

ADAM BARTNIK, EDMUND TOMASZEWSKI

*Charakterystyka sieci rzecznej małej zlewni
położonej w strefie krawędziowej Wyżyny Łódzkiej*

Characterization of the small drainage basin river
network located in the Łódź Upland margin zone

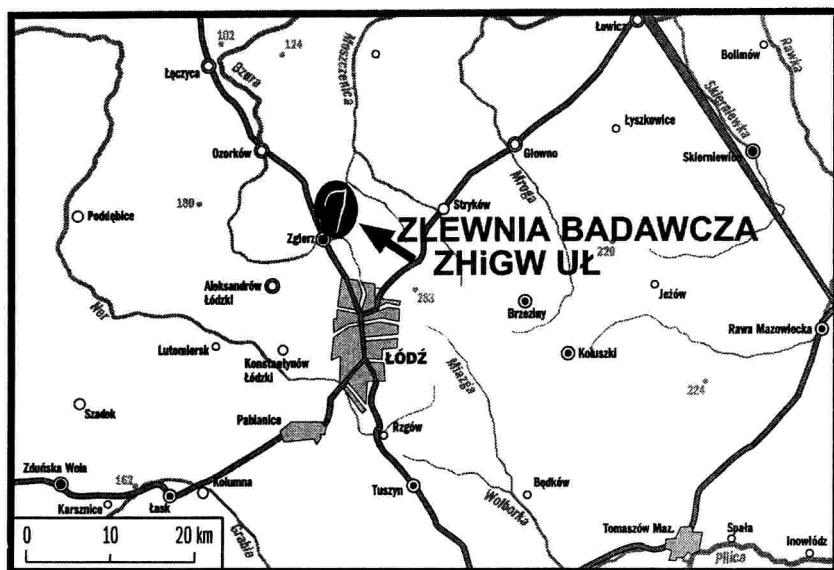
Artykuł zawiera charakterystykę sieci hydrograficznej zlewni Dzierżąskiej – po wodowskaz w Swobodzie. Ocenie poddano parametry sieci, czas dobiegu wody korytami do profilu zamykającego, jak również wielkości przepływów. Określono także zasoby wód płynących i ich koncentrację na podstawie miary pędu zasobów.

Wstęp

Prezentowane opracowanie jest próbą przedstawienia sieci hydrograficznej na terenach podmiejskich Łodzi. Możliwość określenia podstawowych charakterystyk hydrologicznych na tych obszarach może mieć znaczenie dla badań nad wpływem warunków lokalnych na kształtowanie się obiegu wody, rekonstrukcji panujących w przeszłości stosunków wodnych, czy prognozy ewolucji sieci rzecznej pod wpływem antropopresji.

Obszarem badań jest zlewnia Dzierżąskiej – po wodowskaz w Swobodzie (rys. 1). Jej powierzchnia wynosi 42,9 km², a znajduje się ona w północnej części Wzniesień Łódzkich. Południową część obszaru zlewni stanowią zurbanizowane przedmieścia Zgierza. Tam też, w Rudunkach, są źródła Dzierżąskiej. Natomiast Ciosenka, wypływająca ze źródeł w rejonie Rosanova, jest lewobrzeżnym dopływem Dzierżąskiej. Około 200 m poniżej miejsca ich połączenia, w pobliżu wsi Swoboda, pracownicy Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej UŁ zainstalowali w 1997 r. wodowskaz, na którym prowadzone są codzienne pomiary hydrometryczne. Kolejne 150 m dzieli

to miejsce od punktu zamykającego cały obszar zlewni górnej Dzierżanej. Tutaj wpada do niej największy dopływ – Czarnawka. W dalszym biegu Dzierżana zasila Moszczenicę, która z kolei prowadzi swe wody do Bzury.



Rys. 1. Położenie obszaru badań

Fig. 1. Location of the exploration area

Dzierżana wraz z Ciosenką są rzekami o intensywnej zabudowie hydrotechnicznej. Z roku na rok pojawia się tu coraz więcej sztucznych zbiorników wodnych, budowanych zarówno dla hodowli, jak i w celach rekreacyjnych. Wszystkie wpływają w pewnym stopniu na podnoszenie zasobności wodnej obszaru i wyrównywanie odpływu ze zlewni. Nabiera to szczególnego znaczenia, gdy weźmiemy pod uwagę czystość gromadzonej w ten sposób wody. System rzeczny Dzierżanej i Ciosenki odwadnia obecnie dość już rzadki obszar podmiejski, w którym retencjonowana jest, jak dotąd, czysta woda.

Parametry sieci rzecznej

Sieć hydrograficzna jest widocznym na powierzchni efektem procesów zachodzących w czasie i przestrzeni geograficznej (Drwał 1982). Przedstawiona na mapie w wystarczająco dużej skali stanowi zadowalająco dokładny obraz panujących stosunków wodnych. Warto jednak podkreślić,

iż absolutnie wierne odwzorowanie sieci rzecznej na mapie jest z różnych względów praktycznie niemożliwe.

Badania sieci hydrograficznej na terenie zlewni Dzierżąskiej przeprowadzono na podstawie mapy topograficznej w skali 1:25 000. Przedstawiony na niej obraz sieci rzecznej zaktualizowano i zweryfikowano w terenie. Kartowanie hydrograficzne w tym zakresie przeprowadzono 2 lipca 1998 r. Należy zaznaczyć, że datowanie zdjęć hydrograficznych winno być powszechnie stosowane, gdyż sieć rzeczna jest zjawiskiem bardzo dynamicznym. Zmienia się ona zarówno w ciągu roku, wraz z wahaniami zwierciadła wód podziemnych i rozkładem opadów, jak również z biegiem lat – pod wpływem czynników długofalowych (fluktuacje klimatyczne, zmiany związane ze stopniową zabudową obszaru, funkcjonowaniem budowli hydrotechnicznych, melioracji itp.).

Sieć rzeczna tworzą wszystkie ciekі występujące na określonym obszarze. Charakteryzują się one znacznym zróżnicowaniem wielkości, przebiegu i gęstości. Aby możliwa stała się ich analiza, należy je uporządkować. W końcu ubiegłego wieku hydroografowie wprowadzili podział cieków na rzędy (numerowane kolejno od ujścia), który został później zmodyfikowany przez badaczy amerykańskich: Hortona, Strahlera, Shreve'ego i innych.

Zgodnie z klasyfikacją Hortona z 1945 r., numerowanie cieków należy rozpocząć od cieków początkowych. Do I rzędu zalicza się wszystkie ciekі i doliny początkowe, nie otrzymujące żadnego dopływu; do II rzędu – ciekі powstałe z połączenia dwóch lub więcej cieków I rzędu, przy czym ciek uznany za główny (dłuższy) jest zaliczany do rzędu II na całej długości; do III rzędu – ciekі powstałe z połączenia dwóch lub więcej cieków II rzędu, przy czym ciek uznany za główny jest znowu zaliczany do rzędu III na całej długości, itd. Kilka lat później A. Strahler wprowadził do tej klasyfikacji pewne modyfikacje polegające na nieoznaczaniu cieków głównych wyższą liczbą. Pełniejsze informacje dotyczące tych klasyfikacji, jak również ich późniejszych modyfikacji może Czytelnik znaleźć m. in. w pracach: M. Klimaszewskiego (1978), A. Dobiji i I. Dynowskiej (1975) oraz M. Gutry-Koryckiej (1997).

Do oceny struktury sieci rzecznej Dzierżąskiej zastosowano metodę zaproponowaną przez Strahlera. W tym celu zliczono odcinki cieków w obrębie każdego rzędu oraz zmierzono sumaryczną długość segmentów cieków poszczególnych rzędów i obliczono ich średnią długość. Otrzymane wartości zestawiono w tab. 1. Zgodnie z twierdzeniem Hortona, ciekі kolejnych rzędów tworzą pewien zhierarchizowany system, w którym liczba i średnia długość cieków kolejnych rzędów zmienia się w porządku geometrycznym. Wielkość tego postępu wyrazić można za pomocą wskaźnika (bifurkacji, długości cieków). Wskaźnik taki powinien być, zgodnie ze stwierdzeniem Hortona, stały. Liczne badania w różnych rejonach, w tym

także i w Polsce, potwierdzają istnienie pewnych prawidłowości, przy czym zaznaczają się różnice związane z budową geologiczną i warunkami klimatycznymi. O słuszności stwierdzenia M. Klimaszewskiego (1978), iż przedstawione zależności mają charakter pewnych powiązań (a nie praw, jak je nazywał Horton), mogą świadczyć także wyniki uzyskane dla zlewni Dzierżąskiej.

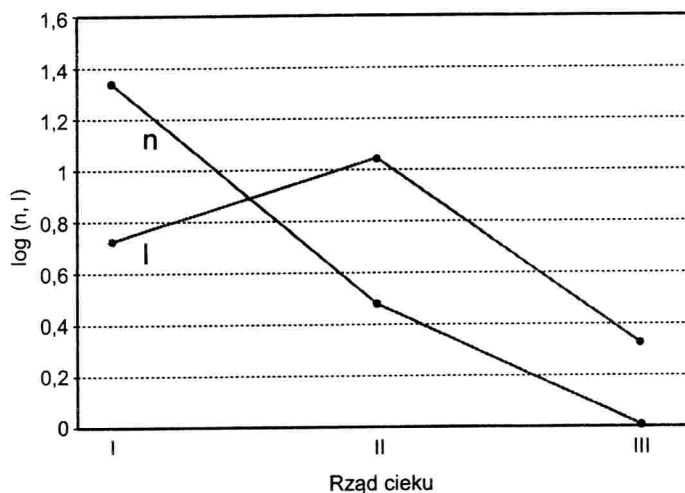
Tabela 1. Liczba i długość cieków poszczególnych rzędów Dzierżąskiej – po Swobodę
Number and length of the individual river orders in the Dzierżąska drainage basin up to the Swoboda closing profile

Rząd cieków	Liczba cieków (l)	Log l	Długość cieków (n)	Log n
I	22	1,34	5,27	0,72
II	3	0,48	10,95	1,04
III	1	0	2,15	0,33

Stopień zorganizowania systemu Dzierżąskiej wykazuje ścisły związek ze środowiskiem geograficznym, a zwłaszcza z jego budową geologiczną. Cieki wyższych rzędów płyną na całej długości swoich dolin. Krótkie cieki rzędu I spływają po stokach tych dolin, bardzo szybko łącząc się z ciekami głównymi. W konsekwencji istnieje stosunkowo duża liczba tzw. cieków dzikich (cieków o rzędach niższych, wpadających do cieków wyższego rzędu – nie wpływających na zwiększenie numeracji rzędu cieków). Zasada ta jest zauważalna w obu systemach: Dzierżąskiej i Ciosenki, które zaraz po wypłynięciu ze swoich obszarów źródłowych otrzymują dopływy i stają się ciekami rzędu II. Następne dopływające do nich strugi nie wpływają na podniesienie numeru rzędu. W związku z tym oczywiste staje się stwierdzenie, iż II „prawo” Hortona, dotyczące geometrycznego przyrostu długości cieków kolejnych rzędów, nie jest w tym przypadku spełnione.

Graficznie zależność liczby cieków poszczególnych rzędów i ich średniej długości przedstawiono na rys. 2. Gdyby istniały tu ścisłe zależności, to punkty na obu wykresach przedstawionych w skali półlogarytmicznej układałyby się wzdłuż linii prostej. W przypadku zależności przedstawiającej przyrost liczby cieków kolejnych rzędów (rys. 2 – n) zwraca uwagę zbyt mała liczba rzędów cieków (do III włącznie), aby można było z całą pewnością potwierdzić bądź odrzucić twierdzenie o ich przyroście geometrycznym (czyli o strukturalności sieci rzecznej). Obliczony wskaźnik bifurkacji dla zlewni Dzierżąskiej wynosi 5,17.

Zlewnię i jej sieć rzeczna można opisać wieloma parametrami liczbowymi. Niektóre z nich zestawiono w tab. 2. Wielkość powierzchni zlewni topograficznej określono poprzez splanimetrowanie powierzchni zamkniętej wyznaczoną linią działu wodnego. Zlewnią zerowego odpływu jest ta część



Rys. 2. Wykresy logarytmów liczby (n) i długości (l) cieków kolejnych rzędów

Fig. 2. Logarithm graphs of a number (n) and a stream length (l) of the following orders

Tabela 2: Parametry sieci rzecznej zlewni Dzierżanej – po Swobodę

Parameters of the river network in the Dzierżana drainage basin up to the Swoboda closing profile

Parametr	Jednostka	Zlewnia		
		Ciosenki	Dzierżanej	Dzierżanej z Ciosenką – po Swobodę
Powierzchnia topograficzna	km ²	17,8	23,8	42,9
Powierzchnia zlewni zerowego odpływu	km ²	10,6	5,20	5,20
Wysokość źródeł	m n.p.m.	147,5	187,5	187,5
Spadek zlewni obliczony metodą Kajetanowicza	‰	14,0	17,3	13,0
Spadek cieków	‰	3,70	7,13	6,85
Długość cieków głównego	km	4,65	8,45	9,21
Suma długości cieków	km	14,8	19,28	36,45
Wskaźnik krętości	–	1,06	1,02	1,05
Wskaźnik rozwinięcia	–	1,16	1,22	1,22
Gęstość sieci rzecznej wg Neumanna	km · km ⁻²	0,83	0,81	0,85

zlewni topograficznej, która pozbawiona jest stałej sieci rzecznej. W praktyce wyznacza się ją jako powierzchnię położoną powyżej najwyższego w zlewni punktu дренаżu (najwyżej położonego źródła). Warto tu zwrócić uwagę na znaczny udział zlewni zerowego odpływu w zlewni Ciosenki. Związane jest to z istnieniem, w górnej jej części, rozległej powierzchni sandrowej o dobrej przepuszczalności. U podnóża tej formy wypływa kilka źródeł o znacznej wydajności (zespół źródeł w Rosanowie i Ciosnach).

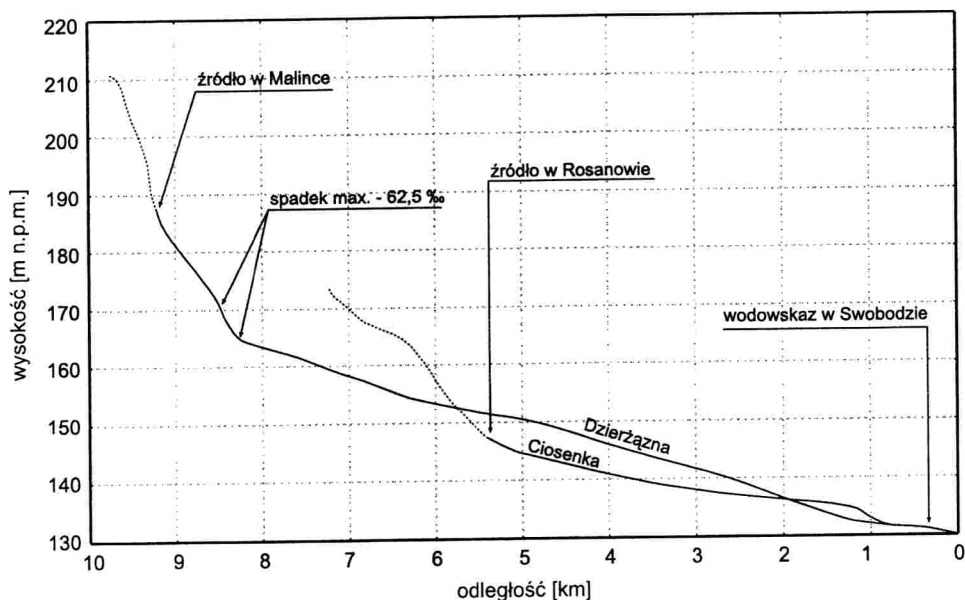
Wskaźnik rozwinięcia rzeki wyraża stosunek długości doliny rzecznej do długości linii prostej łączącej źródło z ujściem. Jego wartości dla zlewni Dzierżąnej wskazują w przybliżeniu na prostoliniowy przebieg dolin rzecznych (1,16–1,22). Krętość jest natomiast ilorazem rzeczywistej długości rzeki i jej doliny. Wartość tego wskaźnika (1,05) informuje o prawie równoległym położeniu koryta rzeki w stosunku do osi doliny, a tym samym o małej liczbie zakoli i meandrów.

Spadek rzeki jest parametrem informującym głównie o szybkości przemieszczania się wody oraz intensywności przebiegu procesów erozyjnych, a także – pośrednio – o morfologii i budowie geologicznej obszaru. Spadek ten, podobnie jak nachylenie całej zlewni, wpływa istotnie na czas koncentracji, wielkość kulminacji i długość fali wezbraniowej. Profile podłużne rzek badanego systemu przedstawiono na rys. 3. Należy zwrócić uwagę, iż znacznie większym średnim spadkiem doliny charakteryzuje się Dzierżąna, a nachylenie maksymalne, wynoszące tu lokalnie ponad 60‰, jest typowe dla potoków górskich.

Przeciętny spadek cieków, obliczany jako iloraz jego deniwelacji i długości, wynosi w przypadku Dzierżąnej 6,85‰. Jest to wartość stosunkowo wysoka. Dla porównania można przytoczyć wyniki uzyskane przez innych autorów dla różnych dorzeczy: Wrześnica – 0,82‰ (Kaniecki 1982), Grabia – 1,6‰ (Maksymiuk 1970), Bobrza – 3,1‰ (Burchard 1980). Tak wysokie wartości spadku cieków, a także całej zlewni (obliczone metodą Kajetanowicza – za: Dobija 1979) związane są z budową geologiczną. Teren zlewni położony jest bowiem w obrębie tzw. strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej, charakteryzującej się znacznymi różnicami wysokości (ok. 80 m) na stosunkowo krótkim odcinku (ok. 10 km). Warto też zwrócić uwagę na fakt, że o uzyskanych wartościach, w pewnym stopniu decyduje wybrana metoda obliczeń. Dlatego też powinna być ona zawsze podawana wraz z wynikami.

Sieć rzeczna i dolinna może być rzadka lub gęsta, zależnie od budowy geologicznej, warunków klimatycznych i stadium jej rozwoju. Gęstość sieci rzecznej można określić różnymi metodami. Jedną z częściej stosowanych jest metoda Neumanna. Informuje ona o długości cieków stałych na określonej jednostce powierzchni (zlewnia, dorzecze, pole elementarne).

Wartość wskaźnika gęstości sieci rzecznej, wyznaczonego tą metodą, kształtuje się w zlewni Dzierżąnej na poziomie $0,85 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$.



Rys. 3. Profile podłużne Dzierżąnej i Ciosenki

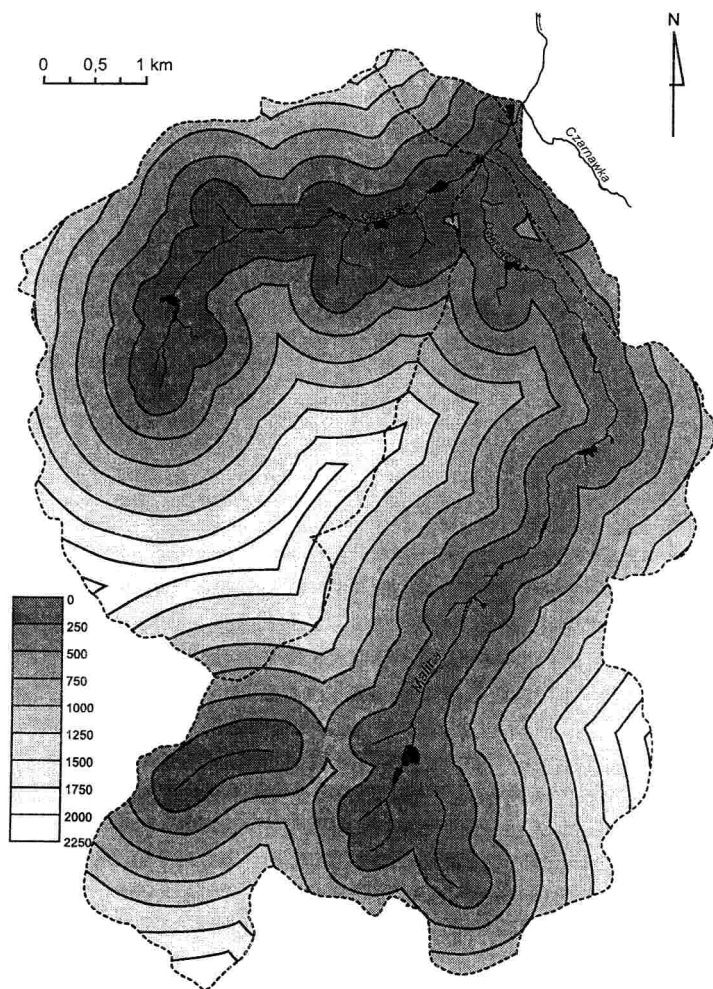
Fig. 3. Long profiles of the Dzierżąna and the Ciosenka drainage basins

Zastosowanie miary Neumanna umożliwia porównanie stosunków hydrograficznych w badanej zlewni z warunkami występującymi w innych dorzeczach. Kompleksowej oceny gęstości sieci rzecznej w Polsce środkowej dokonał Z. Maksymiuk (1992). Należy podkreślić, że z uwagi na rozmiar badań, w cytowanym opracowaniu obliczenia przeprowadzono na mapie w skali 1:500 000. Ocen gęstości sieci rzecznej w skali regionalnej nie prowadzi się na podkładzie 1:25 000. Zatem charakterystyki tej cechy badanej zlewni, na tle regionu, dokonano na podstawie wyników uzyskanych przez autora przytoczonego opracowania.

Obszar zlewni Dzierżąnej charakteryzuje się – wg Z. Maksymiuka – relatywnie niską gęstością sieci rzecznej ($0\text{--}0,3 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$). Natomiast obliczona przez niego wartość średnia dla środkowej Polski wynosi $0,2\text{--}0,4 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$. Przeprowadzona przezeń analiza rozkładu gęstości sieci rzecznej wskazuje przy tym, że – w ogólnym zarysie – przestrzenna zmienność wskaźnika gęstości nawiązuje do budowy geologicznej podłoża. Małe wartości występują w strefie krawędziowej Wzniesień Łódzkich, co wynika z istnienia

tam spiętrzeń glacitektonicznych. Zdaniem tego autora, mała wartość wskaźnika jest konsekwencją znacznej różnorodności osadów podłoża: od głazów, żwirów, piasków i glin zwałowych czołowomorenowych (południowa i wschodnia część zlewni) – do piasków i żwirów glacyfluwialnych, sypanych w formie stożków sandrowych (zachodnia część zlewni Dzierżąskiej).

Strukturalno-morfologiczne uwarunkowania przebiegu strug wodnych doprowadziły w konsekwencji do uformowania się, w obrębie Wyżyny Łódzkiej, systemów rzecznych posiadających znamiona odpowiadające radialnemu układowi decentrycznemu. Bieg licznych rzek środkowej Polski,



Rys. 4. Ekwidystanty do wody [m]

Fig. 4. Equidistans to water [m]

niezależnie od przepuszczalności podłoża, wykazuje zależność od struktury rzeźby starszego podłoża – mezozoicznego. Jej przejawem są także kierunki przebiegu strug wodnych w badanej zlewni: południkowy (Dzierżazna) i równoleżnikowy (Ciosenka). Południkowy układ sieci rzecznej wiąże się ze strefami bezpośredniej egzaracji lądolodu oraz kontaktowaniem się ze sobą wód proglacialnych i rzecznych. W konsekwencji, system rzeczny Dzierżaznej posiada układ noszący znamiona rusztowego.

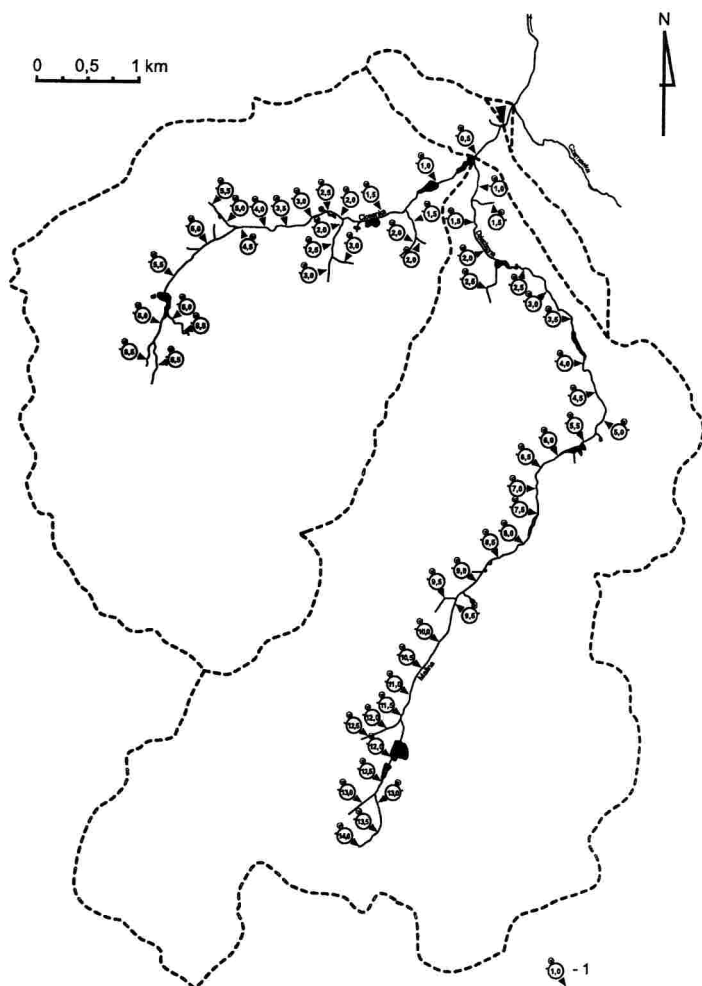
Inną metodę przedstawienia gęstości sieci rzecznej zaproponował T. Wilgat (1966). Wyrazem gęstości jest w niej medialna odległość od wody punktu w obrębie pola podstawowego. Należy tu jednakże podkreślić, iż użycie metody odległościowej daje w efekcie gęstość sieci wodnej, a nie rzecznej (Chałubińska 1956). Różnica tych pojęć, nie zawsze brana pod uwagę, jest dość zasadnicza. Po pierwsze bowiem – rola wód stojących dla procesów glebowych, klimatu, gospodarki itp. jest podobna do roli wód płynących; po drugie – traktowanie powierzchni jezior, tak jak powierzchni obszarów bezzrecznych, wypacza obraz rzeczywisty; wreszcie: po trzecie – większość odpływowych zbiorników wodnych ma swój udział w transporcie wód płynących i pomijanie ich zniekształca inwentarz samej sieci rzecznej. Metoda ta ma podstawową zaletę – gęstość sieci wodnej można przedstawić w postaci mapy ekwidystant do wody (rys. 4).

W badanej zlewni największy udział, zajmują obszary znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie cieków (do 250 m). Obszary najbardziej od nich oddalone (2000 ÷ 2550 m) stanowią znikomy procent powierzchni całej zlewni. Medialna odległość od wody wynosi 650 m. Łatwo zauważyć, iż największe odległości mają dużo większy udział w zlewni Ciosenki niż Dzierżaznej. Związane jest to z występowaniem na tym obszarze, powierzchni sandrowej o dobrej przepuszczalności. W niektórych opracowaniach można znaleźć szacowane dla poszczególnych jednostek wartości gęstości, obliczone prezentowaną metodą, lecz brak jest publikacji dotyczącej obszaru całej Polski. Wiąże się to zapewne z dużą pracochłonnością metody. W swoim opracowaniu T. Wilgat (1996) zamieścił wskaźniki gęstości sieci wodnej kilku zlewni w dorzeczu Wieprza. Wahają się one od 1,7 km (Żółkiewka) do 0,45 km (Świnka). Powyższą metodę zastosował również w swej pracy J. Burchard (1980). Uzyskana tam dla zlewni Bobrzy przeciętna odległość do wody wynosi 0,6 km, a więc jest zbliżona do otrzymanej dla zlewni Dzierżaznej.

Czas przemieszczania wody

W procesie kształtowania odpływu w korytach rzecznych, interesujące jest zagadnienie czasu dobiegu wody ciekami do profilu zamykającego zlewnię. Jego znajomość może bowiem w przyszłości pozwolić na konstrukcję

badź weryfikację modeli przemieszczania fali wezbraniowej w systemie koryt, jak również na identyfikację tempa i charakteru transportu zanieczyszczeń doprowadzanych do wód powierzchniowych z obszaru zlewni.



Rys. 5. Czas dobiegu wody korytami do profilu zamykającego: 1 – czas dobiegu [h]

Fig. 5. Time water reaches the closing profile in the river channels: 1 – reaching time [h]

Diagram czasów dobiegu wody korytami do profilu kontrolnego skonstruowano, wykorzystując serię 32 jednoczesnych pomiarów przepływu na ciekach, wykonanych 2 lipca 1998 r. w godzinach 10–15. Przepływ na wodowskazie zamykającym zlewnię wynosił wtedy $174,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dzień ten, jak i kilka poprzednich, charakteryzował się brakiem opadów. Zatem w każdym z miejsc pomiarowych panowały quasi-jednorodne warunki zasilania koryta rzeczne – odpływ podziemny. W wyniku zastosowania

metody młynkowej uzyskano dla każdego miejsca pomiarowego średnią prędkość wody w przekroju. W dalszym etapie dokonano interpolacji liniowej prędkości pomiędzy przekrojami. Pozwoliło to na wyznaczenie stref czasu dobiegu wody do profilu kontrolnego, w odstępach co 0,5 godz. (rys. 5).

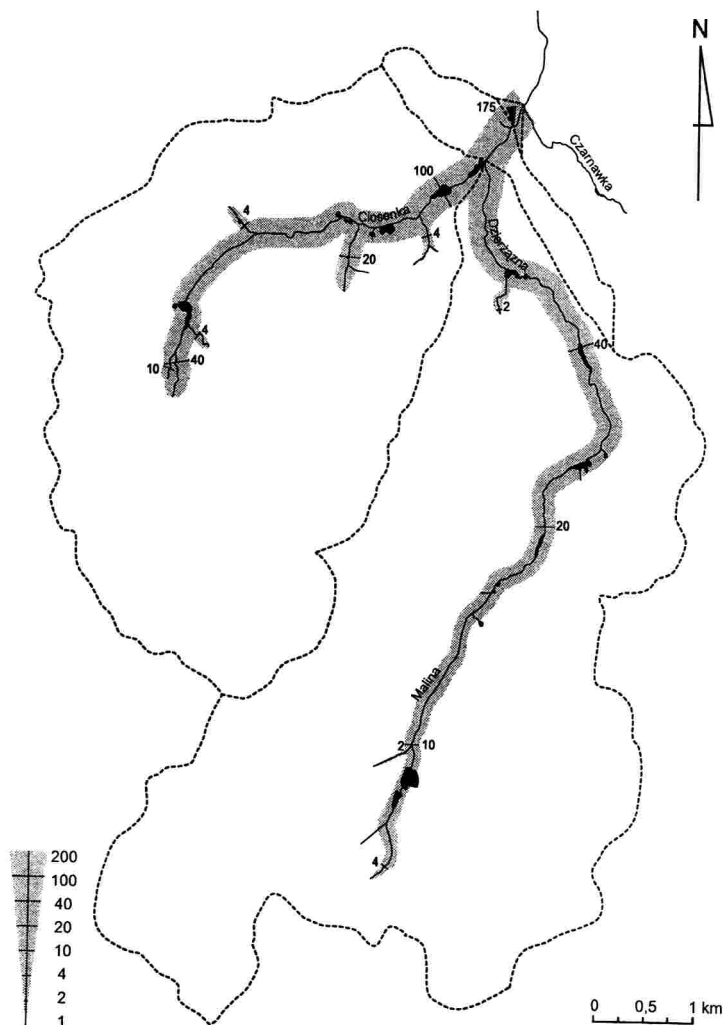
Czas dobiegu wody z najbardziej oddalonego punktu w korycie (źródła Dzierżąznej) do profilu zamykającego wynosi 14 godz. Łatwo zauważyć, iż druga oś transportu – Ciosenka – może prowadzić wodę z najbardziej oddalonych miejsc w czasie o połowę krótszym, tj. 6,5–7,0 godz. Przeciętna prędkość przemieszczania wody w korytach kształtuje się na poziomie $18 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. Zróżnicowanie prędkości w poszczególnych odcinkach biegu rzek jest stosunkowo niewielkie. Należy jednak stwierdzić, że zmiany prędkości nie wszędzie nawiązują do spadku doliny rzecznej (rys. 3). Dotyczy to zwłaszcza dolnego biegu Ciosenki, gdzie występuje kilka zbiorników przepływowych.

Przedstawione powyżej wyniki zostały uzyskane w **fazie reżimu własnego** rzeki. Transport wody korytami był w tym momencie efektem **swobodnej odpowiedzi** systemu na zasilanie (drenaż wód podziemnych). W przypadku pojawienia się fali wezbraniowej, wywołanej opadem efektywnym (**odpowiedź wymuszona**), prędkości wody w korytach ulegną zmianie i zależą będą oczywiście od aktualnych, lokalnych spadków zwierciadła wody.

Przepływy

Ocenę przepływów w badanej sieci hydrograficznej wykonano na podstawie (przytoczonej w poprzednim podrozdziale) serii 32 jednoczesnych pomiarów młynkowych. Uzyskane prędkości wody i pola powierzchni przekrojów przeliczono na przepływy za pomocą metody rachunkowej. Wartości te naniesiono w odpowiednich punktach systemu rzecznej. Natężenie badanego zjawiska przedstawiono w konwencji diagramu wstęgowego (rys. 6). W celu lepszego zobrazowania zmian przepływu wzdłuż biegu rzeki, szerokość wstęgi reprezentującej wielkość przepływu wyrażono w skali logarytmicznej.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że systemy Ciosenki i Dzierżąznej wyraźnie różnią się od siebie. Pierwszy z nich, już na samym początku, uzyskuje duże wartości przepływu (ok. $50 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Fakt ten należy tłumaczyć istnieniem zespołu źródeł o dużej wydajności. To z kolei najprawdopodobniej uwarunkowane jest dużą powierzchnią pozbawioną sieci stałego drenażu, położoną powyżej źródeł. Stąd całość drenażu liniowego obszaru przeniesiona zostaje w dół zlewni i pojawia się w postaci wydajnego drenażu punktowego. Przemierzając się dalej, w dół Ciosenki, przyrost przepływu jest już stosunkowo niewielki.



Rys. 6. Przepływy [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Fig. 6. Discharge [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

W przypadku Dzierżąznej mamy do czynienia z proporcjonalnym przyrostem przepływu, postępującym wraz z sukcesywnym rozcinianiem poziomu wodonośnego przez koryto rzeczne. Na niektórych odcinkach badanych rzek dochodzi jednak do zaburzeń przyrostu przepływu. Zjawisko to wiąże się najprawdopodobniej z ucieczką wody z koryt oraz z gospodarowaniem na zbiornikach zlokalizowanych na ciekach lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

Na prezentowanym diagramie (rys. 6) widać wyraźnie, iż przepływ Ciosenki przed połączeniem jest o ok. 40% większy niż przepływ Dzierżanej. Różnią się również wyraźnie chwilowe moduły odpływu obu zlewni. Obliczone wartości wynoszą odpowiednio: 5,7 i 3,1 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Układ taki jest konsekwencją budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych panujących na badanym obszarze. Moduł odpływu obliczony dla całej zlewni wynosi 4,1 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Warto zauważyć, że wartość ta jest zbliżona do średniego modułu odpływu górnej części dorzecza Moszczenicy w okresie 1951–1970: ok. 5 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Atlas... 1987).

Zasoby wód płynących

Ocena zasobów wodnych jest jednym z podstawowych zagadnień w badaniach hydrologicznych. Różnorodność podejść badawczych i liczba powstałych dotąd metod jest tak ogromna, że nie sposób wymienić ich nawet w skrócie. Jeśli zawęzić zagadnienie do zasobów wód płynących, to można zaryzykować stwierdzenie, iż podstawą większości metod jest ocena wydajności cieków w określonym przekroju lub odcinku, w wybranym przedziale czasowym. Uzyskiwane wartości odnoszone są niekiedy do powierzchni zlewni (odpływ jednostkowy [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$] lub wskaźnik odpływu [mm]).

Podstawowym problemem w stosowaniu takich metod są błędy pojawiające się w wyniku antropogenicznych zakłóceń przepływu wzdłuż biegu cieków. Bardzo ciekawa wydaje się zatem propozycja M. Zajberta, dotycząca wprowadzenia nowej miary zasobów wód płynących, uwzględniającej ilość wody zawartej w profilu zwilżonym w całym korycie rzeki (Ciepielowski, Gutry-Korycka 1992). Miarę tę nazwano „pędem wody” (pędem zasobów wodnych) i z powodzeniem zastosowano w cytowanej wyżej pracy.

Pojęcie pędu definiowane jest jako iloczyn masy i prędkości. W odniesieniu do wody, 1 kG masy odpowiada w przybliżeniu objętości 1 dm^3 . Jednostką pędu wody będzie więc iloczyn jej objętości i prędkości, wyrażony w $\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$. Pęd zasobów wodnych (Z_A) można wyrazić następującym równaniem:

$$Z_A = \int_{l_m}^{l_n} Q \, dl$$

gdzie: Z_A – pęd zasobów wodnych [$\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$];

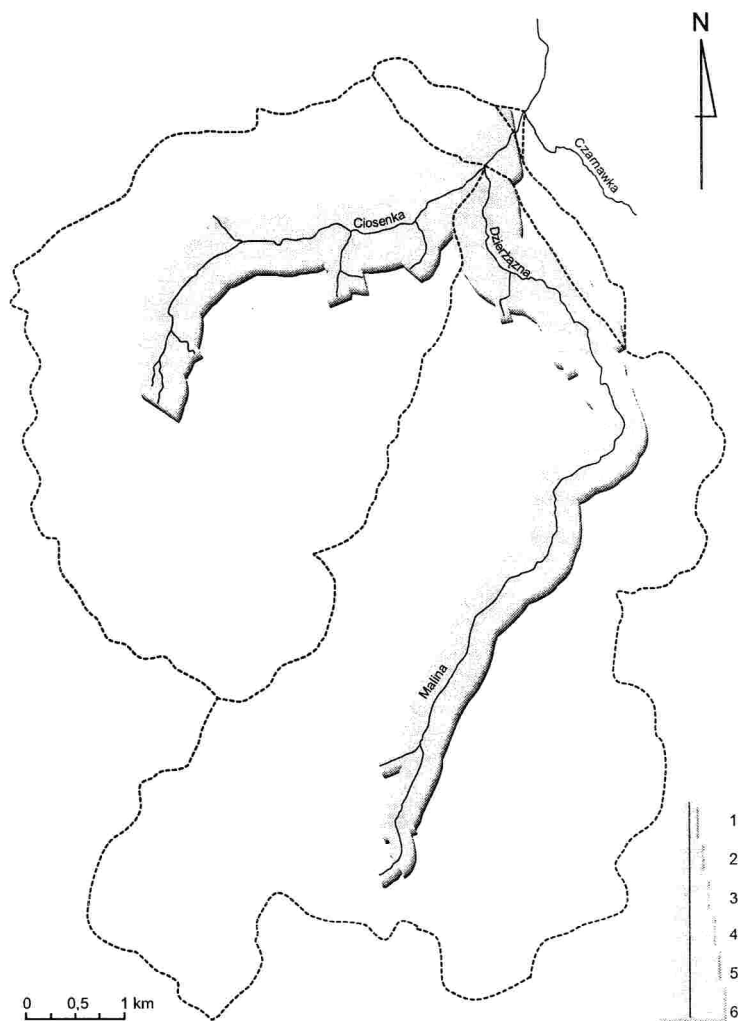
$l_n - l_m$ – długość rozpatrywanego odcinka cieków [m];

Q – średnie natężenie przepływu w rozpatrywanym odcinku cieków [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Warto zauważyć, że prezentowana miara znajduje zastosowanie w określaniu zanieczyszczeń cieków. Jeśli zastąpimy 1 km biegu rzeki pędem zasobów danego odcinka, to uzyskamy zróżnicowanie ilości niesionych

zanieczyszczeń, gdzie wagą stanie się wielkość przepływu na danym odcinku cieku.

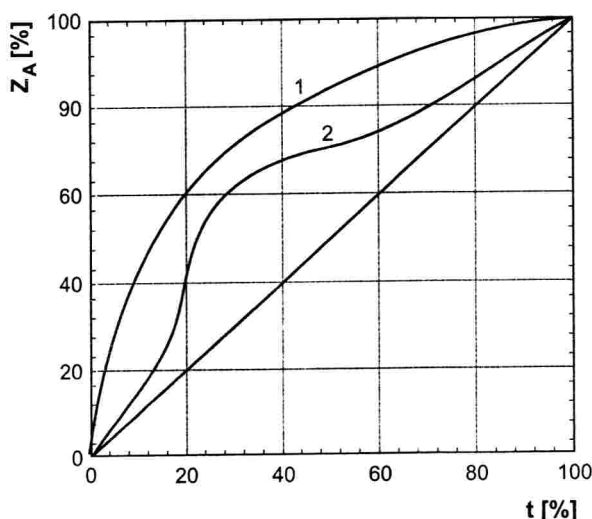
Mapę pędu zasobów wód płynących badanej zlewni skonstruowano na podstawie danych prezentowanych już wcześniej. Dla poszczególnych odcinków obliczono przepływ średni i pomnożono go przez długość odcinka. W przypadku odcinków początkowych wzięto pod uwagę wydajność źródeł lub wartość przepływu zredukowaną o 25% (rys. 7).



Rys. 7. Pęd zasobów wód płynących: 1 – $0,0-1,0 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$; 2 – $1,1-5,0 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$; 3 – $5,1-10,0 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$; 4 – $10,1-50,0 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$; 5 – $50,1-100,0 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$; 6 – $100,1-150,0 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$

Fig. 7. Momentum of the running water resources

Zasoby wód płynących całej zlewni wynoszą $603,5 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$. System Dzierżaznej (do połączenia z Ciosenką) niesie $223,9 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$ wody. System Ciosenki jest bardziej zasobny, gdyż szacunki dają tu wynik $302,8 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$ (również do połączenia). Liczba wyznaczonych odcinków, dla których określono pęd zasobów, jest na tyle duża, iż może posłużyć, w dalszym etapie badań, do określenia pędu zanieczyszczeń, a tym samym – procentowego udziału poszczególnych klas czystości wód w zasobach dorzecza. Już w chwili obecnej można stwierdzić, że ewentualne zanieczyszczenia Ciosenki, mimo że jest ona dwukrotnie krótsza od Dzierżaznej, będą miały większy wpływ na stan czystości zasobów całej zlewni.



Rys. 8. Krzywe koncentracji pędu zasobów względem czasu dobiegu do profilu zamykającego: Z_A – skumulowany odsetek pędu zasobów; t – skumulowany odsetek czasu dobiegu pędu zasobów do profilu zamykającego; systemy: 1 – Dzierżaznej; 2 – Ciosenki.

Fig. 8. Curves of momentum resources concentration in relation to the time of reaching the closing profile: Z_A – cumulative percentage of resource momentum; t – cumulative percentage of time in which water resources reach the closing profile; systems of: 1 – the Dzierżazna river; 2 – the Ciosenka river

Ocena zasobów wód płynących winna również dotyczyć ich rozkładu przestrzennego, szczególnie gdy można uwzględnić czasowe aspekty przestrzennej koncentracji zasobów. Oceny tego zjawiska dokonano, opierając się na współczynniku koncentracji Lorenza (Jokiel, Kostrubiec 1981). Za zmienną zależną przyjęto pęd zasobów wzdłuż biegu rzeki, zaś zmienną niezależną (porządkującą) stał się czas dobiegu wody do profilu zamykającego.

Wykres krzywej koncentracji skonstruowano poprzez skumulowanie odsetków obu zmiennych. Współczynnik koncentracji (K_L) oblicza się jako iloraz pola pod wykreśloną krzywą do pola połowy kwadratu koncentracji (rys. 8). Wartości tego parametru mogą zmieniać się w przedziale (0–1); wysokie – oznaczają silną koncentrację, niskie – słabą. Zasoby systemu Ciosenki są znacznie mniej skoncentrowane ($K_L=0,258$) niż ma to miejsce w przypadku Dzierżąnej ($K_L=0,506$). Wskazuje to na większą stabilność zasilania w pierwszym systemie rzeczonym. Przyczyn tego zjawiska należy upatrywać w równomiernym rozcięciu poziomu wodonośnego oraz fakcie, że w czasie pomiarów zasilany był on wyłącznie wodami podziemnymi. Zasoby Dzierżąnej koncentrują się w dolnym biegu rzeki, natomiast w systemie Ciosenki można zaobserwować wyraźny skok koncentracji w przedziale 15–35% czasu dobiegu wody (rys. 8). Czas ten wynosi w przeliczeniu na godziny ok. 1–2,5 godz. dobiegu wody do profilu zamykającego. Zauważmy, że na tym odcinku obserwujemy dużą liczbę zbiorników przepływowych (rys. 5).

Można zatem stwierdzić, iż na zróżnicowanie zasobów wód płynących badanej zlewni, decydujący wpływ wywiera oddziaływanie zbiorników wodnych oraz warunki hydrogeologiczne. Pozostałe omawiane czynniki mają znaczenie drugorzędne.

Literatura

- Atlas hydrologiczny Polski*, 1987, Wyd. Geol., Warszawa
- Burchard J., 1980, *Obieg wody w dorzeczu Bobrzy*, Acta Geogr. Lodz., 40 [Ossolineum].
- Chałubińska A., 1954, *Gęstość sieci wodnej w Polsce*, Annales UMCS, sect. B, 9 [Lublin].
- Ciepielowski A., Gutry-Korycka M., 1992, *Ilościowa i jakościowa ocena zasobów wodnych rzek polskich*, Prace i Stud. Geogr. UW, 12 [Warszawa].
- Dobija A., 1979, *Związki korelacyjne między parametrami morfometrycznymi zlewni*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 47 [Kraków].
- Dobija A., Dynowska I., 1975, *Znaczenie parametrów fizjograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzecznego*, Folia Geogr., ser. Geogr.-Phys., IX [Kraków].
- Drwal J., 1982, *Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodogłacialnych*, Zesz. Nauk. UG, Rozpr. i Monogr., 33 [Gdańsk].
- Gutry-Korycka M., 1997, *Zlewnia i jej parametry*, [w:] Soczyńska U. (red.), *Hydrologia dynamiczna*, PWN, Warszawa.
- Jokiel B., Kostrubiec B., 1981, *Statystyka z elementami matematyki dla geografów*, PWN, Warszawa.
- Kaniecki A., 1982, *Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy*, Wyd. UAM, ser. Geografia, 26 [Poznań].
- Klimaszewski M., 1978, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Maksymiuk Z., 1970, *Hydrografia dorzecza Grabi*, Acta Geogr. Lodz., 25 [Łódź].

- Maksymiuk Z., 1992, *Zależność między gęstością sieci rzecznej a przepuszczalnością podłoża w środkowej Polsce*, Acta Geogr. Lodz., Folia Geogr., 16 [Łódź].
- Wilgat T., 1966, *Odległość od wody jako wskaźnik gęstości sieci wodnej*, Przegl. Geogr., 38, 3 [Wrocław].

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej
Uniwersytetu Łódzkiego

Praca wykonana w ramach
projektu KBN 6P04E 041 19

Summary

The hydrographical network is a phenomenon under constant time and space changes. These changes have seasonal and multi-annual character. The dynamics of this phenomenon needs estimation not only of the network itself but also of the water moving in it. This problem becomes particularly important in the case of the areas located near urban grounds which are under intense anthropopression. It is possible then to conclude of progressive influence of human activities after recognizing of the natural factors forming hydrographical network.

The Dzierżązna drainage basin was explored up to the Swoboda closing profile (42,9 km²). It is located in the northern Łódź Upland part and is drained by the Moszczenica river system (fig. 1). The southern boundary of the basin is determined by the urban Zgierz suburbs. Exactly this place in Malinka, there are springs of Dzierżązna river. Hydrographical network explorations were carried out basing on the topographic map in the scale 1:25 000. Thus the obtained data were updated and verified in the field in July 1998.

Analysis of the river network parameters was carried out in the capacity of a drainage density (Wilgat's and Neumann's method) and a degree of an orderly arrangement (verification of the Horton's theory after the Strahler's classification) – fig. 2, 4, tab. 1, 2. The authors also made detailed estimation of each stream: a river long fall, sinuosity and development (fig. 3, tab. 1).

Estimation also concerns time in which water running the channels reaches the closing profile and concerns the discharge rate as well. Their space layout is represented on the maps – fig. 5, 6. In the final stage of the study the authors tried to evaluate the running water resources basing on the resources momentum measure. Thanks to using the mentioned above procedure it was possible to take account the dynamics of the resource processes, because physical unit of the presented measure is m⁴·s⁻¹. They also estimated degree of concentration of the resources in the river system (fig. 7, 8).

Translated by MAREK WALISCH