

146608

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

Dariusz Brykała

**PRZESTRZENNE I CZASOWE ZRÓŻNICOWANIE  
ODPŁYWU RZECZNEGO  
W DORZECZU SKRWY LEWEJ**



Warszawa 2009

## PRACE GEOGRAFICZNE

202. Potrykowska A. (red.), 2005, *Population, environment and development*, 226 s., 23 il., 45 tab.
203. Kamińska W., 2006, *Pozarolnicza indywidualna działalność gospodarcza w Polsce w latach 1988-2003*, 236 s., 45 il., 43 tab.
204. Kalicki T., 2006, *Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich*, 348 s., 82 il., 10 fot.
205. Grobelska H., 2006, *Ewolucja strefy brzegowej zbiornika pakoskiego (Pojezierze Gnieźnieńskie)*, 122 s. + 23 wkl., 26 il., 12 tab., 33 fot.
206. Leonowicz A.M., 2006, *Kartogram jako forma prezentacji zależności zjawisk geograficznych*, 212 s., 42 il., 16 tab.
207. Węclawowicz G., Degórski M., Komornicki T., Korzeń J., Bański J., Korzeń J., Soja R., Śleszyński P., Więckowski M., 2006, *Studia nad przestrzennym zagospodarowaniem obszaru wzdłuż granicy polsko-niemieckiej*, 224 s., 40 il., 20 tab.
208. Wendt J., 2007, *Wymiar przestrzenny struktur i aktywności społeczeństwa obywatelskiego w Polsce*, 236 s., 54 il., 58 tab.
209. Bartczak A., 2007, *Wieloletnia zmienność odpływu rzeczny z dorzecza Zgłowiączki*, 164 s., 36 il., 41 tab.
210. Prokop P., 2007, *Degradacja środowiska przyrodniczego południowego skłonu Wyzyny Meghalaya, Indie*, 166 s., 41 il., 13 tab.
211. Śleszyński P., Bański J., Degórski M., Komornicki T., Więckowski M., 2007, *Stan zaawansowania planowania przestrzennego w gminach*, 284 s., 107 il., 61 tab.
212. Rączkowska Z., 2007, *Współczesna rzeźba peryglacialna wysokich gór Europy*, 252 s. + 7, 35 il., 35 tab.
213. Śleszyński P., 2007, *Gospodarcze funkcje kontrolne w przestrzeni Polski*, 320 s., 58 il., 50 tab.
214. Wolski J., 2007, *Przekształcenia krajobrazu wiejskiego Bieszczadów Wysokich w ciągu ostatnich 150 lat*, 268 s., 34 il., 21 tab., 36 fot.
215. Kozłowska A., 2008, *Strefy przejścia między układami roślinnymi – analiza wieloskalowa (na przykładzie roślinności górskiej)*, 152 s., 53 il., 3 tab., 6 zał.
216. Żarnowiecki G., 2008, *Związek pomiędzy pokrywą śnieżną a roślinnością na przykładzie grądów Białowieskiego Parku Narodowego*, 216 s., 51 il., 13 tab., 3 fot., 11 zał.
217. Śleszyński P., 2008, *Duże przedsiębiorstwa w strukturze przestrzennej największych polskich miast*, 104 s., 19 il., 7 tab., 3 zał.
218. Eberhardt P. (red.), 2008, *Problematyka geopolityczna ziem polskich*, 338 s., 42 il.
219. Starkel L., Sarkar S., Soja R., Prokop P., 2008, *Present-day evolution of the Sikkimese-Bhutanese Himalayan piedmont*, 142 s., 63 il., 5 tab., 42 fot.
220. Komornicki T., Śleszyński P., 2009, *Studia nad lokalizacją regionalnych portów lotniczych na Mazowszu*, 244 s., 73 il., 32 tab.

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

PRACE GEOGRAFICZNE NR 221

GEOGRAPHICAL STUDIES

No. 221

SPATIAL AND TIME DIFFERENTIATION  
OF RIVER DISCHARGE  
WITHIN THE SKRWA LEWA RIVER BASIN

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

PRACE GEOGRAFICZNE NR 221

DARIUSZ BRYKAŁA

PRZESTRZENNE I CZASOWE  
ZRÓŻNICOWANIE ODPLYWU RZECZNEGO  
W DORZECZU SKRWY LEWEJ

CBGİOŚ, ul. Twarda 51/55  
tel 0 22 69-78-773



Wa5142681



WARSZAWA 2009

<http://rcin.org.pl>

## KOMITET REDAKCYJNY

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

## RADA REDAKCYJNA

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

## RECENZENCI TOMU:

Ryszard Glazik, Roman Soja



146.608

## ADRES REDAKCJI:

Dział Wydawnictw IGiPZ PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

Opracowanie techniczne: Ewa Jankowska  
Zdjęcie na okładce: Dariusz Brykała

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2009

PL ISSN 0373-6547  
ISBN 978-83-61590-11-8

Łamanie wykonano w Dziale Wydawnictw IGiPZ PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa  
Druk i oprawa: Poligrafia Inspektoratu Towarzystwa Salezjańskiego  
ul. Konfederacka 6, 30-306 Kraków

146.608  
<http://rcin.org.pl>  
PAN dla wydawcy 2009/152

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp .....	7
1.1. Wprowadzenie.....	7
1.2. Cel i zakres pracy na tle dotychczasowego stanu wiedzy .....	9
1.3. Materiały i metody badawcze .....	16
2. Uwarunkowania odpływu .....	23
2.1. Uwarunkowania przyrodnicze.....	23
2.1.1. Warunki klimatyczne.....	23
2.1.2. Rzeźba terenu i budowa geologiczna .....	27
2.1.3. System hydrograficzny dorzecza .....	34
2.2. Uwarunkowania antropogeniczne .....	38
2.2.1. Użytkowanie terenu .....	38
2.2.2. Regulacje koryt rzecznych.....	41
2.2.3. Melioracje wodne .....	49
3. Zmienność i zmiany opadów atmosferycznych, stanów wód gruntowych i odpływu rzeczego w latach 1961–2005 .....	53
3.1. Jednorodność ciągów pomiarowych .....	53
3.2. Opady atmosferyczne .....	57
3.2.1. Charakterystyka opadów atmosferycznych w wieloleciu.....	57
3.2.3. Przestrzenny rozkład opadów w dorzeczu.....	64
3.3. Wody gruntowe .....	65
3.3.1. Charakterystyka wód gruntowych w wieloleciu.....	66
3.3.2. Główne kierunki odpływu wód gruntowych .....	68
3.4. Odpływ rzeczny.....	73
3.4.1. Charakterystyka odpływu rzeczego w wieloleciu .....	73
3.4.2. Wezbrania i niżówki.....	82
3.4.3. Struktura odpływu rzeczego .....	90
3.4.4. Zmiany odpływu rzeczego.....	94
3.4.5. Odpływy jednostkowe w dorzeczu .....	105
4. Zasoby wodne dorzecza .....	111
4.1. Dyspozycyjne zasoby wodne .....	111
4.2. Retencja zbiornikowa .....	115
5. Dyskusja wyników i wnioski .....	121
Literatura.....	127
Spatial and time differentiation of river discharge within the skrwa Lewa River Basin – <i>Summary</i> .....	136





## 1. WSTĘP

### 1.1. WPROWADZENIE

Ciągle wzrastające zapotrzebowanie na wodę przez ludność i wszystkie działy gospodarki, a jednocześnie coraz bardziej pogłębiający się problem jakości zasobów wodnych, stwarza konieczność ciągłego pogłębiania badań w tym zakresie. Są one prowadzone w różnej skali, najczęściej jednak, ze względu na niejednorodność fizycznogeograficzną środowiska przyrodniczego, dotyczą one niewielkich zlewni, o powierzchni od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów kwadratowych. Coraz częściej przy wykorzystaniu modeli hydrologicznych określone są poszczególne składowe bilansu wodnego (np. Gutry-Korycka, Soćczyńska 1991; Jaworski, Szkutnicki 1999). Z punktu widzenia człowieka i jego potrzeb, najbardziej istotnym elementem tego bilansu jest odpływ, zarówno jego wielkość, jak i zmienność.

Wśród krajów europejskich Polska zajmuje przedostatnie miejsce w wielkości zasobów wodnych przypadających na 1 mieszkańca (Zieliński i in. 1996; Słota 1997; Kaczmarek 1997; Fal, Bogdanowicz 2002). W związku z tym od dłuższego czasu podejmowane są dyskusje i działania mające na celu zwiększenie dyspozycyjnych zasobów wodnych. Jednym z przykładów takich działań są programy rozwoju małej retencji (Mioduszewski 1994, 2002, 2004).

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

Obok aspektu czysto naukowego, rozpoznanie i opisanie problemu związanego z występowaniem zdarzeń ekstremalnych, jakimi są np. niżówki i związane z nimi deficyty wody, ma wymiar aplikacyjny. Potrzebę działań związanych z identyfikacją obszarów szczególnie narażonych na skutki suszy zapisano bowiem w *Prawie wodnym*<sup>1</sup>. Badania hydrologiczne powinny przyczyniać się do opracowania metod ochrony oraz zasad racjonalnego gospodarowania wodą w przypadkach wystąpienia zdarzeń ekstremalnych.

---

<sup>1</sup> Art. 113 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. *Prawo wodne* (Dz. U. z 2005 r. Nr 239, poz. 2019 z późn. zm.)

O potrzebie dysponowania tego typu wynikami badań mówią zarówno regionalne, jak i ogólnopolskie programy operacyjne rozwoju regionalnego (tzw. ZPORR i RPO) oraz wnioski z realizacji międzynarodowych programów dotyczących zagadnień planowania przestrzennego i regionalnego w regionach rolniczych (np. INTERREG).

Właściwa analiza zróżnicowania przestrzennego odpływu oraz zasobów wodnych nie jest możliwa jedynie na podstawie danych hydrologicznych z posterunków należących do kurczącej się sieci pomiarowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Niezbędne jest prowadzenie szczegółowych badań terenowych w zlewniach niekontrolowanych oraz gromadzenie danych, potrzebnych do oceny aktualnego stanu środowiska przyrodniczego, bezpośrednio wpływającego na obieg wody, jak również jego przekształceń spowodowanych działalnością człowieka (Dynowska 1978; Jaworski, Szkutnicki 1999).

Takie założenia przyświecały badaniom prowadzonym w latach 2000–2005 w dorzeczu Skrwy Lewej. Zlokalizowany tam posterunek wodowskazowy IMGW zapewniał co prawda długą serię pomiarów hydrologicznych, jednak jego położenie oraz odosobnienie wykluczało rzetelną identyfikację czynników odpowiedzialnych za formowanie i przebieg odpływu rzecznoego oraz przyczyn jego ewentualnych zmian. W związku z tym badania zostały rozszerzone na całe dorzecze i były systematycznie prowadzone przez 6 lat, tak, aby uchwycić ekstremalnie różne sytuacje hydrologiczne.

W latach 2003–2006 badania prowadzono w ramach własnego projektu badawczego nr 3 P04E 019 24 *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie warunków i struktury odpływu rzecznoego w zlewni Skrwy*, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych. Wszystkie badania terenowe w dorzeczu Skrwy Lewej były prowadzone w oparciu o stację terenową Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu IGiPZ PAN w Dobiegniewie.

\*

Autor niniejszej pracy pragnie wyrazić swoją wdzięczność Panu prof. dr hab. Janowi Szupryczyńskiemu, wieloletniemu kierownikowi Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu IGiPZ PAN, za okazaną wyrozumiałość, zaufanie i możliwość realizacji własnych pasji. Zawsze mogłem liczyć na przychylność i życzliwość we wszelkich napotkanych problemach. Koleżankom i Kolegom z Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu IGiPZ PAN w Toruniu na czele z obecnym kierownikiem doc. dr hab. Mirosławem Błaszkiwiczem dziękuję za niezwykle atmosferę twórczej pracy, motywację i godziny spędzone na życzliwej dyskusji. Szczególne wyrazy podziękowania kieruję do Pana Piotra Leśniaka, który przez wszystkie lata pomagał mi w prowadzeniu pomiarów terenowych.

Duży wpływ na kształt pracy miały uwagi recenzentów rozprawy doktorskiej: prof. dr hab. Andrzeja T. Jankowskiego i prof. dr hab. Zygmunta Babińskiego, recenzentów wydawniczych: dr. hab. Ryszarda Głazika i dr. hab. Romana Soji

oraz dr. hab. Zbigniewa Podgórskiego i dr. Arkadiusza Bartczaka. W tym miejscu składam im podziękowanie za okazaną pomoc merytoryczną, ukierunkowanie badań i uwagi merytoryczne do maszynopisu opracowania.

Niniejsza praca opiera się na dużej ilości materiałów niepublikowanych. Nie mogłaby ona powstać w takim zakresie, gdyby nie życziwa pomoc Pani mgr inż. Ewy Maciążek z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie oraz Pana Ryszarda Zembowicza z Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Warszawie – Inspektoratu w Gostyninie. W tym miejscu składam im wyrazy mojej wdzięczności.

Pani mgr Ewie Birek z Kujawsko-Pomorskiego Biura Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku oraz Panom: mgr Sebastianowi Tyszkowskiemu i mgr inż. Wiesławowi Brykale dziękuję za pomoc w opracowaniu kartometrycznym i graficznym pracy.

## 1.2. CEL I ZAKRES PRACY NA TLE DOTYCHCZASOWEGO STANU WIEDZY

Poznanie obiegu wody w zlewni jest jednym z najważniejszych zagadnień współczesnej hydrologii. Prowadzone już od kilkadziesiąt lat, zarówno w Polsce, jak i na świecie, badania współzależności poszczególnych składowych bilansu wodnego nadal stanowią podstawowy problem badawczy (Byczkowski 1996; Jaworski, Szkutnicki 1999; Soczyńska 2001).

Odptyw rzeczny i jego struktura był tematem wielu opracowań. Dotyczyły one zarówno pojedynczych – niewielkich – zlewni, jak i całego zlewiska Bałtyku (np. Stachy i in. 1979; Dynowska 1989; Soja 2002). Uogólniając, na kształtowanie odptywu mają wpływ dwie główne składowe: podziemna i powierzchniowa. Oszacowanie składowej podziemnej odptywu rzecznej prowadzi do określenia zasobów dynamicznych zlewni (m.in. Kiciński 1960, 1964; Wierzbicka 1972; Gutry-Korycka 1972, 1978; Bajkiewicz-Grabowska 1990; Chelmiński 1991; Jokiel 1994; Graf 1999). Z kolei odptyw powierzchniowy decyduje o ekstremalnych (maksymalnych), często również katastrofalnych, wartościach odptywu (Gutry-Korycka 1972; Gutry-Korycka, Mikulski 1982; Magnuszewski 1991; Gutry-Korycka i in. 2003; Radecki-Pawlik 2003).

Odptyw ze zlewni rzecznej jest uzależniony od sytuacji pogodowej oraz warunków środowiska przyrodniczego, modyfikowanego przez antropopresję. Działalność człowieka w ciągu ostatnich stuleci doprowadziła do znacznego przekształcenia naturalnego środowiska. Jest to szczególnie widoczne w małych zlewniach rzecznych. Antropogeniczne uwarunkowania zmiany warunków i reżimu odptywu w Polsce zostały szeroko omówione przez zespół autorów pod kierunkiem M. Gutry-Koryckiej (1993). Przy określaniu stopnia zmian odptywu w wyniku przekształcenia środowiska naturalnego, zwrócono uwagę na trudności wynikające z braku dysponowania długimi seriami pomiarowymi.

Trwałe przemiany środowiska przyrodniczego wywołane działalnością człowieka zostały zapoczątkowane wraz z rozwojem rolnictwa. Zmiana użytkowania terenu oznaczała modyfikację warunków, w jakich kształtował się odpływ wody ze zlewni. Na ziemiach polskich proces ten osiągnął znaczące rozmiary na przełomie X i XI wieku (Maruszczak 1988). Zaistniałe zmiany nie miały stałego charakteru, lecz w miarę wzrastającej liczby ludności i postępu technicznego w gospodarowaniu zasobami przyrodniczymi, podlegały kolejnym modyfikacjom (por. Dobrowolska 1961; *Atlas historyczny...* 1973; Gutry-Korycka 1993; Podgórski 1996, 1999; Bork i in. 1998; Soja 2002; Brykała 2003, 2005).

Jak stwierdza M. Gutry-Korycka (1993) suma antropogenicznych przekształceń środowiska geograficznego uwidacznia się w zmianie właściwości retencyjnych zlewni. Zmiany te są wielokierunkowe i bardzo trudne do obiektywnej oceny. Główny problem dotyczy braku odniesienia do „ła pierwotnego”, określającego naturalny „stan wejściowy”. Poważnym problemem jest też odróżnienie naturalnej cykliczności procesów klimatycznych od ich zmian wywołanych antropopresją.

Najbardziej zauważalne zmiany w odpływie rzeczonym występują pod wpływem zabudowy hydrotechnicznej (np. Glazik 1978; Dynowska 1984; Drabiński 1991; Bartczak 2007a) oraz urbanizacji i uprzemysłowienia (np. Dobija 1975; Mikulski, Nowicka 1982; Czaja 1999; Jankowski 1988; Jokiel, Maksymiuk 1988; Szturc 1993; Wrzeński 1996; Absalon 1998; Nowicka 2002). W małych zlewniach rolniczych największy wpływ na odpływ rzeczny mają zmiany w użytkowaniu terenu, prace melioracyjne i regulacja koryt cieków oraz funkcjonowanie zbiorników retencyjnych. Próbę oceny wpływu zmiany użytkowania terenu na odpływ rzek karpaccich przedstawił ostatnio R. Soja (2002). Wykorzystał w tym celu wskaźnik antropopresji, uwzględniający poszczególne formy użytkowania terenu oraz gęstość zaludnienia.

Melioracje wodne i regulacje rzeczne wpływają w istotny sposób na zmiany samego systemu hydrograficznego (np. Wyźga 1993; Pietrzak, Siwek 2000) oraz na reżim odpływu. Przyjmuje się, że największe zmiany obserwuje się w reżimie przepływów ekstremalnych, czego najczęściej nie widać w przypadku reżimu przepływów średnich (np. Bajkiewicz-Grabowska 1975; Glazik 1976; Mioduszewski 1989, 1997; Kurek 1991; Byczkowski, Mandes 1992). Następuje wzrost nieregularności odpływu, co jest spowodowane pogłębiającymi się niżówkami i przyrostem kulminacji fal wezbraniowych. J. Rotnicka (1988), badając wpływ regulacji Proсны na jej odpływ, stwierdziła skrócenie czasu trwania wezbrań przy jednoczesnym zwiększeniu ich średniego przepływu. Zupełnie inne jest oddziaływanie zbiorników retencyjnych, zwłaszcza funkcjonujących w kaskadach (zespołach). Wyrównują one odpływ rzeczny, redukując fale wezbraniowe i podwyższając średnie i minimalne przepływy (Dynowska 1984; Kowalewski, Ślesicka 2001).



Ryc. 1. Położenie obszaru badań  
Location of study area

**Celem** niniejszej pracy jest rozpoznanie i określenie hierarchii warunków decydujących o odpływie rzeczonym w dorzeczu Skrzywy Lewej. W wyniku antropopresji doszło do modyfikacji procesu formowania i przebiegu odpływu. Stąd kolejnym celem jest określenie stopnia i kierunku zmian odpływu rzeczowego w analizowanym okresie 1961–2005.

**Obiektem badań** jest dorzecze rzeki Skrzywy Lewej, która jest największym lewobrzeżnym dopływem uchodzącym do dolnej Wisły pomiędzy Bzurą a Zgłowiączką. Jej źródła znajdują się na Wysoczyźnie Kłodawskiej (ryc. 1), na południe od wsi Łanięta (powiat kutnowski), na wysokości 131 m n.p.m. Do zbiornika włocławskiego rzeka uchodzi (w 641,3 kilometrze Wisły) dwoma ramionami w miejscowości Soczewka (powiat płocki). Jej długość wynosi 48,5 km, a średni spadek dna doliny 1,53‰. Największym dopływem Skrzywy Lewej jest licząca 17,3 km długości Osetnica (ryc. 2). Odwadnia ona obszar 137,2 km<sup>2</sup>, co stanowi niemal 1/3 powierzchni dorzecza Skrzywy Lewej. Całe dorzecze liczy 400,4 km<sup>2</sup> powierzchni<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Według *Atlasu podziału hydrograficznego Polski* (2005) długość Skrzywy Lewej wynosi 41,8 km, a powierzchnia dorzecza osiąga 390,94 km<sup>2</sup>.



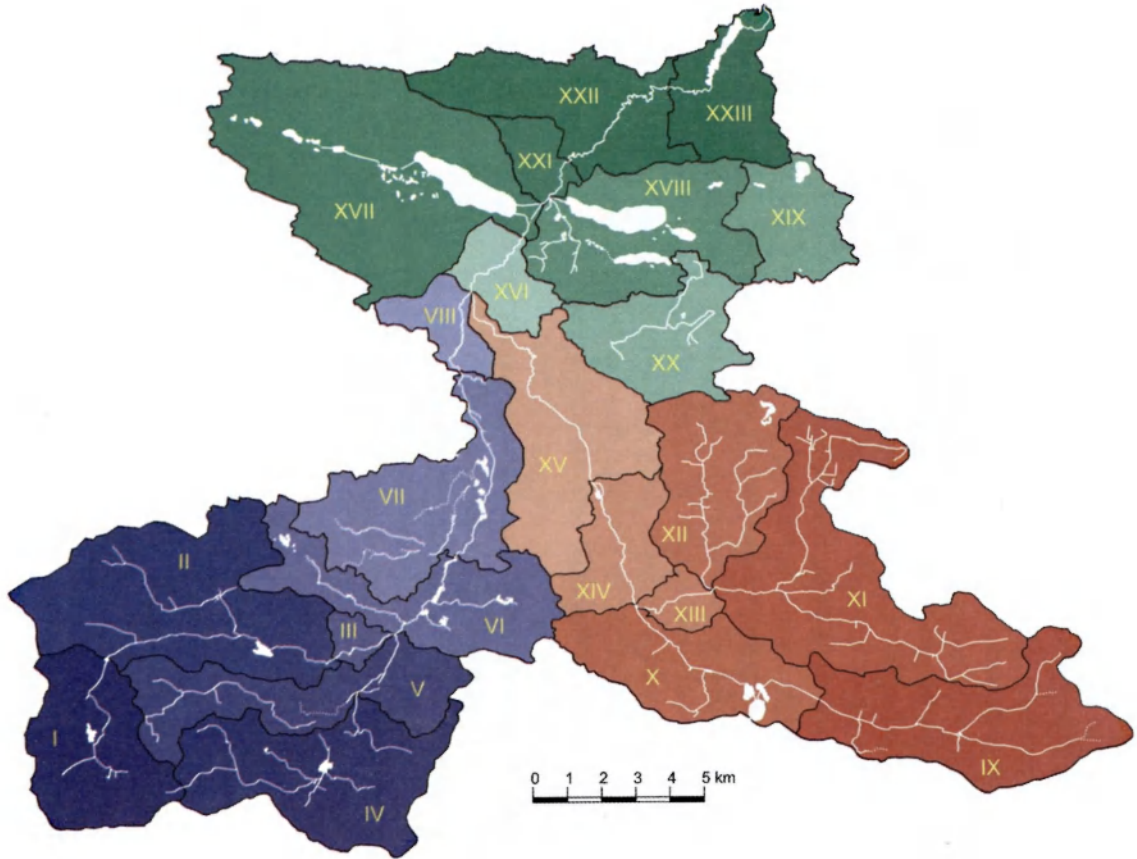
Dorzecze Skrwy Lewej jest stosunkowo słabo poznanym hydrologicznie obszarem, któremu poświęcono niewiele opracowań. Poszczególne składowe bilansu wodnego tej zlewni zostały oszacowane przez K. Dębskiego (1960), według którego średni odpływ roczny wynosi 42,6 mln m<sup>3</sup> wody. W opracowaniu tym autor nie opierał się na pomiarach wykonanych w dorzeczu (nie istniały wtedy na tym obszarze żadne posterunki wodowskazowe), ale wykorzystał wyniki uzyskane z sąsiadujących zlewni, objętych monitoringiem hydrologicznym. Opracowanie to miało charakter metodyczny.

W 1992 roku powstały na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych UW trzy prace magisterskie dotyczące hydrologii dorzecza Skrwy Lewej. Autorzy, wykorzystując dane z wodowskazu IMGW, oszacowali zasoby wodne całego dorzecza (Błaszczkiewicz 1992) oraz zlewni największego dopływu – Osetnicy (Strońska 1992). Ocenili oni, iż udział zasilania podziemnego w odpływie całkowitym z dorzecza w latach 1975–1990, wynosi ok. 80%. K. Wardak (1992) natomiast<sup>3</sup>, zwróciła uwagę na znaczący udział składowej podziemnej w obiegu wody jeziora Białego i Lucieńskiego. Duży stopień zanieczyszczenia wód prowadzonych przez Skrwę Lewą i jej dopływy, spowodował poważne zagrożenie dla jakości wody w jeziorach. Ciekii tego dorzecza zostały więc objęte monitoringiem służb odpowiedzialnych za ochronę środowiska (Chorzewska i in. 1998; Ostrowski 2003).

Na obszarach nizinnych napotyka się na duże problemy z poprawnym wyznaczeniem granic zlewni. Mamy tu do czynienia z niezgodnością działów topograficznych i podziemnych. R. Glazik (1978) wyznaczył na podstawie badań poziomu wód gruntowych działy wodne zlewni cieków w Kotlinie Płockiej, w □□□ NW część działu wodnego dorzecza Skrwy Lewej. P. Jokiel (2004) określił zaś wielkość średniego odpływu podziemnego na tym terenie, nawet na poniżej 1,5 dm<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>km<sup>2</sup>.

**Zakres czasowy** badań terenowych obejmował lata 2000–2005. Ten okres został scharakteryzowany na tle minionych 45 lat (1961–2005), w oparciu o wyniki obserwacji hydrologicznych i opadowych, prowadzonych w dorzeczu przez IMGW. Z kolei wpływ działalności człowieka na badany system hydrograficzny, został możliwie dokładnie przesledzony od średniowiecza do współczesności.

<sup>3</sup> Ważnym elementem systemu hydrograficznego dorzecza Skrwy Lewej są jeziora, umiejscowione w pradolinie Wisły. S. Lencewicz (1929) i J. Jaczynowski (1929) nadali temu obszarowi nazwę „Pojezierza Gostyńskiego”.



Ryc. 3. Podział dorzecza Skrzywy Lewej na zlewnie cząstkowe i różnicowe wytypowane do szczególnych badań porównawczych  
Divisions of the Skrzywa Lewa river basin into sub-basins



Aby zrealizować postawione cele, konieczne było wykonanie następujących **zadań badawczych**:

1. Charakterystyka przestrzennego zróżnicowania głównych elementów środowiska geograficznego, mających wpływ na odpływ rzeczny;
2. Rekonstrukcja zagospodarowania hydrotechnicznego dorzecza i odtworzenie retencji zbiornikowej w ciągu ostatnich 200 lat;
3. Określenie zasięgu i intensywności prac melioracyjnych w dorzeczu;
4. Charakterystyka czasowej zmienności odpływu w latach 1961–2005 (w tym struktura odpływu i zjawiska ekstremalne);
5. Charakterystyka przestrzennego zróżnicowania opadów, odpływu i stanów wód gruntowych w dorzeczu (w różnych sytuacjach hydrometeorologicznych).

W tym miejscu autor chciałby zwrócić uwagę na poważny problem dotyczący hydronimii. W bliskim sąsiedztwie znajdują się dwie rzeki – dopływy dolnej Wisły, o takiej samej nazwie – Skrwa. Wynikają stąd oczywiste problemy dotyczące wielu określeń tej samej rzeki w różnych opracowaniach.

W jednym z pierwszych naukowych opracowań tego terenu, wykonanym przez B. Brandta (1916), obie rzeki zostały rozróżnione poprzez dodanie określników „północna” i „południowa”. Podobnie postąpili autorzy monografii *Wisła* (1982), wydanej pod redakcją A. Piskozuba, dodając określniki „Północna” i „Południowa” (s. 146). Jednak wykazali się niekonsekwencją i w tej samej monografii podają nazwy „Skrwa Lewa” i „Skrwa Prawa” (s. 339, tab. 50) podobnie jak: E. Bajkiewicz-Grabowska 1990; E. Kulabko 1995; B. Chorzewska i in. 1998; D. Brykała 2005).

Obie rzeki uchodzą do Wisły (zbiornika wrocławskiego) mniej więcej w tym samym kilometrze, ale odwadniają przeciwległe części dorzecza. Stąd pojawiły się w opracowaniach IMGW nazwy „Skrwa (lewa)” i „Skrwa (prawa)”. Nazwy te z punktu widzenia toponomastyki nie są uzasadnione. Określenie „lewy” lub „prawy” nosi bowiem znamiona względności.

Zdaniem autora (geografa) poprawniejsze byłoby dodanie do nazwy „Skrwa” określników „lewobrzeżna” i „prawobrzeżna”. Inną możliwością jest dodanie określnika geograficznego, „północna” i „południowa” (na zasadzie analogii do „Noteci Wschodniej” i „Noteci Zachodniej”) lub „gostynińska” i „skrwileńska”.

W ostatnim czasie pojawiły się nowe spisy wód powierzchniowych w Polsce. W załączniku nr 2, nr 374, *Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 roku w sprawie śródlądowych wód powierzchniowych lub ich części, stanowiących własność publiczną i istotnych dla regulacji stosunków wodnych na potrzeby rolnictwa* (Dz.U. Nr 16, poz. 149) wymieniona została „Skrwa Lewa”<sup>4</sup>, podobnie jak w wydanym spisie obiektów hydrograficznych Polski (*Nazewnictwo geograficzne...* 2006, s. 256). W związku z powyższym, w niniejszej pracy autor będzie używał takiej nazwy dla analizowanej rzeki.

<sup>4</sup> „Skrwa Prawa” nie została ujęta w żadnym załączniku do powyższego rozporządzenia.

### 1.3. MATERIAŁY I METODY BADAWCZE

Badania nad realizacją niniejszego tematu zostały przeprowadzone w trzech etapach. W pierwszej kolejności zebrano publikowane i niepublikowane materiały pomiarowe, dokumentacyjne i kartograficzne. Na bazie uzyskanych z nich informacji możliwe było określenie zakresu prac terenowych w dorzeczu Skrwy Lewej. Były one kontynuowane przez 6 lat (do 2005 roku). Następnie uzupełniono bazę danych hydrometeorologicznych i opracowano wyniki badań.

W opracowaniu wykorzystano trzy grupy materiałów źródłowych:

1. Wyniki własnych pomiarów terenowych;
2. Wyniki obserwacji hydrometeorologicznych z lat 1955–2005 prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (tab. 1);
3. Niepublikowane materiały archiwalne, kartograficzne i zdjęcia lotnicze.

W bazie danych IMGW, ciąg codziennych przepływów Skrwy Lewej w Klusku (powierzchnia dorzecza: 371,1 km<sup>2</sup>) obejmuje okres od 1975 r. Pomiary hydrometryczne na tym posterunku wodowskazowym prowadzone były jednak od października 1960 r. Zarówno codzienne stany wody, jak i przepływy kontrolne wykonane na Skrwie Lewej są opublikowane dla okresu od 1961 r. W archiwum IMGW w Warszawie znajdują się również 4 krzywe natężenia przepływu Skrwy Lewej w Klusku dla lat 1961–1974, opracowane na podstawie codziennych stanów wody i 43 pomiarów kontrolnych natężenia przepływu. Zawierały się one w przedziale od 0,13 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> do 12,70 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. 14 pomiarów natężenia przepływu (z 43 wykonanych w latach 1961–1974) zostało wykonanych przy przepływie wyższym od średnio notowanego w latach 1961–1982 (SSQ=1,45 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>). Dzięki wykorzystaniu codziennych stanów wody Skrwy Lewej na wodowskazie w Klusku oraz pomiarów hydrometrycznych i krzywych natężenia przepływu, odtworzono ciąg danych codziennych przepływów z lat 1961–1974. Dzięki temu wydłużony o 15 lat ciąg codziennych przepływów stał się podstawą statystycznej analizy hydrologicznej

Analiza przestrzenna elementów środowiska geograficznego opierała się na mapach topograficznych w skali 1:25 000, w układzie 1942 (stan aktualności na 1991 r.). W oparciu o rozpoznanie terenowe autor może stwierdzić, że zmiany topograficzne, jakie zaistniały w okresie późniejszym, były nieznaczne. Tak więc można przyjąć, że stan aktualności sytuacji topograficznej nie rzutuje na interpretację warunków geograficznych.

Wykonany został model numeryczny dorzecza oraz warstwy tematyczne, w oparciu o mapy: geologiczne, hydrogeologiczne, geomorfologiczne i glebowo-rolnicze. Użyto do tego programu ArcGIS. Dane kartometryczne zaprezentowane w pracy są wynikiem własnych obliczeń, chyba że powołano się na inne źródła.

Tabela 1. Baza danych hydrometeorologicznych IMGW wykorzystana w pracy

Dane	Posterunek/wodowskaz	Okres pomiarowy	Charakterystyka zbioru danych
Hydrologiczne			
– stany wody w rzece	Klusek	1961–1998	wartości dobowe
– natężenie przepływu	Klusek	1975–2005	wartości dobowe
– natężenie przepływu	Klusek	1961–1981	97 pomiarów kontrolnych
– krzywe natężenia przepływu	Klusek	1961–1984	4 krzywe
– stany wody gruntowej	Gostynin	1961–2000	wartości cotygodniowe
	Helenów	1965–2005	wartości cotygodniowe
	Strzelce	1966–2000	średnie i ekstremalne półroczne
	Krakówka	1961–2000	średnie i ekstremalne półroczne
Meteorologiczne			
– opady atmosferyczne	Płock-Radziwie/Trzepowo	1955–2005	sumy dobowe
\	Gostynin	1955–2005	sumy dobowe
	Baruchowo	1955–2005	sumy miesięczne
	Nowy Duninów	1956–2005	sumy miesięczne
	Gąbin	1955–1991	sumy miesięczne
	Łąck	1955–1982	sumy miesięczne
	Strzelce	1955–1981	sumy miesięczne
	Łanięta	1955–1980	sumy miesięczne
średnie i ekstremalne temperatury powietrza	Płock-Radziwie/Trzepowo	1961–1985, 2000–2005	wartości dobowe
– pokrywa śnieżna	Płock-Radziwie/Trzepowo	1961–1985, 2000–2005	wartości dobowe

Analizę zmian w zagospodarowaniu hydrotechnicznym dorzecza wykonano metodą historyczno-progresywną, polegającą na porównaniu i interpretacji materiałów od najstarszych do współczesnych. Pozwala ona na chronologiczne prześledzenie zmian przestrzennych na mapach oraz innych materiałach archiwalnych. W największym stopniu wykorzystano zasoby zgromadzone w:

- Archiwum Głównym Akt Dawnych w Warszawie;
- Archiwum Państwowym w Płocku;
- Archiwum Diecezjalnym w Płocku;
- Centralnej Bibliotece Geografii i Ochrony Środowiska w Warszawie;
- archiwum Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Warszawie, Inspektoratu w Gostyninie;
- archiwum Wojewódzkiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Łodzi, Inspektoratu w Kutnie.

Na bazie informacji uzyskanych z materiałów archiwalnych, przeprowadzono w terenie identyfikację, a następnie pomiary niwelacyjne obiektów antropogenicznych, związanych z zagospodarowaniem hydrotechnicznym dorzecza. Pomiary niwelacyjne wykonano przy pomocy elektronicznego systemu mierniczego typu Compulevel™.

Główne badania terenowe koncentrowały się na: pomiarach stanów wód gruntowych oraz pomiarach prędkości płynięcia wody w ciekach. Własna sieć obserwacyjna stanów wód gruntowych obejmowała 86 posterunków (piezometrów i studni gospodarskich), na których przeprowadzono 10 serii pomiarowych (w sumie 689 pomiarów). Pomiary wykonywane były przy pomocy standardowego gwizdka hydrogeologicznego. Ze względu na dużą ilość rozproszonych w terenie posterunków (ryc. 2), pomiary wykonywano w ciągu dwóch dni. Pierwszego dnia w części wysoczyznowej dorzecza, a drugiego dnia w części pradolinnej.

Na sieć punktów pomiarów hydrometrycznych składało się 13 własnych przekrojów wodowskazowych, 1 przekrój wodowskazowy IMGW i 17 kolejnych punktów pomiarowych (bez łąk wodowskazowych). W sieci tej wykonano 30 serii pomiarowych prędkości płynięcia wody (w sumie 488 pomiarów). Posłużył do tego młynek hydrometryczny typu HEGA 2. W związku z dużą liczbą posterunków rozmieszczonych w dorzeczu (ryc. 2), pomiary prędkości płynięcia wody wykonywane były w ciągu 2 dni, analogicznie, jak w przypadku stanów wód gruntowych. Uzyskane wyniki pozwoliły na obliczenie metodą rachunkową natężenia przepływu. Te z kolei wykorzystano do obliczenia odpływów jednostkowych.

Przestrzenna analiza poszczególnych elementów środowiska geograficznego została przeprowadzona dla 23 zlewni cząstkowych i różnicowych, których położenie przedstawiono na rycinie 3, a charakterystykę w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka zlewni cząstkowych i różnicowych wydzielonych w dorzeczu Skrwy Lewej

Symbol zlewni	Zamykający zlewnię przekrój wodowskazowy	Rzeka	Opis hydrograficzny zlewni	Powierzchnia						
				Całkowita [km <sup>2</sup> ]	Zbiorniki wodne		Obszary leśne		Obszary zmeliorowane	
					[ha]	%	[ha]	%	[ha]	%
I	Pomarzany	Skrwa Lewa	Zróżnicowana część zlewni Skrw Lewej. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Wszystkie cieki uregulowane. Wszystkie cieki mają charakter okresowy.	16,80	7,11	0,42	129,06	7,68	1 680,12	100,00
II	Piekielek	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. Głęboko wcięta dolina rzeczna wykorzystująca rynnę glacialną. Poniżej stawów rybnych w Sokołowie rzeka nieuregulowana. Rzeka główna oraz lewobrzeżny dopływ spod Zaborowa mają charakter stały.	31,61	17,38	0,55	215,34	6,81	2 813,74	89,02
III	Ruda	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. Głęboko wcięta dolina rzeczna wykorzystująca rynnę glacialną. Rzeka dawniej uregulowana – obecnie w fazie samoczynnej renaturyzacji. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	2,01	0,06	0,03	178,88	89,15	0,00	0,00
IV	Marianów	Dopływ spod Jastrzębii	Zróżnicowana część zlewni cieków spod Jastrzębii i Niedrzewia. Większość cieków koncentrycznie spływa do jeziora w Sierakówku. Część wody odpływa w kierunku Skrw Lewej – ciek nieuregulowany. Wyraźna forma dolinna. Wszystkie cieki mają charakter okresowy.	23,21	7,89	0,34	461,25	19,87	2 175,00	93,70
V	Cierpich	Dopływ spod Jastrzębii i Jukowa	Zlewnia różnicowa dopływu Skrwy Lewej spod Jastrzębii i Jukowa. Głęboko wcięta dolina rzeczna. Rzeka nieuregulowana. Jedynie rzeka główna w dolnym biegu ma charakter stały.	17,88	2,71	0,15	485,51	27,16	1 122,31	62,78
VI	Brzozówka	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. Głęboko wcięta dolina rzeczna, wykorzystująca rynnę subglacialną. Rzeka dawniej uregulowana – obecnie w fazie samoczynnej renaturyzacji (kilka sztucznych zbiorników). Rzeka główna oraz dopływy: spod Huty Zaborowskiej i spod Leśniewic mają charakter stały.	17,90	24,89	1,39	986,19	55,08	553,75	30,93
VII	Ziejka	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej, w dużej mierze zurbanizowana (miasto Gostynin). Dolina rzeczna ma wyraźnie zarysowaną formę. Rzeka na całym odcinku uregulowana (kilka sztucznych zbiorników). Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	22,22	24,39	1,10	472,51	21,27	546,25	24,58
I-VII	Ziejka	Skrwa Lewa	Wysoczyznowa część zlewni Skrw Lewej.	131,63	84,43	0,64	2 928,74	22,25	8 891,17	67,55
VIII	Kazimierzów	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. Słabo wykształcona forma dolinna. Rzeka nieuregulowana, choć w latach 90-tych XX w. znacznie pogłębione koryt. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	5,10	1,14	0,22	210,25	41,22	84,50	16,57
IX	Szczawin	Osetnica	Zróżnicowana część zlewni Osetnicy. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Rzeka na całym odcinku uregulowana. Jedynie rzeka główna w dolnym biegu ma charakter stały.	31,39	3,53	0,11	117,82	3,75	2 245,18	71,52
X	Mniszek	Osetnica	Zlewnia różnicowa Osetnicy. Na dziale wodnym jest położone Jez. Szczawińskie (brama wodna). Dolina rzeczna słabo wykształcona. Rzeka poniżej Jez. Szczawińskiego – nieuregulowana. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	18,93	49,88	2,64	1 027,88	54,31	21,88	1,16
XI	Nowy Młyn	Kanał Jesionka-Waliszew	Zróżnicowana część zlewni Kanału Jesionka-Waliszew. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Rzeki na całych odcinkach uregulowane. Jedynie rzeka główna w dolnym biegu ma charakter stały.	33,46	0,76	0,02	952,44	28,46	2 256,38	67,43
XII	Łokietnica	Łokietnica	Zlewnia cząstkowa Łokietnicy. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Rzeka na całym odcinku uregulowana. Wszystkie cieki mają charakter okresowy.	18,12	10,78	0,59	635,00	35,03	1 065,00	58,76
XIII	Żelazne	Kanał Jesionka-Waliszew	Zlewnia różnicowa Kanału Jesionka-Waliszew, dopływu Osetnicy. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Rzeka dawniej uregulowana – obecnie w fazie samoczynnej renaturyzacji. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	3,02	0,00	0,00	255,95	84,86	0,00	0,00
XIV	Gašno	Osetnica	Zlewnia różnicowa Osetnicy. Głęboko wcięta dolina rzeczna, wykorzystująca rynnę subglacialną. Rzeka uregulowana na długości ok. 1 km powyżej zamykającego przekroju wodowskazowego. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	9,37	3,04	0,32	703,75	75,14	5,13	0,55
IX-XIV	Gašno	Osetnica	Wysoczyznowa część zlewni Osetnic.	114,29	67,99	0,59	3 692,84	32,31	5 593,56	48,94
XV	Wyrobki	Osetnica	Zlewnia różnicowa Osetnicy. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Odcinek rzeki do miejscowości Legarda – uregulowany, poniżej w fazie renaturyzacji. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	22,88	9,22	0,40	911,88	39,86	283,75	12,40
XVI	Lucień - szkoła	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Rzeka na całym odcinku nieuregulowana. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	5,72	3,64	0,64	151,25	26,44	230,00	40,21
XVII	Lucień - odpływ	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej, z jeziorami: Lucieńskim i Lubaty. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Wszystkie cieki uregulowane. Podczas stanów niskich Skrwa Lewa omija Jez. Lucieńskie (prowadzi wodę jedynie ciekami „tranzytowymi”). Pozostałe cieki mają charakter okresowy.	42,86	229,12	5,35	2 458,91	57,38	38,13	0,89
XVIII	Białe	Dopływ z Jez. Białego i spod Gorzewa	Zlewnia cząstkowa jezior: Białego, Sumino, Drzesno. Słabo wykształcona dolina rzeczna. Wszystkie cieki uregulowane. Wszystkie cieki mają charakter okresowy.	20,47	211,51	10,33	720,35	35,19	318,26	15,55
XIX	–	–	Bezodpływowa zlewnia Jez. Sędeń. Brak stałych cieków powierzchniowych.	9,52	17,86	1,88	579,09	60,84	20,12	2,11
XX	Janowo	Cieki spod Emilianowa i Rogożewka	Zlewnia cieków spod Emilianowa i Rogożewka. Wszystkie cieki oprócz dolnego biegu rzeki głównej uregulowane. Cieki mają charakter okresowy.	13,98	3,70	0,26	588,13	42,06	123,75	8,85
XXI	Klusek	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. W tym przekroju dorzecze Skrwy jest monitorowane przez IMGW. Na całym odcinku rzeka nieuregulowana. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	4,03	0,00	0,00	349,31	86,65	0,00	0,00
XXII	Krzywy Kołek	Skrwa Lewa	Zlewnia różnicowa Skrwy Lewej. Głęboko wcięta dolina rzeczna. Na całym odcinku rzeka nieuregulowana. Koryto silnie meandrujące. Obszar chroniony Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego. Jedynie rzeka główna ma charakter stały.	18,54	0,00	0,00	1 453,13	78,39	39,38	2,12
XXIII	Soczewka - jaz	Skrwa Lewa	Ujściowa część dorzecza Skrw Lewej. Głęboko wcięta dolina rzeczna. W dolnym biegu rzeki głównej – zbiornik zaporowy, z którego Skrwa Lewa uchodzi do Wisły dwoma uregulowanymi ramionami. Rzeka główna ma charakter stały (przepływy pod wpływem oddziaływania elektrowni wodnej).	11,43	40,76	3,57	1 012,82	88,62	0,00	0,00
VIII, XV-XXIII	Soczewka - jaz	Skrwa Lewa	Część dorzecza Skrwy Lewej położona w pradolinie Wisły.	154,52	516,95	3,35	8 435,12	54,59	1 137,88	7,36
I-XXIII	Soczewka - jaz	Skrwa Lewa	Dorzecze Skrwy Lewej - całość	400,44	669,37	1,67	15 056,70	37,60	15 622,60	39,01

Kameralne opracowanie wyników badań rozpoczęło się od stworzenia bazy danych hydrometeorologicznych z dorzecza Skrwy Lewej i jej bezpośredniego otoczenia. Uzyskane ciągi danych były poddane szczegółowej analizie statystycznej.

W pierwszej kolejności przeprowadzone zostały testy na jednorodność statystyczną ciągów. Jednorodność (stacjonarność) oznacza stałość zbioru czynników wpływających na przebieg zjawiska w badanym okresie. Jednorodność ciągów weryfikowano testem sumy rang Kruskala-Wallisa oraz testem współczynnika korelacji rangowej Spearmana na trend wartości średniej. Szczegółowo metody te zostały omówione w pracy B. Ozga-Zielińskiego (1987). Badania jednorodności ciągów zostały sprawdzone na zalecanym w hydrologii poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  (Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997).

W opracowaniach hydrologicznych kierunek zmian przepływu w wieloleciu charakteryzuje się najczęściej przy pomocy wartości aproksymanty trendu o liniowym równaniu regresji:

$$y = ax + b$$

gdzie:  $y$  – wyrównane wartości badanych charakterystyk,  $a$ ,  $b$  – parametry funkcji,  $x$  – kolejny rok w badanym okresie.

Pod pojęciem trendu rozumie się pewną długotrwałą, systematyczną zmianę w czasie wartości elementów ciągu. Wartości liczbowe i znaki współczynników kierunkowych aproksymanty trendu świadczą o wielkości i kierunku ewentualnych zmian w reżimie danej charakterystyki, jakie dają się zauważyć w rozważanym okresie. Statystyczną istotność współczynników kierunkowych aproksymant, a tym samym istotność wykrytych tendencji zmian, zweryfikowano za pomocą testu t-Studenta:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

gdzie:  $r$  – współczynnik korelacji liniowej,  $n$  – liczba elementów ciągu.

Pozwala on stwierdzić, czy otrzymana wartość współczynnika kierunkowego różni się istotnie od wartości  $a = 0$ .

Analiza prostych regresji nie oddaje charakteru fluktuacji w zmienności zjawisk hydrometeorologicznych. W tym celu wykorzystuje się bezwymiarowe krzywe sumowe ciągów, określone przy pomocy metody **RAPS** (*rescaled adjusted partial sums*) bądź **SCAD** (*standardized cumulative annual deviation*). Obie te metody są w założeniach bardzo podobne do siebie, a różnica polega na odniesieniu różnicy pomiędzy charakterystyką a jej wartością średnią do odchylenia średniego (RAPS) lub odchylenia standardowego (SCAD). Pozwalają one na wizualizację tendencji w czasowym przebiegu zbioru elementów ciągu. Funkcja RAPS analizowanej charakterystyki jest określana wyrażeniem:

$$y_k = \sum_{i=1}^k \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \quad k \in (1, 2, \dots, n)$$

gdzie:  $x_i$  – element badanego ciągu,  $\bar{x}$  – średnia wartość wyrazów badanego ciągu,  $\sigma_x$  – średnie odchylenie wartości wyrazów ciągu,  $n$  – liczba wyrazów ciągu.

Zmienność badanych ciągów w różnych przedziałach czasowych (zarówno w układzie chronologicznym, jak i jednostkach jednoimiennych) przeanalizowano przy pomocy metody krzywej sumowej odchyień rocznych współczynników przepływu „K” od średniej wieloletniej  $\Sigma(K-1)$ . Pozwala ona na wyróżnienie sekwencji lat o różnych tendencjach przebiegu: opadów, odpływu, stanów wód gruntowych. Szczegółowy opis tej metody przedstawił A.T. Jankowski (1986, 1988).

Charakteryzując dynamikę procesów hydrologicznych w dorzeczu, najczęściej przedstawia się zjawiska ekstremalne: niżówki i wezbrania. Służą one interpretacji sytuacji występującej w rzece w odniesieniu do ilości przepływającej wody. Są to pojęcia czysto umowne i nie mogą mieć genetycznie uzasadnionej jednoznacznej definicji (Ozga-Zielińska 1990, s. 33). W analizie hydrologicznej zjawisk ekstremalnych przyjmuje się więc umowne kryteria. Tak postąpiono i w niniejszej pracy. Wyznaczenie sytuacji ekstremalnych oparto na metodzie TLM (*threshold level method*), która polega na odcinaniu niżówek i wezbrań na hydrogramach dobowych przepływów, przy pomocy założonego przepływu granicznego.

Definicja **niżówki** oznacza więc okres, w którym wartości przepływu są równe i mniejsze od przepływu granicznego (progowego) niżówki  $Q_{GN}$  i trwają co najmniej 10 dni. Natomiast **wezbranie** jest okresem, w którym przepływy są równe i większe od przepływu granicznego wezbrania  $Q_{GW}$  i trwają co najmniej 5 dni (Mikulski 1962; Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1984; Wrzesiński 1999).

Ze względu na jednorodność genetyczną wykorzystanych danych, oddzielnie przeanalizowano ekstremalne sytuacje hydrologiczne półrocza zimowego i letniego. Uzasadnienie trafności takiej procedury można spotkać w pracach np. M. Zielińskiej [M. Ozgi-Zielińskiej] (1963, 1964, 1990), A. Tłałki (1979, 1982) i D. Wrzesińskiego (1999). Każda wydzielona niżówka i wezbranie została opisana parametrami ilościowymi, takimi jak: początek i koniec wystąpienia, przepływ minimalny (niżówka) lub maksymalny (wezbranie), przepływ średni, czas trwania, objętość (fali lub niedoboru).

Z przyjętych wyżej definicji wynika, że wezbrania i niżówki są w niniejszej pracy potraktowane, jako sytuacje ekstremalne w przebiegu odpływu rzecznoego. Ekstremum oznacza wyjątkowość i niesystematyczność pojawiania się. Należało więc przyjąć taką wartość przepływu granicznego  $Q_G$ , przy którym nie każdy przybór wody w rzece na wiosnę oznacza wezbranie i nie każde obniżenie przepływów jesienią oznacza niżówkę. Takie określenie  $Q_G$  prowadzi do wyty-

powania i scharakteryzowania sytuacji, których negatywne skutki są odczuwane głównie w gospodarce.

W sposób najbardziej obiektywny założenia powyższe spełniały: dla niżówek – wartość przepływu średniego z niskich w półroczach (SNQ), dla wezbrań – wartość przepływu średniego z wysokich w półroczach (SWQ). Takie same wartości przepływu granicznego dla niżówek letnich przyjęła A. Tłałka (1982).

Uzyskane wyniki były korelowane z okresami natężenia działalności człowieka, jaka była prowadzona w dorzeczu, przy użyciu metody krzywej kumulacyjnej oraz podwójnej krzywej kumulacyjnej odpływu i opadów oraz stanów wód gruntowych i opadów (Dynowska i in. 1985).

Struktura odpływu została rozpoznana na podstawie analizy dwóch głównych składowych odpływu: podziemnego i powierzchniowego. Podział hydrogramu odpływu przeprowadzony został przy pomocy standardowych metod rachunkowych: Wundta i Killego (Bartnik, Jokiel 2000) oraz metody K. Klinera i M. Knezeka (1974; również: Pociask-Karteczka 2003; Chełmicki 2003). Zakłada ona, że istnieje związek między wielkością odpływu podziemnego a stanem zwierciadła wód gruntowych w reprezentatywnym posterunku piezometrycznym. Autor nie dysponował wynikami codziennych obserwacji stanów wody gruntowej, jak zalecają K. Klinera i M. Knezek. Wykorzystano więc cotygodniowe wartości tej charakterystyki i odpowiadające im terminowo przepływy w Skrwie Lewej.





## 2. UWARUNKOWANIA ODPLYWU

Odływ ze zlewni rzecznej, zarówno jego struktura, jak i wielkość, jest uzależniony od warunków środowiska przyrodniczego. Najistotniejszy wpływ na kształtowanie i przebieg procesu odpływu mają warunki klimatyczne oraz rzeźba terenu i litologia utworów powierzchniowych. Decydują one między innymi o takich procesach hydrologicznych, jak spływ powierzchniowy i infiltracja. W ich następstwie dochodzi do formowania się odpływu powierzchniowego i podziemnego.

W małych zlewniach rzecznych szczególnie jaskrawo widoczny jest stopień przekształcenia środowiska naturalnego przez długotrwałą działalność człowieka. Na każdą zmianę warunków dosyć szybko reagują poszczególne składowe bilansu wodnego, zwłaszcza odpływ. Jest on modyfikowany przez: zmiany w użytkowaniu terenu, regulację koryt, melioracje wodne czy gospodarkę wodną. Poniżej przedstawione zostaną najważniejsze uwarunkowania odpływu rzecznego w dorzeczu Skrwy Lewej.

### 2.1. UWARUNKOWANIA PRZYRODNICZE

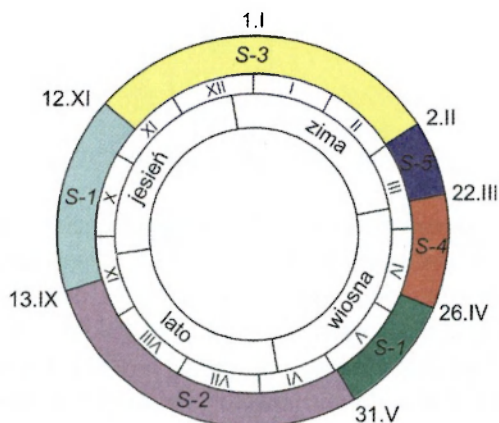
#### 2.1.1. WARUNKI KLIMATYCZNE

Według klasyfikacji regionów klimatycznych Polski A. Wosia (1999), opartej na pomiarach meteorologicznych z lat 1951–1980, obszar dorzecza Skrwy Lewej wchodzi w skład Regionu XVII – Środkowopolskiego. Na tle innych regionów Polski wyróżnia się on znaczną liczbą dni z pogodą typu 310, tj. z pogodą bardzo ciepłą, pochmurną i bez opadów (średnio 38 dni w roku) oraz z pogodą typu 921, tj. z pogodą mroźną z dużym zachmurzeniem i opadem (średnio 13 dni w roku). Średnio w ciągu 165 dni w roku występują opady atmosferyczne.

Najbliżej położoną względem dorzecza Skrwy Lewej jest stacja meteorologiczna w Płocku<sup>5</sup>. Charakteryzując tę stację A. Woś (1996) wyróżnił tu, oprócz 3 sezonów występujących na całym obszarze Polski (S–1, S–2 i S–3), 2 dodatkowe sezony klimatyczne: S–4 i S–5 (charakterystyczne dla Niżu Polskiego). Daty początku i końca oraz czas trwania poszczególnych sezonów klimatycznych w Płocku przedstawiono na rycinie 4.

---

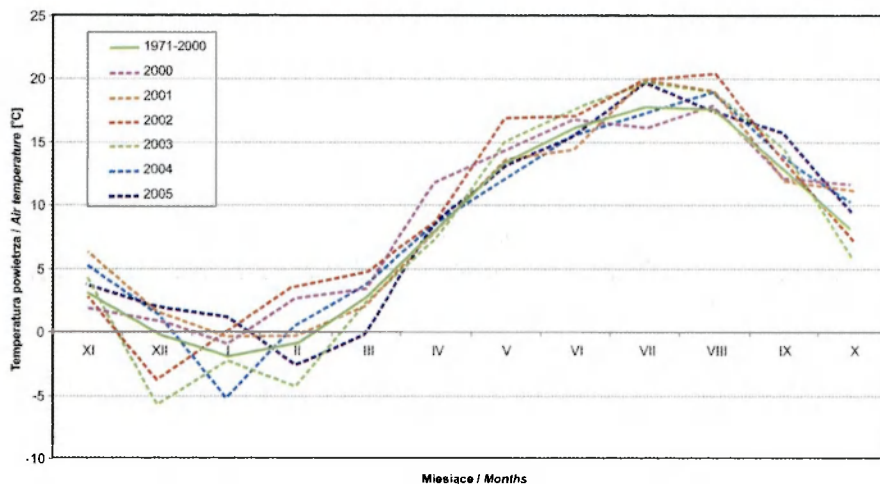
<sup>5</sup> Do grudnia 1976 roku stacja meteorologiczna była umiejscowiona w lewobrzeżnej dzielnicy Płocka – Radziwiu. Od stycznia 1977 roku została ona przeniesiona o ok. 9 km na północ do prawobrzeżnej dzielnicy – Trzepowo. Mimo to ciągi opadów atmosferycznych dla stacji Płock są jednorodne statystycznie (por. rozdz. 3.1)



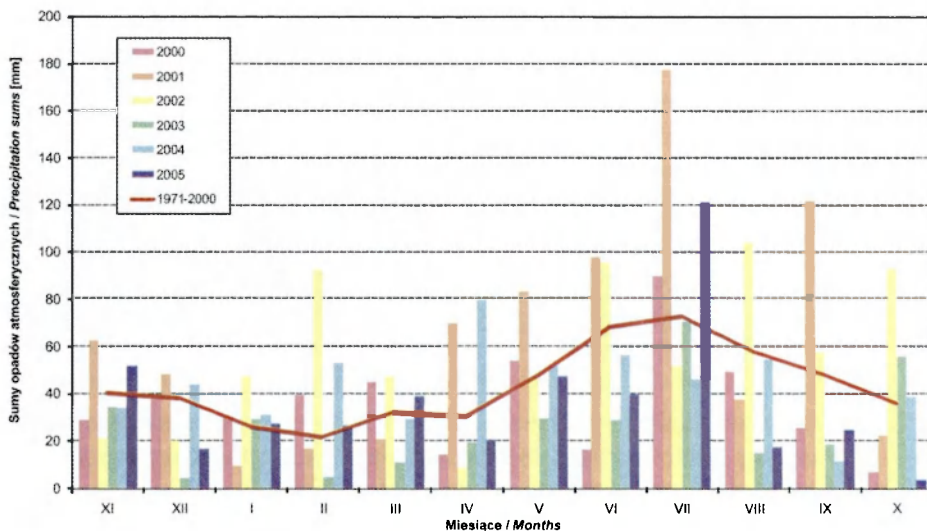
Ryc. 4. Długość trwania sezonów klimatycznych w Płocku (według: Woś 1996)  
The length of climatic seasons in Płock (after Woś 1996)

W sezonie S-1 dominują typy pogody cieplej i z przewagą dni bez opadu. W porównaniu do innych sezonów wyróżnia się on największą częstością występowania dni z pogodą przymrozkową. W sezonie S-2 dominują typy pogody cieplej (90% dni tego sezonu) i z przewagą dni pochmurnych bez opadów. Cechą charakterystyczną tego sezonu jest duża częstość występowania pogody umiarkowanie cieplej (72% wszystkich dni). Dni sezonu S-3 najczęściej cechuje pogoda przymrozkowa, szczególnie bardzo chłodna lub umiarkowanie zimna. Udział dni mroźnych wynosi ok. 32%. 99% dni sezonu S-4 cechują typy pogody cieplej. Na tle pozostałych sezonów, ten wyróżnia się największą częstością występowania dni słonecznych. Ponad połowa dni sezonu S-5 odznacza się pogodą przymrozkową. Na tle innych sezonów – najrzadziej występują w tym sezonie opady atmosferyczne. 15% dni tego sezonu cechuje pogoda mroźna.

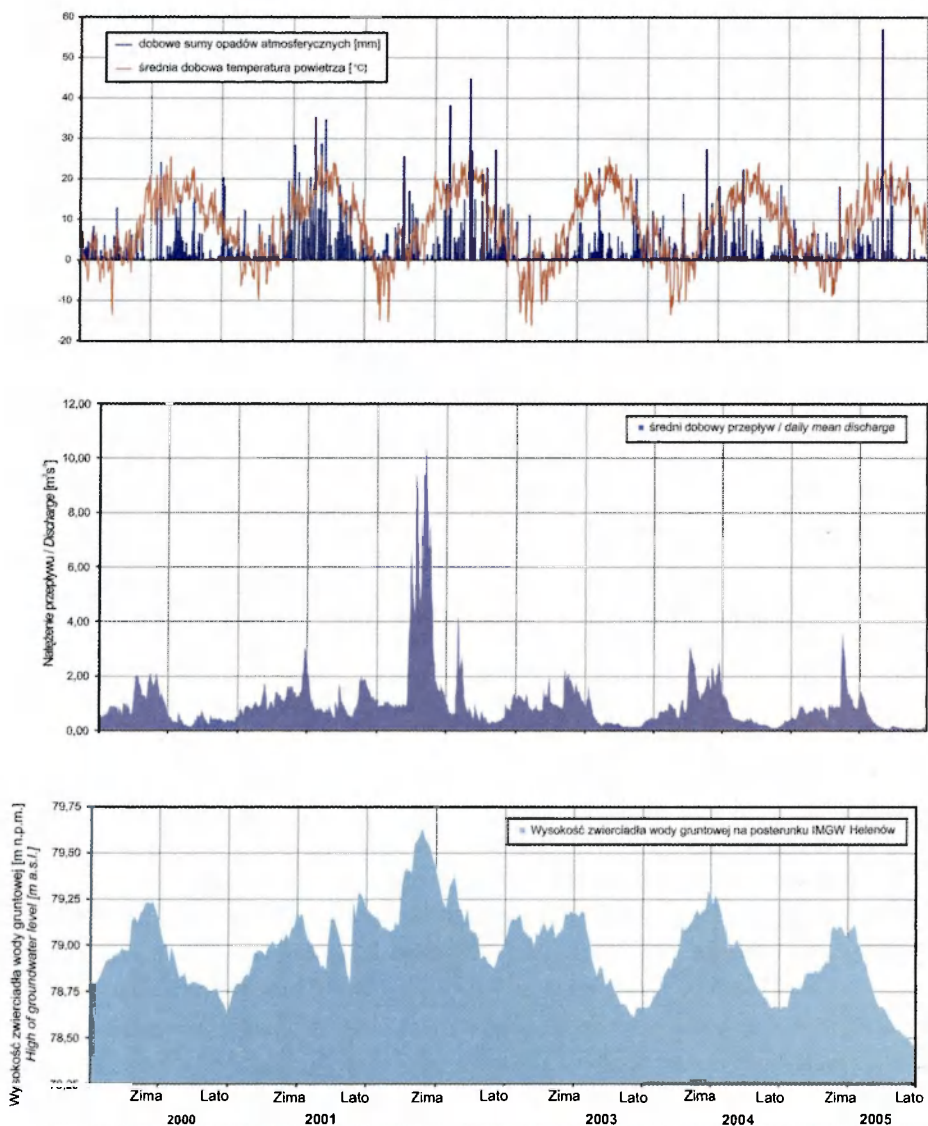
Średnia roczna temperatura powietrza w Płocku z wielolecia 1971–2000 wynosiła 8,0°C. W ciągu roku ujemne wartości średnich miesięcznych temperatur notowane były od grudnia do lutego (ryc. 5), z minimum osiąganym w styczniu (-1,9°C). Najwyższą średnią temperaturą charakteryzuje się lipiec (17,8°C). Występują tu średnio 73 dni z pogodą przymrozkową. Temperatury ujemne są notowane od ok. 10 października i trwają średnio do 5 maja. Przeciętnie występuje w ciągu roku 39 dni z pogodą mroźną (Woś 1999; *Atlas Klimatu Polski* 2005). Okres wegetacyjny trwa średnio 215 dni, rozpoczyna się ok. 1 kwietnia, a kończy ok. 1 listopada (Olszewski 2003). Roczne sumy opadów atmosferycznych wynosiły średnio 520 mm. Ich rozkład w ciągu roku był nierównomierny. W półroczu letnim suma opadów (331 mm) była o 43% wyższa niż w półroczu zimowym (189 mm) (ryc. 6).



Ryc. 5. Średnie miesięczne temperatury powietrza w latach 2000–2005 na tle średnich miesięcznych z wielolecia 1971–2000 na stacji IMGW w Płocku. (Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW)  
 Mean monthly air temperatures in years 2000–2005 against the monthly long-term average from 1971–2000 at the IMGW weather station in Płock



Ryc. 6. Sumy miesięczne opadów atmosferycznych w latach 2000–2005 na tle średnich sum miesięcznych z wielolecia 1971–2000 na stacji IMGW w Płocku. (Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW)  
 Monthly precipitation totals for years 2000–2005 against the mean long-term monthly totals in 1971–2000 at the IMGW weather station in Płock



Ryc. 7. Hydrogram przepływu Skrwy Lewej w Klusku oraz położenie zwierciadła wody gruntowej w Helenowie na tle średniej dobowej temperatury powietrza i dobowej sumy opadów atmosferycznych na stacji IMGW w Płocku

Hydrograph of discharge for the Skrwa Lewa river in Klusek, and the location of the groundwater table in Helenów, against the average daily air temperature and the daily precipitation totals at IMGW weather station in Płock

W czasie prowadzenia badań terenowych (lata 2000–2005) średnie miesięczne temperatury powietrza na stacji w Płocku nieznacznie odbiegały od średnich wieloletnich. Najzimniejsze miesiące (grudzień 2003 r., styczeń 2004 r. i luty 2005 r.) osiągnęły wartość niższą od średniej wieloletniej, natomiast średnie wartości najcieplejszych miesięcy (sierpień 2004 r. i lipiec 2005 r.) były wyższe od średnich w wieloleciu 1971–2000 w Płocku. Cechą charakterystyczną półrocza zimowego jest występowanie 1 lub 2 okresów odwilży. Pociąga to za sobą konsekwencje hydrologiczne: formują się fale wezbraniowe i odtworzone zostają zasoby wód podziemnych (por. sytuację w półroczach zimowych roku: 2002, 2000 i 2004 na ryc. 7).

W latach 2000–2005 dużo wyraźniejsze różnice w porównaniu do średnich były w przebiegu miesięcznych sum opadów atmosferycznych. Jedynie w styczniu i maju sumy miesięczne opadów w Płocku były zbliżone do średnich w wieloleciu 1971–2000. Maksymalna suma opadu zanotowana w Płocku wyniosła 178 mm (w lipcu 2001 r.), natomiast minimalna – zaledwie 4 mm (w grudniu 2003 r. i październiku 2005 r.).

Szczegółowa analiza opadów atmosferycznych w dorzeczu zostanie przedstawiona w rozdziale 3.2.

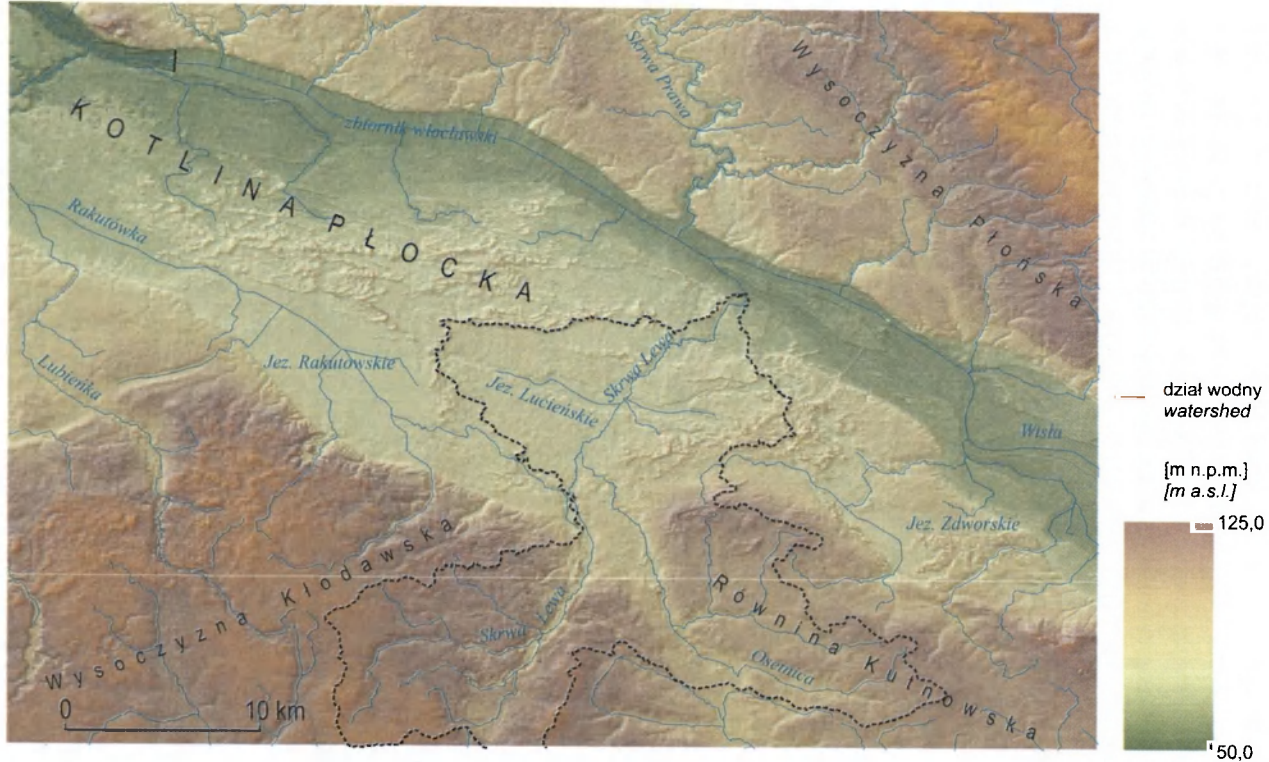
### 2.1.2. RZEŻBA TERENU I BUDOWA GEOLOGICZNA

Niemal cała powierzchnia dorzecza (ok. 80%) znajduje się na bezpośrednim zapleczu maksymalnego zasięgu *vistulianu*. Jego granica przebiega w południowej części badanego obszaru, od wsi Antoniewo na zachodzie, poprzez Sokołów, Osiny, Techmany, Leśniewice, Osowię i Szczawin na wschodzie. Dotychczas nie jest rozstrzygnięta kwestia, czy lądolód osiągnął tu swoją maksymalną pozycję podczas fazy poznańskiej, czy leszczyńskiej (Roman 2003).

Dorzecze Skrwy Lewej ma wyraźnie dwudzielny charakter (ryc. 8). Południowa część jest położona w strefie wysoczyznowej (Wysoczyzna Kłódawska i Równina Kutnowska). Dominującym elementem rzeźby terenu są tu: wysoczyzna morenowa płaska i falista, porozcinana szeregiem sandrów dolinnych, z których największym jest sandr Skrwy. Północna część wysoczyzny jest urozmaicona bardzo dużą ilością obniżeń wytopiskowych. Granica pomiędzy wysoczyzną a pradoliną Wisły jest wyraźnie zarysowana stokiem o wysokości 10–15 m.

Istotną rolę w procesie odprowadzania wody w strefie wysoczyznowej odgrywają rynny subglacjalne, które wykorzystują Skrwa Lewa i Osetnica. Głęboko wcięte rynny wyraźnie zaznaczają się na mapie lokalnych spadków terenu (ryc. 9). Nachylenie zboczy rynny Skrwy przekracza 20°. Najwyższe wartości deniwelacji terenu notuje się właśnie w rejonie rynny gostynińskiej, której towarzyszy długi na ok. 8 km oz, osiągający w swojej kulminacji wysokość 30–32 m względem dna rynny (Wadas 1962).

Mimo iż Skrwa Lewa jest największą rzeką wschodniej części Kotliny Płockiej, to jednak nie wytworzyła ona tu wyraźnej formy dolinnej (ryc. 9). Jedynie kilkukilometrowy ujściowy odcinek doliny Skrwy Lewej, na którym rzeka roz-



Ryc. 8. Mapa hipsometryczna dorzecza Skrwy Lewej. (Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych CODGiK)  
Hypsometric map of the Skrwę Lewą river basin

cina poziomy pradolinne Wisły, ma wyraźnie wykształconą (wciętą na ok. 10 m) formę. Jej przebieg podkreśla dodatkowo towarzyszące dolinie pole wydmore opisane przez U. Urbaniak (1967b). Ten obszar należy do najbardziej malowniczych terenów Gostyńskińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego.

Północna część dorzecza, położona w Kotlinie Płockiej, ma bardziej jednolity krajobraz. Na rzeźbę terenu składają się tu poziomy rzeczno-lodowcowe, określane przez wielu badaczy jako niższy poziom zasypania lodowcowego (Domosławska-Baraniecka, Mojski 1960; Mojski 1960; Urbaniak 1962, 1967a; Skompski 1969, 1970; Wiśniewski 1976; Roman 2003). Granice morfologiczne pomiędzy poszczególnymi poziomami są niewyraźne. Rzeźba terenu w tej części dorzecza jest urozmaicona dużą ilością wydym (Urbaniak 1967b). Ich wierzchołkami przebiega topograficzny dział wodny dorzecza. Innym elementem urozmaicającym rzeźbę terenu pradoliny są rynny polodowcowe o przebiegu równoleżnikowym, z jeziorami: Lucieńskim i Białym. Dna rynien to z reguły równiny torfowe, położone o kilka metrów niżej w stosunku do piaszczystych poziomów pradolinnych (Borówko-Dłużakowa 1961).

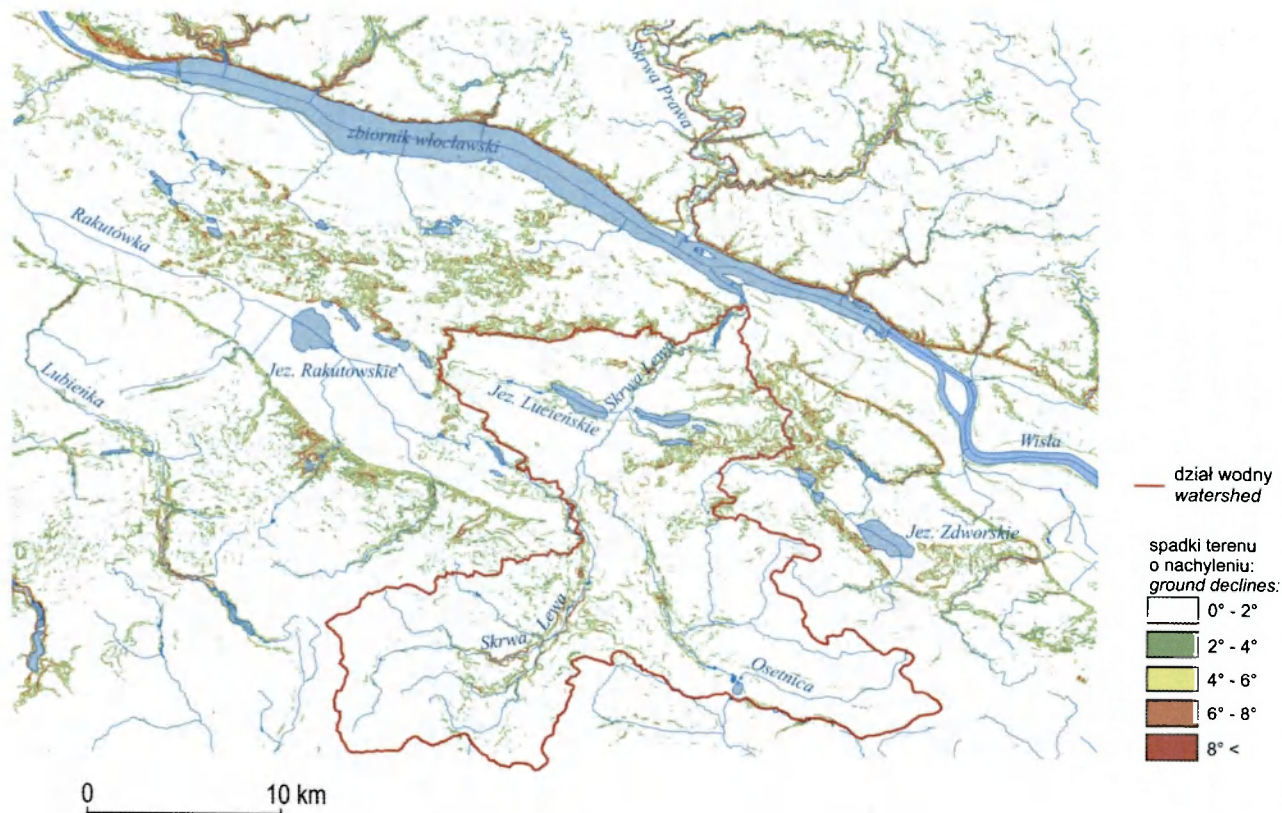
Najwyżej położone w dorzeczu Skrwy Lewej punkty terenu osiągają wysokość 136,5 m n.p.m. w Witoldowie oraz 135,1 m n.p.m. w Sierakowie. Najniżej, na wysokości 56,9 m n.p.m., znajduje się ujście Skrwy Lewej do Wisły. Deniwelacja bezwzględna powierzchni całego terenu wynosi zatem prawie 80 metrów. Lokalne różnice wysokości dochodzą do 15 m w strefie krawędziowej pradoliny Wisły.

W granicach dorzecza pokrywa osadów czwartorzędowych wykazuje duże zróżnicowanie miąższości, w przedziale od ok. 10 do 104 m (w Łanietach). Przeciętna grubość czwartorzędowej pokrywy osadów na większości terenu badań wynosi 35–50 m (Roman 2003).

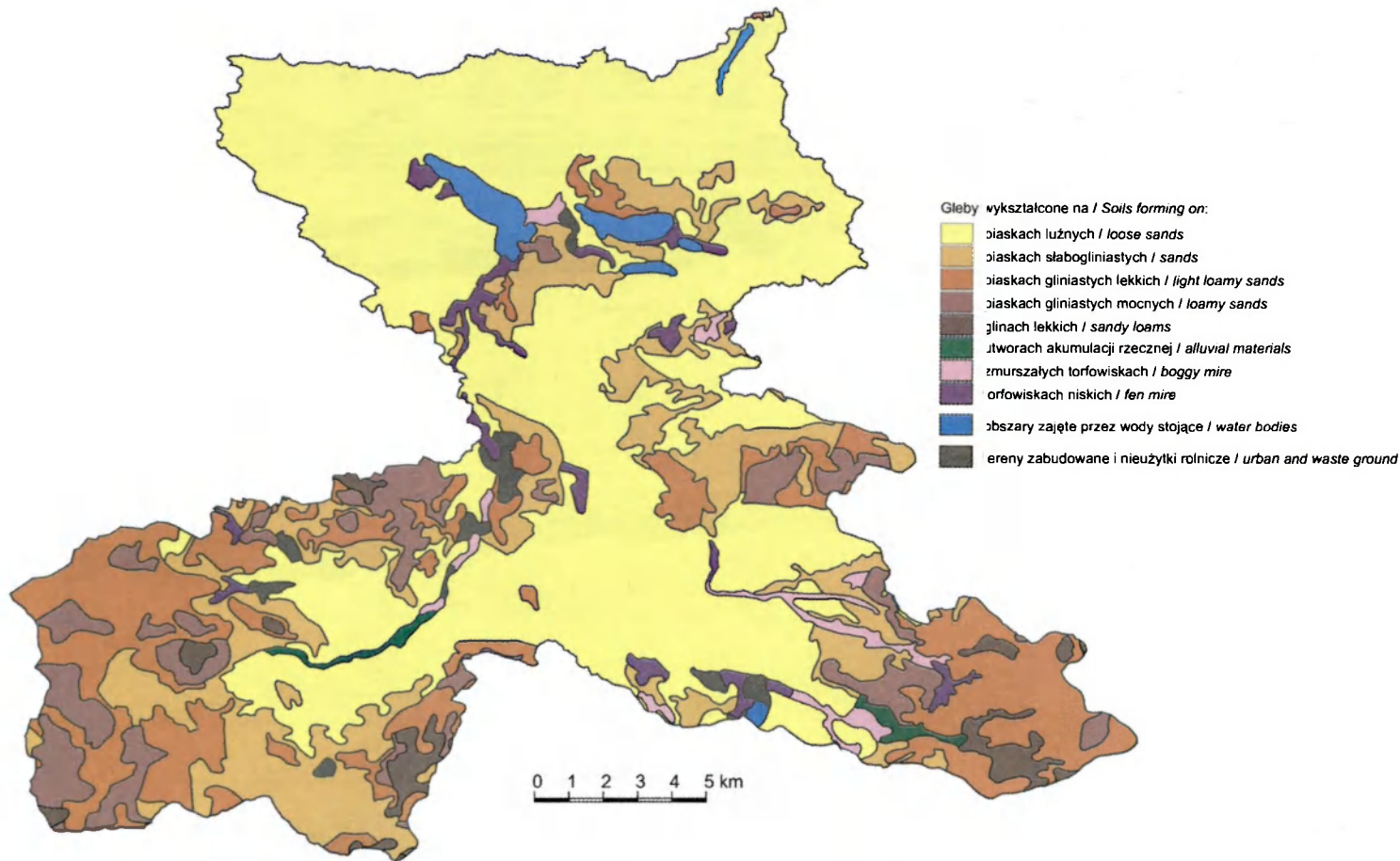
Przestrzenne zróżnicowanie litologii utworów powierzchniowych zostało przedstawione na rycinie 10. Trudno przepuszczalne utwory gliniaste zajmują SW i SE części dorzecza. Ich udział w ogólnej powierzchni części wysoczyznowej wynosi prawie 50%. W Kotlinie Płockiej utwory trudno przepuszczalne są położone na N od jeziora Białego oraz na E od jeziora Lucieńskiego. Rozmieszczenie gleb wytworzonych na utworach akumulacji rzecznej (mady) i torfowiskach ogranicza się do dolin rzecznych i otoczenia jezior. Dorzecze w  $\frac{2}{3}$  powierzchni pokrywają piaski luźne. W części wysoczyznowej dorzecza pokrywają się z występującymi tu sandrami, natomiast w pradolinie odpowiadają obszarom zajętych przez pola wydmore.

Również budowa geologiczna dorzecza Skrwy Lewej charakteryzuje się dwudzielnością. Na wysoczyźnie utwory czwartorzędowe są reprezentowane przez kilka poziomów glin, miejscami rozdzielonych piaskami i mułkami fluwioglacjalnymi (ryc. 11A i 11B). Z kolei w pradolinie Wisły, w efekcie czwartorzędowych procesów geomorfologicznych, powstały miąższe serie dobrze przepuszczalnych osadów piaszczystych, sporadycznie rozdzielonych glinami (ryc. 11A, przekrój C–D i ryc. 11B, przekroje: G–H, K–L).

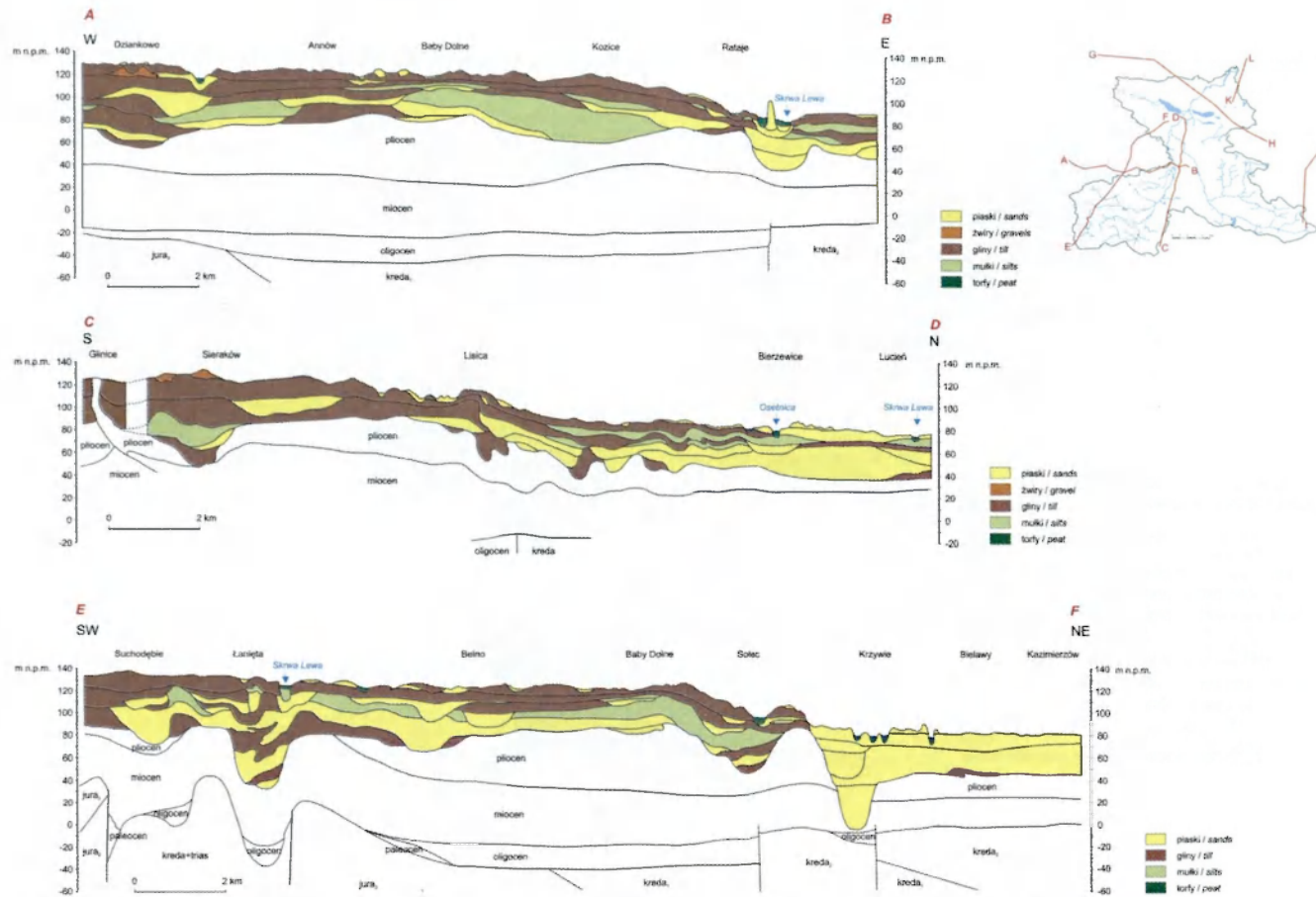




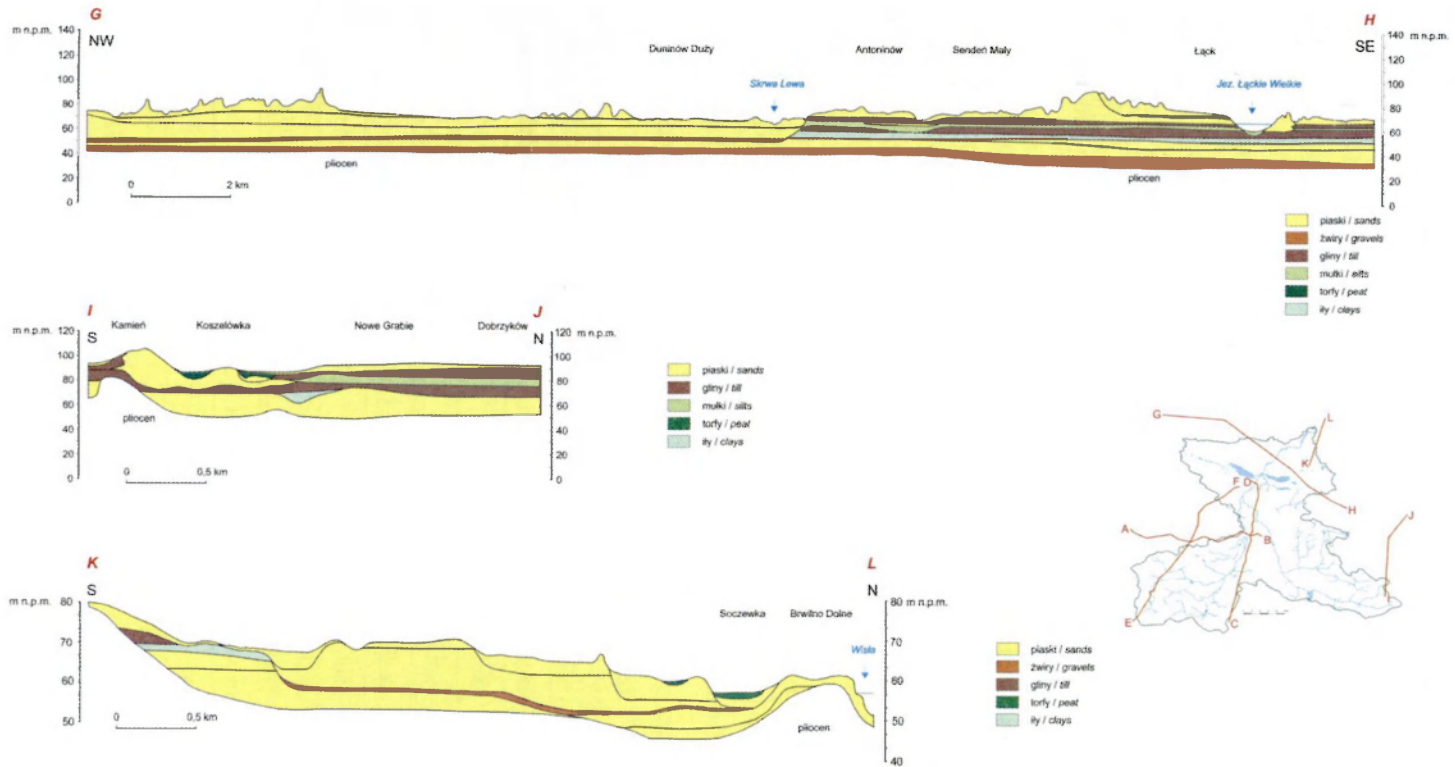
Ryc. 9. Lokalne spadki terenu w dorzeczu Skrwy Lewej. (Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych CODGiK).  
Local slopes within the Skrwia Lewa river basin.



Ryc. 10. Zróżnicowanie przestrzenne utworów powierzchniowych w dorzeczu Skrzy Lewej. (na podstawie: Województwo płockie, Mapa glebowo-rolnicza, 1989, 1:100 000)  
 Spatial differentiation of surface deposits in the Skrzy Lewa river basin.



Ryc. 11A. Budowa geologiczna obszaru badań w wybranych przekrojach (według: Roman 2003, uproszczone)  
Geological cross-sections through selected parts of the studied area (after Roman 2003, simplistic)



Ryc. 11B. Budowa geologiczna obszaru badań w wybranych przekrojach (według: Skompski 1969, uproszczone)  
 Geological cross-sections through selected parts of the studied area (after Skompski 1969, simplistic)

Niemal na całym obszarze dorzecza utwory czwartorzędowe zalegają na utworach plioceńskich, reprezentowanych przez ily. Jedynie w kilku miejscach, np. u podstawy krawędzi wysoczyzny (ryc. 11A, przekrój E–F), utwory piaszczyste czwartorzędu mają kontakt z piaszczystymi osadami mioceńskimi. Ma to bardzo istotne znaczenie dla hydrogeologii tego obszaru. Szerzej to zagadnienie zostanie omówione w rozdziale 3.3.

### 2.1.3. SYSTEM HYDROGRAFICZNY DORZECZA

W badaniach hydrologicznych nie zawsze dostrzegana jest konieczność wiązania statystycznej analizy ciągów liczbowych z analizą środowiska geograficznego (przyrodniczego). Potrzebne do tego jest określenie jednostki terytorialnej, w obrębie której szereg procesów jest ze sobą powiązanych i wzajemnie uwarunkowanych (Pociask-Karteczka 2003, s. 9). Taką jednostką o naturalnym charakterze granic jest zlewnia, lub w większej skali – dorzecze.

Topograficzny dział wodny dorzecza Skrwy Lewej wyznaczony został na mapie w skali 1:25 000. W zasadzie nie było wątpliwości co do jego przebiegu w części wysoczyznowej. Przebiega on lokalnymi kulminacjami terenu. Trudność nastęczyło poprowadzenie wododziału w Gostyninie, w rejonie jeziora Czarne i jeziora Kocioł. W tym miejscu dział wodny zbliża się do koryta Skrwy Lewej na odległość zaledwie 150–200 metrów. Ostatecznie oba jeziora znalazły się poza analizowanym dorzeczem (por. Bartczak 2003b, 2007b). W obszarze pradoliny Wisły topograficzny dział wodny biegnie kulminacjami wydm.

Tabela 3. Obszary pseudobifurkacji pomiędzy dorzeczem Skrwy Lewej i terenami sąsiadujących zlewni

L.p.	Zlewnia cząstkowa	Lokalizacja	Sąsiednia zlewnia
1	VIII	okolice wsi Choinek	Rakutówki – dorzecze Zgłowiączki
2	II	okolice wsi Babska Huta	Rakutówki – dorzecze Zgłowiączki
3	II	okolice wsi Wola Olszowa	Lubieńki – dorzecze Bzury
4	I	okolice wsi Witoldów	Lubieńki – dorzecze Bzury
5	I	okolice wsi Siemianów	Głogowianki – dorzecze Bzury
6	VI	okolice wsi Leśniewice	Przysowy – dorzecze Bzury
7	IX	okolice wsi Szczawin Borowy Wieś	Przysowy – dorzecze Bzury
8	XI	okolice wsi Annapol	jeziora Zdwojskiego
9	XI	okolice wsi Antoninów	jeziora Zdwojskiego
10	XI	okolice wsi Korzeń Królewski	jeziora Zdwojskiego
11	XX	okolice wsi Ludwików	jezior Łąckich

Kształt dorzecza Skrwy Lewej wykazuje cechę symetryczności wzdłuż osi S–N, która jest również głównym kierunkiem odprowadzania wody z tego obszaru. Rozwinięty system hydrograficzny w części wysoczyznowej dorzecza ulega stopniowej koncentracji w głęboko wciętych rynnach subglacialnych wykorzystywanych obecnie przez Skrwę Lewą i Osetnicę. Efektem tego jest zwężenie dorzecza w strefie krawędziowej wysoczyzny do zaledwie 7,5 km szerokości. W rejonie tym położone jest jedyne na analizowanym obszarze miasto – Gostynin. W Kotlinie Płockiej dorzecze Skrwy Lewej ponownie rozrasta się w rejonie rynny glacialnej jezior Lucieńskiego i Białego, która ma przebieg prostopadły do osi S–N.

W sieci rzecznej dorzecza Skrwy Lewej mamy do czynienia z 11 przypadkami pseudobifurkacji (ryc. 12), tj. sytuacji gdy woda w korycie na pewnym odcinku stagnuje, a nieco dalej odpływa w przeciwnych kierunkach (Pociask-Karteczka 2003). Takie przypadki mają miejsce na obszarach o gęstej sieci rowów melioracyjnych, łączących sąsiadujące zlewnie. W tabeli 3 przedstawiono obszary pseudobifurkacji pomiędzy dorzeczem Skrwy Lewej i terenami sąsiednich zlewni. Wizje lokalne przeprowadzone podczas badań terenowych, tylko kilka razy potwierdziły obecność minimalnej ilości wody w korytach tych cieków.

W jednym przypadku mamy do czynienia z bramą w dziale wodnym. Znajduje się ona w miejscu, w którym z jeziora Szczawińskiego uchodzi w kierunku południowym ciek odprowadzający wodę do zlewni Przysowy (dopływ Słudwi). Jak wynika z wizji lokalnej, ciek ten jest sztucznym przekopem i w ciągu ostatnich 6 lat nie odprowadzał wody z jeziora.

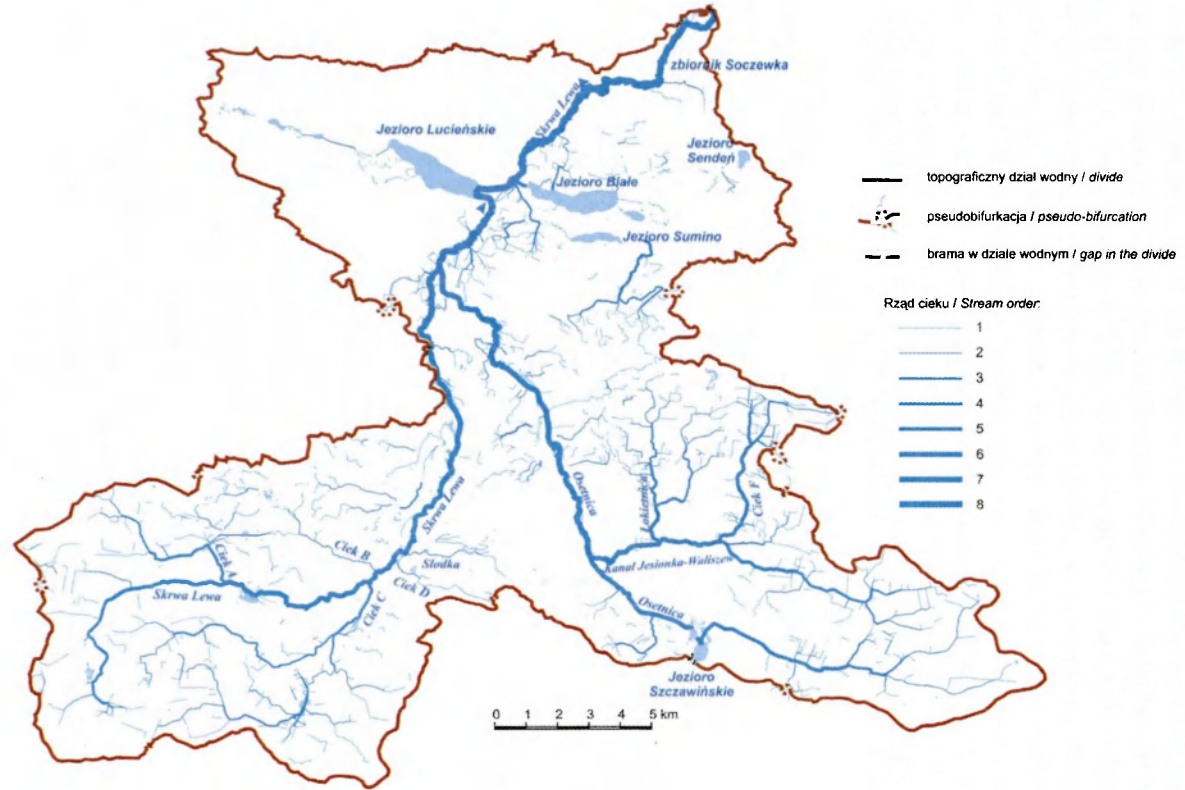
W następnej kolejności dokonano hierarchizacji sieci odwadniającej przy wykorzystaniu zmodyfikowanej metody Hortona-Strahlera (Drwal 1995). System hydrograficzny dorzecza Skrwy Lewej reprezentuje model wynikający z zależności przypadkowych – zdecydowana większość cieków nie spełnia zasady cykliczności i jest typem „cieków dzikich”. W całym systemie wyróżniono 985 odcinków (od 1 do 8 rzędu). Analiza sieci cieków wykazała, że wiele odcinków rzek 1 i 2 rzędu nie dopływało do recipientów wyższego rzędu (ryc. 12). Wynika stąd prosty wniosek, że w większości są to cieki okresowe, funkcjonujące jedynie w wilgotnych okresach roku. W dalszej kolejności sprawdzono, czy sieć rzeczna ma cechy sieci strukturalnej, tzn. czy podlega prawom Hortona. Stwierdzono następujące wartości wskaźników Hortona:

- wskaźnik bifurkacji  $R_b = 2,6$
- wskaźnik długości cieków  $R_l = 3,4$
- wskaźnik średniej powierzchni  $R_a = 5,2$

Jak podają B. Nowicka i R.L. Brass (za Gutry-Korycka i in. 2003) w zlewniach naturalnych wskaźnik  $R_b$  waha się od 3 do 5, a  $R_l$  od 1,2 do 3,5. Wartości wskaźników Hortona uzyskane dla dorzecza Skrwy Lewej wskazują na „wkład człowieka” w przekształcenie systemu rzeczego.

Ryc. 12. Hierarchizacja sieci cieków w dorzeczu Skrzy Lewej (wg zmodyfikowanej metody Hortona-Strahlera). (Źródło: opracowanie własne)

The drainage network hierarchy within the Skrzy Lewa river basin (by the modified Horton-Strahler method)



Dwoma głównymi rzekami dorzecza są Skrwa Lewa i Osetnica. Łączą się one ze sobą kilka kilometrów po opuszczeniu wysoczyzny, w miejscowości Kazimierzów. Obie w tym miejscu są ciekami 7 rzędu, a powierzchnie ich zlewni są identyczne i wynoszą 137 km<sup>2</sup>.

Analiza systemu rzecznej dorzecza Skrzy Lewej prowadzi do stwierdzenia asymetrii pomiędzy częścią północną i południową. W części pradolinnej dorzecza – Skrwa Lewa i Osetnica przyjmują jedynie 34 dopływy, niemal wyłącznie 1 i 2 rzędu, podczas gdy w części wysoczyznowej – jest ich dwa razy więcej. Tu też znajdują się jedyne stałe dopływy (ryc. 12):

- a) dopływy lewobrzeżne Skrzy Lewej:
  - dopływ spod Niecek i Nowego Zaborowa (ciek A)
  - dopływ spod Huty Zaborowskiej (ciek B)
- b) dopływy prawobrzeżne Skrzy Lewej:
  - dopływ spod Jastrzębi i Jukowa (ciek C)
  - dopływ spod Lisicy (ciek D)
  - rzeka Słodka
  - dopływ uchodzący w Ziejce (ciek E).

Sieć rzeczna w zlewni Osetnicy jest bardziej rozbudowana niż zlewni Skrzy Lewej. Uchodzi do niej jeden duży dopływ – Kanał Jesionka-Waliszew z Łokietnicą (zlewnia XII) i dopływem spod Korzenia (ciek F). Powierzchnia zlewni Kanału Jesionka-Waliszew (zlewnie XI, XII, XIII) jest nieznacznie większa od zlewni Osetnicy w profilu Mniszek (zlewnie IX, X).

Drugim ważnym elementem systemu hydrograficznego są jeziora. W dorzeczu Skrzy Lewej znajduje się 557 różnej wielkości zbiorników wodnych, zarówno naturalnych, jak i sztucznych. Jeziora w większości są zlokalizowane na obszarach wysoczyznowych (ponad 300), jednak ich parametry są bardzo małe – średnia powierzchnia wynosi ok. 0,45 ha (patrz tab. 2). Są to najczęściej małe oczka wodne, powstałe w obszarach wytopiskowych (ryc. 12).

Znacznie większe jeziora znajdują się w Kotlinie Płockiej i tworzą unikalny w Europie zespół jezior dolinnych o nazwie Pojezierza Gostynińskiego. Do największych zaliczyć można jeziora: Lucieńskie i Białe. Ich łączna pojemność wynosi ok. 40 mln m<sup>3</sup> wody (tab. 4). Należy podkreślić, iż jedynie jeziora: Lucieńskie i Szczawińskie uczestniczą w powierzchniowej wymianie wody z systemem rzeczny Skrzy Lewej i Osetnicy. Pozostałe jeziora (w tym jezioro Białe), jest tylko okresowo włączane do powierzchniowego systemu hydrograficznego dorzecza. Współczynnik jeziorności dorzecza Skrzy Lewej wynosi 1,67 %.



Tabela 4. Większe jeziora leżące w obrębie dorzecza Skrwy Lewej  
(wg *Atlas jezior Polski* 1997)

Nazwa jeziora	Powierzchnia [ha]	Pojemność [tys. m <sup>3</sup> ]	Maksymalna głębokość [m]	Średnia głębokość [m]	Powierzchnia zlewni [km <sup>2</sup> ]
Lucieńskie	196,6	21 429	34,5	10,9	322
Białe	148,0	14 948	31,5	10,1	8
Sumino	34,6	1 246	7,8	3,6	4
Sendeń <sup>1</sup>	14,2	400	4,4	2,8	2
Drzesno	16,5	214	2,5	1,3	3
Lubaty <sup>1</sup>	7,4	123	2,4	1,3	4
Szczawińskie <sup>2</sup>	33,0	264	1,5	0,8	32
Łącznie	450,3	38 624			

<sup>1</sup>wg Jaczynowski 1929; <sup>2</sup>wg Wicik, Więckowski 1988

## 2.2. UWARUNKOWANIA ANTROPOGENICZNE

### 2.2.1. UŻYTKOWANIE TERENU

Jak stwierdza M. Gutry-Korycka (1993) odpływ wody ze zlewni jest ściśle związany ze sposobem użytkowania gruntów i rodzajem zasiedlającej roślinności. Zmiany w użytkowaniu gruntów i intensyfikacja produkcji rolniczej w zlewni prowadzą bowiem do zmiany proporcji między odpływem powierzchniowym i podziemnym. Zmienia się transpiracja i infiltracja wody opadowej, a zatem możliwości retencyjne zlewni.

Wyniki badań palinologicznych (z osadów jeziora Gościąg) i archeologicznych wskazują na liczne i „intensywne” skupiska osadnicze różnych kultur pradziejowych w Kotlinie Płockiej, zwłaszcza w otoczeniu jezior: Lucieńskiego i Białego (Ralska-Jasiewiczowa, van Geel 1998; Pelisiak, Rybicka 2008). Tak więc już w mezolicie i neolicie obszary te były na tyle przekształcane przez człowieka, że znalazło to swoje odbicie w osadach dennych jeziora Gościąg, w postaci kilku wyraźnych faz wpływu człowieka na roślinność.

Pierwsze, historycznie potwierdzone, informacje o zagospodarowaniu terenów leżących w granicach dorzecza dotyczą lokacji miast i wsi. Informują one pośrednio o zmianie w zagospodarowaniu terenu – z leśnego na rolniczy. Zmiany powierzchni lasów w układach czasowo-przestrzennych są utożsamiane z natężeniem antropopresji (por. Degórska 1996; Soja 2002).

Do XIV wieku niemal całą powierzchnię dorzecza zajmowały lasy Puszczy Gostyńskiej (Chudzyński 1990). Dopiero lokacja w 1382 r. miasta Gostynina, stworzyła korzystne warunki do dalszego rozwoju osadnictwa na tych terenach. H. Maruszczak (1988) i J. Plit (1996) wskazują na okres od XIV w. do połowy XVI w., jako na okres najintensywniejszych przekształceń środowiska natural-

nego. Brak materiałów kartograficznych (niewielka powierzchnia dorzecza) nie pozwala na bardziej precyzyjne prześledzenie tego zagadnienia. Jedyne opisy lustracji królewskich (Kędzierska 1959; Brykała 2006) i dóbr kościelnych, pozwalają na oszacowanie zasięgu gospodarowania człowieka. Należy przyjąć, że tak jak na innych obszarach Polski, do połowy XVI w. nastąpiło szybkie zwiększenie areалу pól uprawnych kosztem powierzchni zalesionych. Dotyczy to południowej części dorzecza (zlewnie: I, II, IX i XI) oraz strefy bezpośredniego oddziaływania miasta Gostynina (pogranicze zlewni: VII i XV). Na pozostałym obszarze dorzecza oddziaływanie człowieka na środowisko naturalne było nieznaczne i punktowe (okolice jezior: Białego i Lucieńskiego – zlewnie: XVII i XVIII; ujście Skrwy Lewej do Wisły – zlewnia XXIII).

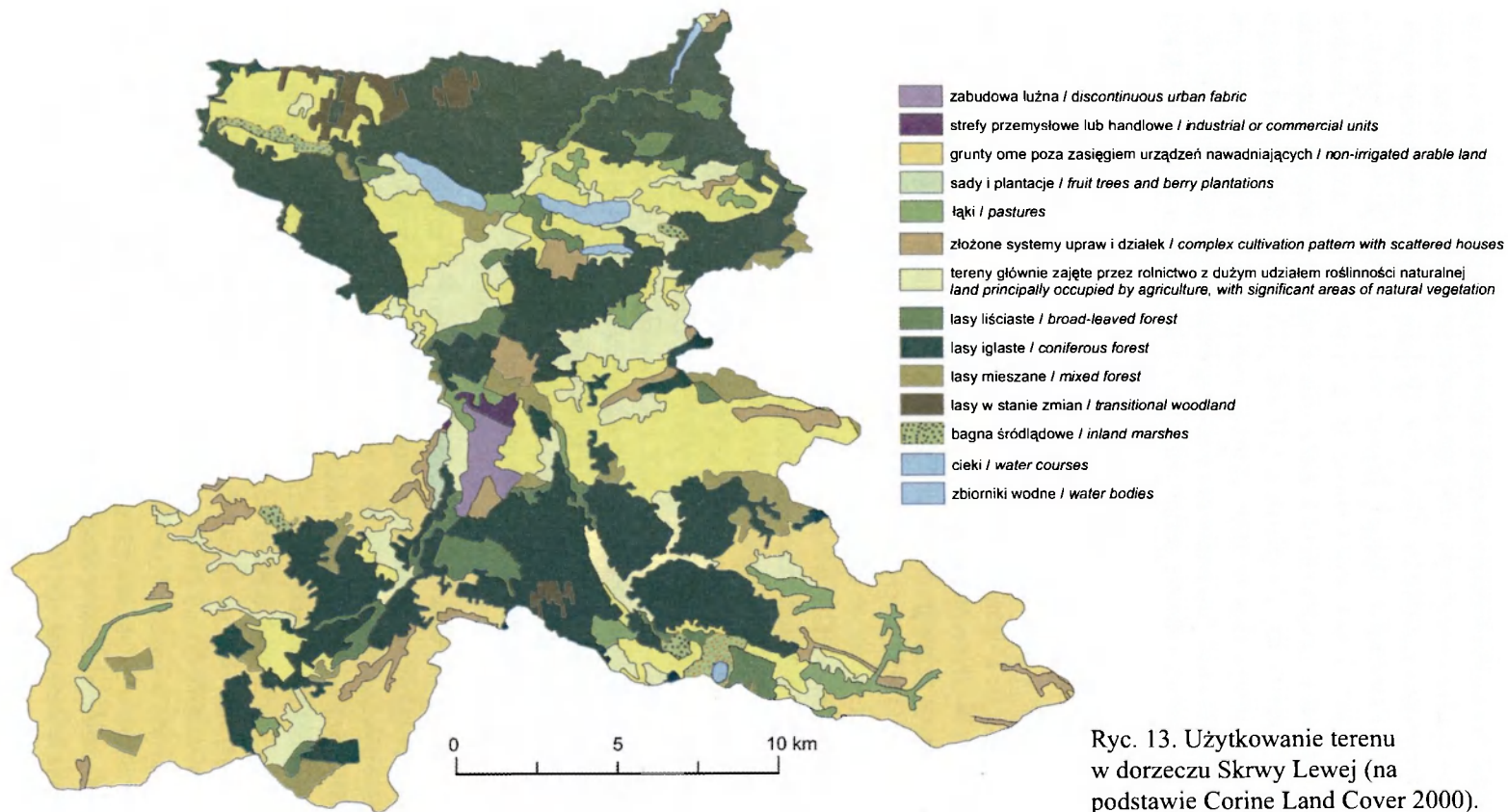
Ze względu na dokładność materiałów kartograficznych, przestrzenna analiza zmian w użytkowaniu terenu dorzecza była możliwa dla ostatnich 200 lat. Szczegółowo omówiły to w swoich pracach B. Degórska (1996) i J. Plit (1996).

Jak twierdzi B. Degórska (1996), jeszcze w drugiej połowie XVIII wieku analizowany obszar cechował się małym przekształceniem środowiska przyrodniczego przez działalność człowieka (w porównaniu do sąsiednich Kujaw). Również J. Plit (1996) zaliczyła te tereny do obszarów o krajobrazach roślinnych przekształconych w małym stopniu.

Obie autorki wyróżniły w zasadzie jeden okres wzmożonej deforestacji na tym terenie. W zachodniej części dorzecza przypada on na lata 1830–1890, a więc okres rewolucji przemysłowej. W tym czasie wylesione zostały obszary: na W od jeziora Lucieńskiego (zlewnia XVII), okolice Kazimierzowa (zlewnia XVI), okolice na N od Ziejki (zlewnia VIII), oraz okolice wsi Strzałki (zlewnia VII). Nieco później – na przełomie XIX i XX wieku, miały miejsce największe zmiany krajobrazów roślinnych we wschodniej części dorzecza (zlewnia XX). W tym czasie prowadzono rabunkową gospodarkę leśną, a zagospodarowaniu rolniczemu podlegały nawet bardzo ubogie siedliska wydymowe. Obszar dorzecza Skrwy Lewej J. Plit (1996) zaliczyła do obszarów o średniej stabilności krajobrazów roślinnych.

W XX wieku nie obserwowano znacznych różnic w użytkowaniu terenu. Częściowemu zalesieniu poddane zostały niewielkie obszary położone w zlewni XXIII oraz powiększyła się na południe i północ strefa obszarów zurbanizowanych i industrialnych związanych z rozwojem miasta Gostynina.

Cechą charakterystyczną dorzecza Skrwy Lewej jest znaczny, w porównaniu do sąsiadujących zlewni, odsetek udziału lasu w całkowitej powierzchni dorzecza. Zajmują one 38% powierzchni. W części położonej w Kotlinie Płockiej odsetek ten stanowi ponad połowę udziału w tej części dorzecza (55%). Są to w przeważającej większości bory sosnowe (na ubogich glebach piaszczystych) oraz lasy mieszane z dominacją sosny, dębu, świerku i buka (Przystalski, Załuski 1997). Ich rozmieszczenie w dorzeczu nie jest równomierne (ryc. 13). Największe skupiska leśne występują w północnej i północno-zachodniej części dorzecza



Ryc. 13. Użytkowanie terenu w dorzeczu Skrwy Lewej (na podstawie Corine Land Cover 2000).  
Land use within the Skrw Lewa river basin

(teren Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego i jego otuliny) oraz na południe od Gostynina, w szerokim pasie od wsi Zaborów do jeziora Szczawińskiego (zlewnie III, V, VI, XIV, XIII i X).

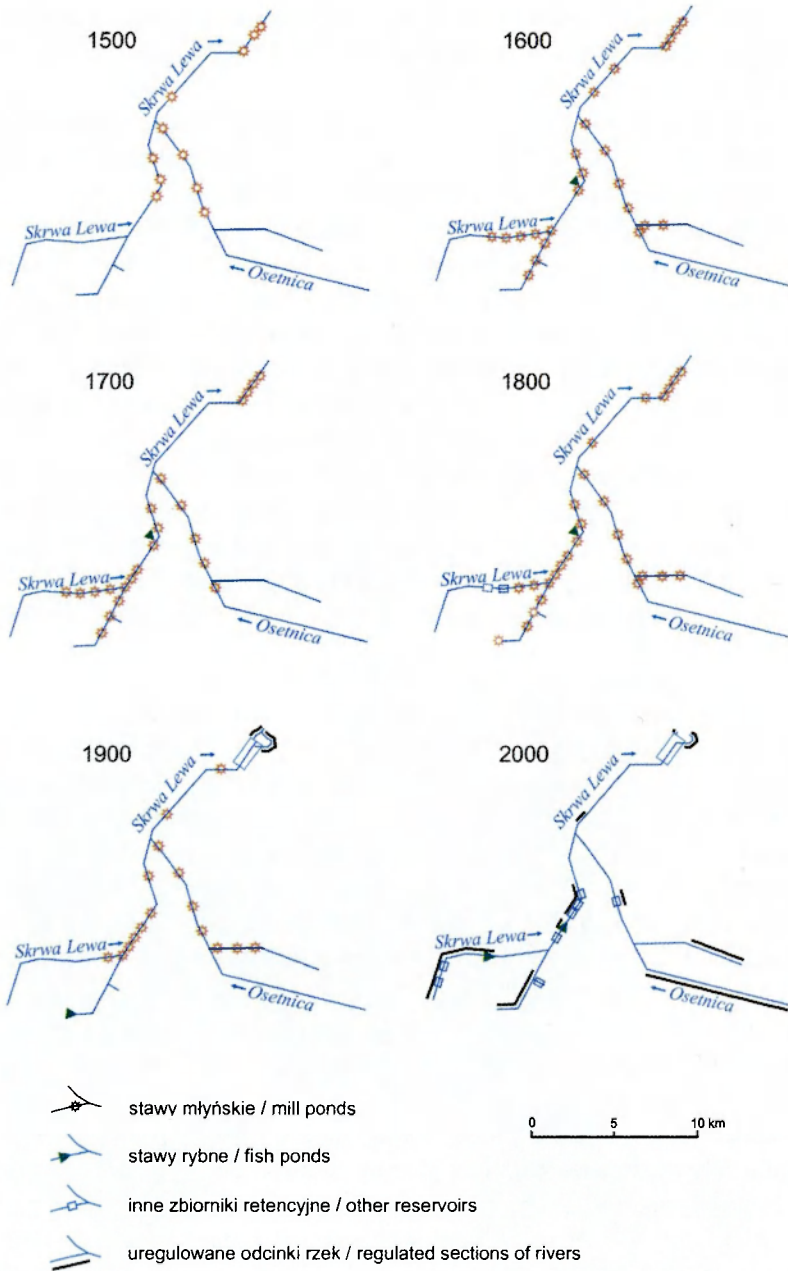
Użytki rolne zajmują 54% powierzchni dorzecza, w tym prawie 80% to grunty orne. Dominują tu gleby bielcowe i brunatne. Największe kompleksy pól uprawnych obejmują południowo-zachodnią (zlewnie: I, II, IV i VII) i południowo-wschodnią (zlewnie: IX i XI) część dorzecza. Z kolei użytki zielone (łąki i pastwiska) stanowią zaledwie 3% omawianego terenu i występują w wąskich pasach terenu wzdłuż rzek. Na terenie dorzecza zlokalizowane jest jedno miasto – Gostynin (20 tys. mieszkańców). Choć obszar zurbanizowany stanowi tylko 1% powierzchni dorzecza – usytuowanie miasta w jego newralgicznej – centralnej części, nad dwiema głównymi rzekami Skrwą Lewą i Osetnicą, wskazuje na potencjalnie duże konsekwencje dla hydrologii dorzecza.

Dzięki wykorzystaniu bazy danych *Corine Land Cover* dokonano analizy zmian pokrycia terenu pomiędzy 1990 a 2000 rokiem. Zmiany przekraczające powierzchnię 5 ha dotyczyły tylko 2,5 km<sup>2</sup> powierzchni dorzecza (0,5% całości). Przyjęto zatem, że w okresie w którym prowadzono badania terenowe, zmiany użytkowania terenu były nieistotne i nie miały wpływu na uzyskane wyniki.

### 2.2.2. REGULACJE KORYT RZECZNYCH

Aż do średniowiecza działalność człowieka na ziemiach polskich w niewielkim stopniu wpływała na zmiany sieci hydrograficznej oraz warunki odpływu rzeczny. Znaczne podniesienie poziomu technik rolniczych, jakie miało miejsce w średniowieczu, doprowadziło do zwiększenia arealu pól uprawnych kosztem powierzchni zalesionych. Wraz ze wzrostem plonów zbóż, poszukiwano nowych sposobów ich przemiału. Na przełomie XI i XII wieku pojawiły się na ziemiach polskich młyny wykorzystujące w tym celu energię rzek (Trawkowski 1959; Dembińska 1973; Baranowski 1977; Podgórski 2004). Ich urządzenia piętrzące były pierwszymi budowlami hydrotechnicznymi. Początkowo były to zakłady napędzane jednym kołem wodnym, używanym do poruszania kamieni mielących zboże. Od XVI w. urządzenia młyńskie poruszało już kilka kół, a obok młynów zbożowych zaczęły pojawiać się również folusze, kaszarnie, olejarnie, garbarnie oraz tartaki, które w niniejszej pracy występują pod wspólną nazwą młynów. Do początku XX wieku stanowiły one główny element zagospodarowania małych rzek. Spełniały nie tylko ważną rolę gospodarczą, jako załączki zakładów przemysłowych (Kramer 1960), ale również wpływały na zmiany w geosystemach dolin rzecznych (Ziemiński, Pałys 1963; Łoś 1978; Burlikowska 1988; Kaniecki 1999, 2004; Downward, Skinner 2005; Bishop, Jansen 2005).

Pierwsza udokumentowana wzmianka o młynie wodnym w dorzeczu pochodzi z 1346 r. (Brykała 2005) i dotyczy młyna Moździerz, umiejscowionego w ujściowym odcinku Skrwy Lewej (w Brwilnie). W tym czasie obszar dorzecza był słabo zasiedlony. Dopiero lokacja w 1382 r. miasta Gostynina stworzyła ko-



Ryc. 14. Rekonstrukcja zabudowy hydrotechnicznej w dolinach Skrwy Lewej i Osetnicy od XV do XX wieku (Źródło: Brykała 2005)

Reconstruction of hydraulic structures in valleys of the Skrwa Lewa river and Osetnica river from 15th to 20th century (after: Brykała 2005)

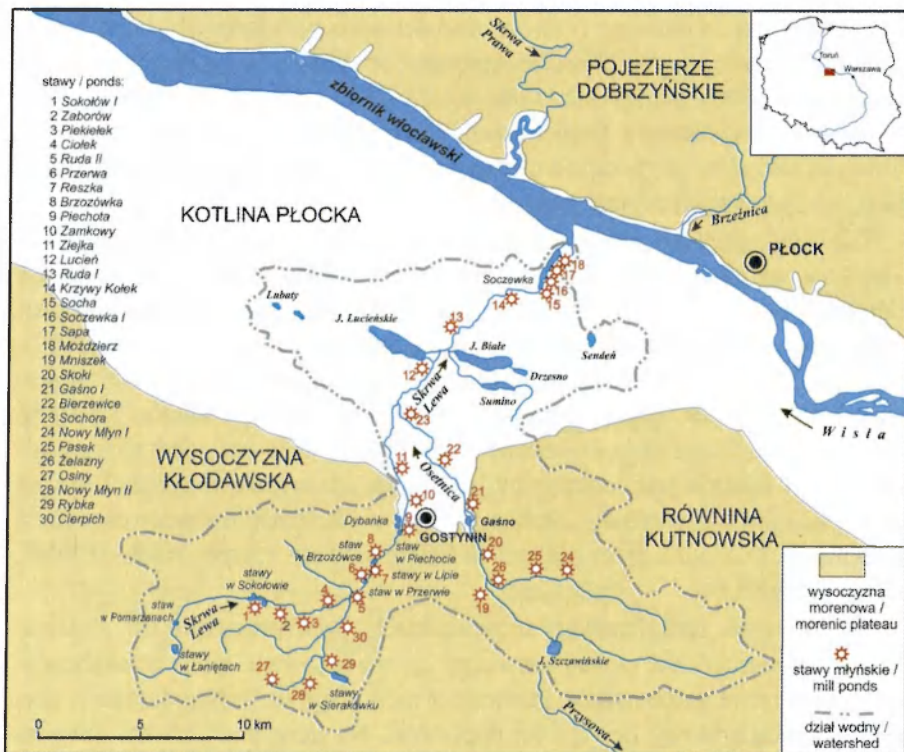
rzystne warunki do dalszego rozwoju osadnictwa na tych terenach. Intensywnie zaczęło się rozwijać rolnictwo, co sprzyjało powstawaniu kolejnych młynów wodnych. W 1500 r. istniało już 11 takich zakładów (ryc. 14). Aż do połowy XIX wieku ich liczba wzrastała. Dopiero rewolucja przemysłowa zahamowała rozwój drobnych zakładów młyńskich, a następnie doprowadziła do powolnej ich likwidacji, zdecydowanie przyspieszonej po II wojnie światowej.

Tak więc pierwsze prace regulacyjne dotyczyły krótkich, odosobnionych odcinków rzek, przekształcanych dla potrzeb młynów wodnych. Obok regulacji głównego koryta rzeki, powstawały tzw. „młynówki”, a więc kanały doprowadzające i/lub odprowadzające wodę do/z zakładu młyńskiego (Ivan 1989). W miarę upływu czasu, gdy młyny przestały funkcjonować, wcześniej uregulowane odcinki rzek ulegały dewastacji (fot. 1 i 2), albo jak niektórzy wolą to nazywać - samoczynnemu procesowi renaturyzacji. Jako przykład takiego odcinka, który lokalnie jest postrzegany jako ostoja „dziewiczej przyrody”, można wymienić rezerwat przyrody „Dolina Skrwy” w okolicach miejscowości Ruda (zlewnie: III i V), gdzie przez kilkaset lat funkcjonowały 3 młyny wodne: Ciołek, Ruda i Cierpich.

Młyny wodne funkcjonowały w 30 punktach w dorzeczu (ryc. 15). Analizując ich rozmieszczenie, można zauważyć uprzywilejowane miejsca lokalizacji. Wyróżniono dwa zgrupowania. Pierwsze z nich obejmuje młyny leżące w górnych odcinkach Skrwy Lewej i jej dopływów. Na liczącym 12,5 km długości odcinku Skrwy Lewej od Piekiełka do Ziejki funkcjonowało 9 młynów wodnych (ryc. 16), a dalszych 8 znajdowało się na dopływach. Nawiązuje to do przebiegu rynien subglacialnych oraz strefy krawędziowej wysoczyzny morenowej (por. Brykała 2005). Drugie dużo mniejsze zgrupowanie młynów wodnych występuje w ujściowym odcinku Skrwy Lewej do Wisły. W tym miejscu rzeka rozcina poziomy pradolinne.

Młyny były inwestycjami trwałymi i istniały dość długo, a w przypadku zniszczenia często stawiano w tym samym miejscu nowy młyn (por. np. Holt 1988; Langdon 1991; Kreiner 1996; Kaniecki 1999, 2004; Droste 2003; Podgórski 2004). Często się więc zdarzało, że młyny wodne funkcjonowały w jednym miejscu przez całe stulecia, np. młyn w Gaśnie – 600 lat (por. ryc. 14 i 15).

W połowie XIX wieku istotnemu przekształceniu uległ ujściowy odcinek Skrwy Lewej. W miejscu, gdzie przez około 500 lat istniały 4 młyny wodne, został utworzony 1 duży zbiornik wodny – Soczewka o pojemności ponad 1 mln m<sup>3</sup> wody. Woda była z niego odprowadzana dwoma kanałami: jałowym (wschodnim) i roboczym (zachodnim). Oba kanały łączyły się ok. 750 m poniżej zbiornika i tak Skrwa Lewa uchodziła do Wisły (ryc. 17). Po spiętrzeniu Wisły we Włocławku w 1970 r., zalaniu uległ fragment równiny nadzalewowej. Doprowadziło to do skrócenia biegu Skrwy Lewej o 1,93 km (ryc. 17). Obecnie Skrwa Lewa uchodzi do zbiornika włocławskiego dwoma kanałami, z tym, że tylko jeden z nich jest kanałem otwartym. Kanał Zachodni od roku 1993 doprowadza wodę



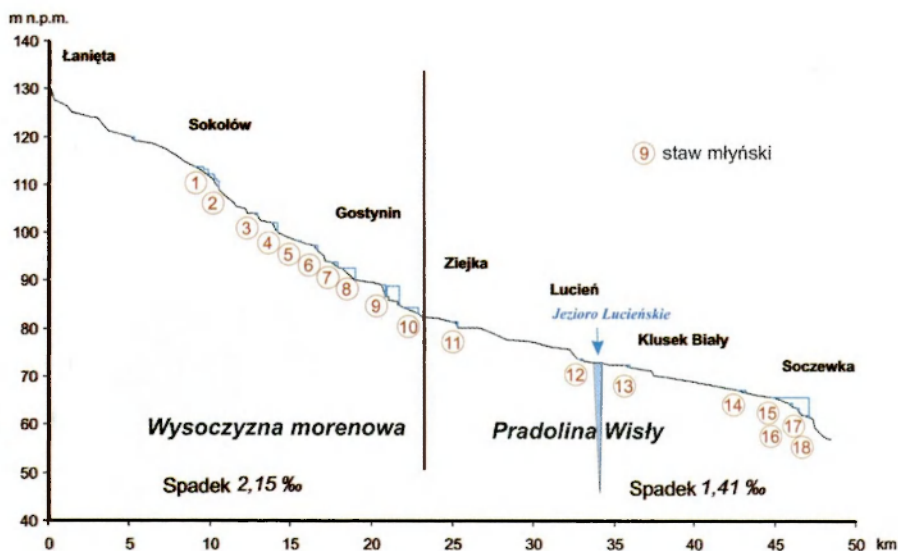
Ryc. 15. Lokalizacja zbiorników retencyjnych w dorzeczu Skrzywy Lewej. (Źródło: Brykała 2005)

Location of reservoirs and ponds within the Skrzywa Lewa river basin (after: Brykała 2005)

do małej elektrowni wodnej (MEW) w Soczewce, a następnie pod powierzchnią terenu odprowadza ją bezpośrednio do Wisły.

Prace regulacyjne prowadzone do połowy XX wieku nie nosiły znamion systematycznych i skoordynowanych działań. Taka sytuacja miała miejsce w Polsce dopiero po II wojnie światowej, kiedy regulacje koryt przeprowadzono na ok. 50 tys. km rzek i kanałów (Mioduszewski 1997).

Od II połowy XX wieku regulacje cieków w dorzeczu Skrzywy Lewej towarzyszyły zazwyczaj pracom melioracyjnym. Objęły one łącznie 29 km rzek tego obszaru. Przede wszystkim koryta cieków zostały uregulowane w części wysoczyznowej dorzecza, na odcinkach źródłiskowych Skrzywy Lewej i Osetnicy (ryc. 18). W największym zakresie uregulowana została Osetnica na odcinku do Jeziora Szczawińskiego (fot. 3), Kanał Jesionka-Waliszew i jego dopływy: Łokietnica i Ciek F (tab. 5). Z kolei Skrzywa Lewa została uregulowana w mniejszym zakresie. Najwcześniej uregulowano i pogłębiono jej koryto rzeczne na odcinku miejskim w Gostyninie (fot. 4). Chciano w ten sposób zapobiec wiosennym podtopieniom terenów sąsiadujących z rzeką. W konsekwencji obniżyło się zwierciadło wód gruntowych i przesuszeniu uległy nadrzeczne łąki.



Ryc. 16. Profil podłużny rzeki Skrwy Lewej (numery zbiorników jak na ryc. 15) (Źródło: Brykała 2005)

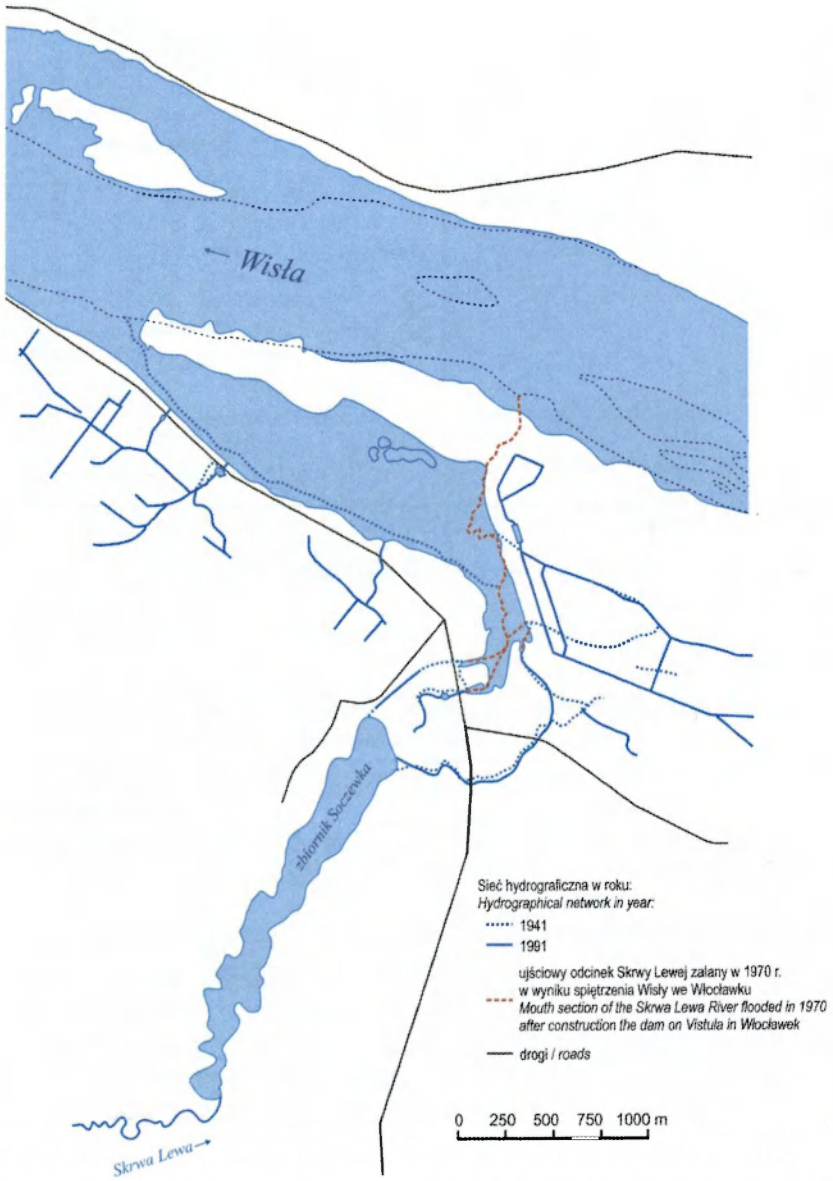
Longitudinal section of the Skrwa Lewa river (number of ponds see fig. 15). (Source: Brykała 2005)

Tabela 5. Wykaz prac regulacyjnych wykonanych w 2 połowie XX wieku na ciekach dorzecza Skrwy Lewej

Lata	Rzeka	Lokalizacja		Łączna długość odcinka uregulowanego [km]
		miejsowość	nr zlewni	
1951, 1974	Skrwa Lewa	miasto Gostynin	VII	4,44
1953, 1989	Kanał Jesionka-Waliszew	Waliszew	XI	8,83
1981	Skrwa Lewa	Pomarzany	II	1,35
1982, 1990	Skrwa Lewa	Soczewka	XXIII	0,75
1989	Osetnica	Gaśno	XIV	0,57
1989	Skrwa Lewa	Sokołów	II	1,20
1991, 1997	Osetnica	Szczawin Borowy	IX	10,91
1993	Skrwa Lewa	Lucień	XVII	0,96

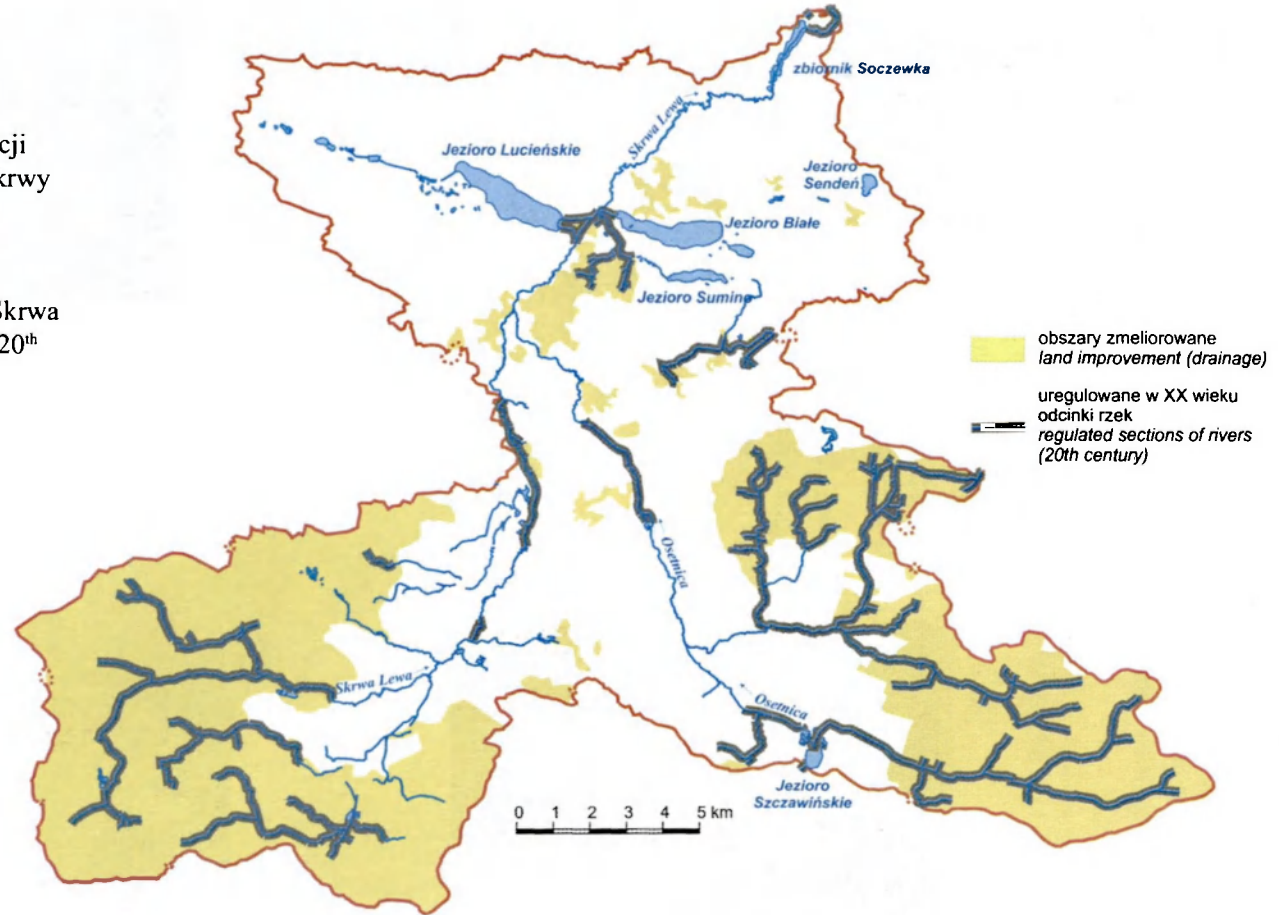
Ważnym węzłem wodnym, który został uregulowany pod koniec XX wieku, jest odcinek Skrwy Lewej w Lucieniu. W latach 1982–1993, na skutek silnego zanieczyszczenia wody w Skrwie Lewej i Osetnicy, jezioro Lucieńskie zostało odcięte od zasilania rzeczno (Chorzewska i in. 1998). Zasypany został wówczas odcinek doliny, którym rzeka doprowadzała wodę do jeziora, i jednocześnie wykonano przekop, do którego skierowano Skrwę Lewą (ryc. 19). Jako efekt tego działania wskazywano obniżenie się lustra wody w jeziorze Lucieńskim o ok. 0,5 m, co miało obniżyć objętość jeziora o ok. 1 mln m<sup>3</sup> wody. Od stycznia 1994 r. Skrwa Lewa ponownie zasila jezioro Lucieńskie podczas stanów średnich i wysokich.

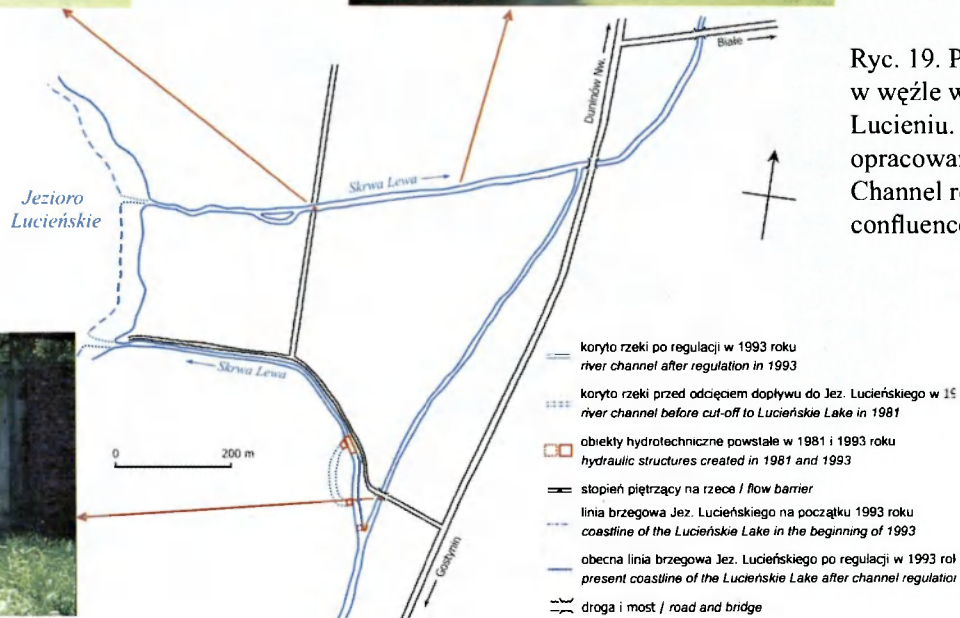




Ryc. 17. Zmiany hydrograficzne w ujściowym odcinku Skrwy Lewej  
Hydrographic changes in the mouth section of the Skrwia Lewa river

Ryc. 18. Zasięg prac regulacyjnych i melioracji wodnych w dorzeczu Skrzy Lewej w XX wieku  
The extent of channel regulation and land melioration within the Skrzy Lewa river basin in the 20<sup>th</sup> century





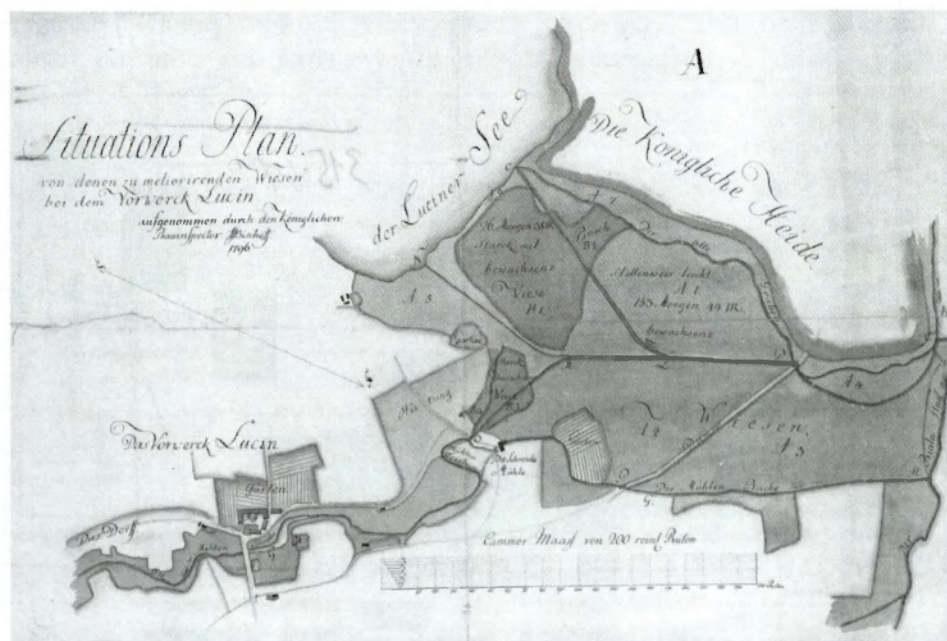
Ryc. 19. Prace regulacyjne  
 w węźle wodnym w  
 Lucieniu. (Źródło:  
 opracowanie własne).  
 Channel regulation at the  
 confluence in Lucieniu.

Na Skrwie Lewej i jej dopływach do chwili obecnej zachowało się 10 budowli hydrotechnicznych, które piętrzą wodę w małych zbiornikach (Brykała 2001a). Są one w większości pochodzenia młyńskiego. Dodatkowo, w celu zmniejszenia spadku rzeki, wybudowanych zostało 16 niewielkich stopni – piętrzących wodę w korycie:

- w Soczewce 2 stopnie piętrzące o wysokości 0,4 m,
- w Gostyninie 3 stopnie piętrzące o wysokości 0,6 m (fot. 5) i 2 stopnie piętrzące o wysokości 0,2 m,
- w Sokołowie 4 stopnie piętrzące o wysokości 0,6 m,
- na Kanale Jesionka-Waliszew 2 stopnie piętrzące o wysokości 0,5 m, 1 stopień o wysokości 0,4 m i 1 stopień o wysokości 0,6 m,
- w Lucieniu 1 stopień piętrzący o wysokości 0,6 m.

### 2.2.3. MELIORACJE WODNE

Pierwsze zintensyfikowane zabiegi melioracyjne na ziemiach polskich prowadzono na Żuławach Wiślanych już w XIII wieku. Dopiero jednak od XIX wieku nastąpił znaczny rozwój zarówno techniki, jak i zasięgu tych prac. Mimo to, do wybuchu I wojny światowej melioracje wodne rzadko były prowadzone kompleksowo na większych obszarach. W Polsce miało to miejsce dopiero w okresie międzywojennym. Po II wojnie światowej intensyfikacja szeroko rozumianych melioracji wodnych osiągnęła kulminację, z dwoma wyraźnymi „pikami” w latach 60. i 80. XX wieku (Gutry-Korycka 1993).

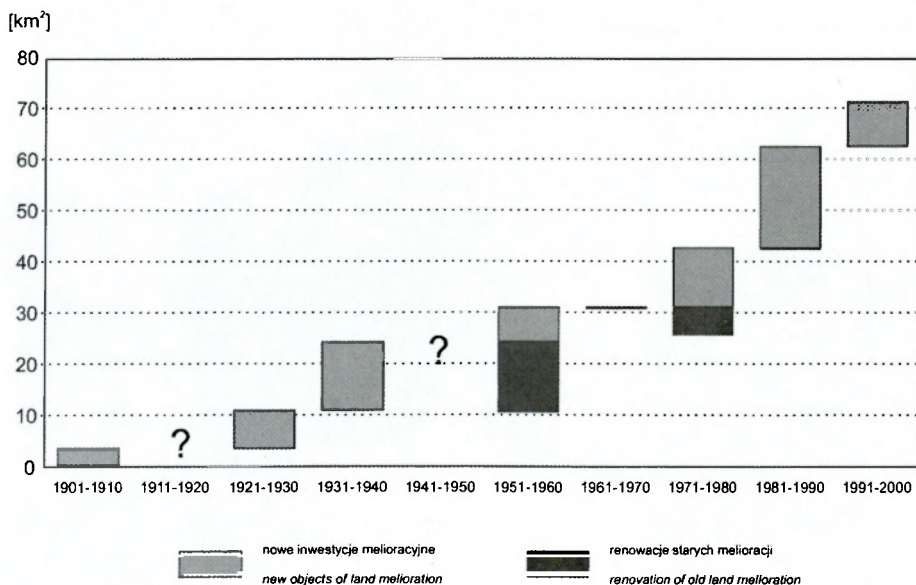


Ryc. 20. Plan prac melioracyjnych przeprowadzonych w pobliżu jeziora Lucieńskiego w 1796 r. (Archiwum Główne Akt Dawnych, Zbiór Kartograficzny 315–61).  
Plan of land melioration carried out near Lake Lucieńskie in 1796

Pod wpływem melioracji wodnych znajduje się w Polsce ok. 6,7 mln ha użytków rolnych (ok. 20% powierzchni kraju), z tego ponad 70% dotyczy gruntów ornych. Przeważają melioracje odwadniające. Obszary nawadniane stanowią zaledwie ok. 7% obszarów zmeliorowanych.

Pierwsze wzmianki o pracach melioracyjnych na obszarze dorzecza Skrwy Lewej, pochodzą z 1796 roku (ryc. 20). Omawiane tereny znajdowały się wówczas pod zaborem pruskim. Wykonano wtedy w pobliżu jeziora Lucieńskiego prace mające na celu osuszenie łąk i regulację koryta Skrwy Lewej i jej dopływów. Aż do połowy XX wieku melioracje na obszarze dorzecza prowadzone były jednak w niewielkim zakresie i na małych obszarach, głównie w Kotlinie Płockiej (zlewnie: VIII, XVI i XVIII). Dopiero od 1926 roku w powiecie gostyńskim zaczęły się organizować spółki wodne, których celem było przeprowadzanie prac melioracyjnych z wykorzystaniem funduszy rządowych (*Melioracje rolne...* 1929). Zabiegami takimi objęte zostały większe obszary (ok. 2 tys. ha), głównie w południowo-zachodniej i południowo-wschodniej części dorzecza (zlewnie: I, II, IV, IX i XII).

Następny etap wzmoczonych prac melioracyjnych rozpoczął się na początku lat 50. XX wieku (ryc. 21). Ich głównym celem była odbudowa i renowacja wcześniej wykonanych systemów melioracyjnych. Budowa nowych systemów drenarskich stanowiła jedynie ok. 25% wszystkich prac. Etap ten zakończył się w połowie lat 60.



Ryc. 21. Prace melioracyjne w dorzeczu Skrwy Lewej w XX wieku. (Źródło: Brykała 2006)

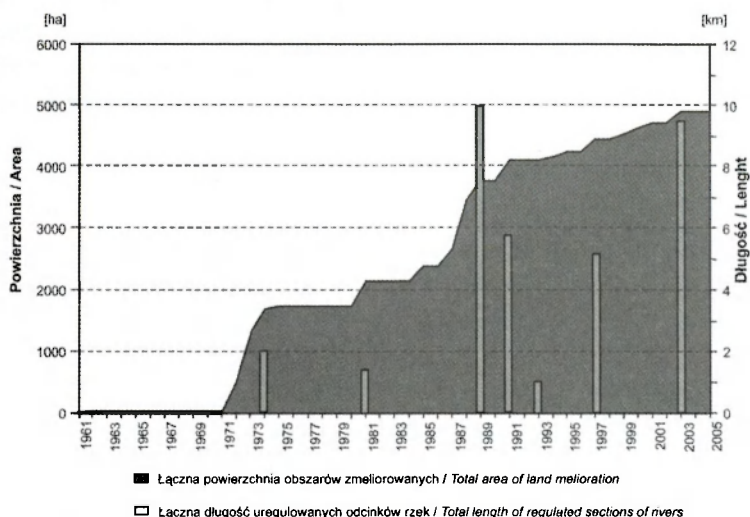
Land melioration within the Skrwa Lewa river basin in the 20<sup>th</sup> century

Maksymalne nasilenie zabiegów melioracyjnych miało miejsce w latach 80. XX wieku (ryc. 21 i 22). Zmeliorowano wówczas ponad 2 tysiące ha użytków rolnych, głównie w źródłkowej części zlewni Osetnicy (zlewnie: IX i XI). W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku intensywność prac melioracyjnych była o ponad połowę mniejsza niż w poprzedzającym dziesięcioleciu.

Niemal wszystkie systemy melioracyjne wykonane w dorzeczu dotyczyły odwodnień terenu. Prace polegały na stworzeniu systemu drenów i otwartych rowów melioracyjnych, których zadaniem było odprowadzanie wody podczas wiosennych roztopów i obniżenie poziomu wód gruntowych. Jak podaje A. Bartczak (2007b) w dorzeczu Zgłowiączki dreny zakładano na głębokości ok. 0,9 m i średnim rozstawie 14–17 m. Powodowało to obniżenie zwierciadła wód gruntowych od 0,5 do 1,0 m.

Melioracje nawadniające zostały przeprowadzone jedynie na niewielkim obszarze w granicach administracyjnych Gostynina. Przeprowadzono je w 1955 r., kilka lat po regulacji miejskiego odcinka Skrwy Lewej. Zostało wtedy znacznie pogłębione i wyprostowane koryto rzeki. W następstwie tych prac przesuszeniu uległy okoliczne łąki. Potrzebne okazało się wykonanie systemu urządzeń nawadniających.

Przebieg natężenia prac melioracyjnych w okresie wybranym do szczegółowych analiz hydrologicznych (1961–2005) został przedstawiony na rycinie 22. Pierwszy znaczący przyrost powierzchni obszarów zmeliorowanych miał miejsce w latach 1972–1974 i 1981. Kolejny przyrost wielkości obszarów poddanych zabiegom melioracji wodnych miał miejsce w latach 1987–1991. Od tego czasu odsetek obszarów zmeliorowanych powoli, ale systematycznie rośnie, aż do 2003 roku.



Ryc. 22. Natężenie prac regulacyjnych i melioracji wodnych w latach 1961–2005 w dorzeczu Skrwy Lewej. (Źródło: opracowanie własne)  
The intensity of channel regulations and land melioration in years 1961–2005 within the Skrwa Lewa river basin

Prace melioracyjne prowadzone w dorzeczu Skrwy Lewej w II połowie XX wieku, dotyczyły niemal wyłącznie systemów drenarskich. Analiza przestrzenna wykonana na podstawie materiałów archiwalnych, pozwala na określenie trzech głównych obszarów, które podlegały melioracjom (tab. 2; ryc. 19). Pierwszy z nich dotyczy obszaru źródłiskowego zlewni Skrwy Lewej, zamkniętej przekrojem Sokołów (zlewnie: I i II). Drugi obszar dotyczy obszaru źródłiskowego Osetnicy i Kanału Jesionka-Waliszew (do przekrojów Szczawin i Nowy Młyn – zlewnie: IX i XI). W końcu trzeci obszar dotyczy w zasadzie całej zlewni Łokietnicy (zlewnia XII). W części wysoczyznowej dorzecza aż 80,61% całości gruntów ornych znajduje się pod wpływem melioracji wodnych (tab. 2). W Kotlinie Płockiej obszary zmeliorowane znajdują się jedynie w rejonie wsi Wyróbki Lucieńskie (na SE od Jeziora Lucieńskiego) oraz na niewielkich obszarach na północ od Jeziora Białego. Wymienione obiekty melioracyjne powstały na przełomie XIX i XX wieku i obecnie nie spełniają już swojej funkcji.

### 3. ZMIENNOŚĆ I ZMIANY OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH, STANÓW WÓD GRUNTOWYCH I ODPŁYWU RZECZNEGO W LATACH 1961–2005

O wielkości odpływu decydują poszczególne jego składowe: odpływ gruntowy oraz odpływ powierzchniowy. Są one kształtowane przez zmienne w czasie warunki zasilania. Składają się na nie opady atmosferyczne, retencyjność zlewni, zasoby wód podziemnych. W niniejszej pracy autor dokonał oceny udziału zasilania podziemnego i powierzchniowego odpływu. Przeanalizowana została reakcja systemu hydrologicznego na zmienne warunki zasilania w 2 połowie XX wieku. Analizę czasową uzupełniono przestrzenną charakterystyką warunków hydrologicznych w dorzeczu w latach 2000–2005

#### 3.1. JEDNORODNOŚĆ CIĄGÓW POMIAROWYCH

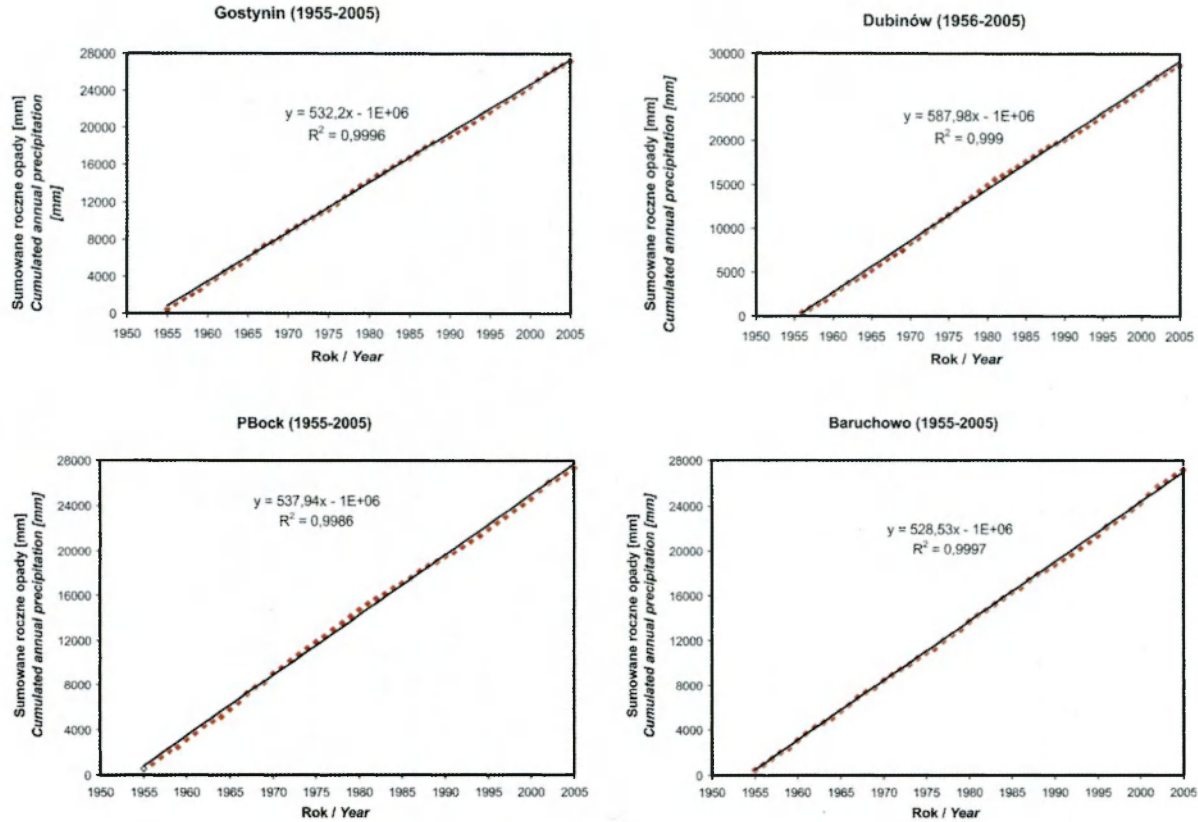
W związku z tym, że głównym materiałem badawczym niniejszego opracowania są długie ciągi pomiarowe, w pierwszej kolejności przeprowadzone zostały testy na ich jednorodność statystyczną. Jednorodność ciągów weryfikowano testem sumy rang Kruskala-Wallisa oraz testem współczynnika korelacji rangowej Spearmana na trend wartości średniej.

Badania jednorodności na przyjętym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  wykazały, że w przypadku ciągów danych opadowych (1961–2005) dla czterech stacji: Baruchowo, Płock, Gostynin i Duninów Nowy, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej  $H_0$ , co świadczy o tym, że badane ciągi są jednorodne statystycznie. Odmienna sytuacja dotyczy ciągów: średnich rocznych przepływów Skrwy Lewej w Klusku oraz średnich rocznych stanów wód gruntowych na posterunkach: Helenów, Gostynin, Strzelce i Krakówka. Żaden z nich (1961–2005) nie jest jednorodny statystycznie na zakładanym poziomie istotności.

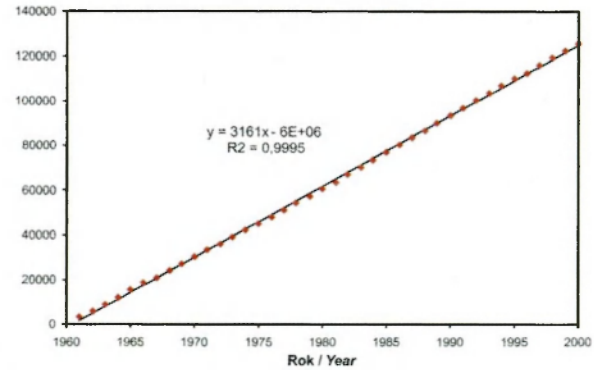
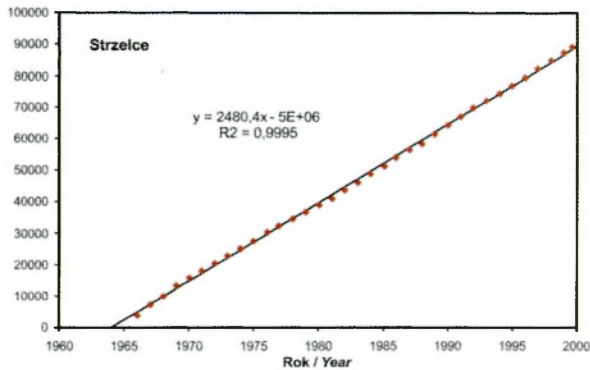
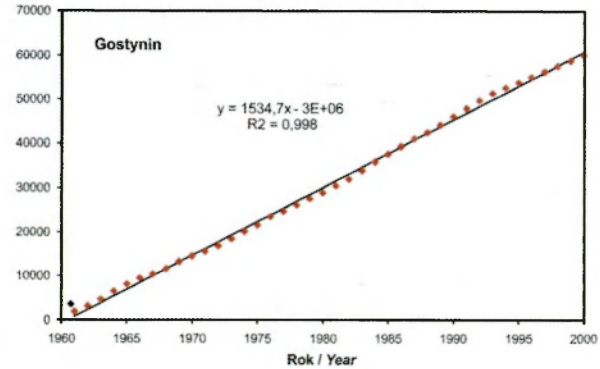
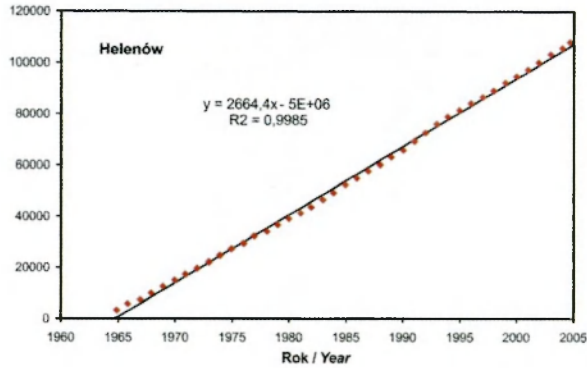
W związku z tym sprawdzono, jaka była relacja niejednorodnych ciągów (odpływu i średnich rocznych stanów wód gruntowych) do jednorodnych ciągów opadów. W tym celu przeanalizowano kumulowane ciągi poszczególnych parametrów, najpierw osobno (ryc. 23 i 24), a następnie w odniesieniu do opadów (ryc. 25).

Już pobieżna analiza podwójnej krzywej kumulowanych opadów i odpływu pozwoliła na określenie terminu, od którego widoczne jest odchylenie podwójnej krzywej od linii prostej. Do roku 1978 punkty kumulowanego opadu i odpływu naśladują przebieg prostej. Od 1979 do 1982 mamy do czynienia ze wzrostem odpływu w porównaniu do opadów. Z kolei od 1983 roku relacja odpływu do opadów jest coraz mniejsza. Po 1982 roku nastąpiła trwała zmiana kąta nachy-



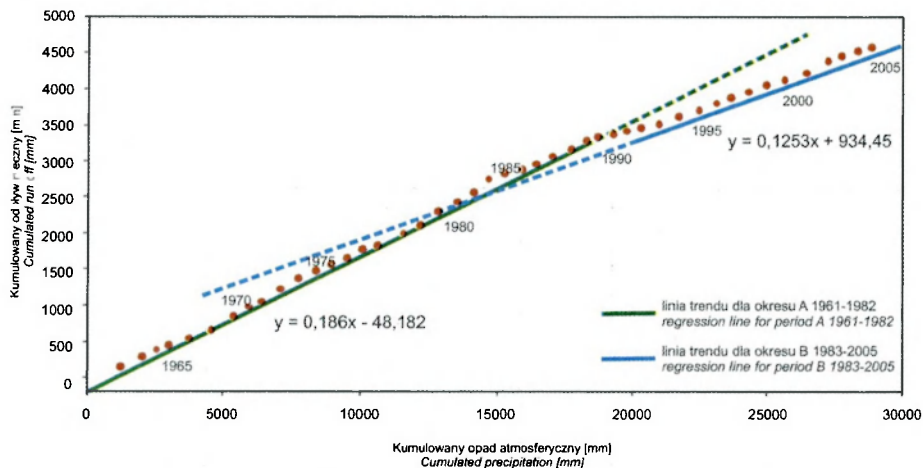


Ryc. 23. Krzywe kumulacyjne opadów atmosferycznych na stacjach: Gostynin, Duninów, Płock i Baruchowo  
Cumulative curves of precipitation at the Gostynin, Duninów, Płock and Baruchowo stations



Ryc. 24. Kumulowane wartości średnich rocznych stanów wody gruntowej na posterunkach: Helenów, Gostynin, Strzelce i Krakówka w latach 1961–2005

Cumulative curves of annual average of ground water-level, at the Helenów, Gostynin, Strzelce and Krakówka stations in years 1961–2005



Ryc. 25. Podwójna krzywa kumulacyjna rocznych opadów atmosferycznych w Gostyninie i odpływów z dorzecza Skrwy Lewej w Klusku za lata 1961–2005  
 Double-mass cumulative curve for annual precipitation in Gostynin and annual mean discharge from the Skrwa Lewa river basin in Klusek: 1961–2005

lenia prostej. Wartości liczbowe współczynników kierunkowych aproksymanty trendu a zmieniły się z 0,186 (dla okresu A: 1961–1982) na 0,125 (dla okresu B: 1983–2005).

Dla tak wydzielonych okresów (A i B) przeprowadzono ponownie procedurę weryfikacji jednorodności statystycznej ciągów pomiarowych, które wcześniej (dla całego wielolecia) uzyskały wynik negatywny. Takie postępowanie zalecają M. Ozga-Zielińska i J. Brzeziński (1997). Okazało się, że niemal wszystkie ciągi pomiarowe w dwóch okresach są jednorodne statystycznie na założonym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Jedynie ciąg pomiarowy średnich rocznych stanów wód gruntowych w Gostyninie dla okresu B (1983–2005) jest niestacjonarny. Ten punkt pomiarowy jest zlokalizowany w strefie krawędziowej wysoczyzny i na jego wahania duży wpływ wywierają wody gruntowe spływające z wysoczyzny. Jak pokazano w rozdz. 2.2.3, w latach 80. prowadzono tam na dużą skalę prace melioracyjne. To zapewne miało decydujący wpływ na zaburzenie rytmu wahań stanów wód gruntowych w Gostyninie. W oddalonym o ok. 5 km na północ posterunku obserwacyjnym stanów wód gruntowych Helenowo nie stwierdzono już tak negatywnego oddziaływania melioracji. Posterunek ten jest zlokalizowany w pradolinie Wisły i znajduje się pod wpływem wód gruntowych dalekiego krążenia (por. Gierszewski 2000).

W dalszej części opracowania analiza ciągów pomiarowych będzie prowadzona dla wyżej wyróżnionych okresów A (1961–1982) i B (1983–2005).

### 3.2. OPADY ATMOSFERYCZNE

W badaniach nad obiegiem wody w przyrodzie bardzo istotnym ogniwem są opady atmosferyczne. Są one definiowane jako depozycja wody atmosferycznej na powierzchni terenu w formie stałej lub ciekłej (Goudie za Chełmicki 2002). Wpływają na kształtowanie odpływu rzecznoego poprzez wywoływanie spływu powierzchniowego oraz zasilanie zasobów wód podziemnych.

W badaniach hydrologicznych największe znaczenie odgrywa nie sam proces tworzenia się opadów, ale objętość wody jaka dociera do zlewni. Pomiar tego procesu obarczone są wieloma błędami (por. Byczkowski 1996; Jaworski, Szkutnicki 1999). W związku z tym, w niniejszej pracy, miesięczne sumy opadów atmosferycznych zostały skorygowane poprzez uwzględnienie poprawek zaproponowanych przez K. Chomicza (1976). Zgodnie z nimi wartości zmierzone miesięcznych sum opadów zostały zwiększone średnio o 21% (od 27,7% w styczniu do 14,1% w lipcu). Zastosowanie powyższej korekty pozwoliło na otrzymanie wartości sum opadów zbliżonych do rzeczywistych (por. Byczkowski 1996).

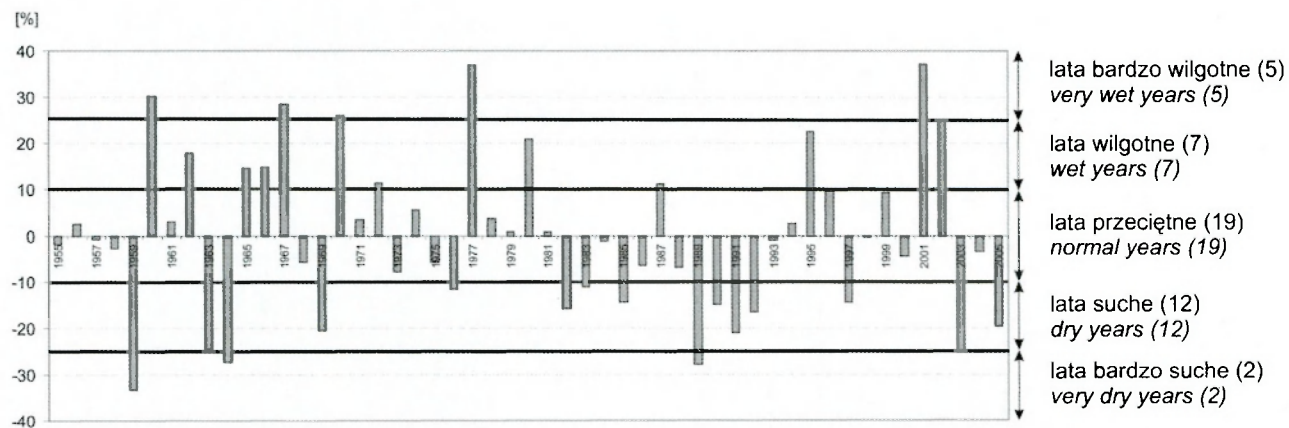
#### 3.2.1. CHARAKTERYSTYKA OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W WIELOLECIU

W związku z tym, że ciągi opadowe są jednorodne dla lat 1961–2005, dokonano podziału całego wielolecia na lata wilgotne, przeciętne i suche, przy wykorzystaniu wskaźnika niedoboru opadów i kryterium wilgotnościowego (tab. 6) zaproponowanego przez Z. Kaczorowską (1962). Wartość wskaźnika niedoboru opadów obliczono ze wzoru:

$$nP = \frac{P_r - \bar{P}_{1961-2005}}{\bar{P}_{1961-2005}} 100\%$$

gdzie:  $nP$  – wskaźnik niedoboru opadów [%],  $P_r$  – roczna suma opadu atmosferycznego w analizowanym roku [mm],  $\bar{P}_{1961-2005}$  – średnia roczna suma opadu atmosferycznego w analizowanym wieloleciu [mm].

Pod uwagę wzięte zostały 4 stacje opadowe leżące najbliżej dorzecza i posiadające 45-letnią serię pomiarową. Na rycinie 26 wyraźnie widoczny jest okres lat od 1982 do 1992, ze znacznym niedoborem opadów (80–90% średniej dla wielolecia). Lata bardzo wilgotne były jedynie trzy w okresie A: 1967, 1970, 1977 oraz dwa w okresie B: 2001 i 2002 (oba w okresie prowadzenia badań terenowych). Bardzo istotne wydaje się zwrócenie uwagi na to, że w okresie B (1983–2005) 110% średniej wieloletniej sumy opadów przekroczone zostało jedynie 4 razy, podczas gdy w pierwszym okresie – 2 razy więcej (8 przypadków). Dokładnie odwrotna sytuacja miała miejsce w odniesieniu do lat suchych (poniżej 90% średniej dla wielolecia). W pierwszym okresie – 5 przypadków, a drugim 9 przypadków (w tym 2 podczas prowadzenia badań terenowych: 2003 i 2005).

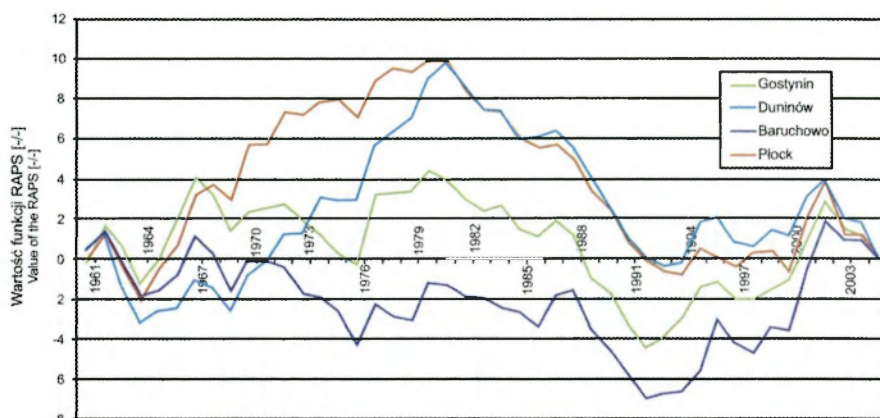


Ryc. 26. Podział na lata suche i wilgotne w wieloleciu 1961–2005 przy wykorzystaniu wskaźnika niedoboru opadów nP i kryterium Z. Kaczorowskiej (1962)  
 The long-term division between dry and wet years 1961–2005, with the use of nP as an indicator of rainfall scarcity and also the Z. Kaczorowska criterion (1962)

Aby zobrazować fluktuacje opadów w całym wieloleciu zastosowano metodę funkcji RAPS kumulowanych odchyień różnic wartości rocznych od wartości średnich wieloletnich (por. Chelmiński 1989; Somorowska 2001). Przebieg krzywej pokazuje nam sekwencje lat „suchych” i „mokrych” (ryc. 27). Na stacjach w Płocku i Duninowie wyraźnie widoczny jest podział wielolecia na 3 okresy. W pierwszym – do 1981 r., mieliśmy do czynienia z tendencją wzrostową sumy opadów. Od 1982 do 1994 r. wartości funkcji RAPS były z roku na rok coraz mniejsze. Z kolei od 1995 r. mamy do czynienia z fluktuacjami. Nieco inny jest przebieg wartości RAPS dla stacji w Gostyninie i Baruchowie. Tu do 1988 r. nie widać zdecydowanych sekwencji lat wilgotnych i suchych. Zaznacza się jedynie okres suszy jaka miała miejsce w całej Polsce w latach 1989–1994. Szerzej to zagadnienie zostanie omówione w rozdziale 3.4.1.

Tabela 6. Kryterium wilgotnościowe roku hydrologicznego w odniesieniu do wielolecia (wg Kaczorowska 1962)

Zakres wartości wskaźnika niedoboru opadów nP [%]	Klasyfikacja roku
126–150	bardzo wilgotny
111–125	wilgotny
90–110	przeciętny
75–89	suchy
50–74	bardzo suchy



Ryc. 27. Wartości funkcji RAPS kumulowanych odchyień różnic rocznych sum opadów atmosferycznych od wartości średniej w okresie 1961–2005

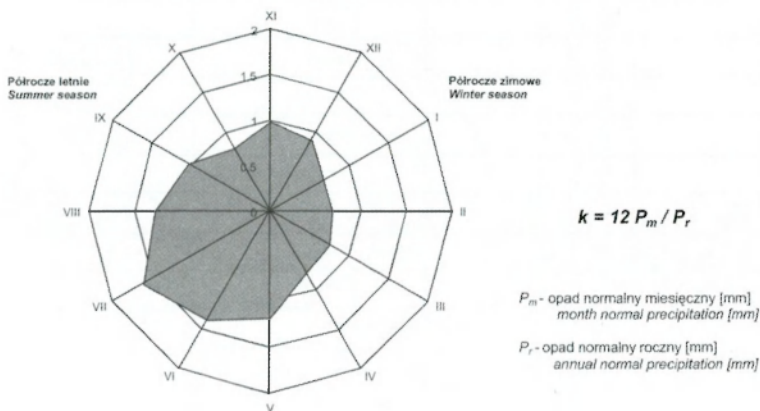
The values of the RAPS function of cumulative deviations of differences in annual precipitation totals from the average value: 1961–2005

### 3.2.2. ROZKŁAD OPADÓW W CIĄGU ROKU

Z punktu widzenia hydrologii bardzo istotnym zagadnieniem jest rozkład opadów atmosferycznych w ciągu roku (ryc. 28). Opady półrocza letniego stanowią niemal 2/3 wysokości rocznej sumy opadów atmosferycznych. Miesiącami o najwyższych sumach opadów są lipiec (średnia suma 79 mm), czerwiec i sierpień (ponad 60 mm), natomiast najniższe opady występują w styczniu i lutym (średnia suma poniżej 30 mm).

Opady półrocza zimowego w postaci śniegu tworzą pokrywę śnieżną, która kilkakrotnie w ciągu sezonu ulega degradacji – stopnieniu (por. ryc. 7). Następuje spływ powierzchniowy (po zmarzniętym podłożu), co wpływa znacząco na podniesienie stanów wody w rzece. Najbardziej charakterystyczne tego typu sytuacje miały miejsce m.in. w latach: 1963, 1970, 1971, 1977, 1979, 1981, 1982, 1996, 2002 i 2004.

Opady śniegu pozwalają na retencję wody w zlewni i koncentrację odpływu w sezonie wiosennym. Niestety nie udało się uzyskać pełnej bazy danych dotyczącej pokrywy śnieżnej dla całego 45-lecia. Jednak zebrane dane (ryc. 29) pozwalają na stwierdzenie nieciągłości w trwaniu zwartej pokrywy śnieżnej. W latach 1961–1985 i 2000–2005, stwierdzono jedynie kilka lat (1963, 1970, 1977, 1979 i 1982) o w miarę ciągłej pokrywy śnieżnej w ciągu zimy. Grubość pokrywy śnieżnej zazwyczaj osiągała wartości poniżej 10 cm. W całym analizowanym wieloletniu (1961–2005) tylko podczas 7 sezonów zimowych grubość pokrywy śnieżnej przekroczyła wartość 20 cm (1963, 1965, 1970, 1971, 1979, 1982, 1983), z maksimum wynoszącym 54 cm osiągniętym w marcu 1970 r.



Ryc. 28. Rozkład opadów w ciągu roku na posterunku w Gostyninie wyrażony współczynnikiem miesięcznym  $k$  (średnia za okres 1961–2005)

The distribution of rainfall throughout the year at the Gostynin station expressed by the monthly ratio  $k$  (average: 1961–2005)



Ryc. 29. Długość zalegania pokrywy śnieżnej w półroczu zimowym wielolecia 1961–1985 oraz 2000–2005 (na podstawie danych ze stacji IMGW w Płocku)

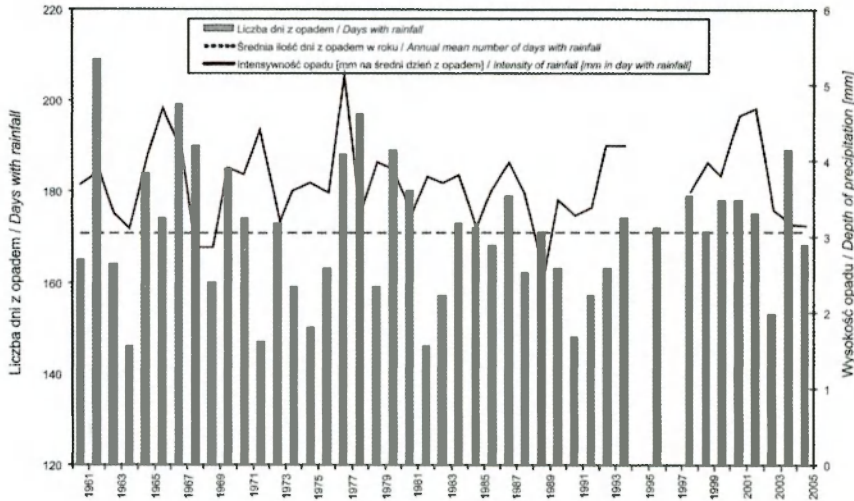
The duration of snow cover in the winter half-year: 1961–1985, and in 2000–2005 (based on data from the IMGW weather station in Płock)



Tabela 7. Charakterystyka opadów atmosferycznych w Gostyninie w całym analizowanym wieloleciu 1961–2005 oraz w trakcie badań terenowych w latach 2000–2005 (w nawiasach podano wartości opadu nieskorygowanego)

Charakterystyka	Wielolecie 1961–2005		Wielolecie 2000–2005	
	wartość	data	wartość	data
Najwilgotniejszy rok hydrologiczny	969 mm (810 mm)	1977	828 mm (695 mm)	2001
Najsuchszy rok hydrologiczny	433 mm (358 mm)	1989	511 mm (428 mm)	2003
Srednia roczna suma opadów atmosferycznych	639 mm (533 mm)	1961-2005	662 mm (552 mm)	2000-2005
Maksymalna suma opadu w ciągu doby	(98,6 mm)	24.07.1966	(46,9 mm)	28.05.2000
Maksymalna suma opadu w miesiącu	231 mm (203 mm)	lipiec 1966	184 mm (161 mm)	lipiec 2000
Minimalna suma opadu w miesiącu	2,0 mm (1,6 mm)	styczeń 1997	4,0 mm (3,3 mm)	październik 2005
Najdłuższy okres bez opadu	25 dni	24.10.-17.11.1984	18 dni	06.10.-23.10.2000
Najdłuższy okres z codziennym opadem	21 dni (41,3 mm)	19.11.-09.12.1981	16 dni (37,4 mm)	04.03.-19.03.2005
Najwyższa suma codziennego opadu	12 dni (175,7 mm)	24.08.-04.09.1995	8 dni (79,1 mm)	26.05.-02.06.2002

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 30. Liczba dni z opadem oraz jego średnia wysokość w Gostyninie w latach 1961–2005

The number of days with precipitation and its mean amount in Gostynin: 1961–2005

W okresie wegetacyjnym szczególne znaczenie dla rozwoju roślin mają opady w miesiącach: maj i czerwiec. Najbardziej niekorzystne warunki opadowe w tych dwóch miesiącach (poniżej 80% średniej z wielolecia dla danego miesiąca) wystąpiły w latach 1961, 1966, 1974, 1992 i 2004. Z kolei najwyższe sumy opadów w maju i czerwcu (przekraczające 120% średniej z wielolecia dla danego miesiąca) notowano w latach: 1965, 1972 i 1982.

Wartościowym wskaźnikiem mówiącym o intensywności opadów w ciągu roku, jest średnia wysokość opadu na dzień z opadem (ryc. 30). W centralnie położonym w dorzeczu posterunku opadowym Gostynin, występuje średnio w roku 167 dni z opadem. Przeważnie występują one w półroczu zimowym, ale sumy opadów notowane wówczas zawierają się najczęściej w przedziale 0,1–2,0 mm. W całym wieloleciu, najwyższe wartości średnich opadów na dzień z opadem miały miejsce w latach, gdy w półroczu letnim wystąpiły ulewne deszcze o sumie przewyższającej 30 mm (lata: 1966, 1972, 1977, 2002).

Szczegółowa analiza dobowych sum opadów atmosferycznych pozwala na ich pełniejszą charakterystykę (tab. 7), najczęściej niedostrzeżoną przy analizie sum miesięcznych czy rocznych. A to właśnie poszczególne „zdarzenia” opadowe doprowadzają do odpowiedniej reakcji zlewni w postaci odpływu.

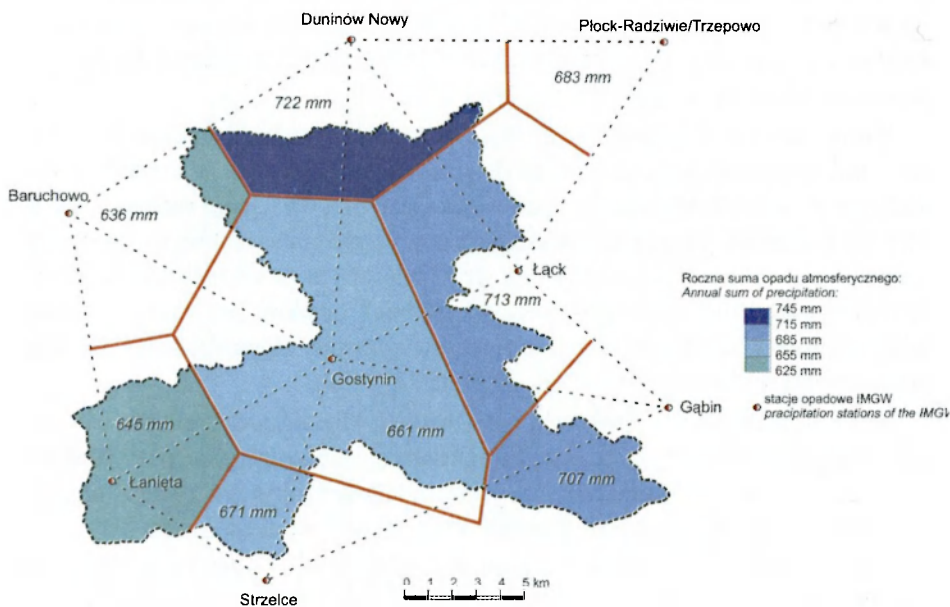
Maksymalna suma dobowego opadu atmosferycznego została zanotowana w lipcu 1966 r. i wyniosła 98,6 mm (wartość nie skorygowana). Wtedy też wartość miesięcznej sumy opadu była najwyższa w całym wieloleciu i wyniosła 231,3 mm, a więc ponad 1/3 średniej sumy opadu dla całego roku. Najdłuższy okres bez opadu atmosferycznego wyniósł 25 dni (jesień 1984 r.), a najniższa suma miesięczna wystąpiła w styczniu 1997 r. – zaledwie 2,0 mm, co oznaczało 6% średniej dla tego miesiąca.

### 3.2.3. PRZESTRZENNY ROZKŁAD OPADÓW W DORZECZU

Z punktu widzenia rozpatrywanego tematu, bardzo ważnym problemem jest nie tylko czasowy rozkład opadów, ale również jego dystrybucja do poszczególnych części zlewni. W tym celu wykorzystano metodę wieloboków de Thiessena. Przy jej pomocy można wydzielić obszary, którym przypisuje się wartość opadu na posterunku w danym wieloboku.

Problem, jaki przy tym wyniknął, dotyczył znalezienia odpowiedniej ilości posterunków opadowych, równomiernie rozmieszczonych wokół zlewni. Do 1981 r. 8 stacji opadowych IMGW prowadziło pomiary wysokości opadów atmosferycznych. W kolejnych latach jednak, ich liczebność zmniejszyła się o połowę. Dodatkową niedogodnością było to, że zlikwidowane zostały stacje leżące na wschód i południe od dorzecza. W związku z tym zdecydowano się na wykorzystanie do tej analizy danych z 8 stacji w wieloleciu 1955–1980 (ryc. 31). Jak przytacza A. Byczkowski (1996) błąd w określeniu średnich opadów z ciągów o liczebności pomiędzy 25 a 45 wynosi mniej niż 1%.

Średni opad w dorzeczu Skrwy Lewej otrzymany wyżej wymienioną metodą wynosi 679 mm (536 mm opadu nie skorygowanego). Przestrzennie najwyższe wartości opadów otrzymuje północna część dorzecza, a więc zlewnia ujściowego odcinka Skrwy Lewej z posterunkiem wodowskazowym IMGW w Klusku. Z ko-



Ryc. 31. Średnie opady skorygowane w dorzeczu Skrwy Lewej (za okres 1955–1980) wg metody wielokątów równego zadeszczenia (de Thiessena)  
The average rainfall within the Skrwia Lewa river basin (1955–1980) adjusted by the method of de Thiessen

lei najniższe sumy opadów otrzymuje zachodnia część dorzecza, w tym źródłiskowa część zlewni Skrwy Lewej. Warta podkreślenia jest duża różnica w wysokości opadu pomiędzy sąsiadującymi posterunkami w Duninowie i Baruchowie, dochodząca do 90 mm. Autorowi trudno jest jednoznacznie określić przyczynę tak dużej zmienności. Prawdopodobnie może to być efektem położenia posterunku Duninów w bliskim sąsiedztwie dużego akwenu wodnego (zbiornik włocławski) oraz przeszkody orograficznej, jaką jest wysoka skarpa na prawym brzegu Wisły (ok. 2 km od posterunku). Tymczasem posterunek Baruchowo znajduje się w bezleśnej niecce Kotliny Płockiej.

### 3.3. WODY GRUNTOWE

Po osiągnięciu powierzchni terenu, woda opadowa gromadzi się na nim, spływa lub infiltruje. Wsiąkająca część wody zasila podziemne zbiorniki wodne noszące nazwę warstw wodonośnych. Na obszarze dorzecza Skrwy Lewej wyróżnia się trzy piętra wodonośne wód zwykłych (Waluszko 1997; Włostowski 2002; Włostowski, Gregosiewicz 2002): kredy górnej, trzeciorzędowe i czwartorzędowe.

Analiza ciśnień piezometrycznych i składu chemicznego wód wykazała, że w obrębie badanego terenu dochodzi do kontaktu hydraulicznego pomiędzy poszczególnymi piętrami. Taka sytuacja dotyczy zwłaszcza obszaru Kotliny Płockiej. W utworach czwartorzędowych, zdeponowanych w Kotlinie Płockiej, jest jedna ciągła warstwa wodonośna o swobodnym zwierciadle. Układ hydroizohips piętra trzeciorzędowego, reprezentowanego przez poziom mioceński (piaski różnoziarniste z domieszką węgla brunatnego), wskazuje na drenaż wód przez Wisłę. W. Waluszko (1997) stwierdził istnienie okna hydrogeologicznego w Kotlinie Płockiej, łączącego piętra trzeciorzędowe i czwartorzędowe.

Ogólny spływ wód podziemnych odbywa się na NE, w kierunku doliny Wisły, która jest główną bazą drenażu dla wszystkich występujących na analizowanym obszarze poziomów wodonośnych. Dominujący kierunek drenażu wód podziemnych (w kierunku Wisły) i małe deniwelacje terenu powodują, że dopływy Wisły i powierzchniowe działy wodne mają niewielki wpływ na kształt zwierciadła wód podziemnych.

Strefa krawędziowa wysoczyzny charakteryzuje się zwiększonymi spadkami hydraulicznymi i głębokim występowaniem ustalonego zwierciadła wód podziemnych (20–30 m). Erozyjny charakter krawędzi wysoczyzny ułatwia kontakt hydrauliczny pomiędzy czwartorzędowym poziomem wodonośnym w obu częściach dorzecza.

Na obszarze wysoczyzny poziomy wodonośne są izolowane od powierzchni terenu kilkunastometrową warstwą glin zwałowych. Zwierciadło wody ma charakter napięty, a wody podziemne mają kontakt z wodami powierzchniowymi jedynie w głęboko wciętych rynnach subglacialnych. Poziom czwartorzędowy na wysoczyźnie związany jest z osadami piaszczystymi interglacjału mazowieckiego i zlodowacenia Warty (poziom międzyglinowy). Nie stwierdzono kontaktu

tego poziomu z wodami piętra trzeciorzędowego, które z kolei znajduje się w więzi hydraulicznej z poziomem wodonośnym kredy górnej tworząc wspólnie jeden kompleks wodonośny.

W niniejszej pracy analizie poddano jedynie wody tworzące pierwszy od powierzchni terenu poziom wodonośny. Związany on jest z piętrzem czwartorzędowym.

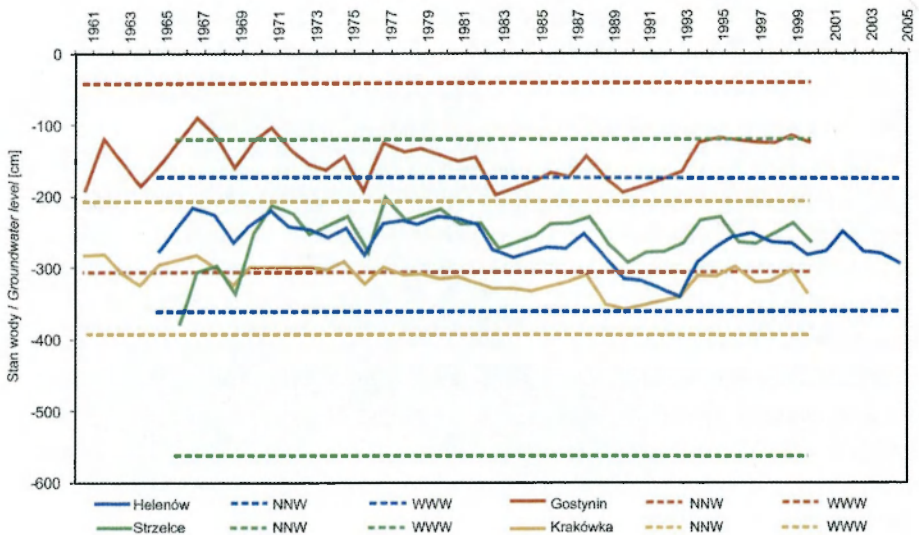
### 3.3.1. CHARAKTERYSTYKA WÓD GRUNTOWYCH W WIELOLECIU

W związku z tym, że dorzecze Skrzy Lewej ma typowo dwudzielny charakter, do analizy wielolecia wzięto pod uwagę ciągi danych z następujących posterunków obserwacyjnych:

- Strzelce – położony w centralnej części wysoczyzny,
- Gostynin – położony na krawędzi wysoczyzny,
- Helenów – położony na wyższym poziomie pradoliny Wisły,
- Krakówka – położony w odległości ok. 4 km od koryta Wisły.

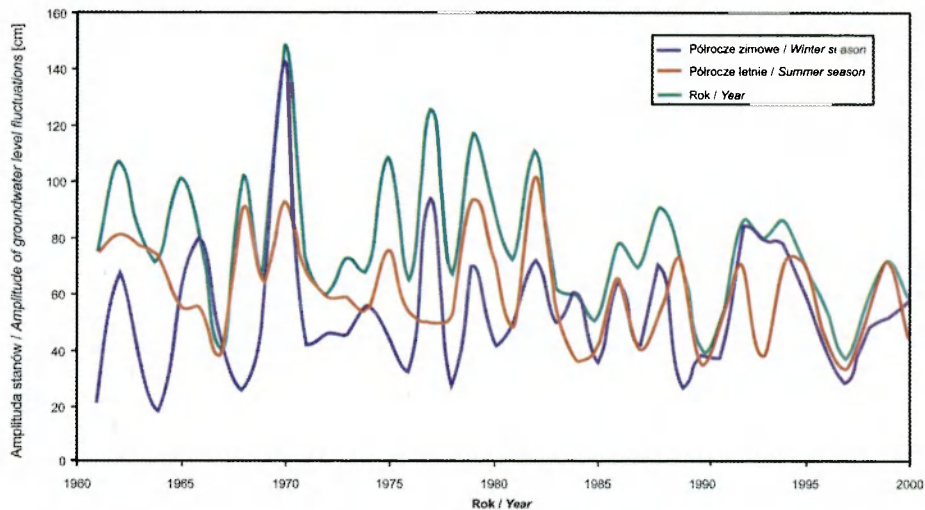
Dokładne położenie posterunków względem granic dorzecza zostało przedstawione na rycinie 2.

Usytuowanie poszczególnych posterunków znajduje swoje odbicie w wielkości strefy wahań stanów wód gruntowych (ryc. 32). Największą amplitudą (prawie 4,5 m) charakteryzuje się posterunek Strzelce, położony w centralnej części wysoczyzny (Równina Kutnowska). Z drugiej strony, na posterunkach Helenów

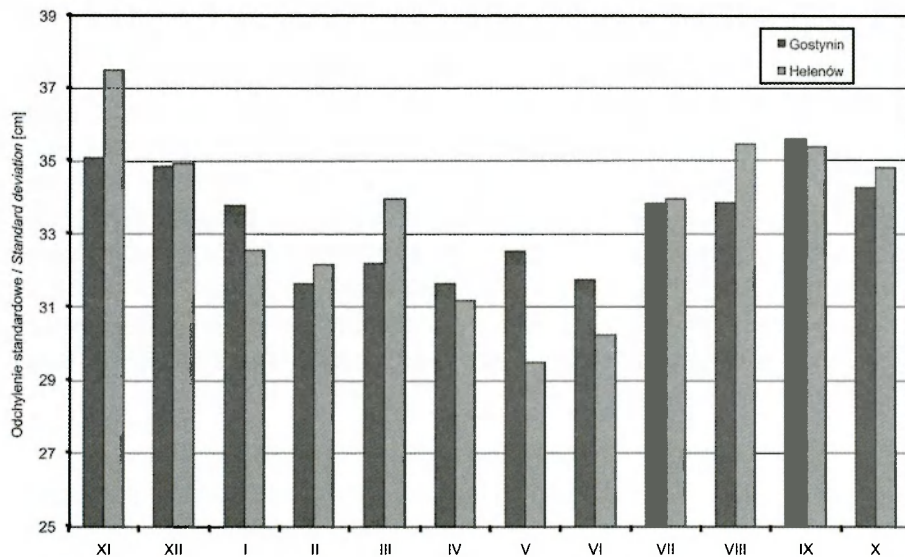


Ryc. 32. Średnie roczne oraz ekstremalne stany wody gruntowej na posterunkach Strzelce, Gostynin, Helenów i Krakówka w latach 1961–2005

Annual extreme and average groundwater levels at stations: Strzelce, Gostynin, Helenów and Krakówka in years 1961–2005



Ryc. 33. Amplituda stanów wód gruntowych w Gostyninie w okresie 1961–2000  
Range of groundwater levels in Gostynin: 1961–2000.



Ryc. 34. Odchylenie standardowe położenia zwierciadła wody gruntowej dla jednoimiennych miesięcy w latach 1965–2000 na posterunkach Gostynin i Helenów

The standard deviation for the water table for months: 1965-2000 in Gostynin and Helenów

i Krakówka, położonych w pradolinie Wisły, różnica pomiędzy stanami ekstremalnymi nie przekraczała 1,9 m.

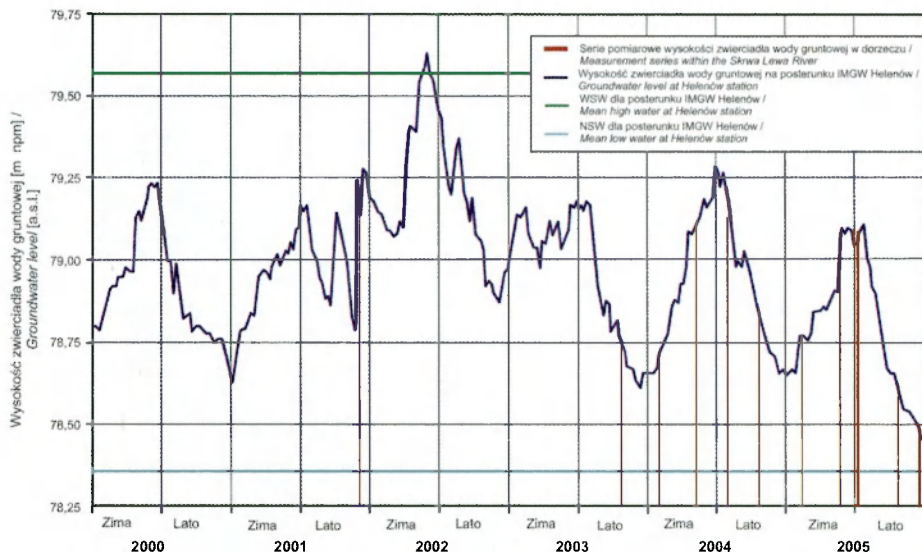
Susza hydrologiczna, jaka miała miejsce w latach 1989–1993, najwyraźniej zaznaczyła się w przebiegu średnich rocznych stanów wody na posterunkach w Helenowie i Krakówce. Wystąpiły wtedy najniższe zaobserwowane na tych posterunkach stany wody. Z kolei przebieg średnich rocznych stanów wody na posterunkach położonych na wysoczyźnie, pokazuje, że niższe stany niż podczas suszy z lat 90. XX wieku notowane były w latach 1966–1969 (Strzelce) oraz w 1976 i 1983 roku (Gostynin).

Bardzo ciekawie przedstawiają się wartości zakresu zmian położenia lustra wody gruntowej w poszczególnych latach (ryc. 33). Zauważalne jest zmniejszanie się amplitudy wahań stanów wody od połowy lat 80. XX wieku. Dotyczy to zwłaszcza półrocza zimowego. Zdaniem autora należałoby taką sytuację wiązać z bezśnieżnymi i stosunkowo ciepłymi zimami, podczas których nie dochodziło do odnawiania się zasobów wód gruntowych. Brak było pokrywy śnieżnej, a więc nie było szans na występujące zazwyczaj wiosną wzmożone zasilanie wód gruntowych i podwyższenie stanów wody. Konsekwencje takiej sytuacji hydrologicznej uwidoczniły się również w amplitudach półrocza letniego.

Zróżnicowanie stanów dla jednoimiennych miesięcy w wieloleciu (ryc. 34) pokazuje, że na posterunku w Gostyninie w zasadzie przez cały rok mogą wystąpić wahania o podobnym zakresie w stosunku do średniej (odchylenie standardowe  $\delta$  w przedziale od 32 do 35 cm), podczas gdy w Helenowie różnica pomiędzy najbardziej stabilnym miesiącem (maj) a najmniej przewidywalnym (listopad) jest bardziej wyraźna ( $\delta = 29$  do 37 cm). Należy to tłumaczyć zasobnością wód napływających z wysoczyzny do jej krawędzi oraz względną ich stabilnością. Z kolei w przypadku Helenowa stabilność należy wiązać z udziałem wód podziemnych dalekiego krążenia. W listopadzie, marcu i w sierpniu wartości odchylenia standardowego położenia zwierciadła wody gruntowej w pradolinie (Helenów) są nieznacznie wyższe niż na skraju wysoczyzny (Gostynin). Odwrotna sytuacja ma miejsce w maju i w czerwcu, a więc w okresie największego zapotrzebowania na wodę przez rośliny uprawne. Mimo to różnice pomiędzy dwoma posterunkami są niewielkie.

### 3.3.2. GŁÓWNE KIERUNKI ODPLYWU WÓD GRUNTOWYCH

W latach 2003–2005 wykonano w dorzeczu Skrwy Lewej 10 serii pomiarów wysokości położenia zwierciadła wody gruntowej (Brykała 2006: Załącznik nr 2). Sytuacja hydrologiczna, w jakiej zostały one przeprowadzone, została zilustrowana na tle cotygodniowych stanów wód gruntowych na posterunku IMGW w Helenowie (ryc. 35). Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone podczas utrzymywania się zwierciadła wód gruntowych w strefie stanów średnich. Amplituda stanów wyniosła za ten okres (18.08.2003 – 17.10.2005) 83 cm.



Ryc. 35. Przebieg cotygodniowych stanów wód gruntowych na posterunku IMGW w Helenowie w latach 2000–2005 i terminy własnych serii pomiarowych w dorzeczu Skrwy Lewej

Weekly variations of the groundwater levels at the IMGW station in Helenów in years 2000–2005 and dates of the series of measurements in the Skrwa Lewa river basin.

W Kotlinie Płockiej mamy do czynienia prawie wyłącznie z jednym czwartorzędowym poziomem wodonośnym, występującym w serii utworów piaszczysto-żwirowych o miąższości dochodzącej do 50 m. Podłoże tych osadów stanowią formacje neogeńskie, wykształcone w postaci mioceńskich piasków i mułków, przykrytych nieciągłą warstwą ilastych osadów pliocenu.

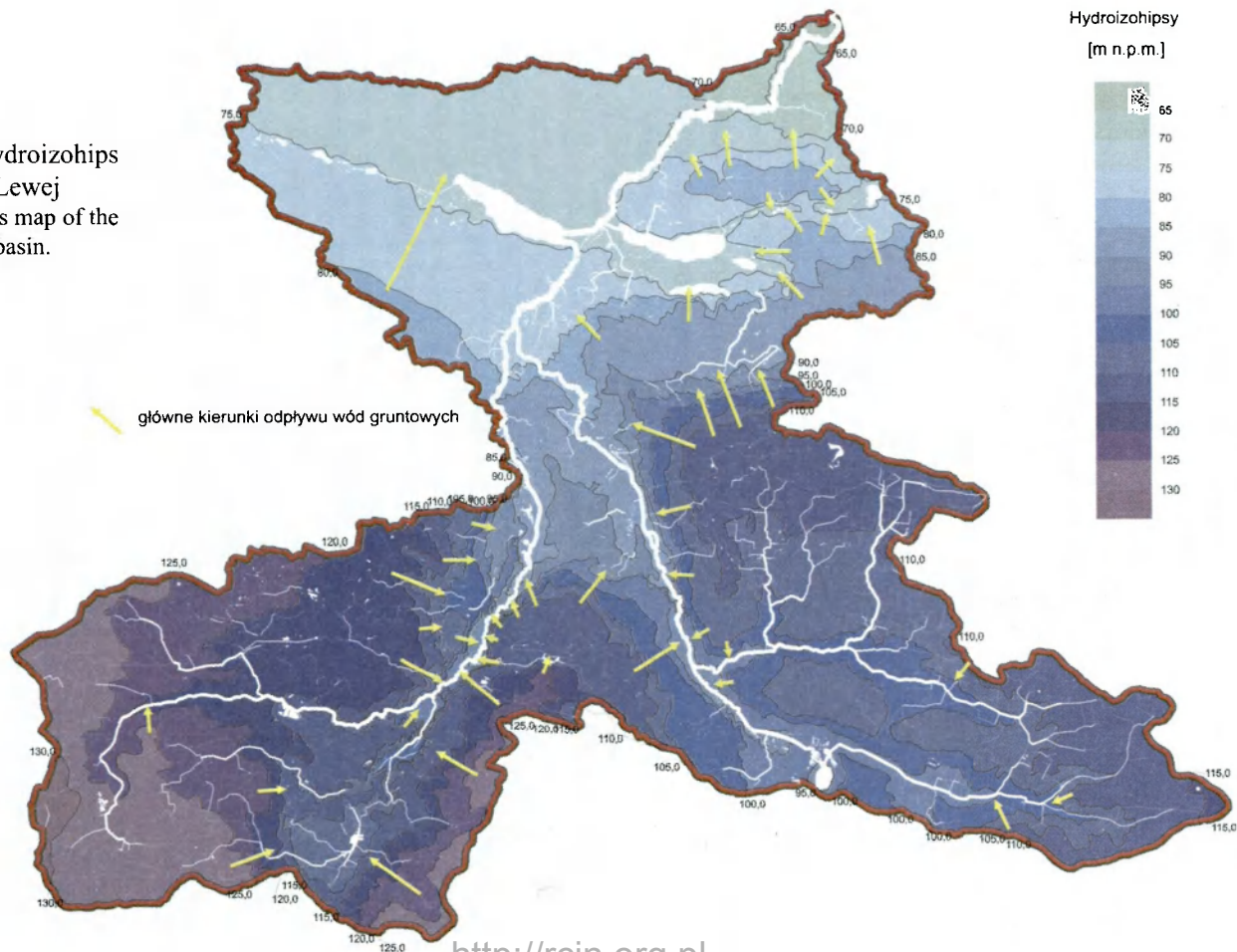
Ze zdecydowanie inną sytuacją hydrogeologiczną mamy do czynienia na wysoczyźnie morenowej. Utwory wodonośne są izolowane trzema pokładami trudno przepuszczalnych glin morenowych. Należy podkreślić, że warstwy wodonośne zasilają powierzchniową sieć rzeczną w rozcinających wysoczyznę rynnach subglacialnych. Wykorzystują je w swoim biegu zarówno Skrwa Lewa, jak i Osetnica.

Erozyjny kontakt Kotliny Płockiej z wysoczyzną morenową sprzyja zachowaniu więzi hydrogeologicznych pomiędzy warstwą wodonośną w pradolinie Wisły i warstwami wodonośnymi na wysoczyźnie. Konsekwencją takiej budowy geologicznej jest występowanie w Kotlinie Płockiej jednego poziomu wodonośnego o swobodnym zwierciadle. Znajduje się ono tu na głębokości od 2–3 m do 8 m (Brykała 2006: Załącznik nr 2).

P. Gierszewski (2000) w swoim modelu obiegu wody w Kotlinie Płockiej, zwrócił uwagę na możliwość migracji wód mioceńskich oraz piętra kredowego do czwartorzędowego kompleksu wodonośnego. Sytuację taką potwierdza



Ryc. 36. Mapa hydroizohips dorzecza Skrzy Lewej  
The hydroisohyps map of the Skrzy Lewa river basin.



również przekrój geologiczny E–F zamieszczony na rycinie 11A. Wyraźnie widoczne jest okno hydrogeologiczne przy skraju wysoczyzny, poprzez które występuje kontakt wód piętra czwartorzędowego w Kotlinie Płockiej z wodami piętra trzeciorzędowego.

Pomiary w terenie, dane kartograficzne o miejscach przecięcia poziomicy z korytem rzeczynym oraz rzędne zwierciadła jezior, umożliwiły wykonanie mapy hydroizohips dorzecza Skrwy Lewej (ryc. 36). Autor chciałby zwrócić uwagę, że przedstawiona na mapie sytuacja hydrogeologiczna części wysoczyznowej ma charakter jedynie poglądowy. Skomplikowana budowa geologiczna, nieciągłość warstw wodonośnych i częste lokalne uwarunkowania, sprawiają, że analiza sytuacji hydrogeologicznej dla tej części dorzecza wymaga jeszcze dodatkowych badań.

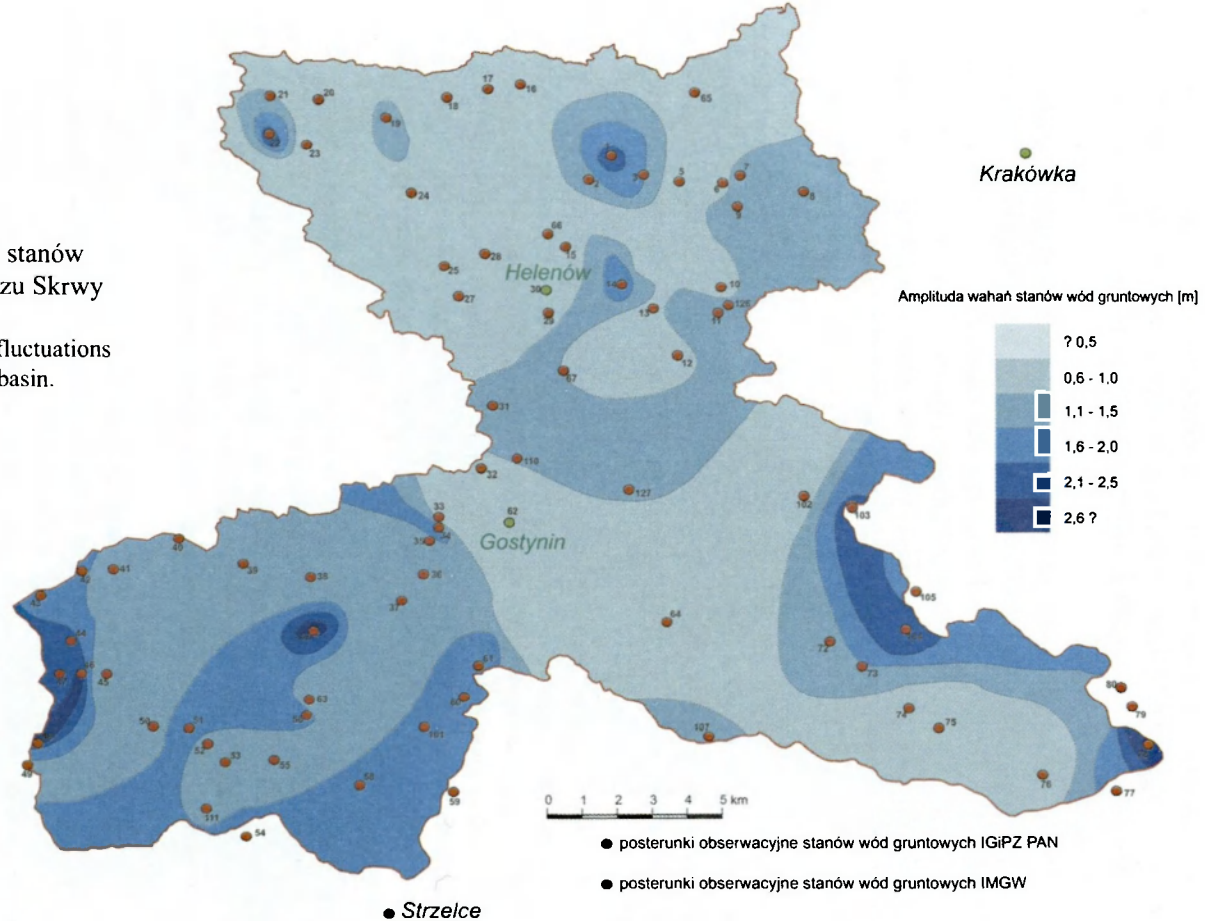
Przebieg hydroizohips w SW części dorzecza wskazuje na głęboki drenaż warstw wodonośnych w rejonie rynny subglacialnej, którą wykorzystuje w swoim biegu Skrwa Lewa (zlewnie: II, III, VI, VII). Zauważalna jest również drugorzędna baza drenażu, jaką jest jezioro w Holendrach Sierakowickich (zlewnia IV).

Z kolei w zlewni Osetnicy, największy przyrost zasilania rzeki przez wody podziemne ma miejsce w jej środkowym biegu, pomiędzy miejscowościami Skoki i Legarda (zlewnia XIV). Na tym odcinku Osetnica jest zasilana z kierunku wschodniego. W źródłiskowej części zlewni Osetnicy (zlewnie: IX i XI) wysokość położenia zwierciadła wody gruntowej znajduje się znacznie niżej, niż w przypadku zlewni Skrwy Lewej. Również spadek zwierciadła jest dużo mniejszy.

U podstawy krawędzi wysoczyzny, od strony zlewni Osetnicy (zlewnie: XV i XX), wyraźnie widoczne jest przesunięcie na północ hydroizohips 80 i 85 m n.p.m., w porównaniu do ich przebiegu na zachód od koryta Skrwy Lewej. Najprawdopodobniej w tym miejscu znajduje się okno hydrogeologiczne, poprzez które wody z piętra trzeciorzędowego zasilają warstwę czwartorzędową (por. ryc. 11A, przekrój E-F).

W NW części dorzecza przebieg hydroizohips jest równoległy do koryta Wisły. To ona jest tu główną bazą drenażu. Zasięg drenującego oddziaływania koryta Skrwy Lewej na wody gruntowe jest tu trudno zauważalny. Topograficzny dział wodny – poprowadzony kulminacjami wydm, nie znajduje odzwierciedlenia w przebiegu hydroizohips. Na ich podstawie trudno również określić zlewnię bezpośrednią jeziora Lucieńskiego (zlewnia XVII). Pokrywa się ona zapewne z przebiegiem rynny glacialnej jezior: Lucieńskiego i Białego.

Ryc. 37. Amplituda wahań stanów wód gruntowych w dorzeczu Skrwy Lewej  
 Range of groundwater level fluctuations within the Skrwa Lewa river basin.



Nieco bardziej skomplikowana sytuacja jest w NE części dorzecza (zlewnie: XVIII i XIX). Wysokość położenia zwierciadła wody gruntowej uwidacznia przebieg rynny glacialnej, w której dnie znajdują się jeziora: Białe, Sumino i Drzesno. Są to typowe jeziora drenujące wody podziemne. Podniesienie wysokości zwierciadła wód gruntowych jest widoczne również na północ od Jeziora Białego (zlewnia XVIII). Przyczyn tego należy upatrywać w cechach litologicznych utworów powierzchniowych, które są nieco trudniej przepuszczalne niż na terenach sąsiadujących (por. ryc. 10 oraz ryc. 11B, przekrój G-H). Odpływ wód gruntowych w tej części dorzecza, wskazuje na zasilanie koryta Skrwy Lewej z kierunku wschodniego i południowego. Przy ujściowym odcinku Skrwy Lewej (zlewnie: XXII i XXIII) wyraźnie widoczne jest „zagięcie” hydroizohips 70 i 65 m n.p.m. Wskazuje to na wzrost zasilania podziemnego na tym odcinku rzeki. Skrwa Lewa płynie tu głęboką na ok. 10 m doliną.

Na rycinie 37 przedstawiono zakres wahań zwierciadła wód gruntowych na obszarze dorzecza Skrwy Lewej. Daje się zauważyć analogię pomiędzy rozmieszczeniem lasów i zakresem wahań stanów wód gruntowych, niezależnie od tego czy jest to wysoczyzna, czy pradolina. Na posterunkach umieszczonych w sąsiedztwie lasów, amplituda wahań stanów wynosi najczęściej ok. 0,5 m. Również dawniej zmeliorowane obszary użytkowane rolniczo, charakteryzują się niskim zakresem wahań. Najwyższe wartości amplitudy są notowane na wysoczyźnie w strefie wododziałowej dorzecza (posterunki: 44, 46, 47, 48 oraz 78, 103, 104, 105).

Nie stwierdzono wyraźnej różnicy w zakresie wahań stanów wody pomiędzy obszarami zmeliorowanymi i obszarami nie poddanymi tym zabiegom. Należy jednak przypomnieć, że głębokość systemów odwadniających sięga ok. 1 m (por. rozdz. 2.2.3.) i dotyczy jedynie przypowierzchniowej warstwy wodonośnej.

### 3.4. ODPIY W RZECZNY

Coraz dłuższe ciągi danych hydrometrycznych pozwalają hydrologom włączyć się do dyskusji o konsekwencjach i kierunkach zmian środowiska naturalnego. Dzięki długim ciągom danych jesteśmy w stanie zidentyfikować zmiany, jednak najczęściej bez możliwości jednoznacznego określenia, czy zaistniały one w wyniku procesów naturalnych, czy zostały wywołane przez antropopresję. Podstawą analizy jest korelowanie ciągów danych hydrometrycznych z tzw. „zmiennymi niezależnymi”, utożsamianymi z charakterystykami klimatycznymi.

#### 3.4.1. CHARAKTERYSTYKA ODPIY W RZECZNEGO W WIELOLECIU

Natężenie przepływu ( $Q$ ) jest wartością chwilową, określającą ilość wody przepływającej w przekroju koryta rzecznej w danym momencie. Dysponując ciągiem codziennych przepływów z roku hydrologicznego, można dla tego zbioru obserwacji określić wartość maksymalną ( $WQ$ ), minimalną ( $NQ$ ) i śred-

Tabela 8. Przepływy charakterystyczne Skrzy Lewej w Klusku w latach 1961–2005

Przepływ charakterystyczny [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	Okres		
	1961-1982	1983-2005	2000-2005
SSQ	1,46	0,94	1,03
NSQ	0,61 (1976)	0,43 (1990)	0,63 (2005)
WSQ	2,26 (1979)	1,98 (2002)	1,98 (2002)
SWQ	7,13	3,58	4,12
NWQ	1,42 (1976)	1,10 (1990)	2,09 (2000)
WWQ	37,40 (1982)	10,70 (2002)	10,70 (2002)
SNQ	0,42	0,19	0,18
NNQ	0,17 (1963)	0,048 (1992)	0,05 (2005)
WNQ	0,84 (1967)	0,45 (2001)	0,45 (2001)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Tabela 9. Charakterystyka miesięcznych przepływów Skrzy Lewej w Klusku

Współczynnik/wskaźnik	1961–1982				1983–2005			
	WQ	SQ	NQ	SQ <sub>pod</sub>	WQ	SQ	NQ	SQ <sub>pod</sub>
Odchylenie standardowe	3,13	1,22	0,57	0,58	1,37	0,82	0,50	0,38
Współczynnik zmienności	1,37	0,84	0,60	0,67	0,95	0,88	0,84	0,78
Autokorelacja (1)	0,30	0,51	0,60	0,60	0,63	0,64	0,62	0,68
Autokorelacja (12)	0,11	0,20	0,30	0,18	0,26	0,34	0,41	0,41
Asymetria	0,69	0,79	0,87	0,86	0,74	0,80	0,81	0,84

WQ – maksymalne przepływy miesięczne, SQ – średnie przepływy miesięczne, NQ – minimalne przepływy miesięczne, SQ<sub>pod</sub> – średnie miesięczne przepływy podziemne. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW

nią ( $SQ$ ). Taka sama procedura dla poszczególnych lat w wieloleciu, umożliwia określenie wartości przepływów charakterystycznych dla danej rzeki. W tabeli 8 zamieszczono taką charakterystykę dla Skrwy Lewej w przekroju Klusek.

Podstawową charakterystyką, mówiącą o przeciętnym natężeniu przepływu w danym przekroju wodowskazowym, jest średni przepływ z wielolecia  $SSQ$ . Wartość ta jest najczęściej wykorzystywaną miarą hydrologiczną, służącą zarówno w porównywaniu dorzecza do innych obszarów, jak też w celu określania zasobów wodnych. Wartość  $SSQ$  dla Skrwy Lewej w Klusku w okresie B (lata 1983–2005) była mniejsza o ponad 1/3 niż w okresie A (lata 1961–1982). Różnica jest bardzo duża, nawet przy uwzględnieniu okresu suszy hydrologicznej z lat 90. XX wieku. Podobne proporcje są widoczne przy porównaniu  $NSQ$  i  $NWQ$ . Największe zmiany dotyczą strefy przepływów niskich, gdzie wartości  $SNQ$  i  $WNQ$  uległy zmniejszeniu o połowę, a wartość  $NNQ$  o ponad 2/3.

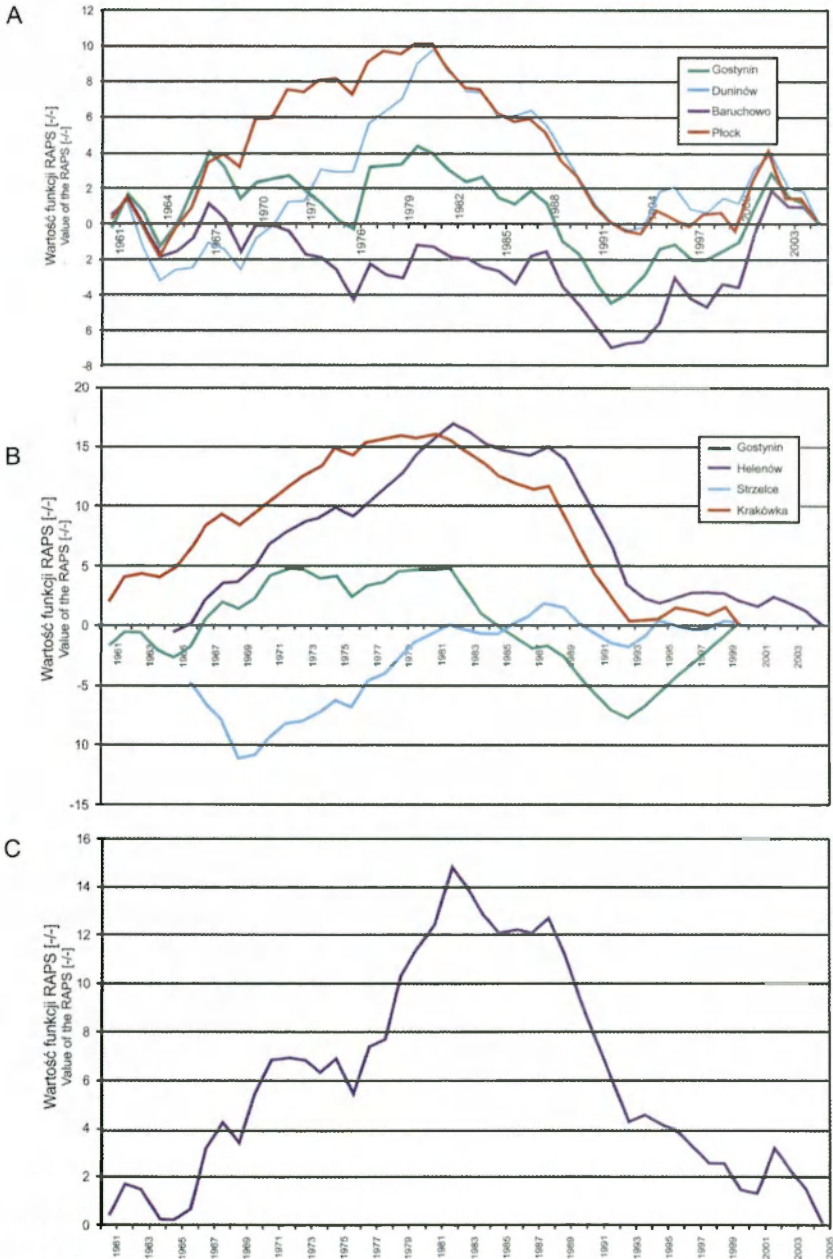
W tabeli 9 zamieszczono miary statystyczne opisujące zmienność średnich charakterystyk miesięcznych przepływu rzecznoego Skrwy Lewej. Uwagę zwracają współczynniki autokorelacji przy przesunięciach 1 i 12 miesięcy. Ich wartości wskazują, iż przepływy miesięczne (wysokie, średnie i niskie) nie mają w pełni losowego charakteru. Podobne wartości uzyskał P. Jokiel (2004) dla dorzeczy Warty, Pilicy i Bzury. Według P. Jokiel, świadczy to o znacznym poziomie retencyjności tych zlewni. Raczej nie dziwią dość wysokie wartości współczynnika autokorelacji z 1-miesięcznym przesunięciem dla przepływów niskich. Zwracają uwagę niemal identyczne i wysokie wartości autokorelacji (1-miesięczne przesunięcie) przepływów średnich, minimalnych i maksymalnych uzyskane dla lat 1983–2005. Znacznemu zmniejszeniu uległy w tym czasie wartości przepływów charakterystycznych oraz ich zmienność wyrażona przez odchylenie standardowe. W drugim okresie zauważalne są również związki autokorelacyjne z przesunięciem 1 roku dla przepływów minimalnych i składowej podziemnej odpływu rzecznoego (patrz też rozdz. 3.4.3.)

Odpływ rzeczny w poszczególnych latach i półroczach odbiega od wartości przeciętnej, wypośredkowanej dla wielolecia. W opracowaniach hydrologicznych kierunek zmian przepływu w wieloleciu charakteryzuje się najczęściej przy pomocy wartości aproksymanty trendu o liniowym równaniu regresji.

W tabeli 10 zamieszczono równania prostych regresji dla wybranych charakterystyk pluwiometrycznych i hydrologicznych, dotyczących dorzecza Skrwy Lewej. Stwierdzono nieistotny na poziomie  $\alpha = 0,05$  ujemny trend w całym wieloleciu dla opadów atmosferycznych na stacjach w Płocku, Gostyninie i Duniowie. Również nieistotny, ale dodatni trend stwierdzono dla stacji Baruchowo. Uwagę zwraca stwierdzenie istotnego ujemnego współczynnika kierunkowego aproksymanty trendu dla ciągów charakterystyk obserwowanych w Kotlinie Płockiej w wieloleciu 1961–2005 (stany wody gruntowej w Helenowie i Krakówce oraz odpływ rzeczny w Klusku i współczynnik odpływu z dorzecza). Stany wody gruntowej na wysoczyźnie wykazują zarówno w okresie A jak i w

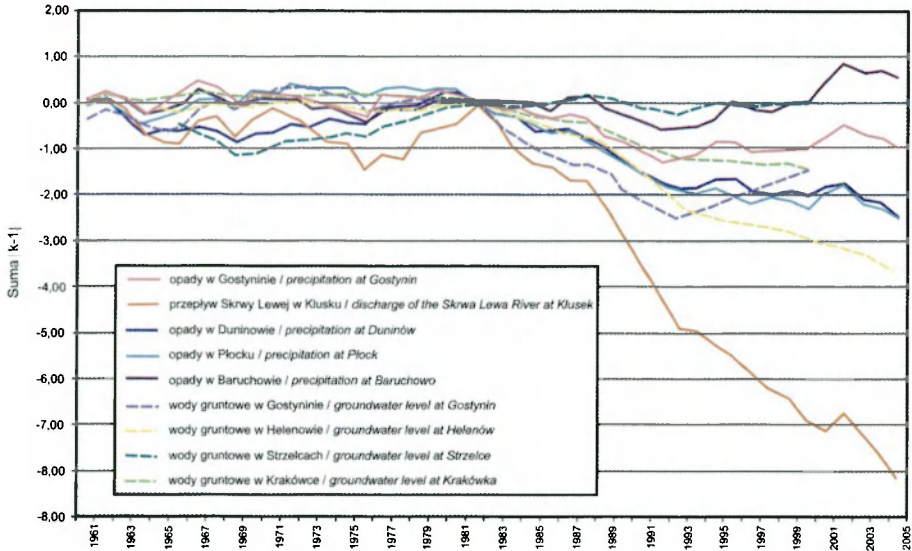
Tabela 10. Równania prostych regresji i ocena istotności trendu ciągów badanych zjawisk hydrologicznych w dorzeczu Skrwy Lewej w okresie 1961–2005

Badana charakterystyka	Okres	Równanie prostej regresji w funkcji czasu t	Współczynnik korelacji r aproksymanty trendu	Test t-Studenta aproksymanty trendu	Ocena istotności trendu
Opad w Gostyninie [mm]	1961–2005	$y = -0,4115t + 648,34$	-0,05	0,31	nieistotny
	1961–1982	$y = -0,9219t + 661,94$	-0,05	0,21	nieistotny
	1983–2005	$y = 3,8193t + 581,11$	0,25	1,17	nieistotny
Opad w Duninowie [mm]	1961–2005	$y = -1,4622t + 732,70$	-0,15	1,00	nieistotny
	1961–1982	$y = 6,3885t + 665,70$	0,31	1,49	nieistotny
	1983–2005	$y = 3,0528t + 624,09$	0,18	0,85	nieistotny
Opad w Baruchowie [mm]	1961–2005	$y = 1,1456t + 614,09$	0,13	0,86	nieistotny
	1961–1982	$y = 0,4717t + 627,08$	0,03	0,13	nieistotny
	1983–2005	$y = 4,3004t + 596,42$	0,24	1,12	nieistotny
Opad w Płocku [mm]	1961–2005	$y = -2,1282t + 693,42$	-0,22	1,50	nieistotny
	1961–1982	$y = -1,8402t + 703,33$	-0,09	0,43	nieistotny
	1983–2005	$y = 4,0857t + 559,39$	0,23	1,11	nieistotny
Stany wody gruntowej w Strzelcach [cm]	1966–2000	$y = 0,7734t - 273,70$	0,22	1,32	nieistotny
	1966–1982	$y = 6,5466t - 314,68$	0,69	3,57	istotny
	1983–2000	$y = 0,2776t - 258,69$	0,08	0,31	nieistotny
Stany wody gruntowej w Gostyninie [cm]	1961–2000	$y = 0,0401t - 150,62$	0,02	0,11	nieistotny
	1961–1982	$y = 0,2416t - 147,34$	0,06	0,27	nieistotny
	1983–2000	$y = 0,4611t - 286,75$	0,84	6,16	istotny
Stany wody gruntowej w Helenowie [cm]	1965–2005	$y = -1,2432t - 233,25$	-0,52	3,79	istotny
	1965–1982	$y = 0,7484t - 249,85$	0,22	0,86	nieistotny
	1983–2005	$y = 0,4611t - 286,75$	0,13	0,61	nieistotny
Stany wody gruntowej w Krakówce [cm]	1961–2000	$y = -0,9801t - 293,71$	-0,58	4,46	istotny
	1961–1982	$y = -0,9125t - 292,23$	-0,44	2,20	istotny
	1983–2000	$y = 0,941t - 336,27$	0,29	1,20	nieistotny
Odpływ z dorzecza Skrwy [mm]	1961–2005	$y = -1,1756t + 128,30$	-0,37	2,61	istotny
	1961–1982	$y = 1,7579t + 103,51$	0,28	1,32	nieistotny
	1983–2005	$y = 0,6308t + 72,21$	0,14	0,65	nieistotny
Współczynnik odpływu [-/-]	1961–2005	$y = -0,0017t + 0,1976$	-0,40	2,86	istotny
	1961–1982	$y = 0,0033t + 0,1519$	0,38	1,87	nieistotny
	1983–2005	$y = -0,0005t + 0,1259$	-0,01	0,01	nieistotny



Ryc. 38. Wartości funkcji RAPS kumulowanych odchyżeń w latach 1961–2005:  
 A. różnic rocznych sum opadów atmosferycznych  
 B. różnic średnich rocznych stanów wód gruntowych  
 C. różnic średnich rocznych przepływów Skrwy Lewej  
 The values of the RAPS function of cumulative deviations of differences in years 1961–2005:  
 A. in annual precipitation totals  
 B. in annual average groundwater levels  
 C. in annual average discharges of the Skrwa Lewa river





Ryc. 39. Krzywe sumowe różnic współczynnika przepływów ( $K_Q-I$ ), opadów ( $K_P-I$ ) i stanów wód gruntowych ( $K_G-I$ ) odniesione do wartości średniej z lat 1961–1982. Summed curves of the differences of discharge ( $K_Q-I$ ), precipitations ( $K_P-I$ ) and groundwater levels ( $K_G-I$ ), related to the 1961–1982 average value

okresie B trend dodatni, z czego istotne na założonym poziomie są ciągi z lat 1966–1982 w Strzelcach i 1983–2000 w Gostyninie.

Przebieg bezwymiarowych krzywych głównych charakterystyk hydrologicznych i pluwiometrycznych przedstawiono na rycinie 38. Wykresy kumulowanych odchylen różnic poszczególnych ciągów, dotyczących dorzecza Skrzy Lewej, są bardzo podobne do przebiegu, zaobserwowanego dla innych zlewni na Niżu Polskim: rzeki Łasicy (Somorowska 2001) i Zagożdżonki (Byczkowski i in. 2001), dla których dysponowano długimi seriami obserwacyjnymi.

Ciągi opadów atmosferycznych w Duninowie i Płocku cechują się wystąpieniem trzech sekwencji:

- sekwencją lat mokrych, w latach 1964–1981;
- sekwencją lat suchych, w latach 1982–1993;
- sekwencją lat mokrych, w latach 1994–2002.

Nieco inny przebieg widać w przypadku posterunków opadowych Baruchowo i Gostynin. Tu można mówić o miarę stabilnej sytuacji do 1980 r., po czym nastąpiła sekwencja lat suchych do 1992 r., a następnie sekwencja lat mokrych do 2002 r.

Ścisły związek z zasilaniem opadami atmosferycznymi znajduje odbicie w wykresie krzywych, dotyczących stanów wód gruntowych. Posterunki zlokalizowane w Kotlinie Płockiej (Helenów i Krakówka) ściśle naśladują sytuację opadową w Płocku i Duninowie. Zmiana sekwencji lat z wysokimi stanami wód

gruntowych na sekwencję lat z pogłębiającymi się niedoborami zasobów wód podziemnych, nastąpiła w 1982 r i trwała do 1993 r. Od 1994 r. mamy do czynienia ze stabilizacją średnich rocznych stanów wód gruntowych. Zupełnie nie nawiązuje do opadów atmosferycznych przebieg funkcji RAPS dla stanów wód gruntowych w Strzelcach, co świadczy o niezależności zasobów wód podziemnych na wysoczyźnie od warunków pluwialnych.

Wartości funkcji kumulowanych różnic średnich rocznych przepływów Skrwy Lewej są analogiczne do innych charakterystyk obserwowanych w Kotlinie Płockiej. Jedyna zaobserwowana różnica w przebiegu krzywych, dotyczy lat 1993–2005. W przypadku opadów mamy w tym okresie tendencję wzrostową, stany wód gruntowych wykazują stabilizację, a przepływy – kontynuację tendencji malejącej (od 1993 r. zmianie uległ jedynie kąt nachylenia przebiegu tej krzywej w stosunku do osi x – por. ryc. 38).

Jeszcze lepiej jest to widoczne przy analizie krzywych sumowych współczynnika przepływu  $K_Q$  odniesionych do średniej z okresu A (Jankowski 1986). Oblicza się go ze wzoru:

$$K_Q = \sum_{t=1}^k \frac{x_t - \bar{x}}{\sigma_x}$$

gdzie  $Q_R$  – średni roczny przepływ,  $SSQ_{1961-1982}$  – średni przepływ z wielolecia 1961–1982.

Taką samą procedurę powtórzono dla współczynnika opadów  $K_p$  i współczynnika stanów wód gruntowych  $K_G$ . Przebieg krzywej  $\Sigma(K-I)$  potwierdza nieproporcjonalnie duże odchylenie krzywej współczynnika przepływu w porównaniu do pozostałych charakterystyk (ryc. 39). Może to wskazywać na antropogeniczne uwarunkowanie.

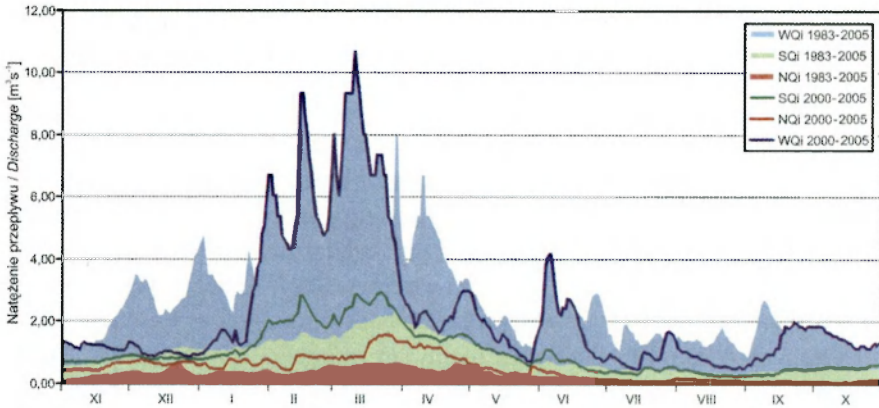
W tabeli 11 zamieszczono związki korelacyjne  $r$  funkcji RAPS analizowanych charakterystyk hydrologicznych i pluwiometrycznych. W odniesieniu do przepływów w Klusku najsilniejszy związek występuje z wahaniami stanów wody gruntowej w Kotlinie Płockiej (posterunki Helenów i Krakówka). Na podobnym poziomie są natomiast związki przepływów Skrwy Lewej z opadami na wszystkich analizowanych stacjach.

Analiza wartości charakterystycznych (średnich i ekstremalnych) przepływu rzeczno wskazuje na ogólne prawidłowości w przebiegu zjawiska. Codzienny hydrogram przepływu rzeki *jest odzwierciedleniem dynamiki tegoż zjawiska, a z punktu widzenia genetycznego, wypadkową krótkookresowych zmian jakościowych i ilościowych, zachodzących w wektorze procesów hydrologicznych determinujących jej zasilanie* (Bartnik, Jokiel 2005, s. 5). Analiza hydrogramu przepływu pozwala na określenie ustroju rzeczno oraz udziału poszczególnych składowych (podziemnej i powierzchniowej) w odpływie.

Tabela 11. Macierz współczynników korelacji  $r$  funkcji RAPS poszczególnych charakterystyk hydrologicznych i pluwiometrycznych dla dorzecza Skrzy Lewej w latach 1961–2005

		Opady atmosferyczne				Stany wód gruntowych				Przepływy
		Gostynin	Duninów	Baruchowo	Płock	Gostynin	Helenów	Strzelce	Krakówka	Klusek
Opady atmosferyczne	Gostynin	X								
	Duninów	0,78	X							
	Baruchowo	0,83	0,72	X						
	Płock	0,80	0,86	0,71	X					
Stany wód gruntowych	Gostynin	0,53	0,48	0,48	0,56	X				
	Helenów	0,28	0,50	0,30	0,45	0,64	X			
	Strzelce	0,15	0,44	0,24	0,11	0,16	0,24	X		
	Krakówka	0,53	0,60	0,51	0,69	0,57	0,78	0,17	X	
Przepływy	Klusek	0,52	0,56	0,50	0,56	0,63	0,81	0,31	0,70	X
		Związek bardzo mocny		Związek mocny		Związek słaby		Związek bardzo słaby		Związku praktycznie nie uwzględnia się

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW



Ryc. 40. Przeciętne hydrogramy przepływów średnich i ekstremalnych Skrwy Lewej w Klusku w latach 2000–2005 na tle ich odpowiedników dla lat 1983–2005  
The hydrographs of average and extreme discharge of the Skrwa Lewa river at Klusek 2000–2005 against their counterparts in 1983–2005

Podstawą do szczegółowej analizy zmienności przepływu rzecznego, był zbiór przepływów dobowych, uszeregowany w postaci macierzy o wymiarach  $31 \times 365$ :

$$\begin{array}{ccccc}
 Q_{1,1} & Q_{1,2} & Q_{1,3} & \dots & Q_{1,365} \\
 Q_{2,1} & Q_{2,2} & Q_{2,3} & \dots & Q_{2,365} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 Q_{45,1} & Q_{45,2} & Q_{45,3} & \dots & Q_{45,365}
 \end{array}$$

Ze względów metodycznych z serii tej usunięto dane z 29 lutego. Podobnie postąpili A. Bartnik i P. Jokiel (2005).

Zaprezentowane na rycinie 40 hydrogramy, przedstawiają uśredniony rozkład przepływów dobowych Skrwy Lewej w Klusku ( $SQ_i$ ) w okresie 1983–2005 oraz wybrane z tego okresu ekstrema z poszczególnych dni (minima –  $NQ_i$  i maksima  $WQ_i$ ). Na tym tle przedstawiono przebieg tych samych charakterystyk dla okresu, w którym prowadzono badania terenowe w dorzeczu Skrwy Lewej (2000–2005). Z przeciętnego rocznego hydrogramu wynika, że średnie wieloletnie przepływy dobowe powyżej  $SSQ$  dla tego okresu, występują przez 154 dni w roku, od 15 grudnia do 17 maja. Z kolei przepływy  $SQ_i \geq WSQ$  występują tylko przez 19 dni, od 16 marca do 3 kwietnia, podczas gdy przepływy  $SQ_i \leq NSQ$  występują średnio przez 46 dni (od 2 sierpnia do 16 września). W latach 2000–2005 średnie i minimalne przepływy dobowe były zbliżone do  $SQ_i$  z okresu 1983–2005 z wyjątkiem lutego i marca. Wyższe wartości przepływu spowodowane były wezbraniem w 2002 r.

Warte podkreślenia jest, że podczas prowadzenia badań terenowych (lata: 2000–2005) wystąpiły najwyższe w całym okresie B (1983–2005) przepływy (WQ) dla miesięcy: luty, marzec i czerwiec.

### 3.4.2. WEZBRANIA I NIŻÓWKI

Analiza hydrogramów przepływów uwidacznia ich dwie główne składowe: fazę przyboru i fazę niedoboru wody w rzece. W regularnym cyklu hydrologicznym na wiośnię rzeki nizinne w Polsce są najbardziej zasobne w wodę, a latem i jesienią występują okresy o najniższych przepływach. W sytuacji gdy czynniki klimatyczne wywołują ekstremalne, wykraczające poza regularny cykl sytuacje hydrologiczne w zlewni – wówczas mamy do czynienia z wezbraniem, bądź niżówkami (por. definicje w rozdz. 1.3.).

W analizie hydrologicznej zjawisk ekstremalnych przyjmuje się najczęściej umowne kryteria. Wyznacza się niżówki i wezbrania przy pomocy założonych przepływów granicznych, odcinających niżówki i wezbrania na hydrogramach dobowych przepływów.

Tabela 12. Przepływy graniczne wezbrań i niżówek na rzece Skrwie Lewej w przekroju Klusek

Przepływ graniczny	Półrocze zimowe		Półrocze letnie	
	wezbrania	SWQ <sub>(XI-IV)</sub>	5,16 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	SWQ <sub>(V-X)</sub>
niżówki	SNQ <sub>(XI-IV)</sub>	0,60 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	SNQ <sub>(V-X)</sub>	0,32 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>

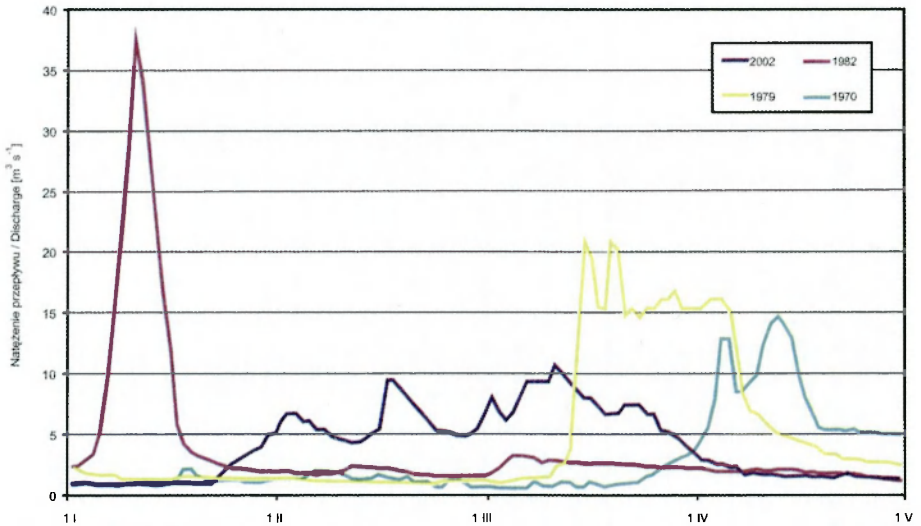
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW

W związku z chęcią porównania odpływu rzecznej Skrwy Lewej w dwóch wydzielonych wcześniej okresach A (lata 1961–1982) i B (lata 1983–2005), konieczne było przyjęcie jednakowych wartości progowych (przepływów granicznych  $Q_G$ ) dla całego wielolecia 1961–2005. Wartości liczbowe  $Q_G$  dla Skrwy Lewej w Klusku zamieszczono w tabeli 12. Genetyczne podejście do analizy sytuacji ekstremalnych spowodowało, że wartości graniczne półrocza letniego są o połowę niższe niż w półroczu zimowym. Przyjęcie genetycznego rozróżnienia wezbrań i niżówek, a co za tym idzie – różnych przepływów granicznych w półroczu letnim i zimowym, wiąże się z problemem rozróżnienia i zakwalifikowania zjawiska ekstremalnego na granicznych odcinkach hydrogramów (koniec półrocza zimowego/początek półrocza letniego oraz koniec półrocza letniego/początek półrocza zimowego). W takich sytuacjach, każdy przypadek wezbrania i niżówki rozpatrywano indywidualnie i przy klasyfikacji zdarzenia opierano się na szczegółowej analizie konkretnej sytuacji hydrologicznej dorzecza. W efekcie wezbrania półrocza letniego nie zawsze rozpoczynają się od 1 maja (granica pomiędzy półroczami), ale mogą się rozpocząć w kwietniu, np. wezbranie letnie z roku 1967, 1999a, 2001 (tab. 13). Również niżówki letnie w kilku sytuacjach „przeciągnęły” się na listopad (zdarzenia z lat: 1989b, 1990, 1991, 1992, 1993b, 2005 – por. tab. 14).

Tabela 13. Parametry wezbrań w dorzeczu Skrwy Lewej (zieloną przerywaną linią oddzielono zdarzenia z okresu A i okresu B)

	L.p.	Rok	Data początku wezbrania	Data końca wezbrania	Czas trwania wezbrania [dni]	Średnie natężenie przepływu wezbrania [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Maksymalne natężenie przepływu wezbrania [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Objętość wezbrani tys. m <sup>3</sup>
Wizbiana z mowe	1	1967a	07.II.	11.II.	5	6,32	7,81	502
	2	1967b	26.II.	09.III.	10	5,46	5,58	256
	3	1970	02.IV.	26.IV.	25	8,67	14,70	7 548
	4	1979	14.III.	11.IV.	29	14,40	20,80	23 162
	5	1981	13.III.	17.III.	5	6,42	7,12	543
	6	1982	05.I.	16.I.	12	19,66	37,40	15 032
	7	1994	08.IV.	14.IV.	7	5,76	6,72	360
	8	2002	31.I.	27.III.	45	7,29	10,70	8 263
	Średnia	1961-1982	25.II.	11.III.	14	10,15	15,57	7 840
	1983-2005	02.III.	05.IV.	26	6,52	8,71	4 311	
Wizbrata lene	1	1962	16.V.	16.VI.	32	5,00	9,30	7 216
	2	1967	29.IV.	08.V.	10	2,53	2,61	118
	3	1970	03.V.	29.V.	27	4,88	11,70	5 810
	4	1977a	22.V.	06.VI.	16	4,02	5,91	2 255
	5	1977b	09.VIII.	02.X.	47	3,13	4,27	3 023
	6	1980	17.VI.	30.VII.	44	3,21	3,79	3 135
	7	1982	12.V.	25.V.	14	4,12	5,84	2 093
	8	1996	01.V.	07.V.	7	2,46	2,54	43
	9	1999a	21.IV.	05.V.	15	2,99	3,41	784
	10	1999b	24.VI.	29.VI.	6	2,79	2,92	205
	11	2001	25.IV.	03.V.	9	2,83	3,01	341
	12	2002	04.VI.	17.VI.	12	3,09	4,20	723
	Średnia	1961-1982	29.V.	25.VI.	27	3,84	6,20	3 379
	1983-2005	15.V.	25.V.	10	2,83	3,22	419	

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW

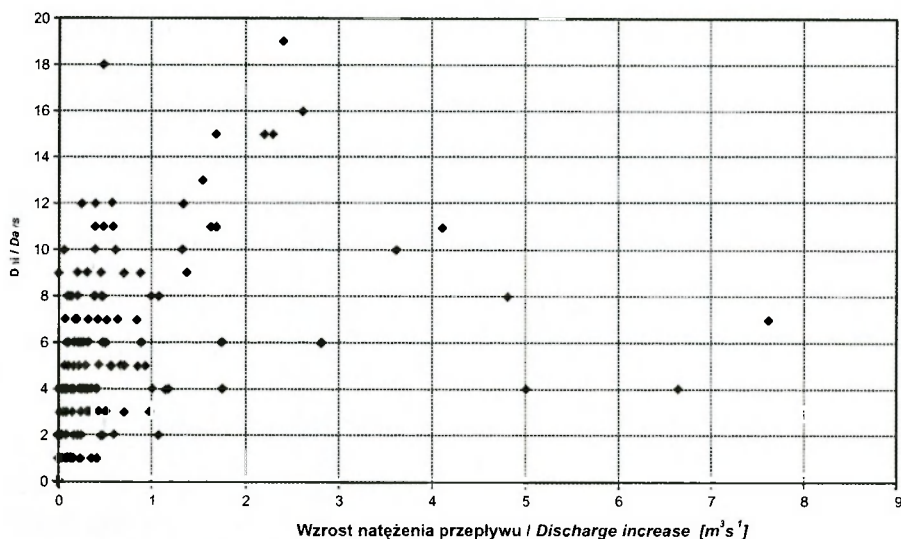


Ryc. 41. Przebieg wybranych fal wezbraniowych półrocza zimowego na Skrwie Lewej w Klusku

Selected flood waves in the winter half-year on the Skrwa Lewa river at Klusko.

Na podstawie przepływów granicznych i założeń przedstawionych przy definicjach wezbrania i niżówki (por. rozdz. 1.3.), określono parametry wszystkich wezbrań i niżówek na Skrwie Lewej w Klusku. Zostały one zamieszczone w tabelach 13 i 14. W latach 1961–2005 wyróżniono 8 wezbrań zimowych. W większości (4 przypadki: 1970, 1979, 1981 i 1994) miały one miejsce na przełomie marca i kwietnia, i wiązały się z wiosennymi odwilżami. Największe tego typu wezbranie, miało miejsce w 1979 r. (ryc. 41) Spowodowane było gwałtownym topnieniem pokrywy śnieżnej, której grubość przekraczała 30 cm. W ciągu 2 tygodni przepływy dobowe Skrwy Lewej wzrosły z ok.  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  do ponad  $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Podczas tego wezbrania zniszczeniu uległy urządzenia piętrzące zbiornika Soczewka, w konsekwencji czego nastąpiło jego katastrofalne spłynięcie (patrz rozdz. 4.2.).

Drugi typ wezbrań zimowych jest związany z krótkotrwałymi okresami odwilży w środku sezonu zimowego. Jeśli nagromadzona w okresie poprzedzającym pokrywa śnieżna ulega szybkiemu stopnieniu, formuje się spływ powierzchniowy po przemarzniętej powierzchni terenu. Sytuacja taka miała miejsce w styczniu 1982 r. (ryc. 41). Trwające 7 dni ocieplenie i towarzyszące mu opady atmosferyczne (nie skorygowana suma w dniach 31 grudnia – 6 stycznia wyniosła w Gostyninie 24,6 mm, a w Płocku 24,8 mm) spowodowały szybkie stopnienie ponad 30 cm warstwy śniegu. W wyniku tego w Skrwie Lewej wystąpił maksymalny z zaobserwowanych dotychczas przepływów, szacowany na  $37,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .



Ryc. 42. Czas i wielkość reakcji odpływu rzecznej Skrwy Lewej w Klusku na opad atmosferyczny ( $P > 20$  mm) w Gostyninie w latach 1961–2005

The time and volume of river discharge responses of the Skrwa Lewa river at Klusek after precipitation ( $P > 20$  mm) in Gostynin: 1961–2005

Najdłużej trwające wezbranie wystąpiło w 2002 r. Początkowo podwyższenie przepływów spowodowane było tajaniem śniegu, po czym wystąpiły kilkudniowe serie obfitych opadów deszczu. W efekcie, wezbranie to trwało 45 dni i zaznażyło się wystąpieniem 5 kulminacji (ryc. 41).

Przyczyną wezbrań letnich są deszcze nawalne, wywołane zazwyczaj przez lokalne burze termiczne, oraz deszcze występujące w strefie frontów atmosferycznych. Oprócz wystąpienia czynnika opadowego, ważny jest aktualny stan retencyjny zlewni (por. Gutry-Korycka i in. 2003). Wysokie sumy opadów dobowych, w zależności od tego stanu, mogą spowodować wezbranie lub jedynie „delikatnie” zaznaczyć się na hydrogramie przepływów.

Przeanalizowano reakcję wielkości przepływu na opad ulewny i nawalny, którego suma dobowa przekraczała 20 mm. Wzrost natężenia przepływu  $wQ$  wywołanego opadem atmosferycznym obliczono ze wzoru:

$$wQ = Q_{max} - Q_{docz}$$

gdzie:  $wQ$  – wzrost natężenia przepływu [ $m^3 s^{-1}$ ],  $Q_{max}$  – maksymalny przepływ wywołany opadem atmosferycznym [ $m^3 s^{-1}$ ],  $Q_{docz}$  – przepływ w dniu poprzedzającym wystąpienie opadu atmosferycznego [ $m^3 s^{-1}$ ].

W Gostyninie w latach 1961–2005 wystąpiło 128 dni z sumą dobową opadu deszczu większą od 20 mm. Określono czas i wielkość reakcji przepływu w Skrwie Lewej w wyniku takiego opadu. W połowie przypadków czas osiągnięcia przepływu maksymalnego po opadzie był mniejszy niż 5 dni. Nie ma jednak zależności pomiędzy wielkością opadu a wzrostem natężenia przepływu i czasem



reakcji zlewni na opad w formie zwiększonego odpływu rzeczno (ryc. 42). Może to świadczyć o dużych zdolnościach retencyjnych dorzecza Skrwy Lewej. Jako przykład można podać sytuację z lipca 1966 r., gdy suma opadu dobowego miała rekordową w analizowanym okresie wartość: 98,6 mm. W reakcji – dobowe wartości natężenia przepływu wzrosły o zaledwie  $0,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  w ciągu 8 dni.

Największą zależność pomiędzy opadem  $p > 20$  mm a wzrostem natężenia przepływu w Skrwie Lewej stwierdzono dla miesięcy: kwietnia i maja (ryc. 43). W miesiącach tych dopiero rozpoczynał się okres wegetacyjny, a gleba była zazwyczaj mocno nasycona wilgocią po okresie odwilży, bądź była jeszcze przemarznięta. Stwarzało to korzystne warunki do formowania się odpływu powierzchniowego.

Wezbrania letnie w dorzeczu Skrwy Lewej można zaliczyć do dwóch grup. Do pierwszej należą wezbrania z przełomu kwietnia i maja (przypadki z 1967, 1970 i 1996). Na znajdującą się już w fazie recesyjnej falę wezbrania roztopowego nałożyły się fale wygenerowane opadami deszczu (ryc. 44). W drugiej grupie znajdują się wezbrania z lipca i sierpnia. Niemal wszystkie spowodowały opady z sumą dobową przekraczającą 30 mm (np. zdarzenie z 1977b i 1980 r.).

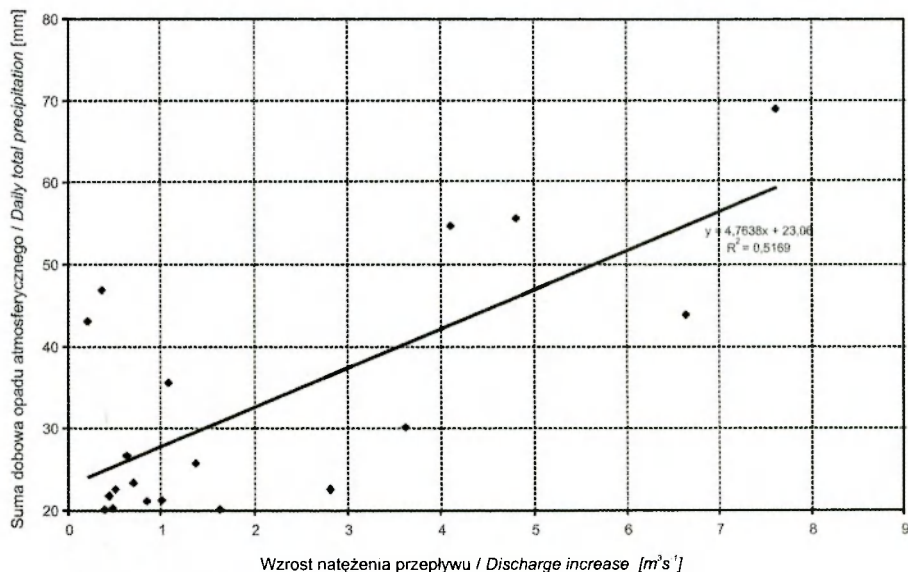
Obniżone od ogólnie przyjętych w literaturze wartości  $Q_G$  nie zapobiegły wydzieleniu bardzo dużej ilości niżówek (tab. 14). W literaturze hydrologicznej najczęściej przyjmowaną wartością graniczną dla niżówki jest  $WNQ$  lub średnia arytmetyczna z  $NSQ$  i  $WNQ$ . Gdyby na takim poziomie przyjąć wartości progowe dla Skrwy Lewej – ich ogólna liczba byłaby jeszcze wyższa, zwłaszcza w okresie B, a opisujące je parametry jeszcze większe. Zwraca uwagę duża dysproporcja pomiędzy występowaniem niżówek w analizowanych okresach. Wydzielono aż 24 niżówki zimowe w okresie B, przy zaledwie 5 w okresie A. Podobna sytuacja dotyczy półrocza letniego, gdzie wydzielono 4-krotnie więcej niżówek w drugim okresie. Świadczy to dobitnie o skali suszy hydrologicznej, jaka miała miejsce na początku lat 90. XX wieku.

Stwierdzono dużą zależność pojawiania się niżówek po sezonie bez wezbrania. W całym 45-leciu wystąpiły tylko dwa lata (1994 i 2002), w których po wezbraniu zimowym wystąpiła letnia niżówka (ryc. 45). Również okoliczność wystąpienia wezbrania letniego (znacznie mniej zasobnego w wodę), niweluje szansę na pojawianie się niżówki zimowej. Tylko w 3 przypadkach (zima: 1982/83, 1996/97 i 1999/2000) nie zapobiegło to pojawieniu się niżówki.

Porównanie wyników zamieszczonych w tabelach 13 i 14 wykazało zakres zmian w formowaniu się odpływu rzeczno z dorzecza Skrwy Lewej. Modyfikacja dotyczy przede wszystkim półrocza letniego. Wskazują na to modelowe parametry wezbrań i niżówek (ryc. 46). W latach 1983–2005 fale wezbraniowe formowały się średnio 2 tygodnie wcześniej niż w okresie A. Znacznemu zmniejszeniu uległy: wysokość przepływu kulminacyjnego (2-krotnie) i jego czas trwania (3-krotnie). Nie pozostało to bez konsekwencji podczas sezonu wegetacyjnego. Niżówki letnie zaczęły się pojawiać trzy tygodnie wcześniej

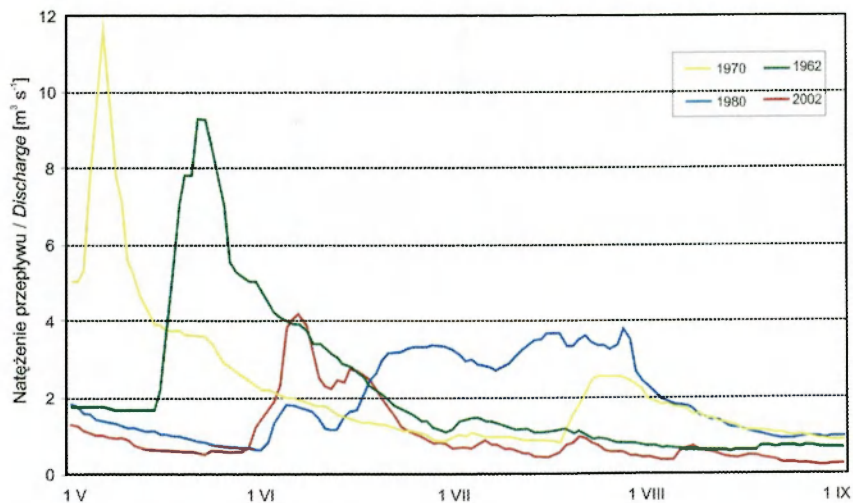
Tabela 14. Parametry niszówek w dorzeczu Skrzy Lewej (zieloną przerywaną linią oddzielono zdarzenia z okresu A i okresu B)

	L.p.	Rok	Data początku niszówki	Data końca niszówki	Czas trwania niszówki [dni]	Średnie natężenie przepływu niszówki [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Minimalne natężenie przepływu niszówki [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Niedobór wody podczas niszówki [tys. m <sup>3</sup> ]
Niszówki zimowe	1	1964	01.XI.	20.XI.	20	0,48	0,36	206
	2	1965	01.XI.	23.XI.	23	0,46	0,33	284
	3	1969	15.I.	30.I.	16	0,58	0,53	33
	4	1970	01.XI.	25.XI.	25	0,56	0,50	96
	5	1976	01.XI.	18.XI.	18	0,54	0,52	93
	6	1983	01.XI.	06.XII.	29	0,56	0,49	122
	7	1984	01.XI.	22.XII.	52	0,47	0,35	581
	8	1985	06.I.	26.I.	21	0,44	0,38	288
	9	1986	16.II.	28.II.	13	0,56	0,55	40
	10	1987a	01.XI.	04.XII.	28	0,55	0,45	113
	11	1987b	06.I.	04.II.	30	0,49	0,42	273
	12	1989	01.XI.	28.XI.	28	0,49	0,35	256
	13	1990a	13.XI.	14.XII.	28	0,45	0,34	365
	14	1990b	04.I.	15.I.	12	0,53	0,44	68
	15	1990c	04.IV.	24.IV.	21	0,49	0,41	194
	16	1991	21.I.	26.III.	36	0,45	0,30	456
	17	1992a	13.XI.	20.XII.	38	0,42	0,33	575
	18	1992b	18.I.	05.II.	19	0,42	0,35	291
	19	1993a	27.XI.	13.I.	38	0,45	0,31	487
	20	1993b	01.III.	15.III.	15	0,57	0,54	34
	21	1994	22.XI.	03.XII.	12	0,54	0,48	65
	22	1995	01.XI.	19.XI.	16	0,52	0,45	117
	23	1996	30.XII.	19.II.	41	0,50	0,42	372
	24	1997	25.XII.	08.II.	36	0,46	0,27	432
	25	1998	01.XI.	13.XI.	13	0,55	0,50	54
	26	1999	02.XII.	12.XII.	11	0,47	0,40	124
	27	2000	01.XI.	19.XI.	19	0,51	0,40	147
	28	2004	01.XI.	18.XI.	18	0,48	0,48	218
	29	2005	01.XI.	22.XI.	22	0,45	0,38	279
Średnia	1961-1982	16.XI.	05.XII.	20	0,52	0,45	142	
	1983-2005	11.XII.	07.I.	25	0,49	0,41	248	
Niszówki letnie	1	1963	12.VIII.	24.VIII.	13	0,26	0,17	72
	2	1964	11.VII.	23.VII.	13	0,28	0,28	45
	3	1969a	03.VIII.	21.VIII.	19	0,26	0,22	96
	4	1969b	12.IX.	25.IX.	14	0,28	0,26	50
	5	1975	01.IX.	12.X.	42	0,31	0,29	40
	6	1976	30.VI.	15.X.	108	0,23	0,19	880
	7	1983	06.VII.	30.X.	104	0,23	0,15	807
	8	1984	11.VIII.	18.IX.	39	0,27	0,23	181
	9	1988	16.VIII.	29.VIII.	14	0,31	0,28	14
	10	1989a	26.V.	04.VI.	10	0,29	0,28	22
	11	1989b	26.VI.	12.XI.	139	0,20	0,13	1 444
	12	1990	23.V.	16.XI.	178	0,22	0,11	1 495
	13	1991	04.VII.	12.XI.	132	0,18	0,10	1 640
	14	1992	01.VI.	26.XI.	179	0,16	0,05	2 410
	15	1993a	13.V.	26.IX.	136	0,21	0,12	1 327
	16	1993b	19.X.	16.XI.	29	0,16	0,11	411
	17	1994	16.VII.	07.X.	84	0,22	0,06	746
	18	1995	08.VII.	31.VIII.	55	0,17	0,10	694
	19	1997	20.IX.	30.IX.	11	0,32	0,32	0
	20	1998	11.VII.	24.X.	99	0,24	0,18	642
	21	1999	01.VIII.	08.X.	69	0,23	0,17	562
	22	2000	11.VI.	11.VII.	31	0,20	0,14	333
	23	2002	21.VIII.	15.IX.	21	0,28	0,23	66
	24	2003	10.VI.	12.X.	124	0,21	0,13	1 217
	25	2004	29.VII.	17.X.	80	0,19	0,09	915
	26	2005	14.VI.	?	(140)	0,11	0,05	(2 516)
Średnia	1961-1982	06.VIII.	09.IX.	34	0,27	0,23	197	
	1983-2005	12.VII.	04.X.	84	0,22	0,15	872	



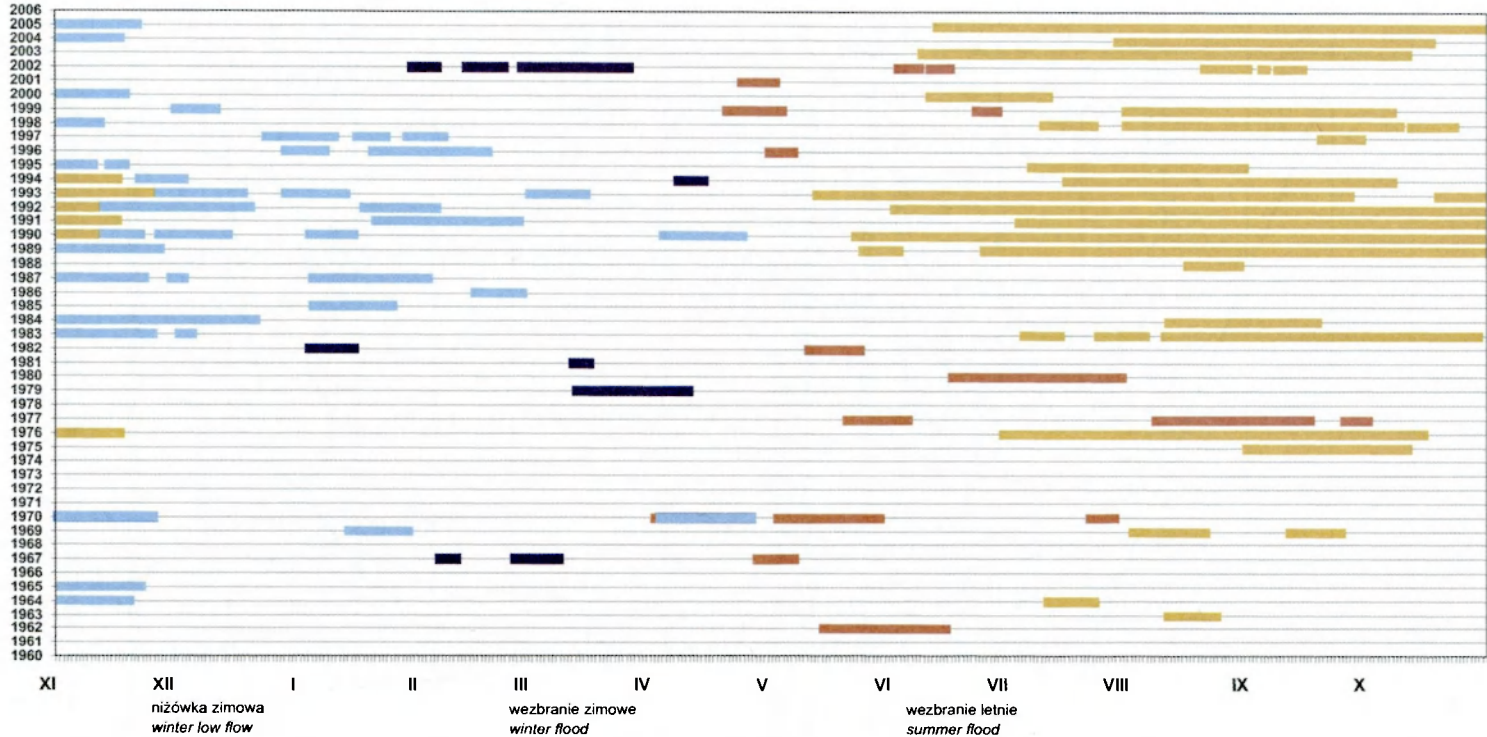
Ryc. 43. Reakcja wielkości przepływu Skrwy Lewej w Klusku na sumę dobową opadu atmosferycznego  $P > 20$  mm w Gostyninie w miesiącach kwietniu i maju wielolecia 1961–2005

Discharge responses on the Skrwa Lewa river at Klusek with a daily precipitation total  $P > 20$  mm in Gostynin during Aprils and Mays: 1961–2005

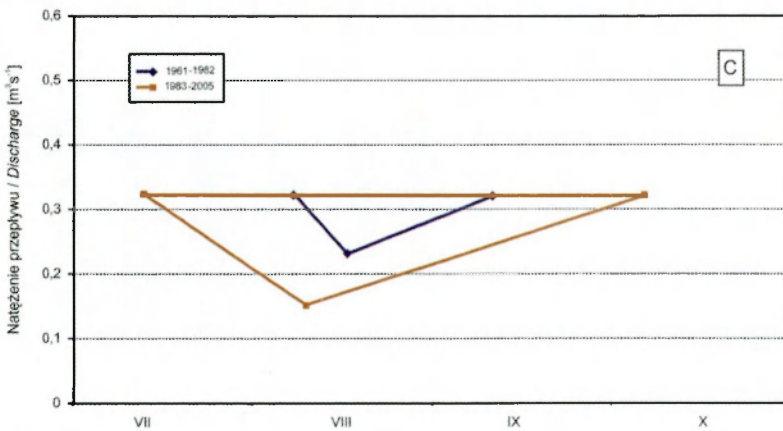
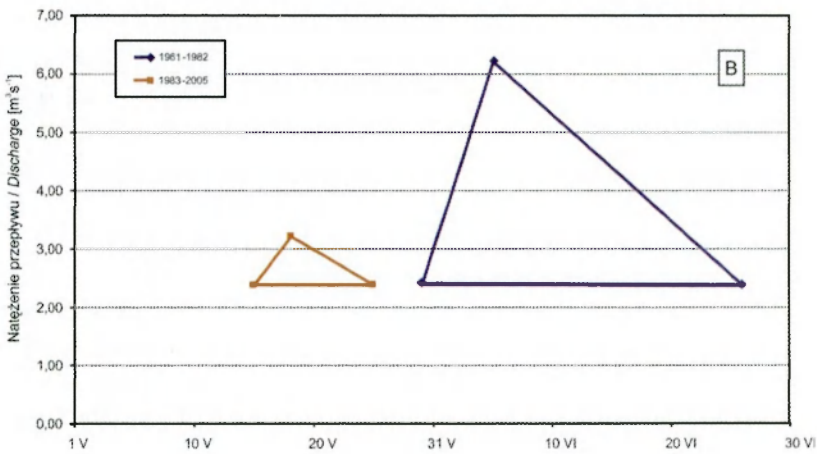
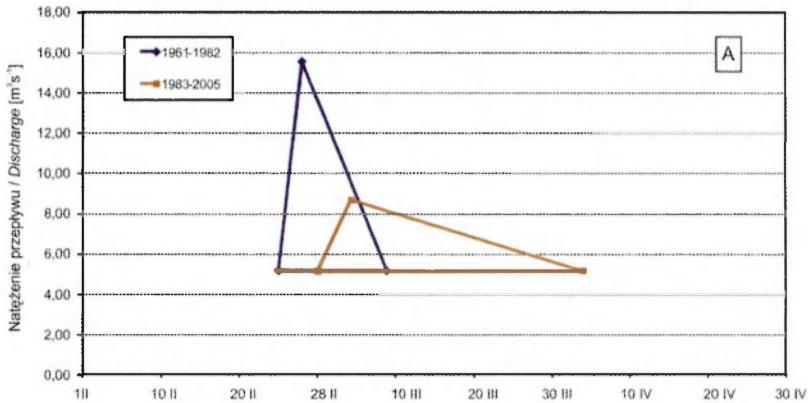


Ryc. 44. Przebieg wybranych fal wezbraniowych półrocza letniego na Skrwie Lewej w Klusku

Selected flood waves in the summer half-year on the Skrwa Lewa river at Klusek



Ryc. 45. Czas trwania niżówek i wezbrań w Skrwie Lewej w wieloleciu 1961–2005  
Duration of low flows and floods in the Skrwa Lewa river: 1961–2005



Ryc. 46. Modelowe parametry fali wezbraniowej półrocza zimowego (A) i półrocza letniego (B) oraz niżówki półrocza letniego (C) na Skrwie Lewej w Klusku  
 Model parameters of the flood wave in the winter half-year (A), summer half-year (B) and low flows in the summer half-year (C) on the Skrwia Lewa river at Klusko

i trwały aż do początku października, a więc około miesiąca dłużej, niż średnio w latach 1961–1982.

Jedyna zauważalna zmiana w przebiegu niżówek zimowych dotyczy terminów występowania. W okresie B pojawiały się one z opóźnieniem około 1 miesiąca, przy czym ich średnie parametry były niemal identyczne. Z kolei porównanie modeli wezbrania zimowego jest trudne do obiektywnej oceny, gdyż w okresie B tylko dwa przypadki decydowały o kształcie modelu fali.

### 3.4.3. STRUKTURA ODPIYU RZECZNEGO

Odzwierciedleniem zmian sposobu zasilania rzeki w wodę jest przebieg krzywej hydrogramu. Okresy występowania długotrwałych opadów oraz tajania pokrywy śnieżnej, powodują zwiększenie dostawy wody do sieci rzecznej i zaznaczają się na hydrogramie tendencją wzrostową krzywej przepływu. Przyjmuje się, że jest to efekt splywu powierzchniowego i podpowierzchniowego (śródpokrywowego). Uzupełniają one tę część wody w korycie, która pochodzi z zasilania podziemnego. W okresach bezopadowych i bez roztopów, całkowita ilość wody w rzece pochodzi z zasilania podziemnego.

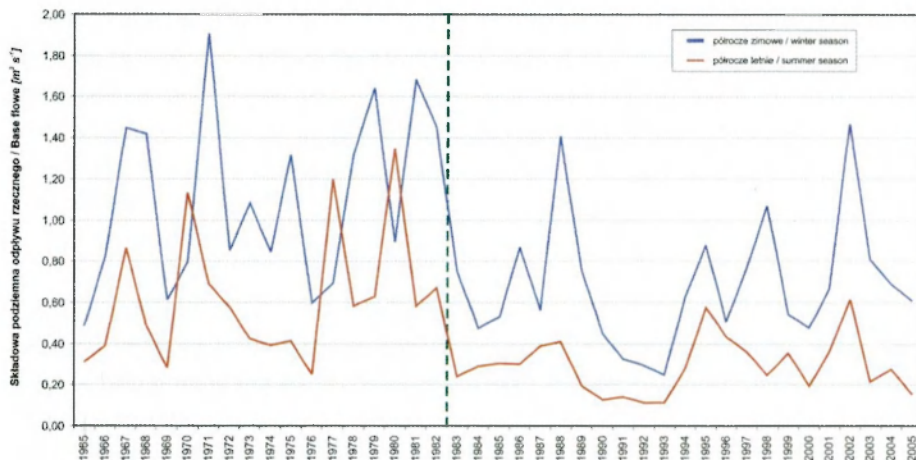
Jedną z najprostszych metod rachunkowych określenia udziału zasilania podziemnego w odpływie rzeczonym jest **metoda Wundta**. Zakłada ona, że średnia wieloletnia wielkość odpływu podziemnego ( $SSQ_{pod}$ ) jest równa wartości średniej arytmetycznej z minimalnych przepływów miesięcznych rzeki ( $NQ$ ). W związku z tym, że w okresach podwyższonych odpływów, nawet minima miesięczne zawierają pewną ilość wód pochodzących z drenowania strefy aeracji (Bartnik, Jokiel 2000; s. 56), w **metodzie Killego**  $SSQ_{pod}$  jest utożsamiane z medianą niskich przepływów miesięcznych. Wyniki uzyskane wyżej wzmienionymi metodami zostały zamieszczone w tabeli 15.

Tabela 15. Udział zasilania podziemnego w odpływie rzeczonym Skrwy Lewej w Klusku w okresie 1961–2005

Metoda badawcza	1961–1982			1983–2005		
	Przepływ podziemny [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Odpływ jednostkowy [dm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	% odpływu całkowitego	Przepływ podziemny [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Odpływ jednostkowy [dm <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> km <sup>2</sup> ]	% odpływu całkowitego
Metoda Wundta	0,95	2,56	65	0,59	1,59	63
Metoda Killego	0,82	2,21	56	0,48	1,29	51
Metoda Klinera i Knezeka	0,86*	2,32*	57*	0,49	1,32	52

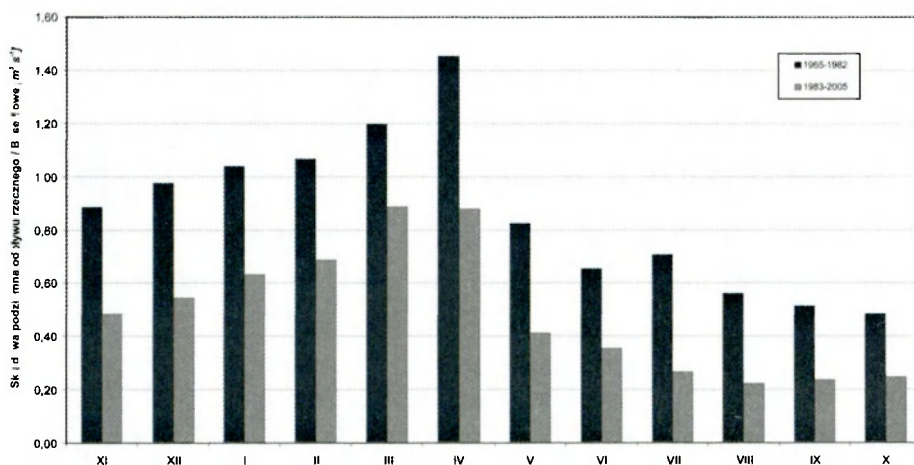
\*lata 1965–1982. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW

Wadą metod Wundta i Killego jest to, że wielkość odpływu podziemnego obliczyć można tylko w odniesieniu do wielolecia, natomiast nie jest to możliwe w odniesieniu do poszczególnych okresów czy lat (Chełmicki 2003). W związku



Ryc. 47. Wieloletnia zmienność składowej podziemnej odpływu rzecznoego Skrwki Lewej w Klusku w półroczu zimowym i letnim (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)

Long-term variability of the base flow in the Skrwka Lewa river discharge at Klusko in winter and summer half-years (a green broken line separates the periods A and B)



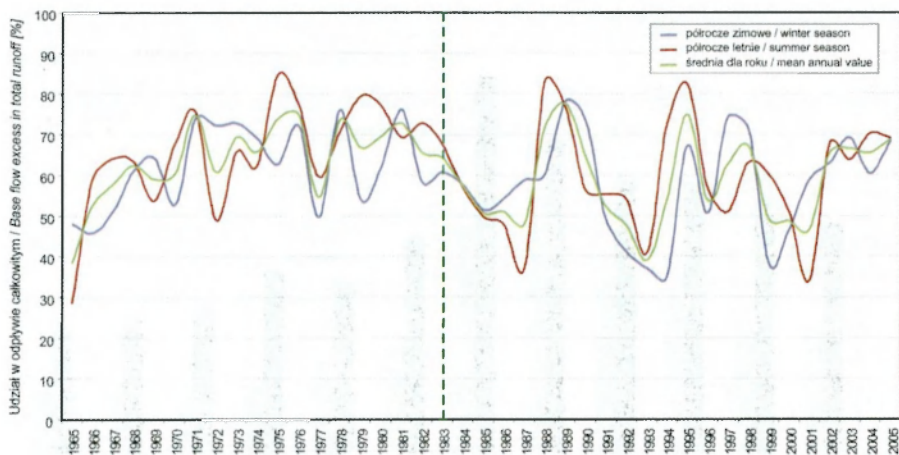
Ryc. 48. Średnie miesięczne składowej podziemnej odpływu rzecznoego Skrwki Lewej w Klusku w latach 1965–2005 uzyskane wg metody Kliniera i Knezeka (1974)

The monthly average base flow in the discharge of the Skrwka Lewa river at Klusko in 1965–2005 – obtained by the Klinier & Knezek method (1974)

tym zastosowano metodę opracowaną przez K. Klinera i M. Knezeka (1974). Jak przedstawiono w tabeli 11, istnieje mocny związek korelacyjny  $r$  pomiędzy przepływem rzeczny w Klusku i stanami wody gruntowej w Helenowie. Oba posterunki obserwacyjne są położone w Kotlinie Płockiej i oddalone od siebie o ok. 4 km (ryc. 2). Autor nie dysponował wynikami codziennych obserwacji stanów wody gruntowej, jak zalecają K. Klinier i M. Knezek. Wykorzystano więc cotygodniowe wartości tej charakterystyki i odpowiadające im terminowo przepływy w Skrwie Lewej.

Średnie wartości przepływu pochodzenia podziemnego, uzyskane wg metody Klinera i Knezeka dla całego wielolecia, dały wynik niemal identyczny, jak obliczony wg metody Killego (tab. 15). W porównaniu do średniego modułu odpływu podziemnego dla Polski (Bartnik, Jokieli 2000), wynoszącego  $3,5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  (wg metody Killego) i  $4,0 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  (wg metody Wundta), uzyskane wyniki dla dorzecza Skrwy Lewej są o ok. 1/3 niższe. Podobne wartości podziemnego odpływu jednostkowego dla tego obszaru uzyskał P. Jokieli (2004). Nieco niższy jest według niego udział składowej podziemnej w odpływie całkowitym: 45–50%.

Wyraźnie widoczna jest różnica w wielkości odpływu podziemnego pomiędzy wyróżnionymi okresami A i B (ryc. 47). W latach 1983–2005 nastąpiło zmniejszenie średniej wartości odpływu podziemnego o 38–44% w porównaniu do okresu 1961–1982. Zmiana ta dotyczy przede wszystkim półrocza letniego (ryc. 48). W lipcu i sierpniu odpływ podziemny zmniejszył się do poziomu 40% wartości notowanych średnio w okresie 1965–1982, podczas gdy w marcu (najwyższe wartości przepływu podziemnego) osiągnął 75% średniej z okresu A.



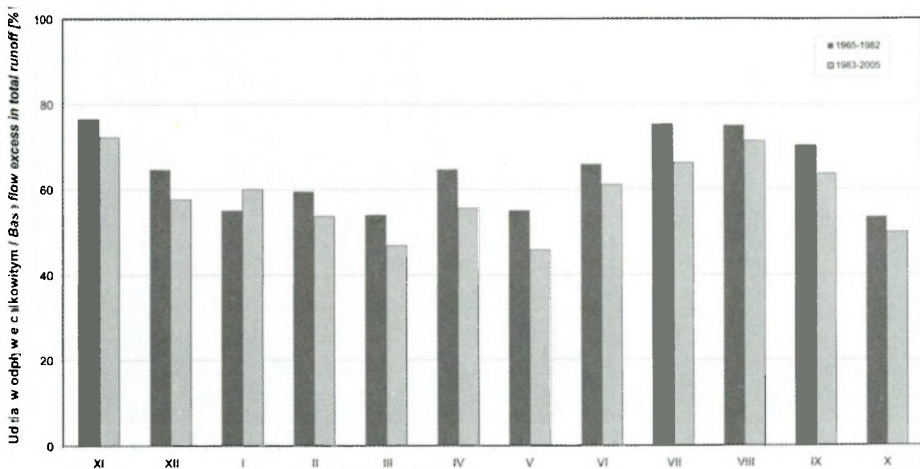
Ryc. 49. Wieloletnia zmienność udziału zasilania podziemnego w odpływie całkowitym Skrwy Lewej w Klusku (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)

Long-term variability of the base flow in the total discharge of the Skrwia Lewa river at Klusko. (a green broken line separates the periods A and B).



Można by sądzić, że tak znaczne zmniejszenie wartości odpływu rzecznego w okresie B (rozdz. 3.4.1., tab. 8), wiązało się ze zwiększeniem udziału składowej podziemnej w odpływie całkowitym. W przebiegu wieloletniej takiej zmiany nie widać (ryc. 49). Można stwierdzić jedynie zwiększenie amplitudy wahań, głównie w półroczu letnim. Okazuje się, że miała miejsce sytuacja odwrotna. Nastąpił minimalny spadek udziału procentowego tej składowej od 2% (wg metody Wundta) do 5% (wg metody Killego oraz metody Klinera i Knezeka). Spadek ten jest zauważalny bez względu na porę roku, w każdym miesiącu oprócz stycznia (ryc. 50). Najmniejszy spadek udziału składowej podziemnej odpływu miał miejsce w sierpniu i październiku (średnio o 3,5%), a największy w kwietniu, maju i lipcu (ok. 9%). Logicznym wydaje się więc tłumaczenie zmniejszenia wielkości całkowitego przepływu Skrwy Lewej mniejszą zasobnością zbiorników wód podziemnych w okresie 1983–2005 w porównaniu do lat 1961–1982.

Zmniejszenie ilości wody retencjonowanej w dorzeczu mogło mieć podłoże klimatyczne bądź antropogeniczne. Jak wykazano w rozdz. 2.2.3. nasilenie prac melioracyjnych w dorzeczu Skrwy Lewej miało miejsce na początku lat 70. i pod koniec lat 80. XX w. (ryc. 22). W pierwszym przypadku efekt oddziaływania człowieka na odpływ rzeczny jest słabo widoczny. Obniżenie zdolności retencyjnych zlewni wysoczyznowej zostało „zrekompensowane” poprzez zwiększoną dostawę wody z opadów atmosferycznych na przełomie lat 70. i 80. Był to najbardziej wilgotny okres w wieloleciu 1961–2005 (ryc. 38). Z kolei prace odwodnieniowe z końca lat 80. XX w. nałożyły się w czasie z suszą hydrologiczną obserwowaną na całym terytorium Polski. Zmniejszone zasilanie zasobów wód



Ryc. 50. Przeciętny udział zasilania podziemnego w odpływie całkowitym Skrwy Lewej w Klusku w miesiącach wielolecia 1965–2005

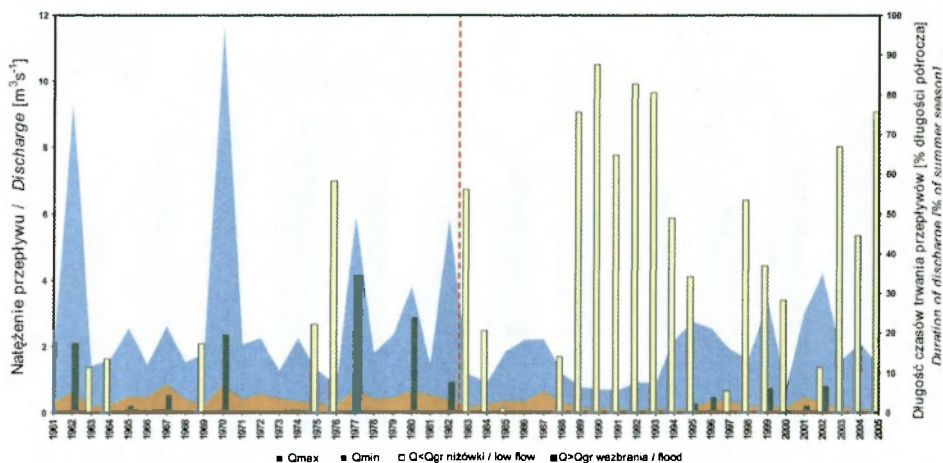
The mean share of the groundwater contribution to the total discharge of the Skrwa Lewa river at Klusko: 1965–2005

podziemnych z opadów atmosferycznych zostało pogłębione poprzez oddziaływanie czynnika antropogenicznego – melioracje odwodnieniowe. Znalazło to swoje konsekwencje w zmianie wielkości odpływu, zwłaszcza w krótszym czasie trwania przepływów wezbraniowych.

#### 3.4.4. ZMIANY ODPLYWU RZECZNEGO

Różnica w odpływie rzeczonym z dorzecza Skrwy Lewej pomiędzy dwoma wyróżnionymi okresami A i B, jest najbardziej widoczna przy analizie długości czasów trwania przepływów. Pod uwagę wzięte zostały wartości graniczne przepływów wezbraniowych ( $Q_{GW}=SWQ$ ) i niżówkowych ( $Q_{GN}=SNQ$ ). Aby wykluczyć wpływ „suchego” okresu początku lat 90. XX wieku, analizę porównawczą dwóch okresów przeprowadzono osobno dla lat wilgotnych, przeciętnych i suchych (tab. 16). Dodatkowo, przeanalizowano oddzielnie półrocza zimowe i letnie, aby oddzielić genetycznie różne wezbrania i niżówki oraz zniwelować różne oddziaływanie opadów deszczu i śniegu. Charakter wilgotnościowy danego roku został określony na podstawie kryterium opadowego Z. Kaczorowskiej (por. rozdz. 3.2.1).

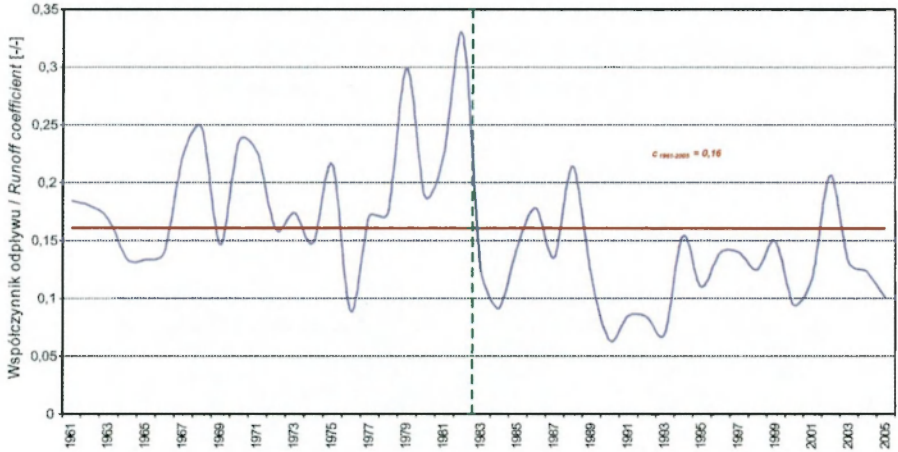
Zasadnicza różnica pomiędzy okresami A i B uwidacznia się w półroczach letnich. W latach 1961–1982 wydzielono dwukrotnie więcej półroczy wilgotnych i dwukrotnie mniej półroczy suchych niż w latach 1983–2005. Jedynie letnie półrocza przeciętne są reprezentowane przez podobną liczbę w obu okresach (6 w okresie A i 5 w okresie B). Rozkład wilgotnościowy sezonów zimowych jest niemal identyczny. Wyróżniono po 8 półroczy wilgotnych, 9 (w okresie A) i 8 (w okresie B) półroczy suchych oraz 5 (w okresie A) i 7 (w okresie B)



Ryc. 51. Długość czasów trwania przepływów Skrwy Lewej w Klusku w półroczach letnich wielolecia 1961–2005 (czerwoną przerywaną linią oddzielono okres A i B)  
The duration of the Skrwa Lewa river discharge at Klusko in summer half-years: 1961–2005.(a red broken line separates the periods A and B).

Tabela 16. Klasyfikacja półroczy letnich i zimowych wielolecia 1961–2005 wg kryterium wilgotnościowego Z. Kaczorowskiej (1962)

Rok	Półrocze zimowe		Półrocze letnie	
	wartość wskaźnikaP [%]	klasyfikacja półrocza	wartość wskaźnikaP [%]	klasyfikacja półrocza
1961	94,9	przeciętne	108,2	przeciętne
1962	111,0	wilgotne	122,4	wilgotne
1963	57,8	b. suche	86,5	suche
1964	87,6	suche	63,8	b. suche
1965	114,1	wilgotne	114,9	wilgotne
1966	114,1	wilgotne	115,2	wilgotne
1967	154,1	b. wilgotne	113,0	wilgotne
1968	108,7	przeciętne	85,6	suche
1969	69,2	b. suche	86,1	suche
1970	137,0	b. wilgotne	119,6	wilgotne
1971	117,4	wilgotne	95,5	przeciętne
1972	86,9	suche	126,3	b. wilgotne
1973	73,8	b. suche	103,6	przeciętne
1974	80,8	suche	120,8	wilgotne
1975	106,6	przeciętne	86,7	suche
1976	78,7	suche	94,4	przeciętne
1977	138,7	b. wilgotne	136,1	b. wilgotne
1978	75,5	suche	121,0	wilgotne
1979	111,3	wilgotne	94,8	przeciętne
1980	103,6	przeciętne	131,6	b. wilgotne
1981	87,6	suche	109,1	przeciętne
1982	92,2	przeciętne	79,5	suche
1983	104,0	przeciętne	80,0	suche
1984	86,4	suche	106,7	przeciętne
1985	66,7	b. suche	97,1	przeciętne
1986	101,2	przeciętne	89,2	suche
1987	82,8	suche	128,2	b. wilgotne
1988	105,6	przeciętne	85,7	suche
1989	100,0	przeciętne	55,5	b. suche
1990	88,5	suche	83,0	suche
1991	85,8	suche	75,2	b. suche
1992	112,2	wilgotne	66,5	b. suche
1993	103,0	przeciętne	96,8	przeciętne
1994	138,6	b. wilgotne	81,2	suche
1995	111,5	wilgotne	129,4	b. wilgotne
1996	70,8	b. suche	133,6	b. wilgotne
1997	63,6	b. suche	98,7	przeciętne
1998	117,0	wilgotne	89,4	suche
1999	136,6	b. wilgotne	93,2	przeciętne
2000	106,1	przeciętne	89,5	suche
2001	117,1	wilgotne	149,5	b. wilgotne
2002	117,4	wilgotne	129,8	b. wilgotne
2003	60,4	b. suche	83,9	suche
2004	122,9	wilgotne	74,6	b. suche
2005	100,4	przeciętne	68,6	b. suche

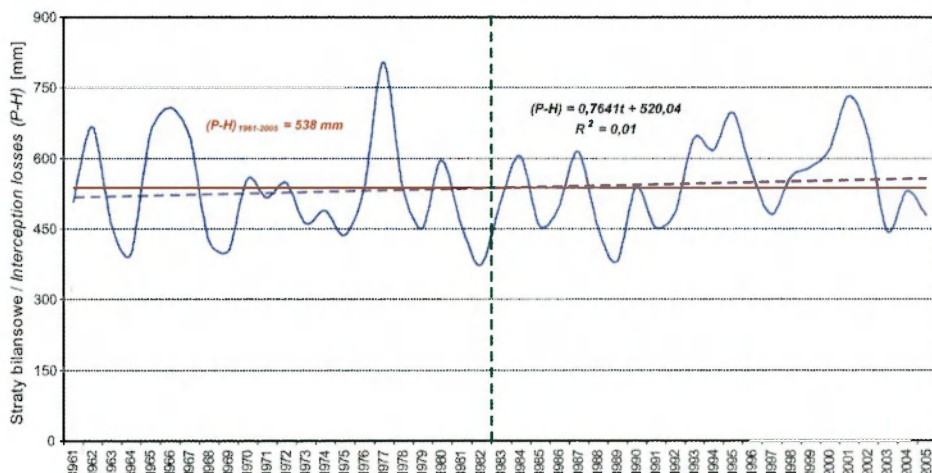


Ryc. 52. Zmiany relacji odpływu i opadu w dorzeczu Skrzy Lewej w okresie 1961–2005 (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)  
 Changes in relationships between discharge and precipitation in the Skrzy Lewa river basin: 1961–2005. (a green broken line separates the periods A and B)

półroczy przeciętnych. Tak duża zmiana w frekwencji letnich sezonów suchych i wilgotnych miała niewątpliwy wpływ na zmianę wielkości odpływu rzecznego z dorzecza Skrzy Lewej.

Podczas **wilgotnych** półroczy zimowych na podobnym poziomie (średnio 10–15% długości półrocza) pozostały długości czasów trwania przepływów ekstremalnych (tab. 17), zarówno powyżej przepływu granicznego wezbrania  $Q_{GW}$ , jak i poniżej przepływu granicznego niżówki  $Q_{GN}$ . Zmiana uwidacznia się jednak w obniżeniu o około połowę wartości przepływu maksymalnego i minimalnego. Jeszcze większe zmiany widoczne są w letnich półroczach wilgotnych. Długość czasów trwania przepływów powyżej  $Q_{GW}$  zmniejszyła się 5-krotnie (ryc. 51), przy jednoczesnym wzroście wskaźnika nieregularności przepływów z 7 do 12. Warty zwrócenia uwagi jest udział przepływów niżówkowych podczas letnich sezonów wilgotnych. Wielkość opadów atmosferycznych wskazywałaby na ograniczenie możliwości rozwoju niżówki, tymczasem przepływy poniżej  $Q_{GN}$  wzrosły z 0,5% do 23% długości półrocza (!). Należałoby taką sytuację tłumaczyć wystąpieniem sezonów wilgotnych po serii półroczy i lat suchych. Zasoby wód podziemnych uległy wówczas znacznemu zubożeniu. Zwiększone opady spowodowały krótkotrwałe wzrosty natężenia przepływu (wezbrania), ale nie były zdolne do odbudowania zasobów wód podziemnych. Stąd po wezbraniach następował szybki spadek natężenia przepływu, często poniżej  $Q_{GN}$  (np. w półroczu letnim 2002 r.).

Podczas półroczy zimowych z **niedoborem opadów**, przepływy maksymalne pozostały zimą na podobnym poziomie a latem uległy obniżeniu o  $\frac{1}{3}$  średniej wartości z lat 1961–1982 (tab. 17). W okresie 1983–2005 dwukrotnie niższe

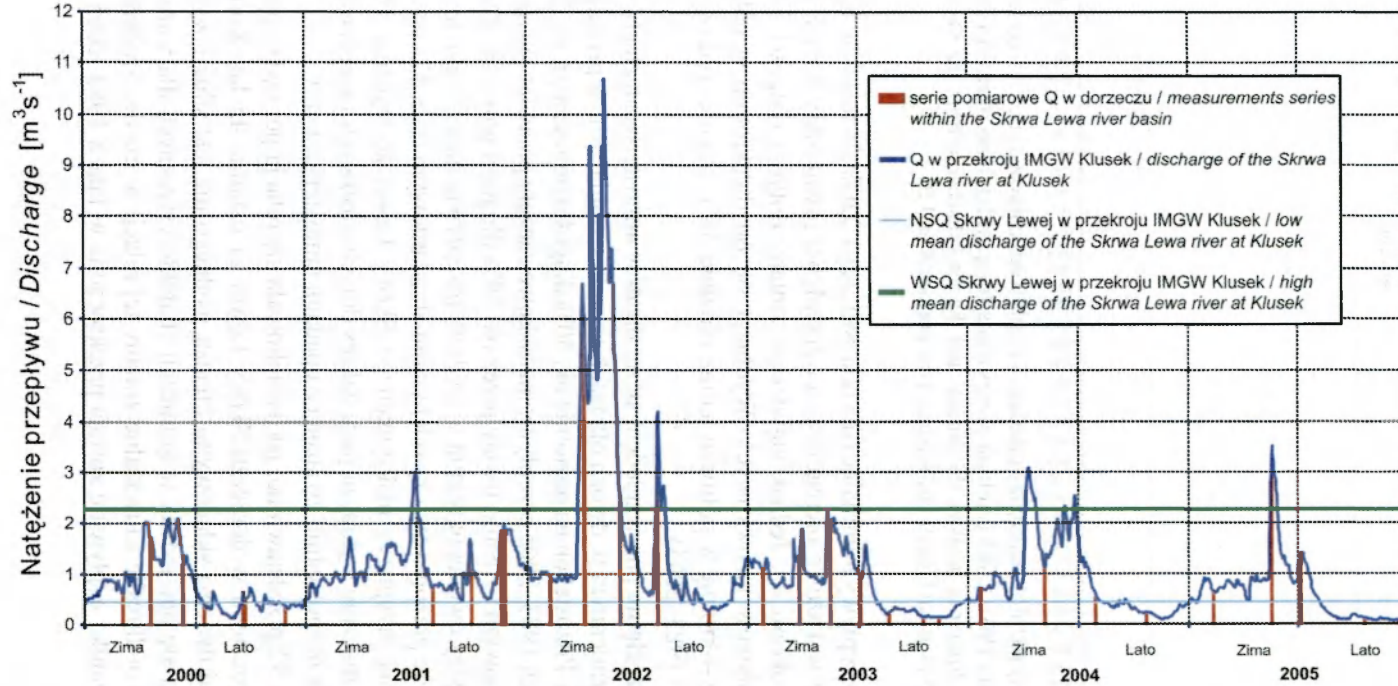


Ryc. 53. Zmiany różnicy pomiędzy opadem a odpływem całkowitym z dorzecza Skrwy Lewej w okresie 1961–2005 (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)  
Changes in the difference between the rainfall and the total discharge from the Skrwa Lewa river: 1961-2005. (a green broken line separates the periods A and B)

były średnie przepływy minimalne (dla obu półroczy). Znalazło to swoje odbicie w wartościach wskaźnika nieregularności przepływu (dwukrotny wzrost w porównaniu do okresu A). Jednak największe zmiany dotyczą długości czasów trwania przepływów niżówkowych. Wydłużył się on dwukrotnie w półroczu zimowym i aż 4-krotnie w półroczu letnim (średnio 58% długości półrocza letniego w latach 1983–2005).

Okresy **przeciętne** pod względem sumy opadów atmosferycznych charakteryzują się niezmiennym w dwóch okresach czasem trwania letnich przepływów niżówkowych. Pozostał on na poziomie ok. 30% długości półrocza (tj. ok. 2 miesięcy). W latach 1983–2005 przepływy niżówkowe zaczęły pojawiać się również w sezonie zimowym i średnio trwały przez ok. 20% długości półrocza. Znaczne różnice pomiędzy dwoma okresami w średnim przepływie maksymalnym, średniej amplitudzie przepływów czy odchyleniu standardowym (tab. 17) wynikają z uwzględnienia przepływu maksymalnego Skrwy Lewej ze stycznia 1982 r. Jego wartość znacznie wykracza poza zakres dotychczasowych przepływów tej rzeki i nie była bezpośrednio związana z opadami atmosferycznymi.

Na rycinie 52 przedstawiono, jak kształtowała się relacja pomiędzy opadem i odpływem rocznym w dorzeczu Skrwy Lewej za ostatnie 45 lat. Korelacja pomiędzy tymi dwiema składowymi bilansu wodnego nie jest silna i wynosi  $r = 0,54$ . Mieści się ona jednak w granicach charakterystycznych dla warunków Polski. Warto podkreślić zauważalne zmiany tej relacji w czasie. Średnia wartość współczynnika odpływu  $c$  została przekroczona w latach 1983–2005 tylko trzykrotnie.



Ryc. 54. Hydrogram przepływu Skrwy Lewej w Klusku i terminy własnych serii pomiarowych natężenia przepływu w dorzeczu  
 Hydrograph of the Skrwa Lewa river discharge at Klusek, and dates of own series of the discharge measurements in the basin

Tabela 17. Długość czasów trwania przepływów Skrwy Lewej w profilu Klusek powyżej przepływu granicznego wezbrania ( $Q_{GW}$ ) i poniżej przepływu granicznego niżówki ( $Q_{GN}$ ) w półroczach wielolecia 1961–2005

Typ półroczy	Charakterystyka	Okres	Czas trwania ekstremalnych przepływów [% długości półrocza]						Przepływ maksymalny $Q_{max}$ [ $m^3s^{-1}$ ]		Przepływ minimalny $Q_{min}$ [ $m^3s^{-1}$ ]		Wskaźnik nieregularności ( $Q_{max}/Q_{min}$ )		Amplituda przepływów ( $Q_{max}-Q_{min}$ ) [ $m^3s^{-1}$ ]	
			półrocze zimowe (XI–IV)		półrocze letnie (V–X)		ekstrema łącznie		XI–IV	V–X	XI–IV	V–X	XI–IV	V–X	XI–IV	V–X
			powyżej $Q_{GW}$	poniżej $Q_{GN}$	powyżej $Q_{GW}$	poniżej $Q_{GN}$	XI–IV	V–X								
Półrocza przeciętne	średnia	1961–1982	6,63	–	–	29,35	6,63	29,35	10,68	1,66	1,00	0,38	9,69	4,46	9,68	1,27
		1983–2005	–	19,42	5,98	28,91	19,42	30,11	3,16	1,78	0,47	0,23	7,22	8,68	2,69	1,55
	mediana	1961–1982	6,63	–	–	29,35	6,63	29,35	4,38	1,71	1,09	0,42	4,69	4,66	3,29	1,30
		1983–2005	–	15,20	5,98	20,65	15,20	20,65	3,53	1,85	0,40	0,23	7,39	5,97	3,13	1,53
	odchylenie standardowe	1961–1982	–	–	–	40,74	–	40,74	14,96	0,56	0,29	0,12	12,01	1,34	14,83	0,67
		1983–2005	–	12,29	–	32,06	12,29	32,55	1,24	1,00	0,24	0,09	2,37	6,29	1,06	1,00
współczynnik zmienności	1961–1982	–	–	–	1,39	–	1,39	1,40	0,34	0,29	0,30	1,24	0,30	1,53	0,53	
	1983–2005	0,63	–	–	1,11	0,63	1,08	0,39	0,56	0,51	0,40	0,33	0,73	0,39	0,64	
Półrocza suche	średnia	1961–1982	2,76	12,29	7,61	16,17	9,91	14,46	3,29	2,24	0,69	0,28	4,68	7,94	2,60	1,96
		1983–2005	1,65	28,84	–	58,15	29,08	58,15	3,17	1,32	0,39	0,14	8,27	13,13	2,78	1,18
	mediana	1961–1982	2,76	10,99	7,61	15,49	9,64	13,59	2,90	1,55	0,72	0,26	4,15	7,64	2,18	1,31
		1983–2005	1,65	31,49	–	60,33	31,49	60,33	2,34	1,17	0,37	0,13	7,27	7,60	1,90	0,99
	odchylenie standardowe	1961–1982	–	4,78	–	4,77	6,16	5,63	1,67	1,77	0,22	0,09	1,25	4,29	1,48	1,73
		1983–2005	–	8,84	–	21,98	8,68	21,98	2,25	0,58	0,15	0,08	5,06	10,33	2,22	0,57
współczynnik zmienności	1961–1982	–	0,39	–	0,29	0,62	0,39	0,51	0,79	0,31	0,33	0,27	0,54	0,57	0,88	
	1983–2005	–	0,31	–	0,38	0,30	0,38	0,71	0,44	0,37	0,61	0,61	0,79	0,80	0,48	
Półrocza wilgotne	średnia	1961–1982	13,26	10,77	16,85	0,54	13,81	12,70	8,43	4,36	0,76	0,58	12,43	7,09	7,68	3,77
		1983–2005	14,37	13,38	3,53	22,83	15,30	14,94	4,29	2,94	0,43	0,35	14,49	12,61	3,86	2,59
	mediana	1961–1982	13,81	9,95	18,48	0,54	12,98	10,87	4,95	2,59	0,63	0,58	8,20	5,84	4,27	2,00
		1983–2005	14,37	8,29	2,99	22,83	11,29	10,87	3,06	2,73	0,44	0,35	7,97	7,26	2,60	2,56
	odchylenie standardowe	1961–1982	3,08	9,47	12,23	–	10,01	12,87	6,33	3,52	0,34	0,17	9,10	4,42	6,29	3,42
		1983–2005	14,84	11,46	2,20	16,14	11,50	16,03	2,96	0,76	0,20	0,20	19,01	9,92	2,88	0,88
współczynnik zmienności	1961–1982	0,23	0,88	0,73	–	0,72	1,01	0,75	0,81	0,46	0,30	0,73	0,62	0,82	0,91	
	1983–2005	1,03	0,86	0,62	0,71	0,75	1,07	0,69	0,26	0,48	0,58	1,31	0,79	0,75	0,34	

Tak zwane „straty bilansowe” ( $P-H$ ), czyli różnica pomiędzy opadem i odpływem (ryc. 53), często utożsamiane są z parowaniem terenowym. W przebiegu wieloletnim trudno jest stwierdzić istotną zmianę tego wskaźnika. Warto zwrócić jedynie uwagę, że podczas suszy hydrologicznej z początku lat 90. XX w. „straty bilansowe” były niższe od średniej dla całego wielolecia. Dopiero po tej suszy zanotowano sekwencję lat 1993–2002 (z wyjątkiem roku 1997) o wyższej wartości ( $P-H$ ) od średniej dla wielolecia, wynoszącej 538 mm. Może świadczyć to o zwiększaniu się udziału parowania w bilansie wodnym.

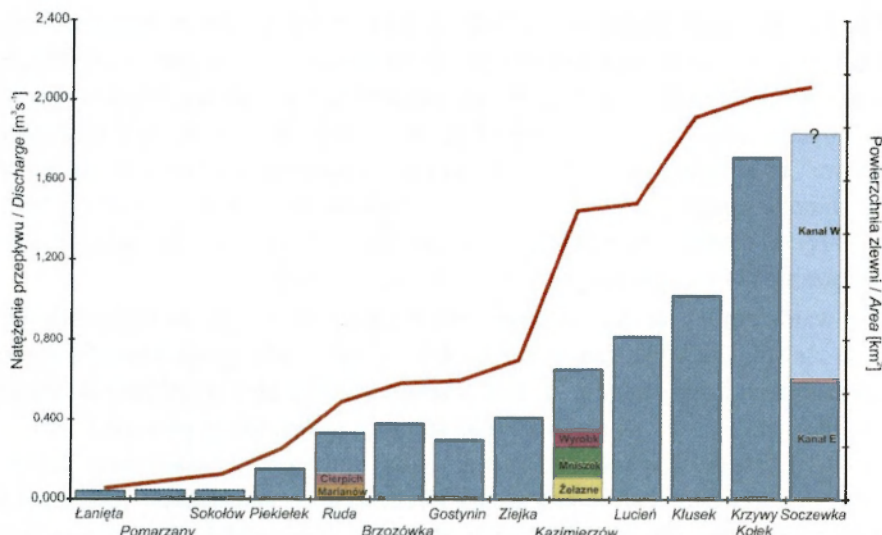
Parowanie terenowe jest wypadkową warunków termiczno-wilgotnościowych w zlewni. Jak wykazano w rozdz. 3.1 i w tabeli 10, opady atmosferyczne nie wykazują istotnego trendu. K. Kożuchowski (2004) stwierdził jednak dla lat 1951–2000 istotny statystycznie wzrost średniej temperatury powietrza w Łodzi (o  $0,2^{\circ}\text{C}$  rok<sup>-1</sup>). Badania P. Jokiela (2008) potwierdziły dla Łodzi istotne statystycznie trendy dodatnie parowania terenowego w miesiącach wiosennych (marzec-maj) w tym samym wieloleciu. Mogło to doprowadzić do zmniejszenia zasobów wód podziemnych (por. Tomalski 2008), a w konsekwencji obniżenia wielkości odpływu rzecznego (tab. 8 i 10).

Wyżej przedstawione zmiany w całkowitym odpływie rzeczonym dotyczą wypadkowej przemian, dokonujących się w poszczególnych zlewniach cząstkowych. Dysponując tylko jednym posterunkiem obserwacyjnym, bardzo trudno jest wskazać obiektywnie, które zmiany najbardziej modyfikują warunki kształtowania się odpływu rzecznego.

W latach 2000–2005 przeprowadzono w dorzeczu Skrwy Lewej 30 serii pomiarów natężenia przepływu. Gęsta sieć punktów pomiarowych (ryc. 2) oraz dość długi okres badań, pozwoliły na dokładne przeanalizowanie warunków kształtowania się odpływu powierzchniowego w dorzeczu. 13 serii pomiarowych przeprowadzono w półroczach zimowych, a 17 w półroczach letnich (ryc. 54). Dysponując charakterystycznymi przepływami Skrwy Lewej (na podstawie danych z wodowskazu w Klusku), starano się przeprowadzać pomiary podczas różnych sytuacji wilgotnościowych w dorzeczu: podczas suszy, wezbrania i przepływów przeciętnych. Wykonano 4 serie pomiarowe przy przepływach powyżej  $WSQ$  (w Klusku), 9 serii przy przepływach poniżej  $NSQ$  i 17 serii w zakresie przepływów średnich (pomiędzy  $0,43$  i  $2,26\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ).

Wyniki własnych pomiarów (Brykała 2006) pozwoliły na określenie zmian w ilości wody prowadzonej przez Skrwę Lewą wzdłuż jej biegu (ryc. 55). Średnie wartości natężenia przepływu notowane na posterunkach: Łanięta-fabryka, Pomarżany i Sokołów (zlewnie: I i II na ryc. 3) są niemal na takim samym poziomie. W przebiegu podłużnym, zauważalny wzrost natężenia przepływu notuje się od przekroju Piekiełek (zlewnia III), gdzie Skrwa Lewa prowadzi średnio dwukrotnie więcej wody niż w Sokołowie. Należy to tłumaczyć zwiększonym udziałem zasilania podziemnego rzeki pomiędzy tymi wodowskazami. Na odcinku tym Skrwa Lewa płynie głęboko wciętą doliną. Zasilanie podziemne odbywa





Posterunki wodowskazowe zlewni różnicowych / Hydrometric stations in sub-basins

Ryc. 55. Średnie wartości natężenia przepływu w poszczególnych przekrojach hydrometrycznych dorzecza Skrwy Lewej

The average values of discharge intensity in specified hydrometric cross-sections in the Skrwia Lewa river basin

się z 2 warstw wodonośnych. Na kolejnych 2 przekrojach wodowskazowych – Ruda i Brzozówka (zlewnia IV), ilość wody prowadzonej przez Skrwę Lewą dosyć równomiernie wzrasta. Dodatkowo w Rudzie do Skrwy Lewej uchodzi dopływ spod Jastrzębii (zlewnie nr IV i V).

Analiza wielkości przepływów w kolejnych trzech przekrojach: Brzozówka, Gostynin-most i Ziejka (zlewnia VII), pozwala na ocenę wpływu miasta Gostynina na odpływ rzeczny Skrwy Lewej. Średni przepływ w Brzozówce wynosi  $0,38 m^3s^{-1}$  i jest o ok. 20% wyższy niż notowany w centrum miasta. Jedyne miejsce, w jakim wykorzystywane są wody Skrwy Lewej na tym odcinku, to uzupełnianie strat wody w zbiorniku Dybanka, spowodowanych przez parowanie. W Gostyninie nie stwierdzono żadnych innych ujęć wody z rzeki do celów gospodarczych i komunalnych (por. Chorzevska i in. 1998). Pod koniec XX wieku, na terenie miasta funkcjonowało 5 studni głębinowych (czerpiących wodę z poziomu kredowego), z których pobierano łącznie ok. 1 mln  $m^3$  wody w ciągu roku. Do Skrwy Lewej odprowadzanych jest średnio 1,1 mln  $m^3$  wody w ciągu roku, co oznacza dopływ rzędu  $0,035 m^3s^{-1}$ . Chcąc oszacować maksymalny możliwy dopływ wody do Skrwy Lewej ze studni głębinowych zlokalizowanych w Gostyninie, można przyjąć maksymalną przepustowość miejskiej oczyszczalni ścieków, do której odprowadzana jest niemal cała ilość ścieków komunalnych i przemysłowych z terenu miasta. Wynosi ona  $7\,768 m^3/24h$ . Daje to maksymalny dopływ do Skrwy Lewej rzędu  $0,090 m^3s^{-1}$ . Różnica w średnim przepływie Skrwy Lewej w Gostyninie i w leżącej poniżej miasta Ziejce, wynosi ok.  $0,11 m^3s^{-1}$ . Zatem nie

tylko wody z ujęć głębinowych zasilają na tym odcinku Skrwę Lewą, ale musi być też inne źródło zasilania. Pomiędzy przekrojami Gostynin-most a Ziejka do Skrwy Lewej nie uchodzi w zasadzie żaden stały ciek. Stąd wniosek o zasilaniu podziemnym. Wydaje się on uzasadniony, gdyż Ziejka znajduje się u podnóża wysoczyzny, na wylocie rynny glacialnej. Zatem ilość wody z rzeki przeznaczana na uzupełnianie strat w zbiorniku Dybanka, jest rekompensowana poprzez dostawę wody z sieci kanalizacyjnej i z drenowania wód podziemnych.

Pomiędzy przekrojami Ziejka i Kazimierzów (zlewnia VIII) stwierdzono spadek średniej wielkości natężenia przepływu o około  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Na wartość tę wpływają wyniki uzyskane podczas 9 serii pomiarowych (w większości z lat 2004 i 2005), gdy notowano niższe przepływy w Kazimierzowie w porównaniu z Ziejką.

Dzięki pomiarom w przekrojach zamykających zlewnie Skrwy Lewej (Kazimierzów) i Osetnicy (Wyrobki), możliwe jest porównanie wielkości i zasobności w wodę obu rzek. Uzyskane wyniki wskazują, że nie tylko powierzchnia zlewni obu rzek jest niemal identyczna. Również średnie przepływy wskazują na takie podobieństwo (Skrwa Lewa w Kazimierzowie  $SSQ = 0,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , Osetnica w Wyrobkach  $SSQ = 0,34 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Podczas okresów wilgotnych przepływy Skrwy Lewej są nieznacznie wyższe od notowanych w Osetnicy. Z kolei odwrotna sytuacja ma miejsce podczas okresów suszy. Wtedy zaznacza się przewaga odpływu ze zlewni Osetnicy.

Ilość wody, jaka dociera do węzła wodnego w Lucieniu wynosi średnio  $0,82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Wodowskaz Lucień-szkoła zlokalizowany jest przed rozgałęzieniem koryta Skrwy Lewej. Główny bieg rzeki, tzw. trasa tranzytowa, omija jezioro Lucieńskie i prowadzi wodę bezpośrednio w kierunku miejscowości Białe (ryc. 19). Drugie koryto kieruje wody Skrwy Lewej przez jezioro Lucieńskie. Oba odgałęzienia łączą się we wsi Murowanka, przed mostem na trasie Gostynin-Duninów. Jak wynika z rozdziałów 2.2.2. i 3.3.2. oraz wyników przedstawionych przez K. Wardak (1992), głównym źródłem zasilania w wodę jeziora Lucieńskiego są wody podziemne. Zasilanie powierzchniowe tego jeziora przez Skrwę Lewą jest nieznaczne. Potwierdza to sytuacja, jaka miała miejsce na przełomie lat 90. XX wieku, gdy jezioro zostało odcięte od zasilania powierzchniowego. Nie spowodowało to poważniejszych konsekwencji dla zasobów wodnych jeziora. Co prawda poziom zwierciadła wody obniżył się o około 0,5 m (w latach 1982–1993), ale jako przyczynę należałoby wskazać raczej głęboką suszę hydrologiczną, a nie brak zasilania powierzchniowego.

Porównanie wartości średniego natężenia przepływu na sąsiadujących ze sobą posterunkach Lucień-szkoła i Klusek (zlewnia XXI) wskazuje na zwiększenie ilości prowadzonej przez Skrwę Lewą wody o ok.  $0,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Sytuacja jest jednak bardziej skomplikowana. Podczas okresów niżówkowych, gdy przepływ Skrwy Lewej w Klusku spadał do ok.  $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , w Lucieniu-szkole notowane były przepływy wyższe (serie: 25.06.2003; 21.08.2003; 23.08.2005; 18.10.2005). Sy-

tuaże takie zdarzały się również przy przepływach przeciętnych w Klusku (np.: 11.04.2000; 20.09.2001), a nawet przy przepływach wezbraniowych (21.03.2005). Jako przyczynę zmniejszania przepływu podczas okresów suszy, należałoby wskazać zasilanie jeziora Lucieńskiego, bądź nawadnianie terenów podmokłych znajdujących się w rynn timer glacialnej jezior Białego i Lucieńskiego.

Znaczną różnicę w wielkości natężenia przepływu notuje się pomiędzy wodowskazami Klusek i Krzywy Kołek-most (zlewnia XXII). Średnio, przepływy wzrastały o 38%, ale podczas okresów niżówkowych przepływy Skrwy Lewej w Krzywym Kołku mogły osiągać 200% przepływu w Klusku (np. 25.06.2003; 23.08.2005). Świadczy to o stabilnym zasilaniu podziemnym rzeki. Dolina Skrwy Lewej na tym odcinku wciną się na głębokość 10–15 m w otaczający obszar. Nie bez znaczenia jest również fakt, że zlewnia różnicowa (XXII) jest niemal w 80% pokryta lasem.

Bardzo trudna jest próba określenia przepływu w przekroju zamykającym całe dorzecze (zlewnia XXIII). Wynika to ze zmian hydrograficznych jakie zaszły na ujściowym odcinku Skrwy Lewej (patrz rozdz. 2.2.2.). Część wody ze zbiornika Soczewka jest odprowadzana do Wisły Kanałem Wschodnim. Na podstawie wykonanych pomiarów, wynika, że odpływało wtedy średnio  $0,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  wody. Większość przepływu, szacowana przez B. Trębałę (1995), średnio na  $1,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , jest odprowadzana poprzez Kanał Zachodni do elektrowni wodnej w Soczewce, z której woda jest zrzucana bezpośrednio do Wisły. Pozwolenie wodno-prawne MEW w Soczewce zezwala na pobór tym kanałem do  $2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  wody. Z deklaracji właściciela MEW taka ilość wody była pobierana sporadycznie. W Soczewce znajduje się jeszcze jeden ciek, na którym prowadzono pomiary (przekrój Soczewka-środek). Odprowadza on wodę z podmokłego terenu, jaki znajduje się poniżej zapory czołowej zbiornika Soczewka. Jest to trasa pierwotnego przebiegu koryta Skrwy Lewej przed wybudowaniem tego zbiornika. Obecnie odprowadzana wtedy woda pochodzi z wysięków wód gruntowych, a również, w mniejszym stopniu, z przesiąkania przez zapórę wody ze zbiornika Soczewka. Notowane na tym cieku przepływy zawierały się pomiędzy 9 a  $28 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}$ . Średni (łączny) przepływ Skrwy Lewej na ujściu do Wisły należałoby więc szacować na 2,0 do  $2,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Jest to wartość dwukrotnie wyższa od notowanej na wodowskazie IMGW w Klusku.

W celu przedstawienia dynamiki zmian odpływu rzecznoego wzdłuż biegu Skrwy Lewej posłużono się wskaźnikiem  $pQ$  przyrostu natężenia przepływu. Określa on średnią ilość wody, jaka jest dostarczana do rzeki na każdym kilometrze jej biegu, pomiędzy dwoma wodowskazami. Wzór na  $pQ$  przyjmuje postać:

$$pQ_{AB} = \frac{Q_B - Q_A}{L_{A-B}} \text{ [dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}\text{]}$$

gdzie:  $Q_A, Q_B$  – natężenie przepływu na sąsiadujących punktach pomiarowych A i B (punkt B znajduje się poniżej punktu A) wyrażone w  $[m^3s^{-1}]$ ;  $L_{AB}$  – odległość pomiędzy punktami pomiarowymi A i B wyrażona w  $[km]$ .

Średnie oraz ekstremalne wartości  $pQ$  na poszczególnych odcinkach Skrwy Lewej przedstawiono na rycinie 56. Najbardziej stabilne warunki zasilania rzeki występują na górnym odcinku Skrwy Lewej od Łaniąt do Piekiełka. Nie notowano tu dużych wahań w ilości dostarczanej wody, a  $pQ$  zawsze przyjmował wartości dodatnie.

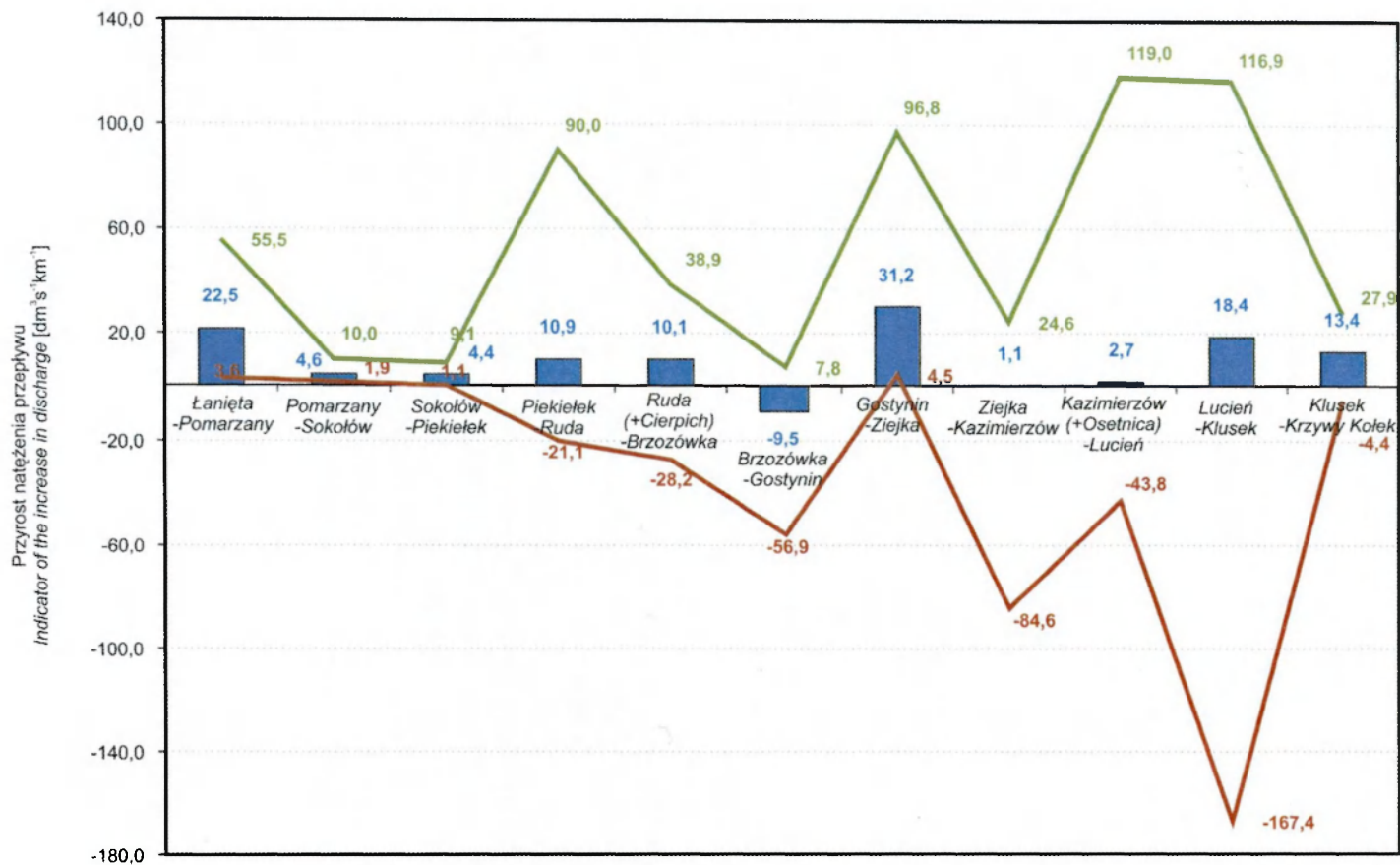
Na kolejnych dwóch odcinkach: Piekielek-Ruda i Ruda-Brzozówka, najczęściej następowało zwiększenie dostawy wody do rzeki. Średnio, wartości przyrostu natężenia przepływu, były dwukrotnie wyższe niż na wcześniejszych odcinkach. Zdarzały się jednak sporadyczne sytuacje, gdy wraz z biegiem rzeki następowała utrata wody. Pomiędzy Piekiełkiem a Brzozówką Skrwa Lewa płynie dnem głębokiej rynny subglacialnej, stąd wzrost wartości  $pQ$ . Ubytki wody na tych odcinkach należy wiązać z czynnikami antropogenicznymi. Woda ze Skrwy Lewej jest wykorzystywana do napełniania stawów rybnych w Lipie oraz dwóch innych małych zbiorników: w Przerwie i w Brzozówce.

Jedynym odcinkiem Skrwy Lewej, na którym niemal zawsze dochodziło do ubytku wody w rzece, był odcinek Brzozówka-Gostynin (średnie  $pQ = -9,5 dm^3s^{-1}km^{-1}$ ). Jest to typowy przejaw antropopresji. Woda ze Skrwy Lewej jest wykorzystywana do napełniania stawu w Piechocie i zbiornika Dybanka.

Z odmiennym wpływem antropopresji na ilość prowadzonej przez rzekę wody, mamy do czynienia na odcinku Gostynin-Ziejka. Stały, dodatni przyrost natężenia przepływu, jest wynikiem odprowadzania do rzeki wody pochodzącej z ujęć głębinowych (patrz wyżej).

Wodowskaz Ziejka jest umiejscowiony u podnóża wysoczyzny morenowej. Zmiana zasilania gruntowego, z drenowania kilku warstw wodonośnych w obrębie wysoczyzny, na tylko jedną warstwę wodonośną w Kotlinie Płockiej, uwidacznia się w wartości średniej  $pQ$  oraz zakresie zmian tego wskaźnika (od  $-84,6$  do  $24,6 dm^3s^{-1}km^{-1}$  na odcinku Ziejka-Kazimierzów oraz od  $-43,8$  do  $119,0 dm^3s^{-1}km^{-1}$  na odcinku Kazimierzów-Lucień). Pojawiające się tak duże wartości ujemne  $pQ$ , świadczą o okresowo infiltrującym charakterze rzeki na tych odcinkach.

Największe zmiany w dostawie wody do Skrwy Lewej odbywają się na odcinku Lucień-Klusek. Rzeka przepływa na tym odcinku przez jezioro Lucieńskie i obszary podmokłe rynny glacialnej jezior Białego i Lucieńskiego. Pomiaru wykonane na dopływie i odpływie z jeziora Lucieńskiego, wskazują na jego minimalny wpływ na zmianę wielkości przepływu, w porównaniu z wartościami z wodowskazu Lucień-szkoła (powyżej węzła wodnego). Przyczyn takiego zróżnicowania  $pQ$  należałoby więc szukać gdzie indziej. Nie udało się tego jednoznacznie wyjaśnić w tej pracy.



Ryc. 56. Średnie i ekstremalne wartości przyrostu natężenia przepływu pQ na poszczególnych odcinkach Skrwy Lewej w latach 2000–2005

The mean and extreme values of the indicator of increase in discharge pQ at specified distances of the Skrwia Lewa river: 2000–2005

Odcinek rzeki pomiędzy Kluskim a Krzywym Kołkiem charakteryzuje się stabilnym i stosunkowo dużym przyrostem natężenia przepływu. W głęboko wciętej dolinie rzecznej zasilanie gruntowe nie podlega dużym wahaniom.

Na zbiorniku Soczewka oraz na Kanale Zachodnim, odprowadzającym część wody Skrwy Lewej bezpośrednio do Wisły (pod ziemią), nie prowadzone były żadne pomiary hydrologiczne. W związku z tym niemożliwe było przeanalizowanie zmian w wielkości zasilania Skrwy Lewej poniżej Krzywego Kołka (zlewnia XXIII).

#### 3.4.5. ODPLYWY JEDNOSTKOWE W DORZECZU

Wielkość odpływu powierzchniowego jest uzależniona od wielu zmiennych w przestrzeni składników środowiska geograficznego (por. rozdz. 2). W celu porównywalności uzyskanych wyników do innych obszarów, stosuje się często wskaźniki, odnoszące odpływ do innych charakterystyk niezależnych. Z punktu widzenia niniejszej pracy, najlepszym wskaźnikiem jest odpływ jednostkowy  $q$ . Wskazuje on nie tylko na ilość odpływającej wody, ale odnosi tą wartość do konkretnego obszaru kształtowania się tego procesu (zlewni).

Na podstawie danych uzyskanych z IMGW oraz własnych pomiarów w terenie, możliwe było prześledzenie zmian odpływu jednostkowego nie tylko w czasie (dla okresu 1961-2005), ale również w przestrzeni (dla poszczególnych zlewni cząstkowych i różnicowych). Średni odpływ jednostkowy ( $SSq$ ) dla dorzecza zamkniętego przekrojem w Klusku wynosił w wydzielonych okresach A i B:

$$SSq_A = 4,03 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$$

$$SSq_B = 2,60 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$$

Wartości te znacznie odbiegają od średnich odnoszących się do obszaru Polski, wynoszących ok.  $5,5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$  (Bogdanowicz 2004). Również średnie odpływy jednostkowe uzyskane przez P. Jokiela i A. Bartnika (2001) dla środkowej Polski są wyższe niż w okresie B w dorzeczu Skrwy Lewej (zawierają się w przedziale od  $3,1$  do  $4,0 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$ ).

Zakres zmian odpływu jednostkowego w całym analizowanym wieloleciu przedstawiono na rycinie 57. Wyraźnie widoczna jest różnica w odpływie jednostkowym w 2 wydzielonych okresach. W pierwszym (1961–1982) – średnie odpływy jednostkowe były zbliżone do średnich wartości dla Polski w 5 przypadkach, podczas gdy w okresie (B) zaledwie 1 raz (rok 2002). Do 1982 roku średnia wartość  $q$  poniżej  $3 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$  była notowana tylko w 4 latach, podczas gdy w okresie B wystąpiła aż w 15 przypadkach.

Maksymalne wartości odpływu jednostkowego  $q_{max}$  są z reguły notowane podczas roztopów wiosennych. Osiągane są wtedy wartości dochodzące do kilkudziesięciu  $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$ . Wartości powyżej  $20 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$  zostały osiągnięte 5 razy w okresie A i 2 razy w okresie B. Odpływy jednostkowe związane z opadami deszczu (w półroczu letnim) osiągnęły maksymalnie wartość  $q = 25,06 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^2$  w maju 1962.

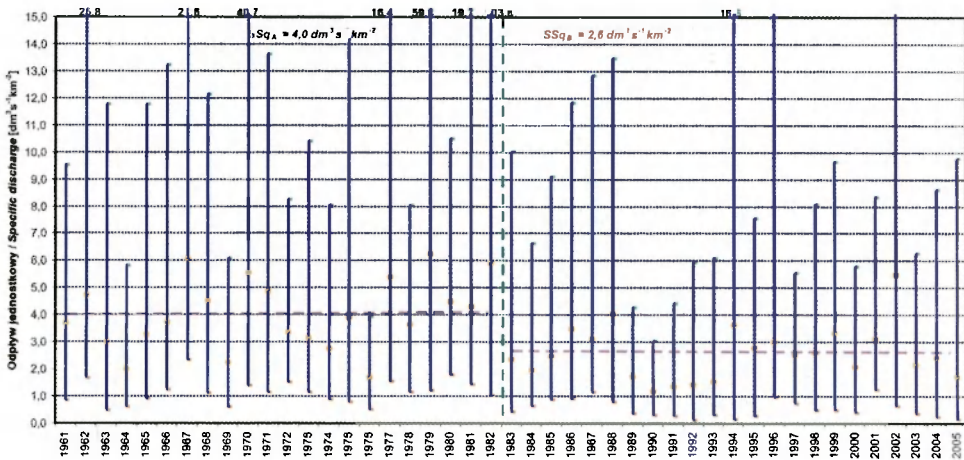
Minimalne wartości odpływu jednostkowego  $q_{min}$  są obserwowane w półroczu letnim, podczas głębokich niżówek. Wartość  $q$  nie przekracza wówczas  $1 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ . Porównując dwa okresy, można zauważyć, że w okresie A miała miejsce duża zmienność z roku na rok wartości średnich odpływów jednostkowych  $Sq$ . W okresie B z kolei można zauważyć sekwencje lat o niskich odpływach (zwłaszcza w latach 1989–1993).

Rytm zmian odpływów jednostkowych w ciągu roku nawiązuje do ogólnie znanego cyklu odpływu, charakterystycznego dla rzek tej szerokości geograficznej. Warto zwrócić jednak uwagę, że zmiany, jakie zaistniały od połowy lat 80., przejawiały się w wyraźnie niższych wartościach średniego miesięcznego odpływu jednostkowego  $Sq_i$ . W okresie B były obniżone o około  $1,5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  w porównaniu do okresu A. Jeśli jednak porównamy  $Sq_i$  do  $SSq$  z okresu A i B (ryc. 58), zauważymy charakter tych zmian. W stosunku do średniej wieloletniej, odpływy w lutym, marcu i kwietniu (w okresie B) były znacznie wyższe (o 20–30%), niż miało to miejsce w okresie A. W pozostałych miesiącach stosunek odpływów miesięcznych do  $SSq$  był niższy niż w okresie A – a szczególnie jest to widoczne w miesiącach: styczniu i sierpniu (od -15 do -20%). E. Bajkiewicz-Grabowska (1975) takiego typu zmiany w odpływie utożsamia z wpływem melioracji wodnych.

Szczegółowe dane o wielkości natężenia przepływu wzdłuż biegu Skrzy Lewej oraz na większości dopływów, pozwoliły na podjęcie próby przedstawienia zróżnicowania przestrzennego odpływów jednostkowych w dorzeczu. Dokonano tego dla trzech różnych sytuacji wilgotnościowych w dorzeczu (ryc. 59): podczas suszy hydrologicznej (02.06.2004), podczas wezbrania roztopowego (21.03.2005) oraz podczas przeciętnej sytuacji wilgotnościowej (09.05.2005 – przepływ Skrzy Lewej w Klusku zbliżony do  $SSQ$ ).

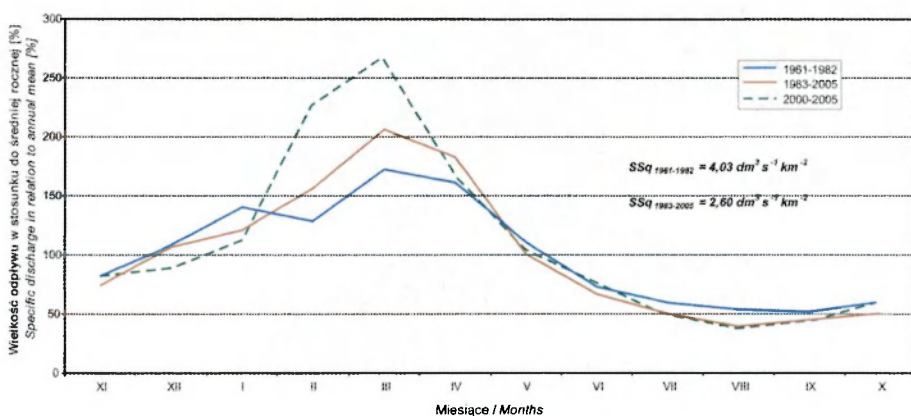
Zwraca uwagę asymetria w dystrybucji odpływu. W części wysoczyznowej dorzecza wyraźnie zaznacza się różnica pomiędzy zlewnią Skrzy Lewej i zlewnią Osetnicy. Różnice w wartości odpływu jednostkowego przekraczają  $5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  podczas przeciętnej sytuacji wilgotnościowej i dochodzą do ponad  $10 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  podczas roztopów wiosennych. Wyraźnie wyższe odpływy jednostkowe towarzyszą głęboko wciętej dolinie Skrzy Lewej (zlewnia II), gdzie odbywa się drenaż głębszych warstw wodonośnych. Z kolei najniższe wartości  $q$  są notowane w źródłiskowych zlewniach: Osetnicy (zlewnia IX), Kanału Jesionka-Waliszew (zlewnia XI) i Łokietnicy (zlewnia XII). Są to obszary, na których prowadzono najbardziej intensywne zabiegi melioracyjne w całym dorzeczu.

W północnej części dorzecza brak jest asymetryczności w dostawie wody do rzeki. Wyższe wartości odpływu jednostkowego notuje się w środkowym pasie, zgodnym z przebiegiem doliny Skrzy Lewej. Notowane tu odpływy jednostkowe są o połowę niższe od obserwowanych w wysoczyznowej zlewni Skrzy Lewej. Na obrzeżach wartości odpływu jednostkowego ulegają zmniejszeniu. Taka sytuacja miała miejsce podczas wszystkich pomiarów.



Ryc. 57. Zakres zmian odpływu jednostkowego w dorzeczu Skrwy Lewej w poszczególnych latach okresu 1961–2005 (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)

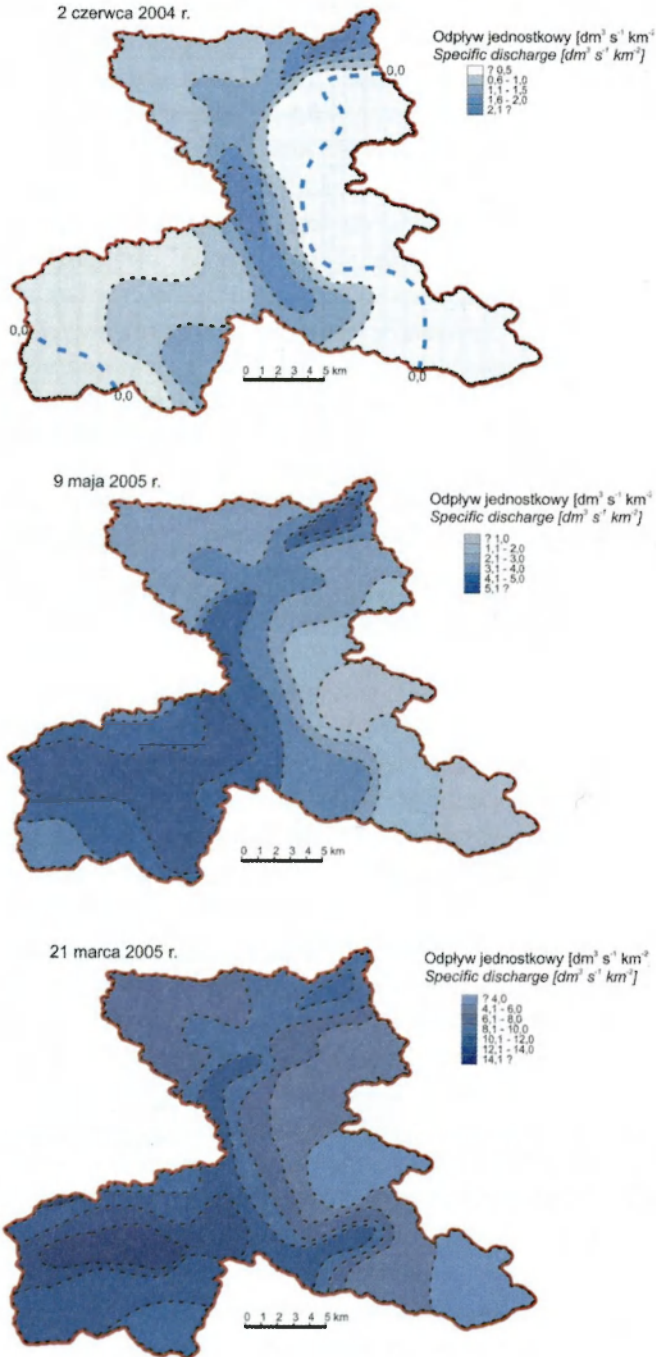
The extent of changes in specific discharges of the Skrwia Lewa river basin: 1961–2005 (a green broken line separates the periods A and B).



Ryc. 58. Stosunek średniego miesięcznego odpływu jednostkowego  $Sq_i$  do średniego rocznego odpływu jednostkowego  $SSq$  w okresie A i B

The relation of the average monthly specific discharge  $Sq_i$  to the average annual specific discharge  $SSq$  during periods A and B





Ryc. 59. Przestrzenne zróżnicowanie odpływów jednostkowych w dorzeczu Skrwy Lewej  
Spatial variations in specific discharges within the Skrwia Lewa river basin

Bardzo ciekawie przedstawia się rozkład odpływu podczas suszy hydrologicznej. Najwyższe wartości odpływu jednostkowego są notowane w strefie krawędziowej wysoczyzny oraz w północnej części dorzecza, na obszarze zlewni różnicowej Klusek – Soczewka (zlewnie: XXII i XXIII). Szczególną uwagę zwraca ten drugi obszar, gdzie wzrost odpływów jednostkowych był notowany podczas każdej z analizowanych sytuacji. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy upatrywać w zwiększeniu udziału zasilania wodami gruntowymi. Mają na to wpływ zarówno głęboko wcięta dolina Skrwy Lewej oraz duży i zwarty kompleks leśny.



## 4. ZASOBY WODNE DORZECZA

Zasoby wód powierzchniowych, w związku ze zmiennymi w czasie warunkami ich zasilania, są wielkością losową – nierównomiernie rozłożoną w czasie. Nie jest zatem możliwe ich pełne wykorzystanie. Stąd wynikają potrzeby oszacowania takiej ich części, która może być uznana za względnie pewną. Nosi ona nazwę zasobów dyspozycyjnych (inaczej: zasobów netto), a więc takich, które są możliwe do wykorzystania przez użytkowników, z satysfakcjonującym ich stopniem gwarancji (Jokiel 2004, s. 39).

Wielkość dyspozycyjnych zasobów wodnych zlewni (dorzecza), które mogą być wykorzystane przez podmioty gospodarcze, czy dla potrzeb ludności, nie zawsze zaspokaja potrzeby. Stąd też jednym z podstawowych zadań gospodarki wodnej jest dążenie do zwiększenia zasobów dyspozycyjnych. Najczęściej dokonuje się tego poprzez budowę zbiorników retencyjnych.

### 4.1. DYSPOZYCYJNE ZASOBY WODNE

Aby uzyskać wartość liczbową ilości wody możliwej do gospodarczego wykorzystania, konieczne jest określenie przepływu nienaruszalnego  $Q_n$  w rzece. Z punktu widzenia kryterium hydrobiologicznego, określa on taką – minimalną ilość wody, która powinna płynąć, by zachować warunki środowiskowe biocenozy rzecznej (Kostrzewa 1980, s. 13). H. Kostrzewa (1972, 1980) zaproponowała, by  $Q_n$  był pochodną  $SNQ$  (średniego niskiego przepływu w wieloletciu) i parametru  $k$ , zależnego od typu hydrologicznego zlewni i wielkości jej powierzchni. W przypadku dorzecza Skrwy Lewej, parametr  $k$  przyjmuje wartość 1,00. Tak więc  $Q_n$  jest równe  $SNQ$  i wynosi:

– dla okresu 1961–1982  $Q_{nA} = 0,42 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

– dla okresu 1983–2005  $Q_{nB} = 0,19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Zakładając nienaruszalność określonej wyżej ilości wody pozostawionej w cieku, pozostaje ilość stanowiąca nadwyżkę ponad  $Q_n$ . Określa się ją mianem przepływu dyspozycyjnego  $Q_d$ . Zatem średni przepływ dyspozycyjny Skrwy Lewej w przekroju Klusek wynosi:

– dla okresu 1961–1982  $Q_{dA} = SSQ_A - Q_{nA} = 1,04 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

– dla okresu 1983–2005  $Q_{dB} = SSQ_B - Q_{nB} = 0,75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

Uzyskane dane, po uwzględnieniu liczby sekund w roku, pozwalają oszacować objętość wody średnich zasobów dyspozycyjnych  $VZW_d$  dorzecza Skrwy Lewej na:

– dla okresu 1961–1982  $VZW_{dA} = Q_{dA} \cdot 31\,536\,000 \text{ s} = 32,80 \text{ mln m}^3$

– dla okresu 1983–2005  $VZW_{dB} = Q_{dB} \cdot 31\,536\,000 \text{ s} = 23,65 \text{ mln m}^3$

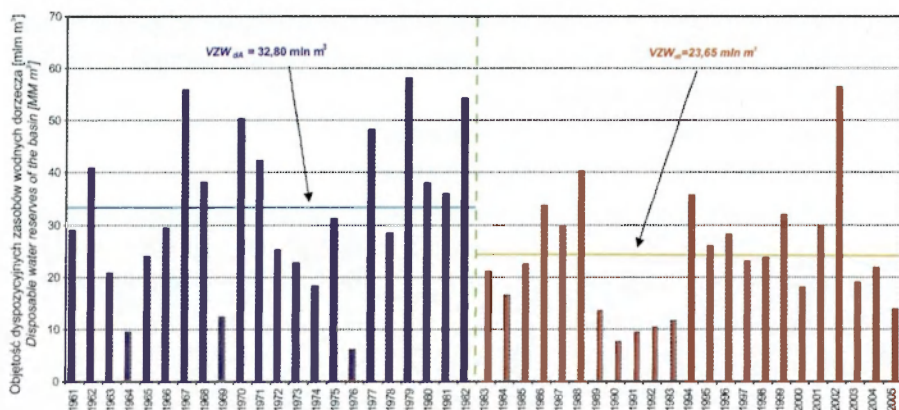
W odniesieniu do powierzchni dorzecza zamkniętego w przekroju Klusek, wielkość dyspozycyjnych zasobów wodnych  $ZW_d$  przyjmuje wartość:

$$\text{– dla okresu 1961–1982} \quad ZW_{dA} = \frac{VZW_{dA} [m^3]}{360900000 [m^2]} = 91 mm$$

$$\text{– dla okresu 1983–2005} \quad ZW_{dB} = \frac{VZW_{dB} [m^3]}{360900000 [m^2]} = 65 mm$$

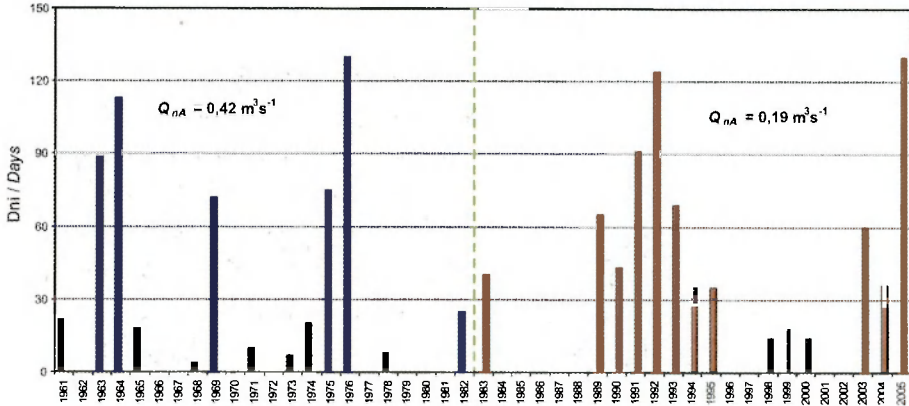
Średni odpływ powierzchniowy z obszaru Polski (wraz z dopływami z zagranicy) za okres 1951–2000 wynosi  $62,4 \text{ km}^3$  (*Mały Rocznik Statystyczny Polski* 2006). Z kolei zasoby nienaruszalne, oszacowane w IMGW dla okresu 1950–1985, wyniosły  $15,3 \text{ km}^3$  (Zieliński i in. 1996). Uzyskana na tej podstawie wartość zasobów dyspozycyjnych wynosi **146 mm**. Jak wynika z porównania uzyskanych wartości, dorzecze Skrwy Lewej dysponuje bardzo skromnymi zasobami dyspozycyjnymi, w ostatnim dwudziestoleciu wynoszącymi zaledwie 44% średniej dla Polski.

Wielkość zasobów dyspozycyjnych, uzależniona od wielkości odpływu rzeczno, podlegała dość znacznym wahaniom w poszczególnych latach analizowanego wielolecia (ryc. 60). W najsuchszych latach osiągały one mniej niż połowę wartości średnich (1964, 1969, 1976, 1990–1993), a w najwilgotniejszych – przekraczały 50 mln  $m^3$  wody (1967, 1970, 1979, 1982 i 2002). Należy zwrócić uwagę, że obniżenie o połowę wartości przepływu nienaruszalnego w okresie B (1983–2005), nie spowodowało utrzymania wielkości średnich rocznych zasobów dyspozycyjnych na poziomie z okresu A.



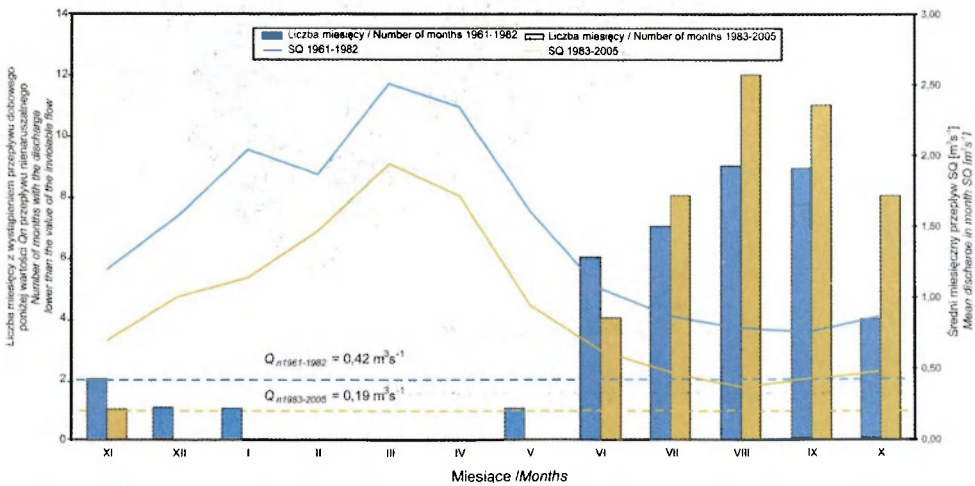
Ryc. 60. Zmiany wielkości zasobów dyspozycyjnych dorzecza  $VZW_d$  Skrwy Lewej w latach 1961–2005 (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)

Changes in the amount of disposable water reserves  $VZW_d$  in the Skrwa Lewa river basin: 1961–2005 (a green broken line separates the periods A and B)



Ryc. 61. Liczba dni z przepływem niższym od wartości przepływu nienaruszalnego  $Q_n$  w poszczególnych latach okresu 1961–2005 (zieloną przerywaną linią oddzielono okres A i B)

Number of days with the discharge lower than the value of the inviolable flow  $Q_n$ : 1961–2005 (a green broken line separates the periods A and B)



Ryc. 62. Zmienność zasobów dyspozycyjnych dorzecza Skrwy Lewej w ciągu roku hydrologicznego

Variability of disposable water reserves in the Skrwia Lewa river basin during the hydrological year



Ryc. 63. Plan gruntów należących do młyna wodnego Ziejka z 1830 r. (Archiwum Główne Akt Dawnych w Warszawie, Zbiór Kartograficzny, sygn. 362-3)

Plan of the Ziejka Watermill's land from 1830

Bardzo istotną informacją z punktu widzenia celów gospodarczych, jest długość okresu w roku, w którym można pobierać wodę z rzeki, nie uszczuplając zasobów nienaruszalnych (ryc. 61). W okresie A przepływy niższe od  $Q_n$  i trwające dłużej niż 1 miesiąc zanotowano w ciągu 5 lat, podczas gdy w okresie B dotyczyło to 11 lat (połowa okresu!). Jak widać, nie wpłynęło na to nawet obniżenie o ponad połowę wartości  $Q_n$ . Najdłuższe okresy z przepływami niższymi od  $Q_n$ , wynoszącymi ok. 4 miesiące, zanotowano w ciągu 4 lat: 1964 i 1976 (w okresie A) oraz 1992 i 2005 (w okresie B).

W ciągu roku najuboższe zasoby dyspozycyjne występują w półroczu letnim (ryc. 62). Poza incydentalnymi przypadkami, od listopada do maja przepływy Skrwy Lewej są na tyle duże, że pozwalają na nieprzerwaną eksploatację zasobów wodnych. W czerwcu mogą pojawić się okresy z brakiem możliwości wykorzystywania zasobów wodnych z rzeki (6 i 4 przypadki przekroczenia  $Q_n$  w okresie), a od lipca do września brak dyspozycyjnych zasobów wodnych może dotyczyć nawet co 2 roku (7–12 przypadków przekroczenia  $Q_n$  w każdym okresie). Porównując dwa okresy: A i B, zdecydowanie częściej w latach 1983–2005 był przekraczany  $Q_n$  w sierpniu, wrześniu i październiku. Potwierdza to tezę o ubożeniu zasobów wodnych dorzecza głównie w półroczu letnim, przy jednoczesnych małych zmianach w półroczu zimowym.

Trzeba pamiętać, że uzyskane wyżej wartości zasobów dyspozycyjnych odnoszą się do części dorzecza ograniczonej przekrojem wodowskazowym w Klusku.

#### 4.2. RETENCJA ZBIORNIKOWA

Występuje wiele rodzajów i form retencji naturalnej i sztucznej, współzależnych i powiązanych ze sobą. W sposób uproszczony możliwy jest podział retencji na następujące formy: krajobrazową (siedliskową), glebową, wód gruntowych i podziemnych, wód powierzchniowych, śnieżną i lodowcową (Mioduszewski 1994). W ramach retencji wód powierzchniowych wyróżnia się m.in. retencję zbiornikową, rozumianą jako objętość wody zmagazynowaną w sztucznych zbiornikach wodnych.

W latach sześćdziesiątych XX wieku wprowadzono w Polsce pojęcie „mała retencja”, oznaczające zasoby wodne zgromadzone w małych zbiornikach wodnych o pojemności poniżej 5 mln m<sup>3</sup> (Dziewoński 1973). Początkowo pojęcia tego używano w zasadzie wyłącznie przy wskazywaniu potrzeb budowy małych zbiorników wodnych. Obecnie poprzez „małą retencję” rozumie się cały kompleks działań, zmierzających do zwiększenia zdolności retencyjnych zlewni (Mioduszewski 1994).

Zadaniem realizowanego w Polsce od 1997 roku – a mającego w założeniach trwać do 2015 r. – Programu Rozwoju Małej Retencji (PRMR), jest regulacja obiegu wody w środowisku przyrodniczym. Ma ona na celu doprowadzenie do zwiększenia zasobów wodnych przez wykorzystanie wód okresowo występują-



cych w nadmiarze oraz wstrzymanie odpływu w okresie wegetacyjnym (Kowalczak i in. 1997). Planuje się to osiągnąć m.in. poprzez przywrócenie dawnych warunków hydrologicznych w miejscach osuszonych – przez takie działania, jak ponowne uwodnienie przesuszonych torfowisk, a także przez odtworzenie dawnych stawów i piętrzeń młyńskich. W ciągu pierwszych pięciu lat (1997–2001), w ramach PRMR, zrealizowano 1721 obiektów i uzyskano przyrost retencji o około 85 mln m<sup>3</sup> wody, z czego ponad połowa przypadła na stawy rybne i zbiorniki. Zdecydowanie dominowały obiekty bardzo małe (tzw. miniretencja). Średnio jeden obiekt (stawy rybne i zbiorniki) zapewniał retencję 51 tys. m<sup>3</sup> wody (Kowalewski i in. 2002).

Na Skrwie Lewej i Osetnicy funkcjonuje obecnie 11 sztucznych zbiorników przepływowych o łącznej pojemności około 1,8 mln m<sup>3</sup> (tab. 15). Po raz pierwszy ich parametry opisał S. Lencewicz (1929). Są to w większości małe zbiorniki pochodzenia młyńskiego. Jedynym większym sztucznym akwenem jest zbiornik Soczewka (1,2 mln m<sup>3</sup>).

Wyniki badań zaprezentowane w rozdziale 2.2.2. przedstawiają stopień zagospodarowania dorzecza w ciągu ostatnich kilkuset lat. Na ciekach tego dorzecza funkcjonowało znacznie więcej sztucznych zbiorników niż obecnie. Spróbowano zatem ocenić, o ile możnaby podnieść zasoby dyspozycyjne, gdyby odtworzono istniejące wcześniej zbiorniki wodne. Ponieważ najwięcej dokładnych danych uzyskano dla ostatnich 200 lat, zrekonstruowano wielkość retencji zbiornikowej dla tego okresu.

Podstawową trudnością niniejszego opracowania było odtworzenie wielkości nieistniejących obecnie zbiorników. W kilku przypadkach – z literatury (Lencewicz 1929) oraz z materiałów archiwalnych (patrz: Brykała 2006) – uzyskane zostały dane odnośnie powierzchni, wysokości piętrzenia, a nawet średniej głębokości zbiorników (ryc. 63).

W następnej kolejności przeprowadzono kartowanie geomorfologiczne doliny Skrwy Lewej i jej dopływów. Ustalono dokładne położenie pozostałości po urządzeniach piętrzących. Najczęściej były to groble zapór czołowych oraz zdewastowane jazy (fot. 6, 7, 8 i 9). Przeprowadzono niwelację tych budowli (wysokość bezwzględna korony grobli) oraz czaszy zbiorników (fot. 10).

Kolejnym etapem było określenie potencjalnej ilości wody, jaka była retencionowana w poszczególnych zbiornikach. W związku z tym, że opracowanie miało charakter rekonstrukcji środowiska przyrodniczego (porównaj: Maruszczak 1988), niezbędne było przyjęcie kilku założeń:

1. Do analizy wzięto pod uwagę jedynie zbiorniki funkcjonujące na ciekach. Pominięte zostały inne akweny pochodzenia antropogenicznego, które nie były zasilane przez system rzeczny.

2. Przyjęto, że 4/5 wysokości korony grobli, odpowiada maksymalnej rzędnej piętrzenia w analizowanym zbiorniku. Znając tę wartość, na planach wysoko-

ściowych w skali 1:2 000 określono zasięg cofki większości zbiorników, co pozwoliło obliczyć ich powierzchnię.

3. Dużą trudnością było określenie średniej głębokości zbiorników (do obliczenia pojemności), zwłaszcza dla akwenów już nie istniejących. Tam, gdzie się to udało, wartości te zawierały się w przedziale od 0,6 m do 1,5 m. Dla pozostałych zbiorników wartość średniej głębokości przyjęto na poziomie  $h = 0,8$  m. Podobną wartość przyjęli również P.J. Wood i S. Barker (2000), analizując ekologiczne zasoby stawów przemysłowych w zachodniej Anglii.

4. Przyjęto, że obliczona pojemność zbiorników była stała w okresie, gdy one funkcjonowały. Błąd wynikający z tego założenia jest nieznaczny, gdyż średnio co kilkanaście lat stawy były spuszczone i przeprowadzano ich bagrowanie.

5. Uzyskane wyniki retencji zbiornikowej odniesiono do zasobów dyspozycyjnych dorzecza (patrz rozdz. 4.1.). Określono je na podstawie danych z przekroju wodowskazowego IMGW w Klusku. Choć zlewnia zamknięta tym przekrojem, obejmuje 86% całego dorzecza, to jednak przyjęto, że zasoby odnoszą się do jego całej powierzchni. Poprzez analogię, uzyskane wartości przeciętnych zasobów dyspozycyjnych (średnia z lat 1961–2005 wynosi 28 mln  $m^3$ )<sup>6</sup>, odniesiono do okresu ostatnich 200 lat.

Uzyskane parametry zbiorników przedstawiono w tabeli 18. Jak widać, w dorzeczu Skrwy Lewej dominowały akweny małe, które obecnie włączylibyśmy do grupy minizbiorników (Łoś 2002). Ich pojemność nie przekraczała z reguły kilkudziesięciu tys.  $m^3$ . Pomijając zbiornik Soczewka, największe zbiorniki (o pojemności ponad 100 tys.  $m^3$ ): w Skokach na Osetnicy i w Ziejce na Skrwie Lewej, były zlokalizowane w strefie krawędziowej wysoczyzny.

Największa liczba zbiorników funkcjonowała przy młynach wodnych. Z uwagi na niekorzystne warunki zasilania i odpływu, koniecznością było zakładanie przy nich stawów, magazynujących zapas wody (Brykała 2001b; Bartczak 2003a). Ich rozmiary nie były duże (tab. 18): piętrzenie nie przekraczało z reguły 3 m, a powierzchnia – kilkunastu hektarów.

Od XVI wieku nastąpił okres szczególnego rozwoju stawowej gospodarki rybnej (por. Szczygielski 1959). Polegała ona na budowaniu i planowym zarybianiu stawów, a także ich ciągłym ulepszaniu i konserwacji urządzeń piętrzących. Do hodowli wykorzystywano bardzo często stawy wcześniej powstałe przy młynach. Na bazie wcześniej istniejącego stawu młyńskiego założone zostały stawy hodowlane w Sokołowie II i Reszce (istnieją do chwili obecnej). Z kolei w Pomarzanach i Sierakówku specjalnie w tym celu spiętrzone rzekę, tworząc po kilka stawów.

Z urządzeniami młyńskimi piętrzącymi wodę Skrwy Lewej związana jest również historia powstania zbiornika Soczewka. Do połowy XIX w. na ujściu-

<sup>6</sup> Ze względu na szacunkowy charakter porównania, nie rozróżniano zasobów dyspozycyjnych w okresach A i B.

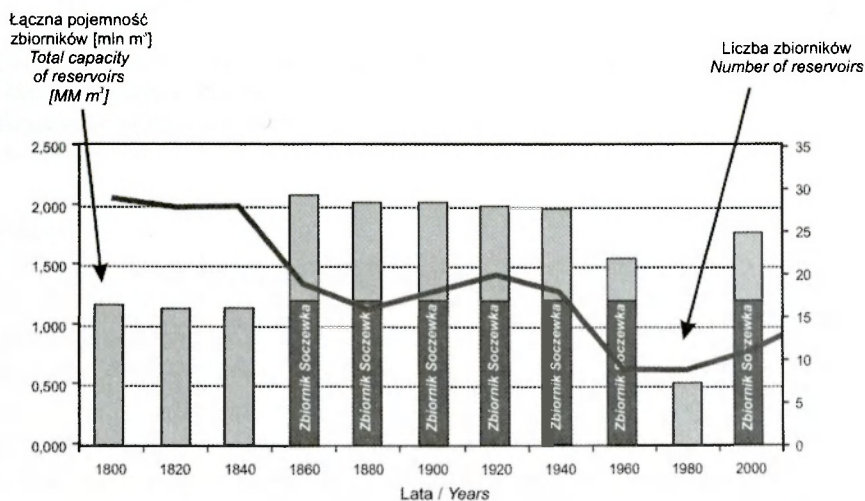
Tabela 18. Charakterystyka zbiorników wodnych w dorzeczu Skrwy Lewej

Nazwa zbiornika	Rzeka	Powierzchnia zbiornika (ha)	Maksymalna wysokość piętrzenia (m)	Objętość zbiornika (tys. <sup>3</sup> )	Rok powstania	Przeznaczenie
Moździerz*	Skrwa	2,0	?	24	1346	staw młyński
Sapa*	Skrwa	2,9	?	32	1472	staw młyński
Soczewka I*	Skrwa	4,6	?	60	1530	staw młyński
Socha*	Skrwa	3,4	?	34	1441	staw młyński
Soczewka II	Skrwa	46,2	4,4	1 222	1853	zbiornik przemysłowy
Krzywy Kolek*	Skrwa	3,0	2,7	60	1775 (?)	staw młyński
Ruda II*	Skrwa	1,0	2,3 (?)	10	1538	staw młyński
Lucień*	Skrwa	3,3	1,7	33	1496	staw młyński
Ziejka*	Skrwa	10,0	2,6	110	1496	stawy młyńskie
Zamkowy*	Skrwa	3,2	2,0	32	1462	staw młyński
Dybanka	Skrwa	4,1	1,5	90	1978	zbiornik rekreacyjny
Piechota	Skrwa	6,9	3,1	70	1453	staw młyński
Brzozówka	Skrwa	5,0	1,9	50	1775 (?)	staw młyński
Reszka*	Skrwa	6,2	1,7	57	1700 (?)	staw młyński
Lipa	Skrwa	7,0	1,5	70	1980	stawy rybne
Przerwa	Skrwa	4,7	1,1	22	1700 (?)	staw młyński
Ruda I*	Skrwa	4,0	2,0	60	1530	staw młyński
Ciołek*	Skrwa	6,0	2,2	60	1530	staw młyński
Piekielek*	Skrwa	3,3	1,7	35	1530	staw młyński
Zaborów*	Skrwa	3,6	2,4 (?)	40	1530	staw młyński
Sokołów I*	Skrwa	?	?	?	1530	staw młyński
Sokołów II	Skrwa	18,2	2,2	156	1951 (?)	stawy rybne
Pomarzany	Skrwa	0,7	1,2	6	1930 (?)	stawy rybne
Łanięta	Skrwa	5,3	1,3	52	1930 (?)	zbiorniki przemysłowe
Sochora*	Osetnica	1,7	1,9	12	1462	staw młyński
Bierzewice*	Osetnica	2,2	2,3	30	1405	staw młyński
Gašno I*	Osetnica	8,6	2,9	90	1406	staw młyński
Gašno II	Osetnica	3,7	2,2	36	1989	zbiornik rekreacyjny
Skoki*	Osetnica	11,2	2,2	134	1454	staw młyński
Mniszek*	Osetnica	1,2	1,5	10	1530	staw młyński
Żelazny*	dopływ Osetnicy	1,0	1,7	10	1530	staw młyński
Pasek*	dopływ Osetnicy	1,8	1,8	15	1568	staw młyński
Nowy Młyn I*	dopływ Osetnicy	1,2	1,1	8	1802	staw młyński
Cierpich*	dopływ Skrwy	2,8	2,8	35	1530	staw młyński
Rybka*	dopływ Skrwy	1,7	2,2	14	1530	staw młyński
Sierakówek	dopływ Skrwy	3,0	1,4	23	1951 (?)	stawy rybne
Nowy Młyn II*	dopływ Skrwy	1,2	1,4	7	1530	staw młyński
Osiny*	dopływ Skrwy	2,0	1,1	8	1800 (?)	staw młyński

\*zbiorniki nieistniejące. Źródło: Brykała 2005

wym odcinku rzeki funkcjonowały cztery młyny wodne: Moździerz, Sapa, Soczewka I i Socha (ryc. 14). W 1842 r. Jan Epstein – warszawski bankier, zakupił owe 4 młyny wodne i stworzył na ich bazie duży zakład papierniczy. Były to czasy początku rewolucji przemysłowej. Wykorzystanie turbiny wodnej konstrukcji Jamesa B. Francisa, pozwalało na osiągnięcie dużego potencjału produkcyjnego. Jednak małe stawy młyńskie nie zapewniały odpowiedniej ilości wody do pełnego wykorzystania turbin. Konieczne okazało się stworzenie dużego sztucznego zbiornika wodnego. Na ten cel uzyskane zostały w latach 1848 i 1852 kredyty w wysokości ponad 550 tys. rubli. Dzięki temu, na bazie wcześniej istniejących piętrzeń młyńskich, skoncentrowano spadek rzeki w jednym miejscu. Tak powstał zbiornik Soczewka o pojemności 1,2 mln m<sup>3</sup> wody. Funkcjonował on nieprzerwanie do 1979 r., gdy podczas gwałtownego wezbrania roztopowego (w marcu) zniszczeniu uległ jaz piętrzący wodę. W ciągu kilku godzin spłynęło wówczas ok. 300 tys. m<sup>3</sup> wody (Brykała i in. 2006). Powierzchnia zbiornika zmniejszyła się o prawie 40%, a poziom wody obniżył się o 2,5 do 3,0 m. Urządzenia piętrzące zostały odbudowane w 1982 r.

Oprócz wyżej wymienionych typów zbiorników, w dorzeczu Skrzy Lewej funkcjonowały również zbiorniki przemysłowe w Łaniewicach, działające na potrzeby cukrowni oraz zbiorniki rekreacyjne: Dybanka w Gostyninie (powstały w 1978 r.) oraz Gašno II (powstały w 1989 r.) – również na bazie istniejącego tu wcześniej stawu młyńskiego.



Ryc. 64. Zmiany retencji zbiornikowej w dorzeczu Skrzy Lewej w ciągu ostatnich 200 lat. (Źródło: Brykała 2005)

Impoundment changes within the Skrzy Lewa River basin in past 200 years. (after: Brykała 2005)

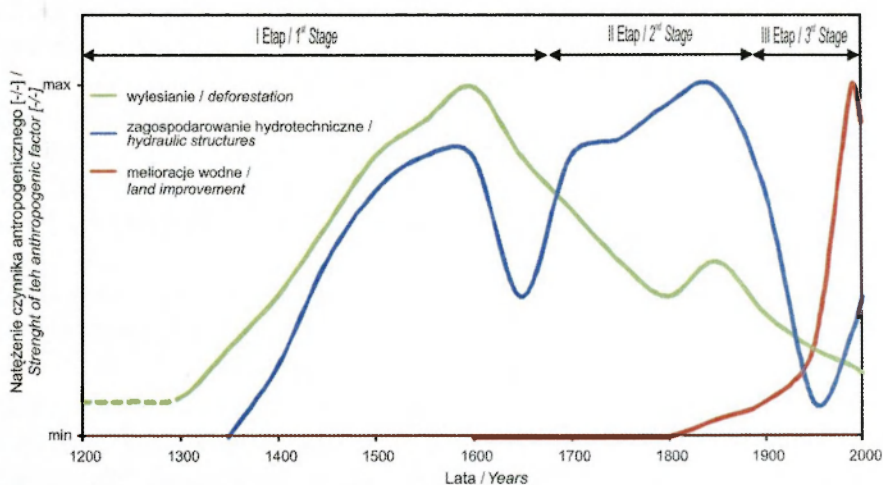
W następnym etapie prześlędzono zmiany retencji zbiornikowej analizowanego dorzecza (ryc. 64). Do połowy XIX wieku liczba zbiorników wodnych kształtowała się na niemal stałym poziomie (28–29), co dawało retencję blisko 1,2 mln m<sup>3</sup> wody. Biorąc pod uwagę stosunkowo niedużą wielkość dorzecza (około 400 km<sup>2</sup>) oraz jego skromne zasoby wodne, można ocenić, że ilość wody zmagazynowanej w zbiornikach była znaczna (4,3% zasobów dyspozycyjnych). W połowie XIX wieku, pomimo że 9 stawów przestało istnieć, dzięki powstaniu zbiornika Soczewka ilość zretencjonowanej wody uległa podwojeniu, do około 2,1 mln m<sup>3</sup> (7,6% zasobów dyspozycyjnych).

Do połowy XX wieku retencja zbiornikowa w analizowanym dorzeczu jeszcze przekraczała 2 mln m<sup>3</sup> wody (7,3% zasobów dyspozycyjnych). Od tego momentu notuje się powolny spadek liczby stawów młyńskich. W 1960 roku poza zbiornikiem Soczewka istniało jedynie 8 zbiorników gromadzących łącznie zaledwie 358 tys. m<sup>3</sup> wody.

Po upływie kolejnych 20 lat powstały dwa nowe zbiorniki na Skrwie Lewej (Lipa i Dybanka). Jednak na skutek braku konserwacji urządzeń piętrzących, w 1979 roku spłynął zbiornik Soczewka. Ta katastrofa spowodowała, że w 1980 roku całkowita retencja zbiornikowa w dorzeczu Skrwy Lewej wynosiła zaledwie 524 tys. m<sup>3</sup> wody (1,9% zasobów dyspozycyjnych). Odbudowa zbiornika Soczewka oraz powstanie 2 nowych zbiorników (Gašno II i Sierakówek) pozwoliło zwiększyć tę wartość do 1,80 mln m<sup>3</sup> w 2000 r. (6,5% zasobów dyspozycyjnych). Mimo to nie udało się odbudować retencji sprzed II wojny światowej (2 mln m<sup>3</sup>).

## 5. DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

Analiza antropogenicznych zmian środowiska przyrodniczego przedstawiona została na przykładzie trzech głównych czynników modyfikujących odpływ rzeczny w dorzeczu Skrwy Lewej: wylesienia, zabudowy hydrotechnicznej i prac melioracyjnych. Nasilenie konkretnego typu oddziaływania człowieka na warunki odpływu w czasie zostało przedstawione na rycinie 65.



Ryc. 65. Schemat przebiegu natężenia głównych czynników antropogenicznych w dorzeczu Skrwy Lewej

Schematic presentation of the strength of the main anthropogenic factors in the Skrwa Lewa river basin

### I etap

W pierwszym etapie głównym czynnikiem modyfikującym było **wylesianie**. Zmiany użytkowania terenu spowodowane były rozwojem osadnictwa i przekształcaniem terenów leśnych na użytki rolnicze. Trudno jest określić datę początku tego etapu. Pierwsze wzmianki o istnieniu grodu i podgrodzia w Gostyninie datowane są na połowę XIII wieku (Chudzyński 1990). Wtedy już zapewne część obszaru dorzecza była wylesiona i użytkowana rolniczo. Za B. Degórką (1996) i J. Plit (1996) można przyjąć, że etap ten osiągnął swoją kulminację w połowie XVI wieku, a następnie powierzchnia terenów leśnych nie podlegała już większym zmianom. W II połowie XX wieku ta forma oddziaływania na środowisko (wylesianie) została zminimalizowana. Większość obszarów leśnych w dorzeczu znajduje się pod ochroną (np. Gostynińsko-Włocławski Park

Krajobrazowy) i znacznie ograniczona jest tam gospodarka leśna. W ostatnim dziesięcioleciu zauważalny jest wręcz trend odwrotny: obszary użytkowane dotąd rolniczo (na najuboższych glebach) są zalesiane.

### II etap

Akcja osiedleńcza i deforestacja doprowadziły między innymi do zwiększenia plonów zbóż, jakie były produkowane na tym terenie. Sprzyjało to powstawaniu młynów wodnych, które działały na potrzeby lokalnego rynku. Wielu autorów przypisuje im szczególną rolę w modyfikacji warunków hydrologicznych w dolinach rzecznych (Sheppard 1958; Bond 1979; Bork i in. 1998; Brykała 2003, 2005).

**Urządzenia piętrzące** młynów wodnych były pierwszymi elementami zagospodarowania hydrotechnicznego rzek. W dorzeczu Skrwy Lewej przeobrażeniu podlegały odseparowane – kilkusetmetrowe odcinki koryt rzecznych. Za początek tego etapu trzeba przyjąć pierwszą wzmiankę o młynie na tym terenie. Pochodzi ona z 1346 r. i dotyczy młyna Moździerz (ujściowy odcinek Skrwy Lewej do Wisły). Okres o największym natężeniu tego typu oddziaływania na odpływ rzeczny przypada na połowę XIX wieku. Sposób, w jaki piętrzenia młyńskie oddziaływały na odpływ rzeczny, można porównać do współczesnych warunków pracy małych elektrowni wodnych (MEW). Podczas średnich i wysokich stanów wód ich wpływ na przepływy był w zasadzie niezauważalny. Dopiero podczas przepływów niżówkowych zakłady te pracowały w cyklach potrzebnych do napełniania zbiorników retencyjnych (por. Bartczak 2007a).

Od końca XIX wieku zanotowano spadek ilości piętrzeń, a tym samym zmniejszenie oddziaływania tego czynnika na warunki odpływu. Dopiero od połowy XX wieku, jego natężenie ponownie zaczęło przybierać na sile. Rozpoczęte zostały wtedy systematyczne regulacje koryt rzecznych. W latach 1961-2005 przeprowadzono je na 34,68 km cieków, z tego najwięcej w latach: 1989, 1991, 1997 i 2003.

### III etap

Trzeci etap związany jest z **pracami melioracyjnymi**. Ich celem była chęć zmiany warunków wilgotnościowych na danym obszarze. Na obszarze Mazowsza Płockiego i Ziemi Łęczyckiej osadnictwo olęderskie rozwijało się od połowy XVIII wieku (Szatygin 2008). Wraz z nim wiąże się rozwój osadnictwa na terenach zabagnionych. Osadnicy olęderscy prowadzili zakrojone na dużą skalę prace odwodnieniowe. Osiedlali się w dolinach rzecznych i obszarach nadmiernie uwilgoconych.

W dorzeczu Skrwy Lewej pierwsze udokumentowane zabiegi melioracyjne prowadzono od 1796 r. w rejonie miejscowości Holendry Sierakowickie (zlewnia IV) oraz jeziora Lucieńskiego. Maksimum natężenia tego czynnika przypada w połowie lat 70. oraz pod koniec lat 80. ub. wieku. Melioracjom poddano 39,91% powierzchni dorzecza.

Przebieg antropopresji w dorzeczu Skrwy Lewej jest typowy dla wielu obszarów nizinnych Polski. Wyróżnione etapy oddziaływania człowieka na środowisko przyrodnicze pokazują, z jak dużą ostrożnością należy podchodzić do wydzielenia okresów kalibracji i ewaluacji w analizie ciągów hydrologicznych. Aby poprawnie wydzielić ciąg „quasi-naturalny” niezbędna jest szczegółowa analiza antropopresji – również w okresie poprzedzającym analizowane wielolecie.

W dotychczasowej literaturze przyjęło się interpretować zmiany w przebiegu podwójnej krzywej kumulacyjnej opadów i odpływu, jako przejaw antropopresji (Dynowska i in. 1985; Jankowski 1988; Czaja 1988; Pociask-Karteczka 2003). Zmiany takie są zauważalne w odniesieniu do ciągów pomiarowych w dorzeczu Skrwy Lewej (ryc. 25). Powstaje pytanie czy jest to spowodowane czynnikiem (czynnikami) antropogenicznymi?

Najprostsza byłaby odpowiedź twierdząca. P. Jokiel i A. Bartnik (2001) stwierdzili dla rzek środkowej Polski (Warty, Bzury i Pilicy) zmianę w stosunku odpływów do opadów od 1983 r. A więc identycznie, jak w przypadku Skrwy Lewej. Mogło to wynikać *zarówno ze zmian klimatycznych, jak i z przemian w sposobie gospodarowania wodą* (Jokiel, Bartnik 2001, s. 3). Zmianę przepływów minimalnych oraz parametrów niżówek od 1983 r. stwierdziła również E. Głogowska (2005), analizując kilka zlewni nizinnych i górskich, o różnym stopniu oddziaływania antropogenicznego.

Tak więc zmiana warunków odpływu najprawdopodobniej dotyczyła większego obszaru i ma podłoże w zmianie warunków klimatycznych. Krzywe kumulowane opadów atmosferycznych (ryc. 23) nie wskazują na zmiany warunków pluwialnych, tak więc dotyczy to prawdopodobnie warunków termicznych, a co za tym idzie parowania terenowego. Takie wnioski znajdujemy w pracy P. Jokie-la (2004). Stwierdził on dwie nieciągłości w przebiegu kumulowanych wartości opadów i odpływów. Do pierwszego zachwiania tej relacji doszło w dekadzie 1970–1980. Odpływy, zarówno całkowity, jak i podziemny, stały się niewspółmiernie duże w stosunku do opadów. Jeszcze wyraźniejsza nieciągłość pojawiła się po 1981 r. Współczynnik odpływu najpierw gwałtownie zmalał, a potem zaczął systematycznie wzrastać (Jokiel 2004). Również A.A. Marsz (2007) sugeruje zmianę reżimu cyrkulacyjnego i klimatycznego na półkuli północnej pod koniec lat 70. XX wieku.

W przypadku dorzecza Skrwy Lewej znajdujemy analogię do wyżej przedstawionego przebiegu zmian odpływu. Różnica dotyczy ponownego wzrostu współczynnika odpływu od połowy lat 90. XX wieku. Tutaj nie nastąpił wzrost, a pogłębienie tendencji spadkowej. To zapewne jest wynikiem prac melioracyjnych, których kulminacja nastąpiła pod koniec lat 80., tuż przed i podczas suszy hydrologicznej z lat 1989–1994. W ciągu 10 lat (1996–2005) zasoby wodne nie zdążyły się odbudować.



W ciągu najbliższych lat możliwe są dwa scenariusze rozwoju relacji opad-odpływ w dorzeczu Skrwy Lewej. W pierwszym, obserwowany w innych dorzeczach wzrost współczynnika odpływu, nastąpi z opóźnieniem. W drugim, zmiana relacji opad-odpływ obserwowana od 1993 r. (ryc. 25) okaże się trwała.

Analizy statystyczne ciągów hydrologicznych w dwóch okresach, wykazały dużą zmianę ilościową i jakościową odpływu rzecznego. Dotyczy to zwłaszcza długości czasów trwania przepływów powyżej  $Q_G$  wezbrania i poniżej  $Q_G$  niżówki oraz wartości przepływów maksymalnych i minimalnych rocznych (por. tab. 8, 13 i 14).

Główne zmiany odpływu w dorzeczu Skrwy Lewej dotyczyły półroczy letnich. Objawiły się one przede wszystkim 2-krotnym wzrostem nieregularności przepływów przy jednoczesnym zmniejszeniu o połowę wartości przepływów maksymalnych i minimalnych. Długość trwania przepływów niżówkowych zwiększyła się 3-krotnie. Również 3-krotnemu, ale zmniejszeniu, uległ czas trwania przepływów wezbraniowych.

Odpływy jednostkowe dla tego obszaru należą do najniższych w kraju. P. Jokiel (2004) określił je na 3,0–4,0  $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ . Wartości średnie dla dorzecza Skrwy Lewej na podstawie pomiarów w Klusku, wynoszą 3,92  $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  w latach 1961–1982 i 2,53  $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$  w latach 1983–2005. Wyniki badań terenowych pozwoliły na przestrzenne zobrazowanie reakcji zlewni (w postaci odpływu powierzchniowego) na warunki pluwialne i roztopy w sezonach przejściowych, suchych i wilgotnych.

Podczas okresów przejściowych i wilgotnych koncentracja odpływu rzecznego odbywa się głównie w wysoczyznowej części zlewni Skrwy Lewej. Wartości odpływu jednostkowego są tam kilkakrotnie wyższe niż w źródłiskowych zlewniach Osetnicy i Łokietnicy (poniżej 1  $\text{dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ ), gdzie stwierdzono najniższe wartości tego parametru. Podczas okresów suchych odpływ powierzchniowy w tych częściach dorzecza zanikał.

Na podstawie takiego rozkładu odpływów jednostkowych, można podzielić dorzecze Skrwy Lewej na dwie części: wschodnią, o niskich i stałych wartościach odpływów jednostkowych, i zachodnią o dużej dynamice ich zmian. Tak więc, pomimo iż obie części dorzecza zostały poddane intensywnym zabiegom melioracyjnym, ich reakcja na koncentrację odpływu powierzchniowego jest odmienna. Wy tłumaczenia tej sytuacji można doszukiwać się w zasilaniu wodami głębszych poziomów wodonośnych. Skrwa Lewa w swoim górnym odcinku płynie doliną wciętą na ok. 15 m, co prowadzi do drenażu nie tylko przypowierzchniowej, ale i głębszych warstw wodonośnych. Z kolei Osetnica w górnym odcinku i Łokietnica, drenują jedynie przypowierzchniową warstwę wodonośną.

Najważniejszą składową odpływu rzecznego Skrwy Lewej jest zasilanie podziemne. Podczas długotrwałych okresów bezopadowych uwidaczniają się w dorzeczu Skrwy Lewej dwie strefy zasilania podziemnego rzeki. Następuje tam największy przyrost natężenia przepływu. Pierwsza strefa jest związana

ze strefą krawędziową wysoczyzny i rynną subglacjalną, wykorzystywaną przez Osetnicę. Druga strefa, wyróżniająca się podczas każdej serii pomiarowej (również w okresach wilgotnych), dotyczy zlewni ujściowego odcinka Skrwy Lewej. Rzeka wcina się tu na głębokość 10–15 m.

P. Jokieli (2004) ocenił udział zasilania podziemnego w całkowitym odpływie dla obszaru dorzecza Skrwy Lewej na poziomie 45–50%. Są to wartości nieco niższe od uzyskanych w niniejszej pracy. Trzeba jednak zauważyć, że autor ten nie analizował danych z lat 90. XX wieku, które zawiązują średnią (susza hydrologiczna).

W poszczególnych latach, udział zasilania podziemnego Skrwy Lewej wahał się od 38,5% w 1965 r. do 77,7% w 1989 r., a średnio ok. 55%. Jest to więc główny czynnik decydujący o zasobach wodnych dorzecza. Na ich wielkość w okresie wegetacyjnym decydujący wpływ mają opady atmosferyczne w sezonie zimowym (w postaci śniegu). Można stwierdzić prawidłowość, że w latach, w których zimą nie doszło do odbudowania retencji, w sezonach letnich występowały bardzo głębokie niżówki (lata: 1989–1992). Tak więc odbudowa (odtworzenie) retencji w małych zbiornikach, mogłoby się przyczynić do wydłużenia zwiększonego odpływu z okresu roztopów na okres niedoborów wody.

W półroczu letnim, nawet duże sumy dobowe opadów atmosferycznych, nie powodują znaczącego wzrostu przepływów w Skrwie Lewej (por. ryc. 7). Świadczy to o dużych zdolnościach retencyjnych dorzecza (por. Gutry-Korycka i in. 2003). Z kolei, nawet krótkotrwałe odwilże w sezonie zimowym, powodują uwolnienie zretencjonowanych wcześniej zapasów wody i mogą prowadzić do wezbrań (np. w styczniu 1982 r. – wezbranie z największym zaobserwowanym natężeniem przepływu Skrwy Lewej).

Kierunki odpływu wód podziemnych nie nawiązują do orografii terenu na obszarze Kotliny Płockiej. Bardzo trudne jest poprawne wyznaczenie północnych granic zlewni jeziora Lucieńskiego. Główną bazą drenażu w Kotlinie Płockiej jest rzeka Wisła. Inna sytuacja dotyczy zlewni jeziora Sendień (zlewnia XIX). Tutaj analiza mapy hydroizohips jednoznacznie pokazuje, że błędem jest włączanie jej do dorzecza Skrwy Lewej (por. *Atlas podziału hydrograficznego Polski* 2005). Potwierdzenie więc znajduje podział zamieszczony w pracy S. Lencewicza (1929), który wydzielił tą zlewnię z dorzecza Skrwy Lewej.

Zasoby wodne dorzecza należą do najniższych w kraju. Na uwagę zasługuje fakt, iż w ostatnim dwudziestolecu (okres B) wielokrotnie przepływ Skrwy Lewej w Klusku nie osiągał nawet wartości przepływu nienaruszalnego. Pociąga to za sobą poważne konsekwencje wodno-gospodarcze, choćby dla użytkowników małych elektrowni wodnych (np. MEW w Soczewce). Wstrzymany pobór wody z rzeki przekraczał nawet 6 miesięcy w roku.

Zagospodarowanie hydrotechniczne dorzecza w minionych wiekach doprowadziło do zwiększenia dyspozycyjnych zasobów wodnych, poprzez retencję wody zgromadzoną w małych zbiornikach przepływowych. Przeprowadzona

rekonstrukcja zmian w retencji zbiornikowej dorzecza, wskazuje, jak duży udział wód rzecznych był zatrzymywany i wykorzystywany dla potrzeb gospodarczych.

Całkowita pojemność retencji zbiornikowej w Polsce wg A. Ciepiewskiego (1999) wynosi ponad 4,1–4,3 mld m<sup>3</sup> wody. Ogółem stanowi to 6,7% retencji odpływu rzecznej, w tym 1% stanowi 4700 stawów rybnych o pojemności ok. 500 mln m<sup>3</sup>.

Według szacunków B. Baranowskiego (1977) już w połowie XVI wieku na ziemiach polskich funkcjonowało ok. 12 tys. młynów (łącznie z wiatrakami). Oddziaływanie młynów wodnych na ekosystemy było znacznie mniej niekorzystne niż zapor na wielkich rzekach. Takie małe zbiorniki zaporowe, oprócz oczywistej funkcji retencyjnej, były również ważnym elementem regulującym procesy erozji, transportu i akumulacji rumowiska (Łoś 1978; Podgórski 2004; Renwick i in. 2005). Po II wojnie światowej wiele zakładów wykorzystujących energię wodną przestało istnieć (por. np. Gołaski 2002). Jeszcze w 1954 r. zawiądencjonowanych było 6600 czynnych i 800 zamkniętych elektrowni wodnych (Szramka, Różycki 1999). W dorzeczu Skrwy Lewej wszystkie większe cieki były średnio co 2,5 km podpiętrzone. Sytuacja taka miała miejsce przez całe stulecie (Brykała 2003). Tak więc, mimo iż zmieniony został naturalny charakter rzeki, długi okres funkcjonowania stawów młyńskich pozwolił na osiągnięcie swoistej równowagi w systemie zlewnia-odpływ. Od II połowy XIX wieku stan ten uległ zachwianiu.

Oszacowana przez J. Filimowskiego i M. Gutry-Korycką (1993, s. 330) na ok. 10 mln m<sup>3</sup> wielkość retencji zbiornikowej stawów młyńskich pod koniec XIX wieku (na ziemiach polskich), wydaje się mocno zanizona. Tylko w dorzeczu Skrwy Lewej, w połowie XIX wieku retencja zbiornikowa przekraczała 2 mln m<sup>3</sup>. Stanowiło to około 8% obecnych zasobów dyspozycyjnych dorzecza. Teoretycznie, odtworzenie piętrzeń młyńskich w dorzeczu Skrwy Lewej, w miejscach, gdzie one przez całe stulecie funkcjonowały, pozwoliłoby na zwiększenie (przywrócenie) retencji w zbiornikach przepływowych o ok. 2–3% średniego rocznego odpływu z dorzecza. Taki krok pociągnąłby za sobą również wzrost innych form retencji.

Obecnie podejmowane są próby działań nad zwiększeniem zasobów wodnych w zlewniach. Jednym z przykładów takich działań jest Program Rozwoju Małej Retencji (PRMR). Szkoda jednak, że przy opracowywaniu tego programu nie wykonano inwentaryzacji piętrzeń, które wcześniej uległy likwidacji (Kowalewski i in. 2002). Opracowany w 1996 roku *Program Małej Retencji dla województwa plockiego* zakłada budowę lub modernizację 11 obiektów w dorzeczu Skrwy Lewej. Do 2015 roku wielkość uzyskanej retencji ma sięgnąć ok. 850 tys. m<sup>3</sup>, z tego ponad połowa dotyczyć ma tylko 1 obiektu (podpiętrzenie Jeziora Szczawińskiego). Planuje się powstanie 6 zbiorników retencyjnych na Skrwie Lewej i jej dopływach, o łącznej pojemności ok. 260 tys. m<sup>3</sup>. 5 z tych obiektów

to dawne piętrzenia młyńskie. Do chwili obecnej żadne z zakładanych przedsięwzięć PRMR (na terenie dorzecza) nie zostało zrealizowane.

#### LITERATURA

- Absalon D., 1998, *Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznoego w zlewni Rudy*, Prace Naukowe UŚ, Nr 1732, UŚ, Katowice, ss. 141.
- Atlas historyczny Polski, 7, Mazowsze w drugiej połowie XVI wieku*, 1973, W. Pałucki (red.), Część I: Mapa. Plany; Część II: Komentarz. Indeksy, Instytut Historii PAN, PWN, Warszawa.
- Atlas jezior Polski*, 1997, Jańczak J. (red.), Tom II, *Jeziora rzek Przymorza i dorzecza dolnej Wisły*, IMGW, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, ss. 256.
- Atlas klimatu Polski*, 2005, Lorenc H. (red.), IMGW, Warszawa.
- Atlas podziału hydrograficznego Polski*, 2005, Czarnecka H. (red.), Część 2. Zestawienia zlewni, IMGW, Warszawa, ss. 558.
- Bajkiewicz-Grabowska E., 1975, *Zmiany odpływu z małej zlewni w wyniku prac melioracyjnych*, Gospodarka Wodna, 35, 1, Warszawa, s. 9–13.
- 1990, *Udział wód wglębnych w zasilaniu rzeki nizinnej (na przykładzie Skrwy Prawej)*, Przegląd Geofizyczny, 35, 1–2, Warszawa, s. 71–77.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1984, *Hydrogram wezbrania, jego rozdział genetyczny i podstawowe pojęcia*, Przegląd Geofizyczny, 29, 3, PWN, Warszawa, s. 333–343.
- Baranowski B., 1977, *Polskie młynarstwo*, Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk, ss. 137.
- Bartczak A., 2003a, *Charakterystyka młynów wodnych w dorzeczu Zgłowiączki (Kujawy Wschodnie)*, Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 399, 46, Warszawa, s. 201–205.
- 2003b, *Natural and anthropogenic changes of the lake areas within the region of Eastern Kujawy in the Zgłowiączka River basin*, Limnological Review, 3, Akademia Świętokrzyska – Polskie Towarzystwo Limnologiczne, Kielce, s. 9–16.
- 2007a, *Wahania stanów wody (przeptywów) rzeki Zgłowiączki wywołane pracą małej elektrowni wodnej (MEW) w Nowym Młynie*, Nauka-Przyroda-Technologie, 1, 2, s. 35–43.
- 2007b, *Wieloletnia zmienność odpływu rzecznoego z dorzecza Zgłowiączki*, Prace Geograficzne, 209, IGiPZ PAN, Warszawa, ss. 164.
- Bartnik A., Jokiel P., 2000, *Sredni odpływ podziemny w Polsce w latach 1971–1990 w swietle wyników uzyskanych metodami: Wundta i Killego*, Gospodarka Wodna, 60, 2, Warszawa, s. 56–59.
- 2005, *Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzecznoego na podstawie Pilicy w Przedborzu*, Wiadomości IMGW, 28, 2, IMGW, Warszawa, s. 5–31.
- Bishop P., Jansen J.D., 2005, *The geomorphological setting of some of Scotland's east coast freshwater mills: a comment on Downward and Skinner (2005) 'Working rivers: the geomorphological legacy...'*, Area, 37, 4, Blackwell, s. 443–445.

- Błaszczkiewicz W., 1992, *Zasoby wodne dorzecza Skrwy Lewej*, Maszynopis pracy magisterskiej (prom. prof. M. Gutry-Korycka), WGiSR, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, ss. 123.
- Bogdanowicz E., 2004, *5,55 litra na sekundę i kilometr kwadratowy*, *Aura*, 3, 4, Kraków, s. 4–7.
- Bond C.J., 1979, *The reconstruction of the medieval landscape; the estates of Abingdon Abbey*, *Landscape History*, 1, The Society for Landscape Studies, Wakefield, s. 59–75.
- Bork H.R., Bork H., Dalchow C., Faust B., Piorr H.P., Schatz T., 1998, *Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Wirkungen des Menschen auf Landschaften*, Klett-Perthes, Gotha-Stuttgart, ss. 328.
- Borówko-Dłużakowa Z., 1961, *Badania palynologiczne torfowisk na lewym brzegu Wisły między Gąbinem, Gostyninem i Włocławkiem*, *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 169, Warszawa, s. 107–130.
- Brandt B., 1916, *Landschaftsbilder aus Polen. II. Das Becken von Gostynin*, *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin*, 10, Berlin, s. 688–711.
- Brykała D., 2001a, *Wstępne wyniki badań nad odpływem rzeczny z zlewni Skrwy Lewobrzeżnej*, *Zapiski Kujawsko-Dobrzyńskie*, 16, Włocławskie Tow. Nauk., Włocławek, s. 35–43.
- 2001b, *Uwarunkowania przyrodnicze lokalizacji młynów wodnych w zlewni Skrwy*, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 10, UJ – PAEK, Kraków, s. 164–171.
- 2003, *Rekonstrukcja zagospodarowania hydrotechnicznego doliny Skrwy i Osetnicy od XV do XX wieku*, [w:] *Woda w przestrzeni przyrodniczej i kulturowej*, *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG*, 2, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 54–64.
- 2005, *Rekonstrukcja retencji zbiornikowej zlewni Skrwy Lewej w ciągu ostatnich 200 lat*, *Przegląd Geograficzny*, 77, 1, s. 73–93.
- 2006, *Przestrzenne i czasowe różnicowanie odpływu rzeczny w dorzeczu Skrwy Lewej*, *Maszynopis pracy doktorskiej*, Centralna Biblioteka Geografii i Ochrony Środowiska, Warszawa, ss. 167.
- Brykała D., Lamparski P., Kordowski J., 2006, *Wybrane problemy hydrograficzne i geomorfologiczne wywołane powstaniem i funkcjonowaniem Zbiornika Soczewka*, [w:] *Dokumentacja Geograficzna*, 32, IGiPZ PAN, Warszawa, s. 30–34.
- Burlikowska I., 1988, *Młyny wodne na Wyżynie Lubelskiej i ich znaczenie*, [w:] Z. Michalczyk, K.H. Wojciechowski (red.), *Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska*, UMCS, Lublin, s. 139–144.
- Byczkowski A., 1996, *Hydrologia*, t. 2, SGGW, Warszawa, ss. 333.
- Byczkowski A., Banasik K., Hejduk L., Mandes B., 2001, *Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki)*, [w:] J. Jaworski, J. Szkutnicki (red.), *Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych*, IMGW, Warszawa, s. 43–52.
- Byczkowski A., Mandes B., 1992, *Wpływ regulacji rzeki na reżim przepływów na przykładzie rzeki Brzozówki*, *Wiadomości IMGW*, 36, 4, IMGW, Warszawa, s. 73–88.
- Chelmiński W., 1989, *Wybrane metody oceny wahań zwierciadła wód podziemnych*, *Przegląd Geograficzny*, 61, 1–2, s. 63–76.
- 1991, *Reżim płytkich wód podziemnych w Polsce*, *Rozprawy Habilitacyjne*, 218, UJ, Kraków, ss. 136.

- 2002, *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*, PWN, Warszawa, ss. 306.
- 2003, *Odptyw podziemny*, [w:] J. Pociask-Karteczka (red.), *Zlewnia. Właściwości i procesy*, UJ, Kraków, s. 207–214.
- Chomicz K., 1976, *Opady rzeczyste w Polsce (1931–1960)*, Przegląd Geofizyczny, 29, 1, Warszawa, s. 19–25.
- Chorzewska B., Lichočka E., Sulkowski M., 1998, *Stan czystości Skrwy Lewej i jej zlewni w województwie płockim*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, WIOŚ, Płock, ss. 93.
- Chudzyński M., 1990, *Dzieje Gostynina i ziemi gostynińskiej*, Wydawn. Akcydensowe, Warszawa, ss. 718.
- Ciepielowski A., 1999, *Podstawy gospodarowania wodą*, SGGW, Warszawa, ss. 312.
- Czaja S., 1988, *Wpływ górnictwa i uprzemysłowienia na reżim odpływu rzek w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym na przykładzie zlewni Brynicy do profilu w Sosnowcu*, [w:] *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 4, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, s. 65–77;
- Czaja S., 1999, *Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej)*, Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Degórska B., 1996, *Zmiany lesistości wschodniej części Kujaw w ostatnim dwustuleciu jako wynik oddziaływania człowieka na środowisko*, Przegląd Geograficzny, 68, 1–2, s. 115–136.
- Demińska M., 1973, *Przetwórstwo zbożowe w Polsce średniowiecznej (X–XIV wiek)*, Instytut Historii Kultury Materialnej PAN, Ossolineum, Wrocław, ss. 270.
- Dębski K., 1960, *Bilans wodny rzeki Skrwy w powiecie gostynińskim*, Gospodarka Wodna, 20 (12), PWN, Warszawa, s. 522–525.
- Dobja A., 1975, *Wpływ urbanizacji na stosunki wodne*, Czasopismo Geograficzne, 46 (1), PTG, Wrocław, s. 73–78.
- Dobrowolska M., 1961, *Przemiany środowiska geograficznego Polski do XV wieku*, PWN, Warszawa.
- Domosławska-Baraniecka M.D., Mojski E., 1960, *Z problematyki geologii czwartorzędu Mazowsza i Kujaw*, Przegląd Geologiczny, 4, s. 195–200.
- Downard S., Skinner K., 2005, *Working rivers: the geomorphological legacy of English freshwater mills*, Area, 37, 2, Blackwell, s. 138–147.
- Drabiński A., 1991, *Wpływ gospodarowania wodą w stawach rybnych na odpływ ze zlewni rzeki Baryczy do przekroju Łąki*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rozprawa Habilitacyjna, 90, Wrocław, ss. 58.
- Droste P.J., 2003, *Wasserbau und Wassermühlen an der mittleren Rur*, Shaker Verlag, Aachen, ss. 374.
- Drwał J., 1995, *Wyznaczanie zlewni hortonowskich*, [w:] A.T. Jankowski (red.), *Hydrologia. Przewodnik do ćwiczeń*, Uniwersytet Śląski, Katowice, s. 7–19.
- Dynowska I., 1978, *Znaczenie środowiska geograficznego dla przestrzennego zróżnicowania odpływu*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 11, UJ, Kraków, s. 85–98.
- 1984, *Zmiana reżimu odpływu w wyniku oddziaływania zbiorników retencyjnych*, Czasopismo Geograficzne, 55 (3), PTG, Wrocław, s. 301–316.
- 1989, *Przestrzenna zmienność przepływów rzek polskich*, Przegląd Geograficzny, 61, 3, Warszawa, s. 291–299.

- Dynowska I., Jankowski A. T., Soja R., 1985, *Metody oceny wpływu gospodarczej działalności człowieka na odpływ*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 17, Komisja Nauk Geograficznych PAN, Kraków, s. 105–119.
- Dziwoński Z., 1973, *Rolnicze zbiorniki retencyjne*, PWN, Warszawa, ss. 344.
- Fal B., Bogdanowicz E., 2002, *Zasoby wód powierzchniowych Polski*, Wiadomości IMGW, 46, 2, s. 3–38.
- Filimowski J., Gutry-Korycka M., 1993, *Wpływ zabudowy hydrotechnicznej i regulacji cieków*, [w:] Dynowska I. (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, UJ, Kraków, s. 329–344.
- Gierszewski P., 2000, *Charakterystyka środowiska hydrochemicznego wód powierzchniowych zachodniej części Kotliny Płockiej*, Prace Geograficzne, 176, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, ss. 136.
- Glazik R., 1976, *Wpływ melioracji na stosunki wodne obszarów przyległych do stopnia wodnego na Wiśle pod Włocławkiem*, [w:] *Wpływ melioracji wodnych na środowisko geograficzne*, Mat. Konferencyjne Nauk. Komitetu Nauk Geogr. PAN, Komitetu Melioracji PAN, 1, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, s. 82–91.
- 1978, *Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie*, Dokumentacja Geograficzna, 2–3, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, ss. 119.
- Głogowska E., 2005, *Występowanie niżówek w zlewniach o odmiennych warunkach fizycznogeograficznych*, Autoreferat z obrony rozprawy doktorskiej, SGGW, Warszawa, ss. 23.
- Gołaski J., 2002, *Atlas rozmieszczenia młynów wodnych w dorzeczach Warty, Brdy i części Baryczy w okresie 1790–1960. Cz. IV. Brda i Górna Noteć*, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Poznań, ss. 89.
- Graf R., 1999, *Warunki zasilania i szczyptywania wód podziemnych pierwszego poziomu w wybranych zlewniach Niziny Wielkopolskiej*, Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, 24, Poznańskie Tow. Przyjaciół Nauk, Poznań, ss. 144.
- Gutry-Korycka M., 1972, *Z zagadnień dynamiki odpływu powierzchniowego i podziemnego*, Przegląd Geofizyczny, 17, 2, Warszawa, s. 133–145.
- 1978, *Zasilanie podziemne rzek polskich*, Przegląd Geofizyczny, 23, 2, PWN, Warszawa, s. 79–98.
- 1993, *Naturalne i antropogeniczne zmiany obiegu wody*, [w:] I. Dynowska (red.), *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*, UJ, Kraków, s. 271–389.
- Gutry-Korycka M. (red.), 1996, *Studia nad wpływem globalnych zmian klimatu na obieg wody w zlewni*, WGiSR UW, Warszawa, ss. 177.
- Gutry-Korycka M., Mikulski Z., 1982, *Odpływ powierzchniowy jako składowa odpływu rzecznoego*, Przegląd Geofizyczny, 27, 1–2, Warszawa, s. 45–52.
- Gutry-Korycka M., Nowicka B., Soczyńska U. (red.), 2003, *Rola retencji zlewni w kształtowaniu wezbrań opadowych*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, ss. 207.
- Gutry-Korycka M., Soczyńska U. (red.), 1991, *Modelowanie obiegu wody: atmosfera, biosfera, pedosfera*, UW, Warszawa, ss. 192.
- Holt R., 1988, *The mills of Medieval England*, Basil Blackwell, Oxford-New York, ss. 202.

- Ivan A., 1989, *Vodní náhony. Opomijené antropogenní tvary reliéfu*, Sborník Československé Geografické Společnosti, 94, 2, Praha, s. 89–102.
- Jaczynowski J., 1929, *Morfometria jezior Gostyńskich*, Przegląd Geograficzny, 9, Warszawa, s. 35–66.
- Jankowski A.T., 1986, *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysławianym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*, Prace Naukowe US, 868, US, Katowice, ss. 277.
- 1988, *Wpływ przemysłu i urbanizacji na zmiany odpływu Rawy (próba oceny)*, [w:] *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 4, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, s. 51–63.
- Jaworski J., Szkutnicki J. (red.), 1999, *Dynamika obiegu wody w zlewni górnej Wilgi*, IMGW, Warszawa, ss. 382.
- Jokiel P., 1994, *Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*, Acta Geographica Lodziensia, 66-67, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, ss. 236.
- 2004, *Zasoby wodne środkowej Polski na progę XXI wieku*, UŁ, Łódź, ss. 114.
- 2008, *Zmiany, zmienność i ekstremalne sumy parowania terenowego i ewapotranspiracji potencjalnej w Łodzi w drugiej połowie XX wieku*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica, 8, s. 63–88; Jokiel P., Bartnik A., 2001, *Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloletniu 1951–1998*, Wiadomości IMGW, 24. 45, 2, IMGW, Warszawa, s. 3–17.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., 1988, *Wpływ kopalni odkrywkowej „Bełchatów” na zmiany odpływu*, [w:] *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 4, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, s. 79–95.
- Kaczmarek Z., 1997, *Zasoby wodne Polski i Europy w obliczu globalnych zmian klimatu*, [w:] *Użytkowanie a ochrona zasobów wód powierzchniowych w Polsce*, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko”, 17, PAN, Warszawa, s. 15–31.
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, Prace Geograficzne, 33, Instytut Geografii PAN, Warszawa, ss. 112.
- Kaniecki A., 1999, *Młyny wodne w dawnym Poznaniu i ich wpływ na przeobrażenie stosunków wodnych*, Acta Universitatis N. Copernici, Geografia, 29, UMK, Toruń, s. 337–346.
- 2004, *Poznań. Dzieje miasta wodą pisane*, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Wyd. Matematyczno-Przyrodniczy, Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, 36, Poznań, ss. 716.
- Kędzierska Z., 1959, *Lustracje województwa rawskiego 1564 i 1570*, Instytut Historii PAN, PWN, Warszawa, ss. 259.
- Kiciński T., 1960, *Odpływ gruntowy w rzekach oraz jego określenie*, Gospodarka Wodna, 20, 10, Warszawa, s. 439–441.
- 1964, *Udział wód gruntowych w odpływie całkowitym rzek*, Gospodarka Wodna, 24, 3, Warszawa, s. 173–175.
- Kliner K., Knezek M., 1974, *Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody*, Journal of Hydrology and Hydromechanics, 22, 5, s. 457–466.



- Kostrzewa H., 1972, *Zasady określania przepływu nienaruszalnego*, Materiały Badawcze IMGW, Seria: Gospodarowanie Zasobami Wodnymi, 14, IMGW, Warszawa, ss. 33.
- Kostrzewa H., 1980, *Przepływy nienaruszalne – stan i kierunki badań. Artykuł dyskusyjny*, Gospodarka Wodna, 40, 1, Warszawa, s. 12–14.
- Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kuźnicka M., Mager P., 1997, *Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji*, Materiały Badawcze, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 19, IMGW, Warszawa, ss. 91.
- Kowalewski Z., Mioduszeński W., Bury C., 2002, *Stan realizacji programów rozwoju małej retencji*, Gospodarka Wodna, 62, 12, Warszawa, s. 506–511.
- Kowalewski Z., Slesicka A., 2001, *Wpływ małych zbiorników wodnych na kształtowanie się przepływów w zlewni rzecznej*, [w:] *Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych*, IMGW, Warszawa, s. 145–153.
- Koźuchowski K., 2004, *Skala i tendencje współczesnych zmian temperatury powietrza w Polsce*, [w:] *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Wydawnictwo Biblioteka, Łódź.
- Kramer T., 1960, *Ekonomiczne przesłanki lokalizacji młynów gospodarczych*, Zeszyty Naukowe WSE, Seria II, Nr 16, Wyższa Szkoła Ekonomiczna, Poznań, ss. 231.
- Kreiner R., 1996, *Städte und Mühlen im Rheinland. Das Erftgebiet zwischen Müns-terifel und Neuss vom 9. bis ins 18. Jahrhundert*, Alano Herodot Verlag, Aachen, ss. 491.
- Kulabko E., 1995, *Małe obiekty wodne w Polsce i we Francji – porównanie wykorzystania doliny rzeki Skrwy Prawej z doliną rzeki Gartempe*, Przegląd Geograficzny, 67, 3–4, s. 361–371.
- Kundzewicz Z.W., Radziejewski M. (red.), 2002, *Detekcja zmian klimatu i procesów hydrologicznych*, Sorus, Poznań, ss. 152.
- Kurek S., 1991, *Ocena wpływu drenowania użytków rolnych na stosunki hydrologiczne zlewni karpaccich na przykładzie pięciu zlewni*, Rozprawa Habilitacyjna, IMiUZ, Falenty, ss. 89.
- Langdon J., 1991, *Water-mills and windmills in the West Midlands, 1086–1500*, Economic History Review, 44, 3, Oxford, s. 424–444.
- Lencewicz S., 1929, *Jeziora Gostyńskie*, Przegląd Geograficzny, 9, Warszawa, s. 87–140.
- Łoś M.J., 1978, *Likwidacja młynów wodnych i jej skutki*, Gospodarka Wodna, 38, 12, PWN, Warszawa, s. 361–364.
- 2002, *Mała retencja – nadzieje i ograniczenia*, Gospodarka Wodna, 62, 8, Warszawa, s. 340–347.
- Magnuszewski A., 1991, *Modelowanie sptywu powierzchniowego w małej zlewni nizinnej*, [w:] *Modelowanie obiegu wody: atmosfera, biosfera, pedosfera*, UW, Warszawa, s. 157–178.
- Mały Rocznik Statystyczny Polski*, 2006, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Marsz A.A., 2007, *Czy w latach 1976–1978 nastąpiła zmiana reżimu cyrkulacyjnego i klimatycznego półkuli północnej?* Przegląd Geofizyczny, 52, 1, s. 7–25.
- Maruszczak H., 1988, *Zmiany środowiska przyrodniczego kraju w czasach historycznych*, [w:] *Przemiany środowiska geograficznego Polski*, Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Łódź, s. 109–135.
- Melioracje rolne w powiecie Gostyńskim*, 1929, Tygodnik Gostyński, 34, Gostynin, s. 3.

- Mikulski Z., 1962, *Występowanie niżówek, wezbrań i powodzi w rzekach polskich*, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, 49, Warszawa, s. 3–23.
- Mikulski Z., Nowicka B., 1982, *Wpływ urbanizacji na stosunki wodne w świetle badań polskich*, Gospodarka Wodna, 42, 7, Warszawa.
- Mioduszeński W., 1989, *Regulowanie zwierciadła wód gruntowych w dolinach małych rzek nizinnych*, Państwowe Wydawnictwa Rolnicze i Leśne, Warszawa, ss. 186.
- 1994, *Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w małych rolniczych zlewniach rzecznych*, Materiały Informacyjne, 25, IMUZ, Falenty, ss. 35.
- 1997, *Mała retencja i polityka melioracyjna*, [w:] *Użytkowanie a ochrona zasobów wód powierzchniowych w Polsce*, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko”, 17, PAN, Warszawa, s. 49–62.
- 2002, *Odbudowa retencji małych zlewni rzecznych elementem ochrony przed powodzią i suszą*, Gospodarka Wodna, 62, 11, Warszawa, s. 459–464.
- 2004, *Rola małej retencji w kształtowaniu i ochronie zasobów wodnych*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 502, Inżynieria Środowiska XIII, Wrocław, s. 293–305.
- Mojski J. E., 1960, *Schylek plejstocenu w zachodniej części Kotliny Płockiej*, Kwartalnik Geologiczny, 4, Warszawa, s. 1025–1038.
- Nazewnictwo geograficzne Polski*, 2006, Tom I. Hydronimy, Część 1. Wody płynące, źródła, wodospady, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa, ss. 348.
- Nowicka B., 2002, *Wpływ urbanizacji na warunki odpływu*, [w:] *Obieg wody w zmieniającym się środowisku*, Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach, 7, Akademia Świętokrzyska, Kielce, s. 77–86.
- Olszewski K., 2003, *Klimat Mazowsza*, [w:] A. Rychling (red.), *Przyroda Mazowsza i jej antropogeniczne przekształcenia*, Wyższa Szkoła Humanistyczna, Pułtusk, s. 91–102.
- Ostrowski J., 2003, *Znaczenie wód powierzchniowych w obiegu materii w zlewni rzecznej*, [w:] *Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych*, 3, UAM, Poznań, s. 71–86.
- Ozga-Zielińska M., 1990, *Niżówki i wezbrania – ich definicje i modelowanie*, Przegląd Geofizyczny, 35, 1–2, s. 33–44.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, Wyd. II, PWN, Warszawa, ss. 324.
- Ozga-Zieliński B., 1987, *Badanie statystycznej niejednorodności ciągów pomiarowych*, Gospodarka Wodna, 47, 10, Warszawa, s. 226–228.
- Pelisiak A., Rybicka M., 2008, *Spoleczności neolityczne a środowisko naturalne w rejonie jeziora Gościąg (Polska Środkowa)*, [w:] A. Wacnik, E. Madeyska (red.), *Polska północno-wschodnia w holocenie. Człowiek i jego środowisko*, Botanical Guidebooks, 30, Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków, s. 115–131.
- Pietrzak M., Siwek J., 2000, *Wykorzystanie map historycznych, przetworzonych przy użyciu GIS do oceny zmian użytkowania ziemi na Pogórzu Wiśnickim*, [w:] *Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim*, UJ, Kraków, s. 21–30.
- Piskozub A. (red.), *Wisła. Monografia rzeki*, 1982, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, ss. 446.

- Plit J., 1996, *Antropogeniczne i naturalne przeobrażenia krajobrazów roślinnych Mazowsza (od schyłku XVIII w. do 1990 r.)*, Prace Geograficzne, 166, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, ss. 135.
- Pociask-Karteczka J. (red.), 2003, *Zlewnia. Właściwości i procesy*, UJ, Kraków, ss. 288.
- Podgórski Z., 1996, *Antropogeniczne zmiany rzeźby terenu województwa toruńskiego*, Studia societatis Scientiarum Torunensis, q0, 4, Towarzystwo Naukowe-Toruńskie, Toruń.
- 1999, *Antropogeniczne zmiany rzeźby terenu Pojezierza Chełmińskiego do początku XVII wieku w wyniku budowy i funkcjonowania młynów wodnych*, Przegląd Geograficzny, 71, 1–2, s. 111–126.
- 2004, *Wpływ budowy i funkcjonowania młynów wodnych na rzeźbę terenu i wody powierzchniowe Pojezierza Chełmińskiego i przyległych części dolin Wisły i Drwęcy*, UMK, Toruń, ss. 203.
- Program Małej Retencji dla województwa płockiego*, 1996, Biuro Studiów i Projektów Gospodarki Wodnej Rolnictwa BIPROMEL, cz. 2, *Koncepcja rozwiązań technicznych budowy obiektów i urządzeń służących do retencjonowania wód na obszarze zlewni rzek województwa płockiego*, Warszawa, (maszynopis).
- Przystalski A., Załuski T., 1997, *Lasy Łąckie, Zarząd Parków Krajobrazowych Brudzeńskiego i Gostynińsko-Włocławskiego*, Kowal, ss. 66.
- Radecki-Pawlik A., 2003, *Wzrost spływu powierzchniowego z terenu zlewni jako jedna z przyczyn powstawania wezbrań i powodzi*, Gospodarka Wodna, 63, 4, Warszawa, s. 154–159.
- Ralska-Jasiewiczowa M., van Geel B., 1998, *Human impact on the vegetation of the Lake Gościąg surroundings in prehistoric and early-historic times*, [w:] M. Ralska-Jasiewiczowa, T. Goslar, T. Madeyska, L. Starkel (red.), *Lake Gościąg, central Poland. A monographic study*, Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków, s. 267–294.
- Renwick W.H., Smith S.V., Bartley J.D., Buddemeier R.W., 2005, *The role of impoundments in the sediment budget of the conterminous United States*, Geomorphology, 71, s. 99–111,
- Reżim płytkich wód podziemnych w Polsce*, Rozprawy Habilitacyjne, Nr 218, UJ, Kraków, ss. 136.
- Roman M., 2003, *Rozwój rzeźby plejstocenijskiej okolic Gostynina*, Acta Geographica Lodziensia, 84, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, ss. 154.
- Rotnicka J., 1988, *Wpływ regulacji koryta rzecznej i melioracji zlewni na odpływ Górnej Proсны*, [w:] *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokumentacja Geograficzna, 4, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, s. 23–38.
- Sheppard J.A., 1958, *The Hull valley: the evolution of a pattern of artificial drainage*, Geographical Studies, 5, 1, London, s. 33–44.
- Skompski S., 1969, *Stratygrafia osadów czwartorzędowych wschodniej części Kotliny Płockiej*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 220, Warszawa, s. 175–247.
- 1970, *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski*. Arkusz Gąbin, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, ss. 53.
- Słota H., 1997, *Zasoby wodne Polski na tle zasobów Europy*, Gospodarka Wodna, 56, 9, s. 257–260.

- Soczyńska U., 2001, *Dynamika zlewni. Stan badań, oczekiwania i rzeczywistość*, Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych, IMGW, Warszawa, s. 7–17.
- Soja R., 2002, *Hydrologiczne aspekty antropopresji w polskich Karpatach*, Prace Geograficzne, 186, Instytut Geografii i PZ PAN, Warszawa, ss. 130.
- Somorowska U., 2001, *Wieloletni rytm zmian opadów, stanów wód podziemnych i przepływów w małej zlewni nizinnej*, Przegląd Geofizyczny, 46, 3, Warszawa, s. 197–207.
- Stachy J., Biernat B., Dobrzyńska I., 1979, *Odplyw rzek polskich w latach 1951–1970*, Materiały Badawcze IMGW, Seria Specjalna, 6, IMGW, Warszawa.
- Strońska K., 1992, *Zasoby wodne zlewni Osetnicy*, Maszynopis pracy magisterskiej (prom. prof. Z. Mikulski), WGiSR, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, ss. 105.
- Szałygin J., 2008, *Katalog zabytków osadnictwa holenderskiego na Ziemi Łęczyckiej*, Wydawnictwo DiG, Warszawa, ss. 115.
- Szczygielski W., 1959, *Technika gospodarki stawowej w Wieluńskim w XVI–XVIII w.*, Łódzkie Studia Etnograficzne, 1, Łódź, s. 21–39.
- Szramka R., Różycki A.W., 1999, *Perspektywy dla małych elektrowni wodnych*, Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki, 4, Warszawa, ss. 5.
- Szturc J., 1993, *Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznego na obszarze Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Część II. Próba opisu ilościowego*, Wiadomości IMGW, 16, 37, 2, IMGW, Warszawa, s. 75–91.
- Tłałka A., 1979, *Niżówki – warunki powstawania i metody ustalania*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 47, s. 63–87.
- 1982, *Przestrzenne zróżnicowanie niżówek letnich w dorzeczu górnej Wisły*, Uniwersytet Jagielloński – Rozprawy habilitacyjne, 63, UJ, Kraków, ss. 119.
- Trawkowski S., 1959, *Młyny wodne w Polsce w XII wieku*, Kwartalnik Historii Kultury Materialnej, 7, 1, PWN, Warszawa, s. 62–86.
- Trębała B., 1995, *Małe elektrownie wodne województwa płockiego*, Notatki Płockie, 164, 3, Tow. Nauk. Płockie, Płock, s. 35–41.
- Tomalski P., 2008, *Ekstremalne stany wód podziemnych w środkowej Polsce w wielecieciu 1951–2000*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica, 8, s. 131–150.
- Urbaniak U., 1962, *Mapa Geomorfologiczna Polski, 1:50 000, Arkusz Gąbin*, Instytut Geografii PAN, Warszawa.
- 1967a, *Mapa Geomorfologiczna Polski, 1:50 000, Arkusz Dobrzyń n/Wisłą*, Instytut Geografii PAN, Warszawa.
- 1967b, *Wydmy Kotliny Płockiej*, Prace Geograficzne, 61, Instytut Geografii PAN, Warszawa, ss. 79.
- Wadas S., 1962, *Oz gostyniński*, Acta Geographica Lodziendzia, 14, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, ss. 76.
- Waluszko W., 1997, *Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski, w skali 1:50 000. Arkusz Dobrzyń (443)*, PiG, Warszawa, ss. 32.
- Wardak K., 1992, *Obieg wody w zlewniach jezior Lucieńskiego i Białego*, Maszynopis pracy magisterskiej (prom. dr E. Bajkiewicz-Grabowska), WGiSR, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, ss. 136.
- Wicik B., Więckowski K., 1988, *Historia Pojezierza Gostynińskiego w świetle badań osadów dennych jezior*, Notatki Płockie, 2, 135, Towarzystwo Naukowe Płockie, Płock, s. 49–53.

- Wierzbička B., 1972, *Roczny rytm podziemnego zasilania rzek*, Gospodarka Wodna, 32, 1, Warszawa, s. 9–11.
- Wiśniewski E., 1976, *Rozwój doliny Wisły między Kotliną Płocką a Kotliną Toruńską*, Prace Geograficzne IG PAN, 119, ss. 124.
- Włostowski J., 2002, *Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski, w skali 1:50 000. Arkusz Płock (444)*, PIG, Warszawa, ss. 59.
- Włostowski J., Gregosiewicz R., 2002, *Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski, w skali 1:50 000. Arkusz Gostynin (481)*, PIG, Warszawa, ss. 35.
- Województwo płockie. Mapa glebowo-rolnicza*, 1989, Iwańcz T., Strzelec J. (red.), skala 1:100 000, IUNG, Puławy.
- Woś A., 1996, *Struktura sezonowa klimatu Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, ss. 146.
- Woś A., 1999, *Klimat Polski*, PWN, Warszawa, ss. 302.
- Wood P.J., Barker S., 2000, *Old industrial mill ponds: a neglected ecological resource*, [w:] Applied Geography, 20, London, s. 65–81.
- Wrzesiński D., 1996, *Wpływ procesów antropogenicznych na wielkość odpływu rzeczniczego ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych na przykładzie zlewni Kielbaski i Widawki*, [w:] *Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, Seria A – Geografia Fizyczna, t. 47, UAM, Poznań, s. 127–141.
- Wrzesiński D., 1999, *Sezonowa struktura odpływu w dorzeczu Warty i jej przyrodnicze uwarunkowania*, Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej, 25, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Poznań, ss. 155.
- Wyżga B., 1993, *Funkcjonowanie systemu rzeczniczego środkowej i dolnej Raby w ostatnich 200 latach*, Dokumentacja Geograficzna, 6, IGiPZ PAN, Warszawa, ss. 92.
- Zielińska M., 1963, *Statystyczne metody opracowywania niżówek – I*, Przegląd Geofizyczny, 8, 1–2, s. 75–87.
- 1964, *Statystyczne metody opracowywania niżówek – II*, Przegląd Geofizyczny, 9, 2, s. 109–120.
- Zieliński J., Słota H., Madej P., Korol R., Konieczny R., Grela J., 1996, *Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski*, Materiały Badawcze, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, 20, IMGW, Warszawa, ss. 51.
- Ziemiński S., Pałys S., 1963, *Erozja a stosunki wodne doliny rzeki Bystrej*, Annales UMCS, Sectio E: Agricultura, 18 (5), s. 73–95.



## SPATIAL AND TIME DIFFERENTIATION OF RIVER DISCHARGE WITHIN THE SKRWA LEWA RIVER BASIN

### Summary

This work contains the results of research undertaken in years 2000–2005 in the Skrwa Lewa river basin. From 2003–5 this was as (No. 3 P04E 019 24) Spatial and time variations in the discharge of the Skrwa river, an individual project financed by the State Committee for Scientific Research (Komitet Badań Naukowych). All field studies in the Skrwa Lewa basin have been based at the terrain station of the Department of Geomorphology and Hydrology of Lowland in Dobiegniewo.

The main objective is to determine the relative importance of the factors governing discharge in the river basin. As a result of human impact there have been modifica-

tions in the process of forming and patterns of discharge. Hence, another objective is to determine the degree and direction of changes in river discharge in the period 1961–2005.

The subject of research is the Skrwa Lewa river basin which contains the largest left-bank tributary flowing into the lower Vistula between the Bzura and Zgłowiączka (Fig. 1). Its source can be found on the Kłodawa upland (Wysoczyzna Kłodawska), to the south of the village of Łanięta (Kutno District), at a height of 131 m above sea level. The river flows into the Włocławek storage reservoir (at the 641.3 kilometre point of the Vistula) via two arms in the village Soczewka (Płock District). Its length is 48.5 km, it has an average gradient of 1.53 ‰ and its largest tributary is the Osetnica - 17.3 km long. The total area of basin is 400.4 km<sup>2</sup> which is almost entirely just behind the maximum extent of the Vistulian ice sheet.

The terrain studies ran from 2000–2005 and was set against a 45-year background (1961–2005) based on the results of hydro-meteorological observations conducted by the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) in the catchment (Table 1). In addition, the impact of human activity on this hydrographic system has been well researched from medieval to modern times.

Three groups of source materials were used:

1. Results of the author's terrain studies: groundwater levels at 86 points (piezometers and wells) in which 10 measurement series were made (689 measurements in total), and velocity of river discharge at 31 gauging stations (Fig. 2) with 30 measurement series (488 measurements in total).
2. Results of hydro-meteorological observations from 1961–2005 by IMGW at seven precipitation stations, one meteorological station, one gauging station of water-level in river and four groundwater-level measuring points (Figs 2 & 31).
3. Unpublished archival and cartographic materials collected primarily from the Archiwum Główne Akt Dawnych in Warsaw, the State Archive in Płock and the archives of the Regional Management Board for Land Reclamation and Water Facilities in Warsaw.

Spatial analysis of the geographical environment was based on topographic maps at a 1:25 000 scale and on geological, hydro-geological, geomorphological and agricultural and soil maps. Land use was determined by data from the Corine Land Cover 2000 project (Fig. 13).

To achieve these goals it was necessary to undertake the following research tasks:

1. To describe spatial variations in the major elements of the geographical environment affecting river discharge;
2. To reconstruct the hydro-technical management of the river basin and restore storage reservoirs over the past 200 years;
3. To determine the extent and intensity of improvement work in the river basin;
4. To demonstrate the temporal variability of discharge in the period 1961–2005 (including run-off structure and extreme phenomena);
5. To show the spatial differentiation of precipitation, run-off and groundwater levels in the river basin (under different hydro-meteorological conditions).

According to the classification of Polish climatic regions developed by A. Woś (1999), the Skrwa Lewa river basin is part of Region XVII – Srodkowopolski (Middle Poland). Based on data from the meteorological station in Płock (the closest to the Skrwa Lewa river basin) total annual precipitation was on average 520 mm. Its distribution over the year was uneven (Fig. 6): in the summer half-year precipitation (331 mm) it was 43% higher than in the winter (189 mm).

The average annual air temperature (1971–2000) was 8.0°C. Sub-zero average monthly temperatures were recorded from December to February (Fig. 5), with a minimum in January of -1.9°C, while July had the highest at 17.8°C. There are on average 73 days with night frost and 39 days with continuous frost. The growing period lasts on average 215 days, beginning around April 1<sup>st</sup> and ending around November 1<sup>st</sup>.

The Skrwa Lewa river basin is clearly divided in nature (Figs 1 & 8). The southern part is located in the morainic plateau (Kłodawa Upland and Kutno Plain), while the northern is in the Vistula proglacial valley (Plock Basin). The border between the upland and the proglacial valley is clearly outlined by a slope 10–15 m in height (Fig. 9). The subglacial channels used by the Skrwa Lewa and Osetnica play an important role in the process of draining water from the upland zone.

Within the river basin, the average thickness of Quaternary sediments is 35–50 m (Roman 2003) with two thirds of the basin area covered in loose sand giving rise to the strong infiltration over the greater part (Fig. 10). Barely permeable clay formations are found only in the SW and SE parts of the basin.

The geological structure of the Skrwa Lewa river basin also has a divided character (Figs 11A & 11B). On the upland, deposits consist of several layers of clay, separated by fluvio-glacial sands and silts. On the other hand, in the Vistula proglacial valley, the Quaternary deposits are thicker sandy sediments.

Almost throughout the whole of the basin, Quaternary deposits overlie Pliocene loams. This cover is not continuous however, so they are also in contact with sandy Miocene deposits.

Analysis of the river basin hydrographic system was conducted using a modified Horton-Strahler method (Fig. 12) and showed that the majority of first and second order streams are seasonal. A no less important component of the hydrographic system are 'water bodies' (557), both natural and artificial. Those very small in scale prevail with an average surface area of about 0.45 ha. There are much larger ones in the Płock Basin creating a group of 'valley lakes' known as the Gostynin Lakeland (Pojezierze Gostynińskie), unique in Europe. It should be noted that only lakes: Lucieńskie and Szczawińskie are connected by a surface exchange of water with the Skrwa Lewa river system. The percentage cover of lakes in the Skrwa Lewa river basin is 1.67%.

The defining land use in the Skrwa Lewa basin, in comparison to neighbouring basins, is the significant percentage of forest (40%) while agricultural land takes up 57% (of which 78% is arable land). The only town - Gostynin (20 000 inhabitants) - occupies just 1% of the area (Fig. 13).

Until the Middle Ages, man had little influence on changes to the hydrographic network and run-off. The significant improvement in farming techniques which then took place increased the area of arable land at the expense of forested areas. With the increase in cereal yields, a search for new methods of milling became indispensable

and in the mid-14<sup>th</sup> c. mills emerged using energy from the river (Brykala 2001, 2005) at 30 locations in the river basin (Figs 14, 15 & 16). They were the first hydro-technical constructions for damming water and, until the beginning of the 20<sup>th</sup> c., they constituted the main element in river management. In the 20<sup>th</sup> c. almost all stream channels have been regulated in the upland zone of the river basin.

Land melioration are another manifestation of human impact in the river basin. The first, from 1796, concerned the draining of meadows near Lake Lucieńskie. However, until the mid-20<sup>th</sup> c, land melioration was carried out only on a small scale and in small areas, mainly in the Płock Basin. In 1961–2005 24% of the basin was affected by improvements reaching a maximum in the 1980's (Figs 21 & 22). At that time more than 2,000 hectares of agricultural land were drained, mainly in the upland part of the Osetnica basin. It should be noted that nearly all the land improvement works carried out consisted of drainage, and in the upland part, as much as 81% of the total arable land has been affected (Fig. 18).

In order to illustrate how hydro-meteorological phenomena vary, were used the RAPS method (rescaled adjusted partial sums) which allows visualization of sequence variability of the set of elements.

The RAPS curve for precipitation shows a sequence of 'dry' and 'wet' years (Fig. 27). At the stations in Plock and Duninów, a division into three periods is clearly visible:

- a sequence of wet years – 1964–1981;
- a sequence of dry years – 1982–1993;
- a sequence of wet years – 1994–2002.

A close relationship with precipitation is reflected in the curves concerning groundwater levels (Fig. 38). Groundwater-level measuring points located in the Plock Basin (Helenów and Krakówka) closely follow precipitation in Plock and Duninów. The change from a sequence of years with high groundwater levels to one with a growing shortage of groundwater resources took place in 1982 and lasted until 1993. Since 1994, there has been a stabilization of average annual levels.

A similar RAPS curve, as for precipitation in Plock and Duninów and ground water levels in Helenów and Krakówka, was observed in the case of Skrwa Lewa river at Klusek (Fig. 38). The strongest correlation ( $r = 0.81$ ) exists between discharge and fluctuations in ground water levels in the Plock Basin (Table 11).

The homogeneity of hydro-meteorological data sequences was verified using a Kruskal-Wallis rank sum test and a Spearman's rank correlation coefficient test at the  $\alpha = 0.05$  significance level. They revealed that it is only precipitation sequences that are statistically homogeneous (Table 10). Sequences of average annual discharge and average annual groundwater-levels for the period 1961–2005 are statistically heterogeneous. This can be evidence for the impact of factors other than precipitation on these changes. The analysis of the double-mass curve for annual cumulative precipitation and discharge (Fig. 25) helped to define the date from which a deviation of the double-mass curve from a straight line becomes visible. Until 1978 points of cumulative precipitation and discharge imitate a straight line. From 1979 to 1982, there is an increase in discharge relative to precipitation, while from 1983 the relationship between discharge



and precipitation is becoming smaller. After 1982 there was a permanent change in the angle of inclination of the straight line. Retrial tests for homogeneity show that the sequences of average annual discharge of the Skrwa Lewa river at Klusek and of average annual groundwater-levels are statistically homogeneous in years: 1961–1982 (period A) and in years: 1983–2005 (period B).

Based on the data given in Tables 8 and 9, the degree of change is clearly visible. The value of the average long-term discharge of the Skrwa Lewa river at Klusek in period B was more than one third lower than in period A. Even bigger changes have occurred concerning low and high flows, where SNQ and SWQ values were reduced by a half. Noteworthy are the high autocorrelation values (with a one-month displacement) of average discharges, which reveal that monthly flows are not completely random. This demonstrates a significant level of storage in the river basin.

With the help of selected parameters for floods and low flows (start, duration, depth), differences between periods A and B have been illustrated (Fig. 46). In 1983–2005 the floods waves of the summer half-year were formed on average two weeks earlier than in period A (Table 13). Levels of peak flow (two-fold) and duration (three-fold) have been substantially reduced. The low flows of the summer half-year in period B have begun to appear three weeks earlier and have lasted until the beginning of October, about a month longer than on average in years 1961–82 (Table 14).

The main component of river discharge is groundwater supply (Table 15), and its share in the Skrwa Lewa river total discharge is over 50%. In period B, there was a decrease in this component by 5% (by the Kille and the Kliner & Knezek methods) in comparison to period A.

Using the de Thiessen polygon method, the average precipitation in the Skrwa Lewa river basin has been calculated as 679 mm (Fig. 31). Spatially the highest values are observed in the northern part, and therefore at the mouth of the Skrwa Lewa river (the IMGW gauging station at Klusek). In turn, the lowest quantity is in the western part, including the source areas of the Skrwa Lewa river.

The hydroisohypses map in the upland zone of the river basin shows a deep drainage of aquifers in the areas of subglacial channels (Fig. 36). The erosional edges of the morainic plateau favour the maintenance of hydro-geological links between the aquifer in the Vistula proglacial valley and the aquifers on the upland. The consequence of such geological construction is the occurrence in the Płock Basin of one level aquifer with a free water table, situated at a depth of from 2–3 m to 8 m. Here, hydroisohypses run parallel to the course of the Vistula river channel which is the base level of all aquifers in the area analyzed.

In order to present changes to river discharge along the Skrwa Lewa river pQ, an indicator of the increase in discharge, has been used. It indicates the average amount of water that is delivered to the river between gauging stations for every kilometre of its flow.

The mean and extreme pQ values on the different parts of the Skrwa Lewa river are shown in Fig. 56. The most stable supply conditions occur within the upper section of the Skrwa Lewa river from Łanięta to Piekieleko with no great fluctuations in the quantity of water supplied, and the pQ is always positive.

The only section of Skrwa Lewa river where a loss of water has almost always been observed was the Brzozówka-Gostynin section (average  $pQ = -9,5 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$ ). This is a typical example of human impact on the Skrwa Lewa Water from river being used to fill the pond in Piechota and the reservoir at Dybanka.

The change of stability of the groundwater supply, from the drainage of several aquifers within the morainic plateau, to only one aquifer in the Płock Basin, is visible through the mean value of  $pQ$  and in the scale of change within this indicator (from  $-84.6$  to  $24.6 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$  on the Ziejka-Kazimierzów section, and from  $-43.8$  to  $119.0 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$  on the Kazimierzów-Lucień section). Such large negative  $pQ$  values demonstrate the seasonal infiltrating character of the river in the Płock Basin.

Wide variations in the volume of specific discharges from different parts of the river basin have been found (Fig. 59). During the spring thaw, differences in discharge between the western and eastern parts of the basin may exceed  $10 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-2}$ .

The main conclusions are:

1. The discharge regime of the Skrwa Lewa river basin is determined on groundwater and hereinafter snow and rain. The average discharge hydrograph has one short spring flood (meltwater) and a poor response to summer half-year precipitation. This illustrates the high retention capacity of the basin (see Gutry-Korycka et al. 2003).

2. The process of human-modifying the conditions of discharge in the Skrwa Lewa river basin has progressed through three stages (Fig. 65):

- In the first phase changes were caused by settlement in the area and were due to the conversion of forest to agricultural land.

- In the second stage, the hydrographic system was modified by regulation of river channels and the hydro-technical management of rivers.

- The third stage is associated with land melioration.

3. In the long-term period analyzed, 1961–2005, the relation between river discharge and precipitation has changed ('year 1983'). However, the causes should not be solely ascribed to the anthropogenic factor (drainage improvements) and similar changes have been observed in other basins in Poland (e.g. Jokiel 2004, Głogowska 2005). Assuming homogeneity in rain sequences, it may indicate an increased share of evaporation in the water balance.

4. Depending on the overall hydrological situation, the Skrwa Lewa river in the Płock Basin has a draining character of the water-table (wet periods) or is an infiltrating river (dry periods). The indicator of the increase in discharge  $pQ$ , varies from  $+119 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$  to  $-85 \text{ dm}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$ .

5. Major changes in the discharge of the Skrwa Lewa river basin were related to the summer half-year. They revealed primarily a two-fold increase in irregularities in the discharge, while reducing by half the levels of maximum and minimum flows. The duration of low flows increased three-fold while the duration of floods was reduced three-fold.

6. On the volume of water resources available during the growing season, precipitation in winter (as snow) has a decisive influence. A pattern can be observed that in years in which the groundwater retention did not recover, in the summer half-year very low flows occurred (1989–1992). Thus, the restoration of storage in small reservoirs

could contribute to the prolongation of increased discharge from the thaw period up to the period of droughts.

7. Theoretically, the restoration of mill dams in the Skrwa Lewa river basin in places where they have operated for centuries would increase (recover) retention in through reservoirs of about 2–3% of the average annual discharge from the basin. Such a step would also entail an increase in other forms of retention.

Translated by Dariusz Brykała and Anna Sobolewska



Fot. 1. Młynówka odprowadzająca wodę z młyna Bierzewice  
Photo 1. Mill stream taking water from the watermill at Bierzewice



Fot. 2. Młynówka odprowadzająca wodę z młyna Krzywy Kolek  
Photo 2. Mill stream taking water from the watermill at Krzywy Kolek



Fot. 3. Uregulowany źródłiskowy odcinek Osetnicy  
Photo 3. Regulated source-section of the Osetnica river



Fot. 4. Uregulowany odcinek Skrwy Lewej w Gostyninie  
Photo 4. Regulated section of the Skrwa Lewa river in Gostynin





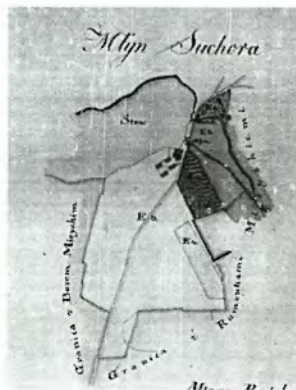
Fot. 5. Stopień piętrzący wodę w korycie rzecznej Skrwy Lewej na odcinku miejskim w Gostyninie  
Photo 5. The channel-dam regulating the Skrwa Lewa river in its urban-section in Gostynin

drewniane elementy  
zastawki

kamiennie  
elementy grobli stawu



Fot. 6. Dawne piętrzenie stawu młyna Źelazne. Piętrzenie zniszczone w latach 50-tych XX w.  
Photo 6. The old mill damming of the pond at Źelazne destroyed in the 1950's.



Archiwum Główne Akt Dawnych,  
Zbiór Kartograficzny 259-16, 1802 r.

Fot. 7. Zniszczony most i jaz młyna Sochora  
Photo 7. Destroyed bridge and weir of the watermill at Sochora



Fot. 8. Zamulony staw młyński i zniszczone urządzenia piętrzące  
młyna Brzozówka na Skrwie Lewej  
Photo 8. Silted mill pond and destroyed dam equipment at the Brzozówka  
watermill on the Skrwia Lewa river





Fot. 9. Jaz stawu młyńskiego w Brzozówce na Skrwie Lewej  
 Photo 9. Weir of the mill pond at Brzozówka on the Skrwa Lewa river



Fot. 10. Miejsce lokalizacji dawnego młyna wodnego (Nowy Młyn)  
 – piętrzeńce zniszczone w latach 30-tych XX wieku  
 Photo 10. The site of a former watermill Nowy Młyn – destroyed in the 1930's.



Archiwum Główne Akt Dawnych,  
 Zbiór Kartograficzny 374-35, 1816 r.



30,00



Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN im. Stanisława Leszczyckiego 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 (1993–1997) i Centralny Katalog Zbiorów Kartograficznych w Polsce (1961–2000).*

#### MONOGRAFIE

1. Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997, *Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski.*
2. Starkel L., 2001, *Historia doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś.*
3. Kozłowska-Szczęsna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., Limanówka D., 2002, *Bioklimat uzdrowisk polskich i możliwości jego wykorzystania w lecznictwie.*
4. Kozłowska-Szczęsna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka.*
5. Gawryszewski A., 2005, *Ludność Polski w XX wieku.*
6. Węclawowicz G., Bański J., Degórski M., Komornicki T., Korcelli P., Śleszyński P., 2006, *Przestrzenne zagospodarowanie Polski na początku XXI wieku.*
7. Taylor Z., 2007, *Rozwój i regres sieci kolejowej w Polsce.*
8. Matuszkiewicz J.M. (red.), 2007, *Geobotaniczne rozpoznanie tendencji rozwojowych zbiorowisk leśnych w wybranych regionach Polski.*
9. Roo-Zielińska E., Solon J., Degórski M., 2007, *Ocena stanu i przekształceń środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników geobotanicznych, krajobrazowych i glebowych.*

#### ATLAS WARSZAWY

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., Kozłowski P., Nowicki W., Plit J., 2001, *Ptaki Warszawy 1962–2000.*
9. Śleszyński P., 2006, *Przedsiębiorstwa w przestrzeni Warszawy.*
10. Degórska B., Deręgowska A., 2008, *Zmiany krajobrazu obszaru metropolitalnego Warszawy na przełomie XX i XXI wieku.*
11. Stępiak M., Węclawowicz G., Górczyńska M., Bierzyński A., 2009, *Warszawa w świetle Narodowego Spisu Powszechnego 2002.*

Sprzedaż i prenumeratę publikacji IGiPZ PAN prowadzą księgarnie:

- Dom Handlowy Nauki Sp. z o.o. PAN, ul. Szczęśliwicka 2/17, 02-352 Warszawa, tel./fax 22-8229869, tel. 0- 22-6581558.
- Główna Księgarnia Naukowa im. Bolesława Prusa, ul. Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa, tel. 0- 22-8261835.

Odptyw ze zlewni rzecznej jest uzależniony od sytuacji pogodowej oraz warunków środowiska przyrodniczego, modyfikowanego przez antropopresję. Działalność człowieka w ciągu ostatnich stuleci doprowadziła do znacznego przekształcenia naturalnego środowiska niemal całego obszaru Polski. Jest to szczególnie widoczne w małych zlewniach rzecznych, których przykładem może być dorzecze Skrwy Lewej. Analiza długich serii danych hydrometeorologicznych w dorzeczu pozwoliła na określenie terminu, kierunku i wielkości zmian odptywu rzecznej w drugiej połowie XX wieku. Autor podjął również próbę identyfikacji przyczyn tych zmian. Z kolei badania terenowe z lat 2000-2005, prowadzone w ponad 100 punktach pomiarowych, pozwoliły na identyfikację czynników odpowiedzialnych za formowanie się i przebieg odptywu w zlewni.

Wielkość i zmienność odnawialnych zasobów wód powierzchniowych przedstawiona została w szerszym kontekście czasowym, obejmującym ostatnie kilkaset lat. Pozwoliło to na próbę oszacowania wielkości zasobów dyspozycyjnych możliwych do odtworzenia. Wydaje się, że może mieć to istotne znaczenie w obliczu coraz większych niedoborów wody dla gospodarki.