzegach obszaru. Znaczne różnice wystąpiły wewnątrz modelowanego terenu (do ok. 40 cm). Zaistniały fakt można tłumaczyć lepszym rozpoznaniem warunków hydrogeologicznych na brzegach obszaru.

W celu uzyskania lepszej zgodności wyników należałoby przeprowadzić dodatkowe studia związane z lepszym rozpoznaniem warunków wodnych ośrodka gruntowego (współczynnik filtracji, odsączalność) i wielkości dopływu wody do modelowanego obszaru.

Przedstawiony model matematyczny wykorzystano, oceniając wpływ stanu wody w Odrze na wahania zwierciadła wody gruntowej w przyległej dolinie.

W symulacji zastosowano parametry wezbrań zbliżone do wielkości fal zaobserwowanych na wodowskazie Malczyce w latach 1976–2003. W obliczeniach uwzględniono parametry charakteryzujące wezbrania: czas osiągnięcia maksimum, czas opadania oraz amplitudę [Chalfen i in. 2004].

Symulacja została przeprowadzona dla fal wezbraniowych o następujących wielkościach:

- A: czas osiągnięcia maksimum 7 dni, czas opadania 14 dni,
- B: czas osiągnięcia maksimum 14 dni, czas opadania 35 dni.

Poniżej przedstawiono wyniki symulacji dla wariantów wezbrań.

Wariant A:

Czas osiągnięcia maksimum – 7 dni,

Czas opadania – 14 dni.

W tab. 30 (dla wariantu A) i 31 (dla wariantu B) zestawiono wartości przyrostów rzędnych zwierciadła wody gruntowej w różnych odległościach od koryta rzeki i różnej wysokości fali. Wielkości te uzyskano, porównując rzędne zwierciadła wody gruntowej w wybranych piezometrach usytuowanych w różnej odległości od rzeki, ze stanem wody w rzece w chwili kulminacji, po przejściu fali oraz w stanie wyjściowym.

Tabela 30

Table 30

Przyrosty rzędnych zwierciadła wody gruntowej [m] w piezometrach G3, G4, G5, G5-1 i G5-2
Increase groundwater levels [m] in piezometers G3, G4, G5, G5-1 and G5-2

Wysokość fali Height wave [m]	Piezometry Piezometers				
	G3	G4	G5	G5-1	G5-2
2,5	1,26	0,23	0,12	0,08	0,06
3,0	1,53	0,28	0,14	0,08	0,06
3,5	1,80	0,34	0,17	0,09	0,07
4,0	2,07	0,39	0,20	0,09	0,07
4,5	2,35	0,45	0,23	0,10	0,08
5,0	2,63	0,51	0,25	0,11	0,08
5,5	2,91	0,56	0,28	0,11	0,09
6,0	3,19	0,62	0,62	0,12	0,09

Podczas obliczeń symulacyjnych dla wariantu A rzędne zwierciadła wody gruntowej w piezometrze G3 wzrosły o 1,26 m, a w piezometrze G5-2: 0,06 m (przy wysokości fali 2,5 m). Dla tego samego wariantu i wysokości fali 6,0 m rzędne zwierciadła wody gruntowej, w tych samych studzienkach obserwacyjnych, wzrosły o 3,19 i 0,09 m. Wzrost wysokości fali powoduje większy przyrost rzędnych zwierciadła wody gruntowej.

Wariant B:

Czas osiągnięcia maksimum – 14 dni,

Czas opadania – 35 dni.

Tabela 31

Table 31

Przyrosty rzędnych zwierciadła wody gruntowej [m] w piezometrach G3, G4, G5, G5-1 i G5-2
Increase groundwater levels [m] in piezometers G3, G4, G5, G5-1 and G5-2

Wysokość fali Height wave [m]	Piezometry – Piezometers				
	G3	G4	G5	G5-1	G5-2
2,5	1,29	0,40	0,23	0,11	0,09
3,0	1,57	0,49	0,28	0,13	0,10
3,5	1,84	0,58	0,33	0,14	0,11
4,0	2,12	0,68	0,38	0,16	0,11
4,5	2,40	0,77	0,44	0,18	0,13
5,0	2,69	0,87	0,51	0,19	0,14
5,5	2,98	0,97	0,57	0,21	0,15
6,0	3,27	1,08	0,64	0,23	0,16

Dla analizowanego wariantu, przy analogicznych wysokościach fal, uzyskano następujące wielkości przyrostu rzędnych zwierciadła wody gruntowej: od 1,29 m w piezometrze G3 do 0,09 m w piezometrze G5-2 (dla fali 2,5 m) oraz 3,27 do 0,16 m (fala o wysokości 6,0 m). Analizując wartości przyrostu rzędnych zwierciadła wody gruntowej, stwierdzono, że największe przyrosty wystąpiły w studzienkach obserwacyjnych usytuowanych najbliżej rzeki, a w miarę oddalania się od koryta cieku przyrosty rzędnych zwierciadła wody gruntowej malały.

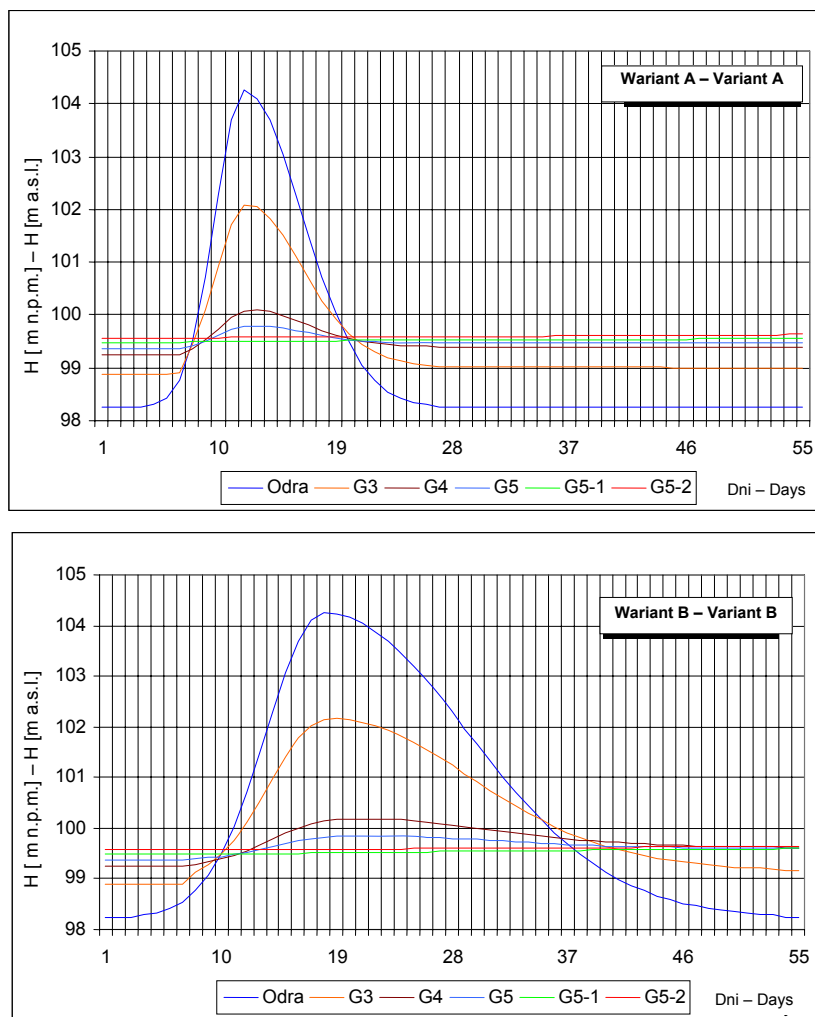
Średni przyrost zwierciadła wody gruntowej w stosunku do wysokości fali na rzece w zależności od odległości od rzeki przedstawiono w tab. 32.

Tabela 32

Table 32

Średni przyrost zwierciadła wody gruntowej (Δh zwg) w zależności od wysokości fali [%]
w różnej odległości od rzeki
Mean increase of groundwater level (Δh zwg) depended on height wave in different distance
from river

Odległość od rzeki – Distance from river [m]	Δh zwg [%]
120	53,0
220	13,0
550	8,0
750	4,0
1000	3,0



Rys. 23. Przebieg codziennych rzędnych zwierciadła wody w Odrze oraz w dolinie w różnych odległościach od rzeki w czasie trwania wezbrania

Fig. 23. Daily water levels in the Odra river and valley in different distance from river during water stage

W odległości 1000 m od rzeki przyrosty rzędnych zwierciadła wody gruntowej występują w przedziale od 2 do 3,6% wysokości wezbrania. Wyższe wartości występują bliżej koryta rzeki (w odległości 120 m wahają się od 51 do 54% wysokości wezbrania) i maleją jednocześnie ze wzrostem odległości od ciek.

Rysunek 23 przedstawia rzędne zwierciadła wody w Odrze oraz w dolinie w różnych odległościach od rzeki dla wybranych wariantów, tj. wariant A: czas osiągnięcia maksimum – 7 dni, czas opadania – 14 dni, wysokość fali – 6,0 m oraz wariant B: czas osiągnięcia maksimum – 14 dni, czas opadania – 35 dni, wysokość fali – 6,0 m.

Przebieg rzędnych zwierciadła wody w Odrze oraz w dolinie dla wybranych wariantów jest odmienny. Przy danej wysokości i podstawie fali wezbraniowej w rzece przyrost zwierciadła wody gruntowej zmniejsza się jednocześnie ze wzrostem odległości od rzeki. Stan w rzece o krótszym czasie kulminacji i opadania powoduje przyrosty zwierciadła wody gruntowej w mniejszej odległości od rzeki. Zwiększenie czasu osiągnięcia kulminacji i opadania powoduje wzrost zasięgu oddziaływania wody w rzece na wody gruntowe w przyległej dolinie.

Wysokość rzędnych zwierciadła wody gruntowej zależy od rzędnych fali w rzece. Jednocześnie ze wzrostem wysokości fali zwiększa się przyrost rzędnych zwierciadła wody gruntowej w tych samych odległościach od rzeki. Przebieg rzędnych potwierdza, że zmienność stanów wody powierzchniowej wywołuje zmiany w głębokościach zalegania zwierciadła wody gruntowej.

Im dłuższy czas wzrostu i opadania fali, tym większy jest przyrost rzędnych zwierciadła wody gruntowej, a także zwiększa się zasięg oddziaływania wezbrania w rzece na wody gruntowe w terenach przyległych, np. dla wariantu A w odległości ok. 550 m przyrosty zwierciadła wody gruntowej zmieniały się od 0,12 do 0,31 m, dla wariantu B – od 0,23 do 0,64 w tej samej odległości.

Dla omawianych przypadków symulacji fal na Odrze zostały przeprowadzone obliczenia w celu określenia zależności przyrostu zwierciadła wody gruntowej od odległości od koryta rzeki przy danej amplitudzie fali wezbraniowej w rzece. Uzyskano równanie w postaci: $y = a \cdot \exp(-bx)$. Dla wszystkich wariantów współczynnik „b” ma zbliżoną wartość i wynosi ok. 0,004. Określono zależność pomiędzy współczynnikiem „a” a wysokością fali. Otrzymano zależność liniową typu $a = h - 0,28$, gdzie h to amplituda fali [m].

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły wyprowadzić wzór, który umożliwia obliczenie przyrostu zwierciadła wody gruntowej w odległości „x” od rzeki przy amplitudzie fali w rzece równej „h”:

$$\Delta h_{zgw.} = (0,9 \cdot \Delta h_{rz.} - 0,28) \cdot e^{-0,004x}$$

gdzie:

$\Delta h_{zgw.}$ – przyrost zwierciadła wody gruntowej [m],

$\Delta h_{rz.}$ – przyrost zwierciadła wody w rzece [m],

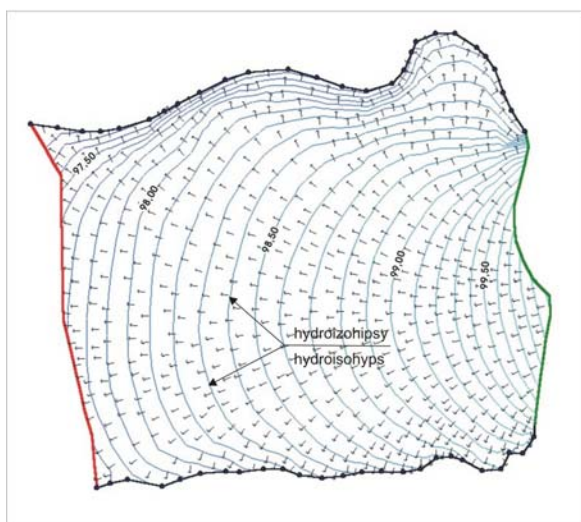
x – odległość od rzeki [m].

Przykładowo dla $\Delta h_{rz.} = 6,0$ m i $x = 1000$ m $\rightarrow \Delta h_{zgw.} = \text{ok. } 0,10$ m.

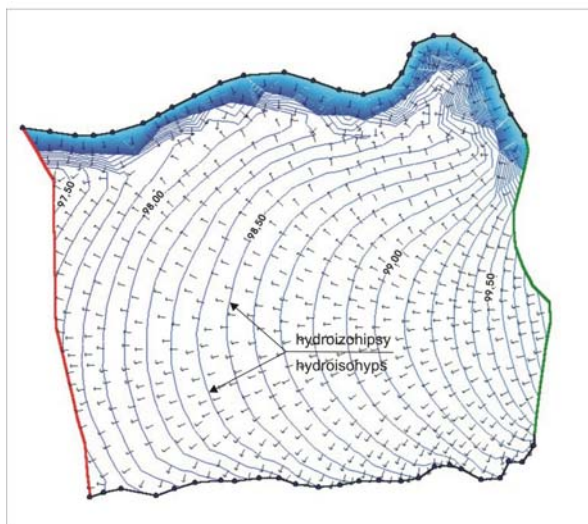
Dla amplitudy zwierciadła wody w rzece równej 6,0 m i odległości 1000 m od jej koryta obliczone wartości, za pomocą modelu, przyrostu zwierciadła wody gruntowej wahają się od 0,09 (tab. 30) do 0,16 (tab. 31). Obliczona wartość przyrostu zwierciadła wody gruntowej ze wzoru różni się od wartości uzyskanej na podstawie symulacji. Różnica wynika z zaokrągleń współczynnika „b”.

W celu zilustrowania przebiegu zwierciadła wody gruntowej podczas symulacji fali wezbraniowej na rzece (wariant B) przedstawiono schematyczny układ hydroizohips z zaznaczonymi wektorami kierunku i prędkości przepływu wody przy symulacji wysokości fali na Odrze (rys. 24). Rysunek 24a obrazuje układ zwierciadła wody gruntowej w chwili rozpoczęcia kulminacji, rys. 24b pokazuje układ wód gruntowych na analizowanym fragmencie doliny w chwili kulminacji. Można zauważyć infiltrujący charakter rzeki w stosunku do przyległego terenu, kierunek przepływu wody jest od ciek w kierunku doliny.

Rysunek 24c przedstawia stan po przejściu fali. Kierunek przepływu wody gruntowej prowadzi w stronę rzeki. Zaznacza się granica wpływu stanu wody w rzece na wody gruntowe w dolinie.

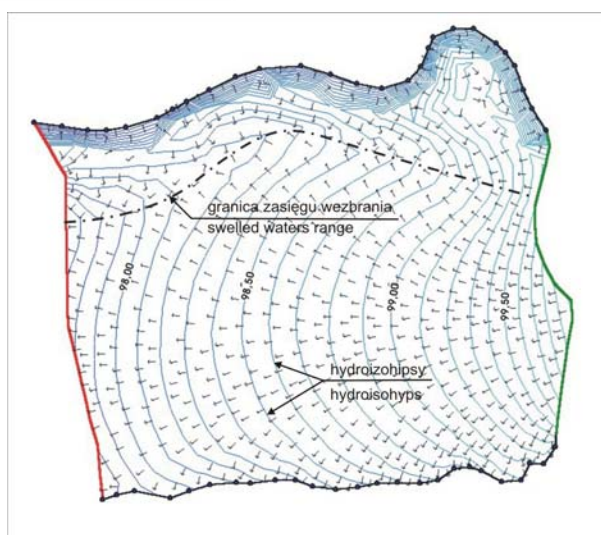


Rys. 24a. Układ hydroizohips w chwili rozpoczęcia symulacji
Fig. 24a. Groundwater configuration at the moment start simulation



Rys. 24b. Układ hydroizohips w momencie kulminacji fali na Odrze (po 14 dniach od chwili rozpoczęcia symulacji fali)

Fig. 24.b Groundwater configuration at the moment of wave culmination on the Odra river (after 14 days to started wave simulation)



Rys. 24c. Układ hydroizohips po przejściu fali na rzece (po 35 dniach od chwili kulminacji)

Fig. 24c. Groundwater configuration passage of wave (after 35 days at the culmination time)

Na podstawie układu hydroizohips na rys. 24c oceniono zakres oddziaływania fali na Odrze na przyległą dolinę. Dla ekstremalnych wartości wezbrania na rzece, tj.: amplituda 6,0 m, czas osiągania kulminacji – 14 dni i czas opadania fali – 35 dni, odległość oddziaływania wody w rzece na tereny przyległe wynosi średnio ok. 1000 m.

Badania modelowe potwierdzają, że stany wody w Odrze poniżej stopnia w Brzegu Dolnym oddziałują na stany wody gruntowej doliny w pasie do ponad 1000 m.

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Doliny rzeczne są skomplikowanym systemem środowiska przyrodniczego. Nieuniknione jest zatem interdyscyplinarne podejście do rzek i ich dolin oraz konieczność przewidywania skutków ingerencji człowieka na terenie zlewni. Zagadnienie jest trudne do rozwiązania, gdyż w wyniku spiętrzenia wód w rzekach nizinnych następuje zmiana reżimu hydrologicznego wód powierzchniowych i podziemnych.

Dużego znaczenia nabierają kompleksowe badania związane z rozpoznaniem warunków istniejącego systemu wodonośnego, czynników wpływających na wody gruntowe, kształtowania się stanów wody w spiętrzonych ciekach i poziomów wód gruntowych na terenach znajdujących się w zasięgu oddziaływania spiętrzenia oraz w dolinie rzecznej poniżej budowli piętrzących, a także badania nad gospodarką wodną gleb w dolinie.

Przeprowadzone badania empiryczne i modelowe w lewobrzeżnej dolinie Odry poniżej ostatniego stopnia wodnego na Odrze między Brzegiem Dolnym a Malczycami wykazały, że kształtowanie się poziomu zwierciadła wody gruntowej w dolinie zależy od czynników klimatycznych, hydrogeologicznych, geologiczno-glebowych, użytkowania terenu, istniejącej sieci cieków (na terenie badań znajdują się cieki: Średzka Woda, Jeziorka i Nowy Rów), działalności gospodarczej człowieka, a w szczególności budowli hydrotechnicznych, które zmieniają warunki wodne w przyległym terenie.

Przeprowadzona analiza warunków klimatycznych wykazała, że lata 1971–2003 charakteryzowały się dużą zmiennością występowania opadów i temperatur. Suma rocznych opadów wahała się w przedziale od 360 mm (rok 1982) do 737 mm (rok 1981), średnia roczna suma opadów w wieloleciu wyniosła 586 mm.

Średnie roczne temperatury powietrza kształtowały się od 7,3°C (rok 1980, 1985, 1987) do 9,7°C (1989, 2000). Warunki opadowe i termiczne w okresie 2001–2003 nie odbiegały od tych, które wystąpiły w latach 1971–2000. Suma opadów w latach hydrologicznych: 2001, 2002 i 2003 wyniosła: 732, 568 i 448 mm, a średnia roczna temperatura w analogicznych okresach: 9,3, 9,5 i 8,3°C. To pozwala przyjąć okres 1971–2003 jako miarodajny do oceny warunków wodnych w dolinie.

Wykorzystując archiwalne opracowania, literaturę przedmiotową, a także studia terenowe stwierdzono, że na omawianym obszarze dominującym typem są mady, zajmują ok. 82% powierzchni doliny Odry. Na obiekcie badawczym głównie występują mady ciężkie wytworzone z glin średnich, częściowo pylastych i mady bardzo ciężkie wytworzone z glin ciężkich i iłów. Rozciągają się wzdłuż Odry, Średzkiej Wody, Nowego Rowu i na całej długości Jeziorki.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników ponad dwudziestopięcioletnich, bezpośrednich pomiarów głębokości zalegania wód gruntowych w lewobrzeżnej dolinie Odry na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce można wydzielić trzy obszary, na których dominacja czynników wpływających na poziom zwierciadła wody gruntowej jest zróżnicowana. Są to tereny: w pobliżu koryta Odry (strefa I), wododziałowe (strefa II) i u podnóża wysoczyzny (strefa III). Na obszarze w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki na głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej, oprócz opadów atmosferycznych, wpływają stany wody w cieku. Na terenach wododziałowych na poziom wody gruntowej oddziałują głównie opady atmosferyczne. Stosunki wodne na terenach przy wysoczyźnie dodatkowo kształtują napływające wody ze zbczy.

Wyniki średnich miesięcznych głębokości zalegania wody gruntowej z lat 1971–2003 dla wybranych punktów obserwacyjnych usytuowanych w pobliżu Odry, na terenach wododziałowych oraz u podnóża wysoczyzny, posłużyły do obliczenia prawdopodobieństwa wystąpienia określonego poziomu wody gruntowej. Wykazano, że amplituda zmian głębokości zalegania wody gruntowej maleje jednocześnie ze wzrostem odległości od rzeki. Największe amplitudy wystąpiły w strefie I, w strefie II średnie miesięczne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej wykazują mniejszą amplitudę. Strefa III znajduje się poza zasięgiem oddziaływania stanów wody w Odrze. Poziom wody gruntowej zależy od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych oraz zasilania z terenów przyległych.

Dokonano oceny tendencji zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej dla punktów pomiarowych usytuowanych w różnych miejscach doliny. Średnie miesięczne głębokości wody gruntowej z okresu obserwacji zostały uszeregowane i opisane za pomocą charakterystyk liczbowych (średnich ruchomych, funkcji analitycznych i wskaźników sezonowości). Z wykresów i analizy równań funkcji liniowej oszacowano kierunek zmian głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej. Dla punktów pomiarowych, usytuowanych u podnóża wysoczyzny, równania liniowe wskazują na podnoszenie się wody gruntowej.

Przyczyny takiego stanu należy upatrywać w zaistniałych warunkach meteorologicznych. W latach 1971–1980 zanotowano tendencję wzrostową opadów atmosferycznych i spadku temperatury powietrza. W analizowanym okresie 1971–2003 zarówno na terenach w pobliżu Odry, jak i wododziałowych stwierdzono obniżanie się zwierciadła wody gruntowej.

W celu oceny tempa zmian położenia zwierciadła wody gruntowej przeprowadzono w pracy obliczenia statystyczne. Szeregi czasowe pomierzono za pomocą wskaźników dynamiki, zwanych indeksami. Pokazują one względne zmiany głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w danym roku w stosunku do roku poprzedniego, którego średnia roczna głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej stanowi podstawę porównań. Dzieląc wartość średnią roczną głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej badanego roku do roku poprzedniego, otrzymano wielkość zmian głębokości zwierciadła wody gruntowej w skali roku oraz ich tempo.

Z przeprowadzonych obliczeń w lewobrzeżnej dolinie Odry, w strefie III w latach 1971–1980 zaobserwowano podnoszenie się zwierciadła wody gruntowej (średnio

1,5 cm rocznie). W strefach I i II nastąpiło obniżanie się wody gruntowej. Większą wartość zanotowano bliżej Odry średnio w latach: 1971–1980: 4 cm rocznie w strefie I i 1,5 cm w strefie II oraz w okresie: 1971–2003: 9,0 cm rocznie, a na terenach wododziałowych średnio: 3,0 cm na rok. To potwierdza wpływ stanów wody w rzece na przyległą dolinę. Jednocześnie ze wzrostem odległości od koryta ciekłu zmniejsza się wartość średniego obniżania się zwierciadła wody gruntowej.

Na podstawie obserwacji głębokości wody gruntowej w lewobrzeżnej dolinie Odry, prowadzonych w latach 1971–2003, i stanów wody w ciekach: Jeziorka, Nowy Rów, Średzka Woda oraz w Odrze na wodowskazach Brzeg Dolny i Malczyce, sporządzono mapy hydroizohips dla średnich rocznych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej z okresu 1997–2003, a także dla głębokości wody gruntowej pomierzonej w dniu 28.07.2003 r. Układ hydroizohips dla tych okresów jest podobny. Izolinie na terenie doliny Odry przebiegają skośnie, prostopadle i równoległe do jej osi. Ich wartości zmieniają się od 96,5 do 102,0 m n.p.m. Dla układu wód gruntowych zaznacza się wododział między Nowym Rowem a Odrą i między Średzką Wodą a Odrą. Widoczny jest drenujący charakter Odry i niewielki wpływ ciekłu Jeziorka na wody gruntowe. Spadki zwierciadła wody gruntowej skierowane są do rzeki i wahają się od ok. 10% (na terenach znajdujących się w pobliżu Odry i Jeziorki) do 1% (z dala od rzeki).

Wykorzystując mapy sytuacyjno-wysokościowe w skali 1: 25 000 i 1: 10 000 oraz mapę hydroizohips (średnich rocznych dla okresu 1997–2003), wykreślono hydroizobaty wód gruntowych. Na obiekcie badawczym naniesione hydroizobaty zmieniają się od 100 do ponad 200 cm od powierzchni terenu. Lokalnie osiągają wartość ponad 400 cm od powierzchni terenu.

W pracy przeanalizowano uwilgotnienie charakterystycznej dla tej części doliny gleby oraz obliczono sumy zapasów wody dla okresów wegetacyjnych lat 2001–2003. Uzyskane wyniki dla warstw: 0–50, 0–100 i 0–150 cm potwierdzają, że gospodarka wodna profilu glebowego w dolinie Odry jest głównie oparta na retencjonowaniu wód opadowych i zależy od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Poziom zwierciadła wody gruntowej w analizowanych okresach IV–IX lat 2001–2003 kształtował się na głębokości ponad 3,5 m od powierzchni terenu. Głęboko zalegające wody gruntowe mają niewielki wpływ na uwilgotnienie wierzchniej warstwy gleby.

Aby poddać ocenie oddziaływanie stanów wody w Odrze na poziom i wahania wód gruntowych w przyległej dolinie, została przeprowadzona analiza codziennych bezpośrednich pomiarów głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w różnej odległości od Odry na tle stanów wody w rzece. Za pomocą modelu matematycznego dla wybranego obszaru doliny przeprowadzono symulację głębokości zalegania wody gruntowej w dolinie na tle występujących wezbrań w rzece w latach 1976–2003. Dodatkowo określono zależności korelacyjne średnich tygodniowych stanów wody gruntowej w piezometrach i stanów wody w Odrze. Z opracowanych zależności wynika, że jednocześnie ze wzrostem stanów wody w Odrze podnosi się poziom wody gruntowej na terenie przyległym. Największe zmiany głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej występują w pasie doliny w najbliższym sąsiedztwie rzeki. Analiza codziennych bezpośrednich pomiarów głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w dolinie

Odry oraz wyniki uzyskane z zastosowanego w pracy modelu matematycznego FIZ wykazały, że zasięg oddziaływania tych fal na Odrze na przyległą dolinę wynosi średnio do ok. 1000 m.

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań i analiz pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Na kształtowanie się poziomów wód gruntowych w lewobrzeżnej dolinie Odry wpływają warunki hydrogeologiczne, meteorologiczne, użytkowanie terenu oraz warunki zasilania doliny i stany wody w Odrze (czas trwania, amplituda i wysokość wezbrania).

2. W lewobrzeżnej dolinie Odry na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce można wydzielić strefy, w których dominacja czynników wpływających na poziom wody gruntowej jest zróżnicowana. W strefie I – tereny przy Odrze – na poziom wody gruntowej wpływają opady atmosferyczne i stany wody w rzece, w strefie II – tereny wododziałowe – głębokość zalegania wody gruntowej uzależniona jest od opadów atmosferycznych, w strefie III – tereny u podnóża wysoczyzny – na wody gruntowe poza opadami atmosferycznymi oddziałuje napływ wód z wysoczyzny. Średnie roczne głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej z okresu badawczego wynoszą:

- strefa I (tereny przy Odrze): ok. 261 cm (lata 1971–1980), ok. 264 cm (1971–1989) i ok. 286 cm (1997–2003)
- strefa II (tereny wododziałowe): ok. 248 cm (lata 1971–1980), ok. 251 cm (1971–1989) i ok. 238 cm (1997–2003)
- strefa III (tereny u podnóża wysoczyzny): ok. 148 cm (lata 1971–1980).

3. Amplitudy średnich miesięcznych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej w okresach wegetacyjnych kształtują się następująco:

- w pobliżu Odry: ok. 75 cm (lata 1971–1980), ok. 78 cm (1971–1989) i ok. 87 cm (1997–2003), wartości te maleją jednocześnie ze wzrostem odległości od rzeki
- na terenach wododziałowych: ok. 41 cm (lata 1971–1980), ok. 43 cm (1971–1989) i ok. 55 cm (1997–2003)
- u podnóża wysoczyzny: ok. 40 cm (lata 1971–1980).

4. W latach ekstremalnych amplitudy średnich rocznych głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej wynoszą: w pobliżu Odry od 132 do 201 cm od powierzchni terenu. Na terenach wododziałowych amplitudy te osiągają wartości od 39 do 142 cm od powierzchni terenu, a u podnóża wysoczyzny od 26 do 84 cm.

5. Analiza prawdopodobieństwa występowania poziomów wody gruntowej, w wydzielonych strefach, wskazuje, że zwierciadło wody gruntowej znajdowało się na ogół poniżej wierzchniej warstwy madowej, w utworach piaszczystych oraz żwirowych, i wywierało znikomy wpływ na uwilgotnienie czynnej warstwy gleby.

6. W lewobrzeżnej dolinie Odry w okresach obserwacji (1971–1980, 1971–1989 i 1997–2003) zarówno na obszarze w pobliżu Odry, jak i na terenach wododziałowych wystąpiła tendencja obniżania się zwierciadła wody gruntowej. W latach: 1971–1980: ok. 4 cm rocznie w strefie I i ok. 1,5 cm w strefie II, w okresie: 1971–1989: ok. 13,0 cm rocznie w pobliżu koryta rzeki, na terenach wododziałowych: ok. 4,0 cm na rok oraz w latach 1997–2003: ok. 9,0 cm rocznie w strefie I, a w strefie II ok. 3,0 cm na rok. Jednocześnie ze wzrostem odległości od koryta cieku zmniejsza się wartość średniego

obniżania zwierciadła wody gruntowej. Na terenach u podnóża wysoczyzny w latach 1971–1980 wystąpiła tendencja podnoszenia się średniej rocznej głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej, co związane jest z wysokim opadem i niską temperaturą powietrza w tym okresie.

7. Układ wód gruntowych w dolinie wskazuje na drenujący charakter Odry i niewielki wpływ ciek Jeziorka na wody gruntowe terenów przyległych. Spadki zwierciadła wody gruntowej są skierowane w kierunku rzeki. Na terenie doliny zaznacza się wododział spływu wód gruntowych w odległości od 1,8 do 3,3 km od Odry.

8. Gospodarka wodna profilu glebowego w dolinie Odry oparta jest głównie na retencjonowaniu wód opadowych i zależy od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych. Głęboko zalegające wody gruntowe wywierają niewielki wpływ na wilgotność wierzchniej warstwy gleby.

9. Przeprowadzona analiza średnich tygodniowych stanów wody w Odrze i poziomów wód gruntowych wskazuje, że Odra oddziałuje na głębokości zalegania wód gruntowych na terenie przyległym. Jednocześnie ze wzrostem odległości od rzeki zmniejsza się oddziaływanie stanów wody powierzchniowej na poziomy wód gruntowych.

10. Zasięg oddziaływania stanów wody w rzece na wody gruntowe w przyległej dolinie dochodzi do ok. 1000 m. Głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej w strefie oddziaływania stanów wody w Odrze zależy m.in. od wysokości i podstawy fali wezbraniowej, czasu trwania wezbrania (kulminacja i opadanie).

11. Obliczenia, badania empiryczne i modelowe potwierdzają złożoność czynników kształtujących poziom wód gruntowych w dolinach rzek poniżej stopni wodnych. Znajomość tendencji zmian układu i położenia zwierciadła wody gruntowej jest niezbędna dla racjonalnego zagospodarowania i wykorzystania wartości przyrodniczych doliny. Koniecznością jest monitorowanie tych zmian, aby w porę zareagować na ich ujemne skutki.

9. PIŚMIENICTWO

- Ackere Ph., Esteves M., Kohane R., 1990. Modelling interactions between groundwater and surface water. A case study in Computational Methods in Subsurface Hydrology, Proc. 8th Int. Conf. Copm. Methods Water Resour., Springer Verlag, Berlin.
- Adamski A., 1993. Wartość przyrodnicza doliny środkowej Odry. Zesz. Nauk. AR Wroc. Nr 232.
- Ambrożewski Z., 1998. Ogólna ocena 25 lat eksploatacji zbiornika wodnego Sulejów. Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór.
- Ankiersztejn I., Szamowski A., 2005. Nieszawa bliżej? Część I i II. Gosp. Wod. Nr 2 i 3.
- Atlas obszarów zalewowych Odry., 2000. WWF – Deutschland, WWF – Auen - Institut.
- Bac S., 1991. Ocena warunków klimatycznych do celów rolnictwa. Acta Univ. Vratisl., Pr. Inst. Geogr., Ser. A, t. VI.
- Bac S., Koźmiński C., Rojek M., 1993. Agrometeorologia. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Balážovà A., Baroková D., Mikula K., Pfender D., Šoltész A., 2002. Numerical modeling of the groundwater flow in the left floodplain are the Danube River. Proceedings of Algoritmy, Conference on Scientific Computing.
- Barendregt A., 1991. Hydrogeological parameters for sustainable groundwater management in the region of Kennemerland, The Netherlands. Proceedings of the Vienne Symosium, IAHS Publ. No. 202.
- Bednarczyk T., 1996. Wstępna prognoza położenia zwierciadła wody gruntowej na obszarze przyległym do zbiornika w warunkach nieustalonego przepływu filtracyjnego. Zesz. Nauk. AR Krak.
- Bednarczyk T., Michalec B., Tarnawski M., 2004. Wpływ stopni piętrzących na stosunki wodne obszarów przyległych. III Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Bliskie Naturze Kształtowanie Dolin Rzecznych” Rajgród.
- Begalishvili N., Grigolia G., Kereselidze D., 1996. The influence of the Inguri reservoir on the microclimate of the surrounding territory. Zesz. Nauk. AR Wroc. Nr 289, Konf. XI.
- Benatin J., Halek V., Radcenko I., 1982. Methods used in the prediction and control of the groundwater regime in basins adjacent to large rivers. Proceedings of the Exeter Symosium. IAHS Publication No. 136.
- Bieszczad S., Sobota J. (red.), 1993. Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego. Wyd. AR Wroc.

- Błazejewski R., 1992., Wpływ Kaskady Wołgi na środowisko przyrodnicze. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- Bonacci O., Bonacci TR., Wheeler H (ed.), Kirby C., 1998. Man's influence on the hydrogeological regime in karst. Proceedings of the British Hydrological Society International Conference, Exeter, UK.
- Brandyk T., 1990. Podstawy regulowania uwilgotnienia gleb dolinowych. Rozpr. Nauk. i Monogr., Wydawnictwo SSGW-AR. Warszawa.
- Bryś K., Bryś T., 2002. Long-term variability of temperature and humidity parameters in Wrocław. Geographica – Polonica (maszynopis).
- Byczkowski A., 1996. Hydrologia tom I i II. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Bykowski J., Szafranski Cz., Fiedler M., 2001. Wpływ piętrzenia wody w rowie melioracyjnym na gospodarkę wodną zmeliorowanych gleb. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 477.
- Chalfen M., Dąbrowski R., Pływaczyk L., 1989. Modelowanie filtracji nieustalonej w dolinie cieków z wykorzystaniem mikrokomputera. Zesz. Nauk. AR Wroc., Melior. XXXIII, Nr 181.
- Chalfen M., 1990 a. Matematyczny model nieustalonego ruchu wód podziemnych z uwzględnieniem obiektów melioracyjnych oraz ujęć wody. Zesz. Nauk. AR Wroc., Melior. Nr 192, z. 36.
- Chalfen M., 1990 b. Jednowymiarowa filtracja ustalona – rozwiązania analityczne. Zesz. Nauk. AR Wroc., Melior. 192, z. 36.
- Chalfen M., Głuchowska B., Pływaczyk L., 2002. Weryfikacja i uzupełnianie ciągów obserwacji wód gruntowych w dolinie Odry. XXXII Seminarium Zastosowań Matematyki, Kobyla Góra.
- Chalfen M., Głuchowska B., Pływaczyk L., 2004. Wpływ kształtu fali na Odrze na wody gruntowe w lewobrzeżnej dolinie między Brzegiem Dolnym a Malczycami. XXXIV Seminarium Zastosowań Matematyki, Kobyla Góra.
- Chelmicki W., 1986. Wieloletnia tendencja zmian zwierciadła wód gruntowych w Polsce w latach 1951–1978. Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr., Nr 67.
- Chelmicki W., 2001. Woda. Zasoby, degradacja, ochrona. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa.
- Chelmicki W., Ciszewski S., Żelazny M., 2002. Model wahań zwierciadła wód podziemnych w Puszczy Niepołomickiej. Wyd. P. Krak., R. 99, z. 4-Ś.
- Christensen S., 1995. Modelling of groundwater. Aarhus – Geokompender (Danmark), No.1.
- Cifra J., 1987. Conditions for the conservation of bottomland forest associations on the Danube. Lesnicky – Casopis., Nr 33.
- Czamara A., 1998. Oddziaływanie wybranych urządzeń melioracyjnych na zasoby wód gruntowych. Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozpr. Hab. Nr 340.
- Czamara W., 1996. Ocena oddziaływania zbiorników wodnych na środowisko. Zesz. Nauk. AR Wroc. Nr 289, Konf. XI.
- Czamara W., Kurek W., Orzechowska E., Wojarnik K., 1999. Wpływ zbiornika Mietków na środowisko przyrodnicze doliny Bystrzycy. Mat. Konf., Wyd. AR Pozn.
- Dąbkowski J., 1992. Statgraphics. Komput. Oficyna Wyd. HEPL, Warszawa.

- Dąbkowski Sz., Misiak W., 1996. Ekologiczne uwarunkowania inwestycji wodnych i melioracyjnych. Ochrona i zrównoważony rozwój środowiska wiejskiego. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Dąbrowski A., Gnot S., Michalski A., Srzednicka J., 1997. Statystyka. 15 godzin z pakietem Statgraphics. Wyd. AR Wroc.
- Dillon P., Simmers I., 1998. Modelling groundwater and surface water interaction for decision. Shallow groundwater systems. Monograph.
- Dobrowolski A., Dubicki A., Słota H., Zieliński J., 1991. Sprawozdanie z uczestnictwa w konferencji: Quels fleves pour demain. Orlean XI.
- Dobrzański B., Zawadzki S. (red.), 1981. Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa.
- Drabiński A., 1997. Die Fischteiche und der Naturschutz. Mat. Konf. „Enviro“, Nitra.
- Drozd J., Licznar M., Licznar S., Weber J., 1997. Gleboznawstwo z elementami mineralogii i petrografii. Wyd. AR Wroc.
- Dubicki A., 1993. Tendencje zmian intensywności opadów w dorzeczu Odry. Zesz. Nauk. AR Wroc., Nr 233.
- Fiedler-Krukowicz H., Żelazo J., 2000. Potrzeba wykonywania ocen oddziaływania na środowisko dla zagospodarowania Wisły poniżej stopnia we Włocławku. Probl. Ocen Środ. Nr 3 (10). Warszawa.
- Flisowski J., Iwanejko R., Trzos O., Wieczysty A., Brzoza-Wójcik M., 1986. Prognozowanie wpływu piętrzenia rzek na wody podziemne i obliczanie systemów odwadniających. Poradnik. P. Krak.
- Flisowski J., Wieczysty A., 1965. Próba ustalenia metodyki badań wpływu piętrzenia na wody podziemne. Gosp. Wod. Nr 4.
- Gacka-Grzesikiewicz E., 2000. Co zrobić ze stopniem wodnym we Włocławku? Przyr. Polska. Nr 9.
- Giedroń B., 1990. Gleboznawstwo melioracyjne z podstawami torfoznawstwa. Skrypt AR Wroc.
- Głazik R., Grześ M., 1999. Stopień wodny „Włocławek” – wybrane problemy badawcze i eksploatacyjne. Mat. Konf., Wyd. AR Pozn.
- Głuchowska B., Kosierb R., Pływaczyk L., 2001. Ekologiczne funkcje stopnia wodnego Malczyce na rzece Odrze. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Problemy Ochrony Zasobów Wodnych w Dorzeczu Odry, Łądek Zdrój.
- Głuchowska B., Pływaczyk L., 2003 a. „MALCZYCE” Fall on the Odra River – Essential Investment International Conference of Water Service Science. Brno – Úbislav, Czech Republic.
- Głuchowska B., Pływaczyk L., 2003 b. Wpływ stanów wody w Odrze na poziom wód gruntowych doliny na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Problemy Ochrony Zasobów Wodnych w Dorzeczu Odry, Duszniki Zdrój.
- Głuchowska B., Olszewska B., Pływaczyk L., 2004. Zmiany głębokości zalegania wód gruntowych w dolinie Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym w latach 1970–2003. Roczn. AR Pozn., Melior. i Inż. Środ. Nr 25.

- Goczan L., Loczy D., 1990. The Slovak – Hungarian barrage system on the Danube River and its environmental problems. *Geographica – Polonica*.
- Grodek A., Kielczewska-Zaleska M., Zierhoffer A., 1948. Monografia Odry. Studium zbiorowe. Inst. Zach. Poznań.
- Grzywna A., 2004. Charakterystyka dynamiki zmian stosunków wodnych na użytkach zielonych w dolinie Ochoży. *Rocz. AR Pozn.*, Nr 25.
- Hamadi M., 1989. Wpływ spiętrzenia Odry w Brzegu Dolnym i wykonanych urządzeń odwadniających na stosunki wodno-melioracyjne terenów przyległych. Rozpr. doktorska, Wrocław.
- Hanczarski J., Sokołowski J., 1977. Problemy zabezpieczenia terenów przyległych do zbiorników wodnych przed skutkami spiętrzenia. *Gosp. Wod.* Nr 2.
- Herman J., 1991. Rozwój budownictwa wodnego w dolinie rzeki Odry w okresie od XIII wieku do czasów współczesnych. AR Wroc., Inst. Bud. Wod. i Ziem. (maszynopis).
- Hermann K., 1930. Die Entwicklung der Oder von Natur – zum Kulturstrom. Rozwój Odry od rzeki naturalnej do kulturalnej. Dysertacja doktorska. Berlin (maszynopis).
- Jankowski W., 1993. Ochrona przyrody rzeki Odry i jej dorzecza. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, Nr 233.
- Jankowski W., Świerkosz K. (red.), 1995. Korytarz ekologiczny doliny Odry, stan – funkcjonowanie – zagrożenia. Wyd. Fundacja IUNC Poland, Warszawa.
- Kajak Z., 1992. Ekologiczne skutki zabudowy hydrotechnicznej i wykorzystania wód śródlądowych. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- Kajewski I., Kowalski J., 1996. Wpływ spiętrzenia Odry miejskiej we Wrocławiu na warunki wodno-gruntowe na terenie miasta. *Zesz. Nauk. AR Wroc., Inż. Środ.* z. 8.
- Kardasz P., Simoni J., 1977. Oddziaływanie zbiornika wodnego Dęba na układ stosunków glebowo-wodnych na terenach przyległych. *Gosp. Wod.* Nr 8.
- Klimaszewski M., 1994. Geomorfologia. PWN, Warszawa.
- Kordas B., 1966. Wpływ zmian poziomów wody w rzece na stan wód gruntowych zalegających w jej sąsiedztwie. *Zesz. Nauk. P. Krak., Bud. Wod.* Nr 9, z. 12.
- Kornacki Z., 1974. Procesy erozyjne w korytach rzek zestopniowanych. Rozpr. doktorska. P. Warszawska.
- Kostrzewa S., Pulikowski K., 1993. Oddziaływanie rzeki Odry na stosunki wodne przyległych gruntów ornych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, Nr 233.
- Kostrzewa S., Pływaczyk A., Nowacki J., 1994. Stosunki wodne użytków rolnych w okresie suszy 1992 r. na Dolnym Śląsku. *Rocz. Nauk Rol., Ser. F*, t. 83, z. 3/4.
- Kosturkiewicz A., 1979. Zasady optymalnego kształtowania zasobów wodnych w krajo-brazie rolniczym. *Zesz. Probl. Nauk Rol.*, Warszawa, z. 228.
- Kosturkiewicz A., Szafranski Cz., Czopor S., Korytowski M., Stasik R., 2002. Bilanse wodne śródleśnych oczek wodnych. *Czas. Tech. Inż. Środ.*, Nr 8.
- Kowalski J., 1977. Dynamika stanów pierwszego poziomu wód podziemnych terenu m. Wrocławia. *Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozpr. Hab.* Nr 8.
- Kowalski J., 1987. Hydrogeologia z podstawami geologii. PWN, Warszawa.
- Kowalski J., 1990. Melioracje i użytkowanie terenów dolin rzek skanalizowanych. Inst. Bud. Wod. i Ziem. AR Wroc., Mat. Konf. Nauk.

- Krajewski T., 1996. Wpływ zbiornika Siemianówka na środowisko leśne. *Wiad. Melior.* Nr 3.
- Kultuniak J. (red.), 2002. *Rzeki, kultura – cywilizacja – historia.* Wydawnictwo Naukowe, Katowice, t. 10.
- Lenczewski W., 1962. Wpływ spiętrzenia Odry na stosunki wodne terenów przyległych. *Rozpr. doktorska, AR Wroc.*
- Lenczewski W., 1982. Filtracja ze spiętrzonych rzek na tereny przyległe. *Wiad. Melior.* Nr 2.
- Liberacki D., 2004. Stany wody gruntowej i uwilgotnienie wierzchnich warstw gleb w małej zlewni leśnej. *Rocz. AR Pozn.* Nr 25.
- Lubczyński M., 1989. Wpływ stopnia piętrzącego w Brzegu Dolnym na wody gruntowe terenów przyległych. *Technika Poszukiwań Geologicznych.* Wyd. Geolog., Nr 3.
- Lubczyński M., 1989. Wykorzystanie mikrokomputera ZX Spectrum do oceny oddziaływania stopnia piętrzącego w Brzegu Dolnym na wody gruntowe terenów przyległych. *Technika Poszukiwań Geologicznych.* Wyd. Geolog., Nr 4.
- Łomnicki A., 2003. *Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników.* Wyd. Nauk. PWN. Warszawa.
- Łoś M., 1995. Wybrane zagadnienia z przeszłości inżynierii wodnej w Polsce. *Gosp. Wod.* Nr 11.
- Łyczko W., Olszewska B., Pływaczyk L., 2002. Dynamika uwilgotnienia mad w dolinie rzecznej w latach 1998–2000. *Woda – Środowisko – Obszary wiejskie.* IMUZ Falenty, t. 2 z. 2 (5).
- Majewski W., 1992. Wpływ budowli hydrotechnicznych i hydroenergetycznych na środowisko wodne. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki. *Współcz. Probl. Hydrauliki Wód Śródlądowych.* PAN, Gdańsk.
- Makać W., Urbanek-Krzysztofik D., 1999. *Metody opisu statystycznego.* Wyd. Uniw. Gdańskiego.
- Marcilonek S., 1994. *Eksploracja urządzeń melioracyjnych.* Wyd. AR Wroc.
- Marcilonek S., Nyc K., Kamionka Sz., 1990. Wstępna ocena wpływu stawów rybnych na stosunki wodne terenów przyległych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.,* Nr 189.
- Miłkowski M., 2003. Odra i żegluga. Retrospektywnie w XX wieku. *Zeszyty Odrzańskie.* Państwowy Instytut Naukowy, Instytut Śląski w Opolu.
- Miłkowski M., Przybyszewska J., 2007. Od jazu Rzeczyca (1798) do stopnia wodnego „Malczyce” na Odrze. *Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej we Wrocławiu.*
- Mioduszewski W., 1989. Regulowanie zwierciadła wód gruntowych w dolinach małych rzek nizinnych. *Bibl. Wiad. IMUZ 73, PWRiL, Warszawa.*
- Mioduszewski W., Kowalewski Z., Ślesicka A., 1997. Studies on ground water dynamics in a protected part of the Narew valley. *J. Water Land Dev.,* No. 1.
- Mokwa M., 2002. Sterowanie procesami fluwialnymi w korytach rzek przekształconych antropogenicznie. *Zesz. Nauk AR Wroc. Rozpr. Hab.* Nr 439.
- Murat-Błażejewska S., Sojka M., 2004. Dynamika zalegania płytkich wód gruntowych w centralnej Wielkopolsce na przykładzie zlewni cieków Potaszka. *Rocz. AR Pozn.* Nr 25.

- Nawalany M., 1984. Wody podziemne w ujęciu teorii systemów dynamicznych. *Prace Nauk. P. Warszawska, Bud. Wod.* Nr 86.
- Nawalany M., Pływaczyk L., 1985. The numerical model of combined drainage system, *Report of TH Delft, Afdeling der Civiele Techniek, Delft.*
- Nawalany M., Pływaczyk L., 1986. Computer aided design of the drainage canal, *Hyro-cad 86, 9–10 July, Budapest.*
- Niwiński J., 1998. Kształtowanie środowiska w austriackiej części zlewni rzeki Dunaj. *Ekoinżynieria*, Nr 3.
- Nyc K., Kamionka Sz., Janus E., 1992. Oddziaływanie stawów na stosunki wodne terenów przyległych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* Nr 211.
- Obrębska-Starkłowa B., Grzyborowska A., 1995. Sezonowe zróżnicowanie dobowego przebiegu temperatury powietrza w rejonie dobczyckiego zbiornika wodnego. *Probl. Zagosp. Ziem Górs.* z. 38.
- Olszamowski Z., 1993. Wpływ zbiornika na reżim wód gruntowych i parametry podłoża w strefach przyczółkowych zapory ziemnej (na przykładzie zapory Wisła-Czarne). *Gosp. Wod.* Nr 2.
- Olszewska B., 1998. Wpływ budowli piętrzącej na warunki wodne oraz wybrane elementy środowiska przyrodniczego w dolinie Odry na przykładzie Odry w rejonie Brzegu Dolnego. *Zesz. Nauk. AR Wroc., Inż. Środ.* X, Nr 349.
- Olszewska B., Głuchowska B., Pływaczyk L., 2006. Związek wód powierzchniowych i podziemnych w dolinie Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Zarządzanie Zasobami Wodnymi w Dorzeczu Odry, Łądek Zdrój.*
- Olszewska B., Pływaczyk L., 1999. Groundwater participation in water management of the soils in the Odra Valley in the region of the Brzeg Dolny Dam. *Rocz. AR Pozn. CCCX, Melior. Inż. Środ.* 20.
- Olszewska B., Pływaczyk L., Głuchowska B., 2004. Wpływ projektowanego stopnia Malczyce na zasoby wodne w zlewni cieków Jeziora. *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Problemy Ochrony Zasobów Wodnych w Dorzeczu Odry, Jugowice.*
- Orzepowski W., Kostrzewa S., Kowalczyk T., 2004. Dynamika wahań zwierciadła wód gruntowych w otoczeniu małego zbiornika wodnego na terenach wiejskich. *Rocz. AR Pozn.*, Nr 25.
- Pałys F., Rączkowski C., Sokołowski J., 1996. Budowa i eksploatacja zbiornika Siemianówka. *Wiad. Melior.* Nr 3.
- Parzonka W., 1995. Gospodarka wodna w dolinach rzek zdegradowanych na przykładzie środkowej Odry. *Zesz. Nauk. AR Wroc., Konferencje X, t. 1*, 270.
- Parzonka W., Kempieński J., Głowski R., 1993. Ocena wpływu geometrii koryta rzeki Odry i sposobu eksploatacji jazu w Brzegu Dolnym na warunki erozji namulów z górnego stanowiska. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, Nr 233.
- Parzonka W., Mokwa M., 1993. 35 lat eksploatacji stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. *Współczesne problemy inżynierii wodnej. Poręba.*

- Parzonka W., Pływaczyk L., Serafin S., 1992. Oddziaływanie stopnia wodnego w Brzegu Dolnym na koryto Odry i wody gruntowe poniżej stopnia. 18 Międzynarodowy Kongres Wielkich Zapór, Międzybrodzie Żywieckie.
- Parzonka W., Serafin S., Kasperek R., 1993. Ocena rozwoju erozji lokalnej i liniowej dna Odry poniżej stopnia w Brzegu Dolnym. Zesz. Nauk. AR Wroc., Nr 233.
- Pawlik L., Rogala R., 1992. Wpływ zabudowy hydrotechnicznej rzeki Odry na środowisko wodne. XII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki, Wyd. IBW PAN, Gdańsk.
- Pawłat H., Dąbkowski Sz., 1995. Ocena oddziaływania zbiornika wodnego „Nielisz” na środowisko. Zesz. Nauk. AR Wroc., Nr 270, Konf. X, t. 1, Wrocław – Wojnowice.
- Pluciennik B., Matecki K., 1999. Wpływ zbiornika Jeziorsko na tereny przyległe i usuwanie ujemnych skutków piętrzenia. Mat. Konf., Wyd. AR Pozn.
- Pływaczyk L., 1980. Ocena stosunków hydrologicznych i wodnych na terenach nizinnych na przykładzie zlewni potoków Jeziora, Nowy Rów i Średzka Woda. Zesz. Nauk. AR Wroc., Melior. XXII, Nr 122.
- Pływaczyk L., 1988. Oddziaływanie Odry na stosunki wodno-melioracyjne doliny w rejonie Brzeg Dolny - Malczyce. Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozpr. Hab. nr 68. Pływaczyk L. 1992. Zasilanie wód gruntowych doliny Odry w rejonie Malczyc opadami atmosferycznymi. Zesz. Nauk. AR Wroc., Nr 209.
- Pływaczyk L., 1997. Oddziaływanie spiętrzenia rzeki na dolinę na przykładzie Brzegu Dolnego. AR Wroc., Monogr. XI.
- Pływaczyk L., 2000. An effect of a damming on the Odra River in Brzeg Dolny on water conditions in the valley. Journal-of-Water-and-Land-Development., No. 4.
- Pływaczyk L., Nawalany M., Gąsiorek E., 1992. Matematyczne modelowanie zasilania kanału odwadniającego w warunkach przepływu naporowego. Zesz. Nauk. AR Wroc. Nr 211.
- Pływaczyk L., Olszewska B., 1994. Próba oceny wpływu poziomu wody gruntowej w rejonie projektowanego stopnia wodnego w Malczycach na zapasy wody glebowej dla roślin. Zesz. Nauk. AR Wroc., Inż. Środ. VI, Nr 243.
- Pływaczyk L., Olszewska B., 1995. Aspekty gospodarki wodnej w dolinie Odry przyległej do stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. Zesz. Nauk. AR Wroc., Konf. X (Tom I), Nr 270.
- Pływaczyk L., Olszewska B., Łyczko W., 2001. Dynamika uwilgotnienia mady średniej w okresie wegetacyjnym 1999 roku w warunkach naporowych oraz swobodnego położenia zwierciadła wody gruntowej. Prz. nauk. Zesz. Nr 22 SGGW. Warszawa.
- Praca zbiorowa, 1970–2003. Badania wpływu projektowanego spiętrzenia Odry stopniem Malczyce na stosunki wodne terenów przyległych. Inst. Kształt. i Ochr. Środ., AR Wroc., (maszynopisy).
- Praca zbiorowa, 1959. Zarys rejonizacji przyrodniczo-rolniczej w województwie wrocławskim. Wrocław.
- Praca zbiorowa, 1968. Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla stopnia wodnego Malczyce. PGIBW, Hydrogeo, Warszawa.

- Praca zbiorowa, 1974. Wstępna prognoza wpływu spiętrzenia wód Odry w przekroju Malczyce na stosunki wodne terenów przyległych oraz wstępna koncepcja melioracji użytków rolnych i leśnych. Inst. Melior. Rol. i Leś. AR Wroc. (maszynopis).
- Prałat H., 1990. Ocena oddziaływania na środowisko zbiornika wodnego Domaniów. MOŚZNiL.
- Program dla Odry – 2006., 2000. Materiały dla Rządu RP. Wrocław.
- Przedwojski B., Przybyłek J., Rembeza L., 1993. Wpływ zbiornika Jeziorsko na stosunki wodne w dolinie Warty. Zesz. Nauk. AR Wroc., Nr 233.
- Przybyłek J., 1999. Wpływ zbiornika retencyjnego Jeziorsko w dolinie Warty na dynamikę wód podziemnych. Mat. Konf., Wyd. AR Pozn.
- Przybyszewska J., Karpiński R., Sznajder M., 2001. Odra. Przyszłość Regionów. Wyd. Unitex. Bydgoszcz.
- Raport Światowej Komisji ds. Zapor., 2000. Oficyna wydawnicza. rozprawy OIKOS.
- Ratownicze badania archeologiczne na terenie budowy stopnia wodnego Malczyce 2003. Awanport górny w miejscowości Prawików pow. Wołów. AKME Zdzisław Wiśniewski. Wrocław.
- Rojek M., 1989. Rozkład czasowy i przestrzenny klimatycznych i rolniczo-klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski. Zesz. Nauk. AR Wroc., Rozpr. Hab. Nr 62.
- Roman G., Waszkiewicz J., Miłkowski M., 1999. Wrocław a Odra. Urząd Miejski Wrocławia. Biuro Rozwoju Wrocławia.
- Rzegocki K., 1982. Współzależność stanów wody gruntowej i powierzchniowej w dolinie rzecznej. Zesz. Nauk. P. Krak.
- Sarma P.B.S., Delleur J.W., Rao A.R., 1973. Comparison of rainfall-runoff models for urban areas, J. Hydrol. 18 (3–4).
- Sasik J., 1992. Wpływ stawów rybnych w rejonie Milicza na klimat lokalny. Zesz. Nauk. AR Wroc., Melior. XL, Nr 211.
- Schmid G., Braess D., 1988. Comparison of fast equation solvers for groundwater flow problems. Mathematical and Physical Sciences, No 224. Netherlands.
- Serafin S., Pływaczyk L., 1988. Określenie zmian zwierciadła wody w rzece i terenie przyległym w wyniku obniżania się dna rzeki poniżej stopnia w Brzegu Dolnym. Zesz. Nauk. AR Wroc., Geod. i Urząd. Rol.
- Skalova J., Klementova E., 2001. Interaction between surface water and groundwater. Zesz. Nauk. AR Krak., Inż. Środ. z. 21 (382).
- Smelko S., Varga L., Nesticky S., 1999. Dynamics of groundwater level and health state of forest stands in the area of water works at Gabčíkovo. Special issue on the Gabčíkovo hydroelectric power project in Slovakia. Lesnicky – Casopis., 45: 2–3.
- Smólska K., 1980. O potrzebie unowocześnienia kierunku melioracji i zagospodarowania dolin rzecznych. Gosp. Wod. Nr 4.
- Sobczyk M., 2004 Statystyka. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Sokołowski J., 1995. Problemy usuwania ujemnych skutków piętrzenia na terenach przyległych do zbiornika Jeziorska w dolinie rzeki Pichny. Wiad. Melior. R.38, Nr 2.

- Sokołowski J., 1996. Ocena wpływu zbiornika Siemianówka na stany wód gruntowych na obszarach przyległych do Puszczy Białowieskiej. Tereny depresyjne. *Mat. Semin. Inst. Melior.*, Nr 36.
- Somorowski C. (red.), 1993. Współczesne problemy melioracji. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Sørensen H.R., Refgaard J.C., Clausen T., 1997. The Danubian lowland ground water model: Part 2-Modelling of groundwater flow and floodplain hydrology. Paper for DHI (Danish Hydraulic Institute) User Conference.
- Studium kompleksowego rozwiązania problemów stopnia i zbiornika Włocławek., 2001. Prognoza skutków społeczno-ekonomicznych i środowiskowych. WWF Warszawa.
- Szafranski Cz., Stasik R., 2004. Stany wody gruntowej i ich związki ze stanami wody w cieku w małej zlewni leśnej. *Rocz. AR Pozn.* Nr 25.
- Szczegielniak Cz., 1997. Antropogeniczne aspekty oddziaływania na powódzie na przykładzie dorzecza górnej Odry. *Konf. „Ekologiczne metody zapobiegania powodziom”*. Krzyżowa.
- Szymański J., 1968. Wpływ lasów, wód i bagien na wysokość opadów atmosferycznych na obszarze zachodniej Polski. *Rozpr. Hab.*
- Szymański J., Pływaczyk L., Serafin S., 1985. Zmiany dna i stanów wód w Odrze poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym i ich wpływ na poziomy wód gruntowych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.* Nr 155.
- Szyska Cz., 1994. Bilans pozytywnych i negatywnych oddziaływań dużych nizinnych zbiorników retencyjnych na środowisko rolnicze na przykładzie zbiornika Jezioro. *Wyd. AR Pozn., Mat. Konf.*
- Tomiałojć L., Dyrzc A., 1993. Przyrodnicza wartość dużych rzek i ich dolin w Polsce w świetle badań ornitologicznych. [W:] *Ochrona przyrody i środowiska w dolinach nizinnych rzek Polski*. Instytut Ochrony Przyrody PAN. Kraków.
- Trybała M., 1996. *Gospodarka wodna w rolnictwie*. PWRiL, Warszawa.
- Ujfaludi L., Maginecz J., 1986. Simulation of groundwater flow influence by a reservoir at drainage basins near Esztergom and Komarom. *Proceedings of the Budapest Symposium. IASH Publ. No 156.*
- Visinescu I., Zamfirache V., 1998. New orientations in hydromeliorative and agricultural exploitation of floodplain solis. *Probleme de Agrofitechnie Teoretica si Aplicata. No 20, Romania.*
- Wawręty R., 2000. Negatywny wpływ budownictwa wodnego na środowisko dolin rzecznych. *Towarzystwo na rzecz Ziemi. Oświęcim.*
- Wieczysty A., 1982. *Hydrogeologia inżynierska*, PWN, Warszawa.
- Winter T.C., 1995. Recent advances in understanding the interaction of groundwater and surface water. *U.S. National Report to IUGG, 1991-1994. Rev. Geophys. Vol. 33, American Geophysical Union.*
- Winter T.C., Harvey O.L., Alley W.M., 2001. *Ground water and surface water a single resource*. Geological Survey. U.S. Department of the Interior.
- Wiśniewski J., 1999. Nowoczesne metody wspomaganie decyzji o realizacji zbiorników wodnych na przykładzie zbiornika Wielowieś Klasztorna na Prośnie. *Mat. Konf., Wyd. AR Pozn.*

- Wosiewicz B., Sroka Z., Walczak Z., 2005. Oprogramowanie inżynierskie do analizy ustalonych przepływów wód gruntowych. *Gospodarka Wodna* Nr 2.
- Wójcik R., 1999. Zależność poziomu pierwszego wód podziemnych od klimatu i stanu wód powierzchniowych na obszarze południowo-wschodniej Wielkopolski. *Mat. Konf.*, Wyd. AR Pozn.
- Wysocki W., 1984. Dzieje regulacji rzeki Odry do roku 1874 (w świetle archiwalnych źródeł kartograficznych). *Rozpr. doktorska*. Wrocław (maszynopis).
- Zawadka M., 1998. Odrzańskie porty śródlądowe po 1945 roku. *Studia Zachodnie*, Nr 3.
- Zijlstra G., De-Ridder Na., Tizema Hp. 1994. Seepage and groundwater flow. *Drainage-principles-and-applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement Wageningen Netherlands, Ed. 2.
- Żbikowski A., Żelazo J., 1993. *Ochrona środowiska w budownictwie wodnym*. Materiały informacyjne. Warszawa MOŚZNiL.
- Żelazo J., Mosiej J., 2000. *Problemy ochrony środowiska na terenach niezurbanizowanych*. *Konf. Nauk.-Tech.* Wyd. SGGW Warszawa.

GROUNDWATER LEVEL IN THE ODRA RIVER VALLEY DOWNSTREAM THE BRZEG DOLNY

S u m m a r y

River valleys are complex systems of natural habitat, therefore it is not possible to avoid any interdisciplinary method while studying rivers and river valleys. It is also necessary to consider the human impact on river catchments either done in the past, ongoing, or planned for the future. The issue is not easy to solve because if lowland river water level rises, the groundwater level rises as well.

Research needs to be done to recognize the groundwater level changes. Many different factors have to be considered while analyzing groundwater level, for example closeness to the lowland river, conditions on the river due to damming the river with a weir, and hydrogeology of the area.

The goal of this thesis is to map groundwater level and show the changes of its extension and depth. The study area is the Odra river valley, downstream the last river control structure in Brzeg Dolny, for 1971 to 2003 period. The thesis also attempt to evaluate how the water level in Odra river influences the groundwater level, and what is the impact of groundwater level on the groundwater system in that part of valley.

In this thesis direct measurement, empirical and modeling research were used. Groundwater level was mapped and this exposed the complexity of the hydrogeology of the chosen area of the Odra river valley. Between the weirs in Brzeg Dolny and in Malczyce, the groundwater table depends on many factors, i.e.: climate, hydrogeology, geology, land usage, human activity and existing water network as well. There are few streams in the surveying area, i.e.: Średzka Woda, Jeziorka i Nowy Rów. Significant for the studies are man-made water structures, which tend to change water regime in the adjacent area.

As the conclusion of the thesis it is important to emphasize that the groundwater level in the Odra river valley is constantly changing. Knowledge of the conditions, the trend, and the depth of the groundwater is crucial for rational management and balanced usage of natural habitat in the valley. It is also necessary to monitor the groundwater level and continue the research considering its changes that in a case of any negative impact in the area there is a time to react and avoid further complication.

Key words: Odra river, river valley, river stage, groundwater level, soil water management

ZWIERCIADŁO WODY GRUNTOWEJ W DOLINIE ODRY PONIŻEJ STOPNIA WODNEGO W BRZEGU DOLNYM

Streszczenie

Doliny rzeczne są skomplikowanym systemem środowiska przyrodniczego. Nieuniknione jest zatem interdyscyplinarne podejście do rzek i ich dolin oraz konieczność przewidywania skutków ingerencji człowieka na terenie zlewni. Zagadnienie jest trudne do rozwiązania, gdyż w wyniku spiętrzenia wód w rzekach nizinnych następuje zmiana reżimu hydrologicznego wód powierzchniowych i podziemnych.

Celem pracy jest ocena kształtowania się i tendencji zmian głębokości zalegania wód gruntowych w dolinie rzecznej na przykładzie Odry w latach 1971–2003 poniżej ostatniego stopnia wodnego w Brzegu Dolnym oraz próba oceny zasięgu oddziaływania stanów wody w Odrze na poziomy wód gruntowych w przyległej dolinie, a także wpływ głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej na gospodarkę wodną profilu glebowego.

Przeprowadzone pomiary bezpośrednie codzienne i cotygodniowe, badania empiryczne i modelowe, w lewobrzeżnej dolinie Odry poniżej ostatniego stopnia wodnego na Odrze między Brzegiem Dolnym a Malczycami wykazały, że kształtowanie się zwierciadła wody gruntowej w dolinie jest złożone i zależy od czynników: klimatycznych, hydrogeologicznych, geologiczno-glebowych, użytkowania terenu, istniejącej sieci cieków (na terenie badań znajdują się: Średzka Woda, Jeziorka i Nowy Rów), działalności gospodarczej człowieka, a w szczególności budowli hydrotechnicznych, które zmieniają warunki wodne w przyległym terenie. Odra poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym ma charakter drenujący, co powoduje występowanie tendencji obniżania się wód gruntowych. Stany wody w Odrze wpływają na głębokość zalegania wód gruntowych w pasie ponad 1000 m.

Słowa kluczowe: Odra; dolina, stany wody, poziomy wód gruntowych, gospodarka wodna gleb