

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

Arkadiusz Bartczak

**WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ
ODPŁYWU RZECZNEGO
Z DORZECZA ZGŁOWIĄCZKI**



Warszawa 2007

PRACE GEOGRAFICZNE IGiPZ PAN

190. Komorniki T., *Przestrzenne zróżnicowanie międzynarodowych powiązań społeczno-gospodarczych w Polsce*, 2003, s. 256, 90 il., 11 tab., 3 zał.
191. Starkel L., Singh S. (red.), *Rainfall, runoff and soil erosion in the globally extreme humid area, Cherrapunji Region, India*, 2004, s. 116, 30 il., 16 tab., 12 fot.
192. Błażejczyk K., *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, 2004, s. 292, 106 il., 53 tab., 2 zał.
193. Gębica P., *Przebieg akumulacji rzecznej w górnym vistulianie w Kotlinie Sandomierskiej*, 2004, s. 230, 39 il., 4 tab., 8 fot.
194. Lamparski P., *Formy i osady czwartorzędowe w świetle badań georadarowych*, 2004, s. 116, 62 il., 10 tab.
195. Więckowski M., *Przyrodnicze uwarunkowania kształtowania się polsko-słowackich więzi transgranicznych*, 2004, s. 232, 42 il., 39 tab.
196. Śleszyński P., *Kształtowanie się zachodniej części centrum Warszawy*, 2004, s. 332 +1 zał., 72 il., 63 tab.
197. Kotarba A. (red.), *Rola malej epoki lodowej w przekształcaniu środowiska przyrodniczego Tatr*, 2004, s. 116, 33 il., 3 tab., 9 fot.
198. Korcelli-Olejniczak E., *Funkcje metropolitalne Berlina i Warszawy w latach 1990–2002. Współzależność pozycji w systemie miast Europy Środkowej*, 2004, s. 226, 11 il., 28 tab.
199. Roo-Zielińska E., *Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizyczno-geograficznego. Podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod*, 2004, s. 258, 65 il., 67 tab.
200. Mirosław Błaszkiwicz, Piotr Gierszewski (red.), *Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych*, 2005, s. 395 + 6, 100 il., 21 tab., 32 fot.
201. Mirosław Błaszkiwicz, *Późnoglacialna i wczesnoholocenska ewolucja obniżen jeziornych na pojezierzu Kociewskim (wschodnia część Pomorza)*, 2005, s. 192, 29 il., 2 tab., 18 fot.
202. Alina Potrykowska (red.), *Population and the environment*, 2005, s. 245, 23 il., 45 tab.
203. Wioletta Kamińska, *Pozarolnicza indywidualna działalność gospodarcza w Polsce w latach 1988–2003*, 2006, s. 236, 45 il., 43 tab.
204. Tomasz Kalicki, *Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich*, 2006, s. 348, 82 il., 10 fot.
205. Halina Grobelska, *Ewolucja strefy brzegowej zbiornika pakoskiego (Pojezierze Gnieźnieńskie)*, 2006, s. 122 + 23 wkl., 26 il., 12 tab., 33 fot.
206. Anna Maria Leonowicz, *Kartogram jako forma prezentacji zależności zjawisk geograficznych*, 2006, s. 212, 42 il., 16 tab.
207. Grzegorz Węclawowicz, Marek Dcgoriski, Tomasz Komornicki, Janusz Korzeń, Jerzy Bański, Juliusz Korzeń, Roman Soja, Przemysław Śleszyński, Marek Więckowski, *Studia nad przestrzennym zagospodarowaniem obszaru wzdłuż granicy polsko-niemieckiej*, 2006, s. 226, 40 il., 20 tab.
208. Jan Wendt, *Wymiar przestrzenny struktur i aktywności społeczeństwa obywatelskiego w Polsce*, 2007, s. 236, 54 il., 58 tab.

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 209

GEOGRAPHICAL STUDIES

No. 209

LONG-TERM VARIABILITY OF THE RIVER OUTFLOW
FROM THE ZGŁOWIĄCZKA BASIN

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 209

Arkadiusz Bartczak

**WIELOLETNIA ZMIENNOŚĆ
ODPŁYWU RZECZNEGO
Z DORZECZA ZGŁOWIĄCZKI**



WARSZAWA 2007

<http://rcin.org.pl>

KOMITET REDAKCYJNY

REDAKTOR: Grzegorz Węclawowicz
CZŁONKOWIE: Jerzy Grzeszczak, Barbara Krawczyk,
Jan Matuszkiewicz, Jerzy Parysek

RADA REDAKCYJNA

Bolesław Domański, Adam Kotarba, Jan Łoboda,
Andrzej Richling, Jan S. Kowalski, Andrzej Lisowski,
Eamonn Judge, Lydia Coudroy

RECENZENCI TOMU:

Andrzej T. Jankowski, Roman Soja

ADRES REDAKCJI:

Dział Wydawnictw IGiPZ PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
e-mail: e.janko@twarda.pan.pl

Zdjęcie na okładce: Arkadiusz Bartczak

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2007

PL ISSN 0373-6547
ISBN 978-83-87954-96-9

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
1.1. Cel i zakres pracy	11
1.2. Metody badań	16
2. PRZYRODNICZA CHARAKTERYSTYKA DORZECZA ZGŁOWIĄCZKI ...	23
2.1. Rzeźba terenu	23
2.2. Warunki infiltracyjne	27
2.3. Warunki termiczne	31
2.4. Warunki zasilania – opady atmosferyczne	33
2.5. Sieć hydrograficzna	39
2.5.1. Cieki	39
2.5.2. Jeziora	43
2.5.3. Mokrada	48
3. ANTROPOGENICZNE PRZEKSZTAŁCENIA SIECI RZECZNEJ I WARUN- KÓW ODPLYWU	53
3.1. Zmiany użytkowania terenu	53
3.2. Budowle piętrzące	58
3.2.1. Obiekty małej retencji	58
3.2.2. Młyny wodne i stawy młyńskie	63
3.3. Prace melioracyjne	67
4. ODPLYW RZECZNY	77
4.1. Zmienność odpływu	77
4.2. Fluktuacje odpływu i opadów z półrocza zimowego i letniego	88
4.3. Nizówki i wezbrania	93
4.3.1. Nizówki – kryterium wydzielenia i parametry	93
4.3.1.1. Nizówki półroczy zimowych	96
4.3.1.2. Nizówki półroczy letnich	103
4.3.1.3. Susza hydrologiczna w dorzeczu w latach 1989–1993	108
4.3.2. Wezbrania – kryterium wydzielenia i parametry	111
4.3.2.1. Wezbrania półroczy zimowych	113
4.3.2.2. Wezbrania półroczy letnich	117
4.3.2.3. Ekstremalne wezbrania w dorzeczu w roku 1979 i 1980	119
4.4. Tendencje zmian odpływu i opadów	125
4.5. Sezonowe i przypadkowe wahania odpływu	134
5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	141
LITERATURA	147
LONG-TERM VARIABILITY OF THE RIVER OUTFLOW FROM THE ZGŁO- WIĄCZKA BASIN – <i>Summary</i>	158

1. WSTĘP

Woda w środowisku przyrodniczym jest czynnikiem determinującym rozwój życia. Rozmieszczenie sieci osadniczej i ośrodków gospodarczych było i jest uwarunkowane możliwością dostępu do wody. Również w rolnictwie odpowiednia ilość wody, obok składników pokarmowych w glebie, jest czynnikiem wpływającym na przyrost i wielkość plonów. Decyduje ona także o jakości i natężeniu procesów fizyczno-geograficznych w środowisku. Woda posiada niezwykle ważną cechę – jest praktycznie nie do zastąpienia. Czym jest woda dla człowieka wskazuje A. Ciepeliowski (1999) – *„Dla organizmów żywych woda jest przyjacielem – zaspokaja ich potrzeby życiowe, a jednocześnie żywiołem – powoduje zniszczenia poprzez powodzie, erozję itp.”* (s. 16).

Aby zaspokoić potrzeby i przeciwstawić się żywiołom niezbędna jest znajomość procesów związanych z obiegiem wody w zlewni, a w szczególności znajomość wielkości i zmienności w czasie odpływu rzecznego. Jak ważny jest to problem pisze A. Byczkowski (1999) – *„Znajomość procesów hydrologicznych jest dla inżynierów budownictwa wodnego, środowiska, gospodarki wodnej i melioracji wodnych niezbędna do planowania, projektowania, wykonywania i eksploatacji wszelkiego rodzaju przedsięwzięć i urządzeń gospodarki wodnej”* (s. 23).

Racjonalne gospodarowanie wodą w celu zachowania równowagi przyrodniczej oraz rozwoju przemysłu i rolnictwa wymuszone zostało stale zmieniającymi się zasobami wód powierzchniowych Polski (Fal 1993; *Stan i wykorzystanie...* 1996; Kaczmarek 1997). Polska wśród krajów europejskich zajmuje jedno z ostatnich miejsc pod względem odnawialnych zasobów wód powierzchniowych przypadających na jednego mieszkańca. Zasoby wodne są u nas trzykrotnie niższe od średniej europejskiej i ok. 4,5 razy niższe od średniej światowej (Słota 1997).

Niedobór wody w warunkach Polski najbardziej odczuwalny jest na terenach rolniczych, zwłaszcza tam, gdzie zachwiana została naturalna równowaga krajobrazowa. Podstawowym „sprawcą” zachwiania równowagi pomiędzy poszczególnymi elementami krajobrazu był i jest człowiek. Zmiany krajobrazu spowodowane działalnością człowieka zostały opisane przez A. Wodzickę (1947), który wyróżnia:

- krajobraz pierwotny, w którym panuje równowaga pomiędzy wszystkimi elementami krajobrazu (m.in. klimatem, głębią i roślinnością),
- krajobraz naturalny, w którym nastąpiły na skutek działalności człowieka trwałe, ale nieistotne zmiany,
- krajobraz stosowany – istotnie i trwale przekształcony przez człowieka. Przekształcenia dotyczą wszystkich głównych elementów krajobrazu (klimatu, gleby, wody, szaty roślinnej i fauny). Przykładem krajobrazu stosowanego jest krajobraz rolniczy.

Do szczególnych regionów na Niżu Polskim, które charakteryzują się wysoko rozwiniętą gospodarką rolną, zaliczyć należy Wielkopolskę i Kujawy. Antropogenicznie zmienione tereny rolnicze Wielkopolski A. Wodziczko (1947) nazywa „*chorym krajobrazem rolniczym*” (s. 147), „*krajobrazem spustoszożonym*” (s. 151), lub wręcz „*krajobrazem stepowym Wielkopolski*” (s. 151). Pojęcie stepowienia wprowadzone zostało do literatury przez A. Seiferta w roku 1936. W swojej pracy *Die Versteppung Deutschlands* starał się on udowodnić tezę o systematycznych zmianach środowiska przyrodniczego środkowej części Europy. Środowisko przyrodnicze miało nabierać cech stepu na skutek wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych. Do czynników naturalnych zaliczył A. Seifert zmiany klimatyczne wpływające na zmiany bilansu wodnego oraz zmiany w świecie roślinnym, natomiast do czynników antropogenicznych – wylesianie, regulacje rzek i prace melioracyjne przyczyniające się do obniżenia poziomu wody gruntowej.

Transformacja krajobrazu opisana przez A. Wodziczkę oraz współautorów pracy pt. *Stepowienie Wielkopolski* (1947), m.in. Z. Czubińskiego, J. Kaja, J. Sokołowskiego, J.W. Szulczewskiego nawiązywała do teorii A Seiferta. Zdaniem wymienionych wyżej badaczy zmiany krajobrazu Wielkopolski i częściowo Kujaw związane były przede wszystkim z nadmiernym wylesieniem oraz zmianą struktury lasów, jak również z różnymi pracami hydrotechnicznymi (głównie melioracyjnymi), mającymi na celu dostosowanie tego regionu do potrzeb dynamicznie rozwijającego się rolnictwa. Antropogeniczne modyfikacje krajobrazu doprowadziły do zmian w obiegu wody, przesuszenia i erozji gleb oraz zmian w florze i faunie Wielkopolski. Tezy te w większości potwierdzone zostały przez autorów pracy pod redakcją J. Banaszaka, pt. *Stepowienie Wielkopolski pół wieku później* (2003).

Jedną z pierwszych prac dotyczących potencjalnych możliwości stepowienia w Polsce, w której rozważania prowadzone były na bazie warunków hydrologicznych jest praca J. Lambora (1954a). Jego zdaniem procesu stepowienia nie należy wiązać ze zmianami klimatu, a zmiany w obiegu wody spowodowane zostały w sposób sztuczny w ramach tego samego klimatu. Nie

stwierdził on trwałych zmian klimatu, a jedynie krótsze lub dłuższe jego wahania, powodujące okresowe (wieloletnie i w cyklu rocznym) nadwyżki (powodzie) i deficyty wody. W swojej kolejnej pracy J. Lambor (1956) wyznaczył obszary (przy pomocy kryterium Koeppena), które w największym stopniu narażone są na proces stepowienia. Są to okolice Torunia, Włocławka (wschodnia część Kujaw) oraz Płocka, dopiero w drugiej kolejności wymienia on Wielkopolskę oraz zachodnią część Kujaw i Mazowsze. Przy pomocy dodatkowych obliczeń (współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa) wskazał obszary Kujaw, Wielkopolski oraz część Mazowsza, jako szczególnie narażone na deficyt wody w miesiącach od maja do września.

Późniejsze badania Z. Pasławskiego (1979) potwierdzają stałość (bez stałej i istotnej statystycznie tendencji rosnącej czy malejącej) przebiegu temperatur powietrza oraz opadów atmosferycznych w Wielkopolsce (Poznań) w wieloleciu 1848–1976. Średni roczny odpływ rzeki Warty, badany przez wymienionego autora w latach 1901–1976, charakteryzujący się bardzo dużą zmiennością odpływu średniego w czasie, wykazuje jedynie cykliczny charakter zmian uwarunkowany pojawianiem się naprzemian okresów wilgotnych i suchych. Cykliczność zmian odpływu utożsamia on z ogólną cyrkulacją atmosferyczną. Podobną tezę wysunął K. Olejnik (1986) analizując przepływ Warty w Poznaniu w dłuższym okresie, tj. latach 1822–1985. Zanegował on teorię stepowienia na podstawie stacjonarności średniego rocznego odpływu, który na początku i końcu badanego okresu nie różnił się istotnie statystycznie. Wykazał on, że w procesie odpływu Warty uwidaczniają się jedynie „fazy suche i mokre”. Z kolei D. Woś (1987, 1989) analizując zmienność opadów i odpływu w dorzeczu Warty stwierdziła, że znacznie większą zmienność wykazuje odpływ rzeczny aniżeli opady atmosferyczne. Wydzieliła ona dla rzek w dorzeczu Warty cztery okresy, które różnią się między sobą charakterem przebiegu procesu odpływu. D. Woś stwierdziła także, na podstawie rozkładu zasobów potencjalnych w ciągu roku, że jedynym znaczącym ich źródłem jest woda zakumulowana w pokrywie śnieżnej. Odpływ spowodowany topnieniem pokrywy śnieżnej daje aż 80% całkowitych zasobów potencjalnych w ciągu roku. D. Wrzesiński (1999) analizując sezonową strukturę odpływu w dorzeczu Warty wydzielił (na podstawie kryterium hydrologiczno-klimatycznego), w cyklu hydrologicznym, pięć sezonów o podobnym przebiegu zjawisk i procesów hydrologicznych i klimatycznych. Wykazał on m.in. dominację odpływu z okresu roztopów wiosennych, który stanowi ponad 40% całkowitego odpływu rzeczno-ego w strukturze bilansu cyklu hydrologicznego. W sezonie wezbrań opadowych odpływa 22% całkowitego odpływu rzeczno-ego. Najmniejsze znaczenie w odpływie ma sezon letnio-jesienny oraz mroźnych zim stanowiący odpowiednio 10 i 6% całkowitego odpływu rocznego.

Niestety, literatura poświęcona wyżej zarysowanemu problemowi, a odnosząca się do rolniczego regionu Kujaw, jest niezwykle uboga. Spośród nielicznych pozycji na szczególną uwagę zasługuje praca R. Glazika (1970), traktująca o stosunkach wodnych powiatu włocławskiego. Cytowany autor poruszył w niej niektóre zagadnienia związane z reżimem wód powierzchniowych dorzecza Zgłowiączki (największa rzeka odwadniająca wschodnią część Kujaw), oraz z wielkością odpływu rzeczno w latach 1950–1959.

W pozostałych publikacjach dotyczących dorzecza Zgłowiączki autorzy odnoszą się najczęściej w sposób ogólny do charakterystyki wybranych elementów środowiska przyrodniczego (Jaczynowski 1929; Lencewicz 1929; Gierszewski 2000, 2001) oraz działalności człowieka wpływającej pośrednio lub bezpośrednio na obieg wody i odpływ z dorzecza lub zlewni cząstkowych (Glazik 1978, 1987, 1988; Rayzacher 1989, 1990; Jaworowski i in. 1993; Degórska 1996; Jaworowski i in. 1996; Brenda 1997, 1998, 2001; Szablowski 2002; Bartczak 2003a, 2003b).

Wybór dorzecza Zgłowiączki, jako obiektu analizy, miał na celu uzupełnienie wiedzy na temat warunków kształtowania się oraz zmienności odpływu z obszaru młodoglacjalnego o wysoko rozwiniętej gospodarce rolnej. Zagadnienie to jest niezwykle istotne, ponieważ na Kujawach występują okresowe deficyty wody, które stanowią główną barierę wzrostu produkcji rolnej (Brenda 1997, 1998, 2001).

Przyczyny występowania deficytu wody na tego typu obszarach należy rozpatrywać w dwojaki sposób (Rijsberman 2005). Po pierwsze, niedobór wody występuje na badanym obszarze w sensie fizycznym, np. notowane są niskie wartości opadów atmosferycznych. Po drugie, niedobór wody związany jest z nieproporcjonalnie dużym zapotrzebowaniem na wodę w stosunku do zasilania. Odpowiedź na pytanie, która z wymienionych przyczyn warunkuje występowanie deficytu wody w regionie wykracza jednak poza ramy niniejszego opracowania.

Dokładne poznanie kształtowania się i wielkości odpływu rzeczno ma również istotne znaczenie w aspekcie przewidywanych zmian klimatu (Kundzewicz, Radziejewski 2002). M. Gutry-Korycka (1996) przewiduje, iż globalne zmiany klimatu przyczynią się do zmian struktury bilansu cieplnego, oraz zmodyfikują strukturę obiegu wody w zlewni. Modyfikacja obiegu wody przejawiać ma się w postaci zmian: proporcji podziału zasilania, różnych form parowania, zmian retencji, faz odpływu i reżimu hydrologicznego rzek.

Tak więc znajomość wielkości i zmienności w czasie odpływu z dorzecza Zgłowiączki stanowi niejako bazę do dalszych badań związanych z obiegiem wody na Kujawach.

W tym miejscu pragnę serdecznie podziękować Panu Prof. dr hab. Ryszardowi Glazikowi za opiekę naukową. Dyskusje z Panem Profesorem pozwoliły mi na rozszerzenie mojej wiedzy dotyczącej procesów związanych z obiegiem i gospodarowaniem wodą w dorzeczu, jak również przyczyniły się do zrozumienia roli jaką pełni woda w środowisku przyrodniczym.

Szczególne podziękowania pragnę złożyć na ręce Pana Prof. dr. hab. Jana Szupryczyńskiego, którego osobowość i uwagi stały się dla mnie tak motywujące, że w konsekwencji doprowadziły do rozpoczęcia pracy naukowej.

Podziękowania kieruję dla Panów: dr. Dariusza Brykały i dr. Piotra Gierszewskiego z Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu IGiPZ PAN w Toruniu oraz Pani dr inż. Iwony Staniec z Zakładu Metod Ilościowych w Zarządzaniu przy Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Łódzkiej, jak również Panu mgr. Jarosławowi Wysockiemu za życzliwą, bezinteresowną pomoc i cenne uwagi w trakcie pisania pracy.

Serdeczne podziękowania kieruję również dla Pani mgr inż. Ewy Maciążek z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie za pomoc w kompletowaniu danych hydrologicznych i meteorologicznych wykorzystanych w opracowaniu oraz dla Pani mgr Ewy Birek za pomoc w redagowaniu pracy.

Pragnę również podziękować Panom: dr. Zbigniewowi Brendzie, dr. Januszowi Szablowskiemu, mgr. inż. Krzysztofowi Polakowi oraz dr. Jędrzejowi Kosińskiemu za dyskusje dotyczące zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym oraz ogólnie pojętej gospodarki wodnej.

1.1. CEL I ZAKRES PRACY

Podstawowym celem pracy było określenie zmienności w cyklu rocznym oraz wieloletnim odpływu rzeki Zgłowiączki, w ścisłym powiązaniu ze zmiennymi warunkami zasilania opadami atmosferycznymi. Okres analizy obejmował lata 1961–2000.

Przed przystąpieniem do realizacji podstawowego celu pracy przeprowadzono charakterystykę tych elementów środowiska przyrodniczego, które w największym stopniu wpływają na wielkość i zmienność odpływu rzecznego. Szczegółowo opisano sieć rzeczną, rozmieszczenie jezior i mokradła, rzeźbę terenu oraz warunki infiltracyjne. Zależność pomiędzy wielkością opadu atmosferycznego a odpływem była dodatkowo modyfikowana gospodarczą działalnością człowieka. Z tego powodu przeprowadzono również analizę antropogenicznych przekształceń sieci rzecznej w dorzeczu, które zdaniem autora



mogą wywierać znaczący wpływ na powyższą zależność. Na przekształcenia te składają się: wykonane prace melioracyjne – głównie prace drenarskie oraz budowa małych zbiorników retencyjnych. Innym przykładem działalności człowieka w dorzeczu modyfikującym obieg wody są zmiany w strukturze użytkowania gruntów. Rozwój rolnictwa i intensyfikacja produkcji rolnej na analizowanym obszarze odbywała się przede wszystkim kosztem zmniejszania powierzchni leśnych. Pełna i jednoznaczna odpowiedź na pytanie – które z wymienionych wyżej elementów mają decydujący wpływ na relację opad-odpływ – jest trudna na obecnym etapie rozpoznania procesów hydrologicznych.

Problematyka wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na obieg wody w zlewni była przedmiotem analizy w wielu pracach. Szczególnie istotne znaczenie na kształtowanie się odpływu ze zlewni mają różne elementy środowiska przyrodniczego, takie jak rzeźba terenu, budowa geologiczna, gleby, szata roślinna, rozmieszczenie jezior (Dobija, Dynowska 1975; Dynowska 1978; Burchard 1980; Moszczyńska 1986; Abrahamsson, Hakanson 1998; Wrzesiński 1999; Robinson i in. 2003) oraz zmiany czynników klimatycznych (Jankowski (red.) 1986b; Jeż i in. 1987; Woś 1987; Jokiel, Kożuchowski 1989; Bogdanowicz, Stachy 1995; Gutry-Korycka (red.) 1996; Arnell 1999a, b; Kundzewicz, Radziejewski (red.) 2002).

W wielu opracowaniach podkreśla się, że na terenach użytkowanych rolniczo największy wpływ na zmiany w odpływie mają wykonane prace melioracyjne i regulacje koryt rzecznych (Bajkiewicz-Grabowska 1975; Glazik 1978; Rotnicka 1988; Kurek 1991; Absalon, Wac 1992; Byczkowski, Mandes 1992; Ciepeliowski, Gutry-Korycka 1993; Marszelewski, Szczepanik 1993; Czamara 1998; Hiscock i in. 2001).

Ryc.1. Szkic hydrograficzny dorzecza Zgłowiączki oraz rozmieszczenie posterunków wodowskazowych i opadowych IMGW

1 – miasta; 2 – cieki; 3 – jeziora; 4 – posterunek opadowy istniejący; 5 – posterunek opadowy zlikwidowany; 6 – posterunek wodowskazowy istniejący; 7 – posterunek wodowskazowy zlikwidowany; 8 – dział wodny I rzędu; 9 – dział wodny II rzędu; 10 – dział wodny III rzędu; 11 – dział wodny IV rzędu; 12 – brama w dziale wodnym; 13 – dział wodny niepewny; 14 – Kanały: A – Bachorze, B – Głuszyński, C – Gopło-Swiesz, D – Głuszyn-Dębołęka, E – Pasička-Karaśnia

Hydrographic sketch of the Zgłowiączka River basin and the location of hydrometric and precipitation stations of the Institute of Meteorology and Water Management (IMWM)

1 – cities; 2 – rivers; 3 – lakes; 4 – existing precipitation station; 5 – non-existing precipitation station; 6 – existing hydrometric station; 7 – non-existing hydrometric station; 8 – watershed of the 1st order; 9 – watershed of the 2nd order; 10 – watershed of the 3rd order; 11 – watershed of the 4th order; 12 – a gap in the watershed; 13 – uncertain watershed; 14 – Canals: A – Bachorze, B – Głuszyński, C – Gopło-Swiesz, D – Głuszyn-Dębołęka, E – Pasička-Karaśnia

Źródło (Source): *Podział hydrograficzny Polski* – cz. II, 1980.

Jednak najbardziej widoczne zmiany odpływu wody występują na obszarach intensywnej działalności przemysłowej (Jankowski 1975, 1987, 1988, 1991; Czaja 1988a, 1988b, 1991, 1999, 2002; Jokiel, Maksymiuk 1988; Soja 1988; Glazik 1995; Wrzesiński 1996; Absalon 1998; Pierzgalski i in. 2002), jak również na obszarach zurbanizowanych (Michalczyk, Paszczyk 1983; Łoś, Michalczyk 1984, 1989, 1994; Jankowski, Kaniecki (red.) 1996; Michalczyk (red.) 1997; Jokiel 2002, Nowicka 2002).

Autorzy wyżej wymienionych prac wskazują na potrzebę analizy wielokierunkowej i wielopłaszczyznowej ponieważ zmiany w hydrosferze są efektem sumy oddziaływań czynników naturalnych i antropogenicznych.

Zrealizowanie założonego celu podstawowego wiązało się z określeniem i realizacją następujących zadań szczegółowych:

- określenie zmienności odpływu i opadów w cyklu rocznym,
- wydzielenie niżówek i wezbrań oraz określenie ich parametrów,
- poznanie zależności pomiędzy parametrami niżówek i wezbrań,
- ustalenie fluktuacji odpływu i opadów w wieloleciu.

Analizę zmienności odpływu przeprowadzono na podstawie ciągów danych hydrologicznych – dobowych, średnich miesięcznych i średnich rocznych wartości przepływów oraz danych meteorologicznych – miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych z posterunków (ryc. 1) znajdujących się w dorzeczu i należących do sieci pomiarowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (tab. 1 i tab. 2).

Tabela 1. Posterunki wodowskazowe IMGW w dorzeczu Zgłowiączki (z których dane wykorzystano w badaniach)

Rzeka – profil	Pow. zlewni A [km ²]	Uwagi
Zgłowiączka – Włocławek – Ruda	1469	Posterunek Przyruda w roku 1981 przeniesiono o 1,2 km w dół rzeki do miejsca Włocławek – Ruda.
Zgłowiączka – Przyruda	1469	Na potrzeby niniejszej pracy dane z posterunków Przyruda i Włocławek – Ruda zestawiono w jeden ciąg pomiarowy, a połączony posterunek nazwano w dalszej części pracy Przyruda/Ruda. Dane przyjęte do analizy pochodzą z lat 1961–2000.
Zgłowiączka – Marianki	1 023	Wykorzystano do określenia tendencji odpływu. Dane przyjęte do analizy pochodzą z lat 1961–1979.
Lubieńka – Nowa Wieś	411	Wykorzystano do określenia tendencji odpływu oraz oceny zmienności i nieregularności przepływów Lubieńki. Dane przyjęte do analizy pochodzą z lat 1976–1988.

Tabela 2. Posterunki opadowe IMGW (z których dane przyjęto do analiz)

Posterunek opadowy	Okres obserwacji przyjęty do charakterystyki	Wysokość położenia posterunku [m n.p.m.]
Chodecz	1961 – 2000	125
Baruchowo	1961 – 2000	90
Brześć Kujawski*	1961 – 1991	80
Olganowo*	1961 – 1991	100
Lubanie*	1964 – 1994	75
Gostynin	1961 – 2000	90
Duninów	1961 – 2000	55

* – posterunek zlikwidowany

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Rzeka Zgłowiączka jest jednym z największych lewobrzeżnych dopływów dolnego odcinka Wisły. Całkowita powierzchnia jej dorzecza wynosi 1495,6 km². Zgodnie z *Podziałem hydrograficznym Polski* (1983) dorzecze Zgłowiączki ograniczone jest działami wodnymi I rzędu (zachodnia i południowa część dorzecza), II rzędu (północno-wschodnia, południowo-wschodnia i wschodnia część) i IV rzędu (północno-wschodnia część dorzecza) (ryc. 1). Przebieg działów wodnych jest na ogół pewny z wyjątkiem części północnej w okolicach dolnego biegu Zgłowiączki na terenie miasta Włocławka, jak również w części północno-wschodniej.

Dział wodny I rzędu oddziela dorzecza Wisły i Odry – dorzecze Zgłowiączki graniczy ze dorzeczem Noteci. Dział wodny II rzędu na północ i zachód od Włocławka – oddziela analizowany obszar od bezpośredniej zlewni rzeki Wisły, na wschodzie graniczy z dorzeczem Skrwy Lewej (bezpośredni dopływ Wisły). Północno-wschodnia część dorzecza ograniczona działem wodnym IV rzędu sąsiaduje ze zlewniami niewielkich cieków – Rybnicy, Zuzanki i Rudy.

Dorzecze Zgłowiączki jest bardzo interesującym, ale jednocześnie trudnym rejonem badań hydrologicznych. Rzeka ta odwadnia bowiem obszar młodogłacjalny o zróżnicowanym układzie naturalnych warunków środowiska przyrodniczego oraz działalności człowieka. Charakterystyczną cechą dorzecza Zgłowiączki jest jego wyraźna dwudzielność wynikająca z odmiennej budowy geologicznej i rzeźby terenu. Przeważająca część – 86,9% powierzchni dorzecza znajduje się na wysoczyźnie morenowej (Równina Inowrocławska i Pojezierze Kujawskie), a 13,1% w pradolinie Wisły (Kotlina Płocka).

Zgodnie z obowiązującym podziałem administracyjnym (od 01 stycznia 1999) dorzecze Zgłowiączki należy do dwóch województw: kujawsko-pomorskiego i mazowieckiego. Położenie dorzecza Zgłowiączki na tle jednostek hydrologicznych, fizycznogeograficznych oraz administracyjnych przedstawiono na rycinie 2.

1.2. METODY BADAŃ

Pierwszy etap badań polegał na zgromadzeniu danych potrzebnych do oceny aktualnego stanu środowiska przyrodniczego oraz charakterystyki hydrograficznej dorzecza Zgłowiączki. Na podstawie dostępnej literatury oraz map tematycznych i topograficznych dokonano analizy tych elementów środowiska przyrodniczego, które w istotny sposób wpływają na transformację opadu atmosferycznego w odpływ rzeczny oraz mogą decydować o jego zmienności w czasie. Do opisu sieci hydrograficznej wykorzystano *Podział hydrograficzny Polski, Część I – Zestawienia liczbowo-opisowe* (1983) oraz *Część II – Mapa 1:200 000* (1980). Do określenia podstawowych parametrów sieci rzecznej wykorzystano również mapy topograficzne w skali 1:50 000. Analizę warunków infiltracyjnych przeprowadzono na podstawie *Mapy geologicznej Polski* w skali 1:200 000 (arkusze: Konin, Płock, Toruń, Brodnica).

Dla pełnej charakterystyki opisywanych elementów środowiska, jak również w celu uaktualnienia posiadanych już informacji, wykorzystano dane pochodzące z:

– Kujawsko-Pomorskiego Biura Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku – dane dotyczące użytkowania terenu (*Materiały analityczno-studialne...* 1995; *Studia uwarunkowań...* 1995; *Strategia rozwoju województwa...* 2000; *Plan zagospodarowania przestrzennego...* 2003).

– Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach – dane dotyczące rozmieszczenia i powierzchni mokradeł (*Mapa mokradeł...* 1992–1995).

Zebrano również materiał dotyczący przekształceń stosunków wodnych związanych z działalnością człowieka. Szczególnie cenne informacje dotyczące wielkości, zasięgu oraz dynamiki prac melioracyjnych, jak również prac związanych z realizacją programu związanego z małą retencją, uzyskano w Kujawsko-Pomorskim Zarządzie Melioracji i Urządzeń Wodnych we Włocławku. Ponadto na podstawie dokumentów pochodzących z Archiwum Państwowego w Toruniu – Oddział we Włocławku odtworzono rozmieszczenie młynów wodnych i zbiorników młyńskich w I połowie XX wieku.

W drugim etapie zgromadzono i ujednolicono dane hydrologiczne i meteorologiczne. Wszystkie posiadane dane dotyczące opadów atmosferycznych za lata 1961–2000 pochodzą z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Dane dotyczące przepływów rzek Zgłowiączki i Lubieńki w latach 1961–1983 pochodzą z *Roczników hydrologicznych wód powierzchniowych – Dorzecze Wisły i rzeki Przymorza na wschód od Wisły* wydawanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie. Dane z lat 1984–2000 pozyskano na potrzeby niniejszego opracowania z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

Trzeci etap polegał na statystycznej analizie danych. Wielkość odpływu rzecznoego z dorzecza Zgłowiączki przedstawiono na podstawie danych pomiarowych IMGW z dwóch posterunków wodowskazowych na rzece Zgłowiączce-Przyruda i Włocławek-Ruda. Ciągi danych z tych posterunków połączono w jeden, nazywany w dalszej części Przyruda/Ruda. Różnica w odległości pomiędzy posterunkami wynosi 1,2 km. Rzeka na tym odcinku nie przyjmuje żadnych dopływów, a parametry koryta są podobne. Powierzchnię zlewni dla połączonego posterunku przyjęto taką, jaka została określona przez IMGW dla posterunku Przyruda, tj. 1469 km². Zestawienie danych w jeden ciąg pomiarowy wykonano w celu wydłużenia okresu przyjętego do analizy do 40 lat.

W celu określenia wiarygodności ciągów pomiarowych przeprowadzono analizę ich statystycznej jednorodności. Do tego badania wykorzystano test sumy rang Kruskala – Wallisa, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (Ozga-Zieliński 1987). Analizę jednorodności statystycznej przeprowadzono dla: maksymalnych, średnich i minimalnych rocznych przepływów Zgłowiączki oraz rocznych sum opadów atmosferycznych na posterunkach w Chodczu, Baruchowie, Brześciu Kujawskim, Olganowie, Gostyninie, Lubaniu i Duninowie. Otrzymane wyniki wskazują, że w przypadku przepływu wszystkie analizowane ciągi są jednorodne statystycznie, natomiast w przypadku opadów: ciągi danych z Baruchowa, Brześcia Kuj., Gostynina, Lubania i Duninowa są jednorodne, a z Chodcza i Olganowa niejednorodne statystycznie. Trudno jednak wskazać jednoznaczną przyczynę niejednorodności rocznych sum opadów atmosferycznych akurat dla tych dwóch posterunków opadowych. W przeciwieństwie do określenia czynników wpływających na niejednorodność przebiegu zjawisk hydrologicznych, jednoznaczne określenie przyczyny niejednorodności opadów jest niezwykle trudne. O zerwaniu jednorodności ciągu pomiarowego mogą decydować czynniki związane z ciągłością prowadzenia pomiaru (np. zmiana przyrządu pomiarowego lub osoby dokonującej pomiar), ale również czynniki naturalne, które warunkują wystąpienie opadu na określonym terenie (np. określony typ cyrkulacji atmosferycznej). Opady atmosferyczne w stosunku do innych elementów meteorologicznych charakteryzują się dużą zmiennością ich wielkości (sumy roczne, miesięczne, dobowe) na określonym terenie, nawet przy wystąpieniu podobnych lub nawet tych samych warunków cyrkulacyjnych. Cechą charakterystyczną opadu jest brak możliwości przewidzenia czasu wystąpienia, kontroli miejsca i wielkości opadu (Ciepielowski 1999). W związku z powyższym niejednorodność opadów należy raczej wiązać z genezą ich występowania, dlatego też ciągi opadów z posterunków Chodec i Olganowo pomimo wykazania niejednorodności statystycznej poddano dalszej analizie.

Następnie dokonano wyboru metod, które pozwoliły na określenie zmienności w wieloleciu oraz cyklu rocznym odpływu i opadów:

I. Wieloletnie fluktuacje odpływu rzecznego i opadów atmosferycznych

W celu dokonania oceny wieloletnich fluktuacji średnich rocznych przepływów Zgłowiączki oraz Lubieńki na tle opadów atmosferycznych zastosowano metodę krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu (opadów) $\Sigma (K-1)$. Współczynnik przepływu i opadów dla całego wielolecia obliczono według wzoru:

$$K = \frac{\bar{Q}_r}{\bar{Q}_w}$$

gdzie:

K – współczynnik przepływu (opadu),

\bar{Q}_r – średni przepływ roczny [$m^3 s^{-1}$] (roczna suma opadu [mm]),

\bar{Q}_w – średni przepływ z wielolecia [$m^3 s^{-1}$] (średnia roczna suma opadu z wielolecia [mm]).

Metoda ta pozwala wyróżnić lata o wyższym lub niższym przepływie (opadach) w stosunku do średniej wieloletniej – lata wilgotne lub suche, oraz fluktuacji w przebiegu wieloletnim analizowanych charakterystyk.

II. Zmienność odpływu rzecznego i opadów atmosferycznych

Roczny cykl odpływu rzecznego i opadów atmosferycznych przedstawiony został przy pomocy modelu wahań w czasie. Model ten został wprowadzony do analizy i opisu zjawisk hydrologicznych przez A.T. Jankowskiego (1986a), a następnie przez S. Czaję (1988a) i S. Czaję, A.T. Jankowskiego (1989). Modelem wahań w czasie – zgodnie z definicją M. Sobczyka (2001) – nazywamy konstrukcję teoretyczną opisującą kształtowanie się danego zjawiska jako funkcję zmiennej czasowej, wahań okresowych (periodycznych) i przypadkowych (nieregularnych). Zaletą tej metody jest możliwość liczbowej i graficznej oceny wielkości wahań sezonowych i przypadkowych na tle tendencji odpływu ze zlewni rzecznej (Czaja 1999).

Zgodnie z przedstawioną definicją modelu należy wnosić, że na zmienność badanego zjawiska (odpływu i opadów) w czasie mają wpływ: tendencja charakterystyki, wahania typu okresowego, które przyjmują najczęściej formę wahań sezonowych oraz wahania typu przypadkowego (losowego).

W związku z powyższym analizę zmian wybranych parametrów hydrometeorologicznych podzielono na trzy etapy:

1. Określono tendencję (trend) odpływu i opadów metodą analityczną. Wybrano liniową funkcję trendu, która ma postać (*Hydrologia ... 1995*):

$$y = a_0 + a_1 t,$$

gdzie:

y – teoretyczna wartość funkcji trendu przepływu [$m^3 s^{-1}$] (opadów [mm]) w okresie t ,

a_0 – wartość funkcji trendu w miesiącu poprzedzającym badany okres (przepływ [$m^3 s^{-1}$], opady [mm]),

a_1 – wartość wzrostu trendu z miesiąca na miesiąc (przepływ [$m^3 s^{-1}$], opady [mm]),

t – kolejna liczba obserwacji.

Parametr a_1 obliczono według wzoru:

$$a_1 = \frac{n \sum y_t \times t - \sum y_t \sum t}{n \sum t^2 - (\sum t)^2},$$

gdzie:

y_t – wartość przepływu [$m^3 s^{-1}$] (opadów [mm]) w okresie t ,

n – liczba okresów (miesiące) w szeregu czasowym.

Parametr a_0 obliczono przy pomocy wzoru:

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{t},$$

gdzie:

\bar{y} – średnia wartość przepływu [$m^3 s^{-1}$] (sum opadów [mm]) w badanym okresie,

\bar{t} – średnia arytmetyczna liczby obserwacji.

Wartość funkcji trendu pozwala wyznaczyć tendencję badanego zjawiska. Czynniki, które warunkują tendencję odpływu najczęściej nazywane są czynnikami głównymi. Zaliczyć można do nich opady atmosferyczne lub czynniki antropogeniczne, tj. pobór, zrzuty czy transfer wody ze zlewni w badanym okresie.

2. Wyznaczono wielkość wahań okresowych, których szczególnym przypadkiem są wahania sezonowe. Wahania sezonowe M. Sobczyk (2001) określa jako „powtarzające się z roku na rok w tych samych jednostkach kalendaryzowych dość regularne zmiany ilościowe w przebiegu zjawisk masowych” (s. 349). Wahania sezonowe pozwalają na określenie roli czynników cyklicznych w kształtowaniu się odpływu ze zlewni. Do czynników cyklicznych należy zaliczyć wszystkie prawidłowości klimatyczne, które sprawiają, że np.: wezbrania lub niżówki występują w określonych, powtarzających się miesiącach czy sezonach.

Wielkość wahań sezonowych można przedstawić przy pomocy wskaźników sezonowości wyrażonych w procentach lub absolutnych poziomach wahań sezonowych wyrażonych wartościami bezwzględными. Do wyodrębnienia wahań sezonowych przyjęto metodę opartą na średnich jednoimiennych (miesięcznych) okresach. W takim przypadku wskaźniki sezonowości oblicza się według wzoru (*Hydrologia ... 1995*):

$$S_i = \frac{y_i \times d}{\sum y_i} \times 100 \quad [\%],$$

gdzie:

S_i – wskaźnik sezonowości dla i -tego podokresu (październików, listopadów, grudnia, itd.),

\bar{y}_i – średnia wartość przepływu [m^3s^{-1}] (średnia suma opadu [mm]) w badanym jednoimiennym podokresie,

d – liczba miesięcy w roku.

3. Wyodrębniono wahania przypadkowe, które obok czynników głównych i sezonowych wpływają w dużej mierze na charakter odpływu. Wahania przypadkowe spowodowane są działaniem czynników losowych i występują nieregularnie z różnym nasileniem. S. Czaja (1999) czynniki losowe utożsamia ze specyficznymi warunkami hydrometeorologicznymi w danym roku. Warunki te sprawiają, że maksimum lub minimum odpływu występuje w innych okresach niż wynika to z obserwacji sezonowości badanego zjawiska.

W modelu wahań w czasie wahania przypadkowe reprezentowane są przez składniki resztowe, które można obliczyć według następującego wzoru (*Hydrologia ... 1995*):

$$z_i = y - \bar{y} - g_{ii},$$

gdzie:

z_i – wahania przypadkowe w wartościach bezwzględnych,

y_i – wartość przepływu [m^3s^{-1}] (opadów [mm]),

\bar{y}_i – teoretyczna wartość funkcji trendu przepływu [m^3s^{-1}] (opadów [mm]) w okresie t ,

g_{ii} – bezwzględny poziom wahań sezonowych przepływu [m^3s^{-1}] (opadów [mm]) w i -tym podokresie cyklu.

Składniki resztowe, obliczone dla poszczególnych miesięcy, pozwalają określić siłę wpływu wahań hydrometeorologicznych w danym roku na wielkość przepływu. Składnik resztowy informuje więc o wpływie tych czynników, których nie można wyjaśnić tendencją zjawiska i wahaniami sezonowymi.

III. Statystyczne miary zmienności odpływu rzecznego i opadów atmosferycznych

Analizę zmienności odpływu i opadów przeprowadzono dla jednoimien-nych (miesięcznych) okresów np. listopadów, grudni, itd., oraz dla odpływu w latach skrajnie wilgotnych, przeciętnych i skrajnie suchych w wieloleciu. Zmienność opadów i odpływu wyrażono przy pomocy standardowych miar statystycznych stosowanych w badaniach hydrologicznych, tj. współczynnika zmienności „Cv” (iloraz bezwzględnej miary zmienności cechy i średniej wartości tej cechy) oraz wskaźnika nieregularności „W” (iloraz maksymalnej i minimalnej wartości cechy).

2. PRZYRODNICZA CHARAKTERYSTYKA DORZECZA ZGŁOWIĄCZKI

2.1. RZEŻBA TERENU

Układ i gęstość sieci rzecznej w dorzeczu Zgłowiączki uzależnione są od rzeźby i budowy geologicznej (Glazik 1970). Zgodnie z podziałem regionalnym Polski w układzie dziesiętnym opracowanym przez J. Kondrackiego (1994) dorzecze Zgłowiączki w zasadniczej części należy do dwóch makroregionów: Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka – 315.3 (mezo-region Kotlina Płocka – 315.36) i Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie 315.5 (mezo-regiony: Równina Inowrocławska – 315.55 i Pojezierze Kujawskie – 315.57), które wskazują na odmienność rzeźby terenu oraz budowy geologicznej dorzecza.

Największą część badanego obszaru stanowi Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie (ryc. 2), którego rzeźba została ukształtowana w czasie ostatniego zlodowacenia. Główny element rzeźby młodoglacjalnej Równiny Inowrocławskiej i północnej części Pojezierza Kujawskiego stanowi względnie płaska wysoczyzna morenowa urozmaicona szerokimi dolinami, rynnami i zagłębieniami wytopiskowymi (Niewiarowski 1983). Wysoczyzna morenowa w północnej części analizowanego obszaru zalega na wysokości 90–95 m n.p.m. i jest zbudowana głównie z gliny zwałowej, niekiedy przykrytej utworami zastoisłowymi, bądź piaszczysto-gliniastymi osadami ablacyjnymi. Rzeźba wysoczyzny została ukształtowana podczas wycofywania się lądolodu fazy poznańskiej (Dylikowa 1982; Niewiarowski 1983). Środkowa i południowa część Pojezierza Kujawskiego kontrastuje wyraźnie z rzeźbą opisanych wyżej obszarów. Pasem oddzielającym są chełmickie i radziejowskie moreny czołowe ciągnące się na południe od linii Radziejów – Lubraniec – Brześć Kujawski. Tą część Pojezierza zajmuje wysoczyzna morenowa falista, w której wysokości bezwzględne wzniesień w części środkowej dochodzą do 140 m n.p.m., a dna obniżen przebiegają na poziomie ok. 100–120 m n.p.m. (Dylikowa 1982). W części południowej Pojezierza wyraźnie zarysowany jest w krajobrazie ciąg moren czołowych fazy poznańskiej ostatniego zlodowacenia ciągnący się od okolic Izbicy Kujawskiej przez Chodecz w kierunku Lubienia Kujawskiego. Wysokości bezwzględne dochodzą tu nawet do 147 m n.p.m. (Dylikowa 1982). Obok wymienionych form wypukłych w środkowej i południowej części Pojezierza rzeźbę terenu urozmaicają formy wklęsłe w postaci rynien subglacjal-



nych i zagłębień wytopiskowych (Dylikowa 1982; Niewiarowski 1983). Rynny subglacialne zorientowane są południkowo i obecnie wykorzystywane są jako doliny rzeczne (doliny rzek: Chodeczki, Lubieńki, Kocięcy i Strugi). W najgłębszych partiach rynien znajdują się jeziora (m.in. Kromszewickie, Chodeckie, Lubienieckie, Szczytnowskie, Lubieńskie). Rynny na tym obszarze nie przekraczają 1 km szerokości, ciągną się na ogół od kilku do powyżej 20 km i są głęboko wcięte w otaczającą wysoczyznę (15–20 m).

Jedną z lepiej rozpoznanych i opisanych dolin w analizowanym dorzeczu jest dolina Zgłowiączki. Jej geneza została szczegółowo wyjaśniona przez L. Andrzejewskiego (1984, 1994). Wydzielił on trzy odcinki doliny Zgłowiączki¹ różniące się od siebie genezą:

– pierwszy, najdłuższy (ponad 50% długości doliny – 31 km), biorący początek ok. 3 km od Topólki (miejsce połączenia się doliny Zgłowiączki z rynną J. Głuszyńskiego), a kończący się na północ od Brześcia Kuj. jest typową rynną subglacialną.

– drugi fragment doliny (długości 6 km) od Nowego Młyna do granicy wysoczyzny z doliną Wisły. Usytuowany jest prawdopodobnie w osi niewielkich rynien subglacialnych rozcinających obniżoną część Wysoczyzny Kujawskiej (Wiśniewski 1974).

– trzeci, ujściowy fragment doliny, biegnie w dolinie Wisły i został ukształtowany w pełni przez rzekę Zgłowiączkę.

Inną nie mniej charakterystyczną doliną na omawianym terenie jest dolina Bachorzy (Wiśniewski 1974, 1976; Niewiarowski 1983). Forma ta rozpoczyna się w okolicy Nowego Młyna (na północ od Brześcia Kujawskiego), w miejscu gdzie rzeka Zgłowiączka zmienia kierunek płynięcia z południkowego na równoleżnikowy. W początkowym odcinku jest ona wcięta w wysoczyznę ok. 10–12 m, jej szerokość wynosi ok. 800 m, a dno doliny zalega na wysokości

¹ L. Andrzejewski za początek doliny przyjmuje miejsce jej połączenia z rynną J. Głuszyńskiego, a jej długość określił na 55 km.

Ryc. 2. Położenie dorzecza Zgłowiączki na tle jednostek: hydrograficznych, fizyczno-geograficznych oraz administracyjnych

1 – miasta; 2 – jeziora; 3 – kanały; 4 – ciek; 5 – granica administracyjna; 6 – krawędź wysoczyzny; 7 – dział wodny I rzędu; 8 – dział wodny II rzędu; 9 – dział wodny III rzędu; 10 – dział wodny IV rzędu; 11 – brama w dziale wodnym; 12 – dział wodny niepewny

Location of the Zgłowiączka basin within the hydrographic, physico-geographical and administrative regions

1 – cities; 2 – lakes; 3 – canals; 4 – rivers; 5 – administration border; 6 – plateau edge; 7 – watershed of the 1st order; 8 – watershed of the 2nd order; 9 – watershed of the 3rd order; 10 – watershed of the 4th order; 11 – a gap in the watershed; 12 – uncertain watershed.

Źródło (source): Opracowanie własne.

ok. 76 m n.p.m. Następnie dolina ta łukiem wygiętym ku północy przecina Równinę Inowrocławską by w okolicy Kruszwicy (szerokość doliny ok. 4 km, przy wysokości 79 m n.p.m.) połączyć się z obniżeniem goplańskim. Długość doliny wynosi 42 km. W okolicy Siniarzewa na wysokości 84–85 m n.p.m. w dnie doliny przebiega dział wodny. W. Niewiarowski (1983) przyczyny tego zjawiska upatruje w pionowych ruchach skorupy ziemskiej. W związku z takim ukształtowaniem dna doliny w okolicach Siniarzewa zachodzi zjawisko bifurkacji, od tego miejsca woda w kanale płynie w kierunku południowo-wschodnim do Zgłowiączki (dorzecze Wisły) i zachodnim do Gopła (dorzecze Odry).

Inny charakter posiada część dorzecza Zgłowiączki położona w Kotlinie Płockiej, głębokiej formie erozyjno-akumulacyjnej o złożonej genezie (Wiśniewski 1976). Południową część kotliny odwadnia rzeka Rakutówka, która zajmuje płaskie obniżenie o szerokości średnio 2–4 km (Głazik 1970). Zlewnia Rakutówki ograniczona jest od północy ciągiem wydm o wysokości względnej 15–20 m, a od południa krawędzią Wysoczyzny Kujawskiej (Głazik 1970; Gierszewski 2000). Rzeźba omawianego obszaru powstała w wyniku działalności lądolodu i wód fluwioglacjalnych.

Charakterystyczną cechą Kotliny Płockiej jest występowanie rozległych teras erozyjnych, erozyjno-akumulacyjnych oraz akumulacyjnych (Mojski 1960, 1970; Skompski 1971; Wiśniewski 1976). Zdaniem E. Wiśniewskiego (1976) w Kotlinie Płockiej wyróżnia się 9 poziomów terasowych. Granice pomiędzy terasami są słabo zaznaczone w terenie na skutek procesów eolicznych zachodzących w późnym plejstocenie. Doszło wówczas do utworzenia rozległych pól wydmowych z formami wydmowymi dochodzącymi do 20 m wysokości (Urbaniak 1967). Powierzchnie terasowe porozcinane są rynnami subglacjalnymi, które tworzą charakterystyczne ciągi o kierunku północny-zachód – południowy-wschód. Formy te wykorzystują w końcowych odcinkach swojego biegu rzeki Lubieńka i Zgłowiączka. W rynnach subglacjalnych lub na ich przedłużeniach występują owalne formy wytopiskowe, wykorzystywane obecnie przez jeziora. Geneza wymienionych form związana jest z erozją subglacjalną i procesami wytapiania się brył martwego lodu (Lencewicz 1929; Galon 1953). Wytopiskowy charakter ma rozległe, zatorfione obniżenie z centralnie położonym Jeziorem Rakutowskim. Ciągi rynnowe oraz wspomniane obniżenia stanowią lokalne linie drenażu dla wód podziemnych spływających z południowej części kotliny oraz z obszaru wysoczyzny morenowej (Gierszewski 2000).

2.2. WARUNKI INFILTRACYJNE

Proces odpływu rzeczny ze zlewni jest sumą zasilania powierzchniowego i podziemnego /gruntowego/. Zasilanie podziemne przebiega najczęściej na całej długości rzeki i odznacza się dużą stabilnością. Zasilanie powierzchniowe powstaje przede wszystkim w górnych częściach dorzecza (ze względu na duże spadki terenu) i charakteryzuje się krótkim czasem trwania oraz dużą objętością (Gutry-Korycka, Mikulski 1982).

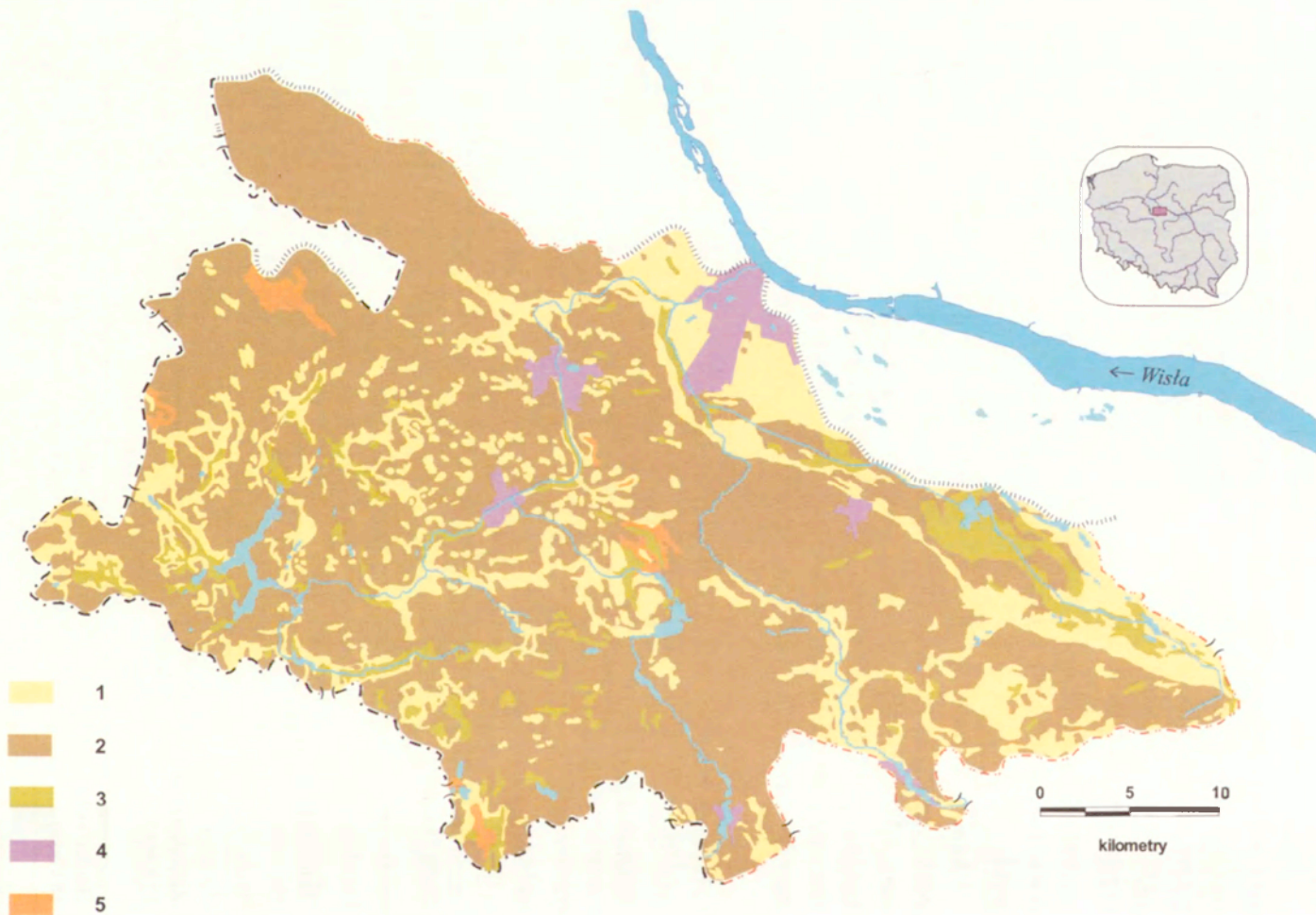
Najważniejszym elementem środowiska przyrodniczego decydującym o wielkości infiltracji jest litologiczne wykształcenie utworów powierzchniowych.

Analizę warunków infiltracyjnych przeprowadzono na podstawie *Mapy geologicznej Polski* w skali 1:200 000 (arkusze: Płock, Toruń, Brodnica, Konin). Klasyfikację przepuszczalności utworów powierzchniowych przyjęto zgodnie z kryteriami zawartymi w instrukcji do opracowania *Mapy hydrograficznej Polski* w skali 1:50 000 (1997). Pozwoliło to na wyodrębnienie fragmentów dorzecza różniących się od siebie warunkami infiltracyjnymi (ryc. 3).

Tabela 3. Przepuszczalność utworów powierzchniowych w dorzeczu Zgłowiączki (wg kryteriów instrukcji do opracowania *Mapy hydrograficznej Polski* 1997)

Przepuszczalność utworów	Rodzaj utworów	Obszar występowania	Powierzchnia dorzecza	
			km ²	%
Średnia (2 klasa)	Piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste (w tym piaski eoliczne)	Kotlina Płocka, fragmenty den dolin rzecznych i rynien subglacialnych	219,2	14,7
Słaba (3 klasa)	Piaski pylaste i gliniaste, gliny (piaszczyste i pylaste)	Równina Inowrocławska i Pojezierze Kujawskie	1178,8	78,8
Zmienna (4 klasa)	Utwory organiczne – torf	Dna dolin i rynien subglacialnych, zagłębienia bezodpływowe Pojezierza Kujawskiego, Kotlina Płocka – okolice jeziora Rakutowskiego	76,6	5,1
Zróżnicowana (5 klasa)	Obszary zmienione antropogenicznie – obszary zabudowane	Obszar miejski: Włocławka (w granicach dorzecza), Kowala, Chodcza, Brześcia Kuj. i Lubrańca	20,0	1,3
Bardzo słaba (6 klasa)	Iły i mułki	Niewielkie fragmenty w różnych częściach dorzecza	1,0	0,1
–	–	–	1495,6	100

Źródło: Obliczenia własne na podstawie *Mapy geologicznej Polski* w skali 1 : 200 000 – arkusze: Płock (1978), Toruń (1978), Brodnica (1978), Konin (1980)



<http://rcin.org.pl>

Badane dorzecze jest w całości pokryte osadami czwartorzędowymi. Zalegają one na starszym, neogeńskim podłożu ciągłą pokrywą o różnej miąższości. W ramach osadów powierzchniowych zdecydowanie dominują utwory o **słabej przepuszczalności**. Zajmują one łącznie powierzchnię 1178,8 km², co stanowi 78,8% dorzecza (tab. 3). Do utworów tych zalicza się przede wszystkim:

- glinę zwałową, która pokrywa znaczne powierzchnie Równiny Inowrocławskiej i Pojezierza Kujawskiego. Na Równinie Inowrocławskiej oraz we wschodniej i południowo-wschodniej części Pojezierza Kujawskiego występuje tylko jedna warstwa gliny o różnej miąższości dochodzącej do 25 m. W strefie brzeżnej wysoczyzny i kotliny miąższość gliny wynosi ok. 1–2 m. Na pozostałej części Pojezierza Kujawskiego gliny zwałowe występują w dwóch poziomach. Są one najczęściej rozdzielone cienkimi warstwami mułków, pyłów ilastych i iłów zastoiskowych (do 2 m miąższości). Taką budowę stwierdzono m.in. w okolicach Brześcia Kujawskiego i Sarnowa.

- mułki i piaski mułkowe pochodzenia jeziornego i zastoiskowego – występują przede wszystkim w Kotlinie Płockiej w okolicach J. Rakutowskiego oraz przy ujściu Rakutówki do Lubieńki. Są one wykształcone jako piaski drobnoziarniste z przewarstwieniami piasków mułkowatych i mułków piaszczystych o łącznej miąższości nie przekraczającej 2 m.

- namuły – występują w różnych częściach dorzecza – na wysoczyźnie i w kotlinie. Wypełniają one małe, lokalne zagłębienia terenu. Namuły wykształcone są najczęściej jako mułki z licznymi przewarstwieniami piasków, a lokalnie także iłów. Miąższość tych utworów jest niewielka i waha się od 0,4 do 2 m.

- piaski i gliny deluwalne – występują przede wszystkim w strefie krawędziowej Kotliny Płockiej, jak również w dolinie Bachorzy na Równinie Inowrocławskiej. Litologicznie są to piaski mułkowate, gliniaste lub gliny piaszczyste. Miąższość tych utworów dochodzi do kilku metrów.

- ily, mułki i piaski kemów – występują w okolicach Jeziora Głuszyńskiego oraz w dolinie Zgłowiączki. Kemy w otoczeniu J. Głuszyńskiego tworzą rozległe plateau kemowe wznoszące się na ok. 1–2 m powyżej otaczającej wysoczyzny. Długość ich wynosi ok. 4 km, a szerokość ok. 1,5 km. Zbudowa-

Ryc. 3. Przepuszczalność utworów powierzchniowych w dorzeczu Zgłowiączki (na podstawie *Mapy geologicznej Polski 1:200 000*)

1 – przepuszczalność średnia; 2 – przepuszczalność słaba; 3 – przepuszczalność zmienna; 4 – przepuszczalność zróżnicowana; 5 – przepuszczalność bardzo słaba

Permeability of the surface deposits in the Zgłowiączka basin (based on a geological map of Poland; Polish: *Mapa geologiczna Polski 1:200 000*)

1 – medium permeability; 2 – poor permeability; 3 – changeable permeability; 4 – varied permeability; 5 – very poor permeability

ne są z mułków oraz piasków drobno- i średnioziarnistych o miąższości ok. 4 m. Kemy w dolinie Zgłowiączki tworzą terasy o miąższości co najmniej 6 m. Zbudowane są one z drobnoziarnistych piasków mułkowatych z przewarstwieniami mułków o miąższości 40 cm oraz lokalnie iłu.

– piaski i żwiry z piaskami różnoziarnistymi i przewarstwieniami glin zwałowych o miąższościach od 1 do 1,5 m występujące w budowie pagórków moren czołowych. Wysokości względne pagórków morenowych są różne, od kilku do kilkunastu metrów. Występują one w południowo-zachodniej i południowej części dorzecza – na Pojezierzu Kujawskim.

Utwory o **średniej przepuszczalności** zajmują już znacznie mniejszą powierzchnię, wynoszącą 219,2 km², co stanowi 14,7% dorzecza. Do tej grupy zaliczono:

– piaski i żwiry rzeczne oraz wodnolodowcowe występujące w Kotlinie Płockiej. Litologicznie są to piaski grubo- i średnioziarniste z niewielką domieszką żwirów.

– piaski i żwiry wodnolodowcowe występujące w południowo-wschodniej części dorzecza na Pojezierzu Kujawskim. Największe miąższości, dochodzące do kilkunastu metrów, osiągają utwory wodnolodowcowe w rynnach. Na wysoczyźnie ich warstwy się wyklinowują, a niekiedy leżą one pod gliną zwałową. Do utworów tych zalicza się dobrze przemyte piaski różnoziarniste, lokalnie piaski różnoziarniste ze żwirem.

– piaski rzeczne tworzące kopalne terasy lub też wypełniające obniżenia starych rynien lodowcowych. Największe wychodnie tych piasków znajdują się na zboczach doliny Zgłowiączki, na odcinku Lubraniec – Brześć Kujawski – Nowy Młyn. Pod względem litologicznym są to dobrze przemyte piaski drobnoziarniste. Ich maksymalna miąższość dochodzi do 12 m.

– piaski i żwiry lodowcowe pokrywające powierzchnię wokół wzgórz morenowych. Miejscami tworzą one nieregularne płyty pokrywające gliną zwałową. Są to piaski różnoziarniste ze znaczną domieszką żwiru. Występują w okolicach Brześcia Kujawskiego i Lubrańca, a ich miąższość dochodzi do kilku metrów.

– piaski eoliczne występujące na polach wydmych w Kotlinie Płockiej.

Kolejną grupę stanowią utwory o **zmiennej przepuszczalności**. Ich powierzchnia na terenie dorzecza wynosi 76,6 km², co daje 5,1% jego powierzchni. Do tych utworów zaliczono torfy. Występują na równinach zalewowych dolin rzecznych, w dnach rynien subglacialnych oraz zagłębieniach bezodpływowych. Występują w różnych częściach dorzecza, ale ze szczególnym nasileniem w Kotlinie Płockiej w okolicach J. Rakutowskiego.

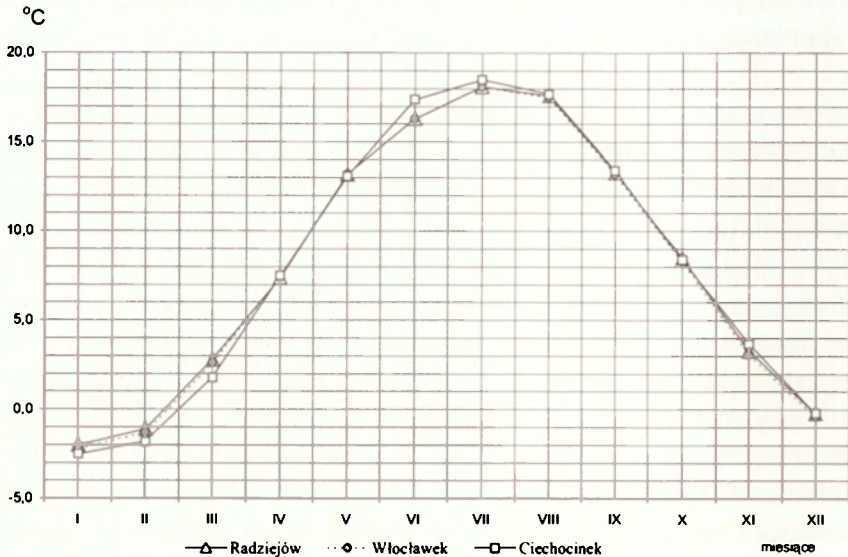
Niewielką część dorzecza pokrywają utwory o **zróznicowanej i bardzo słabej przepuszczalności**. Łączna ich powierzchnia wynosi 21,0 km², co stanowi 1,4%. Do utworów o bardzo słabej przepuszczalności zalicza się ropy i mułki jeziorne oraz ropy, mułki i piaski zastoiskowe – występujące w różnych częściach dorzecza. Do utworów o przepuszczalności zróznicowanej zaliczono obszary miejskie Włocławka, Kowala, Chodcza, Brzeście Kuj. i Lubrańca.

W świetle powyższych faktów można stwierdzić, że dorzecze Zgłowiączki ma słabe warunki infiltracyjne. Mało przepuszczalne podłoże sprzyja spływowi powierzchniowemu wody na terenach o większych nachyleniach, a następnie jej alimentacji w zagłębieniach terenu. Natomiast na terenach płaskich woda może stagnować powodując wzrost parowania terenowego. Najlepsze warunki infiltracyjne w dorzeczu Zgłowiączki występują w północno-wschodniej części dorzecza w Kotlinie Płockiej oraz w górnych odcinkach rzek Lubieńki i Chodczki. Na tych terenach następuje duże zasilanie wód podziemnych wodą pochodzącą z wiosennych roztopów lub letnich opadów. Potwierdza to analiza przeprowadzona przez Z. Brendę (1996, 1997, 1998), który opierając się głównie na warunkach infiltracyjnych wyznaczył w południowej części dawnego województwa włocławskiego (obecnie południowo-wschodnia część województwa kujawsko-pomorskiego) sześć typów hydrokompleksów². Jego zdaniem największą powierzchnię zajmuje hydrokompleks ewapotranspiracyjny, obejmujący większą część Pojezierza Kujawskiego oraz Równinę Inowrocławską. Na obszarze tym dominuje ewapotranspiracja, a jej udział w procesie krążenia wody może dochodzić do 90%. Z kolei w Kotlinie Płockiej wyróżnione zostały hydrokompleksy: odpływowo-infiltracyjno-retencyjny oraz infiltracyjno-retencyjno-odpływowy.

2.3. WARUNKI TERMICZNE

Zgodnie z podziałem na regiony klimatyczne Polski według W. Wiszniewskiego i W. Chęłchowskiego zamieszczonym w *Atlasie hydrologicznym Polski* (1987) dorzecze Zgłowiączki należy do Regionu Wielkopolsko-Mazowieckiego. Region ten charakteryzuje się średnią roczną temperaturą powietrza pomiędzy 7,5 a 8,0°C. Średnia temperatura powietrza w półroczu zimowym wynosi 0,5–1,5°C, natomiast w półroczu letnim waha się w przedziale 14,0–14,5°C.

² Hydrokompleksy, zgodnie z definicją podaną przez Z. Brendę (1996, 1997, 1998), są to mikrochoryczne jednostki obejmujące tereny o określonym sposobie krążenia wody.



Ryc. 4. Średnie wieloletnie temperatury powietrza w cyklu rocznym we Włocławku i Radziejowie (1966–1995) (wg Żarski, Dudek 2000) oraz Ciechocinku (1951–1980) (wg Marciniak, Wójcik 1997)

Mean long-term air temperatures in the yearly cycle in Włocławek and Radziejów (1966–1995) (from Żarski, Dudek 2000) as well as Ciechocinek (1951–1980) (from Marciniak, Wójcik 1997)

Średnie temperatury powietrza w cyklu rocznym we Włocławku i Radziejowie (1966–1995) oraz Ciechocinku (1951–1980) przedstawiono na rycinie 4. Najwyższe średnie temperatury powietrza notuje się w lipcu (Radziejów – 18,1°C, Włocławek – 18,1°C i Ciechocinek – 18,5°C), najniższe zaś w styczniu (Radziejów – -2,0°C, Włocławek – -2,2°C i Ciechocinek – -2,5°C).

P. Gierszewski (2000) analizując przebieg warunków termicznych w zachodniej części Kotliny Płockiej w latach 1990–1994 zwrócił uwagę na ich zmienność w półroczu zimowym. W analizowanym przez niego wieloleciu w półroczu zimowym pojawiały się dwa okresy chłodne przedzielone ociepleniem. Średnia temperatura półroczy zimowych wynosiła w tym okresie od 2,2°C w roku 1994 do 5,1°C w roku 1990.

Data pojawiania się termicznej zimy, czyli okresu z temperaturą ustaloną poniżej 0°C przypada średnio na 12.XII (Włocławek), 14.XII (Radziejów) i 15.XII (Ciechocinek), a kończy się odpowiednio 25.II, 23.II i 28.II. Czas trwania termicznej zimy wynosi 71–76 dni. Termiczne lato (okres z temperaturą ustaloną na poziomie wyższym lub równym 15°C) rozpoczyna się średnio 30.V (Ciechocinek) i 2.VI (Włocławek i Radziejów), a kończy 3.IX we Włocławku i 4.IX w Radziejowie i Ciechocinku. Czas trwania termicznego

lata wynosi 93–98 dni. Termiczny okres wegetacji, rozumiany jako okres z temperaturą równą lub wyższą od 5°C, rozpoczyna się 31.III we Włocławku i Radziejowie oraz 2.IV w Ciechocinku, a kończy się odpowiednio 4.XI, 5.XI i 7.XI. Czas trwania tego okresu wynosi 218–220 dni (Marciniak, Wójcik 1997; Żarski, Dudek 2000).

Datę pojawiania się pokrywy śnieżnej ustalono na 30.XI–5.XII, a zaniku na 20–25.III. Średnio rocznie pokrywa śnieżna zalega na terenie zlewni 60–70 dni (*Atlas hydrologiczny...* 1987).

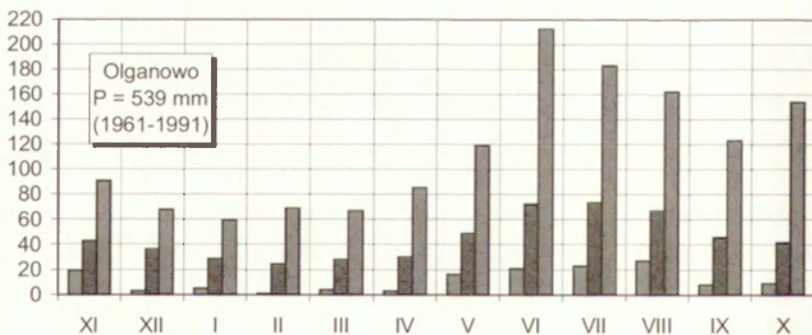
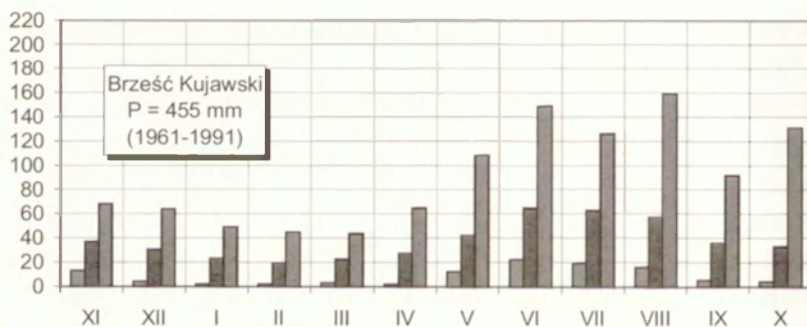
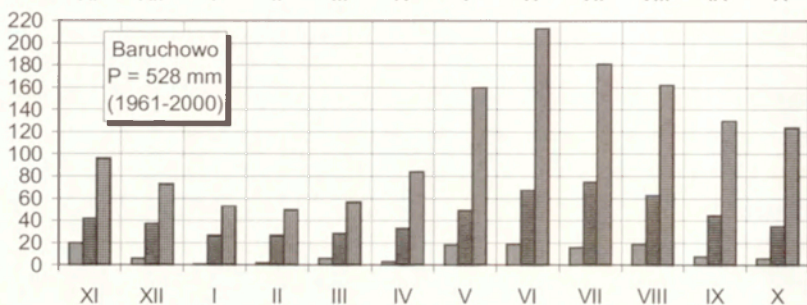
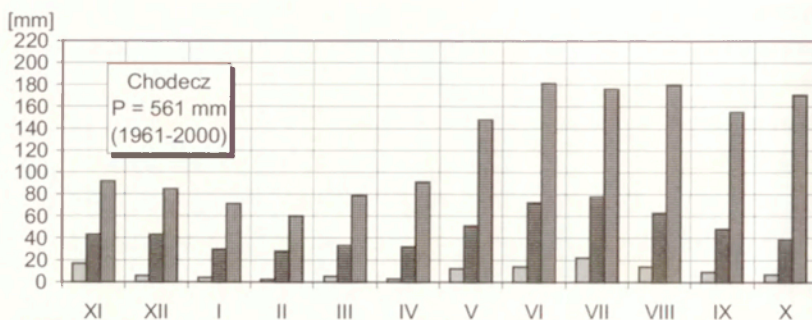
2.4. WARUNKI ZASILANIA – OPADY ATMOSFERYCZNE

Głównym źródłem zasilania zlewni w wodę są opady atmosferyczne. Wpływają one na strukturę bilansu wodnego, zasobność wodną zlewni oraz reżim odpływu. O wielkości opadów i ich rozkładzie decyduje wiele czynników. Do najważniejszych należą: strefowość związana z położeniem geograficznym, wysokość (m n.p.m.) na jakiej położony jest posterunek, ekspozycja stoków, obecność w pobliżu dużych zbiorników wodnych, występowanie zwartych kompleksów leśnych i in.

Cechą charakterystyczną opadu jest brak możliwości przewidzenia czasu wystąpienia, kontroli miejsca i wielkości opadu (Ciepielowski 1999). Tak więc wydaje się istotnym poznanie, na podstawie istniejących danych: rozkładu, wielkości i zmienności opadu w cyklu rocznym i wieloletnim w badanym dorzeczu.

Analizę przeprowadzono na podstawie danych z siedmiu posterunków opadowych IMGW. Cztery spośród nich – Chodecz, Baruchowo, Brześć Kujawski i Olganowo znajdują się w dorzeczu, a trzy pozostałe – Gostynin, Duninów i Lubanie położone są w najbliższym jego sąsiedztwie (ryc. 1).

Średnie roczne sumy opadów z wielolecia (ryc. 5) w granicach dorzecza wahały się od 455 mm w Brześciu Kujawskim do 561 mm w Chodczu (najwyższa średnia roczna suma opadu wynosi 585 mm w Duninowie – na posterunku poza granicami dorzecza). Najwyższe średnie roczne sumy opadów (528–561 mm) notuje się w południowej i wschodniej części dorzecza (Pojezierze Kujawskie i Kotlina Płocka). Jest to jednocześnie obszar źródłkowy rzek: Strugi, Kocięcy, Chodeczki, Lubieńki i Rakutówki – wszystkich bezpośrednich dopływów rzeki Zgłowiączki. Centralna część dorzecza, tj. okolice Brześcia Kujawskiego, to obszar o najniższej średniej rocznej sumie opadu wynoszącego tylko 455 mm. W północno-zachodniej części dorzecza średnie roczne sumy opadów wzrastają do 527 mm (Lubanie).

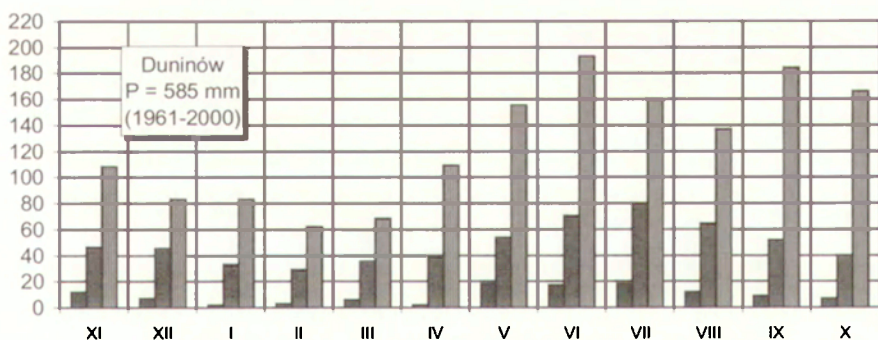
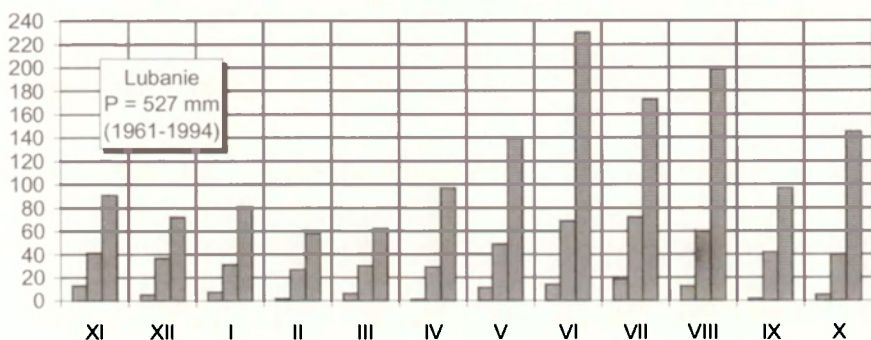
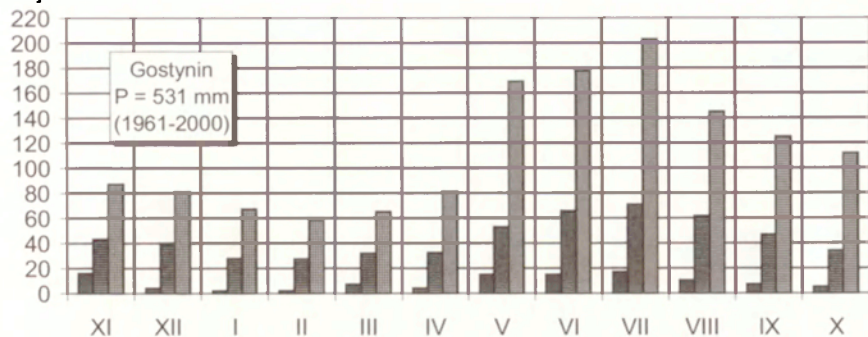


■ 1

■ 2

■ 3

[mm]



Ryc. 5. Minimalne, średnie i maksymalne sumy miesięczne opadów atmosferycznych w wieloletnim okresie 1961–2000 na wybranych posterunkach opadowych
1 – minimalne miesięczne sumy opadów; 2 – średnie miesięczne sumy opadów; 3 – maksymalne miesięczne sumy opadów. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Minimum, average and maximum monthly precipitation totals in the long-term period between 1961 and 2000 at the selected precipitation stations

1 – minimum monthly precipitation sums; 2 – average monthly precipitation sums; 3 – maximum monthly precipitation sums. Source: Calculation of the author based on the data of the IMGW

W cyklu półrocznym dominowały opady półrocza letniego, tj. od maja do października (ryc. 6). Stanowiły one bowiem ponad 60% średniej rocznej sumy opadów (63% – Chodecz i Baruchowo, 65% – Brześć Kujawski i Olganowo). Najwyższe średnie miesięczne sumy opadów notowane były głównie w lipcu i wahały się od 73 mm (Olganowo) do 78 mm (Chodecz). Jedynie w Brześciu Kuj. przypadały na miesiąc czerwiec i wynosiły 65 mm.

Opady półrocza zimowego, tj. od listopada do kwietnia, stanowiły od 35 do 37% średniej rocznej sumy opadów. Pomimo tego, że opady w tym półroczu były niższe niż w półroczu letnim, odgrywały one ważniejszą rolę ponieważ retencjonowane były w postaci pokrywy śnieżnej. Od szybkości topnienia pokrywy śnieżnej w okresie wiosennym zależy odnawianie zasobów wód podziemnych jak również występowanie wezbrań w rzekach. Najniższe średnie miesięczne sumy opadów notowano głównie w lutym. Wynosiły one 19 mm w Brześciu Kujawskim, 24 mm w Olganowie i 28 mm w Chodczu. Na posterunku w Baruchowie występowało równorzędne minimum w styczniu i lutym (27 mm).

Wielkość opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym, tj. od kwietnia do września była bardzo zbliżona do opadów półrocza letniego. Opady w okresie wegetacyjnym wynosiły ponad 60% średniej rocznej sumy opadów z wielolecia. Najwyższe opady notowane były na posterunkach w Chodczu – 345 mm, Olganowie – 338 mm i Baruchowie – 331 mm. Najniższe opady notowane były w centralnej części dorzecza – w Brześciu Kujawskim – 290 mm, jednak w strukturze rocznej dają one 64% średniej sumy rocznej.

Maksymalne miesięczne sumy opadów (ryc. 5) notowane były w czerwcu i wynosiły na posterunku w Chodczu – 181 mm, Baruchowie – 213 mm, Olganowie – 212 mm. Jedynie w Brześciu Kujawskim analizowane maksimum przypadało na sierpień i wynosiło 159 mm. Na dwóch posterunkach w dorzeczu, tj. w Chodczu i Brześciu Kuj. obok wyżej wymienionych charakterystyczne było występowanie drugiego, niższego miesięcznego opadu maksymalnego. Dla posterunku w Chodczu przypada on na miesiąc sierpień i wynosił 180 mm, a w Brześciu Kujawskim występuje w czerwcu i wynosi 149 mm.

Z badań dotyczących klimatu Niziny Wielkopolskiej (obszar bezpośrednio sąsiadujący z dorzeczem Zgłowiączki od zachodu) przeprowadzonych przez A. Wosia (1994) wynika, że przewaga opadów letnich nad zimowymi nie wynika z częstości występowania opadów, lecz z natężenia opadów letnich. Opady atmosferyczne występują najczęściej na Nizinie Wielkopolskiej późną jesienią i zimą.

Cechą opadów atmosferycznych obok losowości jest również ich zmienność oraz nieregularność w czasie. Im analizowane wielolecie jest dłuższe

Tabela 4. Współczynnik zmienności Cv [%] dla jednoimiennych miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych

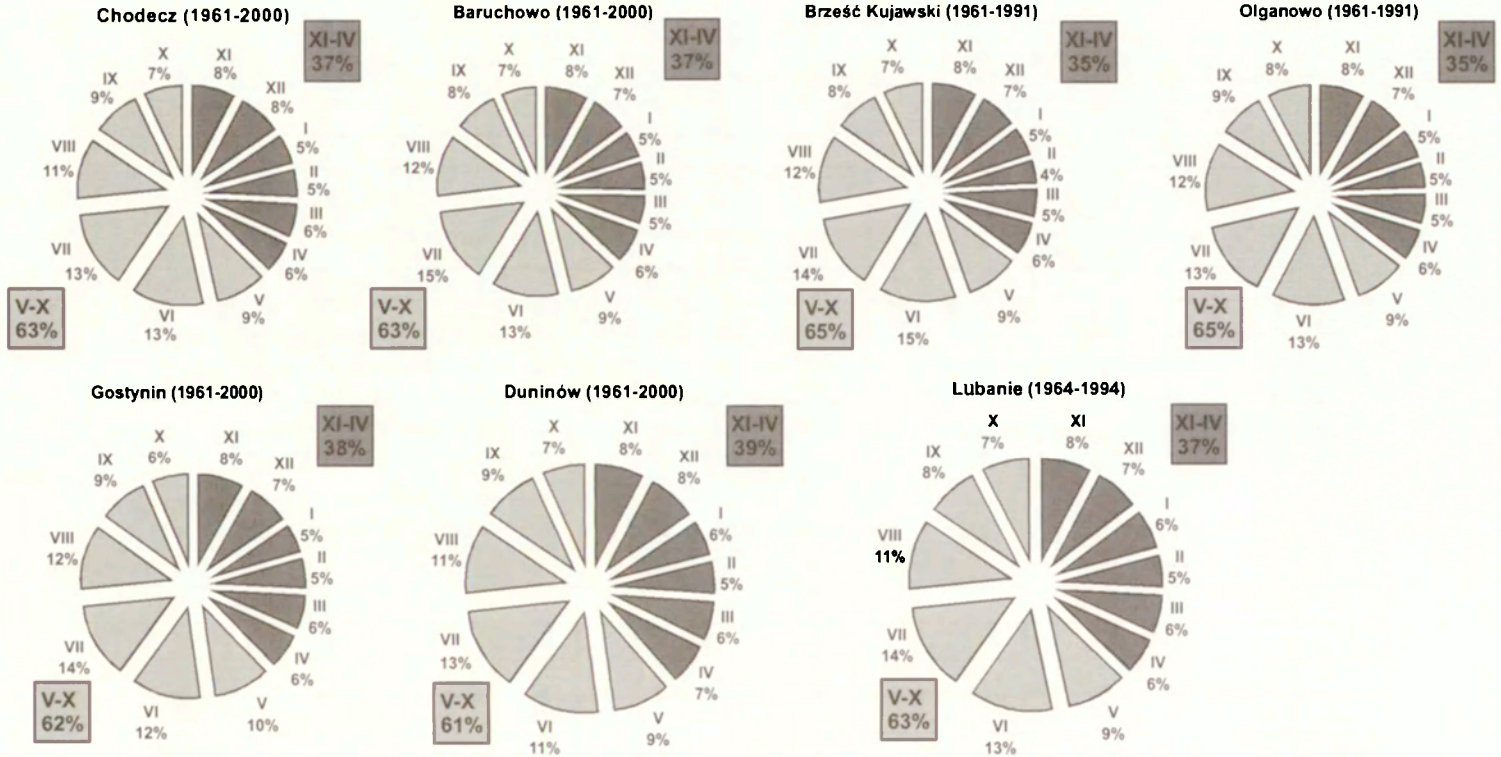
Posterunek opadowy	Współczynnik zmienności - Cv [%]												Rok
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Chodecz*	42,2	49,6	52,7	48,8	46,6	55,1	54,2	56,5	53,0	58,7	66,3	81,4	16,9
Baruchowo*	46,6	51,7	52,5	43,5	46,0	56,7	57,7	56,8	51,8	52,9	60,4	69,7	17,1
Brześć Kuj.**	41,9	56,8	54,2	61,4	45,5	50,7	52,1	50,0	53,0	48,9	59,6	82,0	17,3
Olganowo**	41,6	47,9	48,1	59,3	47,3	53,5	54,7	55,5	55,2	50,3	63,9	76,6	19,1
Gostynin*	42,9	50,4	49,8	46,1	44,3	61,0	62,9	53,2	59,0	53,8	66,6	70,9	17,8
Duninów*	42,2	49,3	52,9	44,5	41,7	60,3	55,1	49,7	46,6	49,0	67,6	77,1	17,6
Lubanie***	40,7	51,8	59,0	52,7	46,5	66,9	63,4	59,4	53,6	64,3	56,3	84,1	20,8

* – dane z lat 1961–2000; ** – dane z lat 1961–1991; *** – dane z lat 1964–1994 Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Tabela 5. Wskaźnik nieregularności W [-] dla jednoimiennych miesięcznych i rocznych sum opadów atmosferycznych

Posterunek opadowy	Współczynnik nieregularności - W [-]												Rok
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Chodecz*	5,4	14,2	17,8	30,0	15,8	30,3	12,3	12,9	8,0	12,9	17,2	24,4	2,3
Baruchowo*	4,8	12,2	53,0	25,0	9,5	28,0	8,9	11,2	11,3	8,5	16,3	20,7	1,9
Brześć Kuj.**	5,2	16,0	24,5	22,5	14,7	32,5	9,0	6,8	6,6	9,9	18,4	32,8	2,0
Olganowo**	4,8	22,7	11,8	69,0	16,8	28,3	7,4	10,1	8,0	6,0	15,4	17,1	2,5
Gostynin*	5,4	20,3	33,5	29,0	9,3	20,3	11,3	11,9	11,9	14,5	17,9	22,4	2,2
Duninów*	9,0	11,9	41,5	20,7	11,3	54,5	8,6	11,4	8,8	11,4	20,4	23,7	2,2
Lubanie***	7,0	14,4	11,6	29,0	10,3	97,0	12,7	16,4	9,6	16,6	48,5	29,0	2,4

* – dane z lat 1961–2000; ** – dane z lat 1961–1991; *** – dane z lat 1964–1994; Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 6. Procentowy udział średniej miesięcznej sumy opadów oraz półrocza zimowego i letniego w średniej sumie rocznej na wybranych posterunkach opadowych. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Percentage share of the mean monthly as well as winter and summer half-years precipitation in the mean annual total at the selected precipitation stations.
Source: Calculation of the author based on the data of the IMWM

tym wartość wymienionych współczynników może być wyższa, gdyż większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia lat skrajnie wilgotnych i skrajnie suchych.

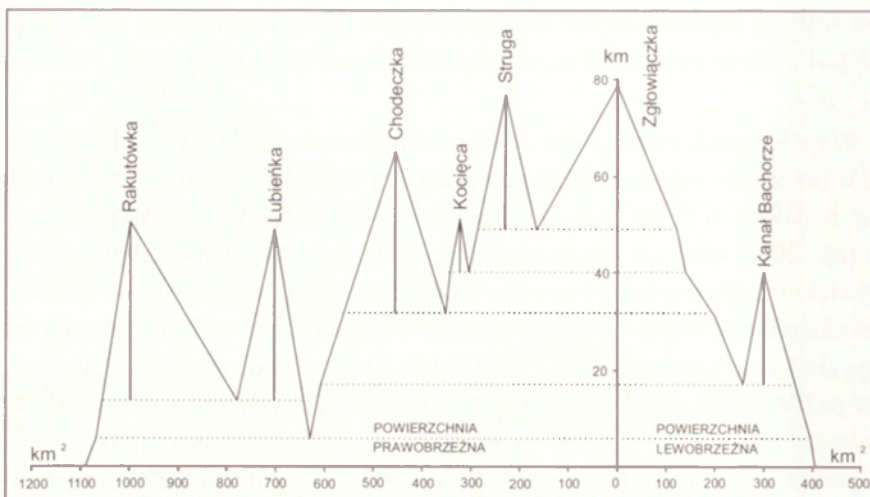
Współczynnik zmienności „Cv” rocznych sum opadów (tab. 4) zawierał się w przedziale od ok. 17% na posterunkach w Chodczu, Baruchowie i Brześciu Kujawskim do ok. 19% w Olganowie. Najwyższą wartość współczynnika (ok. 20%) osiągały sumy roczne opadów w Lubaniu. W cyklu rocznym największa zmienność na wszystkich posterunkach występowała we wrześniu i październiku. Wartości współczynnika zmienności w tych miesiącach wahają się we wrześniu od ok. 60 % (Brześć Kujawski) do ok. 66% (Chodecz), a w październiku od ok. 70% (Baruchowo) do 82% (Brześć Kujawski). Najmniejsza zmienność opadów występowała na wszystkich posterunkach w listopadzie i marcu. W miesiącach tych wartości współczynnika wynoszą od ok. 42 do ok. 47%. Na posterunku w Baruchowie najmniejsza zmienność opadów występowała również w lutym i osiągała wartość 43,5%.

Wskaźnik nieregularności „W” rocznych sum opadów (tab. 5) zawierał się pomiędzy 1,9 w Baruchowie i 2,0 w Brześciu Kuj. do 2,5 w Olganowie. Na pozostałych analizowanych posterunkach wartości wskaźnika zawierają się w przedziale od 2,2 do 2,4. W cyklu rocznym największa nieregularność opadów występuje na analizowanych posterunkach w różnych miesiącach, i tak na posterunku w Chodczu przypada na kwiecień – 30,3, w Baruchowie na styczeń – 53,0, w Brześciu Kujawskim na październik – 32,8 i Olganowie na luty – 69,0. Najbardziej regularne opady występują na wszystkich posterunkach w listopadzie, gdzie wartości współczynnika zawierają się w przedziale pomiędzy 4,8 a 5,2 oraz w lipcu -od 6,6 do 11,3.

2.5. SIEĆ HYDROGRAFICZNA

2.5.1. CIEKI

Podstawowy opis stosunków wodnych w dorzeczu Zgłowiączki przedstawił R. Glazik (1970). Wydzielił on dwa kierunki odpływu wód rzecznych – prostopadły i równoległy do koryta Wisły. Prostopadły kierunek odpływu posiada Zgłowiączka na odcinku pradolinym, natomiast kierunek równoległy jest charakterystyczny dla jej dopływów. Najważniejszymi czynnikami kształtującymi układ i gęstość sieci rzecznej są rzeźba terenu oraz budowa geologiczna. Wszystkie dopływy Zgłowiączki wykorzystują w swym biegu rynnę subglacialne i obniżenia terenowe o różnej genezie. Rzeka Zgłowiączka zbiera wody z Wysoczyzny Kujawskiej oraz z południowej części pradoliny Wisły (ryc. 1).



Ryc. 7. Przyrost dorzecza Zgłowiączki. Źródło: Opracowanie własne
Increase of the area of the Zgłowiączka basin. Source: The autor's compilation

Analizę przyrostu dorzecza Zgłowiączki przeprowadzono na podstawie mapy w skali 1:50 000, zgodnie z podziałem na zlewnie cząstkowe, przedstawionym w *Podziale hydrograficznym Polski* (1983). Rozkład sieci rzecznej w dorzeczu Zgłowiączki jest nierównomierny. Wyraźnie widoczna jest dysproporcja pomiędzy prawobrzeżną a lewobrzeżną częścią dorzecza (ryc. 7). Lewobrzeżna część zajmuje powierzchnię 405,35 km² (27,1%), z czego 107,4 km² (26,5%) przypada na jedyny dopływ w tej części – Kanał Bachorze. Pozostałe 297,95 km² (73,5%) stanowi lewobrzeżna zlewnia cząstkowa Zgłowiączki. Zdecydowanie bardziej rozbudowana jest prawobrzeżna część dorzecza, o powierzchni 1090,25 km², co stanowi 72,9% całego dorzecza. Ta część odwadniana jest przez cztery główne dopływy – Strugę, Kocięcę, Chodeczkę i Lubieńkę z Rakutówką – opisane w dalszej części rozdziału.

Za początek Zgłowiączki uważany jest Kanał Głuszyński, którego źródło znajduje się na południe od miejscowości Płowce, na wysokości 92,5 m n.p.m. Całkowita długość rzeki wynosi 79,0 km, a powierzchnia jej dorzecza 1495,6 km². Rzekę Zgłowiączkę podzielić można na trzy części:

– Kanał Głuszyński o długości 20,3 km. Na całej swojej długości jest uregulowany. W zlewni kanału dominują czarne ziemie kujawskie wytworzone na glinach i odznaczające się dużą żyznością. W celu zintensyfikowania produkcji rolniczej zlewnię bardzo silnie zmeliorowano. Górna i środkowa część Kanału Głuszyńskiego ma charakter cieków okresowych. Zasilanie odbywa się głównie w okresie wiosennym wodą pochodzącą z roztopów.

Tabela 6. Podstawowe parametry sieci hydrograficznej dorzecza Zgłowiączki

Nazwa ciek	Powierzchnia zlewni [km ²]	Długość [km]	Wysokość strefy źródłowej m n.p.m.	Wysokość ujścia m n.p.m.	Średni spadek ciek [%]
Zgłowiączka – w tym	1 495,6	79,0	92,5	44,4	0,61
Kanał Głuszyński	160,6	20,3	92,5	80,2	0,61
J. Głuszyńskie	128,2	8,1	-	-	-
Zgłowiączka od wypływu z J. Głuszyńskiego do ujścia	1206,8	50,6	80,2	44,4	0,71
Kocięca	37,8	11,5	96,5	77,6	1,64
Struga /razem z Kan. Pasięka-Karaśnia/	117,3	27,5	111,0	78,7	1,18
Chodeczka	207,2	33,6	117,0	75,0	1,25
Kanał Bachorze	107,4	23,0	83,3	67,6	0,68
Lubieńka – w tym	439,4	42,5	125,8	53,5	1,70
Rakutówka	275,3	37,4	82,0	62,8	0,51

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *Podział hydrograficzny ...* 1983; mapy topograficzne w skali 1:10 000

– Jezioro Głuszyńskie o długości 8,1 km jest największym i najgłębszym jeziorem rynnowym w dorzeczu. W zlewni jeziora znajdują się dwa kanały:

– Kanał Gopło – Świesz o długości całkowitej 18,7 km, z czego w dorzeczu Zgłowiączki jego długość wynosi 7,4 km. Kanał ten łączy systemy Jeziora Głuszyńskiego z Jeziorem Gopło. Pełni on jednocześnie rolę otwartego rowu melioracyjnego, do którego odprowadzana jest woda ze zdrenowanych kompleksów użytków rolnych znajdujących się w prawej części zlewni Jeziora Głuszyńskiego.

– Kanał Głuszyn – Dębołęka o długości 10,1 km. Jego początek znajduje się na obszarze rozległych bagien i torfowisk w strefie wododziałowej Zgłowiączki i Noteci. Został wykonany w celu odprowadzenia nadmiaru wód z terenów wykorzystywanych rolniczo. Ciek ten wysycha jedynie w okresie długotrwałej suszy.

– Zgłowiączka, od wypływu z J. Głuszyńskiego do ujścia do Wisły, o długości 50,6 km. Rzeka na tym odcinku płynie wyraźną, szeroką doliną miejscami zatorfioną i przyjmuje największe swoje dopływy: Lubieńkę z Rakutówką, Kanał Bachorze, Chodeczkę, Kocięcę i Strugę.

Zgłowiączka (tab. 6) kończy swój bieg uchodząc do Wisły (679,6 km biegu rzeki) we Włocławku na wysokości 44,4 m n.p.m. W ujściowym odcinku rzeka jest uregulowana. Na terenie miasta Włocławka znajdują się 3 progi korekcyjne, które mają na celu ochronę ujściowego odcinka Zgłowiączki przed niekorzystnym wpływem dobowych wahań stanów wody Wisły na skutek pracy elektrowni wodnej oraz przyspieszonej erozji koryta poniżej stopnia wodnego we Włocławku.

Chodeczka (Lubieniec)

Za źródła rzeki Chodeczki zwanej też Lubieńcem uważa się zabagniony obszar na południe od jeziora Kromszewickiego na wysokości 117 m n.p.m. Długość rzeki wynosi 33,58 km, a powierzchnia zlewni 207,2 km². W górnym odcinku ciek ten bifurkuje z dorzeczem Noteci poprzez system obniżzeń rynnowych. Charakterystyczną cechą rzeki Chodeczki odróżniającą ją od innych rzek w dorzeczu Zgłowiączki jest to, że w swoim biegu przepływa przez sześć jezior i trzy sztuczne zbiorniki – stawy młyńskie. Gwarantuje to w miarę stałe zasilanie rzeki w okresach suchych i małe wahania stanów wody. W ujściowym odcinku rzeki poniżej sztucznego zbiornika w miejscowości Górniak znajdują się stawy rybne o powierzchni ok. 3,5 ha. Zasilane są one wodą pochodzącą z Chodeczki. Rynna Chodeczki miejscami wcięta jest w otaczającą wysoczyznę nawet do 20 m.

Lubieńka (Przedpolna)

Rzeka Lubieńka jest prawobrzeżnym dopływem Zgłowiączki. Wyływa ze stałego mokradła, leżącego na wschód od Jeziora Lubieńskiego. Długość rzeki wynosi 42,5 km, a powierzchnia zlewni bez dopływu – Rakutówki – liczy 164,1 km². W górnym biegu Lubieńka ma połączenie poprzez bramę wodną ze zlewnią Ochni (dorzecze Bzury) (ryc. 1). W kilometrze 7,1 od ujścia przyjmuje prawobrzeżny dopływ Rakutówkę. Kształt zlewni jest bardzo wydłużony. Charakterystyczną pozostałością po młynach wodnych (było ich w przeszłości 9) są sztuczne zbiorniki w miejscowościach Kłóbka (km 30,4 od ujścia) i Kuźnice (km 15,64 od ujścia), jak również zmiany w układzie koryta (dodatkowe koryta – tzw. młynówki), pozostałości grobli oraz zmiany w morfologii terenu. Poniżej wsi Nakonowo rzeka osiąga pradolinę Wisły, gdzie przyjmuje największy swój dopływ – Rakutówkę.

Rakutówka

Rzeka Rakutówka jest prawobrzeżnym dopływem Lubieńki (ryc. 1). Za początek rzeki uważa się jezioro Kocioł leżące niedaleko Gostynina (*Podział hydrograficzny Polski* 1983), natomiast wg P. Gierszewskiego (2000) źródło znajduje się w okolicach Kanibrodu – na wschód od Lubienia Kujawskiego, a ciek biorący początek z J. Kocioł (przepływający przez jeziora Trzebowskie i Przytomne) i wpadający do Rakutówki na wysokości Kolonia Dębowo, jest jej dopływem. Długość Rakutówki wynosi 37,4 km, a powierzchnia zlewni wyznaczona na podstawie powierzchniowego działu wodnego 275,3 km² (*Podział hydrograficzny Polski* 1983). Na podstawie rzędnych zwierciadła wody podziemnej wyznaczonych przez R. Glazika (1978) powierzchnia zlewni wynosi 260 km², z czego w części wysoczyznowej znajduje się ok. 170 km². Przeprowadzone prace melioracyjne przyczyniły się do połączenia poprzez otwarte rowy melioracyjne z dorzeczem Skrwy Lewej. Na wypływie z J. Ra-

kutowskiego znajduje się zastawka, która w znaczący sposób wpływa na przepływ w dolnym odcinku biegu rzeki. Z badań P. Gierszewskiego (2000) wynika, że poziom wody w jeziorze regulowany jest przy pomocy zastawki w okresie od lata do zimy. W okresie wiosennym nadmiar wody pochodzącej z roztopów spuszcza się do rzeki. W latach 1960–1965 przeprowadzono w całej zlewni prace melioracyjne ze szczególnym natężeniem w okolicach jeziora Rakutowskiego.

Kocięca (Kocieniec)

Rzeka Kocięca jest prawobrzeżnym dopływem rzeki Zgłowiączki (ryc. 1). Powierzchnia zlewni wynosi 37,8 km², a długość ciek 11,5 km. Rzeka wykorzystuje w swoim biegu rynnę o stromych brzegach. Zlewnia jest prawie w całości zdrenowana.

Struga (Sarnówka, Niwka)

Rzeka Struga jest prawobrzeżnym dopływem rzeki Zgłowiączki (ryc. 1). Powierzchnia zlewni wynosi 117,3 km², a całkowita długość ciek 27,5 km. Rzeka bierze swój początek z jeziora Karaśnia. Początkowy odcinek rzeki stanowi Kanał Pasieka–Karaśnia o długości 9,4 km, odprowadzający wody ze zmeliorowanego obszaru wokół jeziora Karaśnia w południowej części zlewni.

Kanał Bachorze

Kanał Bachorze jest jedynym lewobrzeżnym dopływem rzeki Zgłowiączki. Ciek ten zasila dwa systemy rzeczne – Zgłowiączki i Noteci. Powierzchnia zlewni Kanału w granicach dorzecza Zgłowiączki wynosi 107,4 km², a jego długość 23,0 km. Ze względu na występowanie bardzo urodzajnych gleb – czarnych ziem kujawskich – powstałych na glinach, praktycznie cała zlewnia została zdrenowana. Obecnie kanał wykorzystuje dolinę, którą była odprowadzana woda pochodząca z wytopienia stagnującego lodu w Kotlinie Płockiej w czasie ostatniego zlodowacenia (Wiśniewski 1974; Niewiarowski 1983).

Łączna długość cieków w dorzeczu Zgłowiączki wynosi 367,4 km. Na cieki naturalne przypada 297,2 km (80,9%), a na kanały – 70,2 km (19,1%). Gęstość sieci rzecznej w dorzeczu wynosi 0,25 km ciek na 1 km² powierzchni.

2.5.2. JEZIORA

Jeziora przepływowe na obszarach młodoglacjalnych są jednym z ważniejszych elementów sieci hydrograficznej, wpływającym na wielkość zasobów wodnych oraz obieg wody w dorzeczu (Dynus-Angel 1979; Jańczak 1991; Paślowski 1996; Bajkiewicz-Grabowska 2002). Wpływ jezior przepływowych na odpływ jest uzależniony przede wszystkim od parametrów morfometrycznych jezior, tj. ich powierzchni oraz głębokości, jak również sposobów zasilania.

Jeziora głębokie, rynnowe zasilane są głównie wodami podziemnymi i to niejednokrotnie pochodzącymi z kilku poziomów wodonośnych. Natomiast jeziora płytkie zasilane są głównie wodą pochodzącą z opadów atmosferycznych. Ważnym w procesie odpływu jest także położenie jeziora w zlewni (Byczkowski 1999). Jeziora przepływowe ograniczają nieregularność i wyrównują przepływ rzek (Bajkiewicz-Grabowska 2002). Wiosną, kiedy przepływ wody w rzece jest stosunkowo wysoki, jeziora „akumulują” wodę. Natomiast w okresie suchym, tj. latem i jesienią podwyższają przepływ oddając nadmiar wody. Badania Z. Paślowskiego (1996) dowodzą, że redukcja odpływu całorocznego w roku mokrym (rok 1981) wyniosła 6,6% dla J. Wigry (dorzecze Czarnej Hańczy), 18,4% dla J. Wielimie (dorzecze Gwdy), a nawet 42,7% dla J. Drawsko (dorzecze Drawy), natomiast w roku posuszonym (rok 1976) nastąpił wzrost odpływu o 8% – J. Drawsko, 9,3% – J. Wigry i 12,2% – J. Wielimie.

Tabela 7. Zestawienie jezior w dorzeczu Zgłowiączki

Przedziały [ha]	Ilość jezior		Powierzchnia jezior	
	[szt.]	[%]	[ha]	[%]
1,0 – 10,0 ha	50	64,1	190,5	9,7
10,1 – 15,0 ha	5	6,4	62,3	3,2
15,1 – 50,0 ha	16	20,5	461,1	23,5
50,1 – 100,0 ha	4	5,1	286,2	14,6
150,1 – 600,0 ha	3	3,8	961,5	49,0
Suma	78	100	1961,6	100

Zródło: A. Bartczak 2003

W dorzeczu Zgłowiączki znajduje się 78³ jezior (*Atlas hydrograficzny województwa wrocławskiego* 1988) w przedziale wielkości od 1 do 590 ha (ryc. 8). Łączna ich powierzchnia wynosi 1961,6 ha, co stanowi 1,3% powierzchni dorzecza. Ilościowo przeważają jeziora małe o powierzchni od 1 do 10 ha. Jest ich aż 50 (64,1% ogólnej ilości jezior), ale zajmują łączną powierzchnię 190,5 ha, co stanowi tylko 9,7% całkowitej powierzchni jezior w dorzeczu (tab. 7). Jezior o średniej wielkości (10–100 ha) jest 25, zajmują 809,5 ha powierzchni, co stanowi 41,3% łącznej powierzchni jezior. W dorzeczu są tylko trzy duże jeziora o powierzchni ponad 100 ha: Rakutowskie (170,9 ha), Borzymowskie (200,6 ha) i Głuszyńskie (590,0 ha), lecz w sumie ich udział w ogólnej powierzchni jezior wynosi 49,0%.

³ W północnej części dorzecza, w zlewni rzeki Rakutowki dwa jeziora – Goreńskie i Skrzyneckie położone są w strefie działu wodnego niepewnego (Głazik, 1978). Położone są one jednocześnie w strefie wododziałowej rzek: Rakutowki, Rudy i Skrzywi Lewej. Na potrzeby niniejszej pracy zaliczono wyżej wymienione jeziora do zlewni rzeki Rakutowki.

Zestawienie jezior w zlewniach cząstkowych dorzecza w przyjętych przedziałach wielkości przedstawiono w tabeli 8. Najwięcej jezior – 28 znajduje się w bezpośredniej zlewni Zgłowiączki (łącznie ze zlewnią Kanału Bachorze), ale oprócz największego w dorzeczu J. Głuszyńskiego najwięcej jest jezior małych – 20 o powierzchni do 10 ha.

Tabela 8. Zestawienie jezior w zlewniach cząstkowych dorzecza Zgłowiączki

Przedziały [ha]	Lubieńka		Rakutówka		Chodeczka		Kocięca		Struga		Zgłowiączka	
	Ilość [szt.]	Pow. [ha]	Ilość [szt.]	Pow. [ha]	Ilość [szt.]	Pow. [ha]	Ilość [szt.]	Pow. [ha]	Ilość [szt.]	Pow. [ha]	Ilość [szt.]	Pow. [ha]
1,0 – 10,0	6	27,6	12	58,7	7	27,0	3	7,0	2	8,5	20	61,7
10,1 – 15,0	-	-	1	11,8	-	-	-	-	-	-	4	50,5
15,1 – 50,0	-	-	4	106,9	4	115,2	1	24,0	4	144,8	3	70,2
50,1 – 100,0	1	84,0	1	54,2	2	148,0	-	-	-	-	-	-
150,1 – 600,0	-	-	1	170,9	1	200,6	-	-	-	-	1	590,0
Suma	7	111,6	19	402,5	14	490,8	4	31,0	6	153,3	28	772,4

Źródło: A. Bartczak 2003

Podobną strukturę jezior w wydzielonych przedziałach powierzchni można zauważyć w zlewni rzeki Rakutówki. Spośród analizowanych zlewni cząstkowych największą powierzchnią jezior średniej wielkości charakteryzuje się zlewnia rzeki Chodeczki. W przedziale wielkości 10–100 ha można wyróżnić 6 jezior o łącznej powierzchni 263,2 ha (tab. 8). Powyższą analizę potwierdza również wskaźnik jeziorności. Dla zlewni cząstkowych przedstawia się ono następująco: zlewnia Lubieńki – 0,68%, Rakutówki – 1,46%, Chodeczki – 2,37%, Kocięcy – 0,82%, Strugi – 1,31%, bezpośredniej zlewni Zgłowiączki łącznie z Kanałem Bachorze – 1,11%.

Pod względem genezy misy jeziornej w części wysoczyznowej dorzecza Zgłowiączki, dominują jeziora rynnowe, układające się w kilka ciągów o kierunku SE–NW (ryc. 8). Najlepiej wykształcony i zachowany jest ciąg jezior przepływowych w rynnach Chodeczki. Maksymalna głębokość jezior rynnowych nie przekracza 36,5 m (tab. 9). Pozostałe jeziora znajdujące się w dorzeczu wypełniają dna nieregularnych zagłębień wytopiskowych (Głazik 1970). Są one płytkie, a ich powierzchnia nie przekracza 10 ha. Najwięcej jezior wytopiskowych znajduje się w południowo-zachodniej części dorzecza w okolicach J. Głuszyńskiego (bezpośrednia zlewnia Zgłowiączki). Nie mają one większego znaczenia w formowaniu odpływu wody z dorzecza.

Jeziora położone w części pradolinnej układają się również w charakterystyczny ciąg o kierunku SE–NW. Wiele jezior w tej części dorzecza położonych jest w obrębie rynien subglacialnych, których krawędzie zostały w dużej mierze przekształcone przez przebiegające w późnym glacie procesy wytopiskowe i eoliczne (Lencewicz 1929). Największe jezioro tej części dorzecza

46. Chałińskie Głębokie
47. Cmentowo
48. Znaniewo (Świerczyn)
49. b/n k. Znaniewa
50. Znaniewo
51. b/n k. Świerczynka
52. b/n k. Świerczyna
53. b/n k. Zgniętego Głuszyna
54. Kuczyna
55. b/n k. Znamewa
56. b/n k. Pikutkowa
57. Żydowo
58. b/n k. Samoszyć
59. Kapitulka
60. b/n k. Świerczynka
61. Głuszyńskie
62. Czarny Bród
63. Świeśkie
64. b/n Sław Sadłużek
65. b/n w/Sadług
66. Byłotńskie
67. b/n k. Ludwikowa
68. b/n (Powieś)
69. b/n k. Słuchaj
70. b/n k. Torzeża
71. b/n W/Wincentowa
72. b/n k. J. Czarny Bród
73. b/n S/Swieina
74. Łuba
75. Krzywe Błota
81. Czarnie

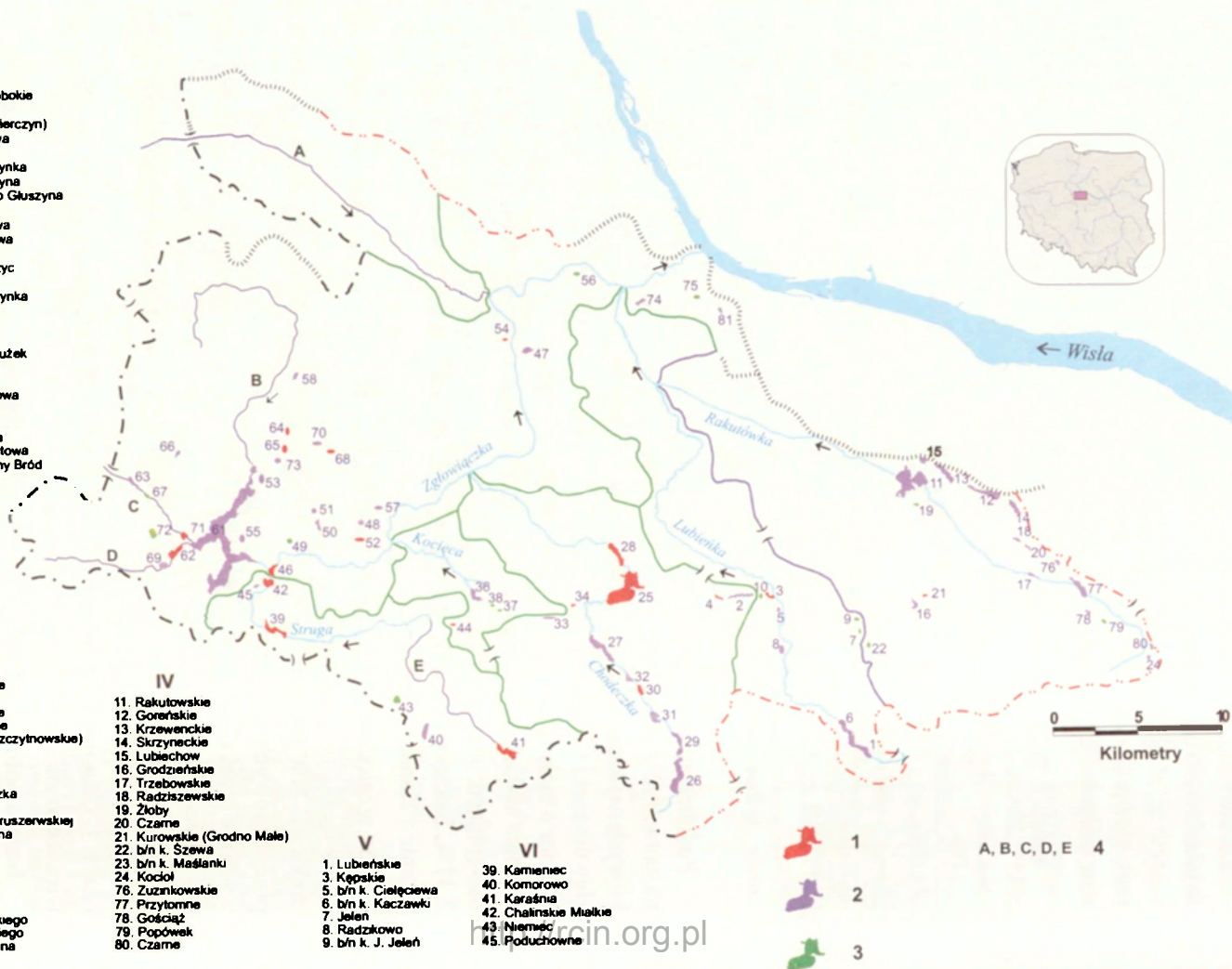
2. Lubońskie
4. Szczutkowskie
10. b/n
25. Borzymowskie
26. Kromszewickie
27. Ługowskie (Szczytnowskie)
28. Krukowskie
29. Chodeckie
30. Lubienieckie
31. b/n k. Zameczka
32. Kamionka
33. b/n E/Wólki Pruszerwskiej
34. b/n W/Szczyzna
35. b/n

36. Grójceckie
37. b/n k. Grójckiego
38. b/n k. Grójckiego
44. b/n k. Lubomina

11. Rakutowie
12. Górniskie
13. Krzewieckie
14. Skrzyneckie
15. Lubiechów
16. Grodzieńskie
17. Trzebówskie
18. Radziżewskie
19. Złoty
20. Czarnie
21. Kurowskie (Grodno Małe)
22. b/n k. Szewa
23. b/n k. Maślanki
24. Kociół
76. Zuzankowskie
77. Przytomne
78. Gościąg
79. Popówek
80. Czarnie

1. Lubieńskie
3. Kępskie
5. b/n k. Ciałęcawa
6. b/n k. Kaczawki
7. Jelen
8. Radzkiwo
9. b/n k. J. Jeleń

39. Kamieniec
40. Komorowo
41. Karaśnia
42. Chałińskie Mielkie
43. Niemiec
45. Poduchowne



A, B, C, D, E 4

Ryc. 8 Rozmieszczenie jezior w dorzeczu Zgłowiączki

I – zlewnia Zgłowiączki; II – zlewnia Chodeczki; III – zlewnia Kocięcy; IV – zlewnia Rakutówki; V – zlewnia Lubieńki; VI – zlewnia Strugi; 1 – jeziora o zmniejszonej powierzchni (1925–30/1978–82); 2 – jeziora o powierzchni bez zmian (1925–30/1978–82); 3 – jeziora o zwiększonej powierzchni (1925–30/1978–82); 4 – Kanały: A – Bachorze, B – Głuszyński, C – Gopło-Świesz, D – Głuszyn-Dębołęka, E – Pasieka-Karaśnia. Źródło: Bartczak 2003

Distribution of lakes in the Zgłowiączka basin

I – Zgłowiączka catchment; II – Chodeczka catchment; III – Kocięca catchment; IV – Rakutówka catchment; V – Lubieńka catchment; VI – Struga catchment; 1 – lakes of decreased area (1925–30/1978–82); 2 – lakes of unchanged area (1925–30/1978–82); 3 – lakes of increased area (1925–30/1978–82); 4 – Canals: A – Bachorze, B – Głuszyński, C – Gopło-Świesz, D – Głuszyn-Dębołęka, E – Pasieka-Karaśnia. Source: Bartczak 2003

– Jezioro Wielkie Rakutowskie zdaniem S. Lencewicza (1929) może być pozostałością większego zastoiska. Jezioro to mimo znacznej powierzchni jest stosunkowo płytkie – maksymalna głębokość wynosi tylko 2,5 m. Badania P. Gierszewskiego (2000) wskazują, że przepływy rzeki Rakutówki regulowane są za pomocą zastawki zlokalizowanej na wypływie rzeki z jeziora. W okresie wiosennym nadmiar wody z jeziora zostaje odprowadzony do rzeki. Taka praca zastawki powoduje duże zróżnicowanie przepływów w cyklu rocznym.

Tabela 9. Wybrane parametry morfometryczne jezior w dorzeczu Zgłowiączki

Nazwa jeziora	Zlewnia	Powierzchnia jeziora [ha]	Maksymalna głębokość jeziora [m]	Objętość jeziora [tys. m ³]
Głuszyńskie	Zgłowiączka	590,0	36,5	53002,9
Borzymowskie	Chodeczka	200,6	10,5	7358,6
Rakutowskie	Rakutówka	170,9	2,5	2560,0
Kromszewickie	Chodeczka	85,0	16,7	7693,3
Lubieńskie	Lubieńka	84,0	12,8	3494,7
Ługowskie	Chodeczka	63,0	18,6	6226,9
Goreńskie	Rakutówka	54,2	6,1	1670,0
Kamieniec	Struga	50,0	4,0	687,0
Karaśnia	Struga	43,8	-	-
Krukowskie	Chodeczka	43,5	5,6	1406,7
Krzewenckie	Rakutówka	37,9	7,6	1700,0
Chodeckie	Chodeczka	36,6	20,6	2227,3
Czarny Bród	Zgłowiączka	32,0	8,6	849,6
Komorowo	Struga	25,5	-	-
Chalińskie Miałkie	Struga	25,5	3,3	361,5
Skrzyneckie	Rakutówka	25,4	10,5	1542,2
Grójeckie	Kocięca	24,0	7,1	1029,6
Chalińskie Głębokie	Zgłowiączka	20,1	9,1	811,1
Lutoborskie	Chodeczka	20,0	9,7	993,9

2.5.3. MOKRADŁA

Ważną rolę w procesie kształtowania się odpływu wody ze zlewni odgrywają również mokradła. Pod pojęciem mokradła należy rozumieć te obszary, na których stale lub okresowo panuje nadmierne uwilgotnienie, niezależnie od jego przyczyn (Pietrucień 1988).

Znaczenie mokradeł naturalnych, a w szczególności torfowisk polega przede wszystkim na gromadzeniu i czasowym zatrzymywaniu wody w dorzeczu, co w konsekwencji prowadzi do spowolnienia odpływu. Torfowiska stanowią swoistego rodzaju „gąbkę” retencjonując nadmiar wody pochodzącej z zasilania atmosferycznego lub podziemnego. Wpływają tym samym na poprawę bilansu wodnego dorzecza. Jak podaje P. Ilnicki (2002) zawartość wody w jednostce objętości torfu wynosi od 75 do 95% i z tego względu mówi się o torfowiskach, jako o naturalnych zbiornikach retencyjnych lub porównuje się je do jezior.

K. Dębski (1967a) analizując bilans wodny torfowisk meliorowanych, na przykładzie torfowiska „Modzelówka” w dorzeczu Biebrzy, stwierdził, że w odpływie z torfowiska można wyróżnić dwa maksima:

- główne maksimum przypadające na miesiąc sierpień spowodowane jest lipcowymi i sierpniowymi opadami,
- mniejsze maksimum grudniowe spowodowane opadami jesiennymi – mniejszymi od opadów letnich, lecz ze względu na mniejsze parowanie jest ono istotne w rocznym cyklu odpływu.

Wyróżnione dwa maksima przedzielone są okresami niskich odpływów, przypadających na miesiąc listopad oraz okres od lutego do kwietnia.

Sezonowy podział rocznej sumy odpływu z torfowiska wg K. Dębskiego (1967a) jest następujący⁴: półrocze zimowe – 25%, pierwszy kwartał półrocza letniego – 35%, sierpień i wrzesień – 38%, październik – 2%.

Na potrzeby niniejszej pracy wyróżniono i przedstawiono w formie kartograficznej, dla dorzecza Zgłowiączki (ryc. 9), dwa rodzaje obszarów podmokłych:

- mokradła o podłożu torfowym obejmujące torfowiska wysokie, przejściowe i niskie,
- mokradła o podłożu nietorfowym.

Takie wyróżnienie wynika z założeń wydzielenia mokradeł przez Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach. Podstawą do wydzielenia była *Mapa mokradeł i użytków zielonych* w skali 1:100 000 (1992–1995), a dane

⁴ Przedstawione dane wynikają jednak z krótkiego okresu badań – K. Dębski (1967a) przyjął do analizy okres pięciu lat, który charakteryzował się skrajnie wysokim zasilaniem opadami atmosferycznymi w półroczu letnim.

dotyczące powierzchni torfowisk pochodzą z Komputerowego Banku Danych o Torfowiskach oraz Mokradłach i Użytkach Zielonych Polski.

W dorzeczu Zgłowiączki wyróżnić można trzy obszary występowania mokradeł (ryc. 9):

1. Dna dolin i rynien subglacialnych. W tej grupie należy wyróżnić odcinki dolin rzecznych: Zgłowiączki, Lubieńki i Strugi. W dolinie Zgłowiączki mokradła o podłożu torfowym występują na odcinku pomiędzy Topólką (początek doliny) a Brześciem Kujawskim. Łączna powierzchnia zajęta przez torfowiska wynosi 656,0 ha, a ich zasoby szacuje się na 17 911 tys. m³. Ze względu na położenie hydrograficzne zaliczyć je należy do niskich torfowisk dolinowych (Żurek 1987). Miąższość torfu waha się pomiędzy 2,85 a 5,4 m.

2. Zagłębienia bezodpływowe Pojezierza Kujawskiego. Dominują tutaj torfowiska o powierzchni do 10 ha. Szczególnie duże ich skupiska znajdują się w zlewni Lubieńki – na północ od Lubienia Kujawskiego, w zlewniach rzek: Strugi i Kocięcy oraz na północny-wschód od J. Głuszyńskiego. Miąższość występujących tam torfów najczęściej nie przekracza 2 m.

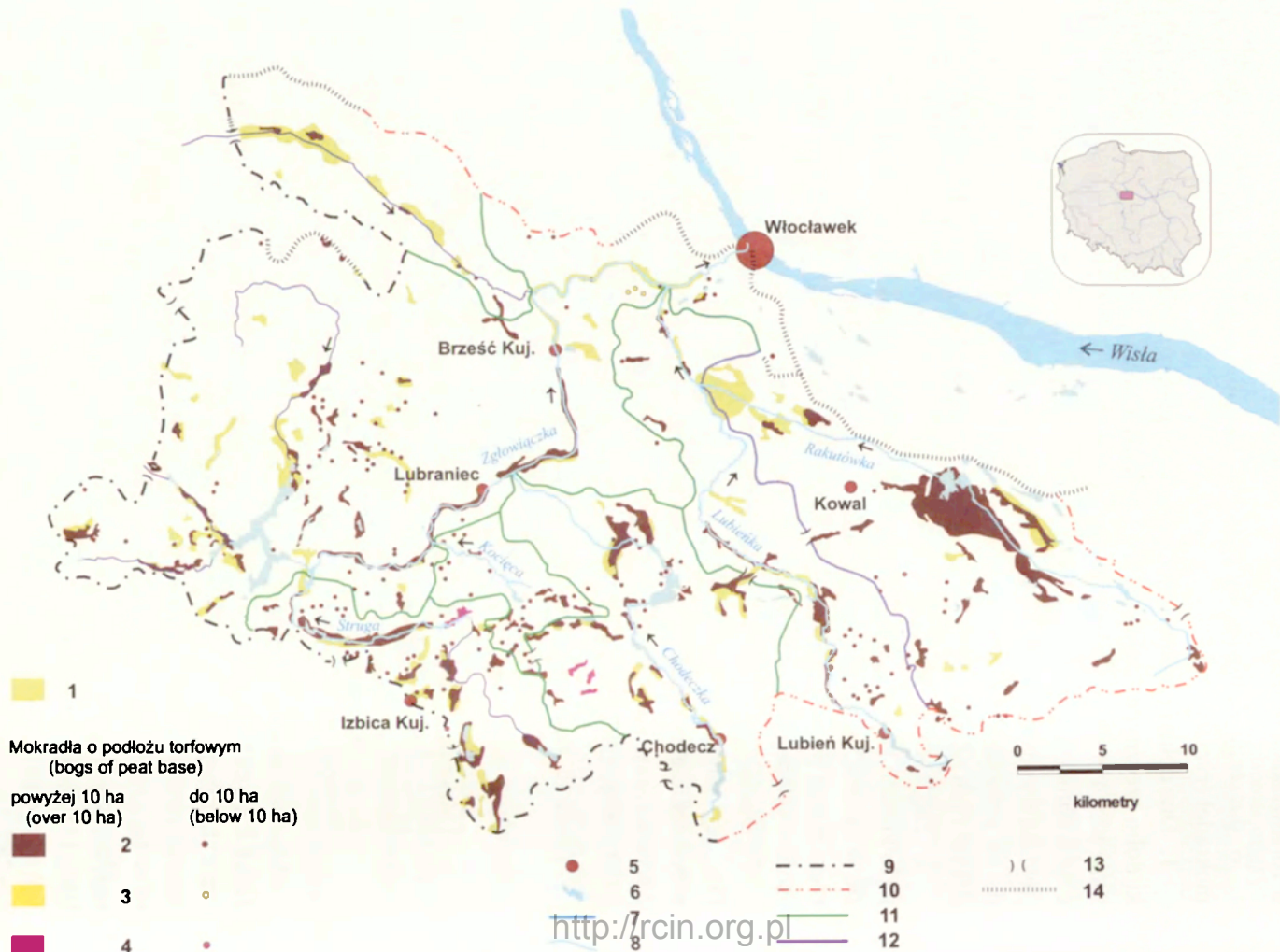
3. Okolice jeziora Rakutowskiego i dolina Rakutowki w obrębie Kotliny Płockiej. Miąższość torfów waha się od 0,5 do 3,9 m. Położenie torfowisk w tym rejonie związane jest ze spływem wód powierzchniowych i gruntowych z wysoczyzny, jak również z płytkim zaleganiem wód gruntowych (Głazik, 1970, 1978, 1987).

Tabela 10. Powierzchnia mokradeł na terenach hydrogenicznnych w dorzeczu Zgłowiączki

	Powierzchnia [km ²]	% powierzchni dorzecza
Mokradła o podłożu torfowym	76,62	5,12
Mokradła i łąki o podłożu nietorfowym	58,47	3,91
Łącznie	135,1	9,03

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych Instytutu Melioracji Użytków Zielonych w Falentach

Łączna powierzchnia mokradeł w analizowanym dorzeczu wynosi 135,1 km², co stanowi 9,03% jego powierzchni (tab. 10). W ich ogólnej strukturze dominują mokradła o podłożu torfowym, które zajmują ponad połowę łącznej powierzchni mokradeł. Największy udział pod względem powierzchni w tej grupie zajmują torfowiska niskie – 74,71 km², co stanowi 97,51% ogólnej powierzchni torfowisk i jednocześnie 5,0% powierzchni dorzecza (tab. 11). Pod względem powierzchni wśród torfowisk niskich dominują torfowiska małe o powierzchni do 5,0 ha (tab. 12). Zajmują one łączną powierzchnię 287,2 ha, co stanowi 3,84% ogólnej powierzchni torfowisk niskich i 0,19% powierzchni dorzecza. Największy obszar zajmują torfowiska o powierzchni



Ryc. 9. Rozmieszczenie mokradeł w dorzeczu Zgłowiączki

1 – mokradła i łąki o podłożu nietorfowym o powierzchni powyżej 10 ha; 2 – torfowiska niskie; 3 – torfowiska przejściowe; 4 – torfowiska zdegradowane; 5 – miasta; 6 – jeziora; 7 – kanały; 8 – ciek; 9 – dział wodny I rzędu; 10 – dział wodny II rzędu; 11 – dział wodny III rzędu; 12 – dział wodny IV rzędu; 13 – brama w działle wodnym; 14 – dział wodny niepewny. Źródło: Opracowano na podstawie *Mapy mokradeł i użytków zielonych Polski 1992–1995*.

Distribution of bogs in the Zgłowiączka basin

1 – bogs and meadows of non-peat base and the area larger than 10 ha; 2 – low moor; 3 – transition bogs; 4 – degraded bogs; 5 – cities; 6 – lakes; 7 – canals; 8 – rivers; 9 – watershed of the 1st order; 10 – watershed of the 2nd order; 11 – watershed of the 3rd order; 12 – watershed of the 4th order; 13 – a gap in the watershed; 14 – uncertain watershed. Source: Based on *Mapa mokradeł i użytków zielonych Polski 1992–1995*

powyżej 100,0 ha. Jest ich w dorzeczu 15 i stanowią 42,84% ogólnej powierzchni torfowisk niskich i 2,14% powierzchni dorzecza.

Narastanie torfów w dolinie Zgłowiączki rozpoczęło się już w późnym glacie i z różnym nasileniem trwa po czasy współczesne (Andrzejewski 1984, 1994)

Tabela 11. Powierzchnia mokradeł o podłożu torfowym w dorzeczu Zgłowiączki

	Powierzchnia [km ²]	% powierzchni mokradeł o podłożu torfowym	% powierzchni dorzecza
Mokradła o podłożu torfowym – w tym:	76,62	100,0	5,12
Torfowiska niskie	74,71	97,51	5,0
Torfowiska przejściowe	0,23	0,29	0,02
Torfowiska wysokie	-	-	-
Torfowiska zdegradowane	1,68	2,20	0,11

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

Tabela 12. Zestawienie torfowisk niskich w dorzeczu Zgłowiączki

Przedziały [ha]	Ilość [szt.]	Powierzchnia [ha]	Procentowy udział w:	
			Ogólnej powierzchni torfowisk niskich	Powierzchni dorzecza
1,0 – 4,9	111	287,2	3,84	0,19
5,0 – 9,9	64	425,1	5,69	0,28
10,0 – 19,9	51	720,9	9,65	0,48
20,0 – 39,9	39	1070,0	14,32	0,72
40,0 – 59,9	16	768,8	10,29	0,51
60,0 – 79,9	8	561,5	7,52	0,38
80,0 – 99,9	5	437,2	5,85	0,29
powyżej 100,0	15	3200,7	42,84	2,14
Łącznie	309	7471,4	100,0	5,0

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

3. ANTROPOGENICZNE PRZEKSZTAŁCENIA SIECI RZECZNEJ I WARUNKÓW ODPLYWU

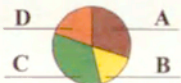
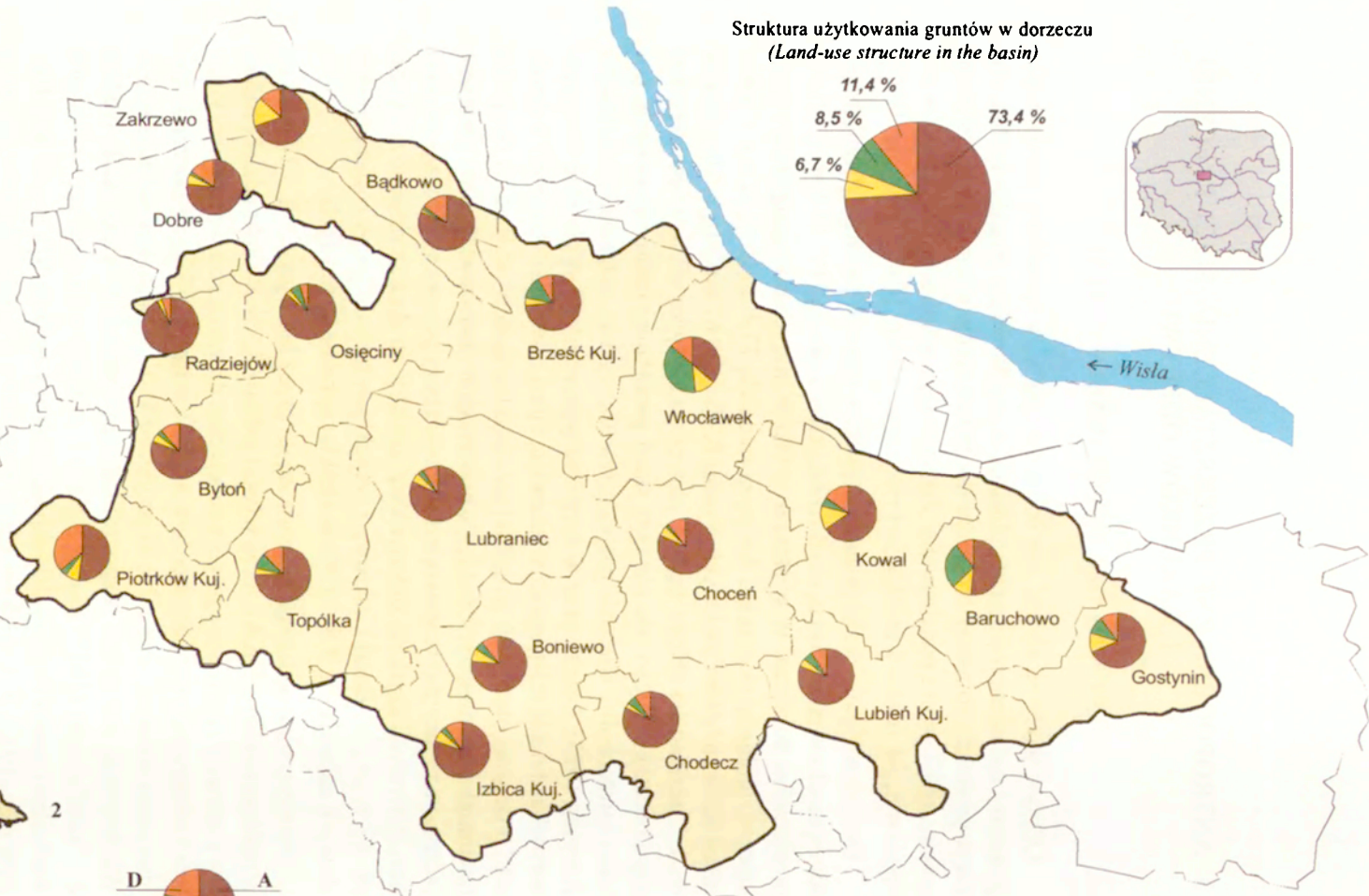
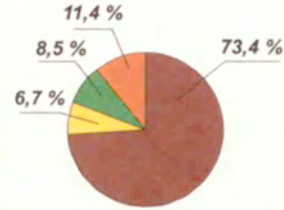
3.1. ZMIANY UŻYTKOWANIA TERENU

Odływ wody ze zlewni jest ściśle związany ze sposobem użytkowania gruntów i rodzajem roślinności. Zmiana w użytkowaniu gruntów i intensyfikacja produkcji rolniczej prowadzi do zmiany proporcji między odpływem powierzchniowym i podziemnym. Zmienia się transpiracja i infiltracja wody opadowej, jak również możliwości retencyjne zlewni (Gutry-Korycka 1993).

Dorzecze Zgłowiączki posiada charakter typowo rolniczy. Dominującą formą użytkowania ziemi są użytki rolne, które zajmują 1197,98 km², tj. 80,1% powierzchni dorzecza. W strukturze użytków rolnych dominują grunty orne, które w ogólnej powierzchni dorzecza stanowią 73,4% (1097,31 km²), natomiast udział użytków zielonych wynosi 6,7% (100,67 km²) (ryc. 10). Bardzo duże znaczenie dla obiegu wody w zlewni ma nie tylko wielkość powierzchni użytkowanej rolniczo, ale również skład gatunkowy roślin uprawnych, poziom agrotechniki, wielkość gospodarstw oraz system sadzenia roślin (Gutry-Korycka 1993). Grunty orne w dorzeczu wykorzystane są głównie pod uprawę roślin zbożowych (pszenica, jęczmień, żyto i mieszanki zbożowe), których udział stanowi ok. 55–60% ogólnej powierzchni zasiewów. Rośliny okopowe (ziemniaki) zajmują ok. 5,8–12,3% powierzchni zasiewów. Rośliny pastewne (koniczyna i lucerna) stanowią uzupełnienie bazy paszowej. Z uwagi na niski udział trwałych użytków zielonych ich udział w strukturze zasiewów wynosi ok. 13,6–16,2%. Buraki cukrowe i rzepak należące do grupy roślin przemysłowych zajmują ok. 9,8–16,0% w strukturze roślin uprawnych.

Powierzchnia badanego obszaru zajęta przez las wynosi ok. 127 km², co w ogólnej powierzchni dorzecza wynosi jedynie 8,5%. Wysoki udział procentowy użytków rolnych w ogólnej powierzchni dorzecza został osiągnięty kosztem zmniejszenia powierzchni leśnych. J. Lambor (1954a) za początek wyniszczenia lasów na terenie Polski przyjmuje V–VI wiek, natomiast na obszarze Wielkopolski proces ten rozpoczął się jego zdaniem w wieku XIII. Według Z. Czubińskiego (1947) proces stałego i stosunkowo szybkiego wylesiania wschodniej części Wielkopolski zapoczątkowany został w XIV wieku. K.J. Hładysłowicz (1932) XIV wiek uważa za przełomowy w dziejach gospodarczych Polski. Wiąże on proces wylesiania Wielkopolski i Kujaw ze szczególnym

Struktura użytkowania gruntów w dorzeczu
(Land-use structure in the basin)



Ryc. 10. Struktura użytkowania gruntów w dorzeczu Zgłowiączki

1 – granice gmin; 2 – obszar dorzecza Zgłowiączki; A – grunty orne; B – użytki zielone; C – lasy; D – pozostałe. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych K-PBPPiR we Włocławku. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych K-PBPPiR we Włocławku

Land-use structure in the Zgłowiączka basin

1 – borders of gminas; 2 – the area of the Zgłowiączka basin; A – arable land; B – grassland; C – forests; D – others. Source: The author's compilation based on the K-PBPPiR in Włocławek data. Source: The author's compilation based on the K-PBPPiR in Włocławek data

rozwojem gospodarczym i społecznym Polski. Z kolei M. Strzemski (1956) stwierdza, że wyraźne zwiększenie gruntów użytkowanych rolniczo kosztem lasów nastąpiło w wieku XVI i XVII. Proces ten utożsamia on z rozkwitem gospodarki pańszczyźniano-folwarcznej, która doprowadziła do szybkiego wzrostu rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Proces ten był odczuwalny w całej ówczesnej Polsce.

Dynamikę zmian lesistości we wschodniej części Kujaw⁵ w latach 1772–1970 (tab. 13) przedstawiła B. Degórska (1996). Jej zdaniem wylesienie związane było głównie z przystosowaniem urodzajnych gleb (brunatnych, płowych, czarnych ziem i rdzawych) zajętych przez las na potrzeby i rozwój rolnictwa. Zmiany powierzchni leśnych były spowodowane w równym stopniu dynamicznym rozwojem przemysłu, jak i osadnictwa na tym terenie. Okres najintensywniejszego wylesienia – lata 1830–1930 pokrywa się bowiem z okresem dynamicznego rozwoju przemysłu i osadnictwa na badanym obszarze, a w szczególności rozwojem miasta Włocławka. Największe zmiany powierzchni leśnej w tym okresie nastąpiły na Pojezierzu Chodeckim, obejmującym południową część dorzecza Zgłowiączki. Najmniejsze zaś na Równinie Kujawskiej (północno-zachodnia część dorzecza) oraz w Kotlinie Włocławskiej (północno-wschodnia część dorzecza).

J. Kuciński (1956) z kolei proces najintensywniejszych wylesień na Kujawach⁶ utożsamia z rozbiorami Polski, kiedy to dobra klasztorne i królewskie zajęte zostały przez Rosję i Prusy. Zdaniem wymienionego autora szczególnie dużo wylesień dokonano w latach 1796–1863.

Mały udział powierzchni zalesionej w dorzeczu Zgłowiączki z hydrologicznego punktu widzenia jest niekorzystny. Las spełnia bowiem w zlewni funkcję regulatora odpływu w czasie. M. Budzyński (1970) na podstawie wyników badań nad rolą lasu w kształtowaniu bilansu wodnego w różnych typach zlewni stwierdził, że: las zmniejsza oraz przedłuża czas trwania spły-

⁵ Do Kujaw wschodnich B. Degórska (1996) zalicza trzy jednostki fizycznogeograficzne zgodnie z podziałem R. Galona (1970), tj. Pojezierze Chodeckie (1124 km²), południowo-wschodnią część Równiny Kujawskiej (816 km²) i Kotlinę Włocławską (577 km²).

⁶ J. Kuciński (1956) Kujawy definiuje jako obszar ograniczony od północy: Wartą, Welną, Notecią i Wisłą, od zachodu: Obrą i Odrą, a od południa doliną Baryczy.

Tabela 13. Zmiany powierzchni lasów we wschodniej części Kujaw w latach 1772–1970 (wg B. Degórskiej 1996)

	Powierzchnia lasów											
	1772		1830		1890		1930		1950		1970	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Równina Kujawska	72,6	8,9	71,0	8,7	22,5	2,8	16,3	2,0	14,7	1,8	17,1	2,1
Pojezierze Chodeckie	575,5	51,2	338,3	30,1	94,4	8,4	76,4	6,8	73,1	6,5	104,7	9,3
Kotlina Włocławska	330,0	57,2	331,8	57,5	265,4	46,0	264,8	45,9	275,2	47,7	320,2	55,5
Łącznie	978,1	39,1	741,1	32,1	328,3	19,1	357,5	18,2	363,0	18,7	442,0	22,3

wu powierzchniowego pochodzącego z tajania śniegu. Ponadto las zapobiega gwałtownym przyborom wody w ciekach i obniża kulminacje fal powodziowych, jak również przeciwdziała nadmiernemu spadkowi poziomu wód w ciekach w okresach suchych. Badania przeprowadzone przez K. Kucharską i in. (1984) potwierdzają związek pomiędzy lesistością zlewni a wielkością jednostkowych odpływów kulminacyjnych półrocza zimowego. W zlewniach leśnych (stopień lesistości, tj. procentowy udział lasu w użytkowaniu zlewni wynosi od ok. 84 do 92%) jednostkowy odpływ kulminacyjny półrocza zimowego był ponad dwukrotnie mniejszy od zlewni małeleśnej (stopień lesistości wynosi ok. 7%). Z kolei z badań J. Tyszki (1985) wynika, że las słabo oddziałuje na sumaryczną wielkość odpływu, natomiast zmienia rozłożenie odpływu w czasie. W zlewniach leśnych (o lesistości > 50%) kulminacje przepływów maksymalnych w okresie wczesnowiosennym były nawet mniejsze do kilkudziesięciu procent od zlewni wylesionych (o lesistości < 50%). Podobne wnioski zostały wysunięte m.in. przez M. Gutry-Korycką (1993). Stwierdziła ona, że im większa jest lesistość zlewni, tym niższa i mniej stroma jest fala wezbraniowa i tym powolniejsza jest jej recesja. Ponadto w zlewniach zalesionych zwiększała się alimentacja letnia oraz dwukrotnie zwiększał się odpływ niżówkowy (Tyszka 1985).

Nie mniej ważne jest również rozmieszczenie lasu w zlewni (Lambor 1954b) oraz jego skład gatunkowy, wiek, jak również zróżnicowanie środowiska leśnego (Gutry-Korycka 1993). Lasy jednogatunkowe znacznie słabiej wpływają na zmianę struktury obiegu wody niż lasy naturalne (mieszane i liściaste) o wielopiętrowej strukturze. Dodatkowo monokultury leśne narażone są bardziej na różnego rodzaju klęski, np. pożary czy szkodniki (sówka chojnowka) (Kielczewski 1947).

J.B. Faliński (1976) dorzecze Zgłowiączki zaliczył do dwóch typów obszarów o skrajnie różnym stopniu przekształcenia roślinności. Część dorzecza znajdująca się w Kotlinie Płockiej należy do obszarów z fragmentami roślinności naturalnej – leśnej, pozostawionymi jedynie na siedliskach skrajnie ubogich albo niedostępnych dla rolnictwa lub osadnictwa. Pozostałą część dorzecza (Równina Inowrocławska i Pojezierze Kujawskie) zaliczona została przez niego do obszarów na których roślinność synantropijna, która zastąpiła roślinność naturalną, ulega degeneracji na skutek działalności człowieka. Przemianę tą wiąże J.B. Faliński ze szczególną intensyfikacją rolnictwa, a w głównej mierze chemizacją rolnictwa.

Pierwotnie dominującym typem zbiorowisk leśnych na Pojezierzu Kujawskim i Równinie Inowrocławskiej były lasy grądowe oraz łągi wiązowo-jesionowe (szczególnie na bardzo żyznych glebach), łągi olszowe i olszowo-jesionowe (wokół jezior i wzdłuż zatorfionych dolin rzecznych). W Kotlinie Płockiej

przeważały bory mieszane i suche bory sosnowe (gleby piaszczyste) oraz w mniejszym stopniu łągi wierzbowo-topolowe, olszowe i olsy (w wilgotnych, często zabagnionych obniżeniach terenu) (Cyzman 1996, 1997; Kępczyński, Załuski 1982). Zmiany struktury drzewostanu na tym terenie Z. Czubiński (1947) utożsamia z prowadzonymi od XVIII wieku (szczególne nasilenie w wieku XIX) pracami melioracyjnymi. Wtedy to wielogatunkowe lasy liściaste i mieszane zaczęto zastępować monokulturą sosny, a naturalne siedliska roślinne na glebach organicznych zamienione zostały na trwałe użytki zielone.

Obecnie pod względem struktury drzewostanów dominują monokultury sosnowe, a wielogatunkowe lasy liściaste zachowały się w miejscach nie objętych gospodarczą bądź rolniczą działalnością człowieka – na zboczach pradolin i dolin, głębokich jarach czy powierzchniach silnie zabagnionych (Biały 1985; Cyzman 1996, 1997). Północno-wschodnia część dorzecza należy do Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego utworzonego w roku 1979 w celu ochrony terenów o wysokich walorach przyrodniczych, krajobrazowych, rekreacyjnych i kulturowych (Balakowicz 2001). Całkowita powierzchnia Parku wynosi 38 950 ha. W granicach dorzecza znajduje się 5320 ha Parku, co stanowi ok. 14% jego całkowitej powierzchni.

3.2. BUDOWLE PIĘTRZĄCE

3.2.1. OBIEKTY MAŁEJ RETENCJI

Jedną z form planowego kształtowania zasobów wód powierzchniowych i podziemnych w zlewni stanowi tzw. mała retencja. Bardzo precyzyjną definicję podaje A. Ciepiewski (1999), wg którego mała retencja jest to „*zdolność do gromadzenia wody w małych zbiornikach naturalnych (oczkach, starorzeczach, jeziorach) i sztucznych (stawach, wyrobiskach, sadzawkach, mniejszych retencyjnych zbiornikach zaporowych) o pojemności kilku tysięcy metrów sześciennych, gromadzenie wody w sieci rzecznej lub kanałach, zwiększenie pojemności wodnej gleb przez zabiegi agrotechniczne, agromelioracyjne i fitomelioracyjne oraz zatrzymywanie wody przez roślinność i ściółkę.*” (s. 96)

Zdaniem W. Mioduszeńskiego (1997) mała retencja nie wpływa w istotny sposób na zmiany w naturalnym reżimie rzeczonym, ponieważ na małych zbiornikach gospodarka wodna jest utrudniona. Niekiedy możliwa jest regulacja odpływu tylko w krótkich okresach, np. w ciągu doby dla zgromadzenia wody na bieżące potrzeby (do napędzania turbin małych elektrowni wodnych lub młynów).

Zbiorniki małe zazwyczaj gromadzą wodę w okresach jej nadmiaru (najczęściej w okresie wiosennym) by można było wykorzystać ją w okresie wegetacyjnym. Urządzenia regulacyjne otwiera się głównie dla przepuszczania wielkich wód, w innych przypadkach odpływ wody następuje w sposób naturalny. Woda zgromadzona w małych zbiornikach wpływa przede wszystkim na poprawę bilansu wodnego w zlewni (Mioduszeowski 1994). W przypadku jednak kiedy zbiorniki zbudowane są w kaskadzie, mogą całkowicie retencjonować bądź spłaszczać fale wezbraniowe. W okresie suszy oddają zgromadzoną w nich wodę podwyższając przepływy niskie (Dynowska 1984). Zbiorniki w takim układzie pozwalają na sterowanie odpływem ze zlewni, a tym samym kształtują reżim odpływu wody (Ciepielowski, Gutry-Korycka 1993).

Budowa obiektów małej retencji uwarunkowana jest wieloma czynnikami. Obok warunków przyrodniczych decydujące znaczenie mają względy prawno-ekonomiczne związane z wywłaszczeniem i wykupem gruntów, zagrożeniem powodziowym, regionalnym planem zagospodarowania przestrzennego czy rekompensatami za okresowe podtopienie bądź zalanie gruntów (Żelazo 1997). Przyczyny te powodują, że obiekty małej retencji rozmieszczone są w dorzeczu niejednokrotnie w sposób przypadkowy, w miejscach, które spełniają warunki prawno-ekonomiczne, a w mniejszym stopniu przyrodnicze. Takie pozaprzyrodnicze uwarunkowania mogą negatywnie wpływać na możliwość pełnego i racjonalnego gospodarowania wodą w dorzeczu.

W latach 1992–1996 oddano do eksploatacji w dorzeczu Zgłowiączki 19 obiektów małej retencji (tab. 14). Obiekty te zaliczono do realizowanego w Polsce od roku 1997 (w oparciu o Porozumienie z dnia 21.12.1995 roku pomiędzy Ministrami Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa oraz Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej) Programu Rozwoju Małej Retencji mającego na celu „zachowanie i odtworzenie naturalnych walorów środowiska przyrodniczego oraz retencję wód, poprzez budowę, odbudowę i modernizację urządzeń, służących do magazynowania wody w istniejących zbiornikach wodnych” (Łukaszewicz i in. 2000, s. 60).

Łączna objętość wody we wszystkich obiektach małej retencji w dorzeczu Zgłowiączki wzrosła z 15 805 320 m³ do 17 582 083 m³. Uzyskana retencja wód powierzchniowych łącznie wynosi 1 776 763 m³. Rozmieszczenie obiektów w dorzeczu przedstawia rycina 11.

Prace związane ze zwiększeniem ilości wody w dorzeczu koncentrowały się głównie na piętrzeniu lub stabilizowaniu poziomu wody w jeziorach. Tego typu prace wykonano w 11 przypadkach zwiększając retencję o 1 039 680 m³, co stanowi 58,5% przyrostu łącznej retencji wód powierzchniowych w dorzeczu. Największą ilość wody – 195 300 m³ uzyskano piętrząc J. Szczytnow-



Ryc. 11. Rozmieszczenie obiektów małej retencji w dorzeczu Zgłowiączki

A – ciek; B – jeziora; C – kanały; D – dział wodny I rzędu; E – dział wodny II rzędu; F – dział wodny III rzędu; G – dział wodny IV rzędu; H – brama w działle wodnym; I – dział wodny niepewny. Źródło: Opracowanie własne na podstawie: J. Szablowski 2002 oraz danych K-PZMiUW we Włocławku

Distribution of the small retention structures in the Zgłowiączka basin

A – rivers; B – lakes; C – canals; D – watershed of the 1st order; E – watershed of the 2nd order; F – watershed of the 3rd order; G – watershed of the 4th order; H – a gap in the watershed; I – uncertain watershed. Source: The author's compilation based on J. Szablowski 2002 and the data of the K-PZMiUW in Włocławek

skie, najmniej zaś w przypadku stabilizacji poziomu wody w J. Zameczek – 18 480 m³ (tab. 14).

Innym sposobem poprawy bilansu wodnego było zwiększenie ilości magazynowanej wody w istniejących stawach (najczęściej są to dawne stawy młyńskie) oraz na obszarach podmokłych (torfowiskach lub dołach potorfowych). Pozwoliło to na zwiększenie retencji w dorzeczu o 736 033 m³, tj. o 41,4% łącznego przyrostu retencji. Największy tego rodzaju obiekt znajduje się na rzece Strudze w okolicach wsi Pasieka, gdzie dodatkowo udało się magazynować 566 430 m³ wody.

Szczegółowy opis wybranych obiektów małej retencji i ich wpływ na zwiększenie retencji oraz warunki siedliskowe kształtujące produkcję rolniczą na Kujawach przedstawił J. Szablowski (2002). Autor ten wykazał, iż obiekty małej retencji znajdujące się w dorzeczu Zgłowiączki, obok wymiernego zwiększenia ilości wody powierzchniowej, wpłynęły na podwyższenie i ustabilizowanie poziomu wody gruntowej oraz zwiększenie retencji glebowej (tab. 14) w zasięgu oddziaływania zbiorników retencyjnych.

Budowa małych zbiorników retencyjnych, obok poprawy bilansu wodnego dorzecza, ma także na celu wykorzystanie wody dla celów gospodarczych, ochronę przeciwpowodziową, wykorzystanie zgromadzonej wody do hodowli ryb, zwiększenie walorów krajobrazowych i widokowych, powstrzymanie erozji gleb oraz zapobieganie degradacji siedlisk roślinnych (Mioduszewski 1994; Ciepielowski 1999).

Tabela 14. Obiekty małej retencji w dorzeczu Zgłowiączki (wg J. Szablowskiego 2002 oraz danych K-PZMiUW we Włocławku)

Nazwa obiektu	Rodzaj retencji	Powierzchnia lustra wody [ha]	Objętość wody przed spiętrzeniem [m ³]	Objętość wody po spiętrzeniu [m ³]	Wielkość retencji [m ³]	Dodatkowa retencja glebowa po spiętrzeniu [m ³]	Zasięg oddziaływania przed spiętrzeniem [ha]	Zasięg oddziaływania po spiętrzeniu [ha]
J. Swiesz	J	18,1	173 200	363 250	190 050	12 096	2,1	16,5
Sarnowo	SP	27,1	800 000	837 940	37 940	8 960	27,1	107,1
Witowo-Kolonia	RK	0,14	700	1 204	504	7 096	0,2	22,1
Faliszewo	RK	0,14	600	1 146	546	3 370	0,2	9,8
Pasieka	SP	71,7	915 000	1 481 430	566 430	12 956	71,7	92,2
J. Szczytnowskie	J	63,0	6 226 900	6 422 200	195 300	7 899	2,2	28,1
J. Krukowskie	J	43,5	1 406 700	1 437 150	30 450	2 020	3,3	25,5
Przyborowo	SP	0,13	720	1 383	663	13 260	2,1	28,1
J. Czarny Bród	J	50,0	849 600	1 009 600	160 000	-	-	105,0
J. Słuchaj	J	10,5	210 000	247 600	37 600	-	-	55,0
J. Kamieniec	J	50,5	687 000	788 000	101 000	-	-	80,0
Miechowice	SP	0,5	3 500	5 700	2 200	-	-	10,0
Kuczyna	SP	2,2	38 000	46 800	8 800	-	-	15,0
J. Grójec	J	24,0	1 029 600	1 101 600	72 000	-	-	81,0
J. Karaśnia	J	43,8	1 314 000	1 362 800	48 800	-	-	108,0
Karczemka	J	18,5	1 480 000	1 630 000	150 000	-	-	192,0
J. Zameczek	J	9,2	369 600	388 080	18 480	-	-	34,0
Grabkowo-Dobrzelewice	SP	8,0	110 200	230 200	120 000	-	-	28,0
J. Cmentowo	J	13,3	190 000	226 000	36 000	-	-	60,0
SUMA			15 805 320	17 582 083	1 776 763			

* SP – stawy i potorfia, RK – rzeki i kanały, J – jeziora

3.2.2. MŁYNY WODNE I STAWY MŁYŃSKIE

Pierwsze prace hydrotechniczne modyfikujące koryta rzeczne oraz zwiększające zasoby wodne w dorzeczu Zgłowiączki związane były z budową i funkcjonowaniem młynów⁷ wykorzystujących energię wody. Informacje o istnieniu młynów wodnych na rzece Zgłowiączce pojawiają się już w połowie XIII wieku w dokumentach dotyczących lokacji miasta Włocławka (Bieniak 1999). Jak podaje M. Morawski (1933) we Włocławku „*stolicy urodzajnych i rolniczych Kujaw.... znajdowało się tu od niepamiętnych czasów wiele młynów wodnych*” (s. 93). Do najstarszych młynów zaliczyć można (na podstawie Morawski 1933):

- Łęg – pierwsza informacja z 1277 r.,
- Rudny – wzmiankowany w przywileju lokacyjnym z 1339 r.,
- Słodowo o dwóch kołach mielących – pierwsza informacja z 1377 r.,
- Lisek o dwóch kołach mielących – pierwsza wzmianka z 1470 r.,
- Świech – pierwsza informacja z 1534 r.,
- Czemięga /Lasek/ – wzmiankowany w przywileju z 1571 r.,
- Poraza o dwóch kołach mielących – wzmiankowany przywilejem z 1577 r.

Pierwsze informacje o istnieniu młynów wodnych na terenach sąsiednich, m.in. Kujaw zachodnich i Mazowsza pochodzą z tego samego okresu (Łuczak 1954; Bender 1974). Największy rozwój młynarstwa na obszarze obecnej Polski nastąpił w wieku XVI (Baranowski 1977; Łoś 1996). Szacuje się, że pomiędzy XVI a XIX wiekiem istniało ok. 10 tys. obiektów wykorzystujących energię wody, tj. młynów, foluszy, papierni itp. Dla porównania we Francji w tym samym czasie takich obiektów było ok. 80 tys. (Łoś 1996). Szczegółowa analiza historyczna dotycząca funkcjonowania młynów wodnych w dorzeczu Zgłowiączki wybiega poza zakres pracy, dlatego ich charakterystyka przedstawiona została dla I połowy XX wieku. Podstawę do analizy stanowią materiały archiwalne znajdujące się w Archiwum Państwowym w Toruniu, Oddział we Włocławku – Inwentarz Starostwa Powiatowego we Włocławku – Instalacje wodne na rzekach i kanałach w latach 1927–1930.

W latach 1925–1934 w dorzeczu Zgłowiączki funkcjonowało 26 młynów wodnych rozmieszczonych nierównomiernie wzdłuż cieków (ryc. 12). Młyny lokowane w górnych odcinkach rzek najczęściej wykorzystywały cały przepływ rzeki, jak np.: Nowy Młyn czy Kłóbka w zlewni Lubieńki, Szczerkowo w zlewni Chodeczki oraz młyny w zlewni Rakutowki. Minimalna ilość wody potrzebna do funkcjonowania młynów wahała się od 2000 m³doba⁻¹ (młyny: Śmiłowice, Górnjak, Kłobia) do 3500 m³doba⁻¹ (młyn w Nakonowie). Wynika

⁷ Pod nazwą młyn wodny należy rozumieć przede wszystkim młyny zbożowe, ale również inne zakłady wykorzystujące energię wody np.: kaszarnie, olejarnie, garbarnie, folusze, itp.



z tego, że młyny w dorzeczu Zgłowiączki w czasie swojej pracy wykorzystywały część przepływu rzeczno-mieszczonego się w przedziale co najmniej od $0,023 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ do $0,041 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Bartczak 2003b).

Niezwykle istotną formą zabezpieczenia odpowiedniej ilości wody, np.: w czasie kiedy młyny były wykorzystywane najintensywniej (koniec lata – okres po żniwach oraz jesienią), było budowanie sztucznych zbiorników gromadzących wodę tzw. stawów młyńskich, aby wykorzystać ją w okresie niedoborów. Były to zbiorniki o różnej powierzchni, np.: dla młyna w Kuźnicach 1,15 ha, a w Rudzie Chodeckiej 8,4 ha. Zbiorniki wodne powstawały najczęściej powyżej urządzeń piętrzących, w miejscach przewężeń dolin rzecznych (lepsze możliwości przegrodzenia koryta groblą ziemną) lub w miejscach występowania naturalnych progów. Stawy młyńskie obok pełnienia swojej głównej funkcji były jednocześnie pierwszymi obiektami małej retencji w zlewniach rzecznych (Sheppard 1958; Bond 1979; Podgórski 1996, 1999; Kaniecki 1999; Brykała 2001, 2004, 2005; Brykała i in. 2005).

Przy lokowaniu młynów istniała ścisła zależność pomiędzy ilością wody prowadzonej w rzece, a ukształtowaniem terenu potrzebnym do uzyskania odpowiedniego spadku, a tym samym jak najefektywniejszego wykorzystania energii płynącej wody. Dla przykładu młyny Smiłowice czy Górniak potrzebowały do swojej pracy co najmniej $2000 \text{ m}^3 \text{ doba}^{-1}$ przy spadzie użytecznym wynoszącym 2,7 m, młyn w Kuźnicach $2900 \text{ m}^3 \text{ doba}^{-1}$ przy spadzie 3,25 m, młyn w Nakonowie $3500 \text{ m}^3 \text{ doba}^{-1}$ przy spadzie 2,5 m, młyn Djabełek $2200 \text{ m}^3 \text{ doba}^{-1}$ przy spadzie 4,18 m.

Praca młynów wodnych powodowała znaczne wahania stanów wody (przepływów) rzeki poniżej. Zakłady nie pracowały w okresie trwania wysokich stanów wody w rzece, gdyż mogło to spowodować zniszczenie jego urządzeń. Również w okresach letnio-jesiennych (w czasie długotrwałych stanów) ich praca była ograniczona z powodu braku wody (Kaniecki 1999). Praca młynów uzależniona była również od zapotrzebowania na usługi. Młyny wodne w analizowanym dorzeczu pracowały średnio od 50 dni (młyn Szczytno) do 180 dni (młyn Kuźnice) w roku.

Ryc. 12. Rozmieszczenie młynów wodnych w dorzeczu Zgłowiączki w I połowie XX w. 1 – ciek; 2 – jeziora; 3 – kanały; 4 – młyn wodny; 5 – krawędź wysoczyzny; 6 – dział wodny I rzędu; 7 – dział wodny II rzędu; 8 – dział wodny III rzędu; 9 – dział wodny IV rzędu; 10 – brama w działie wodnym; 11 – dział wodny niepewny; 12 – Kanały: A – Bachorze, B – Głuszyński, C – Gopło-Swiesz, D – Głuszyn-Dębołęka, E – Pasieka-Karaśnia. Źródło: Opracowanie własne

Distribution of water mills in the Zgłowiączka basin in the early part of the 20th century 1 – rivers; 2 – lakes; 3 – canals; 4 – water mill; 5 – plateau edge; 6 – watershed of the 1st order; 7 – watershed of the 2nd order; 8 – watershed of the 3rd order; 9 – watershed of the 4th order; 10 – a gap in the watershed; 11 – uncertain watershed; 12 – Canals: A – Bachorze, B – Głuszyński, C – Gopło-Swiesz, D – Głuszyn-Dębołęka, E – Pasieka-Karaśnia. Source: The autor's compilation

Miejsca, które spełniały najlepsze warunki do budowy młynów w dorzeczu Zgłowiączki to:

– Odcinki głęboko wciętych w wysoczyznę rynien subglacialnych wykorzystywanych obecnie przez rzeki: Zgłowiączkę, Lubieńkę i Chodeczkę. Szczególnie predysponowane były przewężenia tych rynien przy równoczesnym znacznym spadku w profilu podłużnym ze względu na łatwość przegrodzenia koryta groblą i uzyskanie odpowiedniego spadku. Przykładami młynów, których lokalizacja odpowiadała tego rodzaju warunkom były młyny w: Brześciu Kujawskim, Falborzu i Nowym Młynie na Zgłowiączce, w Rudzie Chodeckiej, Kłobi i Ossowie na Chodeczce, w Kuźnicach i Kłóbce na Lubieńce.

– Odcinki rzek w pobliżu krawędzi wysoczyzny oraz w samej strefie krawędziowej, gdzie cieki spływają do pradoliny Wisły dolinkami o charakterze erozyjnym (Glazik 1970). Najlepszym przykładem jest odcinek rzeki Lubieńki pomiędzy młynami Kuźnice i Djabełek, gdzie dolina wcięta jest w wysoczyznę na głębokość 10–15 m, a spadek dna doliny wynosi ok. 3‰. Na tym odcinku rzeki o długości 3,1 km zlokalizowano trzy zakłady młyńskie – Kuźnice, Nakonowo i Djabełek. Innym przykładem może być młyn wodny w Więstawicach zlokalizowany w dolnej części strefy krawędziowej wysoczyzny przy niewielkiej strudze o długości 5,4 km. Ciek ten bierze początek we wsi Strzały na wysokości ok. 127 m n.p.m. i łączy się z systemem rowów melioracyjnych w okolicach J. Rakutowskiego na wysokości ok. 73,9 m n.p.m. Młyn wodny zlokalizowany był w odległości 3,9 km od źródeł. Na strudze istniał system trzech niewielkich stawów, z których woda spuszczana była w odpowiedniej kolejności. W okresach, kiedy młyn nie pracował w stawach ponownie gromadzono wodę.

– Rozwidlenia koryta rzeki zostały wykorzystane do budowy młyna w okolicach wsi Kapitułka (Rayzacher 1989), jak również młyna w Słodowie na Zgłowiączce. Dolina Zgłowiączki w Słodowie przegrodzona była groblą ziemną, w którą wbudowano trzy upusty: dwa robocze i jeden jałowy.

– Odcinki rzek o w miarę stałym zasilaniu w wodę i względnie wyrównanych wahaniami stanów wody i przepływów. Najlepsze tego rodzaju warunki posiadała rzeka Chodeczka, która przepływa przez sześć jezior. Jeziora gwarantują stabilne zasilanie rzeki w wodę oraz w sposób naturalny regulują odpływ. Młyny usytuowane pomiędzy jeziorami to: Ruda Chodecka (pomiędzy jeziorami: Chodeckim i Lubienieckim), Lubieniec (pomiędzy jeziorami: Lubienieckim i Ługowskim) oraz Szczytno i Borzymowice (pomiędzy jeziorami Ługowskim i Borzymowskim).

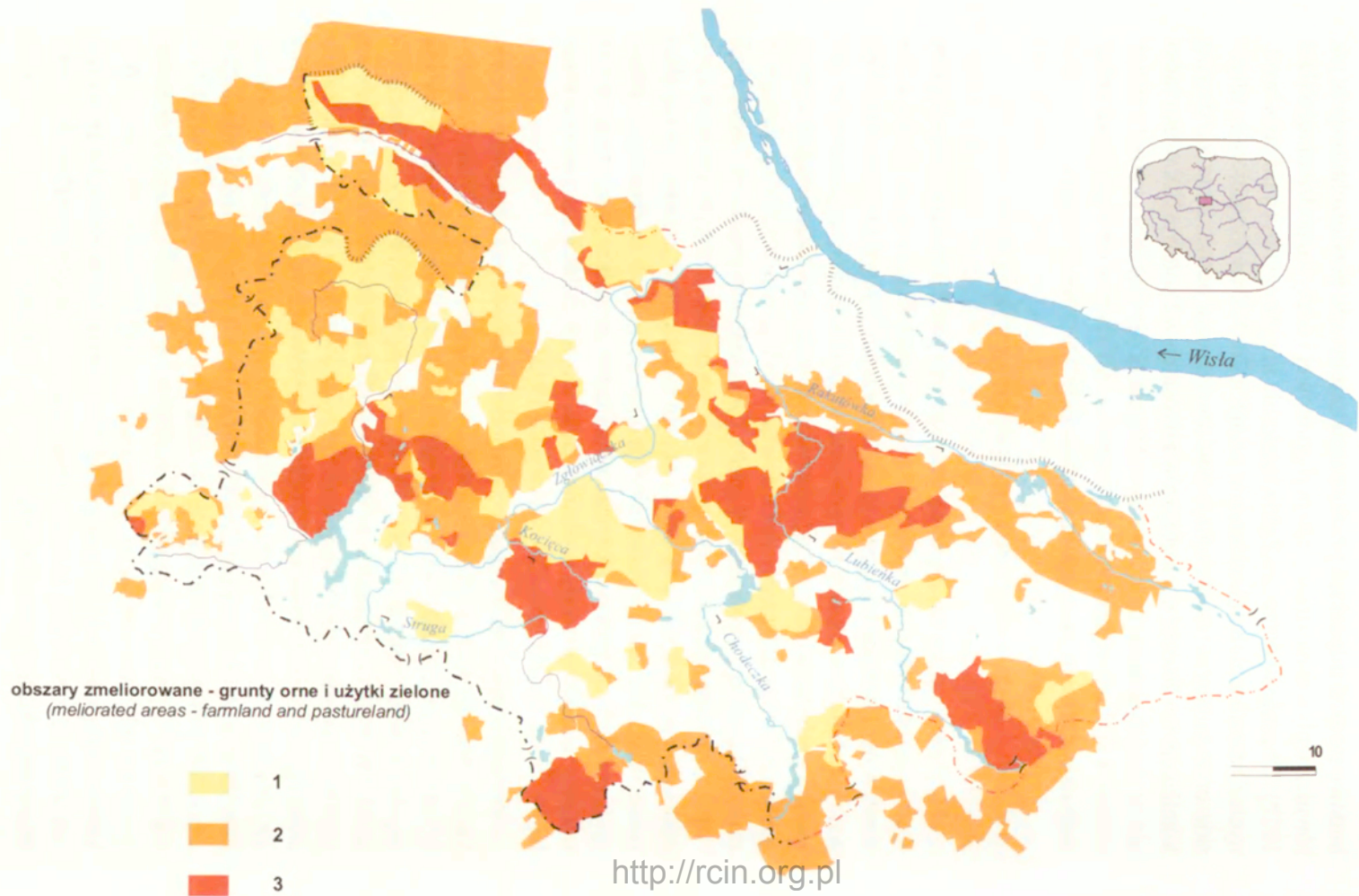
Przegradzanie koryt groblami w celu zabezpieczenia niezbędnej ilości wody, budowa dodatkowych koryt doprowadzających wodę do młyna (tzw. młynówki) zmieniały rzeźbę terenu i układ sieci hydrograficznej. Człowiek poprzez

budowę stawów młyńskich przekształcał zasoby wód powierzchniowych, jak również wpływał na zmiany retencji gruntowej i odpływu podziemnego (Łoś 1978). Obecnie w dorzeczu Zgłowiączki nie ma już czynnych młynów wodnych. Ostatnie z nich zlikwidowano w latach 70. XX wieku. Zbiorniki młyńskie oraz zmiany w morfologii terenu umożliwiają odtworzenie ich dawnej lokalizacji. Na 26 czynnych obiektów młyńskich w I połowie XX wieku jedynie w dwóch miejscach, tj. Nowym Młynie (Zgłowiączka) oraz Kuźnicach (Lubieńka), energia wody wykorzystywana jest obecnie do napędzania turbin małych elektrowni wodnych i produkowania tzw. czystej energii.

3.3. PRACE MELIORACYJNE

Melioracje wodne należą do najważniejszych prac hydrotechnicznych, które zostały przeprowadzone w dorzeczu Zgłowiączki. Stanowią one jeden z elementów ogólnie rozumianego pojęcia melioracji rolnych. J. Ostromięcki (1964) podaje definicję melioracji rolnych jako „*zespół zabiegów organizacyjno-gospodarczych, technicznych i agrotechnicznych, których zadaniem jest wytworzenie na danym obiekcie rolnym trwałej, działającej przez dłuższy czas podstawy do podnoszenia żyzności gleby i podnoszenia produkcji rolniczej.*” Poprzez melioracje należy zatem rozumieć wszystkie zabiegi ulepszające i poprawiające środowisko, które mają na celu zwiększenie produkcji rolnej (Nazaruk 1998). Do zabiegów technicznych zmieniających środowisko, a mających zrealizować powyżej określony cel należą wszelkie prace związane ze sterowaniem obiegu wody w dolinie, cieklu lub zbiornikach, jak również w całej zlewni (Ciepielowski, Gutry-Korycka 1993).

Problem i dyskusje związane z melioracjami wodnymi poruszane są zwykle w czasie lub po wystąpieniu sekwencji lat wilgotnych lub suchych. W pierwszym przypadku, kiedy występuje nadmiar wody wykazuje się pozytywne aspekty przeprowadzonych prac i proponuje się nowe obszary do zmeliorowania. W drugim przypadku, to właśnie melioracje (odwodnienia) podaje się jako główną przyczynę wystąpienia niedoborów wody i wskazuje się na obszary, gdzie melioracje przeprowadzono nieprawidłowo lub niecelowo. Należy jednak mieć na uwadze, że prace melioracyjne wykonywane w zlewniach zawsze są bezpośrednią ingerencją człowieka w naturalny układ stosunków wodnych, powodujących zmianę warunków transformacji opadu w odpływ. Ingerencja ta przejawia się przede wszystkim w zmianie warunków kształtowania się odpływu rzecznoego, tj. jego wielkości, jak i jego reżimu (m.in. Bajkiewicz-Grabowska 1975; Babiński 1988; Głazik 1988; Rotnicka 1988; Kurek 1991; Byczkowski, Mandes 1992; Ciepielowski, Gutry-Korycka 1993; Marszelewski, Szczepanik 1993):



Jeden z lepszych opisów charakteryzujących stosunki wodne ziemi kujawskiej w przeszłości znaleźć można w pracy M. Boruckiego (1882): „*Podług historyi Długosza, cała Wielkopolska i Kujawy w dawnych czasach były płaszczyną bagnistą, najeżoną pagórkami słowiańskiem narzeczem nazwane Ostrowy, stąd też kilka wsi i osad powstało na Kujawach pod nazwiskiem Ostrów lub Ostrówki. Mnóstwo bagien i jezior trudnym czyniły przystęp do grodów i zamków niemi oblanych, wśród których książęta polscy i panowie możniejsi zwykli takowe sadowić.*” (s. 208) oraz „*Czarnoziemy czyli pruchnice w Kujawach polnych są to niezawodnie szlamy po bagnach siłą wieków wyschłych lub sztucznie osuszonych i po upadłych niegdyś lasach liściowych w których gnieździły się chwasty i trawy co stanowi głównie żywotną część ziemi czarnej polnej i ogrodowej w wielu miejscach, na kilka łokci grubą warstwę mających, która nawet na kilkoletnim nawozie obfite wydaje plony, z tej też przyczyny w tej części Kujaw szczególniej Kruświcy i Radziejowa wegetacja roślin bardzo bujna osobliwie rzepaki i pszenica znakomicie się udają, parowanie też na wiosnę i po deszczach trwa tu dłużej niż w innych okolicach, a orka później zaczynać się musi*” (s. 209).

Jedne z pierwszych prac mające na celu zmianę stosunków wodnych na potrzeby rolnicze (prace odwodnieniowe) przeprowadzone zostały w roku 1255 (Mastyński 1956). Polegały one na osuszeniu jeziora we wsi Końcewice. Jednak za rozpoczęcie prac melioracyjnych na Kujawach w większej skali przyjmuje się wiek XIX. Prace te związane były z osuszaniem doliny Noteci, a następnie regulacją Noteci, jak również melioracją gruntów w okolicach Bachorzy. Konsekwencją prac wykonanych w dolinie Noteci było obniżenie się poziomu Gopła o 2,7 m (Mastyński 1956), jak również przekształcanie się siedlisk bagiennych o glebach organicznych torfowych w siedliska grądowe o glebach mineralno – murszowych i murszowatych (Roguski 1988). Według J. Kucińskiego (1956) do roku 1918 zdrenowano na Kujawach (przypis 6, s. 55) aż 85% gruntów ornych. Wielkość ta jest chyba znacznie zawyżona. Trudno jednak polemizować na ten temat, gdyż wymieniony autor w swojej pracy nie podaje źródeł ani metod na jakiej podstawie została obliczona wielkość powierzchni zdrenowanej.

Ryc. 13. Prace melioracyjne w dorzeczu Zgłowiączki

1 – wykonane do roku 1969; 2 – wykonane w latach 1969–1987; 3 – wykonane w latach 1988–1997. Źródło: Opracowanie własne na podstawie *Studium w zakresie potrzeb...*, 1968/1969, *Koncepcji gospodarki wodnej...* 1987, *Mapy urządzeń melioracyjnych województwa wrocławskiego* 1997

Melioration works in the Zgłowiączka basin

1 – until the year 1969; 2 – carried out in the years 1969–1987; 3 – carried out in the years 1988–1997. Source: The author's compilation based on *Studium w zakresie potrzeb...*, 1968/1969, *Koncepcja gospodarki wodnej...* 1987, *Mapa urządzeń melioracyjnych województwa wrocławskiego* 1997

Tabela 15. Prace melioracyjne w dorzeczu Zgłowiączki w latach 1969–1997

	Stan melioracji na rok								
	1969*			1987**			1997***		
	km ²	% powierzchni obszarów zmeliorowanych	% powierzchni dorzecza	km ²	% powierzchni obszarów zmeliorowanych	% powierzchni dorzecza	km ²	% powierzchni obszarów zmeliorowanych	% powierzchni dorzecza
Melioracje łącznie w tym:	293	100	19,6	500	100	33,4	670,4	100	44,8
Sieć drenarska (grunty orne)	267	91,1	17,9	461	92,2	30,8	602	89,8	40,3
Sieć otwartych rowów melioracyjnych (użytki zielone)	26	8,9	1,7	39	7,8	2,6	65	9,7	4,3
Nawodnienia (deszczownie)	-	-	-	-	-	-	3,4	0,5	0,2

* – na podstawie *Studium w zakresie potrzeb...*, 1968/1969 – część opisowa. Dane zawarte w opracowaniu obejmują całe dorzecze Zgłowiączki.

** – na podstawie *Koncepcji gospodarki wodnej...* 1987. Dane obliczono na podstawie załączników kartograficznych zawartych w opracowaniu, nie obejmują wschodniego fragmentu dorzecza należącego do byłego województwa płockiego.

*** – na podstawie *Mapy urzędzeń melioracyjnych województwa wrocławskiego* 1997. Obliczone dane nie obejmują wschodniego fragmentu dorzecza należącego do byłego województwa płockiego.

Prace odwodnieniowe na Kujawach i Ziemi Dobrzyńskiej do roku 1939 prowadzone były jednak w sposób wybiórczy i lokalny (Szablowski 1993). Meliorowano tylko te części użytków zielonych, które były na stałe bądź okresowo nadmiernie uwilgotnione. Prace melioracyjne w tym okresie polegały przede wszystkim na budowie i odbudowie rowów melioracyjnych, jak również niesystematycznym drenowaniu (drenaż ceramiczny oraz kamienny).

Zasadnicza część prac melioracyjnych na analizowanym obszarze została przeprowadzona po roku 1945 (ryc. 13). Na podstawie informacji uzyskanych w Kujawsko-Pomorskim Zarządzie Melioracji i Urządzeń Wodnych (K-PZMiUW) we Włocławku można wyróżnić w wieloleciu 1945–2003 cztery okresy charakteryzujące się różnym nasileniem prac melioracyjnych:

- 1945–1963 – okres pierwszych systematycznych prac melioracyjnych,
- 1964–1975 – okres intensywnych prac melioracyjnych – drenowanie tradycyjnymi metodami oparte na zastosowaniu pługów drenarskich i koparek,
- 1976–1990 – okres intensywnych prac melioracyjnych – drenowanie bezrowkowe nowoczesnymi technikami wykorzystującymi dreny z PCV, układane maszynami typu Drayente – T1. Technika drenowania bezrowkowego charakteryzuje się dużą wydajnością – średnio 2,5 km drenów na dobę.
- 1991–2003 – prace związane z odbudową, renowacją oraz modernizacją istniejącej sieci melioracyjnej.

Na podstawie dostępnych materiałów i informacji wykonano analizę rozwoju melioracji w dorzeczu w trzech przekrojach czasowych. Z danych zawartych w tabeli 15 wynika, że łączna powierzchnia obszarów zmeliorowanych do roku 1997 wynosiła ok. 670 km², co stanowi 45% całkowitej powierzchni dorzecza. Główne prace melioracyjne polegały na drenowaniu gruntów ornych. Drenowanie stanowi bowiem ok. 90% wykonanych prac, a powierzchnia dorzecza pokryta jest w ok. 40% siecią drenarską.

Dynamikę prac melioracyjnych w dorzeczu Zgłowiączki w latach 1980–1990 przedstawiono na podstawie danych pochodzących z KPZMiUW we Włocławku (tab. 16). Analiza ta potwierdza, że prace melioracyjne ukierunkowane były na odwodnienie dorzecza. Odprowadzenie nadmiaru wody z gruntów ornych odbywało się głównie poprzez sieć drenarską. W analizowanym dziesięcioleciu zdrenowano 18 702,5 ha gruntów ornych.

Meliorowanie użytków zielonych prowadzono głównie przy pomocy otwartych rowów melioracyjnych. Powierzchnia zmeliorowanych użytków zielonych w latach 1980–1990 łącznie z zagospodarowaniem łąk, wyniosła 594,2 ha. W tym okresie wykonano tylko jedną deszczownię w okolicach Chodcza o powierzchni 336 ha. Uregulowano również 28,8 km rzek.

Tabela 16. Dynamika prac melioracyjnych w dorzeczu Zgłowiączki w latach 1980–1990

Rok	Drenowanie gruntów ornym [ha]	Melioracje użytków zielonych i zagospodarowanie łąk [ha]	Regulacja rzek [km]	Regulacja kanałów [km]	Deszczownie [ha]
1980	1267,0	25,0	-	-	-
1981	1305,0	10,0	1,6	-	336,0
1982	1049,4	20,4	-	-	-
1983	1650,0	184,0	6,6	2,6	-
1984	2077,0	143,0	-	5,0	-
1985	1952,0	65,0	3,7	-	-
1986	2384,0	-	1,8	1,8	-
1987	2240,0	57,0	0,7	1,8	-
1988	2094,0	-	1,2	-	-
1989	1547,5	47,5	-	2,0	-
1990	1136,6	40,5	-	-	-
Suma	18 702,5	592,4	15,6	13,2	336,0

Zestawienie nie obejmuje wschodniej części dorzecza należącej do byłego woj. płockiego

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych K-PZMiUW we Włocławku

Rozmieszczenie zdrenowanych gruntów ornym w dorzeczu Zgłowiączki pokrywa się również ściśle z wykształceniem litologicznym utworów powierzchniowych. Obszary, na których przeprowadzono najwięcej prac drenarskich zbudowane są głównie z utworów trudno przepuszczalnych – głównie gliniastych, mułkowych i ilastych. Szczególnie dużym natężeniem prac drenarskich charakteryzuje się płaska równina morenowa (Równina Inowrocławska i północna część Pojezierza Kujawskiego) o niewielkich różnicach wysokości względnej. Na tak ukształtowanym terenie, cechującym się niewielkim spadkiem oraz trudno przepuszczalnym podłożem ograniczony zostaje spływ powierzchniowy. Woda pochodząca z wiosennych roztopów oraz letnich opadów długo stagnuje na powierzchni terenu uniemożliwiając prowadzenie prac polowych. Z. Brenda (1998) zaliczył ten obszar do hydrokompleksu ewapotranspiracyjnego, gdzie w procesie krążenia wody wyraźnie dominuje parowanie nad odpływem, co jest spowodowane bardzo słabą infiltracją wody. Jest to jednocześnie obszar występowania najbardziej urodzajnych gleb, zaliczonych do klas bonitacyjnych od I do III.

Prace melioracyjne ukierunkowane na odwodnienie obszaru dorzecza Zgłowiączki spowodowały przede wszystkim:

– grawitacyjne odprowadzenie nadmiaru wody drenami do rowów melioracyjnych. Proces ten przyczynił się do przyspieszenia odpływu wody w okresie wiosennych roztopów oraz opadów letnich, a w konsekwencji do koncentracji odpływu w krótkim okresie czasu. Szybszy odpływ wody ze zlewni siecią drenarską doprowadził również do wcześniejszego wystąpienia niskich przepływów w rzece, pogłębił je oraz wydłużył czas ich trwania.

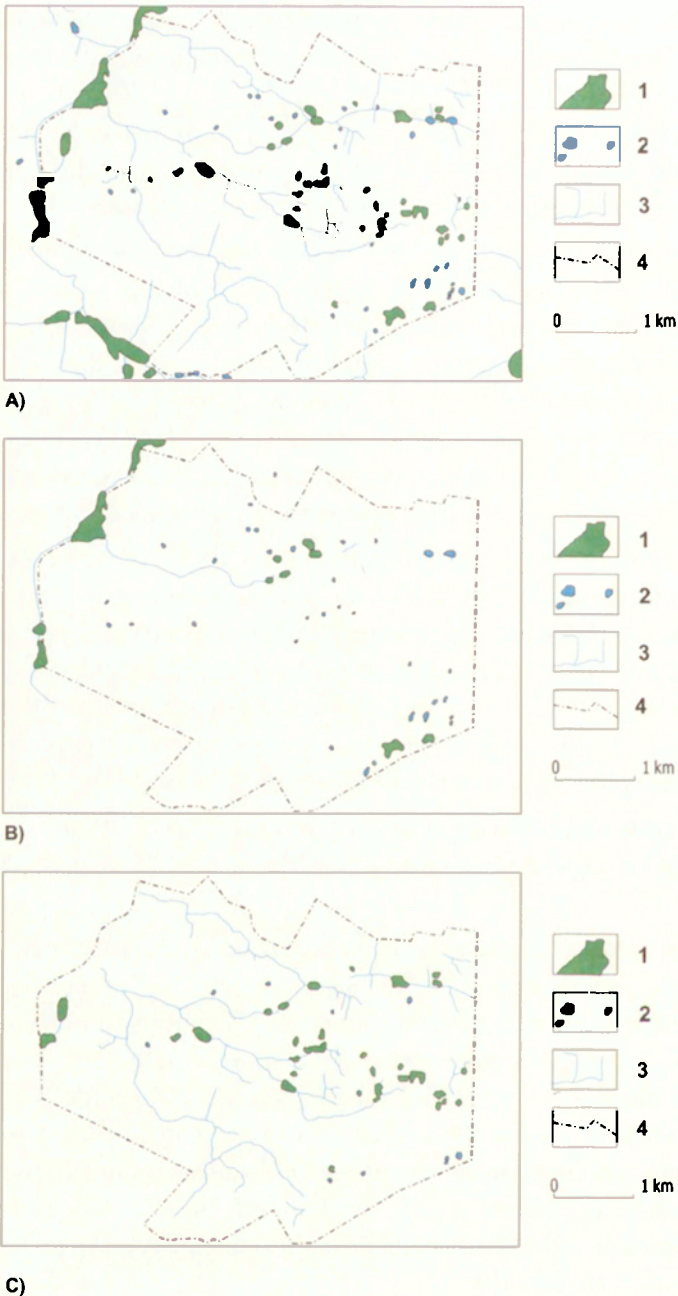
– zmniejszenie gęstości sieci hydrograficznej (ryc. 14, ryc. 15). System drenów przejmuje funkcję odprowadzania wody rowami otwartymi. Rury drenarskie zakładano bowiem w miejscach istniejących rowów, które z kolei zasypywano i włączano do gruntów ornych. Długość sieci rowów otwartych w granicach obiektu drenarskiego Kuźnice-Wola Nakonowska (powierzchnia obiektu wynosi 1397,67 ha) przed drenowaniem wynosiła 12,7 km, a przeprowadzone prace spowodowały jej zmniejszenie do 2,2 km. W przypadku obiektu Kowal zlikwidowano rowy o łącznej długości 6,5 km (Jaworowski i in. 1996).

– obniżenie poziomu wody gruntowej od 0,5 do 1 m – zwiększając tym samym strefę aeracji. Wielkość obniżenia się poziomu wody gruntowej uzależniona jest od głębokości na jakiej położono rury drenarskie (sączki i zbieracze) oraz rozstawienia ich między sobą w terenie. Najczęściej drewny zakładano na głębokości 0,9 m, a ich przeciętny rozstaw wahał się od 14 do 32 m (w zależności od rodzaju gruntu, np. dla gruntów lekkich – piasków luźnych i słabogliniastych wynosił on ponad 25 m), średnio 14–17 m.

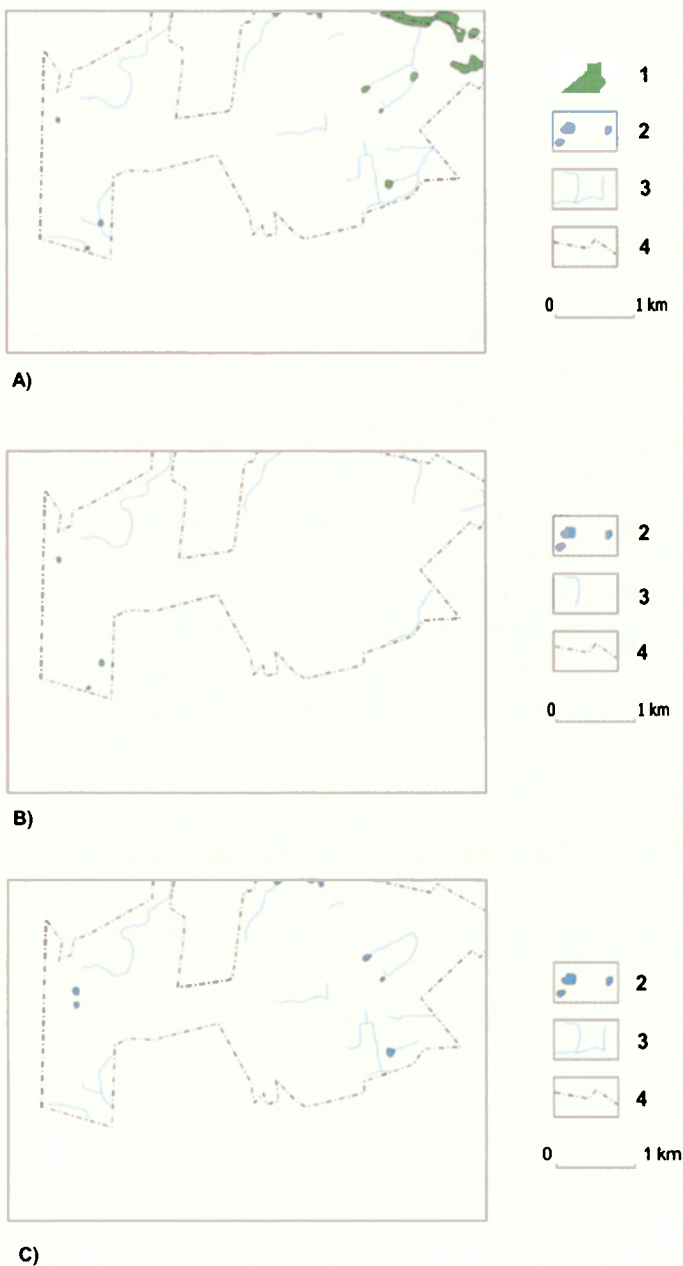
– zmniejszenie powierzchni jezior – w latach 1925–1930 ÷ 1978–1982 zmniejszyło swoją powierzchnię 45 jezior (ryc. 8) o 351,6 ha, tj. 19,76% (Bartczak 2003a).

– całkowite wyschnięcie większości oczek wodnych i mokradeł, spowodowane przede wszystkim obniżeniem się poziomu wody gruntowej, ale również włączeniem ich w system odwadniający. W granicach obiektu melioracyjnego Kuźnice-Wola Nakonowska, na skutek melioracji, liczba oczek wodnych i niewielkich mokradeł zmniejszyła się z 76 szt. do 37 szt., natomiast w granicach obiektu Kruszynek – Kolonia Święte II liczba oczek wodnych zmniejszyła się z 176 szt. do 106 szt. (Jaworowski i in 1996). Proces ten w innych częściach dorzecza (m.in. w okolicach Brześcia Kuj.) spowodowany był również przez błędy w projektowaniu i późniejszej realizacji systemów melioracyjnych (Ilnicki 1984).

– zwiększenie retencji użytecznej gleby, poprzez zmianę jej uwilgotnienia. Prowadzi to do zmian w porowatości i przepuszczalności gleby (Śniadowski 1984). Jednocześnie w miarę wzrostu infiltracji zmniejszyła się wielkość spływu powierzchniowego.



Ryc. 14. Obiekt melioracyjny Kuźnice – Wola Nakonowska (wg P. Jaworowski i in. 1996). A) stan przed melioracją; B) stan po melioracji; C) elementy usunięte; 1 – mokradła; 2 – drobne zbiorniki wodne; 3 – cieki; 4 – granica obiektu
 The Kuźnice – Wola Nakonowska melioration structure (from P. Jaworowski et al. 1996). A) before melioration; B) after melioration; C) removed elements; 1 – bogs; 2 – small water reservoirs; 3 – rivers; 4 – border of the objects



Ryc. 15. Obiekt melioracyjny Kowal (wg P. Jaworowski i in. 1996). A) stan przed melioracją; B) stan po melioracji; C) elementy usunięte; 1 – mokradła; 2 – drobne zbiorniki wodne; 3 – ciek; 4 – granica obiektu

The Kowal melioration structure (from P. Jaworowski et al. 1996). A) before melioration; B) after melioration; C) removed elements; 1 – bogs; 2 – small water reservoirs; 3 – rivers; 4 – border of the objects

– wydłużenie okresu wegetacyjnego, wynikające z możliwości wcześniejszego rozpoczęcia prac polowych o 2–3 tygodnie oraz przyrost plonów roślin uprawnych – buraków cukrowych, rzepaku, pszenicy i ziemniaków (Jaworowski i in. 1993; Jaworowski i in. 1996).

Oceny dotyczące wpływu wykonanych prac melioracyjnych (odwodnieniowych) są różne. Z jednej strony ocenia się poprawność wykonanych odwodnień pod kątem ekonomicznych korzyści wynikających ze zwiększenia produkcji rolnej. Z drugiej zaś strony dokonuje się oceny pod kątem poprawności i celowości ich wykonania oraz wpływu odwodnień na środowisko przyrodnicze. W pracy P. Jaworowskiego i in. (1996) obok pozytywnej roli melioracji, przejawiającej się poprawą wartości produkcyjnej gleb oraz zwiększeniem plonowania, wskazuje się również na negatywne oddziaływanie odwodnień na środowisko przyrodnicze. Autorzy tego opracowania podkreślają aby założenia melioracyjne były zgodne z potrzebami określonymi w planach przestrzennego zagospodarowania, a projekty melioracyjne uwzględniały nie tylko korzyści wynikające ze zwiększenia produkcji rolniczej, ale również podstawowe zasady ochrony i kształtowania środowiska. W konsekwencji należy więc większą uwagę skupić na drenowaniu niesystematycznym, innych sposobach odwadniania (bruzdy czy agromelioracje) oraz starać się spowalniać odpływ wody na terenach nie użytkowanych rolniczo. Również P. Ilnicki (1984) wskazuje na potrzebę zrezygnowania z odwadniania nawet najmniejszych obniżen terenowych, dokonania wnikliwej analizy celowości odwadniania torfowisk oraz ochronę zadrzewień śródpolnych.

4. ODPIY W RZECZNY

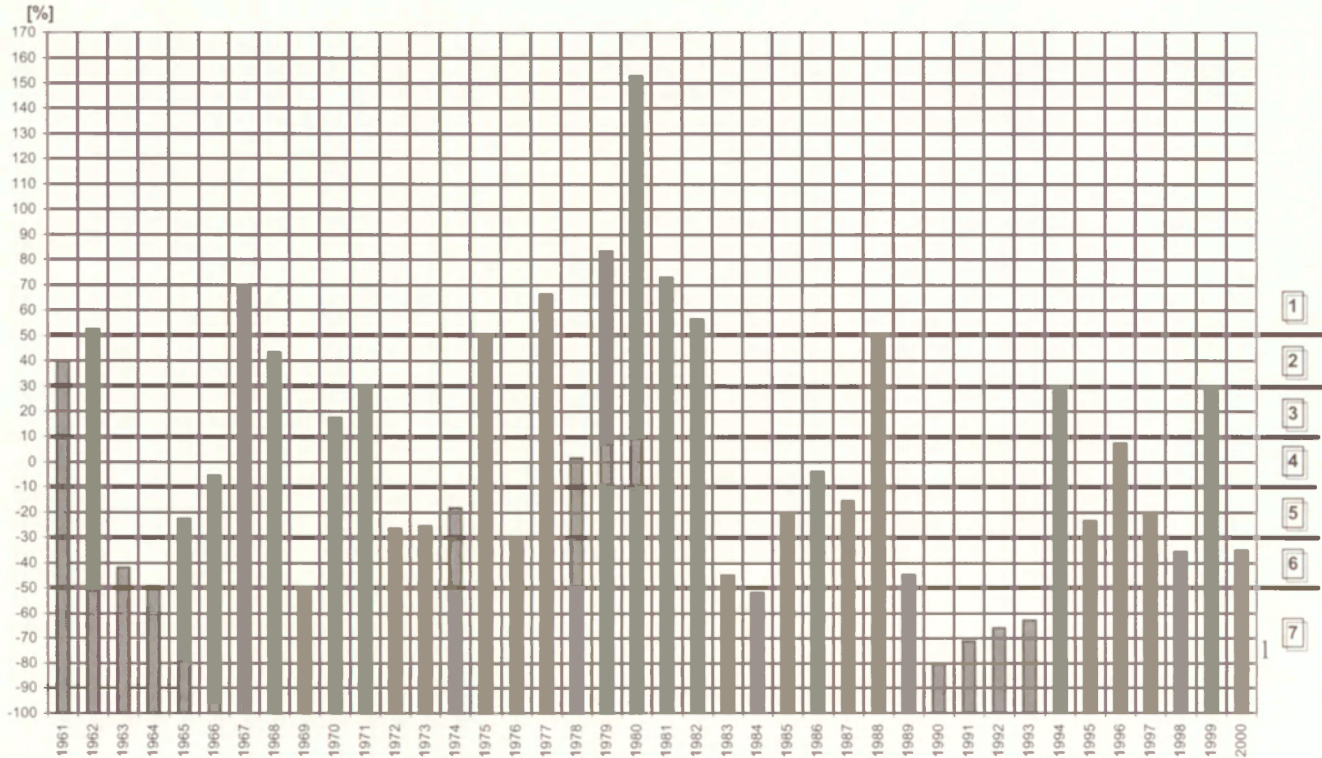
4.1. ZMIENNOŚĆ ODPIY WU

Z analizy, którą przeprowadziła B. Fal (1993) wynika, że zmienność odpływu rocznego z obszaru Polski jest stosunkowo duża, o czym świadczy stosunek maksymalnego (89,9 km³ w roku 1981) i minimalnego (37,6 km³ w roku 1954) rocznego odpływu, który wynosi 2,4. Jej badania pokazują, że odpływ oraz opady atmosferyczne w latach 1901–1990 nie wykazują stałej tendencji zmian, a jedynie wahają się wokół wartości średniej. Średnia wartość odpływu z obszaru Polski została oszacowana na 61,5 km³.

Przestrzenne zróżnicowanie średniego rocznego odpływu jednostkowego na obszarze Polski w wieloleciu 1951–1970 zostało przedstawione przez A. Dobiję (1986). Z jego rozważań wynika, że najwyższe wartości średniego odpływu jednostkowego dochodzące do ok. 21 dm³s⁻¹km² notuje się w wysokogórskiej zlewni Dunajca, natomiast najniższe wartości (do 2,2–2,5 dm³s⁻¹km²) notowane są w zlewniach rzek południowej części Pojezierza Wielkopolskiego. Z kolei najwyższe średnie minimalne odpływy jednostkowe obliczone przez J. Stachy i in. (1970) są charakterystyczne dla rzek Pojezierza Zachodniego. Wynoszą one ponad 5 dm³s⁻¹km². Najniższe wartości średnich minimalnych odpływów jednostkowych, wynoszące poniżej 0,25 dm³s⁻¹km² notowane są w zlewni górnej Noteci oraz środkowej Warty.

Analizę wielkości i zmienności odpływu rzecznego z dorzecza Zgłowiączki przeprowadzono oddzielnie dla lat wilgotnych, przeciętnych i suchych. Kryterium, jakim posłużono się do wydzielenia lat różniących się wielkością odpływu, było procentowe odchylenie wielkości odpływu w danym roku hydrologicznym w stosunku do wartości średniej wieloletniej. Klasyfikację roku hydrologicznego pod względem wilgotności przeprowadzono według schematu zamieszczonego w tabeli 17 i przedstawiono na rycinie 16.

Z wielolecia 1961–2000 wybrano po cztery lata charakteryzujące się odpływem spełniającym w.w. kryterium i przeprowadzono analizę statystyczną w celu porównania lat wilgotnych, przeciętnych i suchych. Obliczenia statystyczne przeprowadzono na podstawie dobowych wartości przepływów. Określono również czas trwania przepływów wysokich, średnich i niskich w wybranych latach.



Ryc. 16 Procentowe odchylenie odpływu od średniej wieloletniej z dorzecza Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda w wieloletniu 1961–2000. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW. 1 – lata skrajnie wilgotne; 2 – lata bardzo wilgotne; 3 – lata wilgotne; 4 – lata przeciętne; 5 – lata suche; 6 – lata bardzo suche; 7 – lata skrajnie suche

Percentage deviation from the mean multi-annual value of the outflow from the Zgłowiączka basin at the Przyruda/Ruda profile in 1961–2000. Source: Calculation of the author based on the data of the IMGW. 1 – extremely wet years; 2 – very wet years; 3 – wet years; 4 – average years; 5 – dry years; 6 – very dry years; 7 – extremely dry years

Tabela 17. Charakterystyka wilgotności roku hydrologicznego

Odchylenie odpływu od średniej wieloletniej [%]	Klasyfikacja roku
powyżej +50	skrajnie wilgotny
+31 ÷ +50	bardzo wilgotny
+11 ÷ +30	wilgotny
+10 ÷ -10	przeciętny
-11 ÷ -30	suchy
-31 ÷ -50	bardzo suchy
poniżej -50	skrajnie suchy

Źródło: Opracowanie własne

W okresie 40 lat, zgodnie z przyjętym kryterium wystąpiło (ryc. 16): 7 lat skrajnie wilgotnych, 4 lata bardzo wilgotne, 4 lata wilgotne, 4 lata przeciętne, 8 lat suchych, 8 lat bardzo suchych, 5 lat skrajnie suchych.

Charakterystyka odpływu dla poszczególnych lat przedstawia się następująco:

1. Lata skrajnie wilgotne:

Średni roczny odpływ z dorzecza Zgłowiączki w latach skrajnie wilgotnych wynosił od $0,20 \text{ km}^3$ w roku 1982 do $0,32 \text{ km}^3$ w roku 1980 (tab. 18). Rok 1980 był najbardziej wilgotnym rokiem w całym wieloleciu. Odchylenie odpływu wynosiło aż 152% normy. W pozostałych latach odchylenie odpływu wahało się od 56% (rok 1982) do 83% (rok 1979). Dla celów porównawczych uśredniono odpływ z czterech analizowanych lat. Kształtował się on na poziomie $0,24 \text{ km}^3$, co daje odpływ jednostkowy ok. $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Odpływ w latach wilgotnych charakteryzował się dużą zmiennością i nieregularnością w porównaniu z latami przeciętnymi i suchymi. Świadczą o tym wysokie wartości wskaźników statystycznych. Współczynnik zmienności dobowych przepływów C_v osiągał wartości powyżej 100% i tak dla roku 1980 wynosił 111,7%, a dla roku 1979 aż 126,1%. Odchylenie standardowe dobowych przepływów osiągało wartości powyżej $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a w roku 1980 nawet $11,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Amplituda przepływów wahała się od $21,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w roku 1981 do $39,82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w roku 1979. Ekstremalna różnica w dobowych przepływach wynosiła $61,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a zanotowano ją w roku 1980, kiedy maksymalny przepływ w dniach 14–16 lipca osiągnął wartość $62,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na tak dużą zmienność i nieregularność przepływów rzeki nizinnej wpływ ma bardzo wiele czynników. Do najważniejszych należą: budowa geologiczna, sposób użytkowania terenu, a w szczególności brak dużych powierzchni leśnych, mocno rozbudowana sieć melioracyjna oraz niewielka ilość obiektów retencji /jezior przepływowych oraz obiektów małej retencji/ mogących magazynować nadmiar wody, a tym samym wyrównywać odpływ.

Tabela 18. Charakterystyka przepływu Zgłowiączki /profil Przyruda/Ruda/ w wieloleciu 1961–2000

Charakter roku	Rok	Q śr. [m ³ s ⁻¹]	Q _o [km ³]	q [dm ³ s ⁻¹ km ²]	Odchylenie odpływu od średniej wieloletniej [%]	Q min [m ³ s ⁻¹]	Q max [m ³ s ⁻¹]	W [-]	Cv [%]	OS [m ³ s ⁻¹]	A [m ³ s ⁻¹]	Czas trwania przepływów [%]		
												Wysokich /powyżej WSQ/	Średnich /pomiędzy WSQ a NSQ/	Niskich /poniżej NSQ/
Wilgotny /skrajnie wilgotny/	1979	7,24	0,23	4,93	+ 83	0,88	40,70	46,25	126,1	9,13	39,82	17,5	82,5	-
	1980	9,98	0,32	6,79	+ 152	1,01	62,20	61,58	111,7	11,15	61,19	22,4	77,6	-
	1981	6,79	0,21	4,62	+ 72	1,59	23,40	14,72	74,2	5,04	21,81	26,6	73,4	-
	1982	6,18	0,20	4,21	+ 56	0,56	31,30	55,89	90,6	5,60	30,74	18,4	79,1	2,5
	średnia	7,55	0,24	5,14	-	-	-	-	-	-	-	21,5	78,0	0,5
Normalny	1966	3,74	0,12	2,55	- 5	0,77	15,30	19,87	93,3	3,49	14,53	7,7	92,0	0,3
	1978	4,02	0,13	2,74	+ 2	0,72	9,46	13,14	61,4	2,47	8,74	-	99,2	0,8
	1986	3,80	0,12	2,59	- 4	0,40	14,00	35,00	81,3	3,09	13,60	3,8	91,3	4,9
	1996	4,24	0,13	2,89	+ 7	1,10	28,00	25,45	90,3	3,83	26,90	8,7	91,3	-
	średnia	3,95	0,13	2,69	-	-	-	-	-	-	-	5,0	93,5	1,5
Suchy /skrajnie suchy/	1990	0,79	0,03	0,54	- 80	0,16	2,00	12,50	60,8	0,48	1,84	-	41,1	58,9
	1991	1,14	0,04	0,78	- 71	0,28	2,38	8,50	48,2	0,55	2,10	-	67,1	32,9
	1992	1,35	0,04	0,92	- 66	0,22	5,25	23,86	81,5	1,10	5,03	-	58,5	41,5
	1993	1,47	0,05	1,00	- 63	0,29	4,13	14,24	64,6	0,95	3,84	-	66,3	33,7
	średnia	1,19	0,04	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	58,2	41,8
1961–2000	-	3,95	0,13	2,69	0	0,16	62,20	388,7	108,7	4,29	62,04	7,4	83,1	9,5

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW.

Q śr – średni roczny przepływ, Q_o – średni roczny odpływ, q – średni roczny odpływ jednostkowy, Q min – minimalny roczny przepływ, Q max – maksymalny roczny przepływ, W – wskaźnik nieregularności – iloraz wartości maksymalnej [Q max] i minimalnej [Q min], Cv – współczynnik zmienności – iloraz odchylenia standardowego i wartości średniej z analizowanego okresu, OS – odchylenie standardowe – pierwiastek kwadratowy z przeciętnej kwadratów odchyżeń od wartości średniej, A – amplituda – różnica pomiędzy wartością maksymalną [Q max] i minimalną [Q min], WSQ – najwyższy średni przepływ roczny z wielolecia, NSQ – najniższy średni przepływ roczny z wielolecia

Czas trwania przepływów wysokich wahał się od 17,5% (rok 1979) do 26,6% (rok 1981). W latach wilgotnych dominowały przepływy średnie, których czas trwania wynosił od 73,4 do 82,5%. Przepływy niskie praktycznie nie występowały. Średnio w latach wilgotnych czas trwania przepływów wysokich stanowił ok. 21%, a średnich ok. 78% roku hydrologicznego.

2. Lata przeciętne:

Średni roczny odpływ w latach przeciętnych kształtował się na poziomie $0,12 \div 0,13 \text{ km}^3$ (tab. 18). Uśredniony przepływ z wyróżnionych lat wynosił $3,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a więc tyle co średni przepływ z wielolecia 1961–2000. Jednostkowy odpływ z dorzecza wahał się pomiędzy $2,5$ a $2,9 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$. Średni odpływ jednostkowy z dorzecza oszacowano na $2,69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$. Statystyczne miary zmienności przepływów przedstawiają się następująco: wskaźnik zmienności dobowych przepływów C_v wahał się od 61,4% (rok 1978) do 93,3% (rok 1966), odchylenie standardowe dobowych przepływów określono na poziomie od $2,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (rok 1978) do $3,83 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (rok 1996), a amplituda tychże wynosiła od $8,74 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (rok 1978) do $26,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (rok 1996).

Czas trwania przepływów średnich w latach przeciętnych wynosił od ok. 91% do ok. 99%. Średnio czas trwania przepływów średnich osiągał wartość 93,5%. Przepływy wysokie średnio stanowiły 5,0%, a przepływy niskie 1,5% czasu trwania przepływów w przeciętnym roku hydrologicznym.

3. Lata skrajnie suche:

Średni roczny odpływ w latach skrajnie suchych wynosił od $0,03 \text{ km}^3$ w roku 1990 do $0,05 \text{ km}^3$ w roku 1993 (tab. 18). Odchylenie odpływu wynosiło wtedy wartości odpowiednio – 80% i – 60%. Uśredniona wartość odpływu z lat 1990–1993 wynosiła $0,04 \text{ km}^3$. Średni roczny odpływ jednostkowy wahał się od $0,5$ do $1,0 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$. Minimalny odpływ jednostkowy osiągnął zaledwie $0,11 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$ w roku 1990 (01.IX) i nie przekroczył wartości $0,2 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$ w roku 1993. Średnio wynosił on $0,81 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$. Przepływy w czasie trwania lat skrajnie suchych były bardzo wyrównane. Świadczy o tym wielkość wskaźników statystycznych. Wskaźnik nieregularności przepływów wynosił od 8,5 do ok. 24, odchylenie standardowe nie przekraczało $1,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a różnica pomiędzy ekstremalnymi przepływami w roku wahała się w przedziale od $1,84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ do $5,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Zmienność przepływów w okresie skrajnie suchym była mniejsza od zmienności w latach skrajnie wilgotnych czy przeciętnych. Współczynnik zmienności przepływów określony został na poziomie od ok. 48% do ok. 65%. Wyrównany i stosunkowo niewiele zmieniający się w czasie przepływ w latach skrajnie suchych świadczy o stałym i równomiernym w ciągu roku zasilaniu rzeki wodami gruntowymi. Wyrównany przepływ w całym roku hydrologicznym świadczy również o deficycie opadów w półroczu

zimowym, które akumulują się na powierzchni gruntu w postaci pokrywy śnieżnej, a następnie w czasie roztopów w okresie wiosennym zasilają rzekę oraz uzupełniają zasoby wód gruntowych.

W latach skrajnie suchych czas trwania przepływów niskich wynosił średnio ok. 42%. W poszczególnych latach osiągał on wartości od ok. 33% w roku 1991, aż do ok. 59% w roku 1990. Przepływy średnie stanowiły przeciętnie 58%, a przepływy z przedziału wysokich nie występowały.

Średnia wielkość odpływu z lat 1961–2000 określona została na poziomie $0,13 \text{ km}^3$, co w przeliczeniu na odpływ jednostkowy daje $2,69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Amplituda przepływów dobowych dla całego wielolecia wynosiła $62,04 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Wskaźniki statystyczne przedstawiają się następująco: odchylenie standardowe = $4,29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, współczynnik zmienności $C_v = 108,7\%$, a wskaźnik nieregularności przepływów dobowych z 40-letnia – ok. 389. Duża wartość wskaźnika nieregularności wynika z długości okresu przyjętego do analizy. W okresie tym wystąpiły bowiem lata skrajnie wilgotne oraz skrajnie suche, których wartości znacznie odbiegały od średniej. Pod względem czasu trwania przepływów dominowały przepływy z zakresu przepływów średnich, stanowiły one 83,1%. Czas trwania przepływów niskich wynosił 9,5%, a wysokich 7,4%.

R. Glazik (1970) analizując stosunki wodne powiatu wrocławskiego określił średni roczny przepływ rzeki Zgłowiączki w profilu wodowskazowym Przyruda z 10-letnia 1950–1959 na $3,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Daje to średnią roczną sumę odpływu rzędu $0,11 \text{ km}^3$. W okresie tym średni roczny przepływ wahał się od $1,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ w latach 1952 i 1954 do $6,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ w roku 1958.

Analizę rozkładu przepływów oraz charakterystycznych (WWQ, SWQ, SSQ, SNQ i NNQ) w roku hydrologicznym (tab. 19) oraz w półroczach: zimowym (tab. 20) i letnim (tab. 21) dla rzek: Zgłowiączki i Lubieńki przeprowadzono na podstawie maksymalnych (WQ), średnich (SQ) i minimalnych (NQ) przepływów miesięcznych.

Na wszystkich analizowanych posterunkach przepływy charakterystyczne – SWQ, SSQ w półroczu zimowym były wyższe od analogicznych przepływów w półroczu letnim. Udział średniego odpływu z półrocza zimowego w analizowanych posterunkach kształtował się na poziomie 67% – posterunek Przyruda/Ruda i 70% – posterunek Marianki (Zgłowiączka) oraz 69% – posterunek Nowa Wieś (Lubieńka) średniego rocznego odpływu (ryc. 17). Na wszystkich posterunkach opadowych tak w dorzeczu, jak również w najbliższym jego otoczeniu opady atmosferyczne w półroczu od listopada do kwietnia osiągały wielkość od ok. 35% do ok. 40% sumy rocznej (ryc. 6).

Tabela 19. Przepływy charakterystyczne [m^3s^{-1}] oraz odpowiadające im odpływy jednostkowe [$dm^3s^{-1}km^2$] rzeki Zgłowiączki i Lubieńki

	Rok hydrologiczn y (XI – X)								
	WWQ	SWQ	NWQ	WSQ	SSQ	NSQ	WNQ	SNQ	NNQ
	WWq	SWq	NWq	WSq	SSq	NSq	WNq	SNq	NNq
Zgłowiączka Profil Przyruda/Ruda 1961 – 2000	62,20	14,29	2,00	9,98	3,95	0,79	1,75	0,72	0,16
	42,34	9,73	1,36	6,79	2,69	0,54	1,19	0,49	0,11
Zgłowiączka Profil Marianki 1961 – 1979	23,00	9,83	2,88	4,80	2,83	1,09	1,37	0,43	0,12
	22,48	9,61	2,82	4,69	2,76	1,07	1,34	0,42	0,12
Lubieńka Profil Nowa Wieś 1976 – 1988	19,50	6,32	1,84	2,41	1,38	0,48	0,56	0,21	0,04
	47,45	15,38	4,48	5,86	3,36	1,17	1,36	0,51	0,10

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Tabela 20. Przepływy charakterystyczne [m^3s^{-1}] oraz odpowiadające im odpływy jednostkowe [$dm^3s^{-1}km^2$] rzeki Zgłowiączki i Lubieńki – w półroczu zimowym

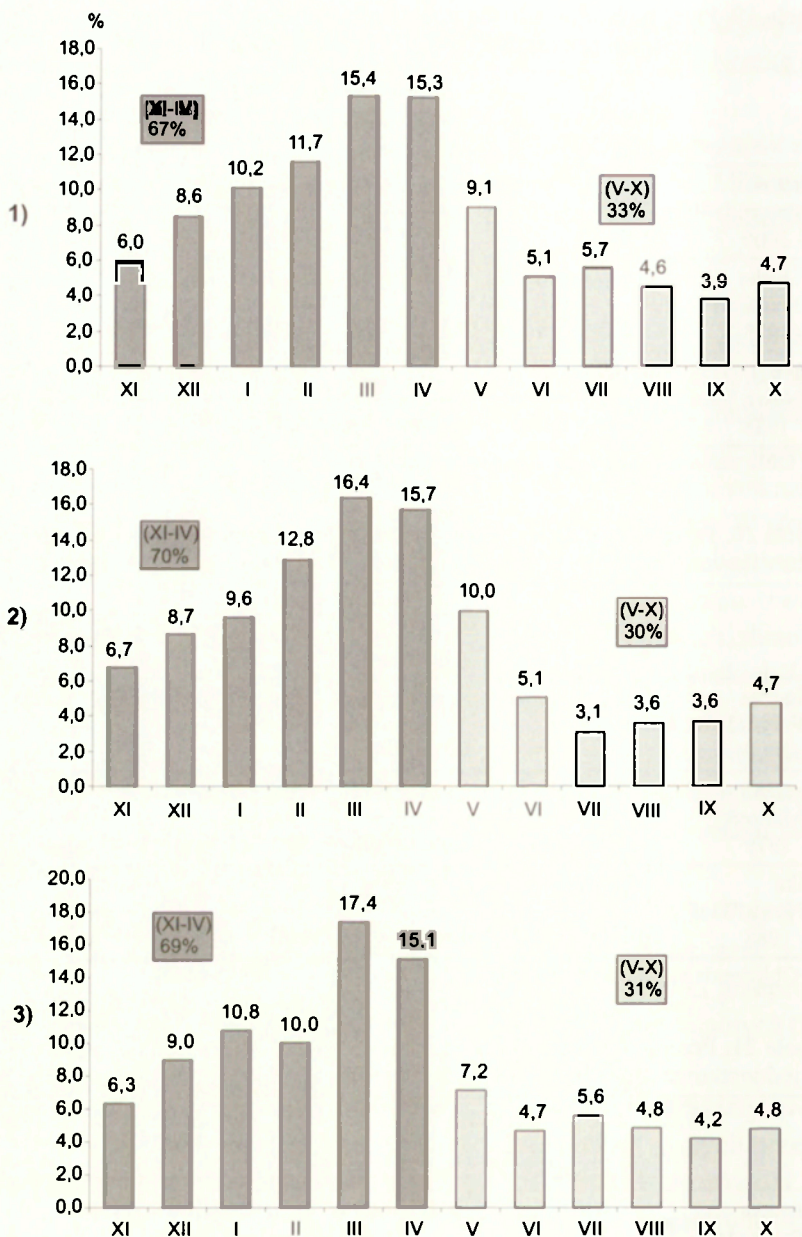
	Półrocze zimowe (XI – IV)								
	WWQ	SWQ	NWQ	WSQ	SSQ	NSQ	WNQ	SNQ	NNQ
	WWq	SWq	NWq	WSq	SSq	NSq	WNq	SNq	NNq
Zgłowiączka Profil Przyruda/Ruda 1961 – 2000	40,7	12,62	2,00	11,88	5,31	1,19	5,40	1,68	0,26
	27,71	8,59	1,36	8,09	3,62	0,81	3,68	1,14	0,18
Zgłowiączka Profil Marianki 1961 – 1979	23,00	9,63	2,88	7,14	3,95	1,59	3,80	1,32	0,18
	22,48	9,41	2,82	6,98	3,86	1,55	3,71	1,29	0,18
Lubieńka Profil Nowa Wieś 1976 – 1988	19,50	5,43	1,84	3,93	1,89	0,73	1,58	0,61	0,08
	47,45	13,21	4,48	9,56	4,60	1,78	3,84	1,48	0,19

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Tabela 21. Przepływy charakterystyczne [m^3s^{-1}] oraz odpowiadające im odpływy jednostkowe [$dm^3s^{-1}km^2$] rzeki Zgłowiączki i Lubieńki – w półroczu letnim

	Półrocze letnie (V-X)								
	WWQ	SWQ	NWQ	WSQ	SSQ	NSQ	WNQ	SNQ	NNQ
	WWq	SWq	NWq	WSq	SSq	NSq	WNq	SNq	NNq
Zgłowiączka Profil Przyruda/Ruda 1961 – 2000	62,2	8,40	1,26	14,56	2,59	0,40	1,75	0,77	0,16
	42,34	5,72	0,86	9,91	1,76	0,27	1,19	0,52	0,11
Zgłowiączka Profil Marianki 1961 – 1979	19,80	5,66	1,97	3,73	1,70	0,58	1,37	0,47	0,12
	19,35	5,53	1,93	3,65	1,66	0,57	1,34	0,46	0,12
Lubieńka Profil Nowa Wieś 1976 – 1988	13,40	2,90	0,86	2,82	0,86	0,21	0,71	0,27	0,04
	32,60	7,06	2,09	6,86	2,09	0,51	1,73	0,66	0,10

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 17. Procentowy udział odpływu średniego miesięcznego oraz półrocza zimowego (XI–IV) i letniego (V–X) w odpływie średnim rocznym rzek: Zgłowiączki w profilach: Przyruda/Ruda – 1 (1961–2000); Mariianki – 2 (1961–1979); Lubieńki w profilu Nowa Wieś – 3 (1976–1988). Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Percentage share of the mean monthly as well as winter (XI–IV) and summer (V–X) half-years outflow of the following rivers: the Zgłowiączka at the Przyruda/Ruda profile – 1 (1961–2000); at the Mariianki profile – 2 (1961–1979); the Lubieńka at the Nowa Wieś profile – 3 (1976–1988). Source: Calculation of the author based on the data of the IMWM

W przypadku średniego przepływu z minimalnych – SNQ oraz najniższych obserwowanych przepływów – NNQ (tab. 20, tab. 21) również najniższe wartości notowane były w półroczu letnim, jednak opady atmosferyczne w tym samym półroczu stanowiły ok. 60–65% sumy rocznej (ryc. 6).

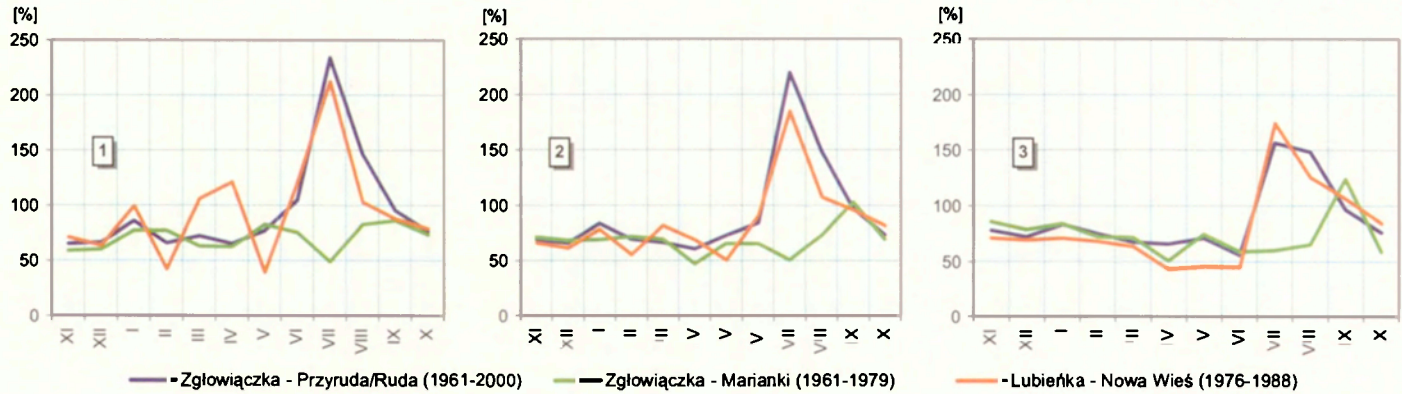
Analizując miesięczne wartości odpływu (ryc. 17) można stwierdzić, że najwyższy średni odpływ z dorzecza Zgłowiączki przypadał na miesiące marzec i kwiecień. W miesiącach tych odpływ wynosił po 15% średniego rocznego odpływu. Najwyższy średni odpływ miesięczny ze zlewni Lubieńki przypadał również na marzec i stanowił 17% średniego rocznego odpływu. Porównując miesięczne sumy opadów atmosferycznych (ryc. 6) należy stwierdzić odwrotną tendencję. W miesiącu marcu i kwietniu suma opadów atmosferycznych stanowiła od 5% do ok. 6% sumy rocznej opadów i jest to jedna z najniższych sum opadów w cyklu rocznym.

Najniższy średni miesięczny odpływ dla dorzecza Zgłowiączki (profil Przyroda/Ruda) notowano w miesiącach wrześniu i październiku, kiedy średni odpływ dla wymienionych miesięcy stanowił tylko ok. 4% średniego rocznego odpływu (ryc. 17). W przypadku rzeki Lubieńki najniższy średni odpływ notowany był tylko w miesiącu wrześniu i stanowił również 4% średniego rocznego odpływu. Opady atmosferyczne stanowiły dla września ok. 8–9%, a dla października ok. 6–8% sumy rocznej (ryc. 6).

W celu uszczegółowienia wielkości odpływu w cyklu rocznym obliczono wskaźniki statystyczne dla maksymalnych (WQ), średnich (SQ) i minimalnych (NQ) przepływów z jednoimiennych okresów (np. listopadów, grudnia itd.). Współczynnik zmienności przepływów przedstawiono na rycinie 18, a wskaźnik nieregularności – na rycinie 19. W opisie nie uwzględniono przepływów z posterunku wodowskazowego Marianki na rzece Zgłowiączce, ponieważ pomimo długiego ciągu obserwacji (1961–1979) nie zawierał się w nim okres skrajnie wilgotny przypadający na lata 1979–1982. Nie uwzględnienie tego okresu wpływa w zdecydowany sposób na wielkość współczynników statystycznych i powodować może błędną interpretację wyników.

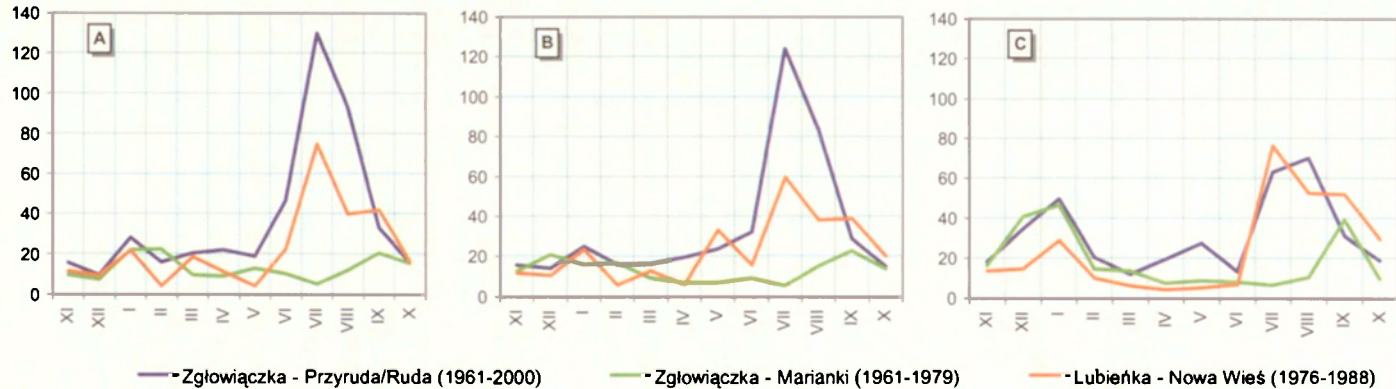
1. Maksymalne przepływy miesięczne.

Najwyższy przepływ w cyklu rocznym na rzece Zgłowiączce zanotowany został w lipcu i wynosił $62,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Maksymalne przepływy w lipcu były nieregularne i charakteryzowały się dużą zmiennością. Świadczą o tym wskaźniki statystyczne, które osiągają najwyższe wartości w porównaniu do innych miesięcy w roku. Wskaźnik nieregularności W wynosi prawie 130, a współczynnik zmienności $C_v = 234\%$. Podobnie kształtowały się maksymalne przepływy lipcowe na rzece Lubieńce. Wartości obliczonych wskaźników statystycznych ($W = 74,5$, $C_v = 212,6\%$) potwierdzają największą nieregularność



Ryc. 18. Współczynnik zmienności (Cv) przepływów maksymalnych (1), średnich (2) i minimalnych (3) w cyklu rocznym na rzece Zgłowiączce i Lubieńce. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Variability coefficient (Cv) of the maximum (1), mean (2) and minimum discharge (3) in the yearly cycle of the Zgłowiączka and the Lubieńka rivers. Source: Calculation of the author based on the data of the IMWM



Ryc. 19. Wskaźnik nieregularności (W) przepływów maksymalnych (A), średnich (B) i minimalnych (C) w cyklu rocznym na rzece Zgłowiączce i Lubieńce. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Irregularity coefficient (W) of the maximum (A), mean (B) and minimum discharge (C) in the yearly cycle of the Zgłowiączka and the Lubieńka rivers. Source: Calculation of the author based on the data of the IMWM

oraz zmienność. Jednak również dość wysoką zmiennością, ale większą regularnością odznaczały się maksymalne przepływy rzeki Lubieńki w miesiącach: kwietniu i marcu – $C_v = 121,4\%$ i $105,9\%$. Najprawdopodobniej przyczyną takiego zróżnicowania było koncentrowanie się odpływu w miesiącach marzec–kwiecień spowodowane wykonanymi pracami melioracyjnymi. Gęsta sieć otwartych rowów odwodnieniowych w zlewni Rakutowki oraz sieć drenarska w zlewni Lubieńki powoduje, obok koncentracji, przyspieszenie odpływu wód roztopowych obejmujące znaczne powierzchnie terenu.

Współczynnik zmienności C_v maksymalnych rocznych przepływów Zgłowiączki (Przyruda/Ruda) z wielolecia 1961–2000 wynosił $79,8\%$, a wskaźnik nieregularności $W = 31,1$. Stosunkowo wysoka zmienność przepływów maksymalnych Lubieńki w miesiącu marcu i kwietniu wynikać może również z nieco odmiennej struktury użytkowania terenu jej zlewni oraz przepuszczalności wodnej wynikającej z budowy geologicznej w stosunku do pozostałej części dorzecza Zgłowiączki.

2. Średnie przepływy miesięczne.

Najwyższe wartości współczynnika zmienności (C_v) i nieregularności (W) przepływów średnich osiągnęte były w lipcu. Jego wartości w lipcu wynosiły odpowiednio: w przypadku rzeki Zgłowiączki $C_v = 219,9\%$, $W = 123,9$, natomiast w przypadku rzeki Lubieńki $C_v = 184,6\%$, $W = 59,6$. W przypadku przepływów średnich na rzece Lubieńce nie zaznaczała się wysoka zmienność w miesiącu marcu i kwietniu. Najmniejszą zmiennością i stosunkowo wysoką regularnością charakteryzowały się przepływy średnie na rzece Zgłowiączce i Lubieńce w miesiącach od lutego do kwietnia.

Współczynnik zmienności C_v średnich rocznych przepływów Zgłowiączki (Przyruda/Ruda) z wielolecia 1961–2000 wynosił $51,2\%$, a wskaźnik nieregularności $W = 12,6$.

3. Minimalne przepływy miesięczne.

Rozkład przepływów minimalnych nawiązywał do wyżej opisanych przepływów maksymalnych i średnich. Najwyższa zmienność i nieregularność przepływów minimalnych rzeki Zgłowiączki rozkładała się na dwa miesiące półroczna letniego: lipiec i sierpień. W przypadku rzeki Lubieńki występowała jedna kulminacja przypadająca na lipiec. Najmniejszą zmienność oraz wysoką regularność przepływy minimalne osiągały w miesiącach od lutego do kwietnia i w czerwcu w przypadku rzeki Zgłowiączki. Dla rzeki Lubieńki taka sytuacja występowała od kwietnia do czerwca. Najniższy przepływ rzek Zgłowiączki i Lubieńki odnotowany został we wrześniu i wynosił odpowiednio $0,16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (01.IX.1990 r) oraz $0,042 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (01.IX.1984 r).

Współczynnik zmienności C_v minimalnych rocznych przepływów Zgłowiączki (Przyruda/Ruda) z wielolecia 1961–2000 wynosił 56,5%, a wskaźnik nieregularności $W = 10,9$.

4.2. FLUKTUACJE ODPLYWU I OPADÓW Z PÓŁROCZA ZIMOWEGO I LETNIEGO

Do oceny wieloletnich fluktuacji odpływu i opadów atmosferycznych przy jednoczesnym określeniu roku, w którym nastąpiły zmiany analizowanych charakterystyk, wykorzystano metodę krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu lub opadu – $\Sigma (K-1)$ (*Hydrologia...* 1995). Ze względu na odrębną analizę okresów półrocznych: zimowego (XI–IV) oraz letniego (V–X) do wzoru (s. 18) podstawiono średnie wartości przepływu oraz sumy opadów atmosferycznych z wymienionych półroczy.

Wieloletnie fluktuacje odpływu z półrocza zimowego i letniego zaprezentowano na rycinie 20, natomiast zmiany w opadach atmosferycznych w półroczu zimowym przedstawiono na rycinie 21, a w półroczu letnim na rycinie 22.

Analizując przepływ Zgłowiączki w półroczu zimowym (ryc. 20) można zauważyć trzy charakterystyczne okresy:

– 1961–1974 (14 lat), w którym nie wystąpiła wyraźna tendencja malejąca czy rosnąca w przebiegu krzywej. W okresie tym zaznaczają się jedynie pewne fluktuacje w odpływie wynikające z wzajemnego przeplatania się półroczy wilgotnych i suchych. Średni odpływ jednostkowy, obliczony dla półroczy zimowych, z dorzecza wyniósł $3,62 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (średnia z wielolecia 1961–2000 wyniosła również $3,62 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Analiza krzywej opadów atmosferycznych na wszystkich posterunkach w dorzeczu potwierdza zgodność kierunków fluktuacji opadów z odpływem w tym okresie (ryc. 21).

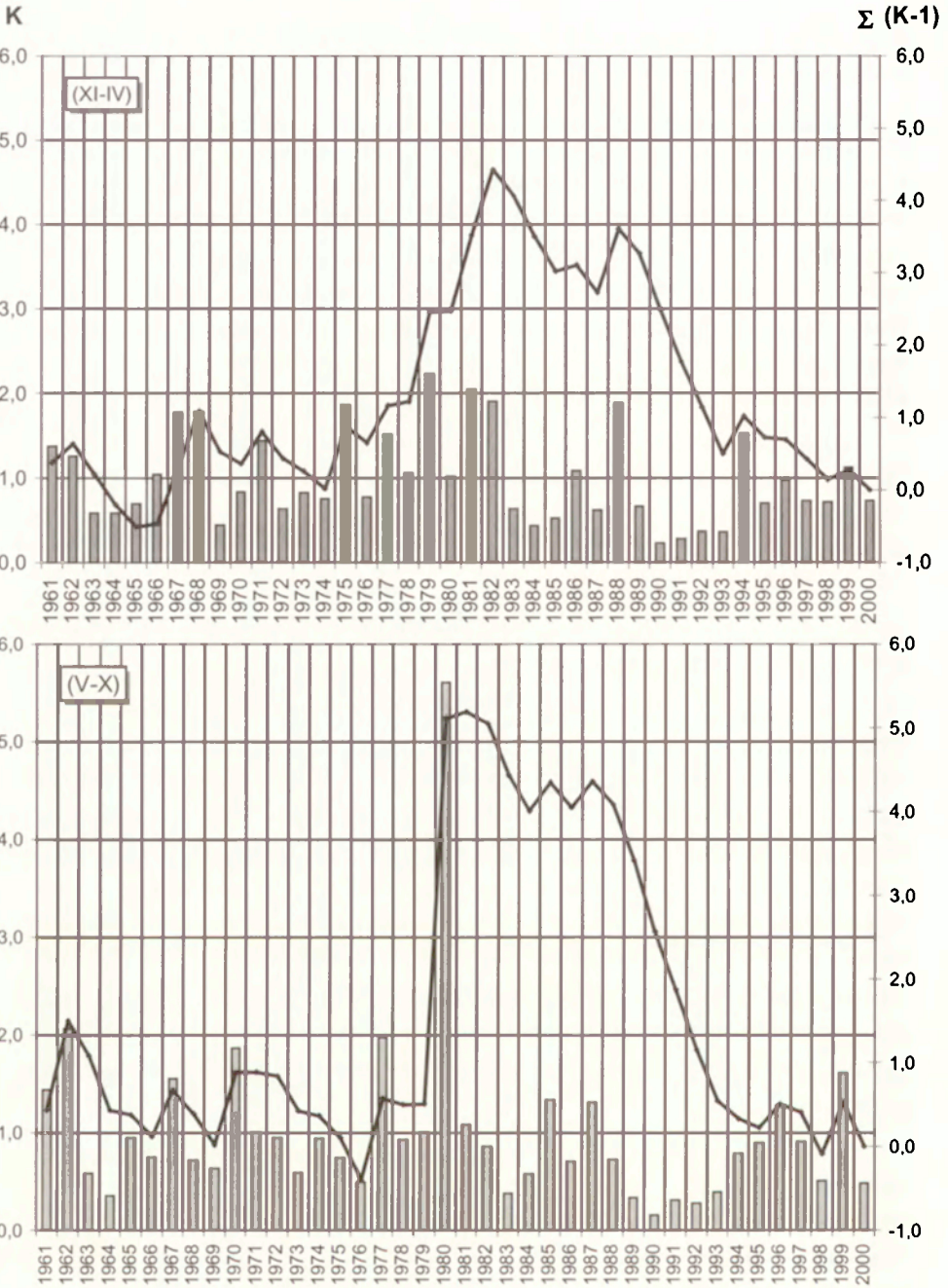
– 1975–1982 (8 lat) – o wyraźnej tendencji rosnącej krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu, co wskazuje na przewagę półroczy zimowych charakteryzujących się odpływem wyższym od średniej z półrocza zimowego obliczonego dla wielolecia. Średni odpływ jednostkowy z dorzecza, obliczony dla półroczy zimowych w tym okresie wyniósł $5,61 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był o ok. 55% wyższy od średniej z wielolecia. W przypadku opadów atmosferycznych na większości posterunków krzywa ma tendencję rosnącą (ryc. 21). W Brześciu Kujawskim i Chodczu rozpoczyna się od roku 1976 i trwa do roku 1983, a na posterunku w Olganowie trwa do roku 1984. Jedynie na posterunkach w Baruchowie w latach 1976–1983 tendencja ta jest wyrównana.

– 1983–2000 (18 lat) – o wyraźnej tendencji malejącej krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu z fluktuacjami w latach 1987–1989 i 1993–1995. W okresie tym przeważały półrocza zimowe, w których odpływ był znacznie niższy od średniej wieloletniej z półrocza zimowego. Średni odpływ jednostkowy z dorzecza wyniósł $2,73 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był o 24,6% niższy od średniej wieloletniej z półrocza zimowego. Na szczególną uwagę zasługują lata 1989–1993 (5 lat), w których średni odpływ jednostkowy z półroczy zimowych wynosił jedynie $1,37 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Kierunek krzywej skumulowanych różnic współczynnika opadów nawiązuje na wszystkich analizowanych posterunkach do nachylenia krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu w tych samych okresach (ryc. 21).

Analogicznie do analizy odpływu z półrocza zimowego, rozpatrując przebieg krzywej skumulowanych różnic współczynnika średniego przepływu w półroczu letnim (ryc. 20), można wyróżnić okresy o odmiennej tendencji w odpływie:

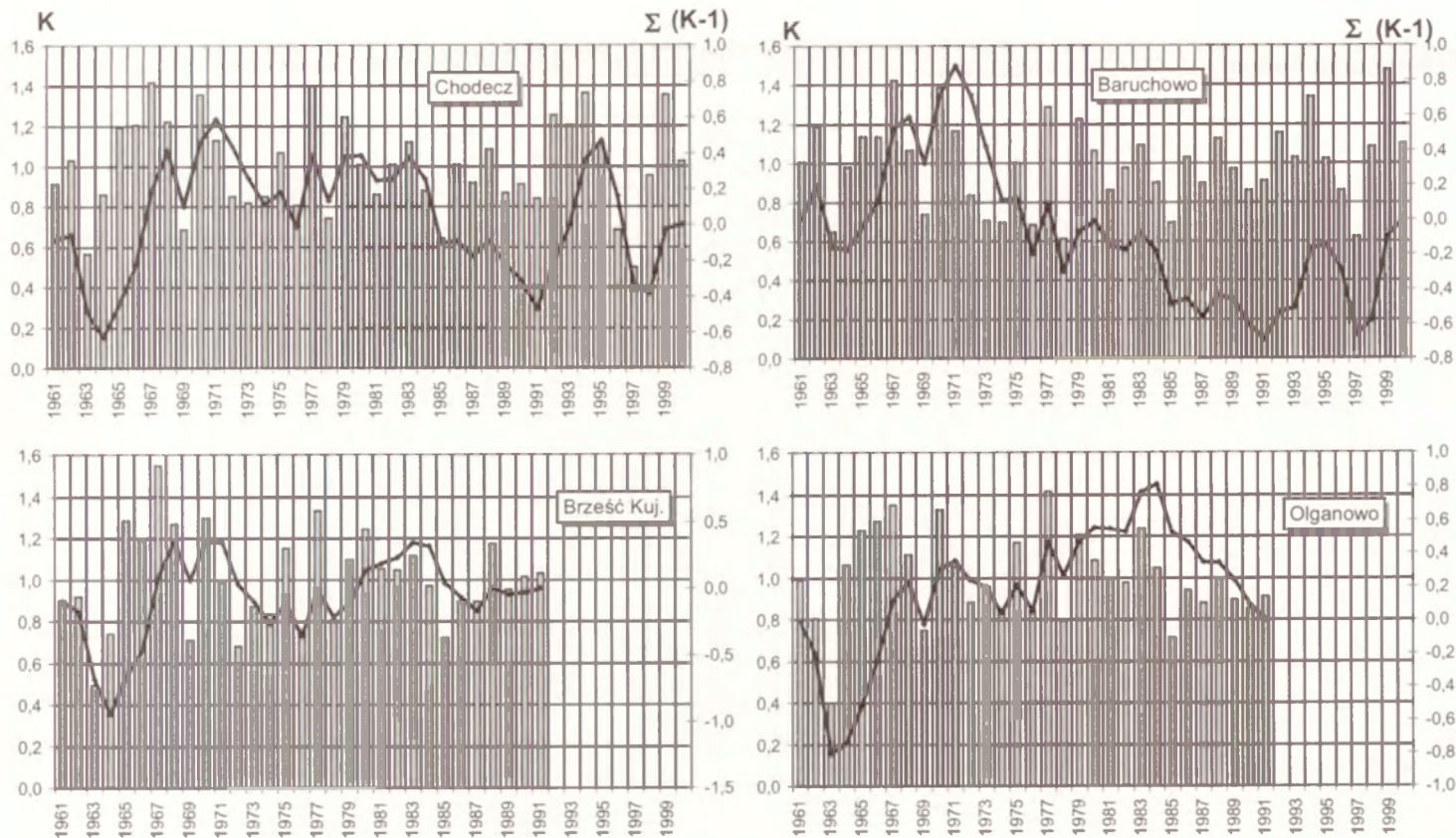
– 1961–1976 (16 lat) z fluktuacjami krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu. Średni odpływ jednostkowy z dorzecza wtedy wyniósł $1,72 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był zbliżony do średniej wieloletniej z półrocza letniego ($1,76 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Tendencje w przebiegu krzywej skumulowanych różnic współczynnika opadów atmosferycznych na wszystkich posterunkach nawiązują do przebiegu krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu do roku 1970. Po roku 1970 krzywa przepływu najbardziej nawiązuje do przebiegu krzywej opadów na posterunku w Baruchowie (ryc. 22). W przypadku pozostałych analizowanych posterunków opadowych, tj. w Chodczu, Olganowie i Brześciu Kujawskim od roku 1969 zaznacza się przewaga lat o opadach w półroczu letnim powyżej średniej. Najprawdopodobniej różnica w danych zmian tendencji opadów i odpływu spowodowana była wysokimi temperaturami powietrza w półroczu letnim, które powodują zwiększone parowanie, jak również zwiększonymi potrzebami wodnymi roślin będących w okresie wegetacji.

– Okres 1977–1981 (5 lat) o wyraźnej tendencji rosnącej krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu, ze szczególnie gwałtowną zmianą *in plus*, jaka wystąpiła w półroczu letnim 1980 roku. Średni odpływ jednostkowy z dorzecza wtedy wyniósł $3,74 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był o 112,5% wyższy od średniej wieloletniej z półrocza letniego. Rosnący kierunek krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu bardzo wyraźnie nawiązuje do przebiegu krzywej skumulowanych różnic współczynnika opadów atmosferycznych (ryc. 22). Okres, w którym przeważają lata o opadach w półroczu letnim powyżej średniej, rozpoczął się w roku 1969 na posterunkach w Chod-

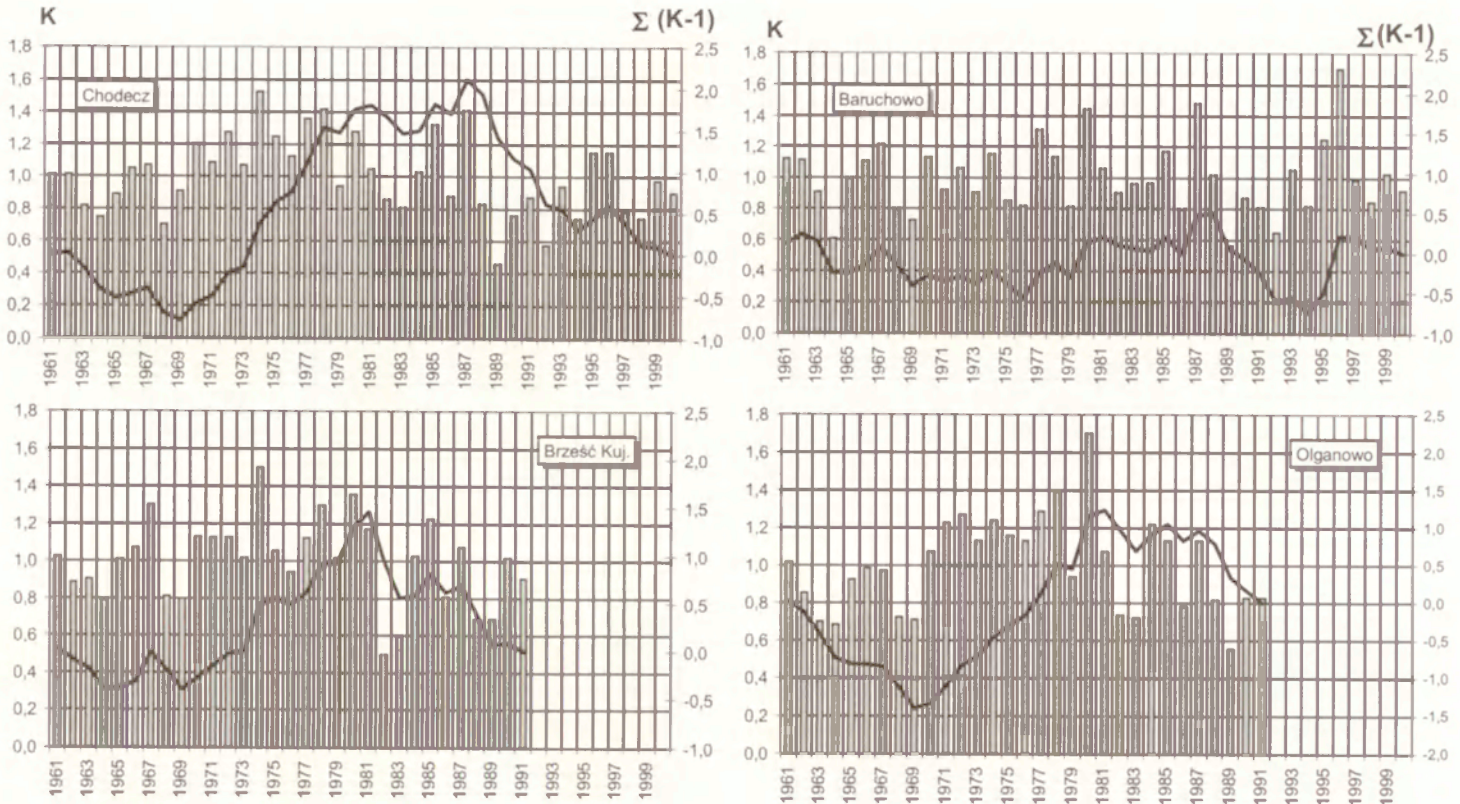


Ryc. 20. Diagram i krzywa kumulacyjna współczynnika „K” średnich przepływów Zgłowiączki z półrocza zimowego (XI–IV) i letniego (V–X) w wieloletniu 1961–2000. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Diagram and cumulative curve of the coefficient “K” of the mean discharge of the Zgłowiączka in the winter half-year (XI–IV) and summer half-year (V–X) in the long-term period between 1961 and 2000. Source: Calculation of the author based on the data of the IMWM



Ryc. 21. Diagram i krzywa kumulacyjna współczynnika „K” sum opadów atmosferycznych na posterunkach w Chodczu, Baruchowie, Brześciu Kuj. i Olganowie z półrocza zimowego (XI–IV) w wieloleciu 1961–2000. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW
 Diagram and cumulative curve of the coefficient “K” of the precipitation sums at the measurement stations in Chodecz, Baruchowo, Brześć Kuj. and Olganowo in the winter half-year (XI–IV) in the long-term period between 1961 and 2000. Source: Calculation of the author based on the data of the IMWM



Ryc. 22. Diagram i krzywa kumulacyjna współczynnika „K” sum opadów atmosferycznych na posterunkach w Chodczu, Baruchowie, Brześciu Kuj. i Olganowie z półrocza letniego (V–X) w wieloletniu 1961–2000. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW
 Diagram and cumulative curve of the coefficient “K” of the precipitation sums at the measurement stations in Chodecz, Baruchowo, Brześć Kuj. and Olganowo in the summer half-year (V–X) in the long-term period between 1961 and 2000. Source: Calculation of the author based on the data of the IMGW

czu, Brześciu Kuj. i Olganowie, i trwał do początku lat 80. W przypadku Baruchowa okres ten rozpoczął się w roku 1976 i trwał do roku 1988.

– Okres 1982–2000 (19 lat) o wyraźnej przewadze półroczy w których odpływ z półrocza letniego był niższy od średniej wieloletniej z półrocza letniego. Średni odpływ jednostkowy wtedy wyniósł $1,28 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$ i był o 37,5% niższy od średniej wieloletniej z półrocza letniego. Na szczególną uwagę zasługuje sekwencja lat 1989–1993 (4 lata), kiedy to średni odpływ jednostkowy (dla półroczy letnich) wyniósł jedynie $0,52 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$. W tych latach tendencja malejąca odpływu pokrywa się najlepiej ze zmianami w wielkości opadów na wszystkich posterunkach (ryc. 22).

4.3. NIŻÓWKI I WEZBRANIA

4.3.1. NIŻÓWKI – KRYTERIUM WYDZIELENIA I PARAMETRY

Zgodnie z definicją zaproponowaną przez M. Ozga-Zielińską (1963, 1964, 1990) **niżówka** jest to okres występowania w rzece przepływów niższych lub równych od wartości przepływu granicznego Q_{GN} i trwający co najmniej określona ilość dni.

Ze względu na różne przyczyny wywołujące wystąpienie niżówki, rok hydrologiczny podzielono na półrocza: zimowe i letnie, i oddzielnie wykonano analizę niżówek półroczy zimowych i półroczy letnich. Taki podział niżówek znajduje swoje uzasadnienie w pracach m.in. Z. Mikulskiego (1959, 1962), M. Ozgi-Zielińskiej (1963, 1964, 1990), A. Tłałki (1979, 1982), D. Wrzeźnińskiego (1996, 1999), M. Ozgi-Zielińskiej, J. Brzezińskiego (1997).

Niżówki półroczy zimowych – powstają w wyniku silnych mrozów. Ograniczony zostaje wtedy spływ powierzchniowy, ponieważ opady w postaci śniegu ulegają retencji powierzchniowej. Przy bardzo niskiej temperaturze niżówka występująca w półroczy zimowym zostaje pogłębiona poprzez zmniejszenie lub całkowite zredukowanie zasilania rzeki przez wody podziemne.

Niżówki półroczy letnich – powstają w wyniku długotrwałego braku zasilania opadami atmosferycznymi. Niżówki są zatem efektem suszy, której rozwój składa się z kilku etapów (Dębski 1967b; Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1993): 1) pierwszym etapem jest brak opadów przy jednoczesnym wystąpieniu wysokiej temperatury powietrza, powodującej zwiększone parowanie – etap ten nazywany jest *suszą atmosferyczną*, 2) w wyniku utrzymywania się suszy atmosferycznej następuje szybkie zmniejszenie się wilgoci w glebie (pogłębiane dodatkowo przez rośliny będące w okresie wegetacji) powodujące *suszę glebową*, 3) dalsze przedłużanie się okresu bezdeszczowego może doprowadzić do wyraźnego ograniczenia zasobów wód podziemnych, co po-

woduje redukcję zasilania gruntowego, obniżenie zwierciadła wód podziemnych oraz zahamowanie zasilania cieków przez wody gruntowe, a tym samym do obniżania się poziomu i przepływu wód powierzchniowych – etap ten określa się mianem *suszy hydrologicznej*. W czasie trwania suszy hydrologicznej powstają najgłębsze i najdłużej trwające niżówki.

Nawiększy i jednocześnie najważniejszy problem w wydzieleniu z hydrogramu przepływu okresu niżówkowego stwarza ustalenie przepływu granicznego niżówki. Według kryterium hydrologicznego M. Ozga-Zielińska (1990), M. Ozga-Zielińska i J. Brzeziński (1997) proponują za przepływ graniczny przyjąć największą wartość przepływu z minimów rocznych (WNQ) lub wartość środkową z minimów rocznych (ZNQ). Jednak przy tak przyjętym kryterium z góry narzuca się ilość wystąpień niżówek w badanym wieloleciu. W pierwszym przypadku niżówka będzie występowała w każdym analizowanym roku. W drugim przypadku niżówki nie będą występowały dokładnie w połowie lat obserwacji, a w pozostałych latach mogą wystąpić jeden lub kilka razy.

Głównym celem opracowania było przedstawienie zmienności odpływu rzecznoego. Tak więc niżówki, których przepływ graniczny zostałby wyznaczony przy pomocy wyżej wymienionych metod, z założenia nie odpowiadałoby celowi pracy. Przyjęto założenie, że niżówki są zdarzeniem wyjątkowym, a więc powinny pojawiać się lata lub ciągi lat, kiedy niżówki nie będą w ogóle obserwowane (lata wilgotne), oraz lata lub ciągi lat, kiedy niżówki pojawią się nawet kilka razy (lata suche).

W związku z takim założeniem, jako przepływ graniczny przyjęto średni z najniższych przepływów miesięcznych z półrocza zimowego i letniego:

– przepływ graniczny niżówek półrocza zimowego $Q_{GNZ} = SNQ_{(XI-IV)}$,

– przepływ graniczny niżówek półrocza letniego $Q_{GNI} = SNQ_{(V-X)}$.

Zdaniem autora tak przyjęty poziom odcięcia pozwala wyodrębnić z hydrogramu przepływu wyjątkowe zdarzenia hydrologiczne i również przy ich pomocy odpowiednio przedstawić zmienność analizowanej charakterystyki (przepływu rzecznoego) w wieloleciu. Jedynym mankamentem jest sztuczny podział roku hydrologicznego na dwa półrocza. Zdarzać się może bowiem, że np.: koniec niżówki półrocza letniego przypada w miesiącach półrocza zimowego kolejnego roku hydrologicznego – w listopadzie lub grudniu (analogicznie koniec wezbrania półrocza zimowego może przypadać w półroczu letnim – w maju). Takie samo kryterium wydzielenia przepływu granicznego przyjęła A. Tłałka (1982), jednak półrocze letnie wydłużyła o jeden miesiąc (listopad) uzasadniając to przedłużaniem się niżówek letnich na miesiące jesienne. W swojej pracy analizowała ona tylko niżówki letnie.

Obok ustalenia przepływu granicznego ważny jest również czas trwania okresu z przepływem równym lub niższym od Q_{GN} . Za niżówkę przyjęto każdy okres z przepływami równymi i niższymi od Q_{GN} , który trwał 10 lub więcej dni. Jeżeli niżówka była przerywana wyższymi (nie przekraczającymi średniego przepływu SSQ z półrocza letniego dla niżówek letnich i SSQ z półrocza zimowego dla niżówek zimowych), ale krótkotrwałymi (nie przekraczającymi 15 dni) przepływami, to czas trwania niżówki oblicza się jako sumę dni z poszczególnych części niżówki (Ozga-Zielińska 1963, 1964).

Schemat wydzielenia okresu niżówkowego z hydrogramu przepływu zaprezentowano na rycinie 23.

W celu pełnego scharakteryzowania niżówek opisuje się je parametrami ilościowymi (ryc. 23). W niniejszej pracy niżówki opisano następującymi charakterystykami:

1. **Początek niżówki** – (określona data roku hydrologicznego) zgodnie z przepływem granicznym niżówki Q_{GN} z półrocza letniego lub zimowego.

2. **Koniec niżówki** – (określona data roku hydrologicznego) zgodnie z przepływem granicznym niżówki Q_{GN} z półrocza letniego lub zimowego.

3. **Czas trwania niżówki (T_N) [dni]** – pełna ilość dni o przepływach równych i niższych od wartości Q_{GN} od dnia ich pojawienia się do ostatniego dnia ich wystąpienia.

4. **Czas opadania krzywej niżówki (T_{ON}) [dni]** – pełna ilość dni od dnia wystąpienia przepływu równego lub niższego od Q_{GN} do dnia, w którym osiągnięte zostaje minimum przepływu. W przypadku kiedy występują dwa lub więcej równorzędne przepływy minimalne w czasie trwania niżówki, czas opadania krzywej niżówki określa się pełną ilością dni od dnia wystąpienia przepływu równego lub niższego od Q_{GN} do osiągnięcia pierwszego minimum.

5. **Czas wznoszenia krzywej niżówki (T_{WN}) [dni]** – pełna ilość dni od dnia następnego po osiągnięciu przepływu minimalnego do ostatniego dnia w którym przepływ był niższy lub równy od Q_{GN} . W przypadku kiedy w czasie trwania niżówki osiągnięte zostają dwa lub więcej równorzędne przepływy minimalne, czas wznoszenia krzywej rozumiany jest jako pełna ilość dni od dnia następnego po osiągnięciu pierwszego minimum do ostatniego dnia, w którym przepływ był niższy lub równy od Q_{GN} .

6. **Najniższy przepływ badanej niżówki ($Q_{min,N}$) [m^3s^{-1}]** – najniższa wartość przepływu dobowego wydzielonej niżówki półrocza letniego lub zimowego.

7. Średni przepływ badanej niżówki ($Q_{\text{ired},N}$) [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] – iloraz sumy wszystkich dobowych przepływów wydzielonej niżówki z półrocza letniego lub zimowego i sumarycznej ilości dni, w których ten przepływ wystąpił.

8. Objętość niżówki N_N [tys. m^3] – rozumiana jako objętość niedoboru wody w stosunku do przepływu granicznego, obliczona według następującego wzoru:

$$N_N = (T_N \times Q_{GN}) - (\Sigma Q < Q_{GN}) \quad [\text{tys. m}^3]$$

Dodatkowo niżówki scharakteryzowano dwoma współczynnikami głębokościowymi zaproponowanymi przez D. Wrzesińskiego (1999):

9. W_r – iloraz przepływu najniższego badanej niżówki [$Q_{\text{min},N}$] i jej przepływu średniego [$Q_{\text{ired},N}$]. Określa on jaki udział w przepływie średnim niżówki stanowi przepływ minimalny niżówki.

$$W_r = \frac{Q_{\text{min},N}}{Q_{\text{ired},N}} \quad [-]$$

Im mniejsza jest wartość współczynnika W_r tym przepływ w czasie trwania niżówki był bardziej zróżnicowany.

10. V_r - iloraz objętości niżówki [N_N] i objętości granicznej [N_{GN}], określający udział objętości niżówki w umownej objętości granicznej.

$$V_r = \frac{N_N}{N_{GN}} \quad [-]; \quad \text{gdzie } N_{GN} = (T_N \times Q_{GN}) \quad [\text{tys. m}^3]$$

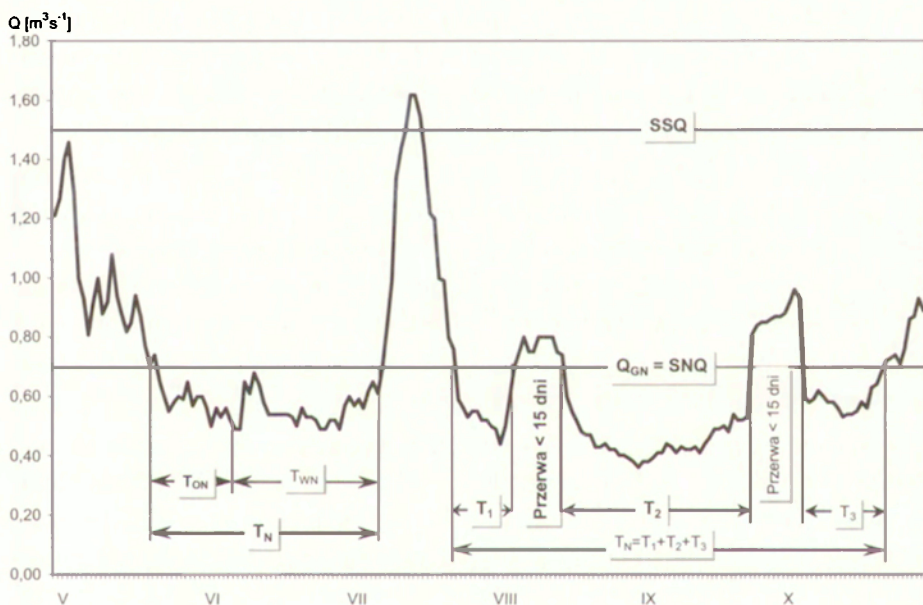
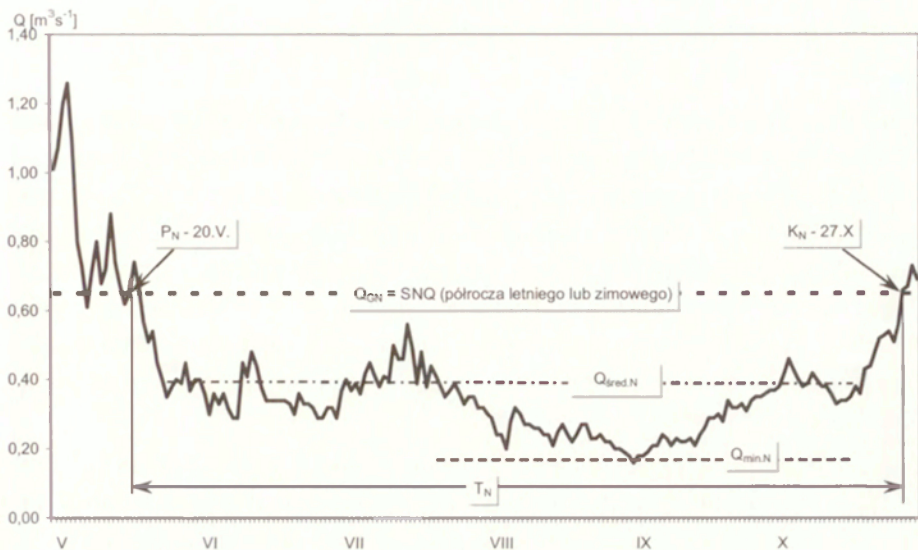
Im mniejsza jest wartość współczynnika V_r tym niżówka była płytsza.

4.3.1.1. NIŻÓWKI PÓLROTCZY ZIMOWYCH

Początek i koniec oraz czas trwania

Niżówki w półroczu zimowym – zgodnie z przyjętym przepływem granicznym – pojawiały się na rzece już 1.XI. Były one przedłużeniem niżówek z okresu letnio-jesiennego. Najczęściej kończyły się one również w listopadzie lub grudniu.

W dekadzie lat 60. niżówki pojawiały się nieco później, tj. pomiędzy 10 a 28 grudnia (1963, 1964, 1969), a kończyły się w marcu. W kilku przypadkach niżówki w półroczu zimowym pojawiały się po raz drugi. Ich początek przypadał na miesiąc styczeń (1985, 1991, 1992 i 1993) i w jednym przypadku na luty (1965). Kończyły się one w lutym lub marcu. Wszystkie wyróżnio-



Ryc. 23. Sposób wydzielenia i parametry niżówki – schemat. P_N – początek niżówki, K_N – koniec niżówki, Q_{GN} – przepływy graniczny niżówki, $Q_{śred.N}$ – przepływy średni niżówki, $Q_{min.N}$ – przepływy minimalny niżówki, SNQ – średni z najniższych przepływów z okresu letniego lub zimowego, SSQ – średni przepływy z okresu letniego lub zimowego, T_N – czas trwania niżówki, T_1, T_2, T_3 – czas trwania poszczególnych członów niżówki, T_{ON} – czas opadania krzywej, T_{WN} – czas wznoszenia krzywej.

Method for delimiting a low flow and their parameters – a scheme. P_N – beginning of a low flow, K_N – end of a low flow, Q_{GN} – discharge limit of a low flow, $Q_{śred.N}$ – mean discharge of a low flow, $Q_{min.N}$ – minimum discharge of a low flow, SNQ – mean lowest discharge from either a winter or a summer half-year, SSQ – mean discharge from either a winter or a summer half-year, T_N – low flow duration, T_1, T_2, T_3 – duration of individual low flow sections, T_{ON} – time of curve sloping, T_{WN} – time of curve rising.

ne niżówki w półroczu zimowym oraz czas ich trwania przedstawiono na rycinie 24.

Występowanie dwóch okresów niżówkowych w półroczu zimowym należy wiązać z przebiegiem temperatury na analizowanym terenie. Data pojawiania się termicznej zimy przypadała średnio w dniach 12–15. XII. Termiczna zima kończyła się średnio w ostatniej dekadzie lutego. Analiza przebiegu temperatury powietrza w Dobiegniewie za lata 1990–1994 przeprowadzona przez P. Gierszewskiego (2000) potwierdza jej zmienność w półroczu zimowym. W czasie trwania półrocza zimowego w latach 1990–1994 co roku pojawiały się dwa okresy chłodne przedzielone ociepleniem i związaną z nim odwilżą (Gierszewski 2000).

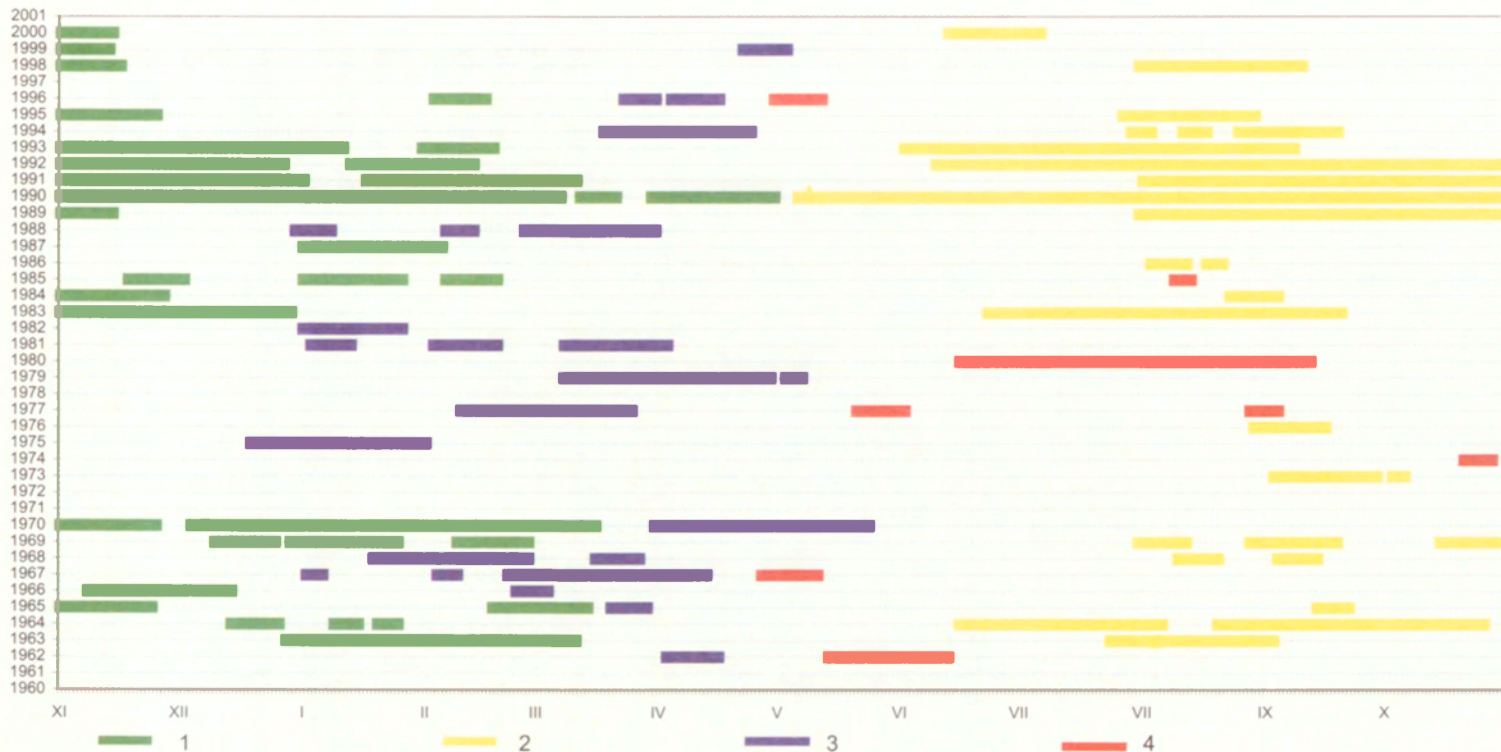
Czas trwania niżówek wahał się od 13 dni w latach 1998–2000 do 169 dni w roku 1990. Średni czas trwania niżówek w półroczu zimowym wynosił 44 dni (tab. 22). Dominowały niżówki krótkie – do 30 dni, stanowiły one 44% wszystkich niżówek zimowych. Niżówki w przedziale od 31 do 60 dni pojawiły się 8 razy (32%), a w przedziale od 61 do 90 dni – 4 razy (16%). W dwóch przypadkach niżówki trwały ponad 100 dni (8%). Pierwsza z nich wystąpiła w roku 1970 i trwała 127 dni, a druga w roku 1990 i trwała 169 dni.

Niżówki zimowe były niesymetryczne. Czas opadania krzywej niżówki do osiągnięcia minimum przepływu wynosił od 1 do 54 dni. Średnio niżówka osiągała minimum przepływu po 14 dniach od jej rozpoczęcia. Czas wznoszenia krzywej wahał się od 1 dnia do 144 dni. Średni czas w którym niżówka osiągała przepływ graniczny wynosił 30 dni. Decydujące znaczenie wpływające w sposób bezpośredni na ten proces miała niska temperatura powietrza oraz tempo zamarzania i odmarzania gruntu.

Obliczone zależności (tab. 23) pomiędzy czasem trwania przepływu niżówkowego, a pozostałymi parametrami niżówki wskazują, że statystycznie istotne dopasowanie danych do liniowej funkcji (na poziomie $\alpha = 0,05$) wykazuje czas trwania niżówki (T_{NZ}) oraz: objętość niżówki (N_z), przepływ minimalny niżówki ($Q_{min\ NZ}$) i współczynnik głębokości niżówki (Wg_{NZ}). Na tej podstawie można teoretycznie stwierdzić, że im dłuższy będzie czas trwania niżówki zimowej tym większy będzie niedobór wody, mniejszy przepływ minimalny, a przepływy dobowe w czasie trwania niżówki będą zróżnicowane.

Przepływ minimalny

Daty występowania najniższych przepływów dobowych jak również odpowiadające im odpływy jednostkowe na tle najniższych przepływów dobowych z półrocza zimowego w wieloleciu 1961–2000 przedstawione zostały na rycinie 25.



Ryc. 24. Czas trwania niżówek (półroczy zimowych i letnich) oraz wezbrań (półroczy zimowych i letnich) na Zgłowiączce w wieloletniu 1961–2000. 1 – niżówki półroczy zimowych; 2 – niżówki półroczy letnich; 3 – wezbrania półroczy zimowych; 4 – wezbrania półroczy letnich. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Duration of low flows periods (of winter and summer half-years) and floods periods (of winter and summer half-years) of the Zgłowiączka in the long-term period between 1961 and 2000. 1 – low flows of winter half-years; 2 – low flows of summer half-years; 3 – floods of winter half-years; 4 – floods of summer half-years. Source: The author's compilation based on the data of the IMGW

Tabela 22. Charakterystyka niżówek półroczy: zimowego i letniego na rzece Zgłowiączce w latach 1961–2000

Charakterystyka	Niżówki		
	Zimowe	Lemie	
Ilość wystąpień	25	21	
Czas trwania [dni]	max	169	178
	średnia	44	53
	min	13	9
Czas opadania krzywej [dni]	max	54	118
	średnia	14	28
	min	1	2
Czas wznoszenia krzywej [dni]	max	144	71
	średnia	30	26
	min	1	2
Przepływ minimalny [m^3s^{-1}]	max	1,43	0,66
	średnia	0,94	0,41
	min	0,26	0,16
Przepływ średni [m^3s^{-1}]	max	1,56	0,71
	średnia	1,27	0,56
	min	0,94	0,38
Niedobór wody [tys. m^3]	max	8 132	6 068
	średnia	1 859	1 245
	min	139	118
Współczynnik W_g [-]	max	0,92	0,96
	średnia	0,73	0,71
	min	0,28	0,42
Współczynnik V_g [-]	max	0,44	0,51
	średnia	0,25	0,28
	min	0,07	0,08

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Najniższe przepływy dobowe notowane są najczęściej w listopadzie, co jest konsekwencją przedłużania się niżówek z półrocza letniego na pierwsze miesiące półrocza zimowego. W okresie szczególnie wilgotnym – dekadzie lat 70. – najniższe przepływy dobowe notowane były nawet w kwietniu, kiedy odpływ jednostkowy osiągał wartości około $3,5 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$ (rok 1975).

Przepływ minimalny w czasie trwania niżówek w półroczu zimowym wahał się od $0,28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ w roku 1970 do $1,38 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ w roku 1993, co daje odpływ jednostkowy odpowiednio $0,18$ i $0,94 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$.

Przeprowadzona analiza (tab. 23) pozwoliła na określenie statystycznie istotnej zależności pomiędzy przepływem minimalnym niżówki ($Q_{\min \text{ NZ}}$) a przepływem średnim ($Q_{\text{śred} \text{ NZ}}$) oraz współczynnikami opisującymi głębokość niżówki, tj., $W_{g \text{ NZ}}$ i $V_{g \text{ NZ}}$. Im niższa jest wartość przepływu minimalnego niżówki, niższy jest również jej przepływ średni, niedobór wody w stosunku do umownej objętości granicznej jest większy, a przepływy dobowe w czasie trwania niżówki są bardzo zróżnicowane.

Głębokość niżówek

Głębokość niżówek opisana została trzema parametrami – niedoborem wody jaki wystąpił w czasie trwania niżówki (N_{NZ}) oraz dwoma wskaźnikami głębokościowymi (W_{gNZ} i V_{gNZ}).

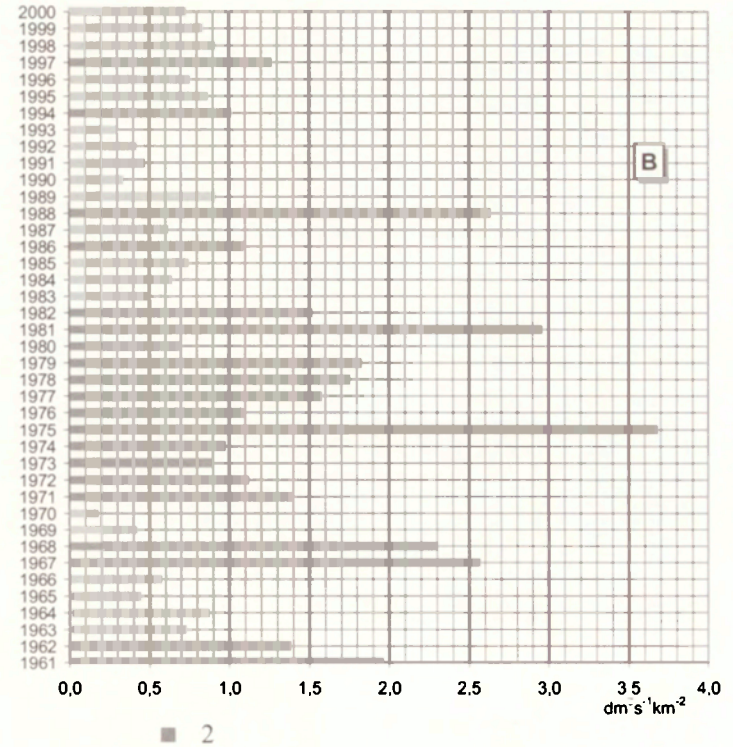
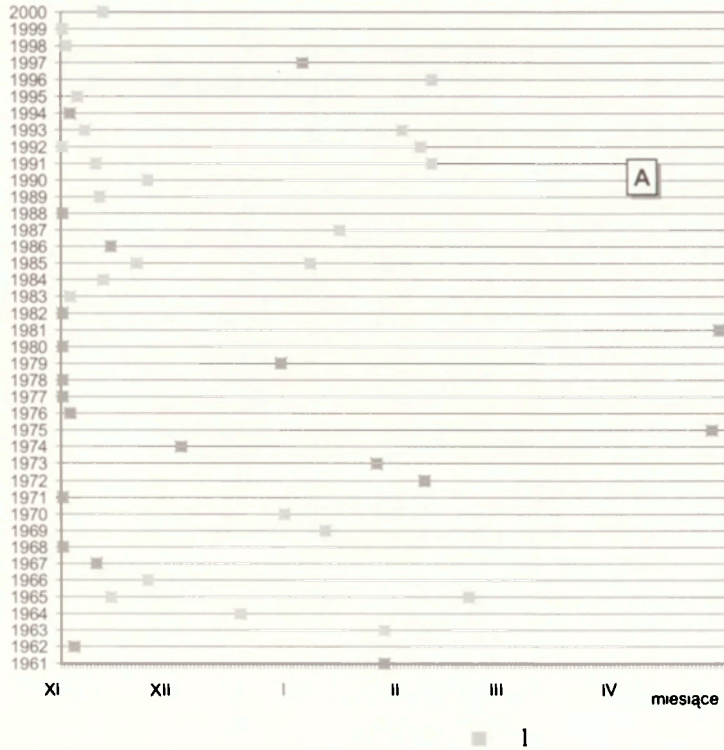
Niedobór wody w czasie trwania niżówek zimowych wahał się pomiędzy 139 tys. m³ w roku 1998, a 8132 tys. m³ w roku 1970. Średni niedobór wody w czasie trwania jednej niżówki w półroczu zimowym wynosił 1859 tys. m³ (tab. 22).

Zgodnie z wcześniejszym podziałem niżówek z półroczy zimowych ze względu na czas ich trwania pogrupowano niżówki pod względem niedoboru wody. Dla niżówek trwających do 30 dni niedobór wody wahał się od 139 do 1412 tys. m³, a wskaźnik głębokościowy W_{gNZ} od 0,92 do 0,66, dla niżówek trwających w przedziale 31–60 dni odpowiednio 965–2566 tys. m³ i 0,87–0,53, w przedziale 61–90 dni niedobór wynosi od 2231 do 4420 tys. m³, a W_{gNZ} od 0,8 do 0,45. Dla najdłużej trwających okresów niżówkowych niedobór osiągał wartość od 7832 do 8132 tys. m³ przy W_{gNZ} od 0,43 do 0,28.

Tabela 23. Zależności pomiędzy parametrami niżówek z półroczy zimowych

Zależność	Równanie regresji	Współczynnik determinacji R ²	Statystyka F	Poziom krytyczny P
$T_{NZ} - N_{NZ}$	$y = 0,0169x + 12,3851$	0,9218	271,0599	0,0036
$T_{NZ} - Q_{min\ NZ}$	$y = - 0,0064x + 1,224$	0,5519	28,3295	0,0346
$T_{NZ} - Q_{śred\ NZ}$	$y = - 0,0026x + 1,381$	0,2925	9,5085	0,0994
$T_{NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = - 0,0039x + 0,897$	0,6503	42,7643	0,0231
$T_{NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = 0,0015x + 0,1787$	0,2928	9,5217	0,0993
$N_{NZ} - Q_{min\ NZ}$	$y = - 0,0001x + 1,1766$	0,6819	49,3099	0,0201
$Q_{min\ NZ} - Q_{śred\ NZ}$	$y = 0,4957x + 0,8001$	0,8015	92,8967	0,0107
$Q_{min\ NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = 0,5289x + 0,2279$	0,8908	187,646	0,0053
$Q_{min\ NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = - 0,2935x + 0,5226$	0,8014	92,8237	0,0107
$N_{NZ} - Q_{śred\ NZ}$	$y = - 5,6933x + 1,3742$	0,4619	19,7457	0,0493
$N_{NZ} - W_{g\ NZ}$	$y = - 7,3074x + 0,8633$	0,7431	66,5403	0,0149
$N_{NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = 3,3734x + 0,1827$	0,4627	19,8089	0,0491
$Q_{śred\ NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = - 0,5919x + 0,9962$	0,9996	62144,1	1,6091
$Q_{śred\ NZ} - W_{g\ NZ}$	$y = 0,7207x + 0,1867$	0,5072	23,6765	0,0413
$V_{g\ NZ} - V_{g\ NZ}$	$y = - 1,2174x + 1,0262$	0,5072	23,6759	0,0412

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 25. Datas wystąpienia najniższych dobowych przepływów Zgłowiączki (A) i odpowiadających im odpływów jednostkowych (B) w półroczu zimowym w wieloletniu 1961–2000. 1 – data wystąpienia najniższego przepływu dobowego; 2 – data wystąpienia najniższego przepływu dobowego niżówki. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Dates of lowest daily discharges of the Zgłowiączka (A) and the corresponding unitary outflows (B) in the winter half-year during the long-term period between 1961 and 2000. 1 – the date of the minimum daily discharge; 2 – the date of the minimum low flow daily discharge. Source: The author's compilation based on the data of the IMGW

Statystycznie istotną zależność można zauważyć pomiędzy niedoborem wody (N_{NZ}) a czasem trwania niżówki (T_{NZ}), przepływem minimalnym ($Q_{\min NZ}$) i średnim ($Q_{\text{śred} NZ}$) (tab. 23). Im większy był niedobór wody tym dłuższy był czas trwania niżówki, jak również mniejszy był przepływ średni i minimalny. Przepływ w czasie większych niedoborów wody był bardzo zróżnicowany.

4.3.1.2. NIŻÓWKI PÓŁROCZY LETNICH

Początek i koniec oraz czas trwania

Niżówki półroczy letnich na Zgłowiączce rozpoczynały się najczęściej w czerwcu lub w ostatniej dekadzie lipca i w sierpniu. W okresach skrajnie suchych niżówki pojawiały się nawet w maju (rok 1990) lub na początku czerwca (rok 1992 i 1993). W okresach wilgotnych początek wystąpienia okresu niżówkowego przesunął się na koniec sierpnia i początek września (rok 1973 i 1976), ale najczęściej w tym okresie niżówki letnie nie występowały, np. w wieloleciu 1970–1982, z wyjątkiem roku 1973 i 1976.

Koniec niżówek z półroczy letnich najczęściej przypadał na miesiące: wrzesień i październik. Wiązać to należy nie ze wzrostem opadów atmosferycznych w tych miesiącach, lecz z niższą temperaturą powietrza, a co za tym idzie z mniejszym parowaniem oraz mniejszymi potrzebami wodnymi roślin – jest to bowiem koniec okresu wegetacyjnego.

Przeciętnie niżówki z półroczy letnich na Zgłowiączce pojawiały się w ostatniej dekadzie lipca, a kończyły w drugiej dekadzie września. Początek i koniec wyróżnionych w wieloleciu 1961–2000 niżówek z półroczy letnich oraz czas ich trwania przedstawiony został na rycinie 24.

Średni czas trwania niżówek wynosił 53 dni, a więc był on dłuższy od czasu trwania niżówek z półroczy zimowych (tab. 22). Rozpiętość czasu trwania niżówek wynosiła od 9 dni⁸ w roku 1965 do 178 dni w roku 1990. Najwięcej wyróżniono niżówek o czasie trwania do 30 dni. Stanowiły one 48% wszystkich niżówek z półroczy letnich. Wyróżniono 4 niżówki w przedziale 31–60 dni a w przedziale 61–90 dni – 2. Stanowiło to odpowiednio 19 i 9% wszystkich niżówek z półroczy letnich. Niżówki bardzo długie – powyżej 90 dni pojawiły się 5 razy (24%), aż cztery z nich wystąpiły w okresie skrajnie suchym, w latach 1990–1993.

⁸ Czas trwania wyróżnionej niżówki letniej nie jest zgodny z przyjętym kryterium czasu trwania niżówek wynoszącym 10 dni, jednak ze względu na wielkość niedoboru wody jaki wystąpił w tym okresie wyjątkowo potraktowano okres 9 dniowy jako niżówkę.

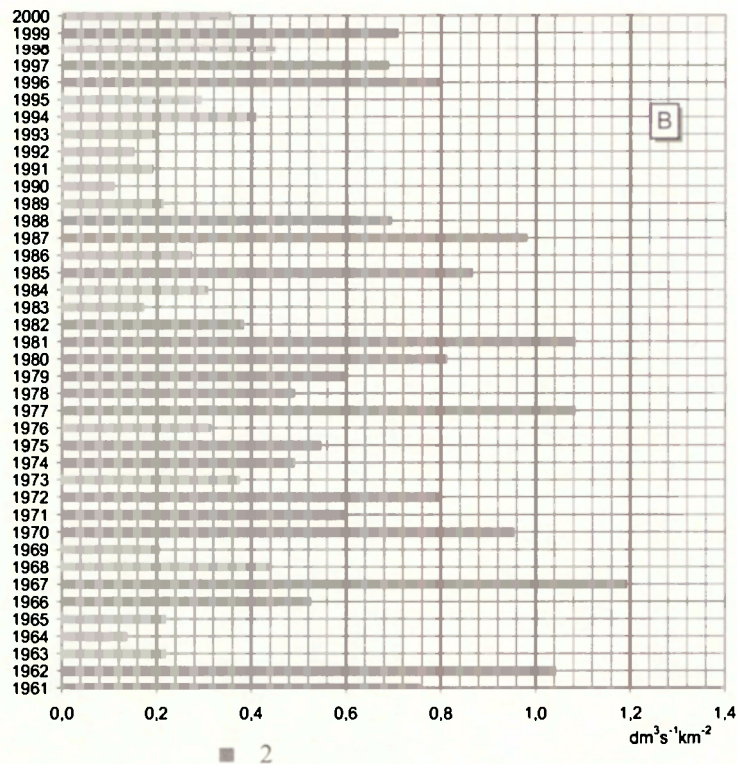
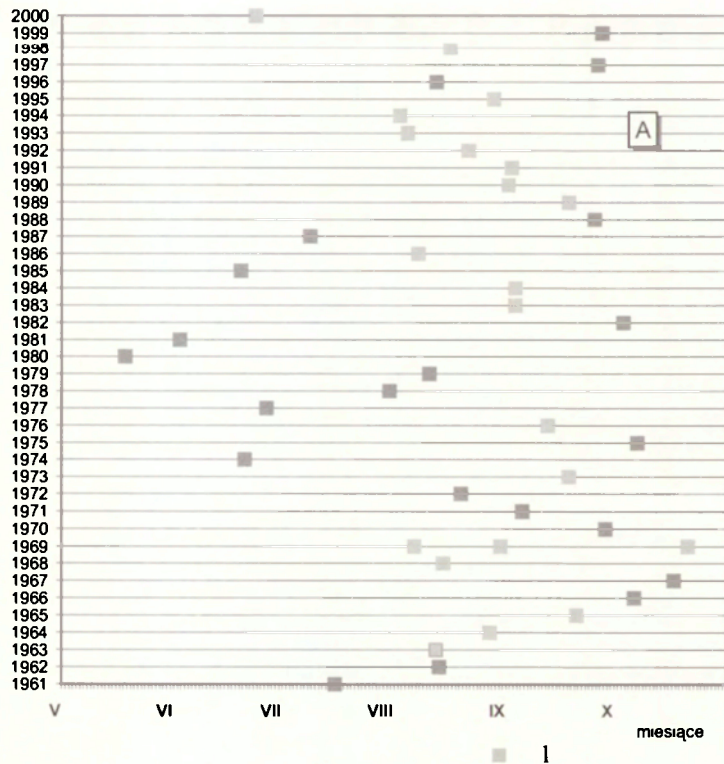
Najczęściej w półroczu letnim występowała jedna niżówka – z wyjątkiem roku 1969, w którym wystąpiły trzy okresy niżówkowe. Bardzo często niżówki w półroczu letnim przerywane były krótkimi, kilkudniowymi przepływami wyższymi od Q_{GN} . Prawdopodobnie związane było to z wystąpieniem opadów atmosferycznych, których suma nie była na tyle duża, aby na dłuższy okres zwiększyć odpływ rzeczny i przerwać okres niżówkowy. Analizując wartości średnie z wielolecia 1961–2000 niżówki z półroczy letnich były bardziej symetryczne od niżówek z półroczy zimowych. Czas opadania krzywej do osiągnięcia minimum przepływu niżówki wynosił średnio 28 dni, a czas jej wznoszenia 26 dni. W większości analizowanych niżówek (62%) czas wznoszenia krzywej był dłuższy od czasu opadania i świadczyć to może o szybszej „utracie” wody z dorzecza w stosunku do jej uzupełniania. Całkowitym przeciwieństwem był rok 1990, kiedy minimum przepływu niżówka osiągnęła po 118 dniach od jej rozpoczęcia, a czas pomiędzy osiągniętym pierwszym minimum, a jej końcem wyniósł 60 dni. Uzupełnianie niedoborów wody było wtedy prawie dwukrotnie krótsze w stosunku do jej „utrąty”.

Analizując zależności pomiędzy parametrami niżówek z półroczy letnich (tab. 24) można stwierdzić statystycznie istotne dopasowanie danych do liniowej funkcji pomiędzy czasem trwania niżówki (T_{NL}) a niedoborem wody oraz wskaźnikiem głębokościowym ($W_{...}$). Oznacza to, że im niżówka była dłuższa tym niedobór wody podczas jej wystąpienia był większy, a przepływ bardzo zróżnicowany. Zależność statystycznie istotna nie wystąpiła pomiędzy czasem trwania niżówki letniej (T_{NL}) a przepływem średnim ($Q_{\text{śred NL}}$) i minimalnym ($Q_{\text{min NL}}$) oraz wskaźnikiem głębokościowym (V_{NL}).

Tabela 24. Zależności pomiędzy parametrami niżówek z półroczy letnich

Zależność	Równanie regresji	Współczynnik determinacji R^2	Statystyka F	Poziom krytyczny P
$T_{NL} - N_{NL}$	$y = 0,0296x + 17,0535$	0,9497	359,0783	0,0027
$T_{NL} - Q_{\text{min NL}}$	$y = - 0,0024x + 0,5385$	0,4708	16,9048	0,0573
$T_{NL} - Q_{\text{śred NL}}$	$y = - 0,0014x + 0,6342$	0,4212	13,8286	0,0695
$T_{NL} - W_{\sigma NL}$	$y = - 0,003x + 0,8566$	0,566	24,808	0,0394
$T_{NL} - V_{\sigma NL}$	$y = 0,002x + 0,1782$	0,418	13,634	0,0705
$N_{NL} - Q_{\text{min NL}}$	$y = - 7,623x + 0,5078$	0,5513	23,3477	0,0418
$Q_{\text{min NL}} - Q_{\text{śred NL}}$	$y = 0,6028x + 0,3097$	0,8974	166,1497	0,006
$Q_{\text{min NL}} - V_{\sigma NL}$	$y = 1,001x + 0,3$	0,9269	240,824	0,0041
$Q_{\text{min NL}} - W_{\sigma NL}$	$y = - 0,7775x + 0,5964$	0,8964	164,314	0,0061
$N_{NL} - Q_{\text{śred NL}}$	$y = - 4,8147x + 0,6185$	0,5431	22,5888	0,0432
$N_{NL} - W_{\sigma NL}$	$y = - 8,3071x + 0,8167$	0,6056	29,1703	0,0336
$N_{NL} - V_{\sigma NL}$	$y = 6,2150x + 0,198$	0,5434	22,6128	0,0431
$Q_{\text{śred NL}} - V_{\sigma NL}$	$y = - 1,29x + 0,996$	0,9992	24840,48	4,0256
$Q_{\text{śred NL}} - W_{\sigma NL}$	$y = 1,3733x + 0,0538$	0,7064	45,7149	0,0216
$V_{\sigma NL} - W_{\sigma NL}$	$y = - 1,0636x + 1,0062$	0,7057	45,5578	0,0217

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 26. Daty wystąpienia najniższych dobowych przepływów Zgłowiączki (A) i odpowiadających im odpływów jednostkowych (B) w półroczu letnim w wieloletniu 1961–2000. 1 – data wystąpienia najniższego przepływu dobowego; 2 – data wystąpienia najniższego przepływu dobowego niżówki. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW.

Dates of lowest daily discharges of the Zgłowiączka (A) and the corresponding unitary outflows (B) in the summer half-year during the long-term period between 1961 and 2000. 1 – the date of the minimum daily discharge; 2 – the date of the minimum low flow daily discharge. Source: The author's compilation based on the data of the IMGW

Przepływ minimalny

Daty występowania najniższych przepływów dobowych jak również odpowiadające im odpływy jednostkowe niżówek z półroczy letnich na tle najniższych przepływów dobowych z półrocza letniego w wieloleciu 1961–2000 przedstawione zostały na rycinie 26.

Najniższe przepływy w czasie trwania niżówek wahały się od $0,16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ w roku 1990 do $0,66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ w roku 1998. Daje to odpływ jednostkowy odpowiednio $0,11 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i $0,45 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Uśredniony przepływ minimalny z wszystkich wyróżnionych niżówek z półroczy letnich wynosił $0,41 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, co przekłada się na odpływ jednostkowy rzędu $0,28 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Miesiącem, w którym przepływ minimalny niżówki występował najczęściej, był sierpień (ponad 50% wystąpień). W drugiej kolejności przepływ minimalny niżówki występował we wrześniu (ok. 40% wystąpień).

Najlepsze dopasowanie danych do liniowej funkcji wykazuje zależność pomiędzy przepływem minimalnym niżówek z półroczy letnich ($Q_{\text{min NL}}$) a: przepływem średnim ($Q_{\text{śred NL}}$), wskaźnikami głębokościowymi ($W_{\text{g NL}}$ i $V_{\text{g NL}}$) oraz wielkością niedoboru wody w czasie trwania niżówki (T_{NL}) (tab. 24). Możemy więc stwierdzić, że im niższy był przepływ minimalny niżówki z półrocza letniego tym niższy był jej przepływ średni, większy był niedobór wody, a przepływ dobowy w czasie jej trwania był bardzo zróżnicowany.

Głębokość niżówek

Wielkość niedoboru wody w czasie trwania niżówek półroczy letnich wahała się pomiędzy 118 tys. m^3 w roku 1969 a 6 068 tys. m^3 w roku 1990 (tab. 22). Średni niedobór wody wynosił 1245 tys. m^3 , a więc był on mniejszy od niedoboru obliczonego dla niżówek półroczy zimowych, lecz wynika to z wielkości przyjętego Q_{GN} .

Zgodnie z wcześniej przyjętym podziałem niżówek ze względu na czas ich trwania można dokonać klasyfikacji głębokości niżówek według tego samego kryterium. Dla niżówek trwających do 30 dni niedobór wody kształtował się na poziomie od 118 tys. m^3 do 324 tys. m^3 , a przepływ dobowy w czasie ich trwania był mało zróżnicowany – wskaźnik $W_{\text{g NL}}$ wahał się od 0,96 do 0,63. Niedobór wody dla niżówek trwających od 31 do 60 dni wynosił od 213 tys. m^3 do 1034 tys. m^3 , a przepływ dobowy był bardzo podobny do niżówek z wcześniejszej grupy – wartość współczynnika $W_{\text{g NL}}$ wynosiła od 0,93 do 0,65. Dla niżówek o czasie trwania od 61 do 90 dni wielkość niedoboru wody wynosiła od 1 871 tys. m^3 do 2183 tys. m^3 , a przepływ dobowy był już bardziej zróżnicowany – wskaźnik $W_{\text{g NL}}$ wahał się od 0,69 do 0,5. Największy niedobór wody wynoszący pomiędzy 1921 tys. m^3 a 6068 tys. m^3 , przy wskaźniku $V_{\text{g NL}}$ od 0,51 do 0,3 – osiągały niżówki trwające ponad 90 dni. Przepływy dobowe

podczas ich trwania był najbardziej zróżnicowany – $W_{g\ NL}$ kształtował się na poziomie 0,58 do 0,42.

Powyższe wnioski potwierdza przeprowadzona analiza statystyczna. Teoretycznie najlepsze dopasowanie danych do liniowej funkcji wykazuje zależność pomiędzy niedoborem wody (N_{NL}) a czasem trwania niżówki (T_{NL}), przepływem minimalnym niżówki ($Q_{\min\ NL}$), przepływem średnim niżówki ($Q_{\text{śred}\ NL}$) oraz wskaźnikami głębokościowymi niżówki ($W_{g\ NL}$ i $V_{g\ NL}$) (tab. 24). Oznacza to, że kiedy niżówka w półroczu letnim osiągała największy niedobór wody, najniższy był jej przepływ minimalny i średni, a przepływ dobowy podczas jej trwania był najbardziej zróżnicowany.

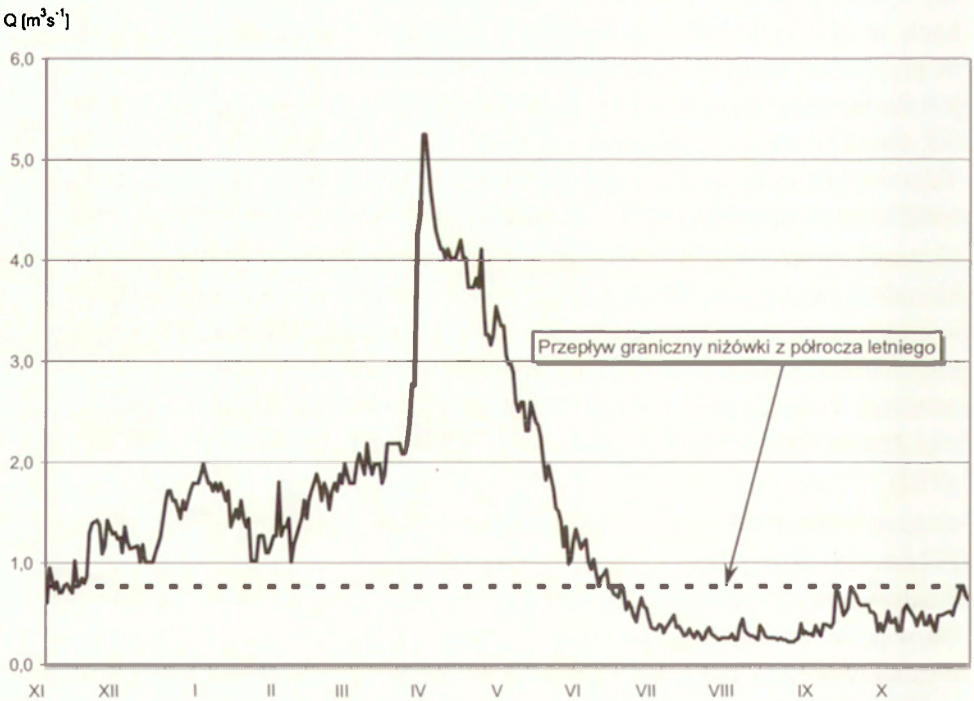
4.3.1.3. SUSZA HYDROLOGICZNA W DORZECZU W LATACH 1989–1993

Jedną z charakterystycznych cech klimatu Polski jest okresowe występowanie susz, związane przede wszystkim z układem globalnej cyrkulacji atmosfery. Znane są z przeszłości i opisywane w literaturze katastrofalne susze i występujące wraz z nimi niskie przepływy w rzekach Polski (Mikulski 1962; Tłałka 1982). Bezpośrednim efektem długotrwałego braku opadów atmosferycznych (w powiązaniu z wysoką temperaturą powietrza) jest powstanie suszy hydrologicznej i wystąpienie głębokich i długotrwałych niżówek w rzekach w okresach letno-jesiennych, a niekiedy nawet ich wyschnięcie. W przypadku, kiedy alimentacja wód podziemnych w półroczu zimowym nie jest dostatecznie duża, niżówki letnio-jesienne mogą przejść w niżówki zimowe, a następnie w kolejnym roku w niżówki letnie (Dębski 1967b; Tłałka 1979). Taka właśnie sytuacja wystąpiła w Polsce w latach 1982–1984 oraz 1989–1992 i została opisana przez E. Bobińskiego i W. Meyera (1992). Susza w tych okresach związana była z dominacją nad obszarem Polski cyrkulacji antycyklonalnej (wyżowej). Wtedy to przeważały bezśnieżne lub z minimalną pokrywą śnieżną zimy, szczególnie na obszarach nizinnych Polski. Okresy letnie charakteryzowały się długotrwałymi deficytami opadów w stosunku do wartości średnich oraz wysoką temperaturą powietrza, która powodowała wyjątkowo dużą ewapotranspirację roślin (*Susza 1999. Zasięg, natężenie...* 1992).

Lata 1989–1993 w dorzeczu Zgłowiączki należały, podobnie jak w całej Polsce, do szczególnie suchych w całym analizowanym czterdziestoleciu. Analiza tabeli 25 pokazuje, że niedobór opadów w latach 1989–1992 wystąpił tak w półroczu zimowym jak również letnim. Największe niedobory opadów wystąpiły w roku 1989, szczególnie w półroczu letnim. Odchylenie opadów z półrocza letniego wynosiło wtedy od -92 mm w Brześciu Kuj. do -191 mm w Chodczu, co stanowiło odpowiednio -31,1% i -54,3% wartości średniej.



Ryc. 27. Rozkład przepływu rzeki Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda w roku 1991
Discharge distribution of the Zgłowiączka at the Przyruda/Ruda profile in 1991



Ryc. 28. Rozkład przepływu rzeki Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda w roku 1992
Discharge distribution of the Zgłowiączka at the Przyruda/Ruda profile in 1992

na wybranych posterunkach opadów

Rok 1989													
Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów półroczna zimowego w 1989r [mm]	Średnia suma opadów półroczna zimowego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półroczna letniego w 1989r [mm]	Średnia suma opadów półroczna letniego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadu w 1989 roku [mm]	Średnia suma roczna opadu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961-2000	182	209	-27	-12,9	161	352	-191	-54,3	343	561	-218	-38,9
Brześć Kujawski	1961-1991	154	159	-5	-3,1	204	296	-92	-31,1	356	455	-99	-21,8
Olganowo	1961-1991	170	190	-20	-10,5	195	349	-154	-44,1	365	539	-174	-32,3
Baruchowo	1961-2000	189	194	-5	-2,6	188	334	-146	-43,7	377	528	-151	-28,6
Średnia		174	188	-14	-7	187	333	-146	-43	360	521	-161	-30
Rok 1990													
Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów półroczna zimowego w 1990r [mm]	Średnia suma opadów półroczna zimowego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półroczna letniego w 1990r [mm]	Średnia suma opadów półroczna letniego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadu w 1990 roku [mm]	Średnia suma roczna opadu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961-2000	191	209	-18	-8,6	266	352	-86	-24,4	457	561	-104	-18,5
Brześć Kujawski	1961-1991	162	159	3	1,9	301	296	5	1,7	463	455	8	1,8
Olganowo	1961-1991	162	190	-28	-14,7	289	349	-60	-17,2	451	539	-88	-16,3
Baruchowo	1961-2000	167	194	-27	-13,9	290	334	-44	-13,2	457	528	-71	-13,4
Średnia		171	188	-18	-9	287	333	-46	-13	457	521	-64	-12
Rok 1991													
Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów półroczna zimowego w 1991r [mm]	Średnia suma opadów półroczna zimowego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półroczna letniego w 1991r [mm]	Średnia suma opadów półroczna letniego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadu w 1991 roku [mm]	Średnia suma roczna opadu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961-2000	176	209	-33	-15,8	307	352	-45	-12,8	483	561	-78	-13,9
Brześć Kujawski	1961-1991	165	159	6	3,8	269	296	-27	-9,1	434	455	-21	-4,6
Olganowo	1961-1991	173	190	-17	-8,9	289	349	-60	-17,2	462	539	-77	-14,3
Baruchowo	1961-2000	177	194	-17	-8,8	270	334	-64	-19,2	447	528	-81	-15,3
Średnia		173	188	-15	-7	284	333	-49	-15	457	521	-64	-12
Rok 1992													
Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów półroczna zimowego w 1992r [mm]	Średnia suma opadów półroczna zimowego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półroczna letniego w 1992r [mm]	Średnia suma opadów półroczna letniego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadu w 1992 roku [mm]	Średnia suma roczna opadu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961-2000	263	209	54	25,8	203	352	-149	-42,3	466	561	-95	-16,9
Brześć Kujawski	1961-1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Olganowo	1961-1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baruchowo	1961-2000	225	194	31	16,0	216	334	-118	-35,3	441	528	-87	-16,5
Średnia		244	202	43	21	210	343	-134	-39	454	545	-91	-17

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW.

Niedobory opadów zimowych i letnich, pojawiające się z roku na rok, przełożyły się bezpośrednio na przepływ Zgłowiączki. W latach 1989–1993 wystąpiły tak w półroczu zimowym jak i letnim najdłużej trwające i najgłębsze niżówki (tab. 26). Na rycinach 27 i 28 przedstawiono rozkład przepływu Zgłowiączki w latach 1991 i 1992 z zaznaczeniem przepływów granicznych niżówki z półrocza zimowego i letniego. Czas trwania niżówek z półroczy zimowych wynosił od 14 do 169 dni, a z półroczy letnich od 80 do 178 dni. W czasie trwania niżówek wystąpiły największe niedobory wody wynoszące dla niżówek z półroczy zimowych od 259 do 7832 tys. m³, a dla niżówek z półroczy letnich od 1921 do 6068 tys. m³. Jednocześnie w tym okresie wystąpiły najniższe przepływy dobowe. Najniższy przepływ dobowy niżówki z półrocza zimowego wynosił 0,44 m³s⁻¹ dając odpływ jednostkowy rzędu 0,3 dm³s⁻¹km², a niżówki z półrocza letniego 0,16 m³s⁻¹ przekładając się na odpływ jednostkowy rzędu 0,11 dm³s⁻¹km². Były to najniższe wskaźniki hydrologiczne w całym badanym okresie.

Tabela 26. Parametry niżówek półrocza zimowego i letniego w latach 1989–1993

		Czas trwania [dni]	Przepływ średni [m ³ s ⁻¹]	Przepływ minimalny [m ³ s ⁻¹]	Niedobór wody [tys. m ³]
1989	półrocze zimowe	14	1,47	1,33	259
	półrocze letnie	80	0,45	0,31	2 183
1990	półrocze zimowe	169	1,14	0,49	7 832
	półrocze letnie	178	0,38	0,16	6 068
1991	półrocze zimowe	a) 62 b) 54	a) 1,24 b) 1,20	a) 0,69 b) 0,92	a) 2 381 b) 2 247
	półrocze letnie	91	0,48	0,28	2 258
1992	półrocze zimowe	a) 57 b) 32	a) 1,16 b) 1,30	a) 0,61 b) 1,01	a) 2 566 b) 965
	półrocze letnie	143	0,42	0,22	4 287
1993	półrocze zimowe	a) 72 b) 19	a) 0,97 b) 1,51	a) 0,44 b) 1,38	a) 4 420 b) 276
	półrocze letnie	96	0,54	0,29	1 921

a) niżówka pierwsza; b) niżówka druga

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

4.3.2. WEZBRANIA – KRYTERIUM WYDZIELENIA I PARAMETRY

Analogicznie do niżówki, wezbraniem określa się okres występowania w rzece przepływów równych lub wyższych od wartości przepływu granicznego Q_{GW} i trwający co najmniej określoną ilość dni (Ozga-Zielińska 1990; Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997). Zgodnie z zaleceniem M. Ozgi-Zielińskiej i J. Brzezińskiego (1997) dokonano oddzielnej analizy wezbrań z półrocza zimowego i letniego. Wydzielenie takie ma na celu wyeliminowanie niejednorodności genetycznej wezbrań spowodowanej różnymi przyczynami ich powstawania.

Wezbrania półroczy zimowych powstają na obszarach nizinnych w wyniku gwałtownego topnienia śniegu. Czynnikiem modelującym tempo tajania śniegu, a tym samym wielkość spływu powierzchniowego jest temperatura powietrza, jak również opady deszczu w okresie wiosennym. Dodatkowym czynnikiem przyspieszającym odprowadzanie wód roztopowych, powodującym ich koncentrację w korycie rzeczonym są urządzenia regulacyjne w postaci drenów i rowów melioracyjnych.

Wezbrania półroczy letnich powstają w wyniku długotrwałych lub nawalnych opadów deszczu. Na wielkość wezbrania letniego duży wpływ mają warunki infiltracyjne podłoża (zdolność retencyjna), jak również charakter użytkowania zlewni oraz urządzenia regulacyjne w postaci drenów i rowów melioracyjnych.

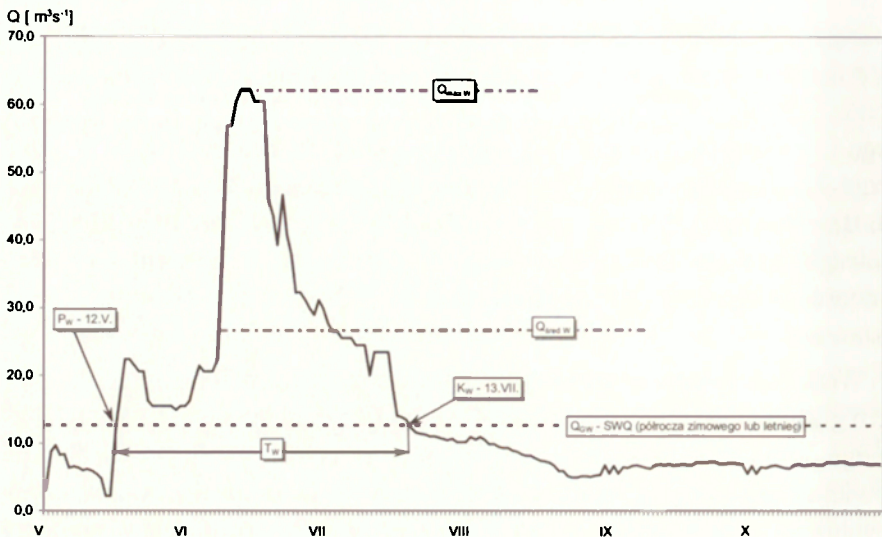
Analogicznie jak w przypadku niżówek, najważniejszym problemem było ustalenie przepływu granicznego wezbrania. Za przepływ graniczny wezbrania Q_{GW} przyjęto średni z maksymalnych przepływów miesięcznych z półrocza letniego i zimowego:

– Przepływ graniczny wezbrania półrocza zimowego $Q_{GW} = SWQ_{(IX-IV)}$,

– Przepływ graniczny wezbrania półrocza letniego $Q_{GW} = SWQ_{(V-X)}$.

Tak przyjęta wartość przepływu granicznego ma swoje uzasadnienie w założeniu, że wezbrania, podobnie jak niżówki, są zdarzeniem wyjątkowym, a więc będą pojawiały się lata lub ciągi lat, w których wezbrania nie będą obserwowane, oraz lata lub ciągi lat, w których wezbrania wystąpić mogą nawet kilka razy.

Zgodnie z definicją wezbrania oprócz ustalenia przepływu granicznego, niezbędne jest określenie czasu trwania przepływów równych lub wyższych od przepływu granicznego. Za wezbranie przyjęto każdy okres z przepływami równymi lub wyższymi od Q_{GW} , który trwał 5 lub więcej dni. Tak przyjęty czas ma swoje uzasadnienie w ilości wody, a dokładniej w jej nadmiarze w stosunku do wartości poziomu odcięcia w czasie trwania wezbrania.



Ryc. 29. Sposób wydzielenia i parametry wezbrania – schemat

P_w – początek wezbrania, K_w – koniec wezbrania, T_w – czas trwania wezbrania, Q_{rdw} – przepływ średni wezbrania, $Q_{max w}$ – przepływ maksymalny wezbrania, Q_{GW} – przepływ graniczny wezbrania, SWQ – przepływ średni z najwyższych przepływów półrocza zimowego lub letniego

Method for delimiting a flood and its parameters – a scheme

P_w – beginning of a flood, K_w – end of a flood, T_w – duration of a flood, $Q_{red w}$ – mean discharge of a flood, $Q_{max w}$ – maximum discharge of a flood, Q_{GW} – discharge limit of a flood, SWQ – mean discharge of the highest winter or summer half-year discharges

Schemat wydzielenia wezbrania z hydrogramu przepływu zaprezentowano na rycinie 29, na której przedstawiono również wybrane parametry wezbrania.

Wezbrania zostały scharakteryzowane następującymi parametrami:

1. **Początek wezbrania** – (określona data roku hydrologicznego zgodnie z przepływem granicznym wezbrania Q_{GW} z półrocza letniego lub zimowego.

2. **Koniec wezbrania** – (określona data roku hydrologicznego zgodnie z przepływem granicznym wezbrania Q_{GW} z półrocza letniego lub zimowego.

3. **Czas trwania wezbrania (T_w) [dni]** – pełna ilość dni o przepływach równych lub wyższych od wartości Q_{GW} od dnia ich pojawienia się do ostatniego dnia ich wystąpienia.

4. **Czas wznoszenia krzywej wezbrania (T_{ww}) [dni]** – pełna ilość dni od dnia przepływu równego lub wyższego od Q_{GW} do dnia, w którym osiągnięte zostaje maksimum przepływu. Jeżeli w czasie wezbrania występują dwa lub więcej równorzędne przepływy maksymalne, czas wznoszenia krzywej określa się jako pełną ilość dni od dnia wystąpienia przepływu równego lub wyższego od Q_{GW} do dnia, w którym osiągnięte zostaje pierwsze maksimum przepływu.

5. **Czas opadania krzywej wezbrania (T_{ow}) [dni]** – pełna ilość dni od dnia następnego po osiągnięciu przepływu maksymalnego do ostatniego dnia, w którym przepływ był równy lub niższy od Q_{GW} . W przypadku, kiedy w czasie trwania wezbrania wystąpią dwa lub więcej równorzędne przepływy maksymalne, czas opadania krzywej rozumiany jest jako pełna ilość dni od dnia następnego po osiągnięciu pierwszego przepływu maksymalnego do ostatniego dnia, w którym przepływ był równy lub niższy od Q_{GW} .

6. **Przepływ maksymalny wezbrania (Q_{maxw}) [m^3s^{-1}]** – najwyższa wartość przepływu dobowego z wyróżnionego wezbrania z półrocza zimowego lub letniego.

7. **Średni przepływ wezbrania (Q_{redw}) [m^3s^{-1}]** – iloraz sumy wszystkich dobowych przepływów wydzielonego wezbrania zimowego lub letniego i sumarycznej ilości dni, w których ten przepływ wystąpił w tym samym okresie.

8. **Objętość wezbrania (V_w) [tys. m^3]** – rozumiana jako objętość nadmiaru wody w stosunku do przepływu granicznego, obliczona według wzoru:

$$V_w = (\sum Q > Q_{GW}) - (Q_{GW} \times T_w) \quad [\text{tys. } m^3]$$

4.3.2.1. WEZBRANIA PÓŁROCZY ZIMOWYCH

Początek i koniec oraz czas trwania

Na podstawie analizy dat pojawiania się wezbrań na Zgłowiączce można zauważyć pewne zależności (ryc. 24). W całej dekadzie lat 60. występowała tendencja do wcześniejszego pojawiania się przepływów wyższych od Q_{GW} . W roku 1962 wezbranie rozpoczęło się w kwietniu, a w roku 1968 już w styczniu. W roku 1967 wezbranie w półroczu zimowym wystąpiło trzykrotnie, a w roku 1968 dwukrotnie. Przyczynę takiego stanu należy wiązać ze wzrostem opadów atmosferycznych w tym okresie, zanotowaną na wszystkich posterunkach w dorzeczu. Odwrotna tendencja w pojawianiu się wezbrań występowała od roku 1981 i trwała do końca analizowanego okresu. Wezbrania pojawiały się na rzece z systematycznym opóźnieniem. W dekadzie lat 80. wezbranie pojawiało się w końcu grudnia lub na początku stycznia, a w dekadzie lat 90. już w marcu i kwietniu. Sytuacja ta miała również swoje odzwierciedlenie w systematycznie zmniejszającej się wielkości opadów na analizowanych posterunkach w półroczu zimowym w latach 1980–2000.

Średni czas trwania wezbrań w półroczach zimowych wynosił 26 dni. Przebieg czasu trwania, w jakim występowały wezbrania wahał się od 5 dni w roku 1967 (pierwsze zanotowane wezbranie w tym roku) do 58 dni w roku 1979 (tab. 27). Wezbrania w półroczach zimowych były niesymetryczne. Krzywa wznosząca trwała od 1 do 35 dni. Średnio czas potrzebny do osiągnięcia maksimum przepływu wynosił 10 dni. Krzywa opadania wezbrania była dłuższa

Tabela 27. Charakterystyka wezbrań półroczy: zimowego i letniego na rzece Zgłowiączce w latach 1961–2000

Charakterystyka		Wezbrania	
		Zimowe	Letnie
Ilość wystąpień		21	8
Czas trwania [dni]	max	58	89
	średnia	26	23
	min	5	5
Czas wznoszenia krzywej [dni]	max	35	28
	średnia	10	8
	min	1	3
Czas opadania krzywej [dni]	max	55	61
	średnia	16	15
	min	2	1
Przepływ maksymalny [$m^3 s^{-1}$]	max	40,70	62,20
	średnia	19,48	18,20
	min	14,20	9,13
Przepływ średni [$m^3 s^{-1}$]	max	26,30	24,56
	średnia	15,67	12,05
	min	13,39	8,99
Nadmiar wody [tys. m^3]	max	68 553	124 292
	średnia	9 096	18 642
	min	242	271

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

i wynosiła od 2 do 55 dni. Średnio wezbranie kończyło się po 16 dniach od osiągnięcia przepływu maksymalnego.

Wezbrania ze względu na czas trwania podzielono na trzy grupy. Dominowały wezbrania trwające od 5 do 20 dni. Wystąpiły one w 10 przypadkach, co stanowi 48% wszystkich wezbrań. Wezbrania w przedziale od 21 do 40 dni wystąpiły 5 razy – stanowi to 24% wezbrań. W 6 przypadkach (28%) pojawiły się wezbrania trwające ponad 40 dni. Najdłużej trwające wezbrania występowały (odnotowano je aż 5 razy) w latach 1968–1979. Świadczy to o szczególnie dużej wilgotności tego okresu w analizowanym wieloleciu.

Tabela 28. Zależności pomiędzy parametrami wezbrań z półroczy zimowych

Zależność	Równanie regresji	Współczynnik determinacji R^2	Statystyka F	Poziom krytyczny P
$T_{WZ} - V_{WZ}$	$y = 0,0008x + 19,429$	0,4249	14,04	0,0685
$T_{WZ} - Q_{max WZ}$	$y = 0,1974x + 14,283$	0,2686	6,9771	0,1326
$T_{WZ} - Q_{śred WZ}$	$y = 0,0866x + 13,386$	0,2553	6,5139	0,1412
$Q_{śred WZ} - Q_{max WZ}$	$y = 2,0573x - 12,75$	0,8575	114,351	0,0087
$Q_{śred WZ} - V_{WZ}$	$y = 0,0002x + 13,958$	0,8861	147,805	0,0067
$Q_{max WZ} - V_{WZ}$	$y = 0,0004x + 15,988$	0,7498	56,9309	0,0174

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Przeprowadzona analiza statystyczna (tab. 28) między czasem trwania wezbrania (T_{wz}) a przepływem maksymalnym ($Q_{max\ wz}$) i średnim ($Q_{średwz}$) oraz objętością wody (V_{wz}) wskazuje na złe dopasowanie danych do liniowej funkcji. W związku z powyższym związek pomiędzy wymienionymi parametrami traktować należy jedynie orientacyjnie, ponieważ błąd wynikający z obliczeń wynosi powyżej 5%, a więc jest większy od przyjętego założenia.

Przepływ maksymalny

Daty występowania najwyższych przepływów dobowych wraz z odpowiadającymi im odpływami jednostkowymi wezbrań w półroczach zimowych na tle maksymalnych przepływów dobowych z półrocza zimowego w wieloletniu 1961–2000 przedstawione zostały na rycinie 30.

Przepływy maksymalne w latach, w których wezbrania nie występowały były mocno zróżnicowane. Ich wielkość zależała przede wszystkim od ilości opadów atmosferycznych oraz przebiegu temperatury powietrza w okresie zimowo-wiosennym. Najwyższe przepływy w tych latach wahały się od $2,0\ m^3\ s^{-1}$ w roku 1990 do $14,0\ m^3\ s^{-1}$ w roku 1986, co daje odpływ jednostkowy rzędu od $1,36\ dm^3\ s^{-1}\ km^{-2}$ do $9,53\ dm^3\ s^{-1}\ km^{-2}$.

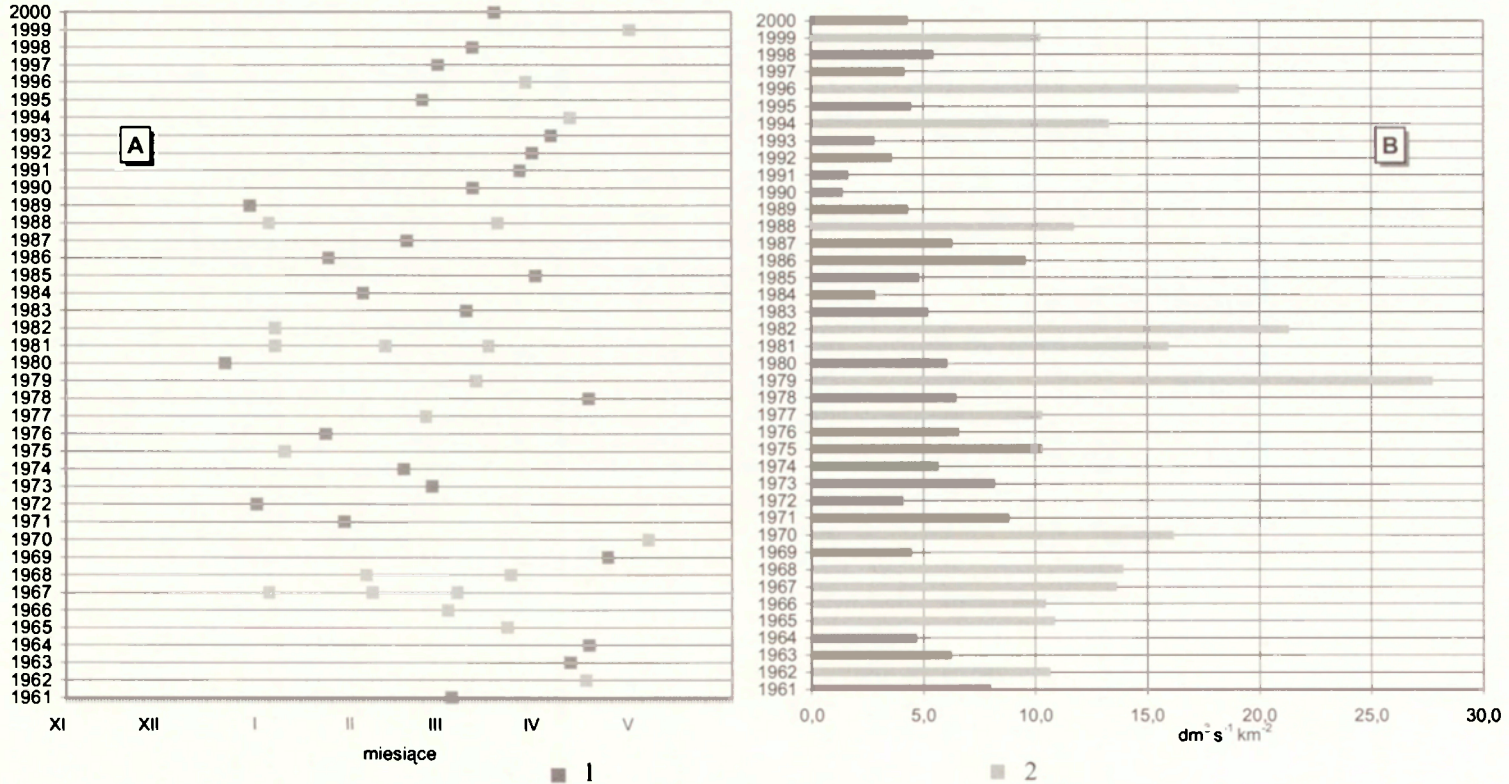
Przepływy maksymalne w czasie trwania wezbrań wynosiły od $14,2\ m^3\ s^{-1}$ w latach 1967 i 1988 do $40,7\ m^3\ s^{-1}$ w roku 1979, co dało rozpiętość odpływu jednostkowego od $9,67\ dm^3\ s^{-1}\ km^{-2}$ do $27,71\ dm^3\ s^{-1}\ km^{-2}$. Najwyższe przepływy wezbrań z półrocza zimowego występowały w latach 1967–1979.

Najlepsze dopasowanie danych do liniowej funkcji występuje pomiędzy przepływem maksymalnym wezbrania ($Q_{max\ wz}$) a przepływem średnim ($Q_{śred\ wz}$) oraz objętością wody w czasie jego trwania (V_{wz}). Oznacza to, że im wartość przepływu maksymalnego wezbrania była większa, tym większy był również przepływ średni oraz objętość wody w czasie jego wystąpienia.

Objętość wezbrań

Objętość wezbrań wahała się od 242 tys. m^3 w czasie trwania pierwszego wezbrania w roku 1967 do 68 553 tys. m^3 w roku 1979 (tab. 27). Średnio w czasie jednego wezbrania powstawał nadmiar wody w ilości 9096 tys. m^3 .

Zgodnie z wcześniejszym podziałem wezbrań na trzy grupy ze względu na czas ich trwania pogrupowano wezbrania pod względem objętości wody. Dla wezbrań o czasie trwania w przedziale od 5 do 20 dni nadmiar wody wynosił od 242 do 3314 tys. m^3 . W przypadku wezbrań w przedziale od 21 do 40 dni nadmiar wody wynosił już od 4947 do 18 540 tys. m^3 . Największą objętością charakteryzowały się wezbrania trwające ponad 40 dni. Dla tej grupy wezbrań objętość wody wynosiła od 5179 do 68 550 tys. m^3 . Łączny obliczony nadmiar wody powstały w wyniku wezbrań w latach 1967–1979 (pomijając dwa pierwsze wezbrania w 1967 r.), a więc w okresie, kiedy wystąpiły najdłużej



Ryc. 30. Dаты wystąpienia maksymalnych dobowych przepływów Zgłowiączki (A) i odpowiadających im odpływów jednostkowych (B) w półroczu zimowym w wieloleciu 1961–2000. 1 – data wystąpienia maksymalnego przepływu dobowego; 2 – data wystąpienia maksymalnego przepływu dobowego wezbrania. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Dates of maximum daily discharges of the Zgłowiączka (A) and the corresponding unitary outflows (B) in the winter half-year during the long-term period between 1961 and 2000. 1 – the date of the maximum daily discharge; 2 – the date of the maximum flood daily discharge. Source: The author's compilation based on the data of the IMWM

trwające wezbrania, wynosił 131 598 tys. m³. Stanowiło to ok. 69% łącznego obliczonego nadmiaru wody powstałego w wyniku wezbrań w półroczach zimowych w wieloleciu 1961–2000.

Analiza statystyczna wskazuje na istnienie teoretycznie istotnego związku pomiędzy objętością wezbrania (V_{wz}) a przepływem maksymalnym ($Q_{max\ wz}$) i przepływem średnim wezbrania ($Q_{śred\ wz}$) (tab. 28). Im większa była objętość wezbrania tym wyższy był jego przepływ średni i maksymalny.

4.3.2.2. WEZBRANIA PÓLROTCZY LETNICH

Początek i koniec oraz czas trwania wezbrań

Wezbrania półrocza letniego pojawiały się na Zgłowiączce najczęściej w maju, ale występowały również w czerwcu, sierpniu i październiku (ryc. 24). Średni czas ich trwania wynosił 23 dni, a więc był krótszy od wezbrań w półroczach zimowych (tab. 27). Rozpiętość czasu trwania wezbrania wahała się od 5 dni w 1985 roku do 89 dni w 1980 roku. Podobnie jak w półroczach zimowych, wezbrania w półroczach letnich były niesymetryczne. Średni czas potrzebny do osiągnięcia przepływu maksymalnego wynosił 8 dni, a tempo wznoszenia dla poszczególnych wezbrań zawierało się w przedziale od 3 dnia w roku 1977 do 28 dni w roku 1980. Średni czas opadania fali wezbraniowej był dłuższy i wynosił 15 dni, jednak dla wyróżnionych wezbrań wahał się w przedziale od 1 dnia w roku 1985 do 61 dni w roku 1980.

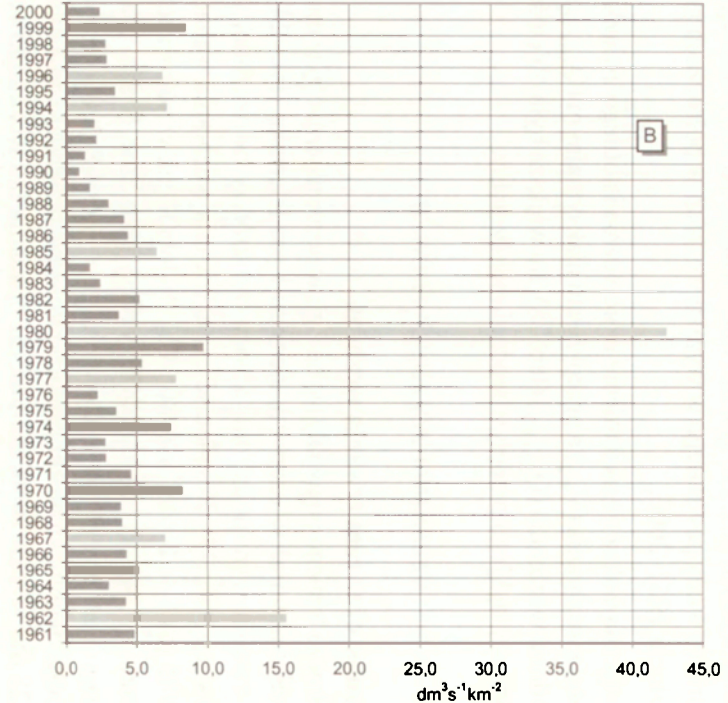
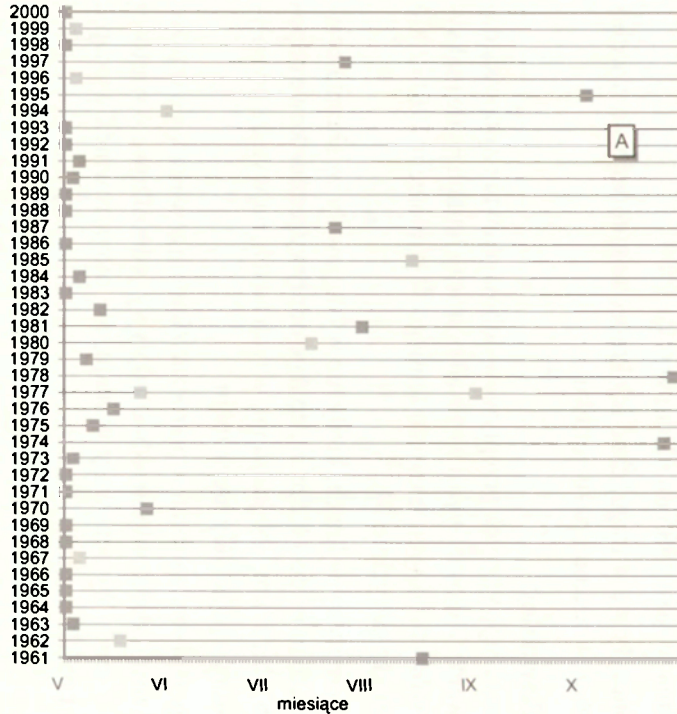
Wezbrania kończyły się w maju, choć ich koniec odnotowuje się również w czerwcu, sierpniu, wrześniu i październiku.

Przepływ maksymalny

Daty wystąpienia najwyższych przepływów dobowych wraz z odpowiadającymi im odpływami jednostkowymi wezbrań półroczy letnich na tle maksymalnych przepływów dobowych z okresu letniego w wieloleciu 1961–2000 przedstawione zostały na rycinie 31.

Maksymalne przepływy w latach, kiedy nie występowały wezbrania osiągały wartości od 1,26 m³s⁻¹ do 14,2 m³s⁻¹, co daje odpływy jednostkowe odpowiednio 0,86 i 9,67 dm³s⁻¹km². Najczęściej, w tych latach, najwyższe przepływy z półrocza letniego pojawiały się w maju.

Maksymalne przepływy wezbrań w półroczach letnich zawierały się w przedziale 9,13–62,2 m³s⁻¹, dając odpowiednio odpływy jednostkowe o wartości 6,22 i 42,34 dm³s⁻¹km². Występowały w maju, ale mogą również wystąpić w lipcu, sierpniu i październiku.



Ryc. 31. Daty wystąpienia maksymalnych dobowych przepływów Zgłowiączki (A) i odpowiadających im odpływów jednostkowych (B) w półroczu letnim w wieloletniu 1961–2000. 1 – data wystąpienia maksymalnego przepływu dobowego; 2 – data wystąpienia maksymalnego przepływu dobowego wezbrania. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Dates of maximum daily discharges of the Zgłowiączka (A) and the corresponding unitary outflows (B) in the summer half-year during the long-term period between 1961 and 2000. 1 – the date of the maximum daily discharge; 2 – the date of the maximum flood daily discharge. Source: The author's compilation based on the data of the IMGW

Objętość wezbrań

Nadmiar wody powstały w wyniku wezbrania wahał się od 271 tys. m³ w roku 1985 do 124 292 tys. m³ w roku 1980 (tab. 27). Łączny obliczony nadmiar wody z 8 wezbrań wynosił 149 138 tys. m³, co daje średnio 18 642 tys. m³. Duży wpływ na wartość średnią wezbrań w półroczach letnich miał nadmiar powstały w roku 1980, stanowiący 83% łącznej objętości z wszystkich wyróżnionych wezbrań.

Pomijając w analizie wezbranie letnie, które wystąpiło w roku 1980 i przyjmując założenie, że jest ono epizodem w całym analizowanym czterdziestoleciu, powstałym w wyniku szczególnych warunków meteorologicznych, dużej zmianie ulegną wartości średnie analizowanych parametrów:

– łączna objętość wezbrań wynosi 24 846 tys. m³ – średnio 3549 tys. m³ na jedno wezbranie,

– przepływ maksymalny wezbrań waha się od 9,13 m³s⁻¹ do 22,8 m³s⁻¹ dając odpływy jednostkowe odpowiednio 6,22 i 15,52 dm³s⁻¹ km⁻²,

– średnio wezbranie półrocza letniego trwało 13 dni i było niesymetryczne, tempo wznoszenia krzywej wynosiło średnio 5 dni, a opadania 8 dni.

Przy tak przyjętym założeniu, można stwierdzić, że wezbranie z półrocza letniego było wezbraniem krócej trwającym, a nadmiar wody w czasie jego trwania był mniejszy w stosunku do wezbrań w półroczach zimowych.

Ze względu na mniejszą ilość wezbrań, które wystąpiły w półroczu letnim w stosunku do półrocza zimowego, nie przeprowadzono analizy statystycznej pomiędzy ich parametrami.

4.3.2.3. EKSTREMALNE WEZBRANIA W DORZECZU W ROKU 1979 I 1980

Wezbrania, podobnie jak niżówki, ze względu na sposób powstawania, mogą pojawiać się w różnych porach roku. W Polsce dominują wezbrania półrocza zimowego, które stanowią ok. 80% wszystkich wezbrań (Mikulski 1962). Najczęściej pojawiają się one marcu i kwietniu. Z kolei wezbrania występujące w półroczu letnim stanowią pozostałe 20%, a miesiącem w którym pojawiają się najczęściej jest lipiec. W dorzeczu Zgłowiączki w badanym wieloleciu wyróżniono łącznie 29 wezbrań, z czego 21 (72%) wystąpiło w półroczu zimowym, a 8 (28%) w półroczu letnim. Do szczegółowej analizy wezbrań i przyczyn ich powstania przyjęto wezbranie, które wystąpiło w półroczu zimowym w roku 1979 oraz wezbranie powstałe w półroczu letnim w roku 1980. Nadmienić należy, że wezbrania roztopowe z 1979 roku na rzekach głównie nizinnej Polski, były największymi wezbraniem tego typu w Polsce w latach 1951–1990 (Stachy i in. 1996).

1. Rok 1979

Rok 1979 pod względem sumy opadów rocznych był bardzo złyżony do roku przeciętnego. Na analizowanych posterunkach opadowych (tab. 29) odchylenie sumy opadów w stosunku do wartości średniej z wielolecia wahało się od ok. -3,6% (opad mniejszy od średniej o 19 mm) w Baruchowie do ok. +5% (opad wyższy od średniej o 30 mm) w Chodczu.

Tabela 29. Sumy opadów atmosferycznych w roku 1979 na wybranych posterunkach oraz ich odchylenia od średniej wieloletniej

Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadu w 1979 roku [mm]	Średnia suma roczna opadu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]
Chodecz	1961–2000	591	561	30	,3
Brześć Kujawski	1961–1991	476	455	21	,6
Olganowo	1961–1991	557	539	18	,3
Baruchowo	1961–2000	509	528	-19	+6
Średnia		533	521	13	2

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Analiza wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych w ciągu roku pozwoliła zauważyć różnice w stosunku do wartości średnich z półrocy: letniego i zimowego. Szczególnie interesujący był przebieg opadów w półroczu zimowym. Na wszystkich analizowanych posterunkach opadowych zanotowane sumy opadów półrocza zimowego były wyższe od średniej z wielolecia. Wielkość opadów wynosiła od 175 mm w Brześciu Kuj. do 238 mm w Baruchowie, a odchylenie od wartości średniej – od +10,1% w Brześciu Kuj. do +24,9% w Chodczu (tab. 30).

Nadmiar opadów w stosunku do średniej kumulowany był na powierzchni gruntu w postaci pokrywy śnieżnej, prawdopodobnie na znacznej powierzchni dorzecza. Jak podaje J. Stachy i in. (1996) grubość pokrywy śnieżnej w Polsce centralnej wynosiła 70–150 cm o zawartości wody rzędu 100–150 mm. Wzrost temperatury powietrza spowodował gwałtowne wezbranie (ryc. 32), które rozpoczęło się 9.III. (zgodnie z przyjętym przepływem granicznym wezbrania) i trwało nieprzerwanie do 8.V. Było to najdłuższe trwające wezbranie zimowe w analizowanym czterdziestolecu. Obliczona objętość wezbrania (nadmiar wody w stosunku do przepływu granicznego) wyniosła 68 553 tys. m³ i stanowiła ok. 38% łącznej objętości wszystkich wydzielonych wezbrań półroczu zimowych. Również zanotowany przepływ maksymalny tego wezbrania – 40,7 m³ s⁻¹ – należał do najwyższych spośród wszystkich wyróżnionych wezbrań. Wezbranie z roku 1979 odnotowane zostało na rzekach w całej Polsce północnej, a największe rozmiary osiągnęło w dorzeczu Narwi i dolnej Wisły, w dorzeczu Noteci oraz na rzekach Pomorza Zachodniego (Stachy i in., 1996).

Tabela 30. Sumy opadów półrocza zimowego i letniego w roku 1979 na wybranych posterunkach oraz ich odchylenia od średniej wieloletniej.

Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów półrocza zimowego w roku 1979 [mm]	Średnia suma opadów półrocza zimowego w wieloletniu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półrocza letniego w roku 1979 [mm]	Średnia suma opadów półrocza letniego w wieloletniu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961–2000	261	209	52	24,9	330	352	-22	-6,3
Brześć Kujawski	1961–1991	175	159	16	10,1	301	296	5	1,7
Olganowo	1961–1991	229	190	39	20,5	328	349	-21	-6,0
Baruchowo	1961–2000	238	194	44	22,7	392	334	58	17,4
Średnia		226	188	38	20	338	333	5	2

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

2. Rok 1980

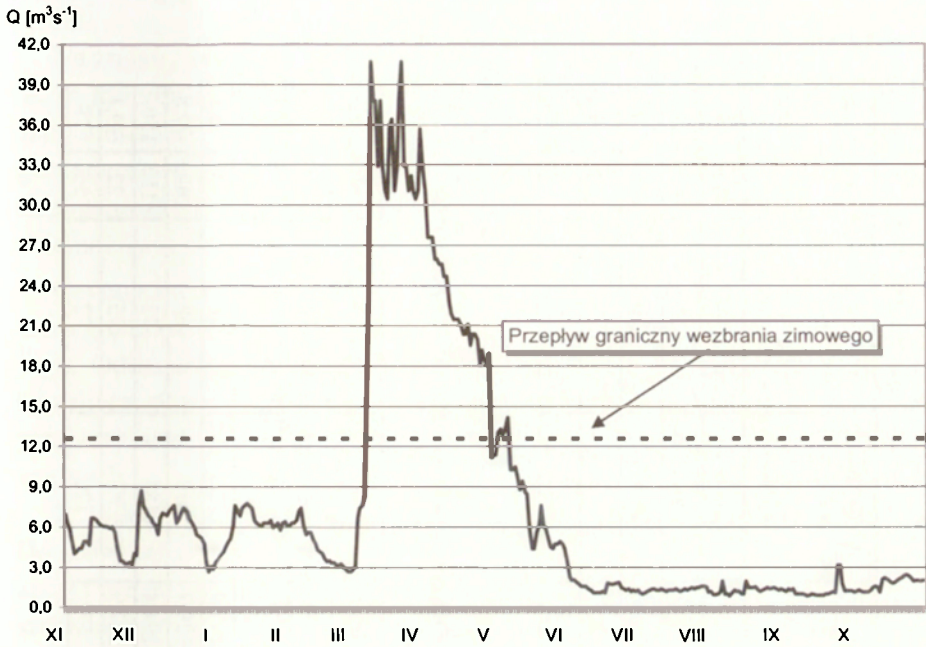
Rok 1980 należał do lat skrajnie wilgotnych. Roczna suma opadów wahała się od 600 mm w Brześciu Kuj. do 801 mm w Olganowie (tab. 31). Odchylenie rocznej sumy opadu w stosunku do średniej z wielolecia wynosiło ok. +18% w Chodczu do ok. +49% w Olganowie.

Tabela 31. Sumy opadów atmosferycznych w roku 1980 na wybranych posterunkach oraz ich odchylenia do średniej wieloletniej

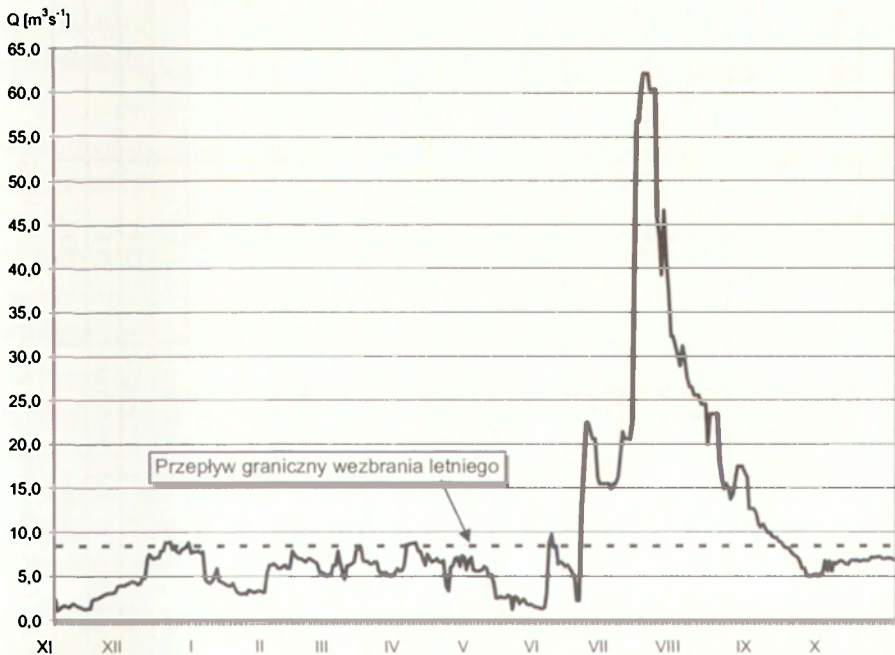
Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadu w 1980 roku [mm]	Średnia suma roczna opadu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]
Chodecz	1961–2000	662	561	101	18,0
Brześć Kujawski	1961–1991	600	455	145	31,9
Olganowo	1961–1991	801	539	262	48,6
Baruchowo	1961–2000	689	528	161	30,5
Średnia		688	521	167	32

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Na podstawie danych zawartych w tabeli 32 można zauważyć wyraźną asymetrię w wielkości opadów półroczy letnich i zimowych. Wielkość opadu na wszystkich analizowanych posterunkach w półroczu zimowym zbliżona była do średniej wieloletniej. Szczególną uwagę zwraca wielkość opadów półroczu letnim. Na wszystkich posterunkach zanotowane wartości sum opadów z półrocza letniego były wyższe od średniej wieloletniej od 99 mm (+28,1%) w Chodczu do 246 mm (+70,5%) w Olganowie. Najwyższe zanotowane miesięczne sumy opadów zanotowano w czerwcu i lipcu (tab. 33). Odchylenie sum opadów w czerwcu wynosiło od ok. +129% w centralnej części dorzecza do ok. +218% w jego wschodniej części. Spowodowały one wezbranie (ryc. 33), które rozpoczęło się 17.VI. i trwało nieprzerwanie do 13.IX. Łączny czas trwania wezbrania wynosił 89 dni, a obliczona objętość wezbrania (nadmiar wody w stosunku do przepływu granicznego) wyniosła 124 292 tys. m³ i stanowiła 83% łącznej objętości z 8 wyróżnionych wezbrań letnich. Zanotowany przepływ maksymalny wezbrania wyniósł 62,2 m³s⁻¹, co dało odpływ jednostkowy rzędu 42,34 dm³s⁻¹km⁻². Wezbranie z roku 1980 było również widoczne na innych rzekach, ale szczególnie duże rozmiary osiągnęło na Noteci, gdzie wystąpiły przepływy kulminacyjne o prawdopodobieństwie 0,1% (Stachy i in., 1996).



Ryc. 32. Rozkład przepływu rzeki Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda w roku 1979
 Discharge distribution of the Zgłowiączka at the Przyruda/Ruda profile in 1979



Ryc. 33. Rozkład przepływu rzeki Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda w roku 1980
 Discharge distribution of the Zgłowiączka at the Przyruda/Ruda profile in 1980

Tabela 32. Sumy opadów półrocza zimowego i letniego w roku 1980 na wybranych posterunkach oraz ich odchylenia od średniej wieloletniej.

Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów półrocza zimowego w roku 1980 [mm]	Średnia suma opadów półrocza zimowego w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półrocza letniego w roku 1980 [mm]	Średnia suma opadów półrocza letniego w wieloleciu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961-2000	211	209	2	1,0	451	352	99	28,1
Brześć Kujawski	1961-1991	191	159	32	20,1	401	296	105	35,5
Olganowo	1961-1991	206	190	16	8,4	595	349	246	70,5
Baruchowo	1961-2000	207	194	13	6,7	482	334	148	44,3
Średnia		204	188	16	9	482	333	150	45

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW.

Tabela 33. Sumy opadów dla czerwca i lipca w roku 1980 na wybranych posterunkach oraz ich odchylenia od średniej wieloletniej

Posterunek	Okres obserwacji	Suma opadów w czerwcu 1980 roku [mm]	Średnia suma opadów dla czerwca w wieloleciu [mm]	Odchylenie		Suma opadów półrocza w lipcu 1980 roku [mm]	Średnia suma opadów dla lipca w wieloleciu [mm]	Odchylenie	
				[mm]	[%]			[mm]	[%]
Chodecz	1961-2000	181	73	108	147,9	121	78	43	55,1
Brześć Kujawski	1961-1991	149	65	84	129,2	112	63	49	77,8
Olganowo	1961-1991	212	72	140	194,4	183	73	110	150,7
Baruchowo	1961-2000	213	67	146	217,2	27	73	22	27,3
Średnia		189	69	120	172	128	72	56	78

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW.

4.4. TENDENCJE ZMIAN ODPLYWU I OPADÓW

Na zmiany odpływu rzecznoego wpływają z jednej strony czynniki naturalne, do których zalicza się przede wszystkim zmiany warunków zasilania opadami atmosferycznymi. Z drugiej strony coraz częściej zmiany te powoduje gospodarcza działalność człowieka. Niejednokrotnie zmiany naturalne i antropogeniczne wzajemnie na siebie oddziałują co utrudnia, a niekiedy wręcz uniemożliwia określenie ich wielkości w stosunku do ogółu zmian.

Czynniki antropogeniczne zostały podzielone przez I. Dynowską i in. (1985) ze względu na charakter oddziaływania na reżim odpływu na:

1. Oddziałujące bezpośrednio na zasobność wodną i reżim rzek. Do grupy tej zalicza: prace regulacyjne koryt rzecznych, pobory i zrzuty wody do rzek, przerzuty wody pomiędzy zlewniami oraz budowę i eksploatację zbiorników wodnych.

2. Oddziałujące pośrednio i z pewnym opóźnieniem na reżim odpływu. Do grupy tej zalicza: zabiegi agrotechniczne, prace melioracyjne, industrializację i urbanizację terenu oraz zmiany w strukturze użytkowania gruntu, a w szczególności, zmiany powierzchni leśnej.

Znajomość naturalnych oraz wywołanych gospodarczą działalnością człowieka zmian, pozwala na pełną realizację zadań i głównych celów gospodarki wodnej, do których zaliczyć można m. in. ochronę przed nadmiarem i deficytem wody oraz zaspokojenie potrzeb wodnych różnych użytkowników i konsumentów wody (Ciepielowski 1999).

Do oceny tendencji zmian wielkości opadów dla wielolecia 1961–2000 wykorzystano metodę liniowej funkcji trendu. Metoda ta pozwala na określenie tendencji rosnącej lub malejącej wielkości opadów na podstawie rocznych ich sum z posterunków opadowych znajdujących się w dorzeczu. Tą samą metodą określono tendencję odpływu z dorzecza Zgłowiączki na podstawie minimalnych, średnich i maksymalnych przepływów rocznych z posterunku wodowskazowego Przyruda/Ruda.

Przeprowadzona analiza wskazuje na malejącą tendencję opadów atmosferycznych w dorzeczu na trzech posterunkach opadowych, tj. Chodczu, Brześciu Kuj. i Olganowie (tab. 34). Na posterunku w Chodczu opady zmniejszyły się z roku na rok o $-1,62$ mm, a na posterunku w Olganowie tendencja ta wynosiła $-0,306$ mm/rok⁻¹. Jedynie na posterunku w Baruchowie tendencja ta była dodatnia i wynosiła $0,386$ mm/rok⁻¹.

Odpływ z dorzecza Zgłowiączki wykazywał również tendencję malejącą. Współczynnik regresji odpływu średniego wynosił $-0,0418$ m³/rok⁻¹, odpływu maksymalnego $-0,1551$ m³/rok⁻¹, a odpływu minimalnego $-0,0055$ m³/rok⁻¹ (tab. 34).

Tabela 34. Tendencje zmian minimalnych, średnich i maksymalnych rocznych przepływów Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda oraz rocznych sum opadów atmosferycznych w wieloleciu 1961–2000

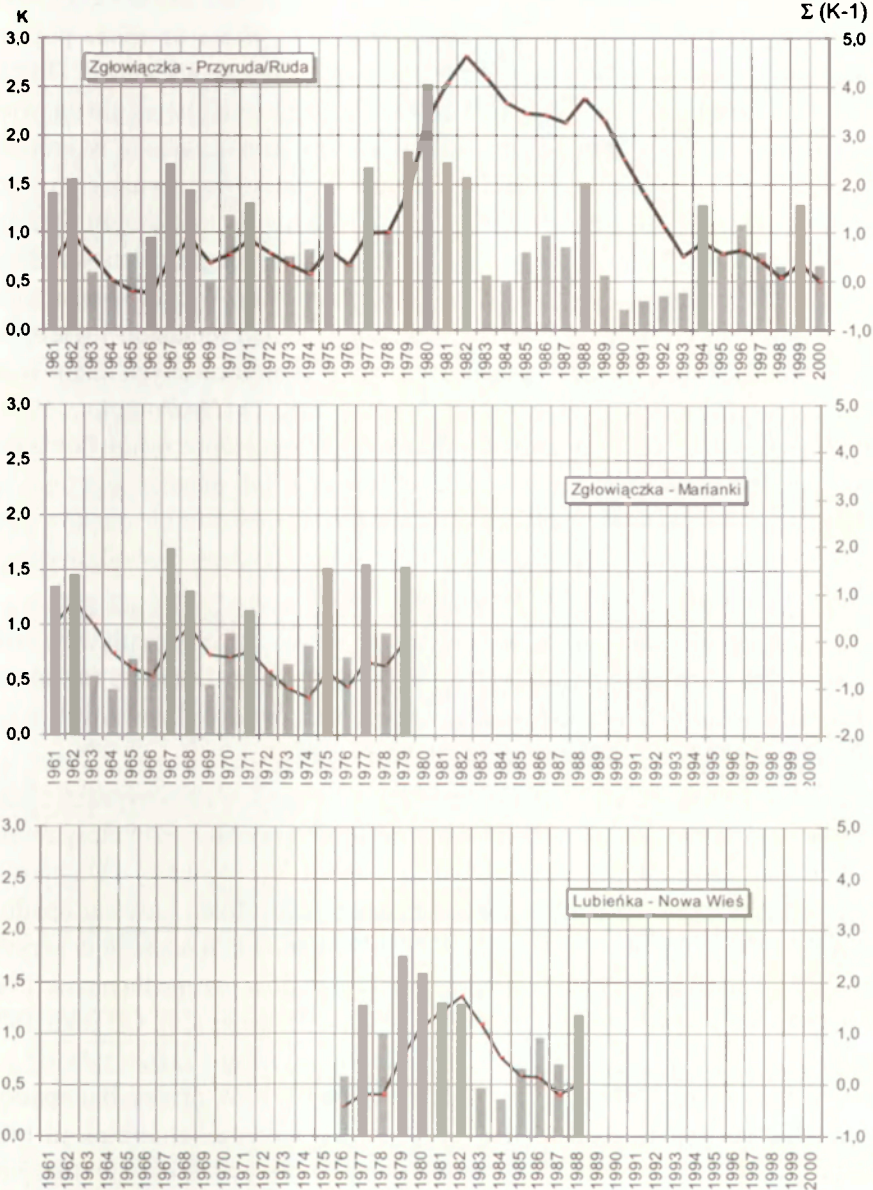
		Równanie trendu	Współczynnik determinacji R^2	Statystyka F	Poziom krytyczny P
Odpływ	WQ (roczne)	$y = -0,1551x + 17,473$	0,0252	0,9838	0,6285
	SQ (roczne)	$y = -0,0418x + 4,8131$	0,0583	2,3511	0,3434
	NQ (roczne)	$y = -0,0055x + 0,8296$	0,0231	0,8993	0,6606
Opad	Chodecz	$y = -1,6206x + 594,07$	0,04	1,5834	0,4627
	Baruchowo	$y = 0,3863x + 519,83$	0,0025	0,0959	0,9998
	Brześć Kuj.	$y = -0,9556x + 470,71$	0,0121	0,3554	0,9236
	Olganowo	$y = -0,306x + 543,96$	0,0007	0,0212	1,0

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

W celu zweryfikowania poprawności, przyjętego w wyniku oszacowania, modelu sprawdzono stopień dopasowania prostej trendu do danych empirycznych. Posłużono się miarą dopasowania zwaną współczynnikiem determinacji R^2 . Uzyskana wartość współczynnika determinacji informuje jaki procent zaobserwowanego w próbie zróżnicowania wielkości opadów lub odpływu zostało wyjaśnione linią trendu. Obliczone współczynniki determinacji dla odpływu z dorzecza Zgłowiączki w latach 1961–2000 są niskie i wynoszą dla odpływu średniego 5,83%, dla odpływu maksymalnego 2,52%, a dla odpływu minimalnego 2,31%. Oszacowana liniowa funkcja trendu dla opadów atmosferycznych w jeszcze niższym stopniu (w stosunku do odpływu) dopasowuje się do danych empirycznych. Współczynnik determinacji R^2 wynosi od 4% dla opadów na posterunku w Chodczu do 0,07% w Olganowie.

Weryfikację istotności współczynnika determinacji R^2 linii trendu przeprowadzono za pomocą testu F (Fishera – Snedecora) na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Dla wyznaczonej statystyki F obliczono poziom krytyczny P, który informuje o wielkości popełnianego błędu w przypadku przyjęcia hipotezy, że współczynnik determinacji R^2 jest istotny statystycznie. Statystykę F oraz poziom krytyczny P obliczono wykorzystując arkusz kalkulacyjny Excel firmy Microsoft.

Dane zawarte w tabeli 34 wskazują na wysokie wartości błędów, a tym samym na małą istotność współczynnika determinacji. Może to oznaczać, że model liniowy opisujący zjawisko jest zbyt dużym uproszczeniem rzeczywistej powierzchni charakteryzującej zmienność przepływu i opadów. W związku z powyższym, zależności pomiędzy wartościami rzeczywistymi, a teoretycznymi w postaci trendu liniowego, tak w przypadku opadów, jak również odpływu należy traktować jedynie orientacyjnie.



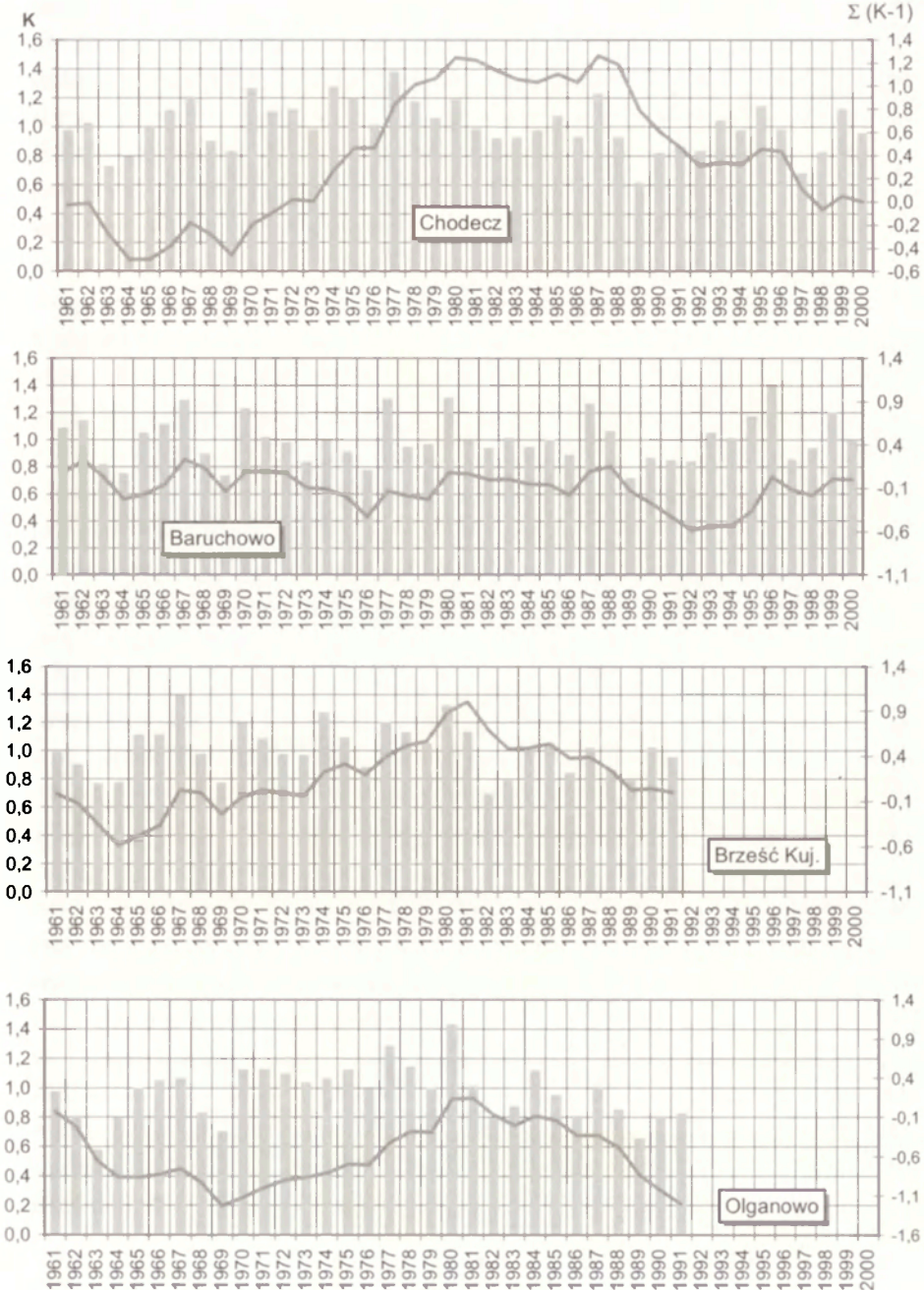
Ryc. 34 Diagram i krzywa kumulacyjna współczynnika „K” średnich rocznych przepływów Zgłowiączki (posterunek Marianki i Przyruda/Ruda) w wieloletniu 1961–2000 oraz Lubieńki (posterunek Nowa Wieś) w latach 1976–1988. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW.

Diagram and cumulative curve of the coefficient “K” of the mean annual discharges of the Zgłowiączka (the Marianki and Przyruda/Ruda stations) in the long-term between 1961 and 2000 as well as the Lubieńka (the Nowa Wieś station) between 1976 and 1988. Source: Calculation of the author based on the data of the IMGW.

Zaletą linii trendu jest możliwość wskazania kierunku zmian (jeżeli takie występują) elementów hydrometeorologicznych *in plus* i *in minus* poprzez funkcyjną postać zależności analizowanego elementu w wieloleciu (Jokiel, Kostrubiec 1981). Wyznaczona linia trendu dla całego wielolecia nie odzwierciedla jednak fluktuacji opadów i odpływu, które zaznaczają się w krótkich okresach analizowanego wielolecia. Faktycznie zanotowane wartości w tych krótkich okresach długiego cyklu nie pasują idealnie do linii trendu. Dlatego też nie przeprowadzono dalszej analizy statystycznej polegającej na weryfikacji istotności parametru kierunkowego funkcji liniowej. W celu wyznaczenia krótkookresowych (kilku lub kilkunastoletnich) zmian tendencji i wielkości opadów i odpływu wykorzystano metodę krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu lub opadu – $\Sigma(K-1)$ (*Hydrologia...* 1995). Przy pomocy krzywej skumulowanych różnic można jednocześnie dokładnie wskazać datę zmian wielkości i tendencji opadów lub natężenia przepływu (Gregory 1976). Metoda ta wykorzystywana jest w ocenie zmian opadów i odpływu wywołanych różnymi czynnikami, m.in. przez: A.T. Jankowskiego (1988), R. Glazika (1995), D. Absalona (1998).

Analizę przeprowadzono na podstawie średnich rocznych przepływów rzeki Zgłowiączki (profile Przyruda/Ruda i Marianki) i rzeki Lubieńki (w profilu Nowa Wieś) oraz rocznych sum opadów z posterunków zlokalizowanych w dorzeczu. Wyniki przedstawiono na rycinach 34 i 35.

Analiza przebiegu krzywej skumulowanych różnic współczynnika opadu pozwala zauważyć podobieństwa zmian opadów atmosferycznych w rozpatrywanym wieloleciu na posterunkach w Chodczu, Brześciu Kuj. i Olganowie (ryc. 35). Wyraźnie uwidaczniała się tendencja wzrostowa krzywej opadów od roku 1964 w Chodczu i Brześciu Kuj. W Olganowie tendencja ta zarysowywała się od roku 1969. Kulminacja krzywej opadów przypadła na rok 1980 w Chodczu, 1980–1981 w Olganowie i 1981 w Brześciu Kuj. Od roku 1981 na posterunkach w Brześciu Kuj. i Olganowie wyraźnie zaznaczała się już tendencja spadkowa krzywej, trwająca do roku 1991. W przypadku opadów na posterunku w Chodczu charakterystyczny był siedmioletni okres od 1980 do 1987 roku, kiedy widać było w miarę stałą, z niewielkimi fluktuacjami tendencję utrzymywania się opadów zbliżonych do średniej wieloletniej. Po roku 1987 (ryc. 35) zarysowywała się już stała tendencja opadania krzywej z niewielką fluktuacją w latach 1993–1996. Nieco odmiennie wygląda przebieg krzywej na posterunku w Baruchowie w latach 1967–1976, który w przeciwieństwie do pozostałych analizowanych posterunków był w tym okresie odwrotny. Dopiero po roku 1976 przebieg krzywej nawiązuje do tendencji opadów na pozostałych posterunkach.



Ryc. 35. Diagram i krzywa kumulacyjna współczynnika „K” rocznych sum opadów w Chodczu, Baruchowie, Brześciu Kuj. i Olganowie w wieloleciu 1961–2000. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Diagram and cumulative curve of the coefficient “K” of the annual precipitation sums in Chodecz, Baruchowo, Brześć Kuj. and Olganowo in the long-term 1961 and 2000. Source: Calculation of the author based on the data of the IMGW <http://rcin.org.pl>

Wyraźne podobieństwa zaznaczają się pomiędzy wielkością opadów atmosferycznych (posterunki Chodecz, Brześć Kuj.) a natężeniem przepływu w profilu Marianki (ryc. 34) w latach 1961–1979. Jednak analiza krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu i opadu wskazuje na różnice w latach, kiedy następuje zmiana tendencji z malejącej na rosnącą. Wyrażna i jednostajna zmiana tendencji opadów atmosferycznych przypada w Chodczu na 1969 rok, a zmiana natężenia przepływu na rok 1974. Przyczyna takiego przesunięcia w czasie tendencji wzrostowej odpływu uwarunkowana jest prawdopodobnie cechami środowiska przyrodniczego. Budowa geologiczna, a w szczególności litologia utworów powierzchniowych decyduje bowiem o wielkości splywu powierzchniowego lub infiltracji wód opadowych.

Natężenie przepływu rzeki Lubieńki (ryc. 34) również nawiązuje do sum opadów. Jednak krótki – 13-letni okres uniemożliwia wyciągnięcie pełnych wniosków z zależności pomiędzy opadem, a natężeniem przepływu. Widoczna jest tendencja wzrostowa przepływu od roku 1976 z kulminacją krzywej w 1982 r. Tendencja ta pokrywa się z tendencją opadów na wszystkich analizowanych posterunkach. Po roku 1982 tendencja staje się malejąca, a przyczyną jest spadek opadów na początku lat 80. zauważalny również na wszystkich posterunkach.

Analiza przebiegu krzywej skumulowanych różnic współczynników przepływu Zgłowiączki w profilu zamykającym dorzecze (Przyruda/Ruda) pozwoliła wydzielić w całym wieloleciu cztery charakterystyczne podokresy (ryc. 34).

1. 1961–1976 (16 lat) (podokres I) – nie było wyraźnych tendencji rosnących czy malejących. Wystąpiły jedynie pewne fluktuacje w przebiegu krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu, wynikające z wzajemnego przeplatania się lat o przepływie wyższym (7 lat) i niższym (9 lat) od średniej z wielolecia. Średni odpływ jednostkowy z tego podokresu wynosił $2,75 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był bardzo zbliżony do średniego wieloletniego odpływu jednostkowego wynoszącego $2,69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Wystąpiło łącznie 16 okresów niżówkowych, z czego 7 wystąpiło w półroczu zimowym (tab. 35), a 9 w półroczu letnim (tab. 36). Niżówki z półrocza zimowego w tym okresie były dłuższe i głębsze od niżówek z półrocza letniego. Z kolei w przypadku wezbrań, w półroczu zimowym wystąpiły one 10 razy (tab. 37) i tylko 3 w półroczu letnim (tab. 38).

2. 1977–1982 (6 lat) (podokres II) – zaznaczyła się wyraźna i gwałtowna tendencja wzrostowa krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu. Należy przypuszczać, że na wzrost opadów na posterunkach w Chodczu i Brześciu Kujawskim od roku 1964 nałożył się wzrost opadów w Olganowie od 1969 r oraz Baruchowie od 1976 roku, co doprowadziło do gwałtownej

tendencji wzrostowej przepływów na posterunku Przyruda/Ruda od roku 1976. Od roku 1977 do roku 1982 wielkość średniego natężenia przepływu znacznie przewyższała średnią z wielolecia. Średni odpływ jednostkowy w tym okresie wyniósł $4,63 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był on wyższy o ok. 72% od średniej wieloletniej. Kulminacja krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu przypadła na rok 1980. O bardzo dużej wilgotności tego okresu świadczy fakt, że nie wystąpiły w nim niżówki półrocza zimowego ani letniego (tab. 35 i tab. 36). Wezbrania półroczy zimowych (wystąpiły 6 razy) i letnich (wystąpiły 3 razy)

Tabela 35. Parametry niżówek z półroczy zimowych w wybranych podokresach wielolecia 1961–2000

Charakterystyka		Podokres I 1961–1976	Podokres II 1977–1982	Podokres III 1983–1993	Podokres IV 1994–2000
Liczba wystąpień		7	Niżówki nie wystąpiły	13	5
Czas trwania [dni]	max	127 (1970)		169 (1990)	23 (1995)
	średnia	53		50	15
	min	24 (1965a i b)		14 (1989)	13 (1998–2000)
Przepływ średni [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]	max	1,55 (1965)		1,51 (1993 b)	1,56 (1998)
	średnia	1,24		1,23	1,41
	min	0,94 (1970)		0,97 (1993a)	1,26 (2000)
Przepływ minimalny [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]	max	1,43 (1965)		1,38 (1993b)	1,33 (1998)
	średnia	0,88		0,88	1,20
	min	0,26 (1970)		0,44 (1993a)	1,07 (2000)
Niedobór wody [tys. m^3]	max	8 132 (1970)		7 832 (1990)	470 (2000)
	średnia	2 366		2165	353
	min	276 (1965b)		259 (1989)	139 (1998)

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Tabela 36. Parametry niżówek z półroczy letnich w wybranych podokresach ich wielolecia 1961–2000

Charakterystyka		Podokres I 1961–1976	Podokres II 1977–1982	Podokres III 1983–1993	Podokres IV 1994–2000
Liczba wystąpień		9	Niżówki nie wystąpiły	8	4
Czas trwania [dni]	max	118 (1964)		178 (1990)	42 (1998)
	średnia	32		87	35
	min	9 (1965)		11 (1984)	23 (2000)
Przepływ średni [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]	max	0,69 (1969)		0,63 (1984)	0,71 (1988)
	średnia	0,58		0,49	0,64
	min	0,46 (1964, 1965)		0,38 (1990)	0,55 (1995)
Przepływ minimalny [$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$]	max	0,65 (1968, 1969)		0,45 (1984)	0,66 (1998)
	średnia	0,50		0,30	0,60
	min	0,20 (1964)		0,16 (1990)	0,43 (1995)
Niedobór wody [tys. m^3]	max	3 144 (1964)		6 068 (1990)	654 (1995)
	średnia	630		2 380	362
	min	118 (1969)		135 (1984)	213 (1998)

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Tabela 37. Parametry wezbrań z półroczy zimowych w wybranych podokresach wielolecia 1961–2000

Charakterystyka		Podokres I 1961–1976	Podokres II 1977–1982	Podokres III 1983–1993	Podokres IV 1994–2000
Liczba wystąpień		10	6	2	1
Czas trwania [dni]	max	55 (1970)	58 (1979)	43 (1988b)	38 (1994)
	średnia	25	31	27	24
	min	5 (1967a)	11 (1981a)	10 (1988a)	12 (1999)
Przepływ średni [m ³ s ⁻¹]	max	18,31 (1970)	26,30 (1979)	14,01 (1988b)	15,20 (1996)
	średnia	14,94	18,05	13,70	14,64
	min	13,73 (1967b)	14,30 (1977)	13,39 (1988a)	13,83 (1999)
Przepływ maksymalny [m ³ s ⁻¹]	max	23,70 (1970)	40,70 (1979)	17,20 (1988b)	28,00 (1966)
	średnia	17,23	23,82	15,70	20,83
	min	14,20 (1967a)	15,10 (1977)	14,20 (1988a)	15,00 (1999)
Nadmiar wody [tys. m ³]	max	27 035 (1970)	68 553 (1979)	5 179 (1988b)	7 382 (1994)
	średnia	6 158	18 332	2 922	4 538
	min	242 (1967a)	1 674 (1981a)	665 (1988a)	1 284 (1999)

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Tabela 38. Parametry wezbrań z półroczy letnich w wybranych podokresach wielolecia 1961–2000

Charakterystyka	Liczba wystąpień	Rok wystąpienia	Czas trwania [dni]	Przepływ średni [m ³ s ⁻¹]	Przepływ maksymalny [m ³ s ⁻¹]	Nadmiar wody [tys m ³]
Podokres I 1961-1976	3	1962	31	15,78	22,80	19 68
		1967	15	9,05	10,20	8:5
		1974	8	9,73	10,8	9:1
Podokres II 1977-1982	3	1977a	12	9,90	11,30	1 555
		1977b	8	8,99	9,13	416
		1980	89	24,56	62,20	124 292
Podokres III 1983-1993	1	1985	5	9,03	9,30	2:1
Podokres IV 1994-2000	1	1996	13	9,37	9,90	1 089

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

charakteryzowały się najwyższymi wartościami parametrów (tab. 37 i tab. 38). Średni czas trwania wezbrań z półroczy zimowych wynosił 31 dn (średnia z wielolecia 26 dni), a ich przepływ średni 18,05 m³s⁻¹ (średnia z wielolecia 15,67 m³s⁻¹). Również obliczona średnia objętość wezbrania (nadmiar wody w stosunku do wartości granicznej wezbrania) była nieporównywalna w stosunku do pozostałych wydzielonych podokresów. Wynosiła ona 18 332 tys. m³ i była wyższa o ok. 102% od średniej objętości wezbrań z wielolecia. Szczególnie wilgotne półrocze zimowe pod względem odpływu wystąpiło w roku 1979, w którym obliczona objętość wezbrania z półrocza zimowego była najwyższa w całym wieloleciu i wynosiła 68 553 tys. m³. Sekwencja szczególnie

wilgotnych półroczy zimowych doprowadziła do bardzo dużego nasycenia się gruntu wodą. W efekcie pośrednio przyczyniła się do wystąpienia w roku 1980 wezbrania w półroczu letnim (tab. 38), którego przepływ maksymalny osiągnął wartość $62,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (14.VII). Czas trwania tego wezbrania wynosił aż 89 dni (17.VI – 13.IX).

3. 1983–1993 (11 lat) (podokres III) – występowała tendencja spadkowa krzywej do roku 1987, a następnie zaznacza się mniejsza już kulminacja w roku 1988. W okresie tym wystąpiło aż 10 lat z przepływem niższym od średniej wieloletniej. Widoczne jest wyraźne nawiązanie kierunku krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu do tendencji opadów na posterunkach w Chodczu i Baruchowie. Po roku 1988 występowała wyraźna tendencja spadkowa krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu, najbardziej nawiązująca do tendencji spadkowej krzywej opadów na posterunku w Baruchowie, Olganowie i Brześciu Kuj. Średni odpływ jednostkowy w tym okresie wyniósł $1,69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ i był niższy o ok. 59% od średniej wieloletniej. Szczególną uwagę w tym podokresie zwraca sekwencja lat 1989–1993, kiedy to średni odpływ jednostkowy wyniósł zaledwie $0,94 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Decydujące znaczenie na tak znaczne zubożenie zasobów wodnych w tym okresie miało nałożenie się niedoborów opadów atmosferycznych, które wystąpiły w półroczu zimowym i letnim, oraz wystąpienie wyższej temperatury powietrza w stosunku do średniej, tak w półroczu zimowym jak i letnim. Jak podają autorzy opracowania *Susze na obszarze Polski ...* (1995) w lutym 1989 roku średnia miesięczna temperatura w Polsce była wyższa o $5 \text{ }^\circ\text{C}$, a w 1990 od ok. 6 do $8 \text{ }^\circ\text{C}$. Miesiące letnie w latach 1989 i 1990 charakteryzowały się przewagą występowania dni ciepłych i upalnych. Znaczne niedobory opadów atmosferycznych doprowadziły do obniżenia się poziomu wód gruntowych. Na obszarze dorzecza od stycznia do lipca 1989 roku oraz od marca do października 1990 roku wystąpiły najniższe stany pierwszego horyzontu wód podziemnych, a przyrost miąższości strefy aeracji wynosił ponad 50 cm (*Susze na obszarze Polski... 1995*). Podobna sytuacja miała miejsce w miesiącach letnich 1992 roku, kiedy w sierpniu poziom wód gruntowych na obszarze badań był niższy od średniej wieloletniej – 50 do 100 cm (Bobiński, Meyer 1992). Wyczerpywanie się zasobów wodnych dorzecza przejawiało się w postaci ekstremalnych niżówek, które wystąpiły w półroczach zimowych (13 wystąpień) (tab. 35) i letnich (8 wystąpień) (tab. 36). Średni czas trwania niżówek z półroczy zimowych wynosił 50 dni (średnia z wielolecia wynosi 44 dni), średni przepływ niżówek wynosił $1,23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (średnia z wielolecia była podobna i wynosiła $1,27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), a średni przepływ z minimalnych przepływów niżówek wynosił $0,88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (średnia z wielolecia wynosi $0,94 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). W efekcie średni niedobór wody (niedobór wody w stosunku do przepływu granicznego niżów-

ki), powstały w wyniku niżówek z półroczy zimowych, wynosił 2165 tys. m³ i był większy od średniego niedoboru powstałego z niżówek półroczy zimowych w wieloleciu o ok. 16%. Niżówki z półroczy letnich trwały średnio 87 dni (dłuższe od średniej z wielolecia o 34 dni), ich średni przepływ wynosił 0,49 m³s⁻¹ (przepływ średni niżówek z półroczy letnich w wieloleciu wynosi 0,56 m³s⁻¹), a średni przepływ z minimalnych przepływów tylko 0,30 m³s⁻¹ (przy średniej z wielolecia wynoszącej 0,41 m³s⁻¹). W efekcie średni niedobór wody powstały w wyniku wystąpienia tych zdarzeń wynosił 2380 tys. m³ i był większy od średniego niedoboru powstałego w wyniku niżówek z półroczy letnich w wieloleciu o ok. 91%.

4. 1994–2000 (7 lat) (podokres IV) – zaznaczał się dalszy spadek krzywej skumulowanych różnic współczynnika przepływu, lecz nie był on tak gwałtowny, jak w podokresie poprzednim. Wystąpiły w tym podokresie 4 lata z przepływem poniżej średniej i 3 lata z przepływem powyżej średniej z wielolecia. Przebieg krzywej nawiązuje do stanu z lat 1961–1976. Również średni odpływ jednostkowy z tego podokresu był zbliżony do średniej wieloletniej, wyniósł on 2,49 dm³s⁻¹km⁻². Wydzielono w tym podokresie 9 okresów niżówkowych (5 w półroczu zimowym i 4 w półroczu letnim) oraz 4 wezbrań (3 w półroczu zimowym i 1 w półroczu letnim). Niżówki półroczy zimowych były krótsze (średni czas trwania wynosił 15 dni) od niżówek z półroczy letnich (35 dni). Natomiast wezbrania w półroczach zimowych były prawie dwukrotnie dłuższe (średni czas trwania wynosił 24 dni) od wezbrania, które wystąpiło w półroczu letnim (13 dni).

4.5. SEZONOWE I PRZYPADKOWE WAHANIA ODPLYWU

Spśród wielu metod statystycznych pozwalających określić zmienność odpływu, na potrzeby niniejszej pracy wykorzystano „model wahań w czasie”. Metoda ta wykorzystywana była głównie do oceny zmienności odpływu rzeczno-uwodnionego czynnikami antropogenicznymi, ale również znajduje swoje zastosowanie w analizie zmienności opadów atmosferycznych (Czaja, Radosz 1989). Przy pomocy tej metody możemy jednocześnie określić tendencję odpływu, wielkość wahań sezonowych i przypadkowych. Dodatkową zaletą modelu jest możliwość niezależnej oceny zmienności odpływu w całym analizowanym wieloleciu oraz w charakterystycznych podokresach wydzielonych w rozdziale 4.4.

Zastosowanie do analiz modelu wahań w czasie jest jednocześnie próbą przeniesienia i porównania wyników zmienności odpływu dla obszarów przeobrażonych antropogenicznie. Model ten został wprowadzony do badań hydrologicznych przez A.T. Jankowskiego (1986a), a następnie S. Czaję (1988a,

1988b, 1999) oraz S. Czaję i A.T. Jankowskiego (1989). Wykorzystany został dla określenia reżimu hydrologicznego rzek regionu górnośląskiego (konurbacji katowickiej). Jest to obszar o długotrwałej i różnorodnej ingerencji człowieka w środowisko naturalne (Jankowski 1986, 1987, 1988, 1991). Charakter tych zmian był i jest związany z uprzemysłowieniem – rozwojem górnictwa oraz urbanizacją. Głównym czynnikiem wpływającym na zmiany odpływu na tym terenie jest gospodarka wodno-ściekowa, a szczególnie zrzuty ścieków przemysłowych i komunalnych oraz wód dołowych (Jankowski 1988). Tak więc porównanie otrzymanych tą metodą wyników pozwoli na rozszerzenie i doprecyzowanie wiedzy dotyczącej rozkładu odpływu w wieloleciu i cyklu rocznym ze zlewni o różnym stopniu i charakterze antropogenicznych przekształceń.

Tendencja odpływu

W analizowanym wieloleciu (1961–2000) wystąpiła malejąca tendencja odpływu z dorzecza Zgłowiączki. Zmiana ta tylko częściowo nawiązywała do trendu opadów atmosferycznych. Z czterech analizowanych posterunków opadowych jedynie w Chodczu oraz Brześciu Kuj. tendencja ta była zbieżna. Odchylenie linii trendu odpływu (wartość początkowa $\dot{y}_1 = 0$) wynosiła – 36,84%, a w przypadku opadów od –4,26% w Brześciu Kuj. do –9,67% w Chodczu (tab. 39). Na pozostałych posterunkach opadowych tendencja ta miała charakter dodatni. Świadczy to o znacznie większym zubożeniu zasobów wodnych dorzecza (odpływ) w stosunku do ich uzupełniania (opady atmosferyczne). Zdecydowanie największy wpływ na taki kierunek tendencji odpływu miał deficyt opadów jaki wystąpił po roku 1983 (podokres III i IV). Szczególnie zaznaczył się on w wieloleciu 1983–1993 (podokres III). Odchylenie linii trendu odpływu wyniosło w tym okresie – 58,77%. W okresie tym zubożone zostały w największym stopniu zasoby wodne, które nie zostały odbudowane do roku 2000 pomimo wyrównanej tendencji opadów atmosferycznych, jaka wystąpiła w latach 1994–2000 (podokres IV).

Wahania sezonowe

Sezonowa zmienność odpływu (ryc. 36A):

– przepływy wiosenne, znacznie przekraczające średnią wieloletnią przypadają na marzec i kwiecień. Odchylenie przepływu od średniej ($3,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) wynosiło w marcu 84,5%, tj. $3,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a w kwietniu 83,8%, tj. $3,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

– z kolei przepływy poniżej średniej wieloletniej przypadają na okres od czerwca do października, z minimum osiąganym we wrześniu, gdzie przepływ stanowił jedynie 46,5% średniego rocznego przepływu z wielolecia.

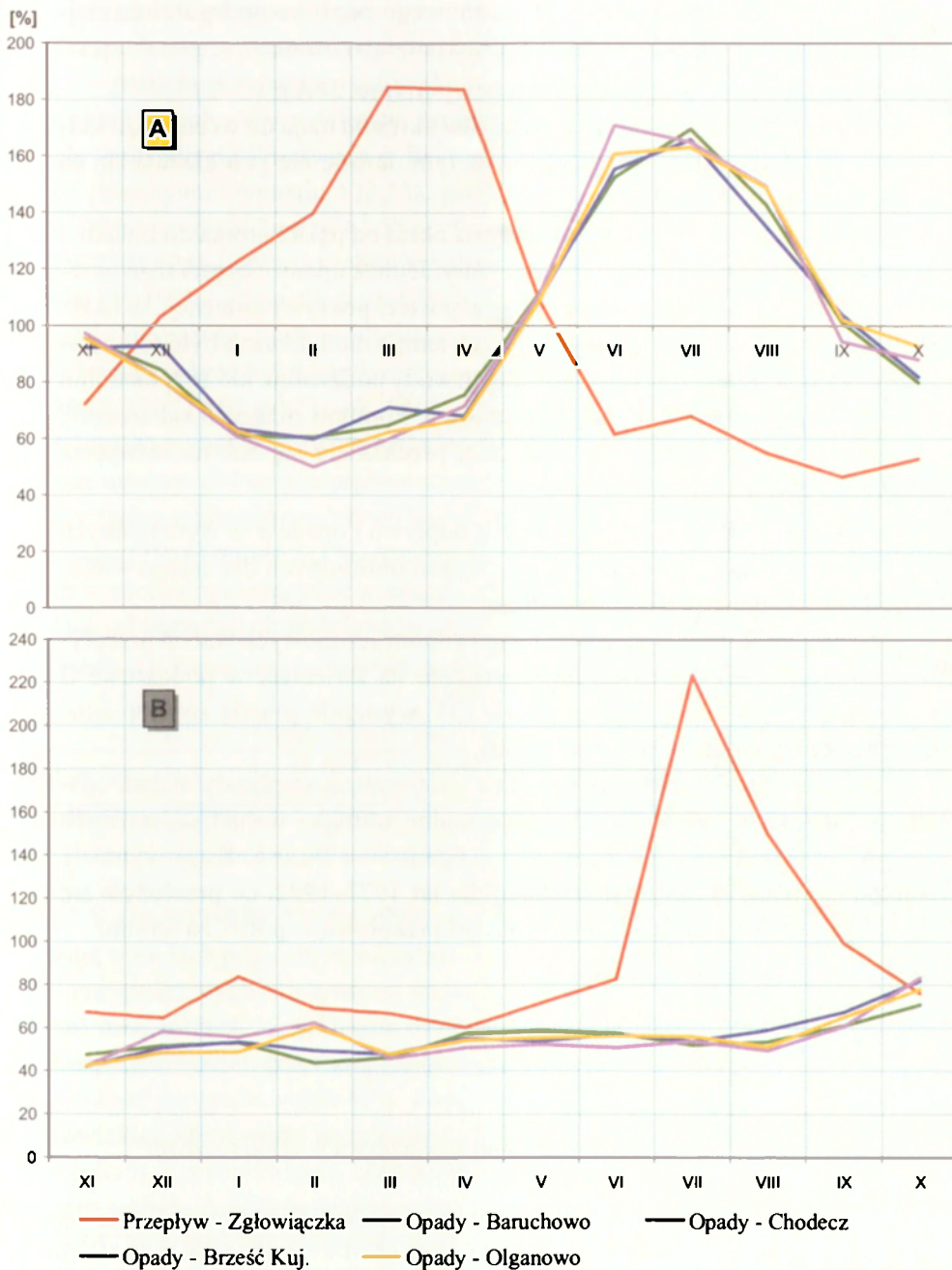
– amplituda sezonowych wahań przepływu w cyklu rocznym wynosiła 138,01% (tab. 40). Jednak najwyższa amplituda wystąpiła w podokresie I i IV,

Tabela 39. Tendencje zmian średnich miesięcznych przepływów Zgłowiączki w profilu Przyruda/Ruda oraz miesięcznych sum opadów atmosferycznych w wieloleciu 1961–2000

	1961–2000		1961–1976		1977–1982		1983–1993		1994–2000	
	Różnica trendu	Odczylenie trendu $\hat{y}_t = 0$ [%]	Różnica trendu	Odczylenie trendu $\hat{y}_t = 0$ [%]	Różnica trendu	Odczylenie trendu $\hat{y}_t = 0$ [%]	Różnica trendu	Odczylenie trendu $\hat{y}_t = 0$ [%]	Różnica trendu	Odczylenie trendu $\hat{y}_t = 0$ [%]
Przeływ Zgłowiączka	$y = -0,0036x + 4,831$	-36,84	$y = -0,0049x + 4,507$	-20,78	$y = 0,0121x + 6,356$	13,14	$y = -0,0157x + 3,5191$	-58,77	$y = -0,0159x + 4,492$	-
Opady Baruchowo	$y = 0,004x + 43,014$	4,47	$y = -0,264x + 45,347$	-11,14	$y = -0,065x + 49,525$	-9,33	$y = -0,0288x + 43,7307$	-8,62	$y = -0,0068x + 47,648$	-1,19
Opady Chodecz	$y = -0,0099x + 49,123$	-9,67	$y = 0,0741x + 40,955$	34,51	$y = -0,2165x + 59,862$	-25,78	$y = -0,0395x + 45,9934$	-11,27	$y = 0,0024x + 44,326$	0,45
Opady Brześć Kuj.*	$y = -0,0044x + 38,781$	-4,26	$y = 0,0384x + 34,709$	21,12	$y = -0,1332x + 46,002$	-20,62	$y = 0,0274x + 33,507$	8,74	-	-
Opady Olganowo*	$y = 0,0006x + 44,819$	0,46	$y = 0,084x + 36,5694$	43,78	$y = -0,1603x + 57,558$	-19,82	$y = -0,0825x + 45,3281$	-19,15	-	-

* – dane z lat 1961–1991

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 36. Sezonowa (A) i przypadkowa (B) zmienność przepływu Zgłowiączki oraz opadów atmosferycznych w wieloleciu 1961–2000. Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Seasonally (A) and accidentally (B) changeability of the of the Zgłowiączka discharge and precipitation in the long-term period between 1961 and 2000. Source: Calculation of the author based on the data of the IMGW <http://rcin.org.pl>

co świadczy o koncentrowaniu się sezonowego odpływu w kwietniu i największych sezonowych niedoborach w sierpniu i wrześniu.

Opady związane z wahaniami sezonowymi (ryc. 36A):

– Opady powyżej średniej przypadały na okres od maja do września, z kulminacją w lipcu. Sezonowość opadów w tym okresie nie przekładała się na wielkość sezonowego odpływu.

– Opady poniżej średniej przypadały na okres od października do kwietnia z minimum przypadającym na styczeń i luty. Jednak opady z części tego okresu, zatrzymywane były na powierzchni w postaci pokrywy śnieżnej. W okresie wiosennym w czasie roztopów, których tempo modelowane było temperaturą powietrza, woda infiltrowała zasilając wody podziemne lub bezpośrednio zasilając rzekę przez spływ powierzchniowy. Pomimo niższych od średniej opadów atmosferycznych w tym okresie, przekładały się one na sezonową wielkość odpływu.

Przebieg i zakres wahań sezonowych odpływu i opadów w wydzielonych podokresach nawiązywał do przebiegu wahań obliczonych dla całego wielolecia. Zmianie ulegał przede wszystkim:

– miesiąc, w którym występowało maksimum sezonowych wahań przepływu – w podokresie I maksimum przypadało na kwiecień, w podokresie II wystąpiło w marcu, w podokresach III i IV wystąpiło prawie równorzędne maksimum w marcu i kwietniu (tab. 40).

– zakres sezonowych wahań opadów – najwyższe amplitudy wahań opadów wystąpiły w podokresie II. Maksymalne wartości wahań sezonowych opadów w centralnej części dorzecza (Olganowo i Brześć. Kuj.) wynosiły w lipcu ponad 100% wartości średniej dla lat 1977–1982, co przełożyło się w sposób bezpośredni na sezonowy wzrost przepływu w półroczu letnim.

Tabela 40. Zakres sezonowych wahań przepływu w cyklu rocznym w wieloleciu 1961–2000

	1961–2000	1961–1976	1977–1982	1983–1993	1994–2000
Zakres wahań [%]	46,54–IX	39,13–IX	53,87–IX	54,68–IX	40,13–VIII
	184,56–III	192,13–IV	193,93–III	189,47–III	217,17–IV
Amplituda wahań [%]	138,01	153,01	140,06	137,40	177,03

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

Wahania przypadkowe:

Przypadkowa zmienność odpływu (ryc. 36B):

– Analiza przypadkowych wahań przepływu pokazała, że sezonowy rytm niskich przepływów w półroczu letnim może zostać przerwany wysokimi przepływami. Występowały one w lipcu, gdzie odchylenie średniego miesięcznego przepływu wynosiło 123,5%, przy średniej dla lipca z wielolecia 1961–2000 wynoszącej $2,69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Specyficzne warunki odpływu wystąpiły w latach 1977–1982 (tab. 41). Amplituda wahań przypadkowych w tym okresie wynosiła ok. 180%, gdzie dla pozostałych podokresów nie przekraczała 87%. Największą „przypadkowością” charakteryzował się średni miesięczny przepływ w lipcu, kiedy to był wyższy w stosunku do średniej miesięcznej dla lipca z lat 1977–1982 ($8,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) o ok. 106%. Przypadkowy przepływ w lipcu miał charakter ekstremalny, czego przykładem był rok 1980, gdzie w dniach 14–16.VII, odnotowano dobowy przepływ wynoszący $62,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiego przepływu kulminacyjnego zostało obliczone przez J. Stachego (1984) na ok. 0,1%. Analiza ta wskazuje na specyficzne warunki hydrometeorologiczne, jakie wystąpiły w tym właśnie okresie, skrajnie odbiegające od pozostałych podokresów analizowanego wielolecia.

Tabela 41. Zakres przypadkowych wahań przepływu w cyklu rocznym w wieloleciu 1961 – 2000

	1961–2000	1961–1976	1977–1982	1983–1993	1994–2000
Zakres wahań [%]	60,33–IV 223,50–VII	51,43–IV 82,26–I	26,21–XII 206,15–VII	39,63–V 125,73–VIII	27,87–XII 113,08–VII
Amplituda wahań [%]	163,17	30,83	179,94	86,10	85,21

Źródło: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW

S. Czaja (1988a, 1988b, 1999) oraz S. Czaja i A.T. Jankowski (1989) wskazują w swoich pracach, że im niższe są wartości amplitud wahań sezonowych i przypadkowych odpływu ze zlewni, tym jest ona bardziej przekształcona antropogenicznie. Przykładem mogą być zlewnie położone w centrum konurbacji katowickiej, gdzie amplitudy wahań sezonowych nie przekraczają 50%, a wahań przypadkowych 41%. Zlewnie położone na obrzeżu aglomeracji katowickiej, które wyżej wymienieni autorzy określają jako quasi-naturalne lub częściowo przeobrażone, charakteryzują się bardziej zróżnicowanym zakresem wahań. Amplituda wahań sezonowych w tych zlewniach nie przekracza 100% za wyjątkiem zlewni Brynicy (profil Brynica), gdzie zakres wahań wynosił 64% (IX) – 172% (III) (Czaja 1988a, 1988b), a więc był najbardziej zbliżony do zakresu wahań Zgłowiączki. Również charakter przekształceń w zlewni Brynicy (profil Brynica) wydaje się najbardziej zbliżony do dorzecza Zgłowiączki. Jak podaje S. Czaja (1988a) – „*głównym typem działalności człowieka jest rolnictwo i leśnictwo. Ingerencja w stosunki wodne ogranicza*

się do melioracji obszarów zabagnionych, co w rezultacie zwiększa gęstość sieci rzecznej tego obszaru” (s. 75). Jest to niezwykle ważna informacja z punktu widzenia analizy i porównywania wyników przebiegu wahań sezonowych. Przeprowadzone na dużą skalę prace melioracyjne – głównie odwodnieniowe – powodują szybsze i bardziej skoncentrowane odprowadzenie wody ze zlewni podczas roztopów wiosennych. Świadczą o tym bardzo wysokie wartości odpływu w stosunku do wartości średniej, sezonowo występujące w marcu lub kwietniu. Należy zatem sądzić, że proces naturalnego odpływu wody z dorzecza w okresie wiosennym został zaburzony antropogenicznie. Opady atmosferyczne, które najwyższe wartości osiągają w półroczu letnim, nie wpływają bezpośrednio na zwiększenie sezonowego przepływu w rzece w tym samym okresie. Świadczą o tym najniższe wartości odpływu, które sezonowo występują w miesiącach letnich i jesiennych. Ze względu na brak w literaturze analiz zmienności odpływu ze zlewni o podobnym charakterze przekształceń, przeprowadzonych przy pomocy tego modelu, trudno jednoznacznie wnioskować na podstawie zakresu wahań sezonowych i przypadkowych o skali antropogenicznych zaburzeń, czy zmian w cyklu rocznym odpływu rzeczno-go. Dodatkowe utrudnienie wynika z nałożenia się naturalnych zmian wielkości opadów atmosferycznych w wieloleciu na antropogeniczne zmiany związane z pracami melioracyjnymi. Brak danych z okresu, kiedy odpływ z dorzecza można by uznać za naturalny lub quasi-naturalny uniemożliwiają analizę porównawczą i określenie składowej antropogenicznej odpływu rzeczno-go. Wyżej wymienione problemy związane z interpretacją otrzymanych wyników wskazują na potrzebę dalszych badań i wykorzystania innych, być może lepszych metod, przy pomocy których można będzie z dużym prawdopodobieństwem odróżnić naturalne tendencje zmian odpływu od zmian antropogenicznych i następnie dokonać ich oceny.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Podstawowym celem pracy było określenie zmienności w cyklu rocznym oraz wieloletnim odpływu rzecznego z dorzecza Zgłowiączki w latach 1961–2000. Zmienność tą przedstawiono na tle zmienności opadów atmosferycznych. Obok warunków klimatycznych na zmienność odpływu wpływają również warunki środowiska przyrodniczego oraz antropopresja.

Spośród elementów środowiska przyrodniczego – obok opadów atmosferycznych, największy wpływ na zmienność odpływu z dorzecza Zgłowiączki ma budowa geologiczna, a w szczególności litologiczne wykształcenie utworów powierzchniowych. Największą powierzchnię dorzecza – ok. 79% pokrywają utwory o słabej przepuszczalności. Najlepsze warunki infiltracyjne w dorzeczu występują w północno-wschodniej części, w Pradolinie Wisły (zlewnia Rakutówki) oraz w źródłiskowych odcinkach rzek Lubieńki i Chodeczki. Łączna powierzchnia utworów charakteryzujących się średnimi warunkami infiltracyjnymi zajmuje jedynie 14,7% powierzchni dorzecza. Niekorzystne warunki infiltracyjne w połączeniu z niewielkimi spadkami terenu, głównie na Równinie Inowrocławskiej oraz w północnej części Pojezierza Kujawskiego powodują, że woda pochodząca z wiosennych roztopów lub opadów deszczu stagnuje na powierzchni lub wypełnia zagłębienia terenowe. W procesie krążenia wody na tym obszarze dominuje ewapotranspiracja, której udział może dochodzić nawet do 90%.

Zmiany obiegu wody w dorzeczu zmieniały się wraz z rozwojem osadnictwa i rolnictwa na tym terenie. Można wyróżnić trzy istotne przyczyny zmian warunków odpływu. Pierwsza związana była z budową i funkcjonowaniem młynów wodnych. Za początek zmian związanych z pracą młynów wodnych należy przyjąć wiek XIII–XIV. Drugą przyczynę należy wiązać z wylesieniami obejmującymi znaczne powierzchnie dorzecza. Proces ten rozpoczął się w wieku XIV. Trzecim impulsem zmieniającym warunki odpływu były prace melioracyjne (odwodnieniowe), których szczególny rozwój należy wiązać z wiekiem XIX. Konsekwencje tych zmian są odczuwalne w czasach obecnych. W wyniku wylesienia, odwodnienia oraz intensyfikacji rolnictwa ukształtował się specyficzny układ środowiska przyrodniczego. Proces zmian krajobrazu, wywołany taką właśnie działalnością człowieka, nazywany jest w literaturze „procesem stepowienia”, a krajobraz powstały w wyniku tych zmian „krajobrazem stosowanym” lub wręcz „krajobrazem spustoszonego czy stepowym”.

Rozwój rolnictwa związany był przede wszystkim ze zmianą struktury użytkowania gruntów. Jak podaje B. Degórska (1996) od XVIII wieku we wschodniej części Kujaw następował proces intensywnego wylesiania. W latach 1772–1970 roku powierzchnia zajęta przez las zmniejszyła się o ok. 45%.

Obecnie dominującą formą użytkowania ziemi w dorzeczu są użytki rolne, które zajmują 1198,0 km², tj. 80,1% powierzchni dorzecza. W strukturze użytków rolnych dominującą grupą są grunty orne, które w ogólnej powierzchni dorzecza stanowią 73,4% (1097,3 km²), natomiast udział użytków zielonych wynosi 6,7% (100,7 km²). Lasy stanowią jedynie 8,5% powierzchni dorzecza, co z hydrologicznego punktu widzenia jest wielkością niewielką, bowiem las spełnia w zlewni funkcję regulatora odpływu w czasie. Pozostałe 11,4% powierzchni stanowią grunty inne, tj. tereny komunikacyjne, tereny osiedlowe i nieużytki.

W celu zwiększenia produkcji rolnej przeprowadzono na terenie dorzecza prace melioracyjne. Łączna powierzchnia obszarów zmeliorowanych wynosi 45% całkowitej powierzchni dorzecza (stan na rok 1997). Głównym celem prac melioracyjnych było szybsze odprowadzenie wody w okresie wiosennym, czego efektem miało być wydłużenie okresu wegetacyjnego. Melioracje wykonane w dorzeczu polegały głównie na drenowaniu gruntów ornych. Drenowanie stanowi obecnie 90% wykonanych prac, a powierzchnia dorzecza pokryta jest siecią drenarską w ok. 40%.

W latach 1992–1996, w dorzeczu Zgłowiączki, oddano do eksploatacji 19 obiektów małej retencji, które zaliczono do realizowanego w Polsce od 1997 roku Programu Małej Retencji. Łączna objętość wody we wszystkich obiektach małej retencji w dorzeczu Zgłowiączki wzrosła z 15 805 320 m³ do 17 582 083 m³. Przyrost retencji wód powierzchniowych wynosi 1 776 763 m³. Oddziaływanie małych zbiorników wodnych ogranicza się przede wszystkim do zwiększenia retencji glebowej oraz do podwyższenia i ustabilizowania wody gruntowej w zasięgu oddziaływania zbiorników. W niektórych przypadkach nastąpiło wyraźne zwiększenie retencji glebowej w stosunku do retencji powierzchniowej. Ze względu na stosunkowo niewielką ich ilość oraz chaotyczne rozmieszczenie w dorzeczu nie wpływają w istotny sposób na zmiany w przepływach rzek.

Analizowane wielolecie nie obejmowało okresu, kiedy stan dorzecza Zgłowiączki można określić jako naturalny lub nawet zbliżony do naturalnego. Uniemożliwiło to analizę porównawczą pomiędzy odpływem z dorzecza o różnym stopniu przekształcenia. Dodatkowo naturalne zmiany wielkości opadów atmosferycznych i odpływu w przedziale czasowym przyjętym do analizy pokrywają się ze zmianami sieci hydrograficznej, które zostały wykonane

w tym samym okresie. Ponadto w dorzeczu nakładają się różne formy działalności człowieka, które z jednej strony polegały na szybszym odprowadzeniu wody poprzez systemy drenarskie, z drugiej strony człowiek starał się zatrzymać wodę poprzez gromadzenie jej w małych zbiornikach retencyjnych. Unieвозмоżliwiło to pełne przedstawienie zmian odpływu z dorzecza Zgłowiączki spowodowanych działalnością człowieka. Zatem wyniki analiz należy traktować jako charakterystyczne dla obszaru antropogenicznie zmienionego. Ze względu na specyficzny układ naturalnych cech środowiska przyrodniczego oraz działalności człowieka, należy uznać je jako reprezentatywne tylko dla obszaru objętego badaniami.

Zmienność odpływu przedstawiono przy pomocy standardowych wskaźników stosowanych w badaniach hydrologicznych – współczynnika zmienności „Cv” oraz wskaźnika nieregularności „W”. W cyklu rocznym największą zmiennością i nieregularnością charakteryzowały się średnie przepływy miesięczne Zgłowiączki i Lubieńki w lipcu. Natomiast najmniejszą zmienność i stosunkowo wysoką regularność wykazywały średnie przepływy miesięczne od lutego do kwietnia. W przypadku miesięcznych sum opadów atmosferycznych największą zmienność stwierdzono we wrześniu i październiku, najmniejszą natomiast w marcu i listopadzie.

W latach skrajnie wilgotnych odpływ cechował się największą zmiennością – współczynnik zmienności przepływów dobowych wynosił od ok. 112% (1980) do ok. 126% (1979). Świadczy to o dużym udziale zasilania opadami atmosferycznymi dorzecza. W latach skrajnie suchych zmienność odpływu była najmniejsza – współczynnik zmienności przepływów dobowych wahał się od ok. 48% (rok 1991) do ok. 65% (rok 1993). Niskie wartości współczynnika świadczą o wysokim, ale jednocześnie wyrównanym w ciągu roku zasilaniu wodami gruntowymi.

Zmienność wyrażona współczynnikiem zmienności Cv rocznych sum opadów atmosferycznych na wszystkich analizowanych posterunkach była znacznie niższa od zmienności odpływu rzecznoego. Współczynnik zmienności obliczony dla średnich rocznych przepływów wynosił 51,2%, a dla rocznych sum opadów atmosferycznych wahał się od 16,9% na posterunku w Chodczu do 19,1% na posterunku w Olganowie. Podobne różnice zauważyła również D. Woś (1987) analizując zmienność opadu i odpływu rzek w dorzeczu Warty. Jej zdaniem na tak wysoką zmienność odpływu rzecznoego decydujący wpływ obok czynników hydrometeorologicznych mają również czynniki morfologiczne, litologiczne i hydrogeologiczne. A. Choiński (1988) wysunął tezę, że stabilność lub zmienność przepływów nie należy uzależniać od jednego elementu środowiska przyrodniczego związanego z obiegiem wody w zlewni.

Na charakter przepływu wpływ wywiera bowiem cały zespół elementów które są charakterystyczne dla określonego obszaru badań. Do najważniejszych zaliczył on w następującej kolejności: zasilanie podziemne, możliwości infiltracyjne, opady atmosferyczne i lesistość.

Ocena tendencji zmian odpływu i opadów wykonana przy pomocy liniowej funkcji trendu pokazała, że model liniowy opisujący zjawisko jest zbyt dużym uproszczeniem rzeczywistej powierzchni charakteryzującej zmienność przepływu i opadów. W związku z tym, przy pomocy krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu i opadów wyznaczono cztery charakterystyczne okresy różniące się pod względem wielkości odpływu:

– 1961–1976 (16 lat) – okres w którym nie stwierdzono wyraźnych tendencji wzrostowych lub malejących natężenia przepływu. Średni przepływ rzeki w tym okresie wynosił $4,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, co daje odpływ jednostkowy rzędu $2,74 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. W okresie tym wystąpiło 16 niżówek (7 zimowych i 9 letnich) oraz 13 wezbrań (10 zimowych i 3 letnie). Łączny niedobór wody powstały w wyniku niżówek zimowych i letnich wynosił 22 235 tys. m^3 , natomiast nadmiar wody powstały w wyniku wezbrań zimowych i letnich 83 102 tys. m^3 .

– 1977–1982 (6 lat) – okres w którym zaznaczyła się wyraźna tendencja wzrostowa krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu z kulminacją w roku 1980. W okresie tym zaznaczył się również wyraźny wzrost opadów atmosferycznych na analizowanych posterunkach opadowych w dorzeczu. Średni przepływ rzeki wynosił $6,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, co daje odpływ jednostkowy rzędu $4,69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. W okresie tym wystąpiło 9 wezbrań (6 zimowych i 3 letnie), natomiast nie wyróżniono niżówek. Łączny nadmiar wody powstały w wyniku wezbrań zimowych i letnich wynosił aż 236 245 tys. m^3 .

– 1983–1993 (11 lat) – okres w którym przebieg krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu ma wyraźną tendencję malejącą. Podobny przebieg wykazują krzywe opadów atmosferycznych na wszystkich posterunkach opadowych w dorzeczu. Średni przepływ Zgłowiączki wynosił $2,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, co daje odpływ jednostkowy rzędu $1,68 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. W wieloleciu tym wystąpiło najwięcej okresów niżówkowych – 21 (13 zimowych i 8 letnich) i tylko 3 wezbrania (2 zimowe i 1 letnie). Łączny niedobór wody powstały w wyniku wszystkich niżówek nie został zrekompensowany nadmiarem wody z wezbrań. Łączny nadmiar wody wyniósł jedynie 61 15 tys. m^3 .

– 1994–2000 (7 lat) – okres w którym zaznaczył się dalszy spadek krzywej skumulowanych różnic rocznych współczynników przepływu, lecz nie był on już tak gwałtowny jak w poprzednim okresie. Podobną tendencję wykazywały również opady atmosferyczne na posterunku w Chodczu. Przebieg krzywych, tak w przypadku przepływu jak i opadów, nawiązuje do stanu z lat

1961–1976, świadczy o tym średni przepływ Zgłowiączki, który wynosił $3,66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, co daje odpływ jednostkowy rzędu $2,49 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$. Wyróżniono w tym okresie 9 niżówek (5 zimowych i 4 letnie) oraz 4 wezbrań (3 zimowe i 1 letnie). Niedobór wody wynoszący 3209 tys. m^3 został zrekompensowany nadmiarem wody z wezbrań w ilości 14 702 tys. m^3 .

Rozkład odpływu w cyklu rocznym kształtowany był głównie przez wahania sezonowe oraz przypadkowe. Na wielkość przepływu Zgłowiączki decydujący wpływ miały opady półrocza zimowego, pomimo, że stanowiły jedynie 35–37% rocznej sumy opadów. Opady śniegu akumulowane są na powierzchni terenu w okresie zimowym tworząc pokrywę śnieżną o średniej maksymalnej grubości od 6 do 10 cm (*Atlas hydrologiczny Polski*, 1987), ale grubość pokrywy śnieżnej dochodzić może w centralnej Polsce nawet do 150 cm (Stachy i in. 1996; Fal, Bogdanowicz 2002). Wiosenne roztopy powodują, że przepływ wody w rzece znacznie przewyższa średni przepływ roczny, przechodząc najczęściej w wezbranie. Zwiększenie przepływu w półroczu zimowym powtarza się w każdym roku. Kulminacje wezbrań wiosennych przypadały najczęściej w miesiącu marcu lub kwietniu. W szczególnych przypadkach mogą one występować nawet w styczniu. Przebieg roztopów uzależniony był przede wszystkim od przebiegu temperatury powietrza, a wykonane prace melioracyjne przyczyniły się do przyspieszenia odpływu wody z dorzecza. Odpływ z dorzecza w półroczu zimowym stanowił aż 67% średniego rocznego odpływu. Otrzymane wyniki świadczą o bardzo dużej roli opadów atmosferycznych półrocza zimowego (XI–IV) w kształtowaniu się sezonowego przepływu rzeki nizinnej. W badanym wieloleciu sezonowy rytm przepływu w półroczu letnim przerywany był przypadkowymi, wysokimi (w stosunku do wartości średniej) przepływami, które były trudne do przewidzenia i miały charakter ekstremalny. Przepływ taki wystąpił w dniach 14–16 lipca 1980 roku, a prawdopodobieństwo jego wystąpienia, obliczone przez J. Stachego (1984) wynosiło 0,1%. Ekstremalny przepływ związany był ze specyficznymi warunkami hydrometeorologicznymi jakie miały miejsce w latach 1977–1980.

Wieloletnia zmienność odpływu przedstawiona została również przy pomocy niżówek i wezbrań. Ze względu na genezę powstawania tych zdarzeń oddzielnie analizowano niżówki i wezbrania występujące w półroczu zimowym i oddzielnie niżówki i wezbrania występujące w półroczu letnim. W wieloleciu 1961–2000 wystąpiło łącznie 75 wyjątkowych zdarzeń hydrologicznych. Wezbrania półroczy zimowych na rzece Zgłowiączce pojawiały się znacznie częściej i miały większe znaczenie od wezbrań półroczy letnich. Wezbrania półrocza zimowego należy wiązać z wahaniami sezonowymi (regularnymi), a wezbrania półrocza letniego z wahaniami specyficznymi dla danego roku lub okresu (przypadkowymi). Duża liczba wyróżnionych niżówek i wez-

brań pozwoliła na znalezienie istotnych zależności pomiędzy ich parametrami, a więc ma wymiar aplikacyjny.

Opady półrocza letniego mimo, że stanowiły 63–65% rocznej sumy opadów miały mniejsze znaczenie w zasilaniu rzeki od opadów półrocza zimowego. Opady półrocza letniego „konsumowane” były przede wszystkim przez rośliny będące w tym czasie w okresie wegetacji. Dodatkowo w półroczu letnim odpływ ze zlewni modyfikowany był przez proces ewapotranspiracji obejmującej transpirację roślin oraz parowanie z gleby. Na podstawie występowania niżówek i wezbrań wyróżniono dwa szczególne okresy, w których zachwiana została równowaga hydrologiczna dorzecza:

– lata 1975–1982 – okres w którym wystąpiło 7 wezbrań półrocza zimowego i 3 wezbrania półrocza letniego. Nie wystąpiły niżówki półrocza zimowego ani letniego. Szczególnie wilgotny okres w wieloleciu.

– lata 1989–1993 – okres w którym wystąpiło 8 niżówek półrocza zimowego i 5 niżówek półrocza letniego. Nie wystąpiły natomiast wezbrania półrocza zimowego i letniego. Szczególnie suchy okres w wieloleciu.

Na podstawie uzyskanych wyników dorzecze Zgłowiączki należy zaliczyć do obszarów charakteryzujących się dużą aktywnością hydrologiczną. Duża zmienność odpływu w czasie przekłada się proporcjonalnie na zmiany wielkości zasobów wodnych w dorzeczu Zgłowiączki. Zasoby wodne brutto wahają się średnio od 37,4 mln m³ (30% zasobów średnich) w latach skrajnie suchych przez 124, 4 mln m³ w latach przeciętnych do ok. 243 mln m³ (195% zasobów średnich) w latach skrajnie wilgotnych. W przeliczeniu na jednostkę powierzchni średnie wartości zasobów wodnych wynoszą od 0,81 dm³s⁻¹km⁻² w latach skrajnie suchych przez 2,69 dm³s⁻¹km⁻² w latach przeciętnych do 5,14 dm³s⁻¹km⁻² w latach skrajnie wilgotnych. Wartości te odbiegają znacznie od średniego odpływu jednostkowego określonego dla Polski na poziomie 5,4 dm³s⁻¹km⁻² oraz średniego odpływu jednostkowego dla Europy, wynoszącego 9,6 dm³s⁻¹km⁻² (*Stan i wykorzystanie ...* 1996).

Niewielkie i zmienne w czasie zasoby wody w dorzeczu powinny być wykorzystywane w sposób przemyślany i racjonalny. Powyższe wyniki potwierdzają konieczność spowolnienia odpływu wód powierzchniowych i poprawienia zdolności retencjonowania wody w dorzeczu poprzez różnego rodzaju zabiegi hydrotechniczne, takie jak: dalsza przemyślana budowa małych zbiorników retencyjnych, ochrona bagien i torfowisk, odbudowa zbiorników młyńskich, przywracanie zadrzewień śródpolnych, zaniechanie melioracji, zmiany w strukturze użytkowania gruntów, itp. Należy sobie zdawać sprawę, że prace te nie przywrócą pierwotnego układu obiegu wody, ale mogą poprawić lub wręcz przyczynić się do stworzenia nowego układu.

W przypadku, kiedy mało optymistyczne scenariusze zmian klimatu okażą się prawdziwe, niewielkie zasoby wodne staną się barierą dalszego intensywnego rozwoju rolnictwa w dorzeczu. Tym bardziej, że odczuwalne już obecnie okresowe deficyty wody (Brenda 1997, 1998; Susza 1992. *Zasięg, natężenie* ... 1992), szczególnie w okresie wegetacyjnym są poważnym problemem dla rolnictwa.

LITERATURA

- Absalon D., 1998, *Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznego w zlewni Rudy*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Absalon D., Wac M., 1992, *Antropogeniczne przeobrażenia stosunków wodnych w zlewni Mlecznej*, Geographia, Studia et Dissertationes, 11, s. 9–23.
- Abrahamsson O., Hakanson L., 1998, *Modelling seasonal flow variability of European rivers*, Ecological Modelling, 114, s. 49–58, Elsevier.
- Andrzejewski L., 1984, *Dolina Zgłowięzki – jej geneza oraz rozwój w późnym glacie i holocenie*, Dokumentacja Geograficzna IG i PZ PAN, 3, s. 84.
- 1994, *Ewolucja systemu fluwialnego doliny dolnej Wisły w późnym wistulianie i holocenie na podstawie wybranych dolin jej dopływów*, Wydawnictwo UMK, Toruń.
- Atlas hydrologiczny Polski*, 1987, J. Stachy (red.), tom I, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Atlas hydrograficzny województwa wrocławskiego – cz. opisowa*, 1988, C.B.S. i P.B.W. Hydroprojekt o. Włocławek (maszynopis).
- Arnell N.W., 1999a, *The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective*, Global Environmental Change, 9, s. 5–23, Elsevier.
- 1999b, *Climate change and global water resources*, Global Environmental Change, 9, s. S31–S49, Elsevier.
- Babiński Z., 1988, *Wpływ melioracji na zmiany zwierciadła i powierzchni wody jeziora Pniewite*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradel w Polsce*, UMK, Toruń, s. 101–104.
- Bajkiewicz-Grabowska E., 1975, *Zmiany odpływu z malej zlewni w wyniku prac melioracyjnych*, Gospodarka Wodna, 1, s. 9–13.
- 2002, *Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1993, *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Balakowicz M., 2001, *Rezerваты przyrody i parki krajobrazowe na Kujawach i Ziemi Dobrzyńskiej*, Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie, t. 16 – Ekologia i ochrona środowiska, Włocławskie Towarzystwo Naukowe, Włocławek, s. 153–165.
- Banaszak J. (red.), 2003, *Stepowanie Wielkopolski – pół wieku później*, Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz.
- Baranowski B., 1977, *Polskie młynarstwo*, Wyd. Ossolineum, Wrocław.

- Bartczak A., 2003a, *Natural and anthropogenic changes of the areas within the region of Eastern Kujawy in the Zgłowiączka River basin*, *Limnological Review*, 3, s. 9–16.
- 2003b, *Charakterystyka młynów wodnych w dorzeczu Zgłowiączki (Kujawy wschodnie)*, *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, XLVI, 4, s. 201–203.
- Bender W., 1974, *Młyn z początku XIII wieku na południowym Mazowszu*, *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej PAN*, 2, PWN, Warszawa, s. 313–330.
- Biały K., 1985, *Ochrona rezerwatowa w województwie wrocławskim*, *Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie*, Seria E: Kształtowanie środowiska, Włocławskie Towarzystwo Naukowe, Włocławek, s. 57–92.
- Bieniak J., 1999, *Powstanie miasta samorządowego – Najstarsze lokacje miejskie*, [w:] J. Staszewski (red.), *Włocławek. Dzieje miasta – t. I. Od początków do roku 1918*, Włocławskie Towarzystwo Naukowe, Włocławek, s. 87–117.
- Bobiński E., Meyer W., 1992, *Susza w Polsce w latach 1982–1992. Ocena hydrologiczna*, *Wiadomości IMGW*, XV, 4, s. 3–24.
- Bogdanowicz E., Stachy J., 1995, *Zmiany reżimu wezbraniowego w Polsce. Domysły czy prawda?*, *Wiadomości IMGW*, XXVIII, 2, s. 3–21.
- Bond C.J., 1979, *The reconstruction of the medieval landscape: the estates of Abingdon Abbey*, *Landscape History*, 1, s. 59–75.
- Borucki M., 1882, *Ziemia kujawska pod względem historycznym, jeograficznym, archeologicznym, ekonomicznym i statystycznym*, Włocławek.
- Brenda Z., 1996, *Zbiornik nieszawski szansą dla Kujaw*, *Kaskada*, 3, s. 3–8.
- 1997, *Deficyt wody – główna bariera wzrostu produkcji rolnej w województwie wrocławskim*, *Przegląd Geograficzny*, LXIX, 3–4, s. 333–351.
- 1998, *Główne czynniki antropogeniczne kształtujące układ stosunków wodnych na obszarze województwa wrocławskiego (maszynopis pracy doktorskiej)*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- 2001, *Niektóre skutki melioracji wodnych na obszarze Kujaw wschodnich*, *Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie*, t. 16 – Ekologia i ochrona środowiska, WTN, Włocławek, s. 73–93.
- Brykała D., 2001, *Uwarunkowania przyrodnicze lokalizacji młynów wodnych w zlewni Skrwy*, [w:] K. German, J. Balon (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie*, *Problemy Ekologii Krajobrazu – tom X*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, Kraków, s. 164–171.
- 2004, *Impoundment changes within the Skrwa River catchment area (central Poland) in the 19th and 20th centuries*, *Limnological Review*, 4, s. 25–32.
- 2005, *Rekonstrukcja retencji zbiornikowej zlewni Skrwy Lewej w ciągu ostatnich 200 lat*, *Przegląd Geograficzny*, 77, 1, s. 73–93.
- Brykała D., Podgórski Z., Bartczak A., 2005, *Functioning of watermills since 13th to 20th century some examples from the Kujawy, Pomerania and Mazovia Regions (Poland)*, *Water and Civilization*, 4th International Conference, IWHA, IHP – UNESCO, 1–3 December, Paris.
- Budzyński M., 1970, *Rola lasu w gospodarce wodnej w świetle najnowszych badań*, *Gospodarka Wodna*, 8–9, s. 297–301.
- Burchard J., 1980, *Obieg wody w dorzeczu Bobrzy*, *Acta Geographica Lodziensia*, 40.
- Byczkowski A., 1999, *Hydrologia*, I i II, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

- Byczkowski A., Mandes B., 1992, *Wpływ regulacji rzeki na reżim przepływów wód na przykładzie rzeki Brzozówki*, Wiadomości IMiGW, XV, 4, Warszawa, s. 73–88.
- Choiński A., 1988, *Zróżnicowanie i uwarunkowania zmienności przepływów rzek polskich*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Seria Geografia, 39, Poznań.
- Ciepielowski A., 1999, *Podstawy gospodarowania wodą*, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Ciepielowski A., Gutry-Korycka M., 1993, *Wpływ różnych form gospodarki na obieg wody. Wpływ melioracji wodnych*, [w:] I. Dynowska (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, s. 313–328.
- Cyzman W., 1996, *Przyroda województwa wrocławskiego i jej ochrona w dwudziestolecie 1975–1995*, Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie, Tom 10: *Województwo wrocławskie w XX-leciu 1975–1995*, Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław, s. 349–396.
- 1997, *Zbiorowiska roślinne*, [w:] S.L. Bagdziński (red.), *Środowisko przyrodnicze w województwie wrocławskim*, Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław, s. 118–127.
- Czaja S., 1988a, *Zmiany stosunków wodnych w zlewni Brynicy w wyniku gospodarczej działalności człowieka*, Geographia. Studia et dissertationes, 11, s. 60–93.
- 1988b, *Wpływ górnictwa i uprzemysłowienia na reżim odpływu rzek w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym na przykładzie zlewni Brynicy do profilu w Sosnowcu*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 4, s. 65–77.
- 1991, *Gospodarowanie wodą w rejonie górnośląskiego okręgu przemysłowego do lat 20-tych XX wieku*, [w:] *Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji*, Materiały Konferencyjne, Sosnowiec 16–18 wrzesień, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, s. 80–90.
- 1999, *Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej)*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- 2002, *Zmiany struktury i reżimu odpływu rzeczno-geologicznego na obszarach górniczo-przemysłowo-miejskich*, [w:] *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*, Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, 7, s. 65–76.
- Czaja S., Jankowski A.T., 1989, *Zastosowanie modelu wahań w czasie do oceny antropogenicznych zmian odpływu rzek województwa katowickiego w dwudziestolecie 1961–1980*, Geographia. Studia et dissertationes, 13, s. 7–23.
- Czaja S., Radosz J., 1989, *Zmienność opadów atmosferycznych na terenie województwa katowickiego w latach 1961–1980*, Czasopismo Geograficzne, LX, 2, s. 177–189.
- Czamara A., 1998, *Oddziaływanie wybranych urządzeń melioracyjnych na zasoby wód gruntowych*, Instytut Inżynierii Środowiska, Wrocław.
- Czubiński Z., 1947, *Wyniszczenie szaty leśnej Wielkopolski*, [w:] A. Wodziczko (red.), *Stepowienie Wielkopolski – cz. I*, Prace Komisji Matematyczno-Przyrodniczej, Seria B, X, 4, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Poznań, s. 153–166.

- Degórska B., 1996, *Zmiany lesistości wschodniej części Kujaw w ostatnim dwustuleciu jako wynik oddziaływania człowieka na środowisko*, Przegląd Geograficzny, LXVIII, 1–2, s. 115–136.
- Dębski K., 1967a, *Bilans wodny torfowisk meliorowanych na przykładzie torfowiska „Modzelówka”*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 72, s. 139–180.
- 1967b, *Hydrologia – cz. II Potamologia*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Dobjija A., 1986, *Sezonowa zmienność średnich miesięcznych odpływów jednostkowych w Polsce*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 64, s. 81–91.
- Dobjija A., Dynowska I., 1975, *Znaczenie parametrów fizjograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzecznego*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, IX, s. 77–129.
- Dylikowa A., 1982, *Środowisko geograficzne i przyrodnicze*, [w:] *Województwo wrocławskie – Monografia regionalna*, Uniw. Łódzki, Urząd Wojewódzki we Wrocławku, Łódź – Wrocław, s. 11–107.
- Dynowska I., 1978, *Znaczenie środowiska geograficznego dla przestrzennego zróżnicowania odpływu*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, XI, s. 85–98.
- 1984, *Zmiana reżimu odpływu w wyniku oddziaływania zbiorników retencyjnych*, Czasopismo Geograficzne, LV, 3, s. 301–316.
- 1993 (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, Kraków.
- Dynowska I., Jankowski A.T., Soja R., 1985, *Metody oceny wpływu gospodarczej działalności człowieka na odpływ*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, XVII, s. 105–119.
- Dynus-Angel J., 1979, *Intensywność wymiany wody w jeziorach przepływowych górnej Słupi*, Przegląd Geofizyczny, 3–4, s. 349–357.
- Fal B., 1993, *Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu*, Wiadomości IMGW, 3, s. 3–20.
- Fal B., Bogdanowicz E., 2002, *Zasoby wód powierzchniowych Polski*, Wiadomości IMGW, 2, s. 3–38.
- Faliński J.B., 1976, *Antropogeniczne przeobrażenia roślinności Polski (Tekst objaśniający do mapy)*, Acta Agrobotanica, XXIX, 2, s. 376–389.
- Galon R., 1953, *Z zagadnień geomorfologii czwartorzędu Niżu Polskiego*, Przegląd Geograficzny, 25, 2.
- Gierszewski P., 2000, *Charakterystyka środowiska hydrochemicznego wód powierzchniowych zachodniej części Kotliny Płockiej*, Prace Geograficzne IG i PZ PAN, 176, Wrocław, ss. 136.
- 2001, *Przebieg procesów denudacji chemicznej w zachodniej części Kotliny Płockiej*, Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie, t. 16 – Ekologia i ochrona środowiska, s. 94–109.
- Glazik R., 1970, *Stosunki wodne powiatu wrocławskiego*, Przegląd Geograficzny, XLII, 4, s. 661–684.
- 1978, *Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Wrocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie*, Dokumentacja Geograficzna, 2–3.
- 1987, *Zmiany hydrologiczne w obszarze depresyjnym przyległym do dolnej części zbiornika wodnego „Wrocławek”*, Czasopismo Geograficzne, 58, 3, s. 287–301.

- 1988, *Naturalne i antropogeniczne zmiany jezior i mokradeł w zachodniej części Kotliny Płockiej*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce*, UMK, Toruń, s. 105–107.
- 1995, *Obieg wody w klimacie kontynentalnym na przykładzie północnej Mongolii*, Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 164.
- Gregory S., 1976, *Metody statystyki w geografii*, PWN, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., 1993, *Wpływ różnych form gospodarki na obieg wody. Wpływ gospodarki rolnej*, [w:] I. Dynowska (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, s. 306–313.
- 1996 (red.), *Studia nad wpływem globalnych zmian klimatu na obieg wody w zlewni*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., Mikulski Z., 1982, *Odptyw powierzchniowy jako składowa odptywu rzecznego*, Przegląd Geofizyczny, 1–2, s. 45–58.
- Hiscock K.M., Lister D.H., Boar R.R., Green F.M.L., 2001, *An integrated assessment of long-term changes in the hydrology of three lowland rivers in eastern England*, Journal of Environmental Management, 61, s. 195–214.
- Hładyłowicz K.J., 1932, *Zmiany krajobrazu i rozwój osadnictwa w Wielkopolsce od XIV do XIX wieku*, Badania z Dziejów Społecznych i Gospodarczych, 12, Lwów.
- Hydrologia. Przewodnik do ćwiczeń*, 1995, A.T. Jankowski (red.), Skrypty Uniwersytetu Śląskiego, 508, Katowice.
- Ilnicki P., 1984, *Melioracje rolne a problemy ochrony środowiska naturalnego na przykładzie województwa wrocławskiego*, [w:] *Melioracje wodne – projektowanie, wykonawstwo, eksploatacja, a problemy gospodarki wodnej i ochrony środowiska*, Materiały konferencyjne, NOT, Wrocław, s. 89–129.
- 2002, *Torfowiska i torf*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, Poznań.
- Jaczynowski J., 1929, *Morfometria jezior Gostyńskich*, Przegląd Geograficzny, 9, Warszawa, s. 35–66.
- Jankowski A.T., 1975, *Stosunki hydrograficzne bydgoskiego węzła wodnego i ich zmiany spowodowane gospodarczą działalnością człowieka*, Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Supplementum VII, PWN.
- 1986a, *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowianym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- 1986b (red.), *Tendencje zmian obiegu wody w zlewni górnej Odry*, Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- 1987, *Wpływ urbanizacji i uprzemysłowienia na zmianę stosunków wodnych w regionie śląskim w świetle dotychczasowych badań*, Geographia, Studia et Dissertationes, 10, s. 62–97.
- 1988, *Wpływ przemysłu i urbanizacji na zmiany odptywu Rawy (próba oceny)*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odptywu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna IG i PZ PAN, 4, s. 51–63.

- 1991, *Główne kierunki antropogenicznych przekształceń obiegu wody na obszarze górnośląskim*, [w:] *Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji*, Materiały Konferencyjne, Sosnowiec 16–18 wrzesień, s. 5–13.
- Jankowski A.T., Kaniecki A. (red.), 1996, *Dziejowe przemiany stosunków wodnych na obszarach zurbanizowanych*, Kom. Hydrograficzna PTG – Wyd. Nauk o Ziemi US – Instytut Geografii Fizycznej UAM, Poznań–Sosnowiec.
- Jańczak J., 1991, *Fizycznogeograficzna typologia i ocena jezior na przykładzie Pojezierza Wielkopolskiego*, Materiały badawcze IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia – 15, Warszawa.
- Jaworowski P., Sobków C., Cieśliński Z., Bagdziński S.L., 1993, *Badanie efektywności melioracji rolnych (studium na przykładzie wybranych obiektów melioracyjnych w woj. wrocławskim)*, UMK, Toruń.
- Jaworowski P., Sobków C., Czarniecki A., Celmer T., Szablowski J., 1996, *Melioracje wodne, ich wpływ na środowisko przyrodnicze i gospodarkę rolną*, UMK, Toruń.
- Jeż G., Jokiel P., Kożuchowski K., 1987, *Cykliczne zmiany przepływów w rzekach europejskich na tle wahań opadów atmosferycznych*, Wiadomości IMGW, X, 4, s. 3–19.
- Jokiel P., 2002, *Zagospodarowanie terenu i jego rola w obiegu wody na przykładzie małej zlewni w strefie podmiejskiej Łodzi*, [w:] *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*, Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, 7, s. 95–112.
- Jokiel B., Kostrubiec B., 1981, *Statystyka z elementami matematyki dla geografów*, PWN, Warszawa.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., 1988, *Wpływ kopalni odkrywkowej „Bełchatów na zmiany odpływu*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna IG i PZ PAN, 4, s. 79–95.
- Jokiel P., Kożuchowski K., 1989, *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*, Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 6.
- Kaczmarek Z., 1997, *Zasoby wodne Polski i Europy w obliczu globalnych zmian klimatu*, [w:] L. Starkel (red.), *Użytkowanie a ochrona zasobów wód powierzchniowych w Polsce*, Zeszyty Naukowe PAN, 17, s. 15–31.
- Kaj J., 1947, *Gospodarka wodna jako przyczyna stepowienia Wielkopolski*, [w:] A. Wodziczko (red.), *Stepowienie Wielkopolski – cz. I*, PTPN, Prace Komisji Matematyczno-Przyrodniczej, Seria B, X, 4, s. 172–180.
- Kaniecki A., 1999, *Młyny wodne w dawnym Poznaniu i ich wpływ na przeobrażenie stosunków wodnych*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, 103, s. 337–346.
- Kępczyński K., Załuski T., 1982, *Zbiorowiska roślinne*, [w:] *Województwo wrocławskie – monografia regionalna*, Uniwersytet Łódzki, Urząd Wojewódzki we Wrocławku, Łódź–Wrocław, s. 74–89.
- Kiełczewski B., 1947, *Kłęska sówki chojnowki jako znaczenie biocenotyczne*, [w:] A. Wodziczko (red.), *Stepowienie Wielkopolski – cz. I*, PTPN, Prace Komisji Matematyczno-Przyrodniczej, Seria B, X, 4, s. 167–171.

- Koncepcja gospodarki wodnej w południowej części województwa wrocławskiego*, 1987, C.B.S. i P.B.W Hydroprojekt o. Wrocławek (maszynopis).
- Kondracki J., 1994, *Regiony fizycznogeograficzne Polski*, PWN, Warszawa.
- Kucharska K., Tyszka J., Ciepeliowski A., 1984, *Rola lasów w wyrównywaniu odpływu*, *Gospodarka Wodna*, 4, s. 107–110.
- Kuciński J., 1956, *Zmiany stosunków wodnych i leśnych oraz ich wpływ na kształtowanie się krajobrazu na terenie województwa bydgoskiego*, *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 7, Warszawa, s. 13–24.
- Kundzewicz Z.W., Radziejewski M. (red.), 2002, *Detekcja zmian klimatu i procesów hydrologicznych*, Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN, Poznań.
- Kurek S., 1991, *Ocena wpływu drenowania użytków rolnych na stosunki hydrologiczne zlewni karpaccich na przykładzie pięciu zlewni*, IMUZ, Falenty.
- Ladorski H., 1966, *Wpływ gospodarki leśnej na stosunki wodne w zlewni górnej Warty*, *Gospodarka Wodna*, 11, s. 415–418.
- Lambor J., 1954a, *Stepowanie środkowych obszarów Polski*, Prace PIHM, Wyd. Komunikacyjne, Warszawa.
- 1954b, *Rola lasów w sterowaniu fali powodziowej*, *Gospodarka Wodna*, 12, s. 466–468.
- 1956, *Potencjalne możliwości stepowania w Polsce*, *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 7, Warszawa, s. 51–64.
- 1971, *Hydrologia inżynierska*, Arkady, Warszawa.
- Lencewicz S., 1929, *Jezióra Gostyńskie*, *Przegląd Geograficzny*, IX, Warszawa, s. 87–140.
- Łoś M.J., 1978, *Likwidacja młynów wodnych i jej skutki*, *Gospodarka Wodna*, 12, s. 361–364.
- 1996, *Małe elektrownie w Polsce a środowisko w Polsce i w Unii Europejskiej*, Materiały Sympozjum „Mała hydroenergetyka, mikroretencja – środowisko” 13–14.IX.1996, Towarzystwo rozwoju małych Elektrowni Wodnych, Bielsko-Biała, s. 39–47.
- Łoś M.J., Michalczyk Z., 1984, *Wpływ gospodarki wodnej Lublina na przepływy Bystrzycy*, *Gospodarka Wodna*, 1, s. 12–14.
- 1989, *Antropogeniczne zmiany przepływu Bystrzycy w rejonie Lublina*, *Gospodarka Wodna*, 7–8, s. 151–154.
- 1994, *Zmiany obiegu wody w rejonie Lublina*, *Gospodarka Wodna*, 8, s. 170–173.
- Łuczak C., 1954, *Młynarstwo wiejskie na Kujawach Zachodnich od XVI w. do chwili obecnej*, *Lud*, XLI, cz. I, s. 583–610.
- Łukaszewicz H., Szablowski J., Wilmanowicz M., 2000, *Realizacja programu małej retencji jako element ochrony jezior w województwie kujawsko-pomorskim*, [w:] A. Giziński, S. Burak (red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*, Materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej, Przysiek, s. 57–66.
- Mapa hydrograficzna Polski – skala 1:50 000*, 1997, Wytyczne techniczne K-3.4, Warszawa.
- Marciniak K., Wójcik G., 1997, *Klimat województwa wrocławskiego*, [w:] S.L. Bagdziński (red.), *Środowisko przyrodnicze w województwie wrocławskim*, Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocławek, s. 35–46.

- Marszelewski W., Szczepanik W., 1993, *Antropogeniczne i naturalne zmiany stosunków wodnych w zlewni rzeki Wadąg*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia, XXV, 85, s. 41–54.
- Mastyński Z., 1956, *Pogorszenie się stosunków wodnych na terenie południowej części woj. Bydgoskiego w świetle danych historycznych, statystycznych i kartograficznych*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 7, s. 25–40.
- Michalczyk Z., Paszczyk J., 1983, *Charakterystyka średnich miesięcznych przepływów rzeki Wieprz*, Czasopismo Geograficzne, LIV, 2, s. 221–229.
- Michalczyk Z. (red.), 1997, *Strategia wykorzystania i ochrony wód w dorzeczu Bystrzycy*, Badania Hydrograficzne w Poznawaniu Środowiska, V, Wyd. UMCS, Lublin.
- Mikulski Z., 1959, *Nizówki rzek polskich*, Gazeta obserwatora PIHM, 10, s. 3–6.
- 1962, *Występowanie niżówek, wezbrań i powodzi na rzekach Polski*, Wiad. Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, 49, Warszawa, s. 3–23.
- Mioduszewski W., 1994, *Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w małych rolniczych zlewniach rzecznych – metodyczne podstawy rozwoju małej retencji*, Materiały Informacyjne IMUZ, 25, Falenty.
- 1997, *Mała retencja i polityka melioracyjna*, [w:] L. Starkel (red), *Użytkowanie a ochrona zasobów wód powierzchniowych w Polsce*, Zeszyty Naukowe PAN, 17, s. 49–62.
- Mojski J.E., 1960, *Schylek plejstocenu w zachodniej części Kotliny Płockiej*, Kwartalnik Geologiczny, 4, s. 1025–1038.
- 1970, *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski – skala 1:50 000*, arkusz Włocławek, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Morawski M., 1933, *Monografia Włocławka (Włocławia)*, Włocławek.
- Moszczyńska J., 1986, *Hydrologia dorzecza Wolbórki*, Acta Geographica Lodziensia, 46.
- Nazaruk M., 1998, *Podstawy rolnictwa – działy wybrane dla meliorantów*, SGGW, Warszawa.
- Niewiarowski W., 1983, *Postglacjalne ruchy skorupy ziemskiej na Pojezierzu Kujawskim w świetle badań geomorfologicznych*, Przegląd Geograficzny, LV, 1, s. 13–31.
- Nowicka B., 2002, *Wpływ urbanizacji na warunki odpływu*, [w:] *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*, Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, 7, s. 77–86.
- Olejnik K., 1986, *Wieloletnia zmienność charakterystyk odpływu Warty w Poznaniu i możliwość ich prognozowania*, Gazeta Obserwatora IMGW, 6, s. 6–8.
- Ostromięcki J., 1964, *Wstęp do melioracji*, PWRiŁ, Warszawa.
- Ozga-Zielińska M., 1963, *Statystyczne metody obliczania niżówek*, cz. I, Przegląd Geofizyczny, 1–2.
- 1964, *Statystyczne metody obliczania niżówek*, cz. II, Przegląd Geofizyczny, 2.
- 1990, *Nizówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie*, Przegląd Geofizyczny, 1–2, s. 33–44.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, PWN, Warszawa.
- Ozga-Zieliński B., 1987, *Badanie statystycznej niejednorodności ciągów pomiarowych*, Gospodarka Wodna, 10, s. 226–228.

- Pastawski Z., 1979, *Zasoby wodne Wielkopolski i ich zagospodarowanie*, Gospodarka Wodna, 9, s. 273–277.
- 1996, *Rola jezior w transformacji odpływu rzecznego*, Gospodarka Wodna, 1, s. 7–10.
- Pietrucień C., 1988, *Analiza rozmieszczenia obszarów podmokłych w Polsce na tle występowania torfowisk, łąk i pastwisk*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradel w Polsce*, Materiały Komisji Hydrologicznej PTG w Bachotku, Toruń, s. 205–223.
- Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A., 2002, *Zróźnicowanie odpływu w małych zlewniach rzecznych w regionie Puszczy Białowieskiej*, [w:] T. Ciupa, E. Kupczyk, R. Suligowski (red.), *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*, Prace Instytutu Geografii Akademii Święto-krzyskiej w Kielcach, 7, s. 133–145.
- Podgórski Z., 1996, *Antropogeniczne zmiany rzeźby terenu województwa toruńskiego*, Studia Societatis Scientiarum Torunensis, X, 4, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- 1999, *Antropogeniczne zmiany rzeźby terenu Pojezierza Chełmińskiego do początku XVII wieku w wyniku budowy i funkcjonowania młynów wodnych*, Przegląd Geograficzny, LXXI, 1–2, s. 111–126.
- Podział hydrograficzny Polski – cz. I. Zestawienia liczbowo opisowe*, 1983, IMGW, Warszawa.
- Podział hydrograficzny Polski – cz. II. Mapa 1:200 000*, 1980, IMGW, Warszawa.
- Rayzacher Z., 1989, *Wpływ urbanizacji i uprzemysłowienia na zmiany hydrograficzne w obszarach miejskich Włocławka, Torunia, Chełmna i Świecia*, Studia Societatis Scientiarum Torunensis, IX, 5.
- 1990, *Zmiany zagospodarowania Wisły i jej dopływów na terenie Torunia i Włocławka*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Geografia, XXII, 73, s. 85–96.
- Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych – Dorzecze Wisły i rzeki Przymorza na wschód od Wisły z lat 1961–1983*, IMGW, Warszawa.
- Rijsberman F.R., 2005, *Water scarcity: Fact or fiction?*, Agricultural Water Management, 80, s. 5–22.
- Roguski W., 1988, *Zanikanie gleb organicznych i zmiany gospodarki wodnej siedlisk w dolinie Noteci górnej*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradel w Polsce*, Materiały Komisji Hydrologicznej PTG w Bachotku, Toruń, s. 238–239.
- Robinson M., Cognard-Planq A.L., Cosandey C., David J., Durand P., Führer H.W., Hall R., Hendriques M.O., Marc V., McCarthy R., McDonnell M., Martin C., Nisbet T., O’Dea P., Rodgers M., Zollner A., 2003, *Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective*, Forest Ecology and Management, 186, s. 85–97, Elsevier.
- Rotnicka J., 1988, *Wpływ regulacji koryta rzecznego i melioracji zlewni na odpływ górnej Proсны*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna IG i PZ PAN, 4, s. 23–38.
- Seifert A., 1936, *Die Versteppung Deutschlands*, Deutsche Technik, nr 9/10.
- Sheppard J. A., 1958, *The Hull valley: the evolution of a pattern of artificial drainage*, Geographical Studies, 5, 1, s. 33–44.

- Skompski S., 1971, *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski – skala 1:50 000*, arkusz Dobrzyń, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Słota H., 1997, *Zasoby wodne Polski na tle zasobów Europy*, Gospodarka Wodna, 9, s. 257–260.
- Sobczyk M., 2001, *Statystyka*, PWN, Warszawa.
- Soja R., 1988, *Zmiana odpływu w zlewni Wisłoki pod wpływem działalności człowieka*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna IG i PZ PAN, 4, s. 9–22.
- Sokołowski J., 1947, *Wpływ oddrzewienia na stepowienie fauny Wielkopolski*, [w:] A. Wodziczko (red.), *Stepowienie Wielkopolski – cz. I*, PTPN, Prace Komisji Matematyczno-Przyrodniczej, Seria B, X, 4, s. 194–199.
- Stachy J., 1984, *Odpływ rzek polskich w latach 1971–1980 na tle danych wieloletnich – cz. II*, Gospodarka Wodna, 6, s. 163–168.
- Stachy J., Fal B., Dobrzyńska I., Hołdakowska J., 1996, *Wezbrania rzek polskich w latach 1951 – 1990*, cz. I, Gospodarka Wodna, 9, s. 261–268.
- Stachy J., Herbst M., Orsztynowicz J., 1970, *Przestrzenna zmienność przepływów średnich niskich w Polsce*, Prace PIHM, 100, s. 9–15.
- Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski*, 1996, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 20, Warszawa–Kraków.
- Strzemski M., 1956, *Znaczenie badań z zakresu historii kultury materialnej dla poznania tła przeobrażeń stosunków przyrodniczych w Wielkopolsce i na Kujawach*, Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 7, Warszawa, s. 7–11.
- Studium w zakresie potrzeb melioracji w zlewni rz. Zgłowiączki*, 1968/1969, Centralne Biuro Studiów i Projektów Wodnych Melioracji w Warszawie (maszynopis).
- Susza 1992. Zasięg, natężenie, przyczyny i skutki, wnioski na przyszłość*, 1992, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia, 16, Warszawa.
- Susza na obszarze Polski w latach 1951–1990*, 1995, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Gospodarka wodna i ochrona wód, 16, Warszawa.
- Szablowski J., 1993, *Stan i potrzeby melioracji w województwie wrocławskim*, [w:] J. Gosienicka (red.), *Badanie efektywności melioracji rolnych (studium na przykładzie wybranych obiektów melioracyjnych w woj. wrocławskim)*, Rozprawy UMK, Toruń, s. 32–46.
- 2002, *Wpływ małej retencji wodnej na warunki siedliskowe kształtujące produkcję rolniczą w regionie wrocławskim na Kujawach*, (maszynopis pracy doktorskiej).
- Szulczewski J.W., 1947, *Pół wieku spostrzeżeń nad stepowieniem Wielkopolski*, [w:] A. Wodziczko (red.), *Stepowienie Wielkopolski – cz. I*, PTPN, Prace Komisji Matematyczno-Przyrodniczej, Seria B, X, 4, s. 200–206.
- Śniadowski Z., 1984, *Przyrodniczo-rolnicze aspekty drenowania, Melioracje wodne – projektowanie, wykonawstwo, eksploatacja, a problemy gospodarki wodnej i ochrony środowiska*, Materiały konferencyjne, NOT, Wrocław, s. 5–15.

- Tłałka A., 1979, *Nizówki – warunki powstawania i metody ustalania*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 47, s. 63–87.
- 1982, *Przestrzenne zróżnicowanie nizówek letnich w dorzeczu górnej Wisły*, Uniwersytet Jagielloński – Rozprawy habilitacyjne, 63.
- Tyszką J., 1985, *Hydrologicznie użyteczne funkcje lasu*, Gospodarka Wodna, 7, s. 158–159.
- Urbaniak U., 1967, *Wydmę Kotliny Płockiej*, Prace Geograficzne Instytutu Geografii PAN, 61.
- Wiśniewski E., 1974, *Dolina Bachorzy – problem jej genezy i znaczenia w okresie wczesnośredniowiecznym*, Przegląd Geograficzny, XLVI, 2, s. 263–282.
- 1976, *Rozwój geomorfologiczny doliny Wisły pomiędzy Kotliną Płocką a Kotliną Toruńską*, Prace Geograficzne IG i PZ PAN, 119, Wrocław.
- Wodziczko A., 1947, *Wielkopolska stepowieje*, [w:] A. Wodziczko (red.), *Stepowienie Wielkopolski – cz. I*, PTPN, Prace Komisji Matematyczno-Przyrodniczej, Seria B, X, 4, s. 141–152.
- Woś A., 1994, *Klimat Niziny Wielkopolskiej*, Wydawnictwo UAM, Poznań.
- Woś D., 1987, *Zmienność opadu i odpływu w dorzeczu Warty*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, XXXVII, Seria A, Geografia Fizyczna, s. 233–243.
- 1989, *Ocena potencjalnych zasobów wodnych dorzecza Warty*, Wydawnictwo UAM, Poznań.
- Wrzesiński D., 1996, *Wpływ procesów antropogenicznych na wielkość odpływu rzeczne go ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych na przykładzie zlewni Widawki i Kiełbaski*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A, Geografia Fizyczna, 47, s. 127–141.
- 1999, *Sezonowa struktura odpływu w dorzeczu Warty i jej przyrodnicze uwarunkowania*, Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN, Poznań.
- Żarski J., Dudek S., 2000, *Charakterystyka warunków termicznych i opadowych województwa kujawsko-pomorskiego w aspekcie potrzeb ochrony środowiska*, Zeszyty naukowe WSHE, VI – Ochrona środowiska, Wyd. WSHE, Włocławek, s. 85–98.
- Żelazo J., 1997, *Renaturyzacja rzek i mała retencja wodna jako czynnik poprawy stanu środowiska przyrodniczego*, [w:] L. Starkel (red), *Użytkowanie a ochrona zasobów wód powierzchniowych w Polsce*, Zeszyty Naukowe PAN, 17, s. 91–98.
- Żurek S., 1987, *Złoża torfowe Polski na tle stref torfowych Europy*, Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN, 4.

Źródła kartograficzne:

- Mapa geologiczna Polski /A – mapa utworów powierzchniowych/ w skali 1:200 000*, 1978, Arkusz Płock, Wyd. Geologiczne.
- Mapa geologiczna Polski /A – mapa utworów powierzchniowych/ w skali 1:200 000*, 1978, Arkusz Toruń, Wyd. Geologiczne.
- Mapa geologiczna Polski /A – mapa utworów powierzchniowych/ w skali 1:200 000*, 1978, Arkusz Brodnica, Wyd. Geologiczne.
- Mapa geologiczna Polski /A – mapa utworów powierzchniowych/ w skali 1:200 000*, 1980, Arkusz Konin, Wyd. Geologiczne.

Mapa urządzeń melioracyjnych – województwo wrocławskie, skala 1:100 000, K-PZMiUW we Wrocławku.

Mapa mokradel i użytków zielonych Polski, skala 1:100 000, opracowana w latach 1992–1995 przez IMUZ w Falentach, Arkusze: Dobrzyń n/Wisłą, Inowrocław, Konin, Kutno, Kłodawa, Wrocławek.

Materiały archiwalne Archiwum Państwowego w Toruniu Oddział we Wrocławku Inwentarz Starostwa Powiatowego we Wrocławku z lat 1918–1939.

– *Statystyka przemysłowa. Młyny* – 1929, Sygnatura 1307.

– *Ewidencja młynów* – 1930–1934, Sygnatura 1317.

– *Przypomnienie o zapisie praw wodnych do ksiąg wodnych i wzorów planów wodnych* – 1925–1930, Sygnatura 910.

– *Instalacje wodne na rzekach i kanałach* – 1927–1930.

Zarząd Miejski we Wrocławku. Zarząd budowy wodociągów i kanalizacji we Wrocławku – 1922–1930.

Materiały archiwalne Kujawsko-Pomorskiego Biura Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Wrocławku.

Materiały analityczno-studialne do opracowania studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego województwa wrocławskiego, 1995 (maszynopis).

Strategia rozwoju województwa kujawsko-pomorskiego, 2000 (maszynopis).

Studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin byłego województwa wrocławskiego w latach 1995–2002 (maszynopis).

Plan zagospodarowania przestrzennego województwa kujawsko-pomorskiego, 2003 (maszynopis).

LONG-TERM VARIABILITY OF THE RIVER OUTFLOW FROM THE ZGŁOWIĄCZKA BASIN

Summary

Water is the factor which determines the development of life in the natural environment. Settlement pattern and location of factories have always been influenced by the access to water. Agriculture is another sector where proper amount of water decides about the growth and size of yield. Moreover, water determines the quality and intensity of the physico-geographical processes in the environment.

In order to sustain the natural balance in the environment, as well as to continue the development of both industry and agriculture, rational water management is a must in Poland due to constantly decreasing surface water resources of the country (Kaczmarek 1997). In terms of renewable surface water resources per person Poland takes one of the latest positions among European countries. Poland's water resources are three times smaller than the European average, and about 4.5 times smaller than the world average (Ślota, 1997).

The size and changeability of the river outflow, one of the elements of the water cycle, need to be studied for both theoretical and practical reasons. This kind of knowledge is especially important and useful in case of extreme situations, such as the excess or shortage of water in the river basin. For instance, it enables specialists to

foresee and estimate the size of a drought caused by insufficient precipitation. Drought consequences predominantly mean economic losses due to smaller vegetal production, predominantly in the areas of well-developed farming. Most of the River Zgłowiączka basin belongs to such areas.

The main goal of the paper was to estimate changeability of the Zgłowiączka outflow, determined by precipitation in the long-term period between 1961 and 2000. The analysis of both low-flows and floods stages were the priorities, as the detailed outflow research is based on their genesis and changeability as well as on the interrelation of their parameters.

The above analysis was based on sets of both hydrological data, i.e. daily, mean monthly and mean annual discharges, and meteorological data, i.e. monthly and annual precipitation totals. The data was collected from the measurement stations located in the river basin, and belonging to the Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw. Hydrological data from the years 1961–1983 were taken from the hydrological yearbooks of surface waters for the Vistula (Polish: *Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych – dorzecze Wisły i rzeki Przymorza na wschód od Wisły*) published by the Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw. The data from the years 1984–2000, necessary for this research, was obtained from the Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw.

Long-term changes of the river outflow and precipitation throughout the analysed period of time, as well as the tendencies of these changes, were presented with the use of line function of the tendency as well as cumulative curve of the annual differences of discharge and precipitation coefficients $\Sigma(K-1)$. Discharge and precipitation changeability throughout both long-term period and in the yearly cycle were expressed with the model of fluctuations with time. It is a theory which describes a given phenomenon, such as the outflow from a river basin or precipitation, in a form of a function of a time-variable, periodical oscillations and irregular oscillations. Additionally, long-term and year-to-year variability were described by a variability coefficient 'Cv' and an irregularity coefficient 'W'.

The River Zgłowiączka is one of the largest left tributaries of the lower Vistula (Fig. 1). Total length of the river is 79 km, while the basin area takes up 1,495.6 km². The total length of the water courses within the basin amounts to 367.4 km; natural ones measure 297.2 km (80.9%), while canals 70.2 km (19.1%). Drainage density in the Zgłowiączka basin is 0.25 km of a water course per 1 km² of the area.

According to numerous authors, including Dynowska, 1971, 1993 (ed.), Dobija, 1986, Choiński, 1988, and Glazik, 1995, river discharge/outflow variability influences the entire complex of the elements of the natural environment, as well as human activity. Besides precipitation, the outflow from the Zgłowiączka basin is under the influence of the following factors:

– **Relief.** A characteristic feature of this river basin is its clear duality. The majority of the area, 86.9%, is taken up by a morainic plateau (the Inowrocław Plain and the Kuiavian Lakeland), while the rest, i.e. 13.1%, by a spillway (the Płock Basin) (Fig. 2). The relief of both the Inowrocław Plain and the northern part of the Kuiavian Lakeland is dominated by monotonous moraine plain of insignificant denivelations. The central and southern part of the Kuiavian Lakeland is more varied in terms of its relief, as the heights reach 147 m above sea level, while the bottoms of the lowerings 100–120 m above sea level. Characteristic features of the Płock Basin include erosive terraces, dune fields (the relative heights of dunes are from 15 to 20 m) and

subglacial channels (which constitute a local drainage course for waters flowing down from the plateau). Such a location of the river basin creates diverse conditions for water circulation in both parts.

– **Lithology** of the surface deposits, which influences the size of infiltration. The entire area of the researched river basin is covered with Quaternary deposits of various thicknesses. The majority of the area, i.e. about 79%, is covered with the deposits of low permeability (Tab. 3). The best conditions for infiltration in the entire river basin are found in the north-eastern part of it, in the Vistula Spillway, i.e. in the River Rakutówka basin, as well as in the heads of the rivers Lubieńka and Chodeczka (Fig. 3). Total area of the deposits of medium conditions for infiltration takes up only 14.7% of the basin.

– **Land use.** Conditions of the outflow from the basin are tightly connected with the way the land is used. According to B. Degórska (1996), the process of intensive deforestation in the eastern part of Kuiavia started in the 18th century. Between 1772 and 1970 the area taken up by forests decreased by about 45% (Tab. 13). Presently, in terms of land use, the river basin area is dominated by farmland, which takes up 11,98.0 km², i.e. 80.1% of the basin area (Fig. 10). The farmland structure is dominated by plough land, which takes up 73.4% (1,097.3 km²) of the basin area; the share of pastureland is 6.7% (100.7 km²). Forests make up a mere 8.5% of the river basin area. From the hydrological point of view it is not much, as forests play the role of a regulator of the outflow from the river basin with time (Tyszka, 1985). The remaining 11.4% of the area is taken up by other uses, such as transport routes, built-up areas or wastelands.

– **Hydrotechnical works.** In order to improve air and water relation of soils, as well as to prolong the vegetation period, melioration works were undertaken in the basin. Totally 45% of the river basin area was meliorated (Fig. 13, Tab. 15). Melioration works mainly meant draining plough land (they make up 90% of all the hydro-technical works in the basin). As a result, 40% of the basin area is covered with the artificial drainage system. The above melioration works brought a number of results. First of all, water outflow was fastened at the times of its excess (especially in spring). Additionally, the density of hydrographic system and the area taken up by lakes, cave-in lakes and wetlands decreased, while the water table lowered. However, retentive properties of soils and the length of vegetation period increased.

Both literature and historical documents were used to determine three impulses connected with human activity which changed the outflow conditions from the river basin. The first one was connected with the construction and usage of water mills, which began in the 13–14th century. The second one resulted from deforestation processes which began in the 14th century and referred to the majority of the basin area. The last impulse was the dynamic development of melioration works (drainage which started in the 19th century. The consequences of the above changes are recorded nowadays, as these processes resulted in creating a specific form of the natural environment. In the literature the process of landscape changes was called 'the stepping process' while the landscape created as a result of these processes was called 'applied landscape' or even 'ravaged' or 'steppe landscape'.

Long-term mean annual totals of precipitation within the river basin amount from 528 mm (Baruchowo) to 561 mm (Chodecz) (Fig. 5). The only place where long-term mean annual precipitation is 455 mm is Brześć Kujawski (central part of the basin). In terms of the half-year totals, summer precipitation (V–X) dominates, as it

amounts to over 60% of the mean annual total of precipitation (63% in Chodecz and Baruchowo, 65% in Brześć Kujawski and Olganowo) (Fig. 6). It is also summer half-year which is characterised by highest mean monthly precipitation totals. They are recorded mainly in July and oscillate between 73 mm (Olganowo) and 78 mm (Chodecz). It is only Brześć Kujawski where highest precipitation of 65 mm is recorded in June. Winter half-year precipitation (XI–IV) makes up from 35% to 37% of the mean annual total precipitation. The lowest mean monthly totals of precipitation are predominantly recorded in February, and amount to 19 mm in Brześć Kujawski, 24 mm in Olganowo and 28 mm w Chodecz. The Baruchowo station has both January and February minimums (27 mm). Although winter half-year precipitation is lower than that of summer half-year, it plays a more important role as it is stored in the form of snow cover. The rate of snow melting influences directly underground water resource renewal as well as flood levels.

The analysis of the outflow size was carried out for three diverse periods of time, namely the wet ones, normal ones and dry ones. The criterion for delimitation of the years with either shortage or abundance of outflow was the quotient of the difference between the mean outflow of a given year and a mean outflow of the long-term period, and the mean long-term outflow. In accordance with the accepted criterion of shortage or excess of outflow, the 40-year period of time included 7 extremely wet years, 4 very wet years, 4 wet years, 4 average years, 8 dry years, 8 very dry years and 5 extremely dry years. The characteristic of the Zgłowiączka outflow in individual years is presented in Table 18.

The analysis of the structure of the studied river basin in the half-year cycle shows a high share of the winter half-year outflow (XI–IV). It amounts to about 67% of the mean annual outflow (Fig. 17). The highest outflow values are recorded in March and April, and they make up 15.4% and 15.3% of the mean annual outflow respectively. Such a high share of the winter half-year outflow is not justified by the size of precipitation during the same half-year. In the winter half-year, variability coefficient of the mean monthly outflow of the Zgłowiączka ranges from 60.6% in April to 83.5% in January (Fig. 18). Irregularity coefficient reaches much lower values in the winter half-years compared to the summer half-years, and it oscillates between 14.9 in December to 24.8 in January (Fig. 19).

The summer half-year outflow makes up about 33% of the mean annual outflow (Fig. 17). The lowest values of the outflow are recorded between June and October, when the outflow makes up only 3.9% of the mean annual outflow. Mean monthly discharge of the summer half-years shows much higher values of both the variability and irregularity coefficients compared to the mean discharge of the winter half-year discharge. The highest values of the variability coefficient C_v for the mean monthly outflow from a unitary period of time were calculated for July and August (219.9% and 148.3% respectively) (Fig. 18).

The gross volume of the water resources of the Zgłowiączka river basin varies considerably from year to year. This changeability stems from the accepted assumption that the estimation of water resources is based on annual river outflow. As far as an area unit is concerned, mean water resources amount to from $0.81 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ during extremely dry years, to $2.69 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ during a normal year, and to $5.22 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ during extremely wet years. The above values differ considerably from mean unitary outflow for Poland, which is $5.4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$, and from mean unitary outflow for Europe, which is $9.6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ (*Stan i wykorzystanie ...*, 1996).

When analyzing the river discharge in a yearly cycle, two characteristic features get revealed: high discharges which often turn into floods stages, and low discharges which often turn into low-flows stages.

Hydrological year has been divided into a winter half-year (XI–IV) and a summer half-year (V–X) due to diverse reasons of low- and floods stages. Thus, low- and floods stages were analysed separately for winter and summer half-years. The criterion used here was mean discharge of the lowest discharges (SNQ) of winter and summer half-years for low-flows stages, and mean discharge of the highest discharges (SWQ) of winter and summer half-years for floods stages.

Every distinguished low- and flood stage was described with the following basic parameters: the beginning and ending of the phenomenon, duration of the phenomenon, duration of both rising and descending of the curve, the lowest discharge (low-flow stage), the highest discharge (flood stage), mean discharge, as well as the capacity of both the shortage (low-flow stage) and excess of water (flood stage) (Fig. 23, Fig. 29). Apart from a clear scientific aspect, studying deeply low- and floods stages has also practical meaning. They enable the scientists not only to assess the character and the volume of outflow, but also to lead rational water management in the area, as well as to model extreme situations in the river basin. The basic parameters of low- and flood stages, together with the resulting surplus and shortage of water have been presented in Table 22 and 27.

According to the calculations, distinct disproportions are found between the volume of the outflow (expressed as either excess or shortage of water) from the winter and the summer half-year. Such a structure is extremely disadvantageous in terms of water needs connected with crop vegetation. In winter when needs of plants are not high, water excess flows out from the river basin in a form of flood. In summer, on the other hand, when water needs of plants are much higher, water shortage is recorded in the form of low-flows stages.

As the tendencies of both outflow and precipitation changes, based on linear function of the trend, show that theoretical surface of the trend is much too simplified compared to the real surface of outflow and precipitation changes (Tab. 34). The line of the trend, for the entire long-term period does not, however, express fluctuations of precipitation and outflow which are visible in short-term periods of the analysed time. Thus, the curve of cumulated annual differences of both discharge and precipitation coefficients was used to delimit four characteristic periods of time which differ in terms of outflow volume. These are the following (Fig. 34):

– 1961–1976 (16 years); there were no distinct tendencies of increase or decrease. Only some fluctuations were observed in discharge rate, which resulted from alternating years of the discharge being higher (7 years) and lower (9 years) than the long-term mean value. Mean unitary outflow from this sub-term amounted to $2.75 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ and was very similar to the mean long-term unitary outflow, which was $2.69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. During that period 16 low-flows stages (7 in winter and 9 in summer) and 13 flood stages (10 in winter and 3 in summer) were recorded (Tab. 35–38). Total water deficit, which included winter and summer low-flows stages, was 22,235 thousand m^3 , while water excess, which included winter and summer floods, was 83,102 thousand m^3 .

– 1977–1982 (6 years); there was a sudden increase of the outflow curve with a culmination of 1980. Additionally, this period also recorded a considerable increase of precipitation at the analysed stations within the river basin. Mean discharge of the river was $6.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, which means that a unitary outflow was $4.69 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. During

that period of time 9 floods stages (6 winter and 3 summer ones) were recorded, while no low-flows stages were recorded. Total water excess of both winter and summer floods stages was as much as 236,245 thousand m^3 .

– 1983–1993 (11 years); during this period the curve of the discharge rate shows a decreasing tendency. Similar course is also recorded in case of precipitation curves for all the precipitation stations within the river basin. Mean unitary outflow at that time was $1.69 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ and was lower than the long-term mean by about 59%. The sequence of the years 1989–1993 draws specific attention, as the mean unitary outflow in that period of time was a mere $0.94 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. The most important factor influencing such an extreme shortage of water resources was both summer and winter half-year shortage of precipitation, as well as higher air temperature in both winter and summer half-years compared to the mean value. This long-term period had the largest number of low-flows stages, i.e. 21 (13 winter and 8 summer ones) and only 3 floods stages (2 winter and 1 summer one).

– 1994–2000 (7 years); this period of time recorded further decrease of the discharge rate curve. It was not, however, as sudden as during the previous period of time. A similar tendency was also noted in the case of precipitation at the Chodecz station. The course of the curves of both discharge rate and precipitation corresponds with the years 1961–1976. This idea is supported by mean discharge of the Zgłowiączka; it amounted to $3.66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, while the unitary outflow was $2.49 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. During that time 9 low-flows stages were recorded (5 winter and 4 summer ones) and 4 floods stages (3 winter and 1 summer ones).

The size of both outflow and precipitation during the analysed period of time was mainly conditioned by seasonal and accidental factors. The trend line does not, however, explain well the changes in precipitation and outflow in the long-term period 1961–2000. This idea finds support in the fact that the trend line poorly corresponds with the real data, and the value of the determination coefficient is low (Tab. 39). Throughout the yearly cycle of the discharge the following features can be distinguished:

- seasonal discharge oscillations (Fig. 36A), which repeat from year to year in the same months:

- high spring discharges were recorded in March and April. Mean monthly discharge was higher by 84.5%, i.e. by $3.34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in March and by 83.8%, i.e. by $3.31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in April than the mean long-term discharge of $3.95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

- low discharges were recorded between June and October, with the minimum reached in September when the mean monthly discharge was a mere 46.5% of the mean long-term discharge.

- accidental discharge oscillations (Fig. 36B):

- the rhythm of low discharges in the summer half-year was interrupted by accidental high discharges. They were recorded in July, when the discharge exaggeration reached 123.5% at the July mean of $2.69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

- accidental July discharge reached extreme values. For instance, in 1980 between 14–16th July the discharge level was $62.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Throughout the yearly cycle of precipitation the following seasonal features can be distinguished:

– monthly totals of precipitation higher than the mean long-term totals were recorded between May and September, with the culmination recorded in July. At that time seasonality of precipitation was reflected by the seasonal river discharge. It was the individual character of a given year which gave accidental oscillations.

– monthly precipitation totals above mean long-term total were recorded between October and April, with the minimum recorded in January and February.

Water resources in the river basin, small and changing in time, should be used wisely and rationally. The results of the research presented above prove there is a necessity to slow down the outflow of the surface waters, as well as to improve water retention within the river basin by introducing various hydrotechnic measures. They include constructing small well-thought-out retention reservoirs, protecting wetlands and bogs, rebuilding water-mill reservoirs, planting trees along field borders, stopping melioration, changing the land use structure, etc. It must be clear these undertakings will not restore the primeval water cycle. They might, however, improve this cycle, or even create a new one.

Periodical water deficit is already a fact (Brenda 1997, 1998; Susza 1992; *Zasięg, natężenie ...* 1992), especially during vegetation season, which influences the development of human activity. If pessimistic prognosis for the climatic changes comes true, insignificant water resources will become a barrier for the further intensive development of agriculture in the Zgłowiączka river basin.

Translated by Aleksandra Zaparucha

Adres autora:

Arkadiusz Bartczak

Zakład Geomorfologii i Hydrologii Niziu, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

ul. Kopernika 19, 87-100 Toruń

E-mail: arkadiusz.bartczak@geopan.torun.pl

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, Polskiej Akademii Nauk, wydaje następujące publikacje seryjne: *Geographia Polonica*, *Prace Geograficzne*, *Przegląd Geograficzny*, *Dokumentacja Geograficzna*, *Europa XXI*, *Geopolitical Studies*, *Bibliografia Geografii Polskiej*, *Atlas Warszawy*, oraz *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej* (1995), *Centralny katalog zbiorów kartograficznych w Polsce* (2000).

MONOGRAFIE

- 1 – T. Kozłowska-Szczęsna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, 1997, *Bioklimatologia człowieka*.
- 2 – L. Starkel, 2001, *Historia Doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś*.
- 3 – T. Kozłowska-Szczęsna, K. Błażejczyk, B. Krawczyk, D. Limanówka, 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie*.
- 4 – T. Kozłowska-Szczęsna, B. Krawczyk, M. Kuchcik, 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*.
- 5 – A. Gawryszewski, 2006, *Ludność Polski w XX wieku*.
- 6 – G. Węclawowicz, J. Bański, M. Degórski, T. Komornicki, P. Korcelli, P. Śleszyński, 2006, *Przestrzenne zagospodarowanie Polski na początku XXI wieku*.
- 7 – Z. Taylor, 2007, *Rozwój i regres sieci kolejowej w Polsce*.

ATLAS WARSZAWY

- 1 – Węclawowicz G., Jarosz A., 1993, *Struktury demograficzne i gospodarstw domowych*.
- 2 – Węclawowicz G., Książak J., 1994, *Struktury wykształcenia i zatrudnienia ludności w świetle Narodowego Spisu Powszechnego 1988*.
- 3 – Węclawowicz G., Jarosz A., 1995, *Warunki mieszkaniowe ludności w świetle Narodowego Spisu Powszechnego 1988*.
- 4 – Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1996, *Środowisko fizyczno-geograficzne – niektóre zagadnienia*.
- 5 – Węclawowicz G., Jarosz A., Śleszyński P., 1998, *Wybory parlamentarne 1991 i 1993*.
- 6 – Misztal S., 1998, *Przekształcenia struktury przemysłu Warszawy*.
- 7 – Potrykowska A., Śleszyński P., 1999, *Migracje wewnętrzne w Warszawie i województwie warszawskim*.
- 8 – Luniak M., Nowicki W., Kozłowski P., Plit J., 2001, *Ptaki Warszawy 1962–2000*.
- 9 – Śleszyński P., 2006, *Przedsiębiorstwa w przestrzeni Warszawy*.

Sprzedaż i prenumeratę publikacji IGiPZ PAN prowadzą księgarnie:

– Księgarnia DHN Sp. z o.o. PAN, ul. Szczęśliwicka 2/17, 02–352 Warszawa, tel./fax 22/822–98–69; tel. 22/658–15–58.

– Główna Księgarnia Naukowa im. Bolesława Prusa, ul. Krakowskie Przedmieście 7, 00–068 Warszawa, tel. 826–18–35.

Polska wśród krajów europejskich zajmuje jedno z ostatnich miejsc pod względem odnawialnych zasobów wód powierzchniowych przypadających na jednego mieszkańca. Zasoby wodne są u nas trzykrotnie niższe od średniej europejskiej i ok. 4,5 razy niższe od średniej światowej. Niedobór wody w warunkach Polski najbardziej odczuwalny jest na terenach rolniczych, zwłaszcza tam, gdzie zachwiana została naturalna równowaga krajobrazowa. W wyniku wylesienia, odwodnienia oraz intensyfikacji rolnictwa ukształtował się na Niżu Polskim specyficzny układ środowiska przyrodniczego, nazywany w literaturze „krajobrazem stosowanym” lub wręcz „krajobrazem spustoszonego czy stepowego”. Do szczególnych regionów, które charakteryzują się takim właśnie krajobrazem, zaliczyć należy Wielkopolskę i Kujawy. Największą i jednocześnie najłabiej rozpoznaną pod względem zmienności odpływu rzeką odwadniającą wschodnią część Kujaw jest Zgłowiączka. Jej dorzecze z jednej strony charakteryzuje się niekorzystną strukturą bilansu wodnego - występują tu jedne z najniższych opadów oraz odpływów jednostkowych w Polsce - szczególnie w okresie wegetacyjnym, z drugiej zaś strony ma wybitnie rolniczy charakter, ok. 80 % dorzecza zajmują użytki rolne.

Przedstawiona praca uzupełnia więc wiedzę na temat zmienności odpływu z obszaru młodoglacjalnego o zróżnicowanym układzie naturalnych warunków środowiska przyrodniczego, na które nałożyła się intensywna działalność człowieka. Znajomość wielkości i zmienności odpływu rzeczno-ziemnego, jako jednego z elementów obiegu wody, ma w obecnych czasach wymiar nie tylko teoretyczny, ale również praktyczny. Wiedza o kształtowaniu się i zmienności odpływu ze zlewni jest szczególnie przydatna w przewidywaniu wystąpienia sytuacji ekstremalnych deficytu lub nadmiaru wody w zlewni. Skutki wystąpienia tych wyjątkowych zdarzeń hydrologicznych mają bowiem wymiar znacznych strat ekonomicznych, zwłaszcza na obszarach o wysoko rozwiniętej gospodarce rolnej.

PRACE GEOGRAFICZNE - 209