

Warunki formowania lokalnych systemów krążenia wód podziemnych na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci

Local groundwater-circulation systems in the Warta–Noteć Interfluve (NW Poland)

RENATA GRAF

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań;
e-mail: rengraf@amu.edu.pl

Streszczenie

Przeprowadzono identyfikację lokalnych systemów krążenia wód podziemnych na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci (1912 km²), które stanowi największą pod względem powierzchni strefę wydm śródlądowych w Wielkopolsce. Dla wód poziomu gruntowego o różnym stopniu połączenia z siecią hydrograficzną, określono warunki zasilania i drenażu oraz dokonano oceny składowych bilansu ich przepływu. Wskazano strefy, gdzie mogą formować się systemy wód podziemnych zagłębień bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych (retencyjnych), w granicach których wymiana wód odbywa się poprzez infiltrację, wsiąkanie lub parowanie. W analizie wykorzystano cyfrową bazę danych Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1 : 50 000 oraz wyniki modelowania matematycznego filtracji wód podziemnych przeprowadzonego w odniesieniu do warunków przeciętnych z okresu wielolecia. Założono, że elementem ograniczającym efektywne zasilanie wód podziemnych na terenach wydmowych jest znaczna miąższość utworów piaszczystych (do 30–50 m) i głębokie występowanie zwierciadła wód podziemnych. Wskazano funkcjonowanie stref aktywnych w formowaniu odpływu powierzchniowego oraz bezodpływowych powierzchniowo, szczególnie typu chłonnego (20% powierzchni), które stanowią obszary lokalnie wzmożonego zasilania infiltracyjnego płytkich wód podziemnych i kształtowania tą drogą odpływu podziemnego ze zlewni. Stwierdzono, że doliny Warty i Noteci, jako główne osie drenażu, wymuszają silny odpływ wód podziemnych z centralnej części międzyrzecza, czego efektem jest brak sieci rzecznej.

Słowa kluczowe: wody podziemne, system krążenia, Międzyrzecze Warty i Noteci, modelowanie matematyczne

Abstract

The local groundwater-circulation systems in the Warta–Noteć Interfluve (1912 km²) are identified; this interfluve is the largest area covered with inland dunes in the Wielkopolska Lowland. The alimentation and drainage of the groundwater, which depend to varying degrees of the surficial hydrographic network, are described, and the contributions by the various components determining the flow balance are estimated. The zones are indicated where basins could develop without external drainage, so that all inflowing water is absorbed and can escape (partly) only by evapotranspiration, and within which water is exchanged exclusively through infiltration and evaporation. A digital database of the 1 : 50,000 Hydrographic Map of Poland, in combination with the results of a mathematical model regarding the groundwater infiltration over time was used for the purpose. It is assumed that the considerable thickness of the sands (up to 30–50 m) and the deep position of the groundwater

are responsible for the limited groundwater alimentionation in the dune areas. It is shown that zones with and without surface runoff exist; the latter are predominantly (20% by surface area) of the absorbent type and are partly areas of locally enhanced infiltration of groundwater, partly areas with subsurface runoff. It is emphasized that the Warta and Noteć valleys, being the main drainage routes, force a strong groundwater runoff from the central part of the interfluve, where no river network is present.

Key words: groundwater circulation, mathematical modelling, Warta–Noteć Interfluve, NW Poland

Wstęp

Wody podziemne w zależności od warunków występowania oraz powiązań z siecią hydrograficzną tworzą lokalne lub regionalne systemy krążenia. Istotnym problemem jest identyfikacja systemów krążenia płytkich wód podziemnych (tzw. systemy lokalne), które uczestniczą w zasilaniu systemów rzecznych, zachowując stałość ich funkcjonowania zwłaszcza w okresach posusznych oraz wpływają na tempo oraz wielkość odnawiania zasobów wód wglębnych. Lokalne systemy krążenia wód podziemnych formują się w granicach zlewni niskiego rzędu (Szymanko 1980), w których szczególnie widoczna jest współzależność między powierzchnią i podziemną fazą obiegu wody. Wydzielanie systemów krążenia wód podziemnych jest utrudnione na obszarach o skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych i hydrograficznych, do których zaliczyć można np. tereny młodoglacjalne czy wydmore, predysponowane do występowania stref bezodpływowych powierzchniowo. Trudności dotyczą zarówno ustalenia granic struktur hydrogeologicznych, jak i jednostek hydrograficznych (Graf 2007) oraz wyznaczenia w ich zasięgu stref o różnym stopniu aktywności w procesie alimentacji i drenażu wód podziemnych.

Uzyskane na drodze analiz informacje i dane geoprzestrzenne znajdują zastosowanie w modelach pojęciowych i matematycznych systemów wód podziemnych, które można wykorzystać na różnych etapach badań diagnostycznych i prognostycznych (Michalak 2003; Kazimierski 2006).

Zakres i metody badań

W opracowaniu określono warunki formowania systemów krążenia płytkich wód podziemnych dla regionu Międzyrzecza Warty

i Noteci (Fig. 1). Analizowany obszar stanowi największą pod względem powierzchni strefę wydm śródlądowych w Wielkopolsce, co sprzyja występowaniu stref bezodpływowych powierzchniowo oraz zanikowi sieci rzecznej. Uwzględniając zasadnicze determinanty wydzielen systemów krążenia wód podziemnych (Szymanko 1980; Nawalany 1984), zidentyfikowano na omawianym obszarze systemy wód poziomu gruntowego: dolinne i pradolinie, wydmore oraz zagłębienia bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych. Na etapie analiz przestrzennych określono charakter granic systemów, cechy struktury hydrogeologicznej oraz związek z wodami powierzchniowymi, wyznaczając strefy zasilania i drenażu wód poziomu gruntowego.

Problem formowania lokalnych systemów krążenia wód podziemnych rozpatrywano w odniesieniu do podziału hydrograficznego obszaru badań. Powierzchnia międzyrzecza w granicach określonych przez zasięg dolin Warty i Noteci oraz działy wodne zlewni ich dopływów – Kończaka i Gulczanki wynosi 1912 km². W analizie wykorzystano cyfrową bazę danych Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000, która gromadzi dane z kartowania hydrograficznego przeprowadzonego na omawianym obszarze w okresie 2003–2006. Uwzględnione zostały następujące warstwy tematyczne: topograficzne działy wodne, wody powierzchniowe, wody podziemne pierwszego poziomu, przepuszczalność gruntu oraz punkty hydrometryczne pomiarów stacjonarnych. Informacje dotyczące wód podziemnych, w tym warunków ich występowania i dynamiki wahań, obejmowały rozkład hydroizobat odwzorowany dla okresu kartowania hydrometrycznego na bazie pomiarów wykonanych w 342 studniach gospodarskich (studnie kopane) oraz dane IMGW z wielolecia o stanach wód podziemnych zarejestrowanych w trzech posterunkach obserwacyjnych zlokaliz-

zowanych na obszarze badań. Dodatkowo uwzględniono wyniki pomiarów głębokości zwierciadła płytkich wód podziemnych, które zostały przeprowadzone we wrześniu 1999 roku w okresie średnich stanów wód w 20 studniach funkcjonujących w granicach międzyrzecza (Owczarczak 2000). Zebrane dane pozwoliły na weryfikację rozkładu głębokości wód podziemnych, a tym samym – miąższości strefy aeracji na badanym obszarze w odniesieniu do warunków przeciętnych ich zwierciadła. W analizach przestrzennych wykorzystano w sumie dane z poziomów informacyjnych 9 arkuszy Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1 : 50 000.

Uzupełnienie stanowił materiał kartograficzny (mapy geologiczne, hydrogeologiczne, geomorfologiczne), dokumentacje hydrogeologiczne (328 otworów studziennych i badawczych) oraz informacje z wcześniejszych badań prowadzonych na omawianym obszarze w zakresie oceny uwarunkowań obiegu wody (Lewandowski 1989; Raźniecki 1989; Michalak 2001; Graf 2007). Ponadto, w analizie składowych bilansu krążenia wód, wykorzystano wyniki modelowania matematycznego filtracji wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego, przeprowadzonego w granicach obszaru dla warunków przeciętnych ich zwierciadła (Owczarczak 2000).

Warunki formowania systemów krążenia wód podziemnych

Ogólna charakterystyka fizycznogeograficzna obszaru

Międzyrzecze Warty i Noteci (1921 km²) położone jest w zasięgu Kotliny Gorzowskiej (Fig. 1), stanowiącej część Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej (Kondracki 1998). Jego granice wyznaczają systemy dolinne złożone z kilku poziomów teras lodowcowo-rzecznych (Krygowski 1961): Dolina Dolnej Noteci, stanowiąca od Czarnkowa odcinek ujściowy Noteci do Warty oraz Obornicka Dolina Warty, obejmująca dolinę Warty od Obornik do przyjęcia Noteci w rejonie Santoka. Efektem morfogenezy gla-

cialnej i holocenijskiej jest rozległa powierzchnia piasków fluwioglacjalnych i fluwialnych, która stanowiła podstawę do rozwoju trzech typów krajobrazu eolicznego (Stankowski 1963): wydmowego w części centralnej, deflacyjnego na zachodzie i korozyjnego na północy międzyrzecza. Środkową część analizowanego regionu stanowi pole wydm śródlądowych, rozprzestrzeniające się strefą o szerokości około 10 km i długości około 80 km. W północno-wschodniej części obszaru występuje niewielka powierzchnia sandrowa, otoczona przez fragmenty wysoczyzny morenowej oraz pagórki moren czołowych oscylacji czarnkowskiej (Krygowski 1961). Elementy te wpływają na zróżnicowanie warunków hipsometrycznych międzyrzecza, w tym na znaczne deniwelacje terenu dochodzące miejscami do 80–90 metrów.

Rozpatrywany region wchodzi w skład dorzecza Warty i odwadniany jest w części południowej przez niewielkie dopływy Warty (cieki III rzędu) oraz w części północnej przez dopływy Noteci, stanowiące ciekę IV rzędu (Fig. 1). Przebieg działu wodnego III rzędu, rozgraniczającego spływ wody do Warty i Noteci, maskowany jest przez pole wydm, w obrębie którego funkcjonuje rozległy obszar bezodpływowy o charakterze chłonnym o powierzchni 275 km² (Graf 2007). Jeziora skupiają się na omawianym obszarze w trzech zasadniczych strefach: przyrzecza Warty na odcinku Chojno–Międzychód, dorzecza Noteci na odcinku Gościm–Drezdenko oraz w zlewni Miały. Analiza struktury systemu odwodnienia Międzyrzecza Warty i Noteci wykazała, że stopień jego bezodpływowości powierzchniowej wynosi 21%, co nie pozostaje bez wpływu na formowanie systemów krążenia wód podziemnych. Obszar Międzyrzecza Warty i Noteci zaliczany jest do regionów o odpływach jednostkowych niższych od wartości przeciętnej dla Polski ($q = 5,5 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Średni odpływ jednostkowy określony dla okresu wielolecia 1961–2000 wynosi dla zlewni Warty w profilu Wronki $q = 4,1 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, zlewni Noteci w profilu Drezdenko $q = 4,85 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ oraz zlewni Miały w profilu Chełst $q = 4,93 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Według regionalizacji klimatycznej A. Wojsia (1994) rozpatrywany obszar znajduje się prawie w całości w zasięgu Regionu Dolnej

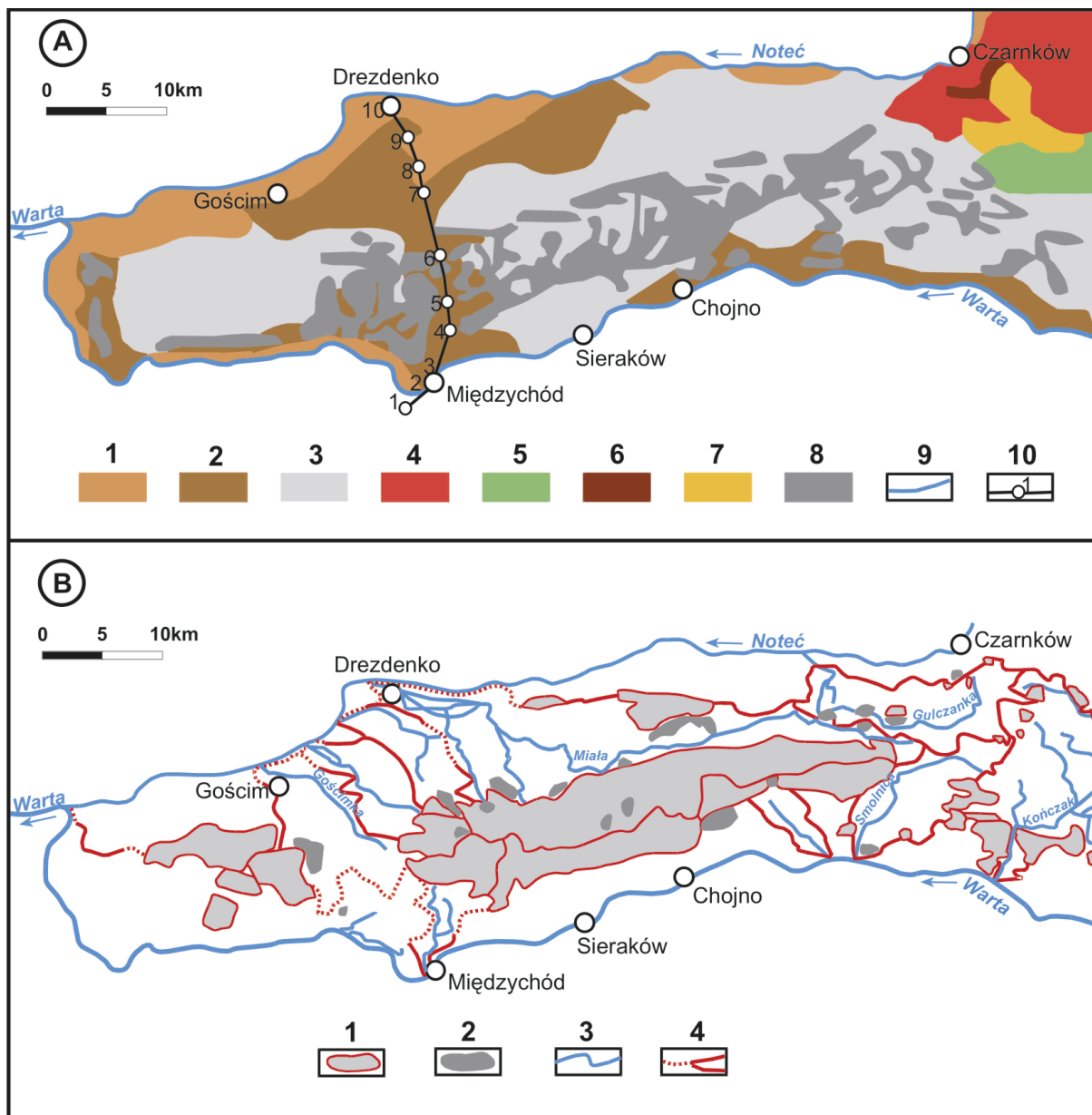


Fig. 1. Warunki geomorfologiczne (A) i struktura hydrograficzna (B) Międzyrzecza Warty i Noteci

A: 1 - terasa zalewowa; 2 - terasa środkowa; 3 - terasa wysoka; 4 - wysoczyzna morenowa pagórkowata; 5 - wysoczyzna morenowa falista; 6 - pagórki moreny czołowej; 7 - równiny sandrowe; 8 - wydmy; 9 - rzeki; 10 - linia przekroju hydrogeologicznego
 B: 1 - zagłębienia bezodpływowe chłonne; 2 - zagłębienia bezodpływowe ewapotranspiracyjne (retencyjne); 3 - ciekі; 4 - topograficzny dział wodny (wyraźny i niepełny)

Fig. 1. The Warta-Noteć Interfluve

A: Geomorphology. 1 - low terrace (floodplain); 2 - middle terrace; 3 - high terrace; 4 - hillocky till plain; 5 - undulating till plain; 6 - zone of end moraines; 7 - outwash plain; 8 - dunes; 9 - rivers; 10 - hydrogeological cross-section
 B: Hydrography. 1 - absorbent basins without external drainage; 2 - evapotranspiration-dominated (retention) basins; 3 - water courses; 4 - watershed (distinct and indistinct)

Warty, a tylko niewielki, wschodni fragment wchodzi w skład Regionu Środkowowielkopolskiego. Średni roczny opad kształtuje się w granicach 550–600 mm, natomiast średnia roczna temperatura powietrza wynosi około 8°C.

Szczegółowa charakterystyka fizycznogeograficzna obszaru badań przedstawiona została w pracach Pilarczyka (1976), Lewandowskiego (1989), Raźnieckiego (1989), Owczarczaka (2000), Michalaka (2001) i Graf (2007).

Uwarunkowania geologiczne

Ze względu na przedmiot badań, jakim są płytkie wody podziemne, charakterystykę warunków geologicznych obszaru ograniczono do środowiska utworów czwartorzędowych. Szczegółowo zagadnienia te, w odniesieniu do głębszego podłoża geologicznego, zostały przedstawione przez Krygowskiego (1961) i Pilarczyka (1976).

Bezpośrednie podłoże utworów czwartorzędowych tworzy zróżnicowana zarówno pod względem genezy, jak i warunków hipsometrycznych (rzędne od kilku do 55 m n.p.m.) powierzchnia stropu serii miocenu (mułki, iły, piaski) o miąższości 100–150 m oraz ilów poznańskich (pliocen) o zróżnicowanej miąższości (Krygowski 1961). Czwartorzęd reprezentuje w miarę ciąga pokrywa utworów o miąższości od kilku do ponad 100–150 m (Fig. 2), związanych z działalnością akumulacyjną lądolodu oraz wód fluwioglacjalnych i rzecznych. Najmniejsze miąższości utwo-

rów czwartorzędowych występują w północno-wschodniej części obszaru, natomiast największe stwierdzono w jego centralnej części (Pilarczyk 1976). Na omawianym obszarze występują głównie pokłady gliny zwałowej zlodowacenia środkowopolskiego i bałtyckiego, przedzielone interglacjalnymi piaskami, żwirami i mułkami. W strefie przypowierzchniowej i na powierzchni zalegają głównie utwory piaszczysto-żwirowe zlodowacenia bałtyckiego oraz utwory holocenijskie o miąższości dochodzącej do 40 metrów (Fig. 1, 2). Są to rzeczne osady terasy środkowej i wysokiej, piaski wydmore oraz torfy. Torfy budują terasy zalewowe, zwłaszcza doliny Noteci oraz zagłębienia bezodpływowe.

Urozmaicone warunki geologiczne oraz morfologiczne rozpatrywanego regionu, zwłaszcza niewyraźna i zawiła rzeźba terenu wydmorego, wpływają na formowanie systemów krążenia płytkich wód podziemnych znajdujących się w zasięgu oddziaływania sieci hydrograficznej obszaru.

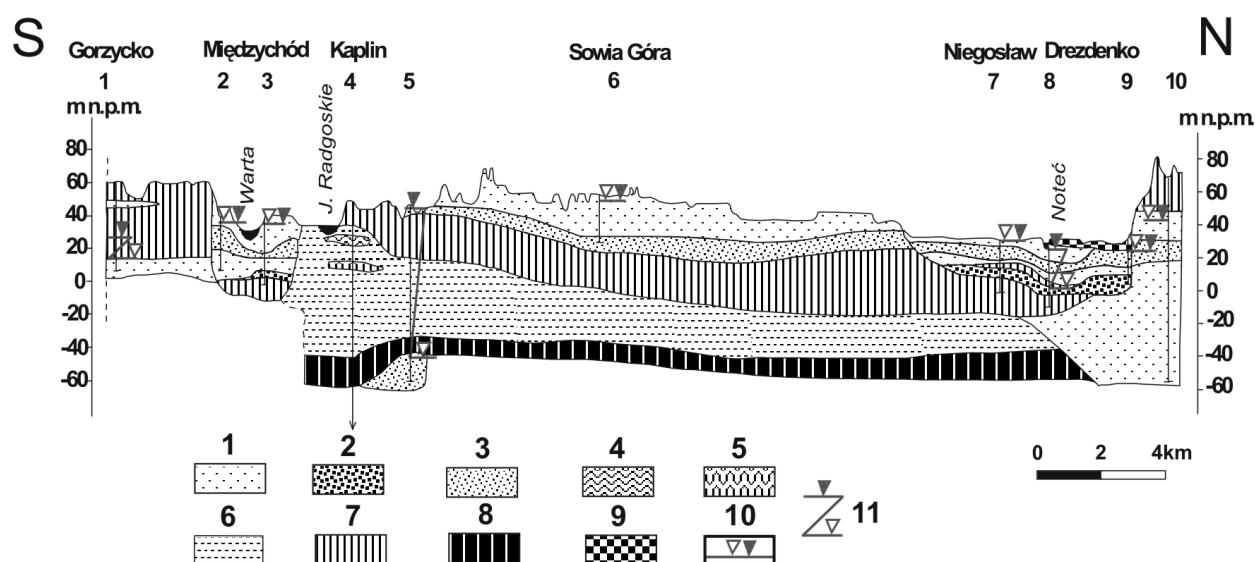


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny:

1 - piasek drobnoziarnisty i średnioziarnisty; 2 - piasek gruboziarnisty i żwiry; 3 - piasek różnoziarnisty; 4 - piaski i mułki; 5 - muły; 6 - iły; 7 - glina zwałowa; 8 - węgiel brunatny; 9 - torf; 10 - zwierciadło swobodne; 11 - zwierciadło napięte (nawiercone, ustabilizowane)

Fig. 2. Hydrogeological cross-section.

1 = fine- and medium-grained sand; 2 = coarse sand and gravel; 3 = poorly sorted sand; 4 = silty sand; 5 = silt; 6 = clay; 7 = till; 8 = brown coal; 9 = peat; 10 = water table; 11 = confined water table (drill-penetrated, piezometric surface)

Identyfikacja systemów krążenia wód podziemnych

W identyfikacji lokalnych systemów krążenia wód podziemnych wykorzystano założenia koncepcji systemu dynamicznego zlewni (Soczynska 1984) oraz kryteria wydzielen systemów krążenia wód podziemnych (Szymanko 1980). Uwzględniono również identyfikatory wydzielen stref pierwszego poziomu wód podziemnych na Nizinie Wielkopolskiej (Żurawski 1968). Przyjęto, że podstawowymi determinantami wydzielen systemów wód podziemnych są: forma układu hydrostrukturalnego oraz charakter powiązań, poprzez strefy zasilania i drenażu, z obiegiem wód powierzchniowych oraz z otaczającymi systemami wodonośnymi.

Lokalne systemy krążenia wód podziemnych

Na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci wody podziemne płytkich poziomów wodonośnych, w zależności od warunków występowania oraz powiązań z siecią hydrograficzną, tworzą lokalne systemy krążenia, które formują się w zlewniach III (dopływy Warty) i IV rzędu (dopływy Noteci). Reprezentowane są głównie przez systemy wód gruntowych, wykształcone w układach hydrostrukturalnych dolinnych i pradolinnych (Fig. 2). Nieznaczne fragmenty, zwłaszcza w północno-wschodniej części obszaru, zajmuje system płytkich wód podziemnych w sandrze oraz poziom międzyglinowy górny wysoczyzny morenowej. W zasięgu rozległego pola wydmowego, w centralnej części międzyrzecza, uformowały się systemy krążenia wód podziemnych w układach nieciągłych wydmi oraz zagłębień bezodpływowych.

Ze względu na charakter powiązań wód podziemnych z wodami powierzchniowymi (Szymanko 1980) dominującym typem na obszarze badań są systemy wód gruntowych odkrytych o zwierciadle swobodnym zasilane przez infiltrację. Uczestniczą one bezpośrednio w obiegu wód powierzchniowych poprzez drenaż, odbywający się na poziomie organizacji odpływu ze zlewni niskiego i najniższego rzędu oraz po-

przez ewapotranspirację. Poziom ten wykształcony jest zarówno w piaszczysto-żwirowych utworach fluwialnych, jak też fluwioglacjalnych i osiąga zmienną miąższość w zakresie 5–20 m. Również poziom wydmy, ze względu na nieciągły charakter rozprzestrzeniania, wykazuje zróżnicowaną miąższość od 2 do 30 m. Z kolei, miąższość poziomu międzyglinowego górnego wysoczyzny morenowej nie przekracza 10 m.

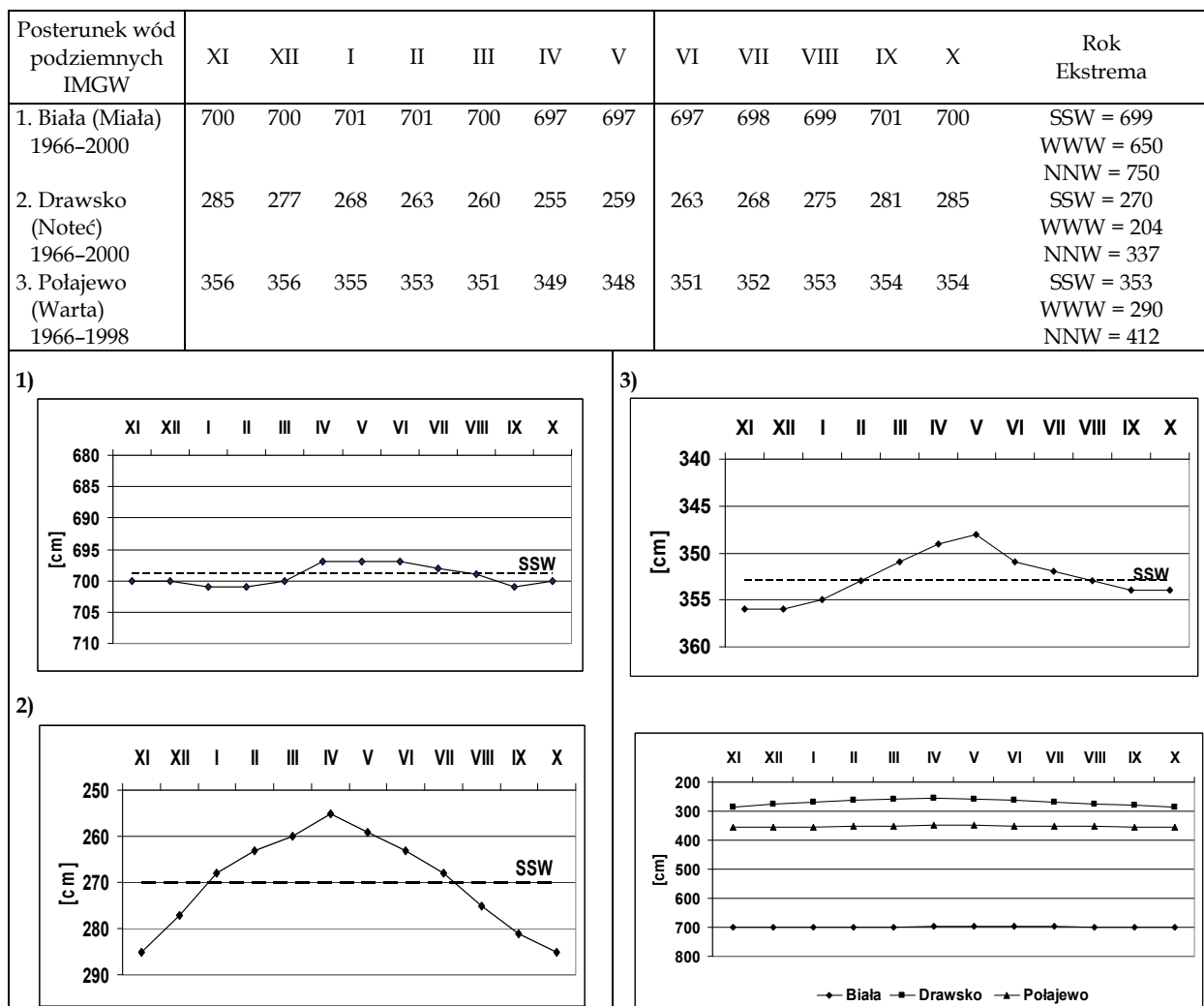
Na omawianym obszarze występują także systemy wód gruntowych w strefach zagłębień bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych o ograniczonym kontakcie z obiegiem wód powierzchniowych. Systemy te obejmują kompleks przypowierzchniowych utworów wodonośnych o charakterystycznej redukcji strefy aeracji (przeciętnie kilka metrów), w obrębie których wymiana wód odbywa się poprzez infiltrację, wsiąkanie oraz parowanie. Obszary bezodpływowe powierzchniowo formują się zwłaszcza w strefach działów wodnych zlewni, jak również w zagłębieniach śródmowych i nieckach deflacyjnych, co wymusza lokalne drogi krążenia wód podziemnych.

Zróżnicowanie form morfologicznych analizowanego obszaru wpływa na zmienną głębokość wód podziemnych poziomu gruntowego. Płytkie występowanie wód podziemnych, do 1 m p.p.t., związane jest ze strefą dolin: Warty i Noteci oraz ich dopływów, jak również z obszarami zagłębień bezodpływowych, głównie ewapotranspiracyjnych. Na pozostałym obszarze dominują głębokości zwierciadła wód podziemnych w zakresie 1–5 m p.p.t., z wyjątkiem pagórków wydmy, w obrębie których zwierciadło wód podziemnych kształtuje się lokalnie poniżej 10 m p.p.t., miejscami nawet w granicach 15–20 m p.p.t.

Różnorodność struktur hydrogeologicznych wpływa również na dynamikę i typ wahań zwierciadła wód podziemnych. W charakterystyce reżimu płytkich wód podziemnych wykorzystano dane dotyczących średnich miesięcznych i rocznych stanów wód (1966–2000) rejestrowanych w trzech posterunkach obserwacyjnych IMGW (Tab. 1). Wytypowane studnie reprezentują pradolinny i dolinny typ wahań wód podziemnych (posterunek Drawsko i Biała) oraz typ wahań specyficzny dla strefy wysoczyznowej (Połajewo).

Tabela 1. Zmienność średnich miesięcznych stanów wód podziemnych na tle wartości średnich i ekstremalnych z wielolecia. Poniżej znajduje się graficzne przedstawienie danych tabelarycznych

Tab. 1. Mean monthly groundwater stages compared with multi-year mean and extreme stages. Below, the data are shown in plots



Wody podziemne charakteryzują się sezonowym reżimem zasilania, z jednym okresem wzniosu stanów w czasie trwania stanów wiosennych (III-IV) i jednym okresem niżówki letnio-jesiennej (VIII-XI). Zasilanie wód podziemnych zachodzi głównie w czasie roztopów, a nagromadzone w tym okresie zasoby wód są sukcesywnie szczytowane aż do jesieni. W sezonie letnim obserwuje się nieznaczny wpływ opadów na zmiany zwierciadła wód podziemnych w analizowanych studniach. Roczny rytm wahań stanów wód podziemnych wykazuje bardzo słabe zróżnicowanie stanów średnich miesięcznych, czego potwierdzeniem są również niskie wartości amplitud ich wahań (Tab. 1). Amplitudy wahań stanów wód pod-

ziemnych w strefie dolinnej (Żurawski 1968) kształtują się w granicach do 1m i są silnie związane z wpływem stanów wody w rzece. Amplituda roczna, obliczona jako różnica między skrajnymi wartościami średnich miesięcznych stanów, wynosi w przypadku omawianych studni (Biała, Drawsko) od kilku cm do 0,3 m. Natomiast amplitudy skrajne kształtują się w granicach 1,0-1,3 m. Wysoczywny typ wahań zwierciadła wód podziemnych reprezentuje studnia w Połajewie. Również w tym przypadku obserwuje się niewielką amplitudę rocznych wahań wód podziemnych. Nieznaczna jest także amplituda wahań dla stanów ekstremalnych, która w rozpatrywanym wielolecu wynosiła zaledwie 1,2 metra. Wydmowy typ

wahań zwierciadła wód podziemnych charakteryzuje się znaczną stabilnością i powolną reakcją na oddziaływanie czynników zewnętrznych, co świadczy o dużej bezwładności hydrologicznej obszaru. Amplitudy średnioroczne mieszczą się w granicach od 0,2 m do 0,5 m, natomiast amplitudy skrajne wynoszą około 1,2–1,5 m. Wyrównany przebieg stanów w ciągu roku i wielolecia obserwuje się również w sandrowym typie wahań wód podziemnych, o czym świadczą amplitudy skrajne wahań (1–2 m) oraz amplitudy średnioroczne (w granicach 0,5 metra).

Cechy reżimu wód podziemnych różnicowane są w istotny sposób uwarunkowaniami lokalnymi, np. sąsiedztwem dolin, wydm i zagłębień bezodpływowych. Na omawianym obszarze dominują rozległe powierzchnie piaszczyste, które wpływają na dużą pojemność retencyjną oraz inercję systemu regionalnego, co znacznie łagodzi oddziaływanie czynników związanych z zasilaniem i drenażem płytkich wód podziemnych.

Alimentacja wód podziemnych – strefy zasilania

Na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci obserwuje się zróżnicowanie charakteru powierzchni alimentacji wód podziemnych poziomu gruntowego, która odbywa się głównie poprzez infiltrację opadów atmosferycznych. Uwzględniając litologię utworów przypowierzchniowych, gdzie dominują utwory piaszczyste i piaszczysto-żwirowe (Fig. 1), obszar badań zaliczyć można do stref o korzystnych warunkach zasilania infiltracyjnego wód podziemnych (Żurawski 1966), zachodzącego efektywnie na terenach o niewielkich deniwelacjach i płytkim występowaniu ich zwierciadła. Uprzywilejowane w tym zakresie są strefy zagłębień bezodpływowych chłonnych (około 20% powierzchni badanego terenu) o niewielkiej miąższości strefy aeracji, które lokalnie mogą tworzyć obszary wzmożonego zasilania infiltracyjnego wód podziemnych i kształtowania tą drogą odpływu podziemnego ze zlewni (Graf 2007). Z kolei warunki morfologiczno-litologiczne oraz infiltracyjne struktur wydmowych (typ mniej korzystny), ograniczają w dużym stopniu

efektywne zasilanie wód podziemnych, sprzyjając organizacji spływu powierzchniowego oraz zatrzymywaniu wód opadowych w licznych zagłębieniach bezodpływowych. Przyczynia się to do tworzenia w miejscach zagłębień bezodpływowych o podłożu trudno przepuszczalnym (około 1% powierzchni), podmokłości lub zbiorników wodnych, a w konsekwencji do wzrostu ewapotranspiracji. Elementami utrudniającymi odnawialność zasobów wód podziemnych w zasięgu pola wydmowego międzyrzecza są: znaczna miąższość utworów piaszczystych (lokalnie do 50 m) i głębokie zaleganie zwierciadła wód podziemnych (10–20 m p.p.t.).

Strefy drenażu wód podziemnych

Stołość funkcjonowania systemów rzecznych oraz jezior związana jest w szczególności z zasilaniem przez wody podziemne. Strefami drenażu dla wód podziemnych płytkich poziomów wodonośnych są doliny: Warty i Noteci oraz mniejszych ich dopływów, jak również systemy jezior i zagłębień bezodpływowych (Fig. 1, 2). Specyfika terenu wydmowego oraz funkcjonowanie dolin Warty i Noteci jako głównych regionalnych osi drenażu, wymusza silny odpływ wód podziemnych, co w konsekwencji decyduje o braku sieci rzecznej w centralnej części obszaru.

Lokalne strefy drenażu płytkich wód podziemnych nawiązują do układu sieci hydrograficznej skłonów międzyrzecza, które rozdziela dział wodny III rzędu, kierujący spływ wód do Warty i Noteci. W zasięgu skłonu południowego funkcjonują zlewnie dopływów Warty (Kończak, Smolnica, Rów Rzeciński) oraz system drobnych cieków odprowadzających wody z grupy jezior rynnowych w rejonie Chojno-Międzychód (Fig. 1). Północna część omawianego skłonu wchodzi w skład rozległego obszaru bezodpływowego typu chłonnego, wskutek czego pozbawiona jest sieci rzecznej. W obrębie północnego skłonu Międzyrzecza Warty i Noteci wydzielono strefę drobnych cieków i rowów melioracyjnych w najbliższym sąsiedztwie doliny Noteci, następnie część środkową z systemem jezior w rejonie Gościm-Drezdenko odwadnianą przez większe dopływy Noteci

(Gulczanka, Miałą, Lubiątka, Gościmka) oraz strefę rozległego obszaru bezodpływowego typu chłonnego.

Poza usytuowaniem stref drenażowych (Fig. 1), kierunek spływu wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego związany jest z konfiguracją i nachyleniem stropu utworów słabo przepuszczalnych. Zespoły jezior międzyrzecza zlokalizowane są najczęściej w strefach obniżenia stropu gliny zwałowej (poniżej 20 m n.p.m.), co zwiększa dopływ wód podziemnych, zapewniając stałość ich funkcjonowania. Wielkość odpływu podziemnego w danej zlewni różnicuje się w zależności od cech struktury hydrogeologicznej, w tym głównie jej zasobności oraz kontaktu wód podziemnych z wodami powierzchniowymi. Istotne zależności między tymi elementami zaznaczają się w systemach wód gruntowych o ograniczonym kontakcie z obiegiem wód powierzchniowych, które tworzą się w strefach zagłębienia bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych. Odpływ podziemny w tych strefach jest pochodną oddziaływania procesów infiltracji i parowania.

Badania modelowe przepływu wód podziemnych

W identyfikacji systemów krążenia płytkich wód podziemnych, w tym warunków ich zasilania i drenażu oraz bilansu przepływu, wykorzystano również wyniki badań modelowania matematycznego filtracji wód podziemnych. Zostały one przeprowadzone dla przeciętnego stanu hydrodynamicznego systemu. Szczegółowy opis modelu oraz procedury badań modelowych (program SP2) przedstawione zostały w pracy Owczarczaka (2000).

Badania modelowe filtracji wód podziemnych prowadzono w wytypowanych zlewniach regionu Międzyrzecza Warty i Noteci. Uwzględniając warunki hydrogeologiczne, sporządzono model numeryczny filtracji wód podziemnych przy założeniu istnienia przepływu ustalonego, wymuszonego przez zadanie odpowiednich warunków brzegowych. Struktura przestrzenna obszaru filtracji i jego granice wyznaczone zo-

stały w układzie zlewni dopływów Warty i Noteci (Fig. 3). Ze względu na mało dokładne rozpoznanie warunków hydrogeologicznych regionu, model ma charakter jednowarstwowy, odwzorowujący system krążenia płytkich wód podziemnych w warunkach zwierciadła swobodnego. Struktura modelu odnosi się głównie do poziomu wód gruntowych strefy dolinnej i sandrowej, co nie w pełni odzwierciedla relacje systemu płytkich wód podziemnych z systemem wód wglębnych. Przyjęty model wyznacza zasięg systemu krążenia wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego w skali 1:100 000 w układzie siatki dyskretyzacyjnej $xy=1 \text{ km}^2$ w odniesieniu do obszaru o powierzchni 2191 km^2 .

Warstwę wodonośną odwzorowano na modelu warunkami brzegowymi: I rodzaju, które zadano na granicy umownej strumieni wód podziemnych ($H = \text{const}$) oraz II rodzaju, określającymi wielkość infiltracji efektywnej opadów. Ponadto, na ciekach i zbiornikach wodnych zadano warunek brzegowy III rodzaju, obrazujący kontakt systemu drenażu z warstwą wodonośną (Fig. 3). W przyjętym schemacie swobodnego zwierciadła wód podziemnych uwzględnione zostały następujące parametry hydrogeologiczne: rzędna zwierciadła wód gruntowych, rzędna spągu warstwy wodonośnej, współczynnik filtracji oraz miąższość warstwy wodonośnej. W każdym z 2191 bloków obliczeniowych założono warunki izotropowe, nie wykluczając zmienności parametrów filtracyjnych między blokami.

Model uznano za wytarowany przy depresji rzędu $\pm 1,0 \text{ m}$ dla następujących wielkości parametrów hydrogeologicznych i przyjętej wielkości infiltracji efektywnej: współczynnik filtracji $0,1\text{--}3,0 \text{ mh}^{-1}$, miąższość warstwy wodonośnej 1–20 m, przewodność hydrauliczna od kilku do ponad $150 \text{ m}^2\text{h}^{-1}$ oraz infiltracja efektywna $6\text{--}40 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{km}^{-2}$. Lokalnie zidentyfikowano strefy z mniejszą dokładnością (powyżej 1,0 m) odwzorowania rzędnych zwierciadła wód podziemnych dla warunków przeciętnych formowania się ich zasobów. Są to głównie obszary krawędzi dolin Warty i Noteci oraz fragmentarycznie strefy rynien jeziornych.

Schemat krążenia płytkich wód podziemnych obrazuje układ zwierciadła i kierunki

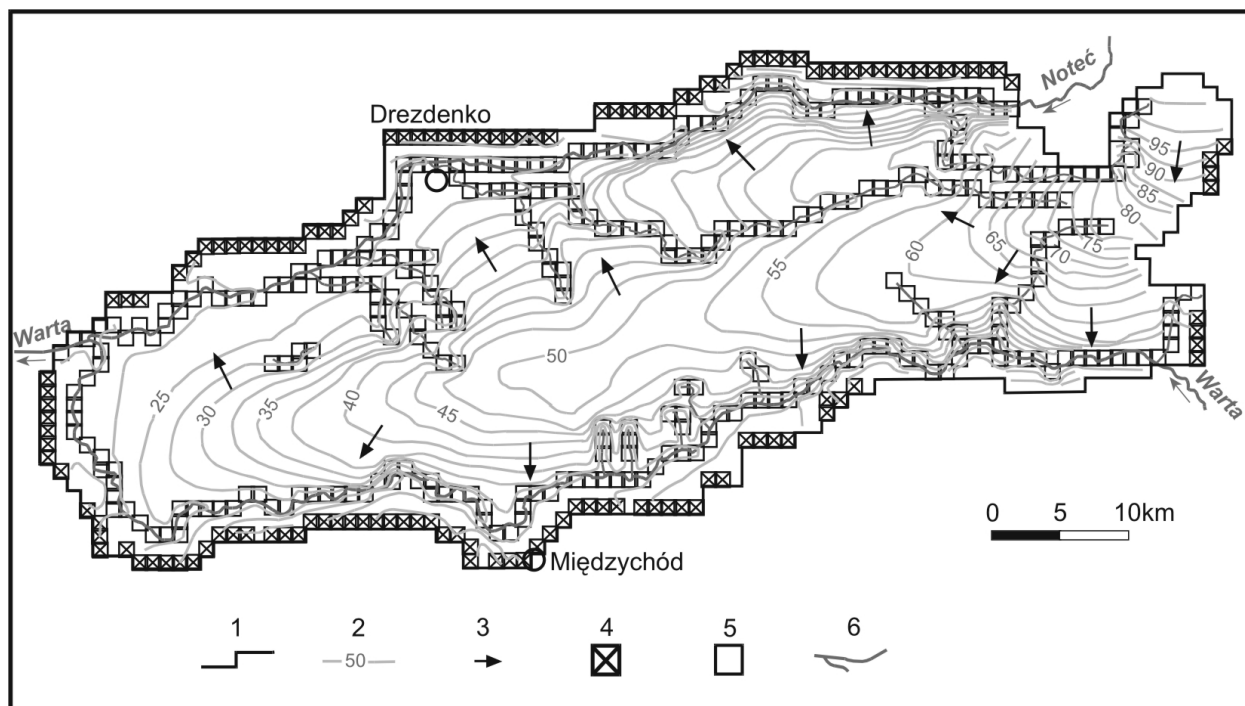


Fig. 3. Układ krążenia wód poziomu gruntowego na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci (Owczarczak 2000)

1 – granica modelu matematycznego; 2 – hydroizohipsy; 3 – kierunki splywu wód podziemnych; 4 – bloki modelowe odwzorowujące warunki brzegowy I rodzaju; 5 – bloki modelowe odwzorowujące warunki brzegowy III rodzaju; 6 – rzeki

Fig. 3. Groundwater circulation in the interfluvium (from Owczarczak 2000)

1 – boundary of the model area; 2 – hydroisohyps; 3 – direction of groundwater flow; 4 – model boundary condition (type I) blocks; 5 – model boundary condition (type III) blocks; 6 – rivers

przepływu wód w poziomie gruntowym (Fig. 3). Strumienie wód podziemnych formują się w zależności od lokalizacji stref alimentacji i drenażu wód podziemnych, które związane są z warunkami hydrogeologicznymi oraz z siecią hydrograficzną. Charakter strumieni i ich kierunek wskazują, że główna strefa alimentacji płytkich wód podziemnych znajduje się w centralnej części obszaru, w obrębie pola wydmowego. Teren ten stanowi regionalną strefę zasilania czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Duża miąższość utworów eolicznych maskuje przebieg powierzchniowego, jak również podziemnego działu wodnego, nadając im charakter niepewny. Strumienie wód podziemnych kierują się od zasadniczej strefy alimentacji na południe do doliny Warty i północ do doliny Noteci. Systemy krążenia wód poziomu gruntowego formują się w zlewniach wyznaczonych przez lokalne działki wodne III i IV rzędu. Dopływy Warty i Noteci oraz jeziora stanowią lokalne bazy drenażu dla wód podziemnych płytkich poziomów wodonośnych. We wschodniej części obszaru

warunki krążenia płytkich wód podziemnych znacznie komplikują się ze względu na duże zróżnicowanie warunków morfologicznych i filtracyjnych. Spadek strumienia wód podziemnych wynosi 1–2‰ w strefach przepływu od obszarów wododziałowych zlewni w kierunku dolin rzecznych, natomiast w samych strefach drenażowych wzrasta do powyżej 3‰.

Wyróżniony układ krążenia wód podziemnych znajduje się pod silnym wpływem elementów otoczenia, którego oddziaływanie na badany poziom wodonośny określają warunki brzegowe modelu. Przepływ wód przez granice modelu świadczy o dużej złożoności struktury analizowanych systemów.

Bilans krążenia wód podziemnych

Elementy bilansu krążenia płytkich wód podziemnych określone zostały poprzez dwie główne składowe: zasilania i strat. Sumaryczny wydatek zasilania płytkiego poziomu wodonoś-

nego stanowi: infiltracja efektywna opadów atmosferycznych ($12\,715\text{ m}^3\text{h}^{-1} = 78\%$), dopływ podziemny spoza obszaru badań ($3257\text{ m}^3\text{h}^{-1} = 20\%$) oraz infiltracja wód rzecznych ($392\text{ m}^3\text{h}^{-1} = 2\%$). Przy założeniu układu jednowarstwowego, obliczona wielkość zasobów odnawialnych obejmuje tylko część wód, które mogą zasilać poziom gruntowy. Natomiast straty wód dotyczą wielkości drenażu przez system rzeczny ($15\,500\text{ m}^3\text{h}^{-1} = 95\%$), odpływu podziemnego poza granice modelowanego obszaru ($475\text{ m}^3\text{h}^{-1} = 3\%$) oraz ewapotranspiracji ($385\text{ m}^3\text{h}^{-1} = 2\%$). Ewapotranspirację interpretowano na modelu jako różnicę między ilością wody zasilającej

niskiego i najniższego rzędu, dla wybranych zlewni dopływów Warty i Noteci oraz ich przyrzeczy dokonano analizy wielkości zasilania infiltracyjnego i drenażu płytkich wód podziemnych (Tab. 2).

Ze względu na znaczną schematyzację warunków hydrogeologicznych, uzyskane składowe bilansu krążenia płytkich wód podziemnych należy traktować jako wartości orientacyjne. Wymagają one weryfikacji w odniesieniu do warunków skrajnych zwierciadła wód podziemnych oraz uszczegółowienia w zakresie stopnia dokładności odwzorowania warunków środowiskowych.

Tabela 2. Wybrane charakterystyki lokalnych systemów krążenia wód podziemnych Międzyrzecza Warty i Noteci

Tab. 2. Selected characteristics of the local groundwater circulation systems of the Warta–Notec Interfluve

Zlewnia		Powierzchnia [km ²]	Długość zasadniczego cieku [km]	Infiltracja efektywna opadów [m ³ h ⁻¹ dm ³ s ⁻¹ km ⁻²]	Drenaż rzeczny [m ³ h ⁻¹ dm ³ s ⁻¹ km ⁻²]	Moduł drenażu liniowego [dm ³ s ⁻¹ km]	Liczba zagłębień bezodpływowych*	Udział zagłębień bezodpływowych [%]	Typ bilansowy zlewni Relacja Q _I – Q _D
skłon południowy	Przyrzecze Warty	613,0	105 (Warta)	3678–1,7	5932–2,7	15,7	11	21	Q _I < Q _D
	Rów Rzeckiński	63,0	8	259,8–1,1	102,9–0,4	3,6	–	–	Q _I > Q _D
	Smolnica	73,8	15	452,4–1,7	349,8–1,3	6,5	5	1,8	Q _I > Q _D
	skłon południowy	749,8**	105	4390,2–1,6	6384,7–2,4	16,9	16	18,3	Q _I < Q _D
skłon północny	Przyrzecze Noteci	303,0	80 (Notec)	1791–1,6	5579–5,1	19,4	5	8,0	Q _I < Q _D
	Gościmka	96,2	13	799,1–2,3	652,7–1,9	13,9	1	2,2	Q _I > Q _D
	Lubiatka	59,0	9	349,6–1,6	510,4–2,4	15,7	2	23	Q _I < Q _D
	Gulczanka	90,0	24	531,9–1,5	328,7–1,3	3,8	7	2,4	Q _I > Q _D
	Miała	409,2	52	2206–1,6	1950–1,0	10,4	13	43,4	Q _I > Q _D
	skłon północny	957,4	80	5677,6–1,6	9020,8–2,6	31,3	28	23,8	Q _I < Q _D

* chłonne + ewapotranspiracyjne

** powierzchnia nie uwzględnia zlewni Kończaka

system wód gruntowych, a ilością wody odpływającej z systemu. Wartość ta określona została na $6,0\text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{km}^{-2}$, co odpowiada parowaniu około 50 mm z 1 km². Określone wielkości składowych bilansu wód podziemnych uzyskane zostały dla przeciętnego stanu hydrodynamicznego systemu.

Zakładając, że lokalne systemy krążenia wód podziemnych formują się w obrębie zlewni

Infiltracja efektywna

Moduł zasilania infiltracyjnego wód poziomu gruntowego (przeciętny stan hydrodynamiczny systemu) wynosi dla analizowanego obszaru $Q_I = 1,56\text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$, co stanowi 9% średniej rocznej sumy opadów atmosferycznych. Dla poszczególnych zlewni cząstkowych oraz przyrzeczy Warty i Noteci wartość ta kształ-

tuje się w granicach $Q_I = 1,1-2,3 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ (Tab. 2), co wskazuje na znaczne podobieństwa w zakresie uwarunkowań infiltracji opadów. Najniższa wartość modułu zasilania infiltracyjnego określona została dla zlewni Rowu Rzezińskiego, w której nie zidentyfikowano zagłębień bezodpływowych chłonnych, pełniących lokalnie funkcje stref o zwiększonej alimentacji wód podziemnych. Poza tym, w zlewni tej współczynnik filtracji utworów wodonośnych osiąga skrajnie małe wartości ($0,5 \text{ mh}^{-1}$), co nie pozostaje bez wpływu na warunki zasilania wód podziemnych.

Większe różnice w zakresie przestrzennego rozkładu wielkości infiltracji efektywnej obserwuje się w podziale dyskretnym obszaru. Wielkość infiltracji efektywnej kształtuje się od $2-30 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{km}^{-2}$, co daje wartość modułu w zakresie $0,55-8,5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$. Dąbrowski (1995) określa moduł odnawialności wód podziemnych poziomu gruntowego w środkowej Wielkopolsce na $Q_I = 4-16,4 \text{ m}^3\text{h}^{-1}\text{km}^{-2}$ ($1,13-4,56 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$).

Drenaż wód podziemnych

Przeciętne moduły zasilania podziemnego cieków rozpatrywanego obszaru (bez Warty i Noteci) różnicują się w zakresie $Q_D = 0,45-2,40 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$ (Tab. 2). Najniższe wartości uzyskane zostały dla Rowu Rzezińskiego (dopływ Warty), natomiast najwyższe dla Lubiutki (dopływ Noteci). Zarejestrowano zwiększoną wielkość drenażu wód podziemnych w ciekach odwadniających zlewnie ze znacznym udziałem obszarów bezodpływowych, jak np. zlewnia Miały (43%) i Lubiutki (23%). Drenaż liniowy Lubiutki wynosi $15,7$, a Miały $10,4 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}$, podczas gdy dla pozostałych dopływów Warty i Noteci lokuje się poniżej $7,0 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}$ (Tab. 2). Wysoki moduł liniowy zasilania podziemnego ($14 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}$) określony został również dla Gościmki (dopływ Noteci), która odwadnia zlewnię o niewielkim udziale zagłębień bezodpływowych (Fig. 1), położoną w obniżeniu stropu gliny zwałowej, co może zwiększać napływ wód podziemnych do stref drenażu.

Średnia wartość modułu odpływu podziemnego dla całego obszaru międzyrzecza

wynosi $1,96 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$, natomiast udział odpływu gruntowego w stosunku do odpływu całkowitego rzek kształtuje się w granicach 50–80%.

Wykorzystując wyniki badań modelowych dokonano oceny relacji zachodzących między infiltracją efektywną opadów atmosferycznych i zasilaniem podziemnym cieków, wydzielając dwa typy bilansowe zlewni (Tab. 2). Na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci dominują systemy zlewni z przewagą zasilania infiltracyjnego wód podziemnych nad ich drenażem do sieci rzecznej ($Q_I > Q_D$). Ilość wód pochodzących z infiltracji efektywnej opadów i transformujących się w odpływ podziemny do cieków wynosi od 41% (zlewnia Rowu Rzezińskiego) do 87% (zlewnia Miały). Płytkie występowanie wód podziemnych może sprzyjać w tym przypadku parowaniu, co zmniejsza zasobność poziomu wodonośnego. Wielkość ewapotranspiracji, określona dla wód poziomu gruntowego stanowi około 3% strat wody z systemu (Owczarczak 2000). Straty wód podziemnych w danym systemie ich krążenia mogą być też związane z odpływem wód do zlewni sąsiadującej poprzez strefy zagłębień bezodpływowych.

W przypadku zlewni Lubiutki wielkość zasilania podziemnego cieku przewyższa infiltrację efektywną opadów atmosferycznych o około 50% ($Q_I < Q_D$). Sytuacja ta może oznaczać, że odpływ podziemny tworzy się również z napływu wód spoza zlewni. Jednak na tym etapie badań ocena wielkości wymiany wód zachodząca między zlewniami wymaga weryfikacji. Podobne relacje między składowymi bilansu przepływu płytkich wód podziemnych zarejestrowane zostały w małych zlewniach Niziny Wielkopolskiej, np. zlewni Szarki (dopływ Obry), znajdującej się na Wysoczyźnie Poznańskiej oraz zlewni Maskawy (dopływ Warty) położonej na Wysoczyźnie Gnieźnieńskiej (Graf 1999).

Podsumowanie

Na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci, stanowiącym największą pod względem powierzchni strefę wydm śródlądowych w Wielkopolsce, lokalne systemy krążenia wód podziemnych formują się w granicach zlewni III

(dopływy Warty) i IV rzędu (dopływy Noteci). Ich funkcjonowanie determinowane jest zarówno poprzez uwarunkowania geologiczne, jak i morfologiczne, które wpływają na kształtowanie stref zasilania i drenażu wód podziemnych.

Jako dominujące uznano systemy wód gruntowych, wykształcone w układach hydrostrukturalnych dolinnych i pradolinnych o różnym stopniu oddziaływań z otoczeniem oraz strefy zagłębień bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych (21% powierzchni), w których wymiana wód odbywa się poprzez procesy infiltracji i wsiąkania lub parowania. W zakresie alimentacji wód podziemnych oraz organizacji odpływu podziemnego do cieków, istotne znaczenie mają zagłębienia bezodpływowe o charakterze chłonnym, które pełnią rolę stref lokalnie wzmożonego zasilania infiltracyjnego wód podziemnych oraz formowania tą drogą odpływu podziemnego ze zlewni. Z kolei, w strefie wydmy efektywne zasilanie wód podziemnych ogranicza znaczna miąższość utworów piaszczystych (lokalnie 30–50 m) oraz głębokie występowanie ich zwierciadła.

W ciekach odwadniających zlewnie o znacznym udziale zagłębień bezodpływowych chłonnych stwierdzono wzrost wielkości modułu drenażu liniowego. Doliny Warty i Noteci, jako główne osie drenażu, wymuszają silny odpływ wód podziemnych z centralnej części międzyrzecza, czego efektem jest brak sieci rzecznej. Analiza bilansu przepływu płytkich wód podziemnych wykazała dominację zlewni o typie bilansowym z przewagą zasilania infiltracyjnego wód podziemnych nad ich drenażem do sieci hydrograficznej.

Podziękowania

Serdecznie dziękuję Recenzentom artykułu, Panom: dr Jackowi Gurwinowi i dr Krzysztofowi Dragonowi za konstruktywne uwagi do niniejszej pracy.

Literatura

DĄBROWSKI S., 1995: Odnowalność zbiorników wód podziemnych w rejonie Poznania. [In:] A. KANIECKI & J. ROTNICKA (Eds.): *Wody powierzchniowe Poznania. Pro-*

blemy wodne obszarów miejskich, Wydawnictwo Sorus, Poznań, 139–152.

GRAF R., 1999: *Warunki zasilania i szczyptywania wód podziemnych pierwszego poziomu w wybranych zlewniach Niziny Poznańskiej*. Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN, 24, Poznań, 144 pp.

GRAF R., 2007: Strefy aktywne hydrologicznie na obszarze Międzyrzecza Warty i Noteci. [In:] Z. MICHALCZYK (Ed.): *Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska 8*. Wydawnictwo UMCS, Lublin, 241–252.

KONDRACKI J., 1998: *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 441 pp.

KAZIMIERSKI B., 2006: Opis a model pojęciowy jednolitych części wód podziemnych. *Geologos*, 10: 131–140.

KRYGOWSKI B., 1961: *Geografia Fizyczna Niziny Wielkopolskiej*, cz. I *Geomorfologia*, PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Komitet Fizjograficzny, Poznań, 203 pp.

LEWANDOWSKI W., 1989: *Próba monograficznego opracowania północnego skłonu Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego oraz stosunków wodnych na podstawie badań przeprowadzonych w roku hydrologicznym 1988*. Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFikSP UAM (maszynopis), Poznań.

MICHALAK W., 2001: *Charakterystyka odpływu rzecznej obszaru Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego*. Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFikSP UAM (maszynopis), Poznań.

MICHALAK J., 2003: Modele pojęciowe hydrogeologicznych danych geoprzestrzennych – podstawy metodyczne. *Biuletyn PIG, Hydrogeologia*, 406, 5: 154 pp.

NAWALANY M., 1984: Wody podziemne w ujęciu teorii systemów dynamicznych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Seria Budownictwo*, 86: 83–87.

OWCZARZAK B., 2000: *Warunki zasilania i szczyptywania wód podziemnych poziomu gruntowego na obszarze Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego*. Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFikSP UAM (maszynopis), Poznań.

PILARCZYK L., 1976: Międzyrzecze Warciańsko-Noteckie jako pole wydmy w odniesieniu do powierzchni terasowych i innych. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria Geografia Fizyczna*, 29: 45–79.

RAŻNIECKI A., 1989: *Charakterystyka hydrograficzna południowego skłonu Międzyrzecza Warciańsko-Noteckiego*. Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej IGFikSP UAM (maszynopis), Poznań.

SOCZYŃSKA U., 1984: Podstawy matematycznego modelowania systemów hydrologicznych. *Przegląd Geograficzny*, 1–2: 81–98.

STANKOWSKI W., 1963: Rzeźba eoliczna Polski północno-zachodniej na podstawie wybranych obszarów. *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN*, Poznań, 4, 1: 146 pp.

SZYMANO J., 1980: *Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 263 pp.

WOŚ A., 1994: *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wydawnictwo Naukowe UAM. Poznań, 192 pp.

ŻURAWSKI M., 1966: Próba wydzielenia typów infiltracyjnych Niziny Wielkopolskiej. *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN, Poznań*, 6, 1: 53 pp.

ŻURAWSKI M., 1968: Próba wydzielenia stref pierwszego poziomu wód podziemnych na Nizinie Wielkopolskiej.

Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN, Poznań, 7, 1: 105 pp.

*Manuskrypt otrzymano 9 czerwca 2008;
poprawioną wersję zaakceptowano do druku 15 listopada 2008*