

## Wpływ budowy geologicznej zlewni Grzmiącej na odpływ podziemny z czwartorzędowych poziomów wodonośnych

Marek Walisch\*



**Influence of the Grzmiąca catchment geological structure on groundwater outflow from Quaternary aquifers (central Poland).** Prz. Geol., 55: 236–246.

*S u m m a r y.* The author concentrated on characteristic elements of the Grzmiąca basin geology determining its groundwater outflow. The study area is a small part of the Bzura drainage basin located NE of Łódź, in the northern margin of the Łódź Heights, which were formed during the Wartanian glaciation. Large thickness (50–110 m) of the fluvio-glacially originated Pleistocene sands and gravels is the most important feature of this basin. They are surrounded from N, W, and S with clays of the Odranian and Wartanian glaciations origin. The clays form a ring coinciding with the watershed zone of the basin. This structure is responsible for the high underground water capacity indicated by the analysis of the groundwater outflow changeability. Below the Pleistocene sediments the basin is sealed by Pliocene silts and clays, in practice precluding percolation of groundwaters below the drainage level. It

was confirmed by the equalized water balance for 1996–1997 derived from field studies. High permeability of the surface sediments facilitates rainwater infiltration. It also concerns thawing waters, as shown by a comparing the river groundwater supply after and before thawing (March 1996). Fluctuations of the groundwater outflow are considerable but at the same time they show a very high runoff trend stability. The Grzmiąca catchment fills up with water for a long time and then is slowly drained. The other feature of the studied basin is its high spring yield which together with intensive linear drainage along the rivers results in a very high percentage of groundwater outflow in the total runoff (88.5%). This is due to the fact that the springs area and along the main river course there is a thick water-bearing horizon consisting of sands of the Odranian and Wartanian age which are continuous, not separated with clays.

**Key words:** escarpment catchment, catchment geology, catchment capacity, groundwater outflow, yield of springs

W artykule tym zawarta jest charakterystyka odpływu podziemnego przedstawiona na tle budowy geologicznej zlewni Grzmiącej. Zlewnia Grzmiącej jest położona w środkowej Polsce, w dorzeczu Mrożyicy, która należy do systemu rzecznoego Mrogi, będącej prawym dopływem Bzury — lewego dopływu Wisły. Badania terenowe, prowadzone w latach 1995–1996 polegały na hydrograficznym skartowaniu obszaru zlewni oraz pomiarach przepływu w profilu kontrolnym, dokonywanych raz na dwa tygodnie. Pomiaru przepływu, których dane posłużyły do skonstruowania miesięcznego bilansu wodnego, ograniczają się do dwóch lat hydrologicznych 1996–1997. Badania te są częścią szerszej zakrojonej pracy, obejmującej łącznie obszar siedmiu zlewni. Przy omawianiu niektórych wyników badań, o ile było to konieczne, dokonano stosownych porównań do obiegu wody w zlewniach krawędziowych (zlewnia górnej Moszczenicy, Strugi Dobieszkowskiej oraz Ciosenki), położonych w sąsiedztwie zlewni Grzmiącej (ryc. 1). Poprzez zlewnie krawędziowe autor rozumie te, które są położone na północnym stoku krawędzi Wzniesień Łódzkich.

### Geomorfologiczno-geologiczna charakterystyka zlewni

Przypominająca nieco trapez zlewnia Grzmiącej odznacza się stosunkowo niewielką powierzchnią (18,5 km<sup>2</sup>), a jednocześnie dużą deniwelacją terenu sięgającą 98,9 m, co zaważyło o pokaźnej stoczności zlewni ( $\Psi = 23,0\%$ ). Obszar ten, rozciągający się częściowo na linii krawędziowej Wzniesień Łódzkich, cechuje duża średnia wysokość bezwzględna (201,4 m n.p.m.) i dość wyraźna maksymalna kulminacja w terenie, sięgająca 256,9 m n.p.m.

W morfologii tego obszaru są reprezentowane trzy, spośród pięciu, poziomy krawędziowe (wysoczyzny, smardzewski oraz strykowski), które na większym obszarze, wykraczającym poza teren zlewni, układają się amfiteatralnie w kierunku doliny Mrożyicy oraz w kierunku doliny sąsiedniej Moszczenicy. Na obszarze zlewni jest reprezentowany jedynie fragment owego charakterystycznego, schodkowego układu topograficznego.

Najwyższy poziom wysoczyzny, zbudowany głównie z warciańskich glin morenowych glaciału warty, o wysokości bezwzględnej 220–280 m n.p.m. występuje na SW obrzeżach zlewni. Poziom ten łączy się z niższym poziomem smardzewskim progiem, o nachyleniu 8° w środkowej części zlewni i około 6° w części W i NW. Niższy poziom smardzewski stanowi dość wyrównaną powierzchnię, rozciętą dolinami Grzmiącej i Mrożyicy. Jest on zbudowany wyłącznie z piasków sandrowych i zajmuje głównie środkową część zlewni. Najniższy z poziomów — strykowski — wciną się klinami w poziom smardzewski, okalając dolny odcinek doliny Grzmiącej (Wojnar-Dynarska, 1975). Jest on zbudowany, podobnie jak poziom wyższy, z analogicznych piasków rzecznołodowcowych oraz z osadów fluwialnych (ryc. 2).

Dział wodny, zamykający zlewnię od południa, jest poprowadzony po kulminacjach Wzniesień Łódzkich, które stanowią falistą wysoczyznę morenową, zbudowaną z dwóch pokładów gliny zwałowej o znacznej miąższości, zdeponowanych w trakcie zlodowacenia warty i odry. W niektórych miejscach gliny te, otaczające środkową część zlewni dość szerokim łukiem o kształcie podkowy, są nierozdzielone, a w pozostałych rozdzielają je cienkie wkładki lub grubsze serie fluwio-glacialnych żwirów i piasków pochodzących ze zlodowacenia warty. W ich obrębie spotyka się niewielkie, kilkudziesięciometrowe poletka piasków rzecznołodowcowych górnych, w które swobodnie mogą infiltrować wody opadowe. Podobnie mogą przebiegać procesy wsiąkania wód w tutejsze doliny denudacyjne wysłane mułkami i piaskami deluwialnymi o miąższości

\*Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź

1–2 m (Wojnar-Dynarska, 1975). Gliny zwałowe w zachodniej części zlewni stopniowo wyklinowują się ku wschodowi i odsłaniają na powierzchni grube pokłady warciańskich, fluwioglacjalnych piasków i żwirów. Jednakże w strefie ciągnącej się na zachód od wsi Grzmiąca warciańskie i odrzańskie serie glin rozcięte są przez fluwioglacjalne piaski i żwiry, nachylone dość łagodnie ku wschodowi, czyli w stronę doliny Grzmiącej (ryc. 3). Ten wyraźny „język” jest zwykłym przedłużeniem grubych serii fluwioglacjalnych, spoczywających w środkowej i północnej części zlewni. Trudno jest jednak stwierdzić, jaki jest zasięg przestrzenny opisanej powyżej budowy geologicznej, interpretując tylko zamieszczony przekrój geologiczny badanego regionu (ryc. 3; Brzeziński, 1986). Niewątpliwie budowa taka, reprezentowana w południowej i zachodniej części obszaru, stwarza warunki do istnienia wód międzyglinowych, a także do funkcjonowania miąższego, międzymorenowego poziomu wodonośnego. We E części zlewni poziom ten przechodzi w jednolity, miąższy poziom funkcjonujący w piaskach i żwirach fluwioglacjalnych, nie będąc przykrytym warstwą glin (ryc. 3). Jest on dość silnie i stale drenowany przez najbardziej wydajne źródła Grzmiącej. Współwystępowanie ze sobą, w dość chaotycznych układach, utworów źródnicowanych pod względem przepuszczalności logicznie wyjaśnia bardzo duże różnice w głębokościach pierwszego, napotkanego poziomu wodonośnego w W i S części zlewni. Do koryta Grzmiącej powinny zatem trafiać nie tylko płytkie wody utrzymujące się na pokładach glin zwałowych, które miejscami tworzą pierwszy poziom wodonośny, lecz także w dużej mierze głębsze wody międzymorenowe i podmorenowe. Ten drugi rodzaj wód z bardzo dużym prawdopodobieństwem jest reprezentowany na powierzchni w niszach źródłowych, oznaczonych na ryc. 5 literami A oraz D. W strefach tych wody podziemne tworzą wspólny poziom gromadzący ww. wody podziemne, napływające z wyższych partii zlewni. Prawdopodobnie ten właśnie czynnik, obok dużych możliwości infiltracyjnych badanej zlewni, jest współdecydującym o istnieniu jej zrównoważonego\* bilansu wodnego, co na tle innych zlewni regionu łódzkiego stawia ją w zupełnie innej kategorii pod względem dynamiki krążących wód.

Środkową i północną część zlewni obejmuje rozległa równina rzecznołodowcowa, która w większości pokrywa się ze smardzewskim poziomem krawędziowym. Jest ona zbudowana z bardzo grubych serii (miejscami nawet powyżej 60 m) piasków i żwirów zlodowacenia odry i warty, pod którymi znajdują się żwiry i piaski rzeczne interglacjalu mazowieckiego (ryc. 3; Brzeziński, 1986). Dlatego retencyjność tej części zlewni, jak i pozostałych obszarów, gdzie utwory fluwioglacjalne są przykryte pokładem glin, pozostaje na bardzo wysokim poziomie.

Na podstawie przekrojów geologicznych całkowitą miąższość utworów plejstocenicznych można oszacować w przedziale od ok. 50 do ponad 110 m (Brzeziński, 1986, 1992).

\*Poprzez zrównoważony bilans wodny autor rozumie istnienie przybliżonej równowagi pomiędzy przychodami i stratami wody w zlewni ( $P = E + H \pm \Delta R$ ) w latach 1996–1997, bez uwzględniania retencji, która w takim wypadku pozostaje na zerowym poziomie ( $P$  — opad atmosferyczny,  $E$  — ewapotranspiracja,  $H$  — odpływ całkowity,  $\Delta R$  — różnica retencji)

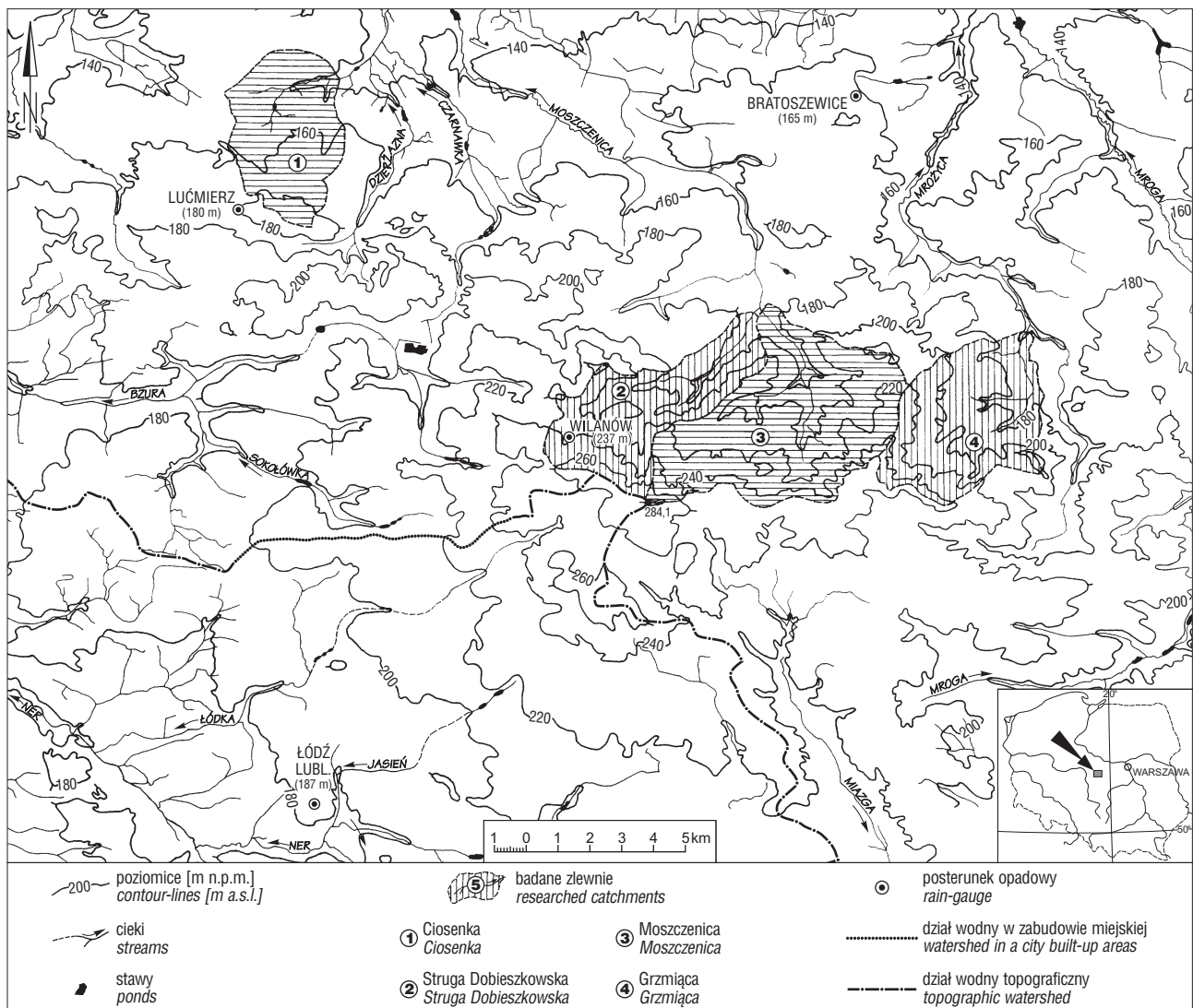
Osady neogeńskie w postaci plioceńskich mułków, iłów oraz piasków zachowały się prawie na całej podplejstocenijskiej powierzchni zlewni Grzmiącej, lecz ich miąższość jest zróżnicowana. Spoczywają one bezpośrednio na utworach juraj, ponieważ utwory kredowe i paleogeńskie zostały zniszczone przez procesy erozyjno-denudacyjne w interglacjalie Pilicy (Różycki, 1972; Klajnert, 1982). Pozostałe w podłożu utwory plioceńskie (Brzeziński, 1986), stanowią szczelne podłoże luźnych osadów plejstocenicznych, najprawdopodobniej utrudniają ucieczkę wód podziemnych w jurajskie wapienie, co nie zostało jednak potwierdzone analizą ciśnień hydrostatycznych. Podobną funkcję pełnią ily mioceńskie, które w środkowej i południowej części zlewni są jedynymi reprezentantami neogenu i szczelnie izolują osady plejstocenijskie. Ich miąższość osiąga największe rozmiary (do 40 m) w strefie obniżenia mezozoicznych w okolicach Grzmiącej (Trzmiel, 1971).

Doliny rzeczne na obszarze zlewni mają swe założenie w interglacjalie eemskim, kiedy zaczęła się tworzyć obecna sieć rzeczna. Jako rzeki marginalne funkcjonowały już wtedy Mroga i górne odcinki Mrożycy (Klatkova, 1965). Zostały wyerodowane prawie wyłącznie w łatwo przepuszczalnych piaszczysto-żwirowych równinach sandrowych, dzięki czemu wody podziemne mogą pozostawać w stałym kontakcie z wodami aluwialnymi na całej długości cieku głównego i jego dopływów. Vistuliańskie tarasy nadzalewowe (maksymalnie do 2 m n.p. rzeki) zbudowane z piasków, żwirów i mułków są znacznie lepiej zbudowane na lewym brzegu doliny cieku głównego Grzmiącej niż na prawym. Natomiast brak ich zupełnie wzdłuż jego dopływów. Praktycznie wszystkie cieki zlewni mają swoje przedłużenie w postaci długich, suchych, denudacyjnych dolin, wypełnionych mułkami i piaskami deluwialnymi (ryc. 2). Górne ich odcinki nacinają pokłady glin, a najprawdopodobniej na niektórych odcinkach rozcinają je, kontaktując się z luźnymi utworami fluwioglacjalnymi, jak w analogicznej dolinie górnej Mrożycy (Trzmiel & Nowacki, 1987). Na podstawie obserwacji stwierdzono, że doliny te są odwadniane przez cieki epizodyczne, które nie wykształciły koryt wzdłuż ich biegu.

#### Przepuszczalność utworów powierzchniowych wyznaczone metodami hydrologicznymi

Możliwości infiltracyjne utworów powierzchniowych zlewni zostały ocenione na podstawie współczynnika odpływu powierzchniowego  $\gamma$  ustalonego przez Czarnecką (1976) na bazie wskaźnika nieprzepuszczalności Bołdakowa  $N$  (Wokroj, 1967 [W:] Byczkowski, 1996). Po uśrednieniu niektórych wartości wskaźnika nieprzepuszczalności pomiędzy propozycjami Czarneckiej i Bołdakowa, wydzielono jego cztery klasy (tab. 1).

Wartości te informują o ilości wód pochodzenia atmosferycznego, które przedostają się do cieku na skutek spływu powierzchniowego. Czarnecka prowadziła swoje badania dla przepływów maksymalnych wywołanych bardzo intensywnym i skoncentrowanym w czasie zasilaniem atmosferycznym, dlatego uznała, że ta woda, która nie dostaje się do cieku przez filtrację i drenaż wód podziemnych, spływa po powierzchni lub paruje. W rzeczywistości litologia podłoża i parametry charakteryzujące jego przepuszczalność oddziałują głównie w tej części roku hydrologicznego, która pozbawiona jest dłuższych okresów z ujemnymi temperaturami. Odnosi się to zarówno do silnego, jak i umiarkowanego zasilania. Dlatego trafna wyda-



Ryc. 1. Położenie zlewni badawczych i posterunków opadowych na tle rzeźby i sieci rzecznej regionu łódzkiego

Fig. 1. Location of the studied catchments and rain-gauges against the background of the Łódź region surface relief and the river network

je się korekta wprowadzona przez obu autorów (Jokiel & Maksymiuk, 2000) zamieniająca określenie „splyw powierzchniowy” na odpływ bezpośredni, poprzez który autorzy rozszerzyli pojęcie splywu o odpływ śródpokrywowy\*, odgrywający dużą rolę przy umiarkowanym zasileniu atmosferycznym.

Przeciętny współczynnik odpływu bezpośredniego dla poszczególnych zlewni obliczono jako średnią ważoną współczynnika  $\gamma$ . Wagami są powierzchnie zajęte przez osady o określonym współczynniku. Zróżnicowanie współczynnika  $\gamma$  na badanym obszarze zawiera się w szerokim przedziale 0,15–0,60. Udział poszczególnych klas przepuszczalności w zlewni Grzmiącej przedstawia się następująco: klasa I — 57,7%, II — 10,8%, III — 3,3%, IV — 28,2% powierzchni (ryc. 4). Średni współczynnik nieprzepuszczalności wynosi  $N = 0,303$ , co na tle innych zlewni regionu łódzkiego jest wartością stosunkowo niską, wyróżniającą badany obszar dobrymi parametrami przepuszczalności utworów powierzchniowych. Przestrzenny

rozkład skrajnych pod względem wartości tego parametru osadów (I i IV klasa) jest o tyle ciekawy, że gliny, zajmując co prawda ponad 50% powierzchni górnej części zlewni, współwystępują tu z utworami piaszczystymi pochodzenia wodnolodowcowego. Płytko leżące gliny występują w postaci dość szerokiej strefy w kształcie litery „L”, szczerlnie wypełniając strefę wododziałową na południu zlewni. W ten sposób rozdzielają strefę fluwioglacjalnych piasków i żwirów osadzonych w strefie działu wodnego zlewni Grzmiącej i Moszczonicy od piasków wodnolodowcowych w środkowej i wschodniej części tej zlewni (ryc. 2).

Dla pozostałych zlewni krawędziowych, w stosunku do których w artykule znajdują się odwołania, średni wskaźnik  $N$  kształtuje się następująco: dla zlewni górnej Moszczonicy — 0,324, Strugi Dobieszkowskiej — 0,284 oraz Ciosenki — 0,218.

Dla obiegu wody ważny jest również fakt zupełnego braku wykształconej sieci cieków okresowych w strefie słabo przepuszczalnego pasa glinowego, co stwarza bardzo ograniczone możliwości powierzchniowego splywu wód w kierunku chłonnej, środkowej części zlewni. W gliniastym pasie istnieją jedynie suche doliny denudacyjne, które epizodycznie mogą odprowadzać wody powierzchniowe. Z punktu widzenia potencjalnej infiltracji ważne

\*Odpływ śródpokrywowy jest utożsamiany z odpływem podglebowym skoncentrowanym z wód, które nie osiągnąwszy strefy saturacji przedostają się bezpośrednio z podglebia lub gleby do koryt rzecznych

jest, że do I klasy nieprzepuszczalności należy aż 57,7% powierzchni zlewni Grzmiącej w postaci dużego, zwartego obszaru, na którym są położone wszystkie doliny cieków stałych wraz z osadami aluwialnymi.

### Wody powierzchniowe i źródła

Wody powierzchniowe zlewni Grzmiącej tworzą głównie cieki stałe, stawy hodowlane wraz z przydomowymi sadzawkami oraz podmokłości w miejscu występowania źródeł i wycieków. Gęstość cieków stałych jest, na tle regionu łódzkiego, przeciętna i wynosi  $0,36 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ , a całkowita ich długość oscyluje wokół 6,6 km. Za ciek epizodyczny na obszarze tej zlewni można uznać krótki odcinek dna zwykle suchej doliny (ok. 1,1 km) powyżej wycieku oznaczonym literą B (ryc. 5). Za odcinek źródłowy głównego biegu Grzmiącej należy uznać ciek rozpoczynający się wydajnym, descensyjnym źródłem w postaci „kamieńca” (oznaczenie A na ryc. 5), czyli niszy wypełnionej w podłożu licznymi głazami, głazikami oraz grubym żwirem. Za takim właśnie zaklasyfikowaniem tego odcinka świadczy fakt, że niesie on ze sobą największą ilość wody spośród wszystkich dopływów (ok. 20% w

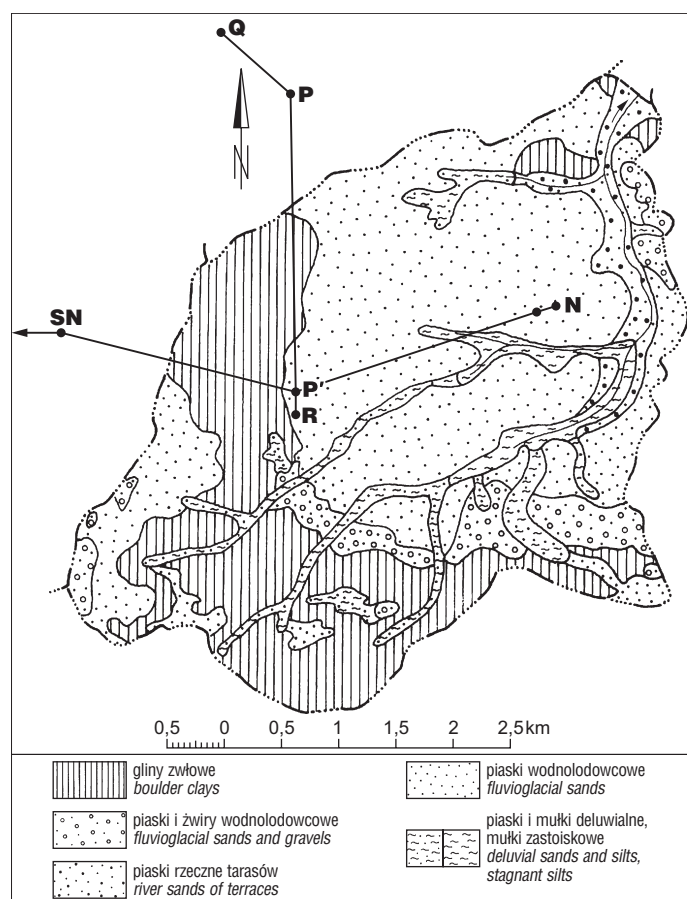
opinii Michałusa, 1999) i jest minimalnie dłuższy od odcinka rozpoczynającego się wyciekami B. Według badań tego samego autora, u wylotu długiej i głęboko wciętej niszy „kamieńca”, przepływ wody w roku hydrologicznym 1998 wahał się pomiędzy  $10,2$  a  $19,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nie oznacza to wcale, że „kamieńca”, dający początek temu ciekowi, odznacza się aż tak dużą wydajnością. Wartość tę należy przyjąć za sumę wydajności wszystkich drobnych źródeł i wycieków, które odprowadzają wodę do wydłużonej niszy. Nagromadzenie wielu descensyjnych wypływów, zlokalizowanych głównie w południowej części niszy, u podnóża kilkumetrowej skarpy, zbudowanej głównie z piasków wodnolodowcowych powoduje, że przepływ niewielkiej strugi znacznie narasta w pierwszych kilkuset metrach jej biegu. W okresie kartowania zlewni (sierpień 1995) nisza ta, skontrolowana nieco powyżej profilu Michałusa, charakteryzowała się dość niską wydajnością ( $10,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), której udział w przepływie całkowitym cieku ( $Q_c$ ) wyniósł tylko 14,1%, czyli podobnie jak w badaniach Michałusa (1999), średnio 13,5% w 1998 r. Odcinek południowy, będący według powyższego rozumowania dopływem Grzmiącej, rozpoczyna swój bieg w postaci niezbyt wydajnego wycieku, położonego w lesie olsowym (oznaczenie B na ryc. 5). Udział tego odcinka w odpływie całkowitym w miejscu połączenia z ciekami głównym szacuje się, podobnie jak cytowany wyżej autor na ok. 15%.

Bardzo krótkim, lewym dopływem rzeki głównej jest ciek biorący swój początek w postaci stabilnego, wydajnego i descensyjnego źródła (oznaczenie D na ryc. 5). Udział tego odcinka w odpływie całkowitym zlewni jest szacowany zgodnie przez obu autorów na ok. 8–10%.

Z pozostałych wypływów wód podziemnych na uwagę zasługuje jeszcze niewielkie źródło, oznaczone na ryc. 5 literą C. Jego wydajność na początku okresu badawczego wynosiła ok.  $1,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Udział dwóch najważniejszych wypływów wód podziemnych w odpływie całkowitym zlewni wyniósł 23,3% w połowie czerwca 1997 r. Natomiast na początku badań podczas kartowania, suma zmierzonych wypływów wód podziemnych ( $18,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) wyniosła 26,0% całkowitego wydatku zlewni. Ich łączny udział w stosunku do średniego przepływu podziemnego w dwuleciu 1996–1997 utrzymywał się na poziomie 20,4%, co na drenaż liniowy oraz niewielkie, nie zmierzone pod względem wydajności wycieki pozostawia aż 79,6% odpływu podziemnego. Jednak udział wydatku trzech rozpatrywanych źródeł (A, C i D) w okresie kartowania był wyższy i w stosunku do odpływu podziemnego całej zlewni wyniósł w tym czasie 25,3%. Ze względu na brak terminowych pomiarów wydajności źródeł, należy raczej założyć, że to wartość 74,7% jest bardziej zbliżona do rzeczywistego udziału drenażu liniowego w całkowitym odpływie podziemnym ( $Q_g$ ), ponieważ obydwie składowe tej proporcji pochodzą z tego samego okresu.

Na uwagę zasługuje też fakt, że najbardziej wydajne źródła na obszarze całej zlewni funkcjonują tam, gdzie hydroizohipsy pierwszego poziomu wodonośnego wykazują stosunkowo niewielkie zagęszczenie (ryc. 6). Jak wynika z profilu geologicznego (ryc. 3) oraz sporadycznych odwiertów, na obszarach intensywnego drenażu źródłowego nie stwierdzono występowania większych płatów glin. Prawie zupełny brak glin na



**Ryc. 2.** Litologia utworów powierzchniowych zlewni Grzmiącej (uproszczona) wg *Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000*, arkusz Główno (Brzeziński, 1986), arkusz Łódź–Wschód (Trzmiel & Nowacki, 1984); zaznaczono przebieg profilu geologicznego SN (Skoszewy Nowe) — P'–N; profil R–P'–P–Q nie został zamieszczony w artykule

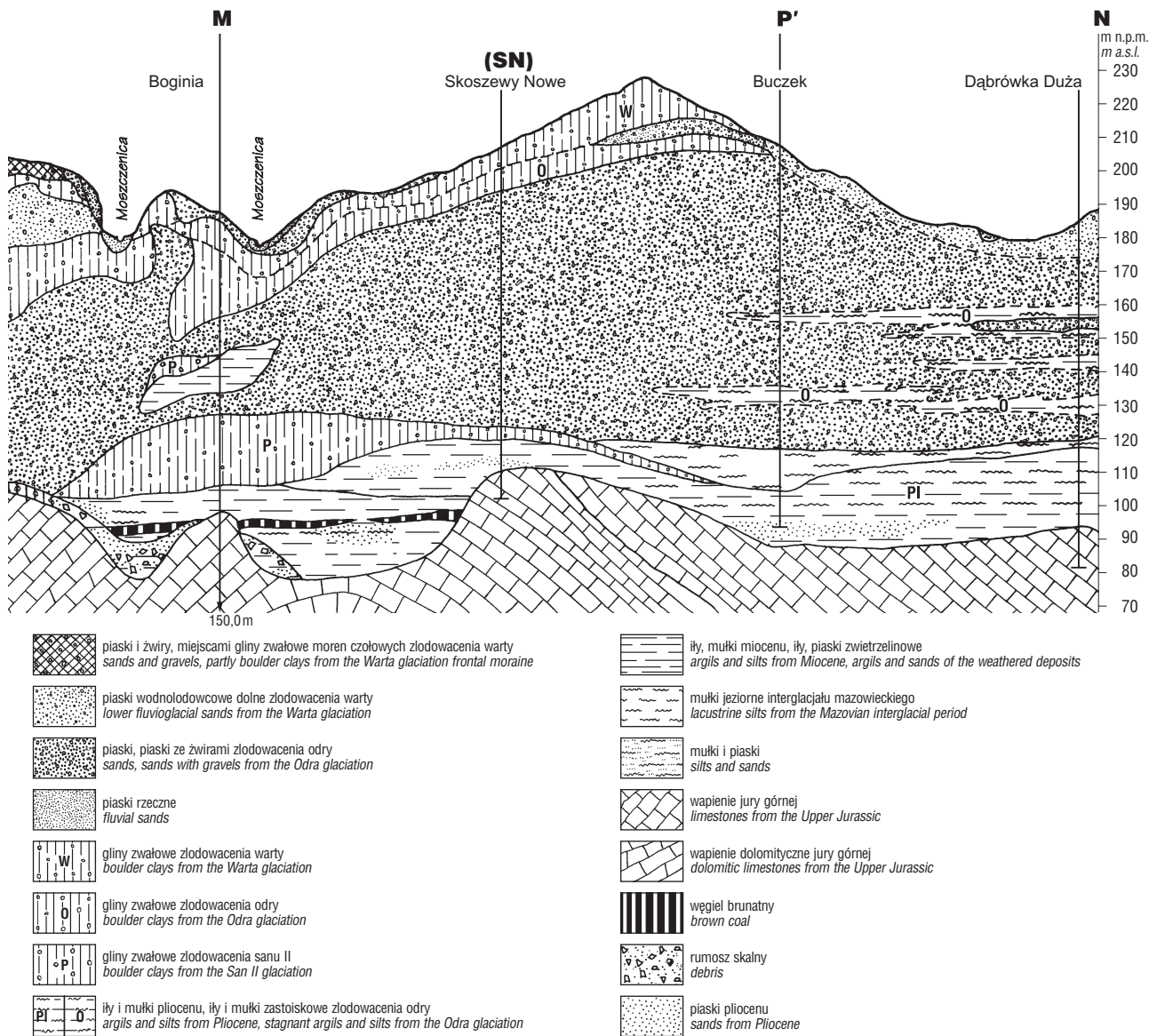
**Fig. 2.** Surface deposits lithology of the Grzmiąca catchment (simplified) after the *Detailed Geological Map of Poland 1:50 000*, sheets Główno (Brzeziński, 1986) and Łódź–East (Trzmiel & Nowacki, 1984); route of the geological cross-section SN (Skoszewy Nowe) — P'–N; the cross-section R–P'–P–Q is not illustrated in this paper

tym obszarze powoduje, że pierwszy, napotkany poziom wodonośny odznacza się dużą miąższością i zasobnością. Poziom ten łączy się hydraulicznie z trzema poziomami amfiteatralnie rozlokowanej strefy wysoczyznowej (wododziałowej) zlewni: namorenowym, międzymorenowym oraz podmorenowym. Tego rodzaju właściwość hydrogeologiczna zlewni skutkuje dużą wydajnością i stabilnością wypływu wód podziemnych całego zespołu źródeł.

### Warunki hydrogeologiczne czwartorzędowych poziomów wodonośnych

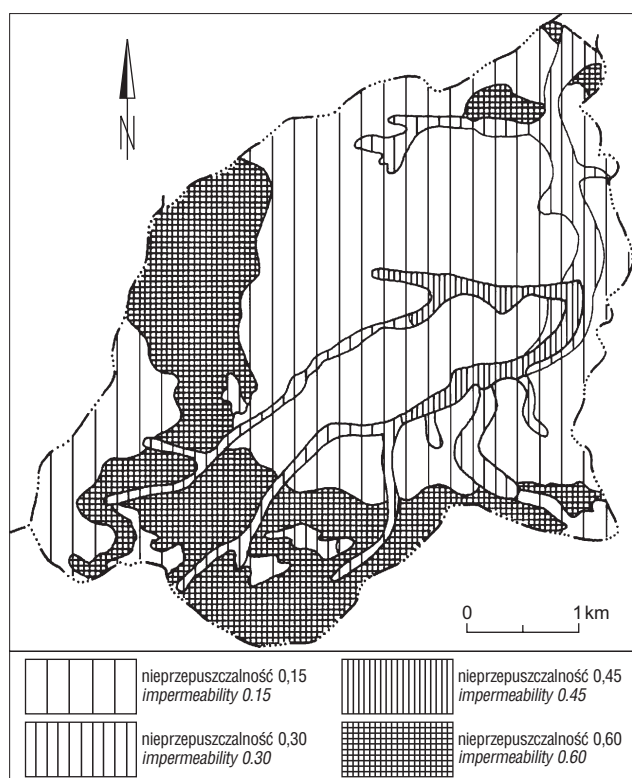
Sytuacja hydrogeologiczna w zlewni Grzmiącej jest dość złożona. Wody podziemne występują na glinach zwałowych, pomiędzy pokładami glin (wody międzymorenowe), a także głęboko pod glinami jako wody podmorenowe. W niektórych partiach zlewni występują wody znajdujące się w soczewkach utworów łatwiej przepuszczalnych (piasek gliniasty, piasek, żwir), przez co stają się odizolowane od otaczających utworów słaboprzepuszczalnych. Jednak na podstawie nielicznych odwiertów hydro-

geologicznych, zbierania informacji o kopanych studniach oraz załączonego profilu geologicznego (ryc. 3), nie można jednoznacznie określić szczegółowej budowy geologicznej w wysoczyznowych partiach zlewni. W otoczeniu zlewni badawczej na piętro czwartorzędowe wód podziemnych składają się dwa podstawowe poziomy wodonośne o charakterze międzymorenowym (Jokiel & Maksymiuk, 1993). Głębszy z nich występuje pod gliną odrzańską i jego zwierciadło ma charakter naporowy; podniesienie się zwierciadła wody po nawierceniach waha się w przedziale 25–40 m (Stryków, Bratoszewice, Dobra). Poziom płytszy jest również ciągły i występuje w piaskach i żwirach wodnolodowcowych pod gliną warciańską. Zwierciadło jest lokalnie napięte, a podniesienie się zwierciadła wody po nawiercieniu może lokalnie dochodzić do 30 m (Dobra, Niesułków). Jednak, jak wynika z profilu geologicznego (ryc. 3), wody międzymorenowe na obszarze zlewni badawczej są rozdzielone glinami wyłącznie w strefie wododziałowej ze zlewnią górnej Moszczenicy. Na obszarze tym stosunkowo płytko występujące wody międzymorenowe pod gliną warciańską tworzą mało miąższy



Ryc. 3. Przekrój geologiczny zlewni Strugi Dobieszkowskiej, Moszczenicy i Grzmiącej (wg Brzezińskiego, 1986, 1992); linię przekroju przedstawiono na ryc. 2

Fig. 3. Geological cross-section through the Struga Dobieszowska, Moszczenica and Grzmiąca catchments (after Brzeziński, 1986, 1992); the cross-section line is shown in fig. 2



**Ryc. 4.** Współczynnik nieprzepuszczalności utworów powierzchniowych zlewni Grzmiącej wg Boldałakowa i Czarnieckiej (Czarniecka, 1976; Wokroj, 1967)

**Fig. 4.** Impermeability coefficient of the surface sediments in the Grzmiąca catchment, after Boldakov and Czarniecka (Czarniecka, 1976; Wokroj, 1967)

poziom wodonośny, gdyż spąg glin warciańskich oraz strop glin odrzańskich tworzy zacieśniające się zagłębienie w kierunku zachodnim, wypełnione piaskami fluwioglacjalnymi (na profilu odcinek pomiędzy wsią Buczek a Skoszewami Nowymi — ryc. 3). Przykładem ujęcia, które czerpie wodę z tego poziomu wodonośnego jest studnia w sąsiedniej zlewni górnej Moszczenicy (na ryc. 5, w pobliżu studni o parametrach 7,40 m/229,3 m n.p.m.), w której zwierciadło wody gruntowej ustabilizowało się na rzędnej 188,1 m n.p.m. (głębokość do wody 14,4 m). W profilu studni, w przypowierzchniowej warstwie znajduje się ok. 3 m gliny, pod którą znajduje się wodonosiec w postaci piasków i żwirów. Na pozostałych obszarach zlewni górnej Moszczenicy dominującą rolę w budowie geologicznej odgrywają połączone gliny warciańskie i odrzańskie o miąższości w granicach 10–45 m, pod którą znajduje się zasobny, nie rozdzielony poziom podmorenowy, jedynie fragmentami podścielony starszymi glinami sanu II. Ten sam poziom wodonośny w rozległych partiach zlewni Grzmiącej nie jest przykryty gliną. W strefie wododziałowej zlewni Grzmiącej i Moszczenicy poziom ten, jak wynika z profilu (ryc. 3), jest przykryty grubą warstwą glin stadiału odry i warty. Gliny te (w tym miejscu o miąższości 50,8 m) zostały przebite podczas nawiercania studni położonej w pobliżu studni o parametrach 21,90/198,6 m n.p.m. — ryc. 5). Po przewierceniu obu poziomów glinowych, na głębokości ok. 50,8 m (rzędna 168,7 m n.p.m.), natrafiono na piaski i żwiry, z których woda podpłynęła do takiej wysokości, że jej poziom ustabilizował się na rzędnej 183,5 m n.p.m. (głębokość do wody 36 m). Podobna wartość obu rzędnych, odnoszących się do ustabilizowanego zwierciadła wody podziemnej w obu studniach, może świadczyć o połączeniach hydraulicznych obu poziomów

wodonośnych. O wyjątkowej zasobności głębszego poziomu wodonośnego świadczy fakt, że w trakcie 96 godzin pompowania wody ze studni, depresja zwierciadła wody wyniosła zaledwie 10 cm. Opis profilu geologicznego studni wskazuje, że w rejonie tym gliny obu zlodowaceń tworzą wspólny pokład, tak jak ma to miejsce w szerokim pasie zawartym pomiędzy doliną Moszczenicy a wschodnią częścią tej zlewni (ryc. 3). Ten sam zasobny poziom podmorenowy zasila dwa największe źródła na obszarze zlewni Grzmiącej (A, D — ryc. 5). Przemawia za tym ich duża stabilność oraz stała temperatura wody. Na taką możliwość zasilania tych źródeł wskazują również inni autorzy (Maksymiuk, 1977; Moniewski, 1997). Drugi z autorów dla zespołu źródeł w Skoszewach Nowych (ryc. 3) obliczył całkowitą zasobność zbiornika zasilającego te wypływy. Uzyskana wartość ( $4,71 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ ) jest wysoka i przy teoretycznym uwzględnieniu średniej wydajności tego zespołu źródeł, daje możliwość stałego wypływu wód podziemnych przez ok. 326 dob od momentu zaniku zasilania atmosferycznego. W praktyce wypływ trwałby dłużej, ponieważ na długo przed wyczerpaniem się zasobów wydatek tego źródła byłby znacznie niższy od wartości średniej.

Nieco powyżej źródła D (ryc. 5), które, jak już ustalono wcześniej, jest zasilane z głębszego zbiornika wodonośnego (Moniewski, 1997), znajduje się okresowy wypływ wody z bardzo krótkim ciekim okresowym. Zarówno wypływ, jak i ciek nie funkcjonowały w sierpniu 1995 r., kiedy przeprowadzono kartowanie terenu. Jednak w okresach większego zasilania atmosferycznego obserwowano funkcjonowanie tego wypływu. Może to świadczyć o tym, że we wskazanym obszarze mamy do czynienia z dwoma systemami krążenia wód podziemnych. Płytszy z nich, który może być lokalnie zawieszony na utworach słabiej przepuszczalnych, odznacza się zapewne niewielką pojemnością, co determinuje okresowość jego funkcjonowania. Druga koncepcja zakłada, że płytsze wcięcie położonego wyżej wypływu zaczyna drenać wodę tylko przy podniesionym zwierciadle wody głównego poziomu wodonośnego.

Studnie położone na działce wodnym pomiędzy zlewnią Grzmiącej i zlewnią Mroźnicy reprezentują wody międzymorenowe lub podmorenowe, cechujące się niewielkimi wahaniami zwierciadła (obszar poza przekrojem). Silnie zaznaczona asymetria sieci rzecznej Grzmiącej oraz brak źródeł po prawej stronie rzeki wskazują, że wody te są silnie drenowane przez większą i głębiej wciętą zlewnię Mroźnicy. Wody podziemne, o których mowa, reprezentuje studnia kontrolna, położona tuż obok profilu zamykającego zlewnię (ryc. 5).

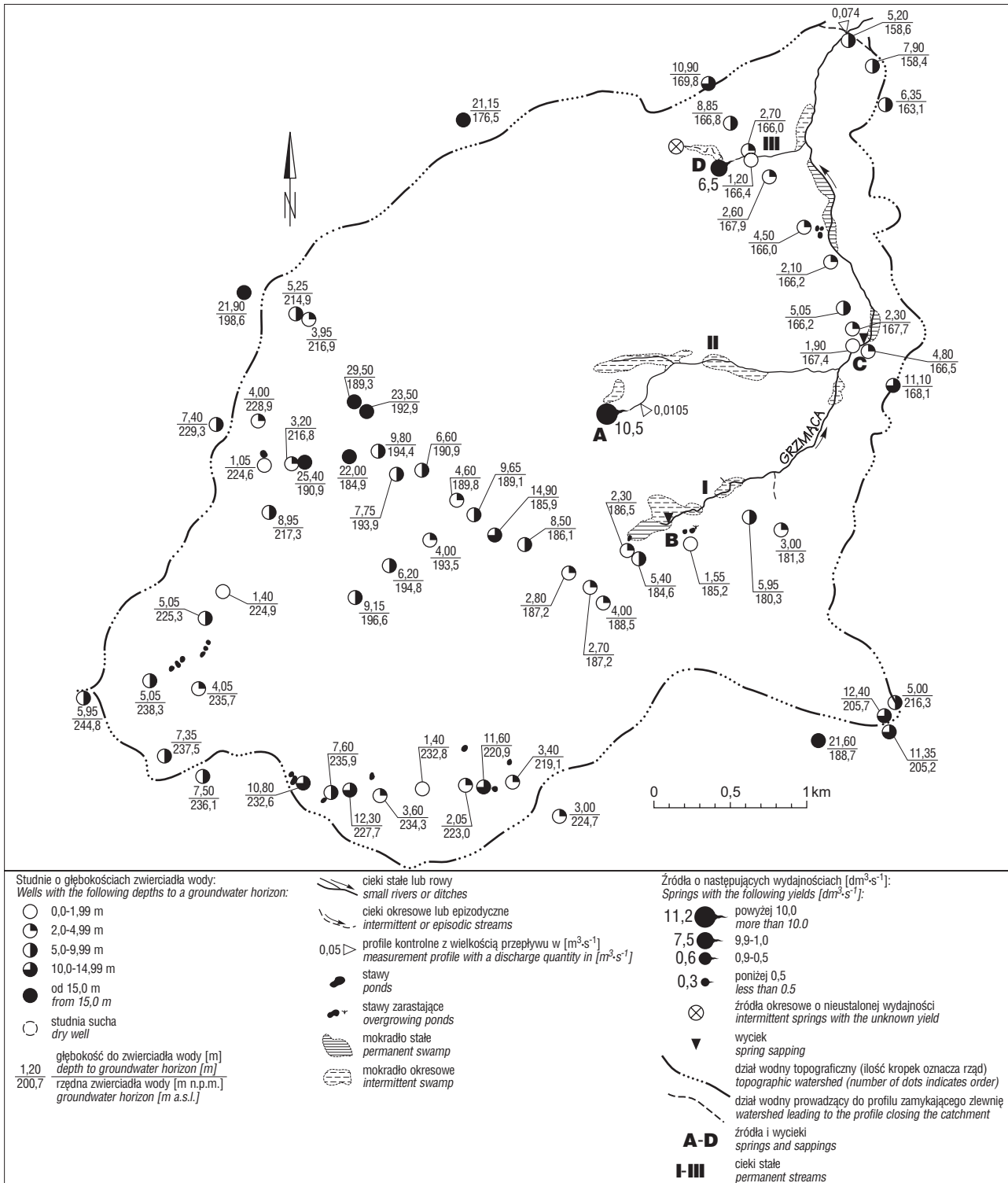
Z kształtu hydroizohips pierwszego poziomu wodonośnego wykreślonych dla zlewni Grzmiącej (ryc. 6) można wywnioskować, że występujące w nich wody gruntowe kierują się głównie w dół zlewni szlakami suchych dolin, przechodząc niżej w utwory aluwialne, z których zasilane są doliny rzeczne. Główny kierunek przemieszczania się wód gruntowych przebiega z SW ku NE.

#### Opad atmosferyczny w okresie badawczym

Poddane w artykule analizie dwa lata hydrologiczne (1996 i 1997) cechowały się odmiennym zasilaniem atmosferycznym. Po przeanalizowaniu danych opadowych ze stacji meteorologicznej Łódź–Lublinek można stwierdzić, że 1996 r., a szczególnie jego pierwsza połowa, wykazywała zdecydowanie niższe sumy opadów atmosferycznych w środkowej Polsce, co stanowiło konty-

nuację suchego lata z 1995 r., kiedy dokonano kartowania całej zlewni. Natomiast rok hydrologiczny 1997 rozpoczął okres z wyższymi sumami opadów. Warto przy tym zaznaczyć, że suma opadów w roku hydrologicznym 1997 w wymienionej stacji po raz pierwszy od 1985 r. w sposób znaczący przekroczyła średnią z lat 1951–1980 (111,5%). Duże różnice w zasilaniu atmosferycznym pomiędzy dwoma latami, jak i poszczególnymi miesiącami, umożliwiły pojawienie się różnych reakcji hydrologicznych badanej zlewni. Warto tu zaznaczyć, że w okresie badawczym

wystąpił wyjątkowo mokry lipiec (1997 r.), który w SW Polsce był przyczyną jednej z najgwałtowniejszych powodzi XX w. W miesiącu tym, w regionie łódzkim panowały wręcz ekstremalne warunki opadowe. W Łodzi–Lublunku suma miesięcznego opadu wyniosła 256,3 mm, co stanowi aż 281,6% normy lipcowej za okres 1951–1980. W analizie obiegu wody uwzględniono zmienność grubości pokrywy śnieżnej oraz przebieg temperatur, który przyczyniał się do czasowego wyłączenia retencji śniegowej z obiegu wody, a w okresach odwilżowych do jej wzmożonego zasilania.



Ryc. 5. Mapa hydrograficzna zlewni Grzmięcej sporządzona na podstawie kartowania hydrograficznego  
 Fig. 5. Hydrographic map of the Grzmięca catchment based on hydrographic mapping

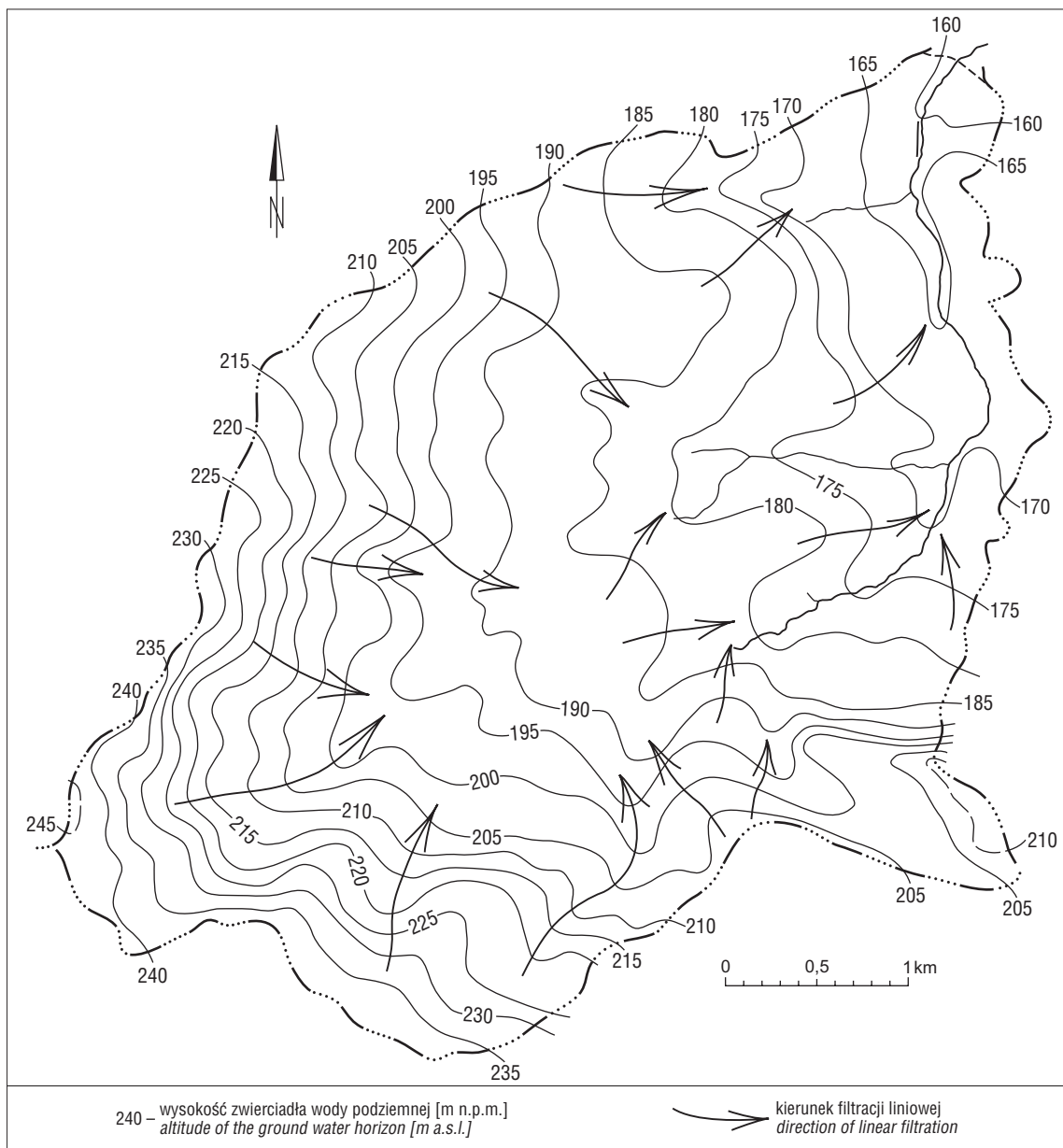
Opady miesięczne dla zlewni zostały obliczone metodą wieloboków równego zadeszczenia (de Thiessena) na podstawie danych z trzech posterunków opadowych: Bratoszewic, Wilanowa oraz Rogowa (Byczkowski, 1979). Sumy miesięcznych opadów zostały przeliczone na tzw. opady rzeczywiste, zgodnie z poprawkami wprowadzonymi przez Chomicza (1976). Dane uzyskane w ten sposób dają obraz zbliżony do prawdziwego zasilania rozpatrywanej zlewni. W zlewni Grzmiącej opad obliczony tą metodą wyniósł w 1996 r. 623,7 mm, a w 1997 r. — 768,7 mm. Miesiącem o najniższej sumie opadu rzeczywistego był styczeń 1997 r. — 2,3 mm, a miesiącem najbardziej wilgotnym — lipiec tego samego roku — 316,8 mm.

Z analizowanych dwóch sezonów zimowych zdecydowanie trwalszą i grubszą pokrywą śnieżną odznaczał się sezon 1995/1996. Na przełomie drugiej i trzeciej dekady marca 1996 r. pojawiły się trzy bardzo korzystne czynniki dla powstania intensywnych roztopów: duża miąższość

pokrywy śnieżnej (15–22 cm w Wilanowie), podwyższona wodność pokrywy śnieżnej oraz systematyczny wzrost temperatury powietrza (temperatury dobowe maksymalne ponad 4°C). Zaistniałe warunki przełożyły się na bardzo wysokie przepływy o charakterze roztopowym, które zostały zarejestrowane przez autora w dniu 25.03.1996 r. W sezonie zimowym 1996/1997 pokrywa śnieżna zalegała znacznie krócej, jej trwałość była znacznie mniejsza, a grubość tylko wyjątkowo przekraczała 10 cm, co nie przełożyło się na odpowiednie warunki do powstania wezbrania roztopowego.

#### Analiza odpływu podziemnego zlewni wyznaczona metodami hydrologicznymi

Wezbranie roztopowe z dnia 25.03.1996 r. miało dla zlewni Grzmiącej o tyle duże znaczenie, że w dwuletnim okresie badawczym było najsilniejsze. Co ciekawe, w



**Ryc. 6.** Mapa hydroizohips pierwszego poziomu wodonośnego w zlewni Grzmiącej  
**Fig. 6.** Hydroisohypse map of the first aquifer in the Grzmiąca catchment

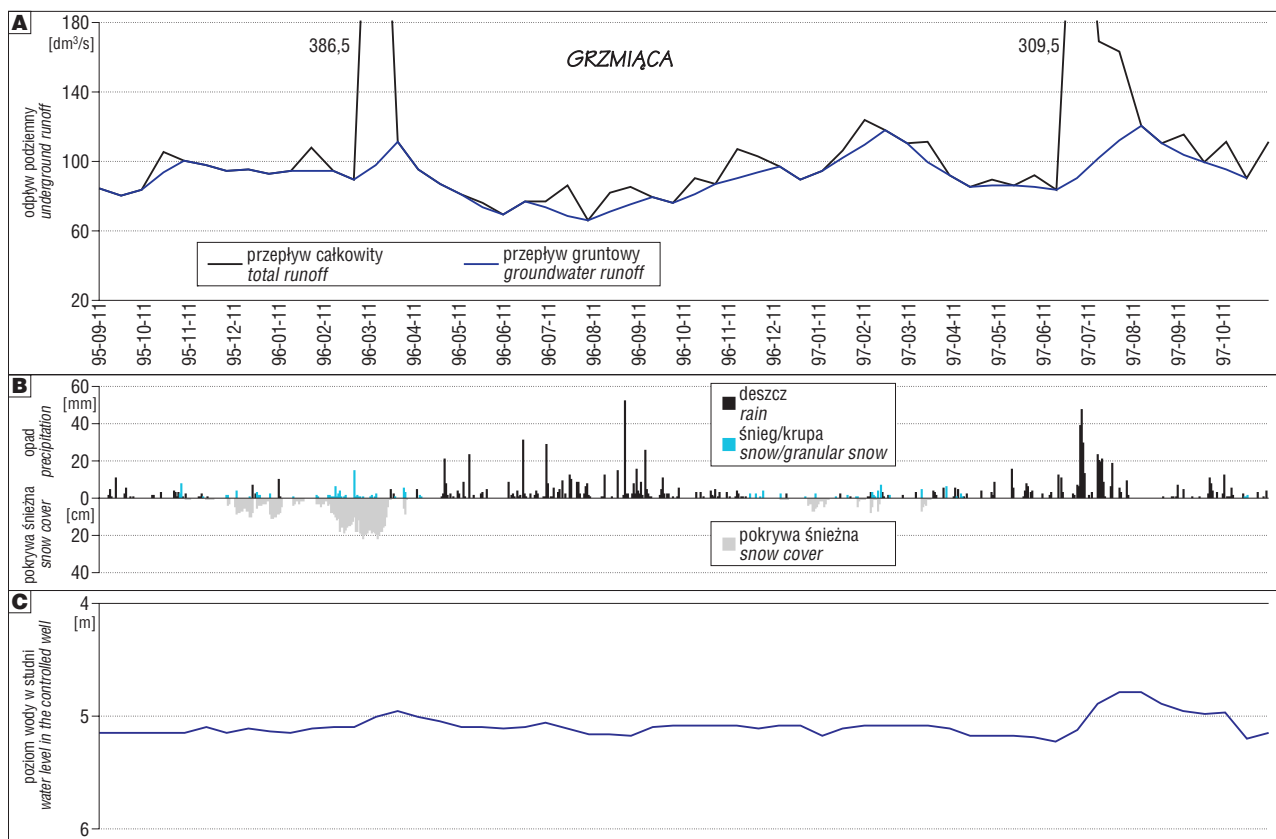


porównaniu z innymi wybranymi zlewniami krawędziowymi Wzniesień Łódzkich, był to jedyny obszar badawczy, w którym przepływ całkowity w tym okresie był wyższy od przepływu z lipca 1997 r. W okresie tym dość ciekawie prezentuje się udział odpływu podziemnego na zakończeniu okresu wysychania zlewni ( $Q_{g2}$ ) w stosunku do odpływu podziemnego sprzed okresu tajania ( $Q_{g1}$ ) ( $Q_{g2}/Q_{g1}$ ). Udział ten wynosi 124,7%, co spośród zlewni krawędziowych stawia obszar badawczy w grupie wyższych wartości. Niewątpliwie dość dobre parametry możliwości infiltracyjnych zlewni ( $N = 30,3\%$ ) oraz istnienie wydajnych źródeł w otoczeniu rozległych obszarów zbudowanych z utworów o bardzo dobrej przepuszczalności spowodowały intensywny obieg wód podziemnych wkrótce po ustaniu roztopów. Inne zlewnie krawędziowe, z wyjątkiem Ciosenki, cechowały się prawie zupełnym brakiem zasilania wodonośca wodami roztopowymi. Współczynnik  $Q_{g2}/Q_{g1}$  wyniósł w nich niespełna 103%, co jest wyraźnym sygnałem o dużych możliwościach powiększenia zasobności zlewni Grzmiącej, w porównaniu z pozostałymi obszarami. Poziom wody gruntowej w studni kontrolnej (obok profilu kontrolnego — ryc. 5) podniósł się w pierwszej połowie kwietnia tego roku do poziomu poniżej 5 m i był to jedyny przypadek w całym roku hydrologicznym 1996, kiedy zwierciadło wody ustabilizowało się poniżej tej wartości (ryc. 7c). Z kolei w bardzo dobrze przepuszczalnej zlewni Ciosenki wartość  $Q_{g2}/Q_{g1}$  wyniosła aż 163,6%, co jest jednocześnie pośrednim dowodem na istnienie większego potencjału retencyjnego tejże zlewni. Uzyskane wyniki są dowodem na słuszność tezy Kanieckiego (1982) o utrzymującej się wysokiej prze-

puszczalności frakcji piaszczystej w warunkach przemarznięcia przypowierzchniowej warstwy glebowej.

Nieco inna była reakcja zlewni Grzmiącej na intensywne zasilanie atmosferyczne odnotowane w dniach 6–8 lipca 1997 r. Pierwsza dekada tego miesiąca charakteryzowała się opadami znacznie przekraczającymi średnie wieloletnie. W zlewni Grzmiącej opad rzeczywisty wyniósł w tym okresie aż 222,2 mm. Reakcja zlewni Grzmiącej była stosunkowo słaba na tle zlewni krawędziowych, co m.in. może mieć związek z nieco większym stopniem szczypania jej zasobów podziemnych przed nadejściem opadów o charakterze nawalnym. Po przejściu lipcowej fali wezbraniowej, dopiero po 24 dobach zwierciadło wody gruntowej w studni ustabilizowało się najpłycej — 4,79 m w dniu 1.08. 1997 r. (ryc. 7). Sytuacja ta trwała przez 10 dób, po czym zwierciadło wody zaczęło systematycznie opadać. W sąsiednich zlewniach krawędziowych czas potrzebny na osiągnięcie maksymalnej rzędnej wody gruntowej w studniach kontrolnych wahał się od 0 dni (maksymalny stan w dniu ekstremalnych przepływów) w zlewni Strugi Dobieszkowskiej (studnia „płytką”) do 27 dób w zlewni Ciosenki i dla „głębokiej” studni w zlewni Strugi Dobieszkowskiej. Zestawienie powyższych wartości może świadczyć, że część zasilania wód rzecznych w zlewni Grzmiącej odbywa się z głębszego, wydajnego poziomu wodonośnego.

Dwie najgłębsze niżówki, reprezentujące osobno każdy z dwóch analizowanych lat hydrologicznych, pojawiły się tylko latem. Brak wyraźnej niżówki zimowej, co jest wyjątkiem wśród zlewni krawędziowych, należy tłumaczyć dość wydajnym, zimowym uzupełnianiem zasob-



Ryc. 7. A — odpływ podziemny zlewni Grzmiącej na tle odpływu całkowitego; B — sumy opadów dobowych na posterunku opadowym w Rogowie; grubość pokrywy śnieżnej w Wilanowie; C — poziom wody w studni kontrolnej w Dąbrówce Małej

Fig. 7. A — ground runoff from the Grzmiąca catchment against the total runoff; B — 24-hours precipitation sums recorded on the Rogów precipitation post; thickness of the snow cover; C — water level in the controlled well in Dąbrówka Mała

**Tab. 1. Klasy wodoni przepuszczalności utworów powierzchniowych przyjęte dla zlewni badawczej**  
 Table 1. Water-impermeability categories of catchments surface sediments assumed for the researched basin

Klasa Category	Współczynnik nieprzepuszczalności N Impermeability coefficient N	Charakterystyka przepuszczalności Permeability character	Litologia osadów Sediments lithology
I	0,15	bardzo wysoka very high	piaski, piaski i żwiry wodnolodowcowe, rzeczne, piaski eoliczne, piaski eoliczne w wydmach, piaski i żwiry lodowcowe i martwego lodu <i>fluvioglacial, fluvial sands and gravels, eolian sands, eolian sands in dunes, glacial, dead ice sands and gravels</i>
II	0,30	wysoka high	piaski z mułkami, piaski rzeczne z mułkami lub humusowe, piaski eoliczne na mułkach zastoiskowych, piaski rozlewiskowo-jeziorne z domieszką żwirków i mułków, piaski i żwiry wodnolodowcowe z domieszką glin i mułków, piaski wodnolodowcowe miejscami na glinie zwałowej, piaski, żwiry i mułki rzeczne, piaski i mułki eluwialno-eoliczne, piaski, mułki, żwiry kemów <i>sands with silts, fluvial sands with silts or humus sands, eolian sands on stagnant silts lacustrine sands with gravels and silts admixture, fluvioglacial sands and gravels with tills and silts admixture, fluvioglacial sands partly on glacial till, fluvial sands, gravels and silts, eluvial-eolian sands with silts, kame sands, silts and gravels</i>
III	0,45	średnia medium	piaski eoliczne oraz piaski i żwiry lodowcowe oraz wodnolodowcowe na glinie zwałowej, torfy, namuły, gliny i piaski ze żwirami, mułki i piaski zagłębień bezodpływowych oraz na glinie zwałowej, skały węglanowe (kreda), obszar zwartej zabudowy <i>eolian sands, fluvioglacial and glacial sands and gravels on glacial till, peats, alluvia, tills and sands with gravels, silts and sands on glacial till</i>
IV	0,60	niska low	głina zwałowa, rezydwa glin zwałowych na glinach, mułki zastoiskowe z iłami w spągu lub na glinach <i>glacial till, glacial till residua on tills, stagnant silts with argils in bottom or on tills</i>

bów poprzez infiltrację w okresach odwilżowych. Umożliwiają ją łatwo przepuszczalne osady występujące w środkowej części zlewni. Najgłębsza niżówka w dwuleciu 1996–1997 zaznaczyła się 12 VIII 1996 r., przed nastaniem której suma opadu rzeczywistego z ostatnich 10 dni wyniosła zaledwie 5,4 mm. W tym samym dniu najgłębszą niżówkę zarejestrowano również w sandrowej zlewni Ciosenki. Stosunek odpływu gruntowego ze zlewni Grzmiącej z dnia ( $Q_{gmin}$ ) do średniego przepływu gruntowego z dwóch lat badawczych ( $Q_{gśr}$ ) ( $Q_{gmin}/Q_{gśr}$ ) wyniósł w zlewni Grzmiącej 72,2%, a w zlewni Ciosenki o większych możliwościach infiltracyjnych tylko 68,0%. W 1997 r. najgłębsza niżówka, jednak łagodniejsza od poprzedniej, została zarejestrowana 30 VI, na kilka dni przed pojawieniem się nawalnych opadów atmosferycznych.

Zmienność odpływu podziemnego jest ważną cechą każdej zlewni mówiącą wiele na temat jej zasobności w wody podziemne, a także tempa szczytowania i odnawiania się tych zasobów. Z miar statystycznych informujących o zmienności tego zjawiska w czasie, dobrze spełnia swą funkcję odchylenie standardowe ( $\sigma$ ) obliczane na podstawie współczynnika zmienności odpływu podziemnego ( $Q_g/Q_{gśr}$ ), co oznacza, że materiałem wyjściowym do obliczenia  $\sigma$  był szereg 52 wartości ( $Q_g/Q_{gśr}$ ) ( $n = 52$ ), a nie szereg samych 52 wartości  $Q_g$  ( $n = 52$ ) (Walisch, 2003). Dzięki

temu wartość  $\sigma$  staje się porównywalna pomiędzy zlewniami o różnej wielkości. Spośród zlewni krawędziowych odchylenie standardowe obliczane na podstawie  $Q_g/Q_{gśr}$  w zlewni Grzmiącej jest najwyższe ( $\sigma = 0,30$ ). W stosunku do zlewni Struga Dobieszowskiej i górnej Moszczenicy wartość ta jest wyższa aż dwukrotnie. Świadczy to o tym, że zarówno maksymalne, jak i minimalne odpływy podziemne ze zlewni były dość wyraźnie zróżnicowane. Pytaniem zasadniczym jest jednak to, w jak długich odstępach czasu owe skrajne wartości  $Q_g$  następowały po sobie. Dlatego w rozważaniach posłużono się dodatkowo autokorelacją odpływu podziemnego ( $Q_g$ ) z przesunięciem 1 ( $r_a$ ) ( $n = 51$ ), która mówi o liczbie „przeskoków” z tendencji wzrostowej na spadkową lub na odwrót. Im więcej takich „przeskoków” w okresie badawczym, tym należy oczekiwać niższej wartości  $r_a$ . Przypadek zlewni Grzmiącej odznacza się najwyższym poziomem autokorelacji ( $r_a = 0,863$ ), istotnym statystycznie na poziomie ufności 95%. Wartość ta świadczy o dobrze zaznaczonej bezwładności odpływu podziemnego. Trendy wzrostowe i spadkowe wydatku podziemnego trwały tu dłużej i były wyraźniej zaznaczone niż w pozostałych zlewniach. Maksymalną długość trendu wzrostowego  $Q_g$  wykazał okres 12.08.1996–10.03.1997 (ryc. 7). Wysoka wartość  $r_a$  w zlewni Grzmiącej świadczy o jej dużej zasobności oraz o potencjalnie dogodnych

warunkach do odnawiania się zasobów, co doskonale tłumaczy warunki litologiczne, w których jest założona. O wysokiej zasobności tego obszaru świadczą choćby średnie wartości modułu odpływu podziemnego (ok.  $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ), co jest wartością zbliżoną do podziemnego wydatku zlewni Struga Dobieszowskiej oraz Ciosenki ( $4,9\text{--}5,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). Wydatki tego

**Tab. 2. Wartość wskaźnika infiltracji efektywnej zlewni krawędziowych na tle współczynnika nieprzepuszczalności N**

Table 2. Recharging infiltration index of the margin zone basins related to the impermeability coefficient N

Zlewnia Catchment	Wskaźnik infiltracji efektywnej w [%] Recharging infiltration index	Współczynnik nieprzepuszczalności N Impermeability coefficient N
Ciosenka	25,9%	0,218
Grzmiąca	22,0%	0,303
Struga Dobieszowska	18,9%	0,284
Moszczenica	8,7%	0,324

rzędu należą do rzadkości na Niżu Polskim i przybliżają hydrogeologicznie strefę krawędziową Wzniesień Łódzkich do Pojezierza Drawskiego czy Kaszubskiego (Tomaszewski, 2001).

Duże znaczenie na kształtowanie się określonej zasobności zlewni ma też miąższość strefy aeracji, rozumiana jako różnica średniej wysokości bezwzględnej zlewni i rzędnej zwierciadła wody (mapa hydroizohips dla pierwszego poziomu wodonośnego) (ryc. 6). Wartość ta jest w tym wypadku przeciętna (6,4 m), nie odbiegając od pozostałych zlewni krawędziowych (5,9–8,4 m). Stanowi to jednak wystarczającą przestrzeń zdolną w każdej chwili wypełnić się wodą atmosferyczną, przemieszczającą się w głąb struktur zlewni w procesie infiltracyjnym.

Do celów porównawczych możliwości infiltracyjnych zlewni oraz mechanizmów krążenia wód podziemnych w ich strukturach dobrze nadaje się wskaźnik infiltracji efektywnej, który na podstawie danych z dwulecia badawczego (1996–1997) wyniósł w zlewni Grzmiącej 22,0%. Oznacza to, że na tle pozostałych zlewni krawędziowych, objętych badaniem (tab. 2), zlewnia Grzmiącej odznacza się stosunkowo korzystnymi możliwościami infiltracyjnymi, a wartość współczynnika nieprzepuszczalności  $N$  poszczególnych zlewni (tab. 1) dobrze koresponduje z ilością wody docierającej do strefy saturacji.

### Podsumowanie

Uzyskane dane potwierdzają wpływ budowy geologicznej na możliwości infiltracyjne poszczególnych zlewni krawędziowych, a co za tym idzie na obieg wody podziemnej w ich strukturach. Okazuje się bowiem, że samo usytuowanie krawędziowe zlewni Grzmiącej oraz trzech pozostałych jest tylko jednym z elementów modyfikujących odpływ podziemny z ich obszarów. Przemawiają za tym wartości wskaźnika infiltracji efektywnej oraz infiltracji jednostkowej. W zlewni Grzmiącej duży wpływ odgrywa jej specyficzna budowa geologiczna, charakteryzująca się przewagą utworów fluwioglacjalnych w środkowej części, co prowadzi do istnienia dużej zasobności badanego obszaru, skutkującej w rezultacie wysoką stabilnością odpływu podziemnego. Na tle pozostałych zlewni krawędziowych zlewnia ta kształtuje się korzystnie pod względem potencjału niżówkowego i tempa szczytowania wodnych zasobów podziemnych. W uzupełnieniu powyższych informacji należy podkreślić bardzo wysoki udział wód podziemnych zlewni Grzmiącej w odpływie całkowitym, który w roku hydrologicznym 1996 kształtował się na poziomie 87,5%, a w roku 1997 — na poziomie 89,4%. Są to praktycznie wartości ekstremalne, nawet jak na strefę krawędziową Wzniesień Łódzkich. Jedynie w zlewni Ciosenki są one nieznacznie wyższe (odpowiednio o 0,1% i 1,7%), co na tle dużo niższej średniej uzyskanych dla rzek Polski (55%) nie ma większego znaczenia.

Jak wynika z treści przedstawionych w niniejszym artykule, budowa geologiczna zlewni Grzmiącej, jak i pozostałych zlewni krawędziowych, odciska wyraźne piętno na reżimie wód podziemnych, co przejawia się istnieniem:

□ dużej wydajności zlewni Grzmiącej (wysokie wartości modułu odpływu podziemnego, które oscylują w pobliżu  $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ),

□ wydajnych, descensyjnych źródeł o stabilnym odpływie,

□ małej liczby zmian przeciwnych trendów odpływu podziemnego, co świadczy zarówno o dużej stabilności odpływu, jak i dużych zasobach podziemnych zlewni,

□ bardzo wysokiego udziału wód podziemnych w odpływie całkowitym zlewni na tle pozostałych zlewni krawędziowych (średnio 88,5%),

□ korzystnych warunków do zasilania atmosferycznego zlewni zarówno w warunkach zimowych, jak i w pozostałych porach roku,

□ dużym stopniem zróżnicowania wskaźnika infiltracji efektywnej oraz modułu infiltracji, wartości których stawiają zlewnię Grzmiącej wśród tych o większych możliwościach infiltracyjnych.

### Literatura

- BRZEZIŃSKI H. 1986 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Główno. Wyd. Geol.
- BRZEZIŃSKI H. 1992 — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1: 50 000, ark. Główno. Państw.Inst.Geol.
- BYCZKOWSKI A. 1979 — Hydrologiczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych (przeptywy charakterystyczne). PWRiL, Warszawa.
- BYCZKOWSKI A. 1996 — Hydrologia, tom II. Wydawnictwo SGGW.
- CHOMICZ K. 1976 — Opady rzeczywiste w Polsce (1931–1960). Prz. Geof., z. 1: 19–26.
- CZARNECKA H. 1976 — Próba oznaczania przepływów maksymalnych w małych niekontrolowanych zlewniach na podstawie pokrywy glebowej. Gospodarka Wodna, 8–9: 225–230..
- JOKIEL P. & MAKSYMIOUK Z. 1993 — Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1: 50 000, ark. Główno. Przedsiębiorstwo „Gepol”, Poznań.
- JOKIEL P. & MAKSYMIOUK Z. 2000 — Morfologiczne i geologiczne tło procesu obiegu wody w małej zlewni położonej w północnej części Wyżyny Łódzkiej. Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica, 5: 9–28.
- KANIECKI A. 1982 — Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy. UAM, Poznań.
- KLAJNERT Z. 1982 — Budowa geologiczna województwa skierniewickiego. Monografia regionalna. Łódź–Skierniewice.
- KLATKOWA H. 1965 — Niecki i doliny denudacyjne w okolicach Łodzi. Acta Geograph. Lodz., 19: 1–142
- MAKSYMIOUK Z. 1977 — Wody gruntowe i strefy ich wypływu na powierzchni w regionie łódzkim. Acta Univer.Lodz., II, 5.
- MAKSYMIOUK Z. 1979 — Warunki występowania wód podziemnych i strefy ich kontaktu z wodami w regionie łódzkim. Z. Nauk. Uniw. Łódz. II, 21: 123–129
- MICHAŁUS M. 1999 — Rola źródeł w zasilaniu wodami podziemnymi rzek strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej na przykładzie Grzmiącej. Arch. Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej UŁ.
- MONIEWSKI P. 1997 — Źródła strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej i ich gospodarcze wykorzystanie. Acta Univer. Lodz., Folia Geograph. Physica, 2: 153–168..
- MOLGA M. 1986 — Meteorologia rolnicza. PWRiL, Warszawa.
- RÓŻYCKI S. 1972 — Plejstocen Polski Środkowej na tle przeszłości w górnym trzeciorzędzie. PWN. Warszawa.
- TOMASZEWSKI E. 2001 — Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990. Acta Geograph. Lodz., 79: 1–149.
- TRZMIEL B. 1971 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:25 000, ark. Brzeziny. Arch. Przedsiębiorstwa Geologicznego, Łódź.
- TRZMIEL B. & NOWACKI K. 1987 — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1: 50 000, ark. Łódź Wschód. Wyd. Geol.
- WALISCH M. 2003 — Wpływ warunków fizycznogeograficznych na obieg wody w małych zlewniach regionu łódzkiego. Arch. biblioteki Collegium Geographicum, UŁ.
- WOJNAR-DYNARSKA Z. 1975 — Morfologia okolic Grzmiącej. Maszynopis w bibliotece Collegium Geographicum UŁ.
- WOKROJ J. 1967 — Zastosowanie analogii w obliczeniach hydrologicznych. Gospodarka Wodna, z. 6: 209–212.

Praca wpłynęła do redakcji 28.02.2005 r.

Akceptowano do druku 22.12.2006 r.