

Książka Danuty Szumińskiej „jest interesującym opracowaniem hydrologicznym dotyczącym wpływu gospodarki wodnej na odpływ w zlewni Wdy w latach 1974-2003. Założono, że podstawą oceny będzie zróżnicowany stopień ingerencji w stosunki wodne w pięciu zlewniach różnicowych, zamkniętych wodowskazami IMGW. Zlewnię Wdy charakteryzują duża lesistość i jeziorność oraz brak większych ośrodków miejskich i przemysłowych. W tych warunkach wpływ antropopresji na odpływ wydaje się ograniczony i szczególnie trudny do wykazania z powodu jednoczesnego oddziaływania czynników środowiskowych. Te ostatnie nie sprzyjają występowaniu ekstremalnych zjawisk hydrologicznych (powódzie, susze).

Obszar badań to teren byłego zaboru pruskiego, gdzie już w XVIII i XIX wieku oraz później przeprowadzono prace hydrotechniczne na stale zmieniające stosunki wodne: melioracje odwadniające i nawadniające, regulację cieków, budowę kanałów i zbiorników zaporowych, podpiętrzenie jezior, zakładanie stawów rybnych, uruchamianie małych elektrowni wodnych – MEW, w miejscach piętrzeń młyńskich. Prace te niewątpliwie wpłynęły na wielkość i przebieg odpływu ze zlewni. [...]

Rozprawa [...] jest pierwszą monografią hydrologiczną zlewni Wdy i jednym z nielicznych opracowań tego typu w Polsce. Posiada duże walory naukowe i poznawcze. Może też być wykorzystana praktycznie przez instytucje zajmujące się gospodarką wodną, planowaniem przestrzennym i ochroną przyrody (Park Narodowy „Bory Tucholskie”).

Z recenzji dr. hab. Ryszarda Glazika, prof. UMK

Sfinansowano ze środków
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Toruniu
i Urzędu Marszałkowskiego Województwa Kujawsko-Pomorskiego w Toruniu



Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej w Toruniu

ISBN 978-83-7096-992-9



Przebieg odpływu w zlewni Wdy

Danuta Szumińska

DZIEDZICTWO PRZYRODNICZE
WDECKIEGO PARKU KRAJOBRAZOWEGO

Przebieg odpływu w zlewni Wdy na tle zmian intensywności użytkowania wód w drugiej połowie XX wieku

Danuta Szumińska

PRZEBIEG ODPIYU W ZLEWNI WdY
NA TLE ZMIAN INTENSYWNOŚCI UŻYTKOWANIA WÓD
W DRUGIEJ POŁOWIE XX WIEKU

DANUTA SZUMIŃSKA

Przebieg odpływu w zlewni Wdy na tle zmian intensywności użytkowania wód w drugiej połowie XX wieku



Bydgoszcz-Osie 2014

Komitet Redakcyjny
Sławomir Kaczmarek (przewodniczący), Zygmunt Babiński,
Katarzyna Domańska, Grzegorz Kłosowski, Andrzej Prószyński,
Marlena Winnicka, Jacek Woźny, Ewa Zwolińska, Grażyna Jarzyna (sekretarz)

Recenzent
Ryszard Glazik

Redaktor
Jagna Urbańska
Danuta Szumińska

Skład i łamanie tekstu
Bartosz Urbański

Wydanie publikacji ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej w Toruniu, Nr DT14143/EE-wyd



Wojewódzki Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej
w Toruniu

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2014

© Copyright by Wdecki Park Krajobrazowy, Osie 2014

ISBN 978-83-7096-992-9

Wydawcy

Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego
(Członek Polskiej Izby Książki)
85-092 Bydgoszcz, ul. Ogińskiego 16
tel./fax 52 32 36 755, 32 36 729, mail: wydaw@ukw.edu.pl
<http://www.wydawnictwo.ukw.edu.pl>
Rozpowszechnianie 52 32 36 730
Poz. 1560. Ark. wyd. 8

Wdecki Park Krajobrazowy
86-150 Osie, ul. Rynek 11A
Tel./fax 52 33 29 486, e-mail: seketariat@wdeckipark.pl

SPIS TREŚCI

Podziękowania.....	7
Wprowadzenie.....	9
1. Cel i metody badań	13
1.1. Cel pracy	13
1.2. Metody badań.....	13
1.2.1. Analiza danych hydrologicznych i meteorologicznych	14
1.2.2. Metody opracowania danych o środowisku przyrodniczym i gospodarce wodnej	20
1.2.3. Badania terenowe	22
2. Środowisko przyrodnicze zlewni Wdy	23
2.1. Klimat	25
2.2. Warunki morfologiczne i hydrogeologiczne	34
2.3. Sieć wodna	43
3. Użytkowanie terenu i gospodarka wodna	51
3.1. Użytkowanie terenu.....	51
3.2. Gospodarka wodna	55
3.3. Zmiany użytkowania wód powierzchniowych w wybranych fragmentach zlewni Wdy od XIX do początku XXI wieku	62
3.3.1. Zlewnia Wdy od jeziora Wdzydze do Czarnej Wody.....	62
3.3.2. Dolina Wdy na odcinku kaskady hydroenergetycznej.....	75

4. Przebieg odpływu w zlewni Wdy w drugiej połowie XX wieku w odniesieniu do zmieniającej się antropopresji.	83
4.1. Odpływy charakterystyczne	83
4.2. Przebieg odpływu i opadów rocznych w wieloleciu	89
4.3. Częstość występowania lat normalnych, suchych i wilgotnych.	92
4.4. Wieloletnie tendencje odpływów i opadów rocznych	94
4.5. Zmiany relacji opad-odpływ i nieregularności przepływów w wieloleciu	101
4.6. Zmiany koncentracji odpływu i opadów w wieloleciu	107
4.7. Wieloletnie tendencje odpływów sezonowych oraz miesięcznych na tle opadów	111
5. Antropogeniczne uwarunkowania odpływu w zlewni Wdy	117
5.1. Zlewnia Czarna Woda	117
5.2. Zlewnia Krąplewice	122
5.3. Zlewnie Wawrzynowo, Błędno i Tleń	129
6. Podsumowanie i dyskusja	137
Bibliografia	143
Spis tabel, rycin, fotografii	157
Summary	170

Podziękowania

Publikacja została opracowana na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania przebiegu wybranych procesów hydrologicznych w zlewni Wdy*, przygotowanej w Instytucie Geografii Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego i obronionej w roku 2007 na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu oraz prac prowadzonych w latach 2007-2011 w ramach tematu badań statutowych: *Wpływ działalności człowieka na systemy fluwialne. Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na przekształcenia systemu rzecznego Wdy*, realizowanego w Instytucie Geografii na UKW w Bydgoszczy.

Serdecznie dziękuję prof. dr. hab. Zygmuntowi Babińskiemu, promotorowi rozprawy doktorskiej, za wsparcie i cenne wskazówki merytoryczne.

Dr. hab. prof. UMK Ryszardowi Glazikowi oraz śp. prof. dr. hab. Andrzejowi T. Jankowskiemu składam serdeczne podziękowania za wnikliwe recenzje rozprawy doktorskiej, a dr. hab. prof. UMK Ryszardowi Glazikowi za cenne uwagi i dyskusje pomocne w przygotowaniu pracy do druku.

Dziękuję także wszystkim, którzy swoją życzliwością przyczynili się do sprawnego zebrania na cele pracy danych zgromadzonych w reprezentowanych przez nich instytucjach: Paniom Ewie Maciążek z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, Halinie Burakowskiej i Hali Martuszeńskiej z Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gdańsku, Ewie Smółce, syndykowi masy upadłościowej Zakładów Płyt Pilśniowych w Czarnej Wodzie, pracownikom Elektrowni Wodnej Żur.

Dziękuję dyrekcji i pracownikom Wdeckiego Parku Krajobrazowego za pomoc techniczną i logistyczną w trakcie prowadzonych badań terenowych.

W szczególności zaś dziękuję mojej Rodzinie za wsparcie na wszystkich polach!

Wprowadzenie

Woda stanowi jeden z najcenniejszych i jednocześnie najbardziej niezbędnych elementów środowiska naturalnego. W wyniku niegospodarnego jej użytkowania, przede wszystkim w okresie intensywnego rozwoju gospodarczego w XIX i XX wieku, stała się na wielu obszarach zasobem deficytowym. Zmiany związane z gospodarką wodną, zwłaszcza na terenach, gdzie proces ten trwa już bardzo długo, na trwałe wpisały się w rytm hydrologiczny, a pośrednio też w cały system przyrodniczy. Pomimo niekwestionowanej roli, jaką odgrywają zasoby wodne w środowisku i gospodarce człowieka, nadal stan rozpoznania roli poszczególnych czynników, w tym antropopresji, w kształtowaniu procesów hydrologicznych w niektórych rejonach Polski jest niezadowolający. Można zauważyć, że badania koncentrują się na obszarach, w których okresowy nadmiar lub niedobór wody stanowił zagrożenie dla gospodarczej działalności człowieka. Na terenach niżowych są to przede wszystkim zlewnie rolnicze zlokalizowane na wysoczyznach (m. in. Glazik, 1970; Rotnicka, 1988; Churski, 1988; Woś, 1989; Bartczak, 2004). W strefie wyżyn i gór, z powodu dużego prawdopodobieństwa pojawiania się katastrofalnych sytuacji hydrologicznych, szczególnie zainteresowanie budziły górne oraz środkowe odcinki głównych rzek Polski, a także zlewnie ich dopływów. Liczne prace hydrologiczne dotyczyły w tym przypadku zarówno większych obszarów (m. in. Jankowski, red., 1996; Soja, 1994, 2002; Chęłmicki i in., 1999; Punzet, 1999), jak też pojedynczych zlewni bądź ich fragmentów (m. in. Soja, 1980; Ciepeliowski i in., 1998; Absalon, 1998; Magnuszewski, 2002; Gutry-Korycka i in., red., 2003). Uwagę badaczy przyciągały też miejsca o potencjalnie najsilniej zmienionych stosunkach wodnych: okolice dużych ośrodków miejskich (Jankowski, 1975, 1986; Kaniecki, 1995; Czaja, 1999) oraz tereny przemysłowe i górnicze (Jankowski, 1986, 1988, 1998; Czaja, 1988; Jokiel, Maksymiuk, 1988). Prowadzone w niektórych ośrodkach badania modelowe, oparte na wieloletnich seriach pomiarów hydrologicznych, koncentrowały się także najczęściej na terenie gór i wyżyn (Gutry-Korycka i in., red., 2003).

Przyjmując jako kryterium wyboru obszaru badawczego potencjalne zagrożenia klęskami suszy czy powodzi, zalesione zlewnie rzek Pojezierzy Pomorskich stanowią miejsce o małym niebezpieczeństwie wystąpienia groźnych dla człowieka zjawisk hydrologicznych. Wynika to z porównania do innych rejonów Polski, które znaleźć można w opracowaniach o charakterze regionalnym (Dynowska, 1971; Stachy, 1987; Choiński, 1988). Wyłączając duże rzeki, jak Wisła czy Odra, badania rzek na niżu dotyczyły głównie warunków odpływu w rzeczno-jeziornych systemach hydrograficznych (m. in. Drwał, 1982; Okulanis, 1982; Bajkiewicz-Grabowska, 1996, Fac-Beneda, 2011 a, Drwał i in., 2011), odpływu z małych zlewni rzecznych (Fac-Beneda, 2010 a), hydrologicznej roli obszarów bezodpływowych (Drwał, 1973/1975) oraz struktury hydrograficznej w obszarze młodoglacjalnym (Fac-Beneda, 2010 b, 2011 b), a także warunków hydrologicznych i gospodarki wodnej na terenach o unikalnych walorach przyrodniczych (Byczkowski, Kiciński, 1991; Mioduszeński, Querner, red., 2003).

W niniejszej pracy prezentowane są wyniki badań prowadzonych w zlewni rzeki Wdy, lewobrzeżnego dopływu dolnej Wisły. Podstawą wyników i sformułowanych wniosków są archiwalne dane hydrologiczne i meteorologiczne uzyskane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie oraz własne pomiary i obserwacje prowadzone w różnych częściach zlewni.

Rzeka Wda wraz z dopływami stanowi, obok Brdy, jeden z dwóch głównych systemów rzecznych Borów Tucholskich. Ze względu na znaczny udział lasów w powierzchni, dużą jeziorność i małą liczbę ośrodków osadniczych, a także niewielką zmienność przepływów w ciekach, obszar ten nie został, jak do tej pory, określony jako problematyczny pod względem zasobów wodnych i zagrożeń niekorzystnymi gospodarczo zjawiskami hydrologicznymi. Nie był też w związku z tym obiektem wnikliwej analizy hydrologicznej. Ogólne informacje na temat zlewni Wdy można znaleźć w pracach o charakterze regionalnym (Dynowska, 1971; Stachy, 1987; Choiński, 1988; Sadurski i in., 1994; Jokiel, Tomalski, 2004, Wrzesiński, 2013) oraz w nielicznych opracowaniach dotyczących rzeki głównej – Wdy i wybranych odcinków jej zlewni (Wołoszyn, 1995 a i b, 2001; Choiński, 2002).

Zlewnia Wdy należy do terenów stosunkowo wcześniej, bo już w XIX wieku, poddanych intensywnym przekształceniom stosunków wodnych. Obszar ten po rozbiórze Polski znalazł się w obrębie zaboru pruskiego, w którym zakres eksploatacji zasobów środowiska, w tym zasobów wodnych, był w porównaniu do pozostałych fragmentów obecnej Polski, największy. Założono zatem, jako punkt wyjściowy badań, że zmiany warunków hydrologicznych związane z użytkowaniem wód, mogą być większe niż to się do tej pory przyjmuje. Ze względu na warunki naturalne zlewni mogą one być jednak dużo bardziej dyskretne i zamaskowane naturalnymi procesami niż w zlewniach rolniczych czy na obszarach zurbanizowanych. Często stopień antropopresji utożsamiany jest z intensywnością wylesienia, a obszary o znacznym udziale lasów w powierzchni terenu traktowane są *a priori* jako słabiej

przekształcone niż tereny bezleśne. Nie zawsze to założenie jest słuszne. Szczególnie ostrożnie zaś trzeba traktować właśnie rejon byłego zaboru pruskiego, w którym położona jest zlewnia Wdy. Przeprowadzono tu w XVIII i XIX wieku zakrojone na szeroką skalę prace hydrotechniczne i wybudowano wiele obiektów, trwale zmieniających stosunki wodne. Bory Tucholskie były ponadto od XVIII wieku miejscem znacznych przekształceń szaty roślinnej, polegających na wielkoobszarowych wylesieniach i przebudowie drzewostanu w monokulturę sosny. Prowadzona w tym okresie gospodarka leśna często miała charakter rabunkowy i obejmowała nie tylko pozyskiwanie drewna, ale także runa i ściółki. Na terenach sandrowych wschodniej Polski historia użytkowania terenu i zasobów środowiska była zupełnie inna, bardziej sprzyjająca zachowaniu zbliżonych do naturalnych zbiorowisk leśnych i pokrywy glebowej, a także rzek i jezior.

Przesłanką do podjęcia tematu wpływu antropopresji na warunki odpływu w zlewni Wdy były sygnalizowane lokalne problemy z niedoborem lub nadmiarem wody w ostatnim dziesięcioleciu XX wieku (Wołoszyn, Szydłowski, 2002; Unczur, 2002; Frydel, 2004). Zastanawiający był fakt, że zupełnie przeciwstawne zjawiska – czyli zanik zbiorników wodnych i podtopienia terenu – występowały po pierwsze: w tym samym czasie, czyli w zbliżonych warunkach opadowo-termicznych, po drugie – w niedalekiej przestrzennej odległości od siebie.

1. Cel i metody badań

1.1. Cel pracy

Jako główny cel badań przyjęto określenie roli czynników naturalnych i antropogenicznych, w tym przede wszystkim użytkowania wód, w kształtowaniu odpływu ze zlewni Wdy. W związku ze znacznymi w ostatnim kwartale XX wieku zmianami w sposobie użytkowania wody, podjęto również próbę wyjaśnienia wpływu tych zmian na warunki hydrologiczne i przebieg odpływu.

Realizacja przedstawionych powyżej celów wymagała przeprowadzenia następujących zadań:

- przeanalizowania dostępnych historycznych danych hydrologicznych oraz danych uzyskanych z pomiarów własnych,
- wykonania możliwie dokładnej charakterystyki naturalnych uwarunkowań przebiegu odpływu w zlewni Wdy,
- odtworzenia historii użytkowania wód,
- określenia związku pomiędzy aktualnym sposobem gospodarowania wodą a warunkami hydrologicznymi zlewni,
- znalezienia związku pomiędzy przebiegiem odpływu a zmianami użytkowania wód w zlewni.

1.2. Metody badań

Najkorzystniejszą sytuacją w przypadku analizy wpływu działalności człowieka na odpływ jest dysponowanie ciągiem danych hydrologicznych, obejmującym okres sprzed ingerencji, tzw. okres kalibracji (Absalon i in., 1996). Niestety, dla zlewni Wdy dane takie nie są dostępne ze względu na relatywnie wcześniej rozpoczęte przekształcenia (regulacje i melioracje już w XIX wieku, zbiorniki zaporowe w latach 30. XX wieku).

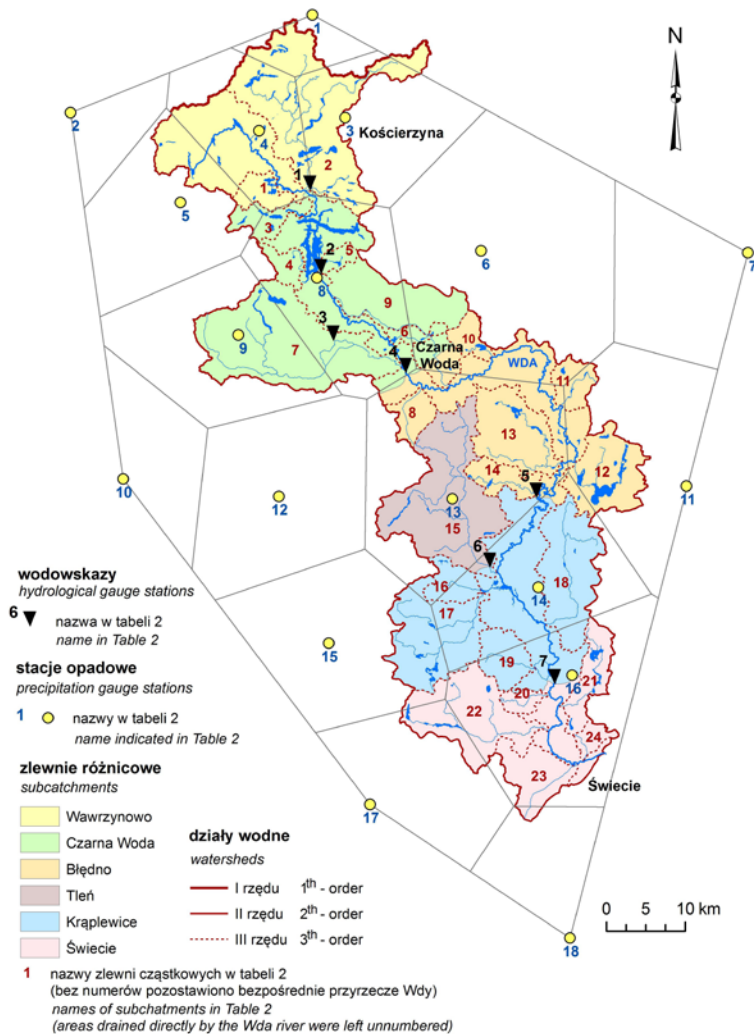
W takim przypadku możliwe było porównanie obszarów charakteryzujących się zróżnicowanym stopniem ingerencji w stosunki wodne, co – jak zakładano – będzie podstawą do oceny wpływu gospodarowania wodą na odpływ. Jako podstawowe obszary porównawcze przyjęto zlewnie różnicowe, zamknięte posterunkami hydrologicznymi Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW). Stosowanie zlewni różnicowych jest zalecane w czasie analizy antropogenicznych zmian przepływu (Absalon i in., 1996). Autorzy stwierdzają, że zmiany przepływu wykryte na podstawie krzywej kumulacyjnej w całych dorzeczach są mniej dokładne i przesunięte w czasie.

Dla tak wyznaczonych obszarów przeprowadzono także analizę porównawczą elementów naturalnych, determinujących odpływ oraz zmian intensywności gospodarki wodnej w czasach historycznych.

1.2.1. Analiza danych hydrologicznych i meteorologicznych

Jako podstawowe jednostki przestrzenne przyjęto w pracy pięć zlewni różnicowych zamkniętych posterunkami IMGW, dla których dysponowano seriami przepływów z okresu 1974-2003 (Wawrzynowo, Czarna Woda, Błędno, Krąplewice, Tleń; ryc. 1). Cztery z nich stanowią fragmenty zlewni Wdy o podobnych powierzchniach (po około 20% całej zlewni; tab. 1). Zlewnia Tleń obejmuje obszar odwadniany przez prawobrzeżny dopływ Wdy – rzekę Prusinę. W dwóch przypadkach wykorzystano też dłuższe serie danych pomiarowych dostępne dla posterunków hydrologicznych w Czarnej Wodzie i Krąplewicach. W badaniach, ze względu na brak danych hydrologicznych, nie uwzględniono dolnego odcinka zlewni pomiędzy posterunkiem w Krąplewicach a ujściem. Analizę przeprowadzono zatem dla obszaru zamkniętego wodowskazem Krąplewice o powierzchni 2025 km², czyli obejmującego 87% powierzchni zlewni Wdy.

Do analizy warunków opadowych wybrano 18 stacji IMGW, z których sześć zlokalizowanych jest na obszarze zlewni, natomiast pozostałe rozmieszczone są w miarę równomiernie w jej otoczeniu (ryc. 1, tab. 2). Dla wszystkich stacji dostępne były dane z okresu 1965-2003, natomiast dla 14 z nich serie rozpoczynały się w roku 1959. Sumy opadów skorygowano wg poprawki zaproponowanej przez S. Kowalczyk i K. Ujdę (1987). Na podstawie średnich wieloletnich wartości z okresu 1965-2003 skonstruowano mapy przestrzennego rozkładu opadów dla roku oraz półroczy letniego i zimowego. Interpolację wykonano w programie ArcGis 9.0. Na podstawie skorygowanych danych, dla całego okresu 1959-2003, obliczono też sumy miesięczne opadu w zlewniach różnicowych, stosując metodę wieloboków równego zadeszczenia Thiessena (ryc. 1).



Ryc. 1. Rozmieszczenie posterunków hydrologicznych i opadowych oraz poligonów Thiessena na tle podziału hydrograficznego zlewni Wdy (opracowano na podstawie MPHP – Mapy Podziału Hydrograficznego Polski, 2004 oraz badań własnych)¹

Fig. 1. Location of hydrological gauge stations, precipitation gauge stations and Thiessen polygons against the background of the watershed map of the Wda catchment (prepared on the basis of MPHP – Hydrographic map of Poland, 2004 and author's own study)¹

¹ W pracy zastosowano tradycyjną klasyfikację rzek, w której I rzędu są ciekі uchodzące bezpośrednio do morza, II rzędu – ich dopływy, itd.

¹ The work employs the traditional classification of rivers, in which streams that flow directly into the sea are understood as first order rivers, their tributaries are of second order etc.

1. Cel i metody badań

Tab. 1. Zestawienie posterunków hydrologicznych w zlewni Wdy

Tab. 1. Hydrological gauge stations in the Wda catchment

RZEKA JEZIORO Posterunek RIVER LAKE Gauge station	Km biegu rzeki ¹ River kilometer ¹	Pow. zlewni ¹ Catchment area ¹	Pow. zlewni ² Catchment area ²	Pow. zlewni różnicowej ² Subcatchment area ¹	Udział zlewni różnicowej w powierzchni zlewni Wdy ² Percentage of subcatchment area in the Wda catchment area ²	Stany wody Rok rozpoczęcia obserwacji Water stages Beginning of observations	Przepływy Rok rozpoczęcia obserwacji Discharges Beginning of observations
	[km]	[km ²]	[km ²]	[km ²]	[%]		
WDA Wawrzynowo	166,0	421,2	421,10	421,10	18,13	1947	1974
WDZYDZE Jeziorna	152,1	538,1				1947	
WDA Czarna Woda limnigraf	129,8	940,1	937,37	516,27	22,23	1947	1959
WDA Błędno	62,3	1385,7	1373,95	436,58	18,80	1947	1974
WDA Kraplewice limnigraf	21,3	2021,5 ³	2025,03 ³	463,69 ⁴	19,97	1947	1965
NIECHWASZCZ Dębowiec (Pustki)	11,4	173,4				1963 ⁵	
PRUSINA Tleń	2,4	187,0	187,39	187,39	8,07	1974	1974
Suma Total				2025,03	87,20		

¹ Dane wg Czarnecka, red. (1983), ² Dane wg MPHP (2004), ³ Razem ze zlewnią Prusiny, ⁴ Bez zlewni Prusiny, ⁵ Posterunek w roku 1982 przeniesiony na 7,4 kilometr, uzyskał nazwę Pustki. W roku 1991 zakończono obserwacje

¹ Data according to Czarnecka, ed. (1983), ² Data according to MPHP (2004), ³ Along with the Prusina catchment, ⁴ Without the Prusina catchment, ⁵ Gauge changed its location (from river km 2.4 to 7.4) and name (Pustki) in 1982. In 1991 the Pustki gauge station was closed

Tab. 2. Stacje opadowe, wodowskazy oraz zlewnie cząstkowe wyszczególnione na ryc. 1 (numeracja w tabeli odpowiada oznaczeniom na ryc. 1)

Tab. 2. Precipitation gauge stations, hydrological gauge stations and subcatchments presented in Fig. 1 (numbers in the table represent the numbers in Fig. 1)

Nr No	Stacja opadowa <i>Precipitation gauge station</i>	Zlewnia <i>Catchment</i>	Nr No	Zlewnia cząstkowa <i>Subcatchment</i>
1	Klukowa Huta	Martwa Wisła	1	Dopływ z j. Wyrównno
2	Niezabyszewo	Słupia	2	Trzebiocha
3	Kościerzyna	Wierzyca	3	Zlewnia j. Słupinko
4	Karpno	Wda	4	Struga
5	Kominy	Brda	5	Dopływ z J. Czystego
6	Bożepole Szlacheckie	Wierzyca	6	Studzienicka Struga
7	Radostowo	Wisła	7	Niechwaszcz
8	Jeziorna	Wda	8	Dopływ spod Szlachty
9	Kosobudy	Wda	9	Kanał Wdy
10	Chojnice	Brda	10	Dopływ z J. Czechowskiego
11	Frąca	Wisła	11	Zelgoszczówka
12	Zapędowo	Brda	12	Dopływ z J. Słonego
13	Śliwice	Wda	13	Brzezianek
14	Osie	Wda	14	Dopływ z j. Brzeźno
15	Płazowo	Brda	15	Prusina
16	Kaliska	Wda	16	Dopływ spod Zdrojów
17	Nowy Jasiniec	Brda	17	Ryszka
18	Unisław	Wisła	18	Sobina
Nr No	Wodowskaz <i>Hydrological gauge station</i>	Rzeka <i>River</i>	19	Dopływ z Drzycimia
1	Wawrzynowo	Wda	20	Dopływ spod Dąbrówki
2	Jeziorna	Wda	21	Dopływ z j. Stelchno
3	Dębowiec	Niechwaszcz	22	Wyrwa
4	Czarna Woda	Wda	23	Dopływ z Gruczna
5	Błędno	Wda	24	Dopływ z Sulnówka
6	Tleń	Prusina		
7	Kraplewice	Wda		

Celem przeprowadzonej w dalszej kolejności interpretacji danych było przede wszystkim znalezienie różnic w przebiegu procesów hydrologicznych w poszczególnych zlewniach różnicowych. Zastosowano w tym celu szereg analiz, które w miarę możliwości odniesiono do tych zlewni. W pozostałych przypadkach stosowano parametry obliczone dla zlewni całkowitych, rozumianych jako cały obszar zlokalizowany powyżej posterunku hydrologicznego. Niektóre parametry obliczano zarówno dla zlewni różnicowych, jak też całkowitych, co umożliwiło porównanie wyników.

Zmienność odpływów i opadów rocznych, sezonowych i miesięcznych w wieloleciu zbadano za pomocą **współczynnika zmienności c_v** , który wyraża stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej, w postaci:

$$C_v = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{sr}})^2}{n-1}}}{x_{\text{sr}}}$$

n – liczba lat / *number of years*

x_i – odpływ lub opad w danym roku, półroczu lub miesiącu / *outflow or precipitation in a given year, half-year or month*

x_{sr} – średni wieloletni odpływ lub opad roczny, półroczny lub miesięczny / *mean outflow or precipitation within a year, half-year or month*

Współczynnik ten jest według I. Dynowskiej i A. Tlałki (1982) jedną z najbardziej precyzyjnych miar zmienności. W skali regionalnej został zastosowany do analizy zmienności przepływów rzek polskich przez A. Choińskiego (1988).

Nieregularność przepływów, odpływów i opadów rocznych oraz sezonowych (półrocza zimowego i letniego) przeanalizowano na podstawie **współczynnika nieregularności W**, stanowiącego iloraz najwyższej i najniższej wartości z badanego zakresu danych:

$$W = \frac{x_{\text{maks}}}{x_{\text{min}}}$$

x_{maks} i x_{min} – najwyższa i najniższa wartość z analizowanego zbioru danych / *maximum and minimum value in the dataset*

Współczynnik ten obliczono dla zlewni całkowitych w odniesieniu do wartości średnich i ekstremalnych przepływów, odpływów oraz sum rocznych opadów atmosferycznych, a także dla strefy odpływów średnich rocznych i miesięcznych w zlewniach różnicowych. W przypadku zlewni całkowitych przeanalizowano też przebieg w wieloleciu wartości współczynnika nieregularności, obliczonego na podstawie ekstremalnych wartości z każdego roku hydrologicznego.

Przebieg odpływu i opadów w poszczególnych latach badanego wielolecia przeanalizowano stosując **współczynnik niedoboru/nadmiaru n**, definiowany wzorem:

$$nx = \frac{X - X_{\text{sr}}}{X_{\text{sr}}} \times 100 [\%]$$

x_i – objętość odpływu lub suma opadu w danym roku / *annual outflow or annual precipitation in a year*

x_{sr} – średnia wieloletnia wartość odpływu lub opadu rocznego / *mean annual outflow or mean annual precipitation*

Współczynnik ten został obliczony zarówno w odniesieniu do zlewni całkowitych, jak też różnicowych. Przedstawia on zmienność danego parametru w stosunku do wartości średniej, pozwala zatem porównać badane zlewnie nie tylko pod względem zgodności w przebiegu odpływu i opadów w wieloleciu, ale też obrazuje stopień rozrzutu wartości rocznych w stosunku do średniej wieloletniej. Na podstawie obliczonych wartości współczynnika przeprowadzono analizę częstości występowania lat normalnych, suchych i wilgotnych.

W celu porównania przebiegu w wieloleciu odpływu w poszczególnych zlewniach całkowitych i różnicowych, a także wzajemnej relacji przebiegu odpływu i opadów, skonstruowano **krzywą kumulacyjną współczynnika nadmiaru/niedoboru n**. Podobnie jak krzywa kumulacyjna rocznych współczynników przepływu i opadów (Gregory, 1976; Glazik, 1995) czy rocznych przepływów i opadów (Absalon i in., 1996), daje ona możliwość wyznaczenia ogólnych tendencji przebiegu badanego parametru w wieloleciu, a także określenia czasu zmiany tych tendencji.

Porównanie skumulowanych wartości odpływu i opadów pozwala określić występowanie antropogenicznych zaburzeń odpływu. W tym celu skonstruowano **podwójne krzywe kumulacyjne opadu i odpływu** w wieloleciu w odniesieniu do zlewni różnicowych. Przydatność podwójnych krzywych kumulacyjnych do analizy antropogenicznych zmian odpływu podkreślana jest przez I. Dynowską i in. (1985).

Obecność w analizowanym wieloleciu trwałych tendencji zmian odpływów i opadów rocznych, sezonowych (półrocza letniego i zimowego) oraz miesięcznych w zlewniach różnicowych zbadano obliczając **równania regresji liniowej**, a istotność korelacji pomiędzy rozkładem empirycznym a teoretycznym zbadano za pomocą testu t-Studenta (Brandt, 1976), przyjmując jako wartość graniczną istotności korelacji 0,1.

Analizę zmian odpływu i opadów w wieloleciu przeprowadzono dla zlewni różnicowych również w oparciu o **krzywe konsekwentne**, wykreślone dla wartości rocznych i sezonowych (półrocza zimowego i letniego), z zastosowaniem pięcioletniego okresu uśrednienia.

1. Cel i metody badań

Przebieg zmian w poszczególnych częściach roku hydrologicznego rozpatrzono na podstawie średnich sezonowych oraz miesięcznych odpływów i opadów w zlewniach różnicowych. Zastosowano też **wskaźnik koncentracji GMO** Gibbsa i Martina, zmodyfikowany przez J. E. Olivera (1980; nazwa wskaźnika za R. Soja, 2002 stanowi skrót od nazwisk autorów wskaźnika), wykorzystany przez R. Soję (2002) do analizy odpływu w zlewniach rzek karpackich. Wyraża on iloraz sumy kwadratów wartości miesięcznych przez kwadrat sumy tych wartości i przyjmuje postać:

$$GMO = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_i^2}{(\sum x_i)^2} \times 100$$

x_i – średnia miesięczna wartość przepływu lub suma miesięczna opadu / *mean monthly discharge or total monthly precipitation*

i – kolejne miesiące w roku hydrologicznym / *consecutive months in a year*

Wskaźnik ten pozwala ocenić stopień koncentracji odpływu w rocznym cyklu hydrologicznym, a analizowany dla długiej serii pomiarowej daje możliwość sprawdzenia, czy doszło do przekształcenia reżimu hydrologicznego (Soja, 2002). Może być stosowany do analiz porównawczych różnych zlewni, a w przypadku jednej zlewni do wykrycia w badanym wieloleciu okresów o większym nasileniu antropopresji. Wzrost wartości wskaźnika w przypadku jednej zlewni może świadczyć o antropogenicznym przekształceniu reżimu hydrologicznego. Przyjmuje on wartości od 8,3 (jednakowe sumy opadów lub takie same przepływy we wszystkich miesiącach) do 100 (całkowita koncentracja – opad lub odpływ tylko w jednym miesiącu).

1.2.2. Metody opracowania danych o środowisku przyrodniczym i gospodarce wodnej

Dane dotyczące elementów środowiska przyrodniczego zebrano w postaci numerycznej bazy, zawierającej informacje o lokalizacji obiektów i charakteryzujące je atrybuty opisowe. W konstrukcji bazy danych wykorzystano istniejące materiały numeryczne: komputerową Mapę Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP, 2004) oraz bazę danych CORINE Land Cover 2000 (CLC, 2000). Pozostałe elementy środowiska przeanalizowano na podstawie istniejących analogowych materiałów kartograficznych. Wszystkie mapy źródłowe poddano skanowaniu, następnie rektyfikacji i digitalizacji. Na podstawie stworzonej bazy danych wygenerowano następnie mapy rozkładu przestrzennego poszczególnych elementów środowiska oraz obliczono ich udział procentowy w powierzchni zlewni różnicowych. Niektóre charakterystyki odniesiono do zawartych w MPHP zlewni elementarnych (2004).

Na podstawie map analogowych i baz danych stworzono następujące warstwy tematyczne:

- **zasięg melioracji**; na podstawie map topograficznych w skali 1:25 000 pruskich i polskich oraz MPHP (2004) przeanalizowano zasięg melioracji w trzech przedziałach czasowych;
- **budowa geologiczna**; kontury wyznaczono na podstawie Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000 (Makowska, 1972; Butrymowicz, Murawski, Pasierbski, 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976), przy czym w celu uzyskania największego możliwego wpasowania do map topograficznych, wykorzystano 16 arkuszy źródłowych w skali 1:50 000;
- **torfowiska**; wyznaczono wykorzystując Mapę geologiczną Polski w skali 1:200 000 oraz własne badania terenowe;
- **użytkowanie wód**; opracowano na podstawie informacji z Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej oraz Zarządów Melioracji i Urządzeń Wodnych.

Dodatkowym źródłem danych, pozwalającym na uzupełnienie informacji o budowie geologicznej i rozmieszczeniu torfowisk, były mapy glebowo-rolnicze w skali 1:25 000. Na ich podstawie nadano w bazie danych oddzielną kategorię dla obszarów, w obrębie których pod utworami sandrowymi płytko zalega glina. Na podstawie uzupełnionej bazy danych wygenerowano mapę geologiczną wraz z podziałem utworów na klasy przepuszczalności. Przepuszczalność utworów określono w oparciu o Wytyczne Techniczne K-3.4 (Drwal i in., 1996), zmodyfikowane przez autorkę w zakresie klas 2 i 5. Klasę 2, do której zaliczono utwory genezy fluwialnej, fluwioglacjalnej i eolicznej, określono jako klasę o przepuszczalności dobrej, a nie – jak to zdefiniowano w instrukcji – średniej. Współczynniki filtracji tych utworów na obszarze Równiny Tucholskiej zostały określone na 20 do 30 m·d⁻¹ (Przewłocka, 1988), co odpowiada klasie 2, charakteryzującej się współczynnikami filtracji w zakresie 10⁻³-10⁻⁵ m·s⁻¹. Należy zauważyć, że zarówno klasyfikacja z roku 1996, jak też jej kolejna wersja (Drwal i in., 2005), cechują się pewną niesymetrycznością, ponieważ po klasie przepuszczalności łatwej, następna jest klasa przepuszczalności średniej, podczas gdy dalej mamy klasę przepuszczalności słabej i kolejną bardzo słabej. Klasę 5 – przepuszczalność zróżnicowaną, podzielono na klasy 5a i 5b. Do klasy 5a zaliczono utwory o zróżnicowanych warunkach infiltracyjnych, stanowiące łączne wydzielienia na mapie geologicznej: moreny czołowe zbudowane z piasków, żwirów, głazów, glin zwałowych i miejscami ilów oraz kemy zbudowane z mułków, piasków i żwirów. Do klasy 5b włączono obszary zabudowane i tereny przemysłowe.

Zagadnienie gospodarowania wodą w zlewni przeanalizowano w dwóch aspektach:

- przestrzennego zróżnicowania intensywności,
- zmian w sposobie użytkowania wód.

1. Cel i metody badań

Pierwszy z nich odniesiono do całej zlewni, lecz do krótkiego przedziału czasu (od lat 90. XX do początku XXI wieku). Jedynie wybrane elementy, możliwe do identyfikacji z materiałów kartograficznych, jak na przykład rozmieszczenie stopni piętrzących czy zasięg melioracji, przeanalizowano w szerszym aspekcie historycznym. Zapoznanie się z rozmieszczeniem urządzeń hydrotechnicznych w zlewni pozwoliło na wytypowanie obszarów o najsilniej przekształconych stosunkach wodnych. Uznano za takie: środkowy odcinek zlewni Wdy pomiędzy wodowskazami Wawrzynowo i Czarna Woda, dolinę Wdy w obrębie kaskady hydroenergetycznej oraz dolny fragment zlewni w obrębie Wysoczyzny Świeckiej. W związku z tym, że dla ostatniego fragmentu nie dysponowano zasobem danych hydrologicznych (brak posterunków IMGW), kwerendę materiałów archiwalnych przeprowadzono w odniesieniu do dwóch pierwszych obszarów. Korzystano z materiałów zgromadzonych w Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gdańsku oraz oddziale tej instytucji w Toruniu, Zarządzie Melioracji i Urządzeń Wodnych w Bydgoszczy i jednostce terenowej w Świeciu, Zakładach Płyt Pilśniowych „Czarna Woda” w Czarnej Wodzie, Spółce Elektrownie Wodne Koronowo z siedzibą w Samociążku, Archiwum Państwowym w Bydgoszczy.

1.2.3. Badania terenowe

W ramach badań terenowych przeprowadzono obserwacje hydrologiczne, których celem było określenie skutków zmian sposobu gospodarowania wodą.

Ze względu na zmiany w sposobie gospodarowania wodą w środkowej części zlewni Wdy wykonano na tej rzece i Kanale Wdy pomiary objętości przepływu, które pozwoliły na obliczenie ilości wody prowadzonej obecnie właściwym korytem Wdy oraz ocenę strat wody na przesiąki w obrębie kanału. W celu weryfikacji wielkości i warunków formowania odpływu w obrębie zlewni różnicowej Krąplewice, przeprowadzono w roku hydrologicznym 2007 pomiary przepływu cieków uchodzących do Wdy w jej dolnym biegu, a w roku 2008 pomiary przepływu w obrębie wybranej zlewni – Ryszki (przepływy zmierzono na rzece głównej i dopływach).

W latach 2004-2006 wykonano kartowanie hydrograficzne koryta Wdy na odcinku od jeziora Wdzydze do ujścia do Wisły. Szczegółowe kartowanie hydrograficzne przeprowadzono też na obszarach, które zostały wytypowane, jako tereny o najsilniej zmienionych stosunkach wodnych: w środkowym odcinku zlewni Wdy i dolinie Wdy w obrębie kaskady hydroenergetycznej. Od użytkowników obiektów hydrotechnicznych zebrano informacje dotyczące sytuacji problemowych, związanych z gospodarką wodną, które pojawiły się w ostatnich latach.

2. Środowisko przyrodnicze zlewni Wdy

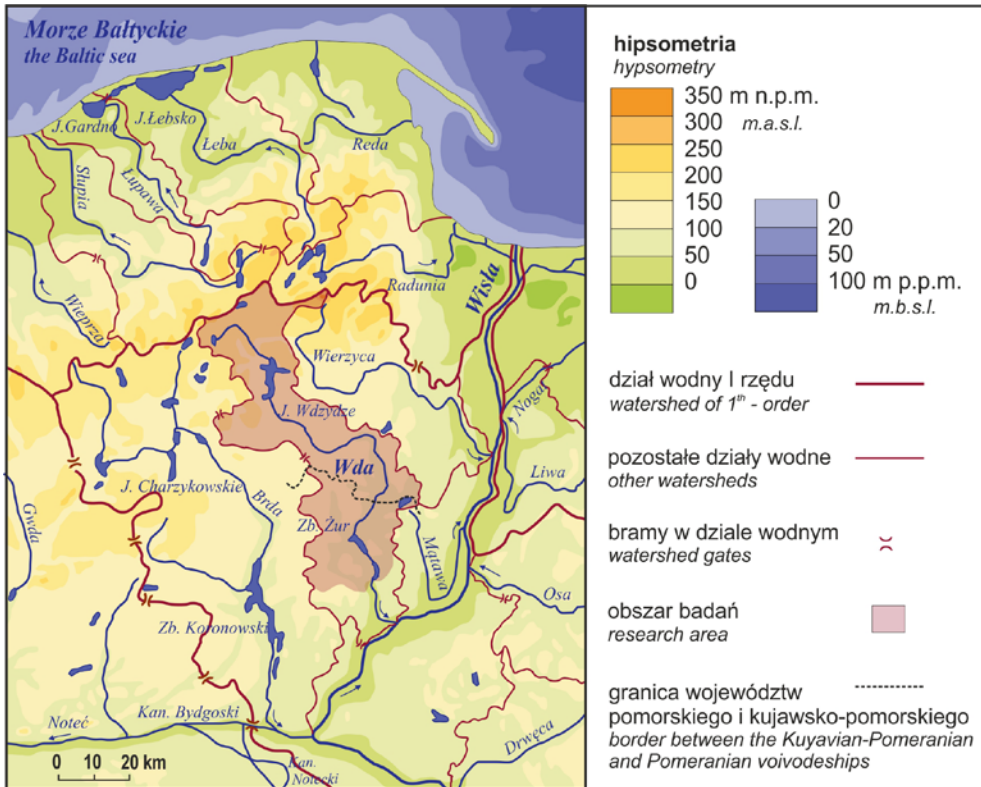
Zlewnia Wdy o powierzchni 2322,37 km² (MPHP, 2004) położona jest w obrębie regionu Pojezierzy Pomorskich i stanowi fragment wschodniej części makroregionu Pojezierzy Zachodniopomorskich (Kondracki, 2002; ryc. 2). Układ jednostek fizyczno-geograficznych w zlewni nawiązuje do równoleżnikowo zmieniających się warunków środowiska. Część północno-zachodnia leży w obrębie mezoregionu Równiny Charzykowskiej, część północno-wschodnia i środkowa – mezoregionu Borów Tucholskich, a południowa – Wysoczyzny Świeckiej. Ponadto nieznaczące fragmenty wchodzi w skład pojezierzy: Kaszubskiego i Starogardzkiego (północno-wschodni fragment) i Doliny Fordońskiej (odcinek ujściowy).

Analizując usytuowanie zlewni Wdy w stosunku do innych jednostek hydrograficznych, widoczne jest, że wchodzi ona w skład radialnego systemu sieci rzecznej (ryc. 3). Strefy źródłiskowe cieków zlokalizowane są na obszarze wyniesień morenowych związanych z fazą pomorską, a ujściowe w obrębie dużych obniżeń: pradolinnych i dolinnych na południu i wschodzie oraz Morza Bałtyckiego na północy. Najdłuższe granice zlewni Wdy oddzielają ją od zlewni rzek Brdy (od zachodu) oraz Wierzycy i Mątwy (od wschodu). Zlewnie te, podobnie jak Wda, wykształcone są na linii szlaków sandrowych i wchodzi w skład dorzecza Wisły. Na północy dział wodny I rzędu oddziela Wdę od Raduni i Słupi, zaliczanych do zlewni bezpośredniej Morza Bałtyckiego. Na południu zlewnia Wdy graniczy z doliną Wisły.

Zgodnie z podziałem administracyjnym, zlewnia Wdy wchodzi w skład dwóch województw: pomorskiego (60,3%) i kujawsko-pomorskiego (39,7%). Cała zlewnia Wdy znajduje się w zasięgu działania Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gdańsku i jednostki terenowej tej instytucji, mieszczącej się w Toruniu.



Ryc. 2. Lokalizacja zlewni Wdy na tle podziału fizyczno-geograficznego Polski (Kondracki, 2002). Na czerwono zaznaczono nazwy i numery mezoregionów, których fragmenty wchodzą w skład zlewni Wdy Fig. 2. The Wda catchment location mapped against the geographical regions of Poland (Kondracki, 2002). Names and numbers of regions in the Wda catchment marked in red



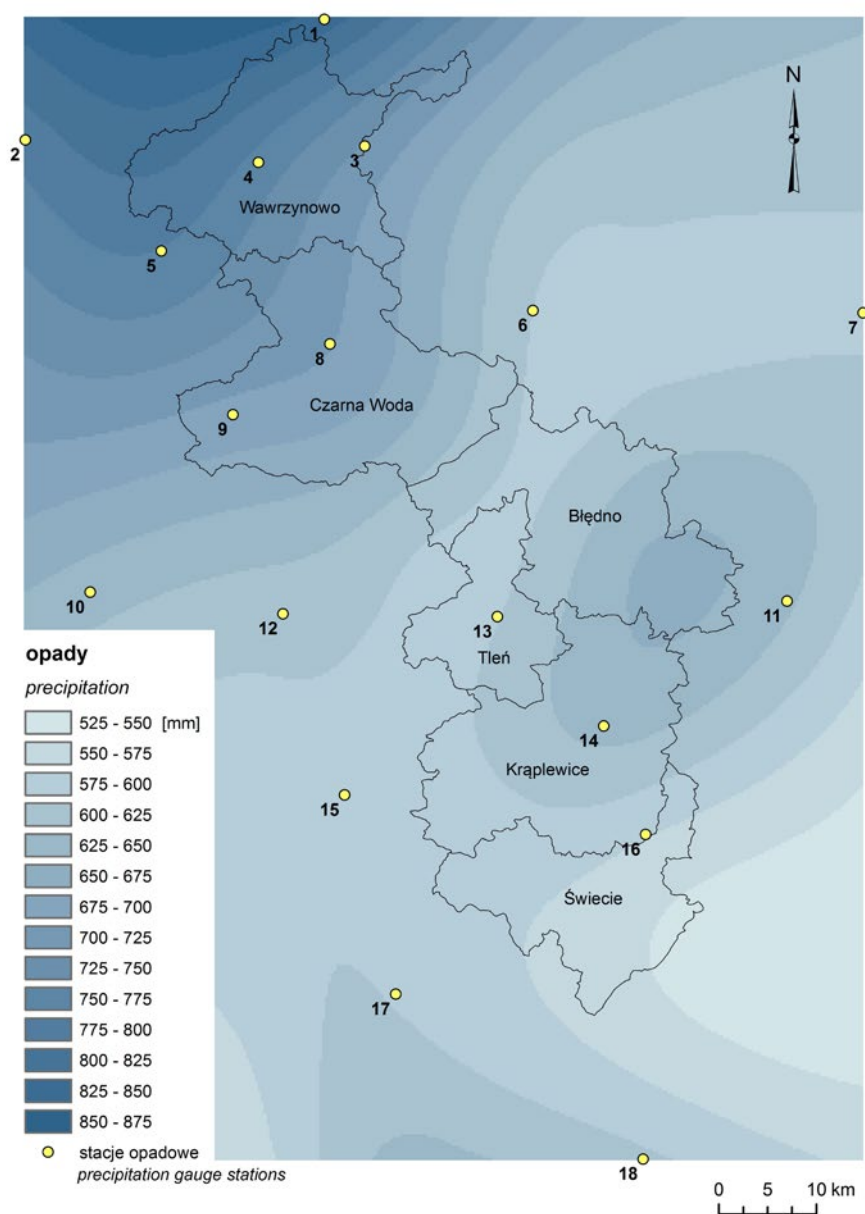
Ryc. 3. Lokalizacja zlewni Wdy oraz obszaru badań na tle podziału hydrograficznego (opracowano na podstawie J. Stachy, 1987, uzupełnione)

Fig. 3. The Wda catchment location against the background of the watershed map (prepared on the basis of J. Stachy, 1987, supplemented)

2.1. Klimat

Obszar zlewni Wdy leży w strefie klimatu umiarkowanego, o cechach przejściowych od klimatu oceanicznego do kontynentalnego. Południkowa rozciągłość zlewni, wraz ze zmieniającą się strefowo z północy na południe rzeźbą terenu, determinują pewną niejednorodność warunków klimatycznych. Według podziału na regiony klimatyczne, północna część zlewni Wdy położona jest w Regionie Pojezierza Pomorskiego, a środkowa i południowa w Regionie Pomorsko-Warmińskim (Wiszniewski, Chełchowski, 1987).

Rozpatrując warunki formowania się odpływu rzecznego, jednym z najważniejszych czynników klimatycznych jest opad atmosferyczny. Sumy opadów rocznych maleją w zlewni Wdy z północy na południe, przy czym w środkowej i południowej części zlewni ten generalny trend jest nieco zaburzony (ryc. 4). Najwyższe sumy opadów, przewyższające 800 mm, notowane są na stacji Klukowa Huta (tab. 3), położonej tuż przy północnym wododziale Wdy. Następnie wartość opadów maleje w kierunku południowym, osiągając w północnej części zlewni 700-800 mm, w części środkowej 600-700 mm, i południowej 525-600 mm. W środkowym odcinku zaznacza się ośrodek nieco podwyższonych sum opadów w rejonie wschodniego wododziału. Zlewnie różnicowe rozłożone są zgodnie z biegiem Wdy, w związku z tym najwyższe opady notowane są w zlewni Wawrzynowo (760 mm), natomiast najniższe w zlewni Świecie – 581 mm (tab. 3). Zauważyć można jednak, że w zlewni Krąplewice opady są wyższe niż w położonej na północ od niej zlewni Błędno oraz na tej samej szerokości geograficznej – zlewni Tleń. Według G. Wójcika i W. Tomaszewskiego (1987), dysproporcje pomiędzy wysokością opadów pomiędzy poszczególnymi stacjami są na tym obszarze uwarunkowane głównie rzeźbą terenu. Na znaczną rolę czynnika orograficznego w kształtowaniu warunków pogodowych i opadowych zwraca także uwagę K. Kwiecień (1979), określając obszar Pojezierza Kaszubskiego jako barierę orograficzną dla napływających mas powietrza. Najwyższe opady notowane są na stacjach zlokalizowanych na dowietrznych zboczach wysoczyzn (o ekspozycji zachodniej i północno-zachodniej), natomiast najniższe wartości na stokach odwietrznych (wschodnich i południowo-wschodnich). W zlewni Wdy układ wododziałów wzdłuż wysp morenowych powoduje, że zachodnia jej część znajduje się w cieniu opadowym, natomiast wschodnia uzyskuje większe sumy opadów w wyniku korzystnej ekspozycji północno-zachodniej. Zależność ta jest widoczna głównie w środkowej części zlewni Wdy, poprzez różnice w wysokości opadów w zlewniach różnicowych Tleń i Krąplewice. Południowo-wschodni fragment zlewni Wdy, o najniższych sumach opadów (ryc. 4), znajduje się natomiast w cieniu opadowym Wysoczyzny Świeckiej i w zasięgu strefy obniżonych opadów towarzyszącej dolinie Wisły (Wójcik, Tomaszewski, 1987).



Ryc. 4. Średnie z lat 1965-2003 roczne sumy opadów atmosferycznych w zlewni Wdy; nazwy stacji podano w tabeli 3 (obliczono na podstawie danych IMGW)

Fig. 4. Mean annual precipitation in the Wda catchment in the years 1965-2003; name of the precipitation gauge stations listed in Tab. 3 (author's own study with the use of IMGW data)

Tab. 3. Charakterystyki opadów atmosferycznych w wieloleciu 1965-2003 zestawione dla wybranych stacji opadowych oraz obliczone dla zlewni Wdy i zlewni różnicowych na podstawie poligonów Thiessena (zastosowano poprawkę wg S. Kowalczyk i K. Ujdy, 1987; obliczono na podstawie danych IMGW)

Tab. 3. Precipitation characteristics in the years 1965-2003 compiled for the selected gauge stations and calculated with reference to the Wda catchment and subcatchments on the basis of the Thiessen polygons (corrected according to S. Kowalczyk and K. Ujda 1987; author's own study with the use of the IMGW data)

Nr No	Stacja Gauge station	Rok			Year			Zima (XI-IV)			Winter			Lato (V-X)			A
		śr [mm]	maks [mm]	min [mm]	śr [mm]	A [mm]	U [%]	śr [mm]	maks [mm]	min [mm]	śr [mm]	A [mm]	U [%]	śr [mm]	maks [mm]	min [mm]	
1	Klukowa Huta	837	1232	475	757	368	44	368	644	175	469	469	56	767	255	512	512
2	Niezabyszewo	787	1099	505	594	336	43	336	536	160	376	451	57	763	220	543	543
3	Kościierzyna	722	1018	494	524	306	42	306	471	137	334	417	58	679	223	456	456
4	Karpno	767	1087	511	576	318	41	318	476	89	387	450	59	739	187	552	552
5	Sominy	774	1097	556	541	348	45	348	533	146	387	426	55	697	211	486	486
6	Bożepole Szi.	600	875	399	476	226	35	226	346	106	240	374	62	573	195	378	378
7	Radostowo	598	910	319	591	211	35	211	307	122	185	388	65	624	169	455	455
8	Jeziorna	701	984	480	504	299	43	299	457	150	307	403	57	625	215	410	410
9	Kosobudy	692	924	495	429	292	42	292	458	116	342	400	58	611	216	395	395
10	Chojnice	637	931	439	492	256	40	256	419	101	318	381	60	687	205	481	481
11	Frąca	629	934	375	559	244	39	244	389	146	243	385	61	673	200	473	473
12	Zapędowo	611	892	380	512	236	39	236	386	99	287	375	61	573	191	383	383
13	Śliwice	599	936	369	567	226	38	226	338	100	238	373	62	635	184	451	451
14	Osie	632	1094	303	791	239	38	239	393	58	335	393	62	836	169	667	667
15	Płazowo	595	919	350	569	226	38	226	345	110	235	369	62	688	168	521	521
16	Kaliska	577	844	353	491	212	37	212	306	118	188	365	63	617	157	459	459
17	Nowy Jasiniec	598	892	328	564	237	40	237	366	131	235	361	60	667	150	517	517
18	Unisław	605	978	319	659	219	36	219	348	129	219	387	64	773	145	628	628
Zlewnie Catchments	Zlewnia Wdy	651	924	465	459	258	40	258	384	121	263	392	60	663	208	455	455
	Wawrzynowo	760	1027	513	514	322	42	322	473	121	352	438	58	692	242	450	450
	Czarna Woda	689	936	496	440	290	42	290	445	136	309	399	58	605	215	390	390
	Błędno	608	868	390	478	231	38	231	354	119	235	377	62	635	207	428	428
	Tień	588	916	363	553	222	38	222	333	98	235	366	62	627	181	446	446
Zlewnie Catchments	Kraplewie	615	1003	377	626	232	38	232	366	115	251	383	62	762	169	593	593
	Świecie	581	834	351	483	216	37	216	311	120	191	365	63	628	164	464	464

śr, maks, min – średnia z wielolecia, maksymalna i minimalna

A – różnica pomiędzy najwyższą i najniższą roczną sumą opadów; U – udział opadów półroczny w sumie rocznej

śr, maks, min – mean, maximum and minimum in the years 1965-2003

A – the difference between the highest and the lowest annual precipitation, U – precipitation percentage for a half-a-year period in the total annual precipitation

Obraz dynamiki opadów, wynikający z różnic pomiędzy najwyższymi i najniższymi sumami rocznymi w wieloleciu 1965-2003, świadczy o znacznej zmienności tego czynnika hydrologicznego (A w tab. 3). Najwyższy opad roczny zanotowano na stacji Klukowa Huta – 1232 mm, najniższy zaś na stacji Osie – 303 mm. Różnice pomiędzy opadem w roku najwilgotniejszym a opadem w roku najbardziej suchym wahają się na poszczególnych stacjach w granicach od 429 mm (Kosobudy) do 791 mm (Osie). Największa nieregularność opadów cechuje posterunek w Osie, gdzie opady wahają się w granicach +73% do -52% opadu normalnego oraz zlewnię różnicową Krąplewice, o wartościach granicznych +63% i -39%. Maksymalna suma roczna opadów w tej zlewni – 1003 mm, jest niewiele niższa od maksymalnej wartości w położonej na północy zlewni Wawrzynowo, która wyniosła 1027 mm (tab. 3). Wysokie sumy opadów w zlewni Krąplewice są związane z korzystną ekspozycją w stosunku do deszczonośnych wiatrów z sektora zachodniego.

W całej zlewni Wdy przeważają opady półrocza letniego, które stanowią na poszczególnych stacjach od 56 do 65% rocznej sumy opadów. Według G. Wójcika i W. Tomaszewskiego (1987) dominacja opadów półrocza ciepłego jest cechą kontynentalizmu klimatu. Przewaga opadów letnich wynika z intensywniejszego latem obiegu wody, a dodatkowo z udziału letnich opadów konwekcyjnych. W zlewni Wdy znaczenie tej cechy wzrasta z północy na południe, a także z zachodu na wschód. Stacje i zlewnie różnicowe położone na północy charakteryzują się udziałem opadów letnich na poziomie 55-58%, natomiast w południowej części ich udział wzrasta do 60-63%. Na nieregularność opadów w wieloleciu w większej mierze wpływają opady okresu letniego niż zimowego. W półroczu zimowym zarówno najwyższe, jak też najniższe sumy opadów różnią się od opadu normalnego o około 50%, latem sumy najniższe są niższe od opadu normalnego o 50%, natomiast maksymalne przewyższają średnią z wielolecia o około 70%.

Przebieg średnich wieloletnich sum miesięcznych opadów jest w całej zlewni podobny (ryc. 5). W przebiegu rocznym opadów widoczne są trzy okresy: luty-kwiecień – o najniższych średnich sumach miesięcznych opadów, maj-sierpień – o najwyższych opadach i wrzesień-styczeń – o opadach niższych niż w miesiącach letnich, lecz wyższych niż na początku roku kalendarzowego. Najwyższe sumy opadów, stanowiące 11-15% sumy rocznej notowane są w lipcu, a najniższe obejmujące 5-6% sumy rocznej występują w lutym.

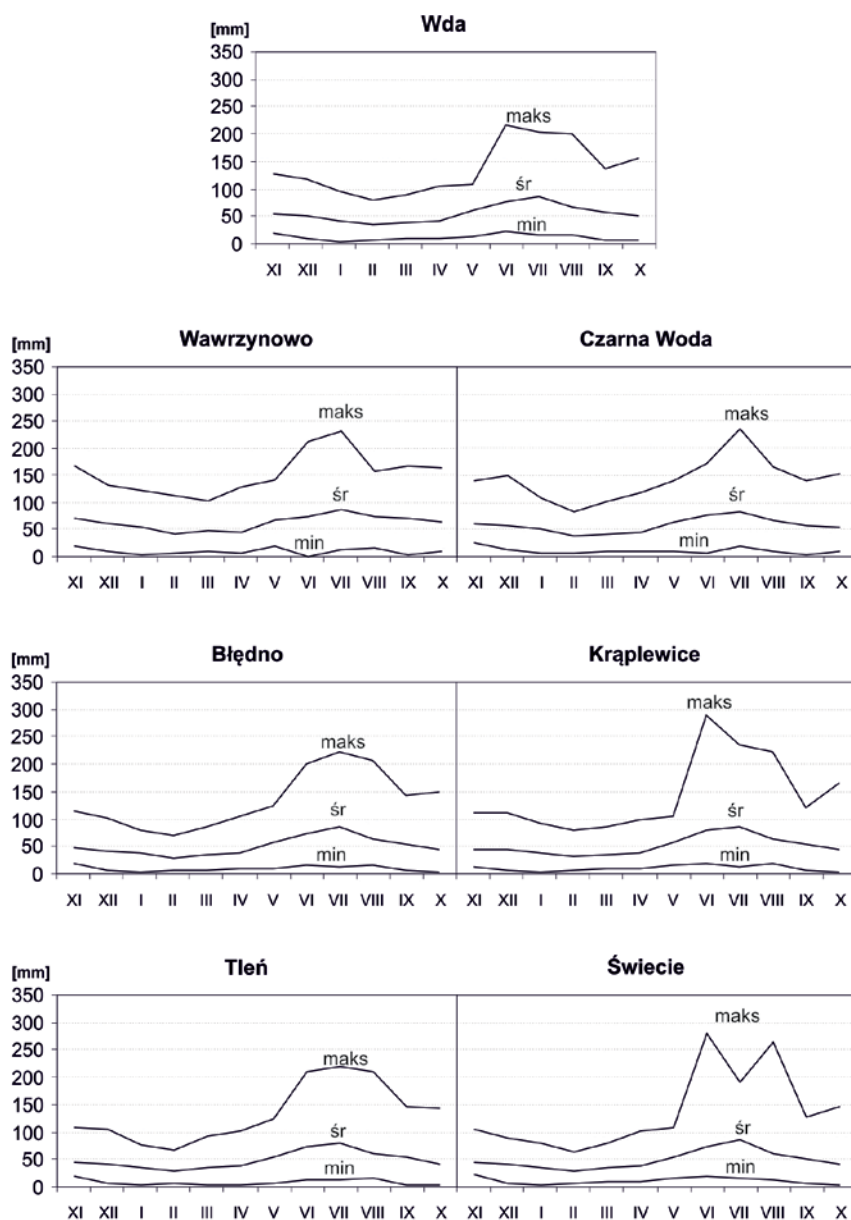
Za najważniejsze dla dalszych rozważań cechy rozkładu przestrzennego opadów w zlewni Wdy należy przyjąć ich liniowy spadek z północy na południe oraz dysproporcje w sumie opadów zachodniej i wschodniej części środkowego fragmentu zlewni. Ważne jest też, że w części środkowo-wschodniej (zlewnia różnicowa Krąplewice), pomimo znacznych sum rocznych, opady cechują się większą niż na pozostałym obszarze nieregularnością, co z punktu widzenia stabilności zasilania jest zjawiskiem niekorzystnym.

Średnie roczne temperatury powietrza osiągają najniższe wartości na północy zlewni Wdy (6,5 °C na stacji Kościerzyna) i wzrastają w kierunku południowym (6,9 °C w Śliwicach i 8,0 °C w Grudziądzu) (tab. 4). Średnia temperatura półrocza zimowego wynosi na północy 0 °C, w części środkowej i południowej 0,2-0,4 °C, a w dolinie Wisły 1,1 °C. Absolutne minimum z okresu 1951-1970, o wartości -32,2 °C, zanotowano w styczniu na stacji Grudziądz. Średnie temperatury lata wynoszą 13 °C na północy, 13,7 °C w części środkowej i 14,8 °C w dolinie Wisły. Absolutne maksimum, o wysokości 36,0 °C, zanotowano w Grudziądzu w miesiącu lipcu, przy czym dane uzyskane dla tej stacji są nieco podwyższone z powodu występowania tu miejskiej wyspy ciepła (Wójcik, Marciniak, 2001).

W przebiegu rocznym temperatur powietrza najwyższe średnie notowane są w czerwcu, lipcu i sierpniu, natomiast najniższe w styczniu i lutym (ryc. 6). Średnia temperatura lipca wzrasta od 16,3 °C w Kościerzynie do 17,5 °C w Śliwicach i 18,6 °C w Grudziądzu. Średnie temperatury stycznia i lutego są na wszystkich stacjach podobne i wynoszą od -3,3 do -3,5 °C (w Grudziądzu z powodu wpływu miasta są nieco wyższe i wynoszą -2,7 °C). Temperatury średnie miesięczne przyjmują ujemne wartości w grudniu, styczniu i lutym, lecz dni z temperaturami niższymi od 0 °C pojawiają się w Kościerzynie i Chojnicach też w miesiącach wrzesień-listopad i marzec-maj, a w Grudziądzu także w czerwcu.

Jak wynika z przedstawionych danych, różnice termiczne pomiędzy poszczególnymi stacjami nie są duże, jednak w skali całej zlewni są one z pewnością większe, co wynika z urozmaicenia rzeźby terenu, ekspozycji oraz obecności lasów i jezior. Według G. Wójcika i K. Marciniaka (1987), obliczona na podstawie gradientu pionowego średnia temperatura stycznia na wzniesieniu Wieżycy wynosi prawdopodobnie -4,5 °C, czyli jest o 1 °C niższa niż w Kościerzynie. Na silnie urzeźbionym Pojezierzu Kaszubskim, w licznych zagłębieniach terenu często wypełnionych przez wody jezior, tworzą się w okresie zimy i wiosny zastoiska chłodu, a latem i jesienią temperatury są wyższe niż na obszarze otaczającym (Kwiecień, 1979). Znaczna liczba jezior wpływa także na częstsze, w stosunku do wyniesionych wyżej płatów wysoczyzn i sandru, występowanie mgieł. Z pewnością część różnic związanych z deniwelacjami terenu jest modyfikowana przez obecność znacznej i zwartej powierzchni leśnej, zwłaszcza w środkowej części zlewni.

Odmienne warunki termiczne panują w dolinie Wisły, która odznacza się wyraźnie wyższymi temperaturami średnimi (Wójcik, Marciniak, 1987). Sporadycznie odnotowuje się tu zimą temperatury niższe niż na otaczających wyniesieniach, co jest związane z tworzącymi się zastoiskami chłodu. Lokalnie zaś na silnie usłonecznionych, a zarazem znajdujących się w cieniu opadowym, zboczach doliny o ekspozycji południowo-wschodniej klimat lokalny przypomina warunki stepowe, czego dowodem jest występowanie roślin charakterystycznych dla tej strefy klimatyczno-roślinnej.



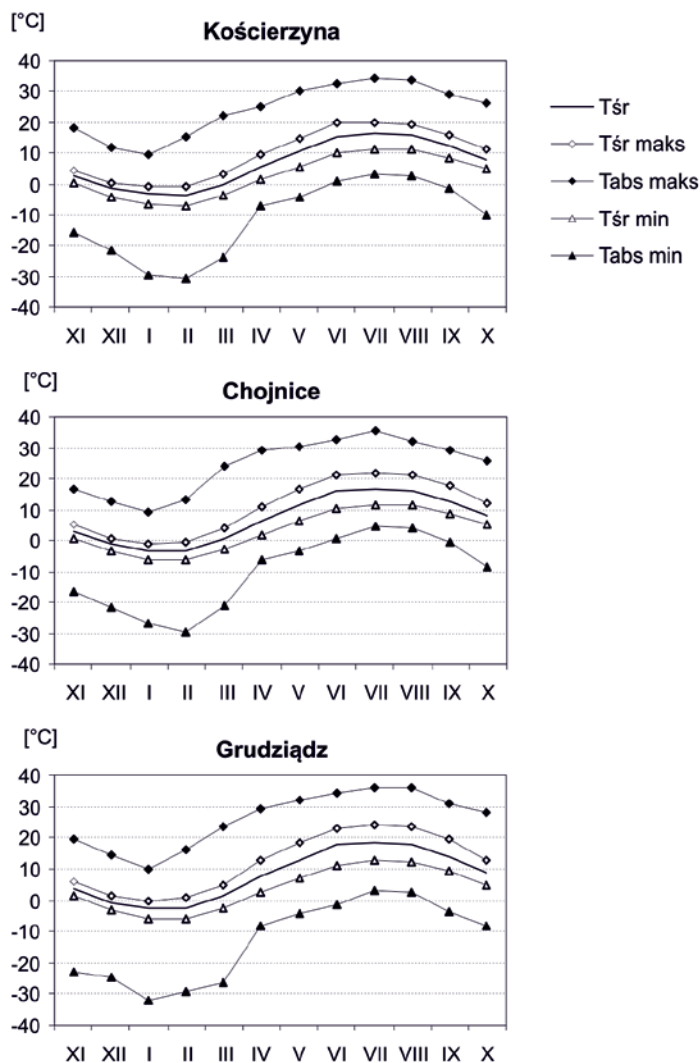
Ryc. 5. Średnie, maksymalne i minimalne (śr, maks, min) sumy opadów miesięcznych w wieloleciu 1965-2003 w zlewni Wdy i zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW)

Fig. 5. Mean, maximum and minimum (śr, maks, min) monthly precipitation in the years 1965-2003 in the Wda catchment and subcatchments (author's own study with the use of IMGW data)

Tab. 4. Temperatura powietrza (°C) na wybranych stacjach meteorologicznych w wieloleciu 1951-1970; numery stacji w tabeli odpowiadają numeracji na ryc. 4 (obliczono na podstawie danych z pracy G. Wójcika i K. Marciniaka, 1987)
 Tab. 4. Air temperature (°C) at selected meteorological gauge stations in the years 1951-1970; numbers in Tab. 4 correlate to the numbers in Fig. 4 (calculated on the basis of data provided by G. Wójcik and K. Marciniak, 1987)

Nr	Stacja	Rok (XI-X)				Zima (XI-IV)			
		Tśr	Tśr maks	Tabs maks	Tśr min	Aabs	Tśr	Tśr maks	Tabs min
No	Gauge station	Tśr	Tśr maks	Tabs maks	Tśr min	Aabs	Tśr	Tśr maks	Tabs min
3	Kościierzyna	6,5	9,8	34,5 (VII)	2,6	-31,0 (II)	65,5	0,0	2,7
10	Chojnice	6,8	10,8	35,5 (VII)	3,2	-29,8 (II)	65,3	0,2	3,2
7	Radostowo	7,0	-	-	-	-	-	0,4	-
13	Śliwice	6,9	-	-	-	-	-	0,2	-
	Grudziądz	8,0	12,3	36,0 (VII)	3,7	-32,2 (I)	68,2	1,1	4,3
	Średnia Mean	7,0	-	-	-	-	-	0,4	-
Nr	Stacja	Lato (V-X)				Sezon wegetacyjny (IV-IX)			
		Tśr	Tśr maks	Tabs maks	Tśr min	Aabs	Tśr	Tśr maks	Tabs min
No	Gauge station	Tśr	Tśr maks	Tabs maks	Tśr min	Aabs	Tśr	Tśr maks	Tabs min
3	Kościierzyna	13,0	16,7	34,5 (VII)	8,4	-10,0 (X)	44,5	12,6	16,5
10	Chojnice	13,4	18,4	35,5 (VII)	8,8	-8,3 (X)	43,8	13,1	18,3
7	Radostowo	13,6	-	-	-	-	-	13,2	-
13	Śliwice	13,7	-	-	-	-	-	13,5	-
	Grudziądz	14,8	20,2	36,0 (VII)	9,6	-8,2 (X)	44,2	14,6	20,2
	Średnia Mean	13,7	-	-	-	-	-	13,4	-

Tśr, Tśr maks, Tśr min – średnia oraz najwyższa i najniższa ze średnich temperatur powietrza
 Tabs maks, Tabs min – ekstremalne temperatury powietrza, w nawiasie podano miesiąc wystąpienia
 Aabs – różnica pomiędzy najwyższą i najwyższą zanotowaną temperaturą
 Tśr, Tśr maks, Tśr min – mean, maximum and minimum mean air temperature
 Tabs maks, Tabs min – extreme air temperatures, month of occurrence – in brackets
 Aabs – the difference between the highest and the lowest extreme air temperature



Ryc. 6. Charakterystyki miesięcznych temperatur powietrza na wybranych stacjach meteorologicznych w wieloleciu 1951-1970: Tśr, Tśr maks, Tśr min – średnie, średnie maksymalne, średnie minimalne; Tabs maks, Tabs min – ekstremalne (obliczono na podstawie danych z pracy G. Wójcika i K. Marciniaka, 1987)

Fig. 6. Characteristics of monthly air temperature at the selected meteorological gauge stations in the years 1951-1970: Tśr, Tśr maks, Tśr min – mean, maximum mean, minimum mean of air temperature; Tabs maks, Tabs min – extreme maximum and extreme minimum air temperatures (calculated on the basis of data provided by G. Wójcik and K. Marciniak, 1987)

Przedstawione wartości średnie i skrajne nie odzwierciedlają dynamiki temperatury w poszczególnych latach. Według G. Wójcika i K. Marciniaka (1987), zakres wahań temperatury z roku na rok jest największy w miesiącach zimowych.

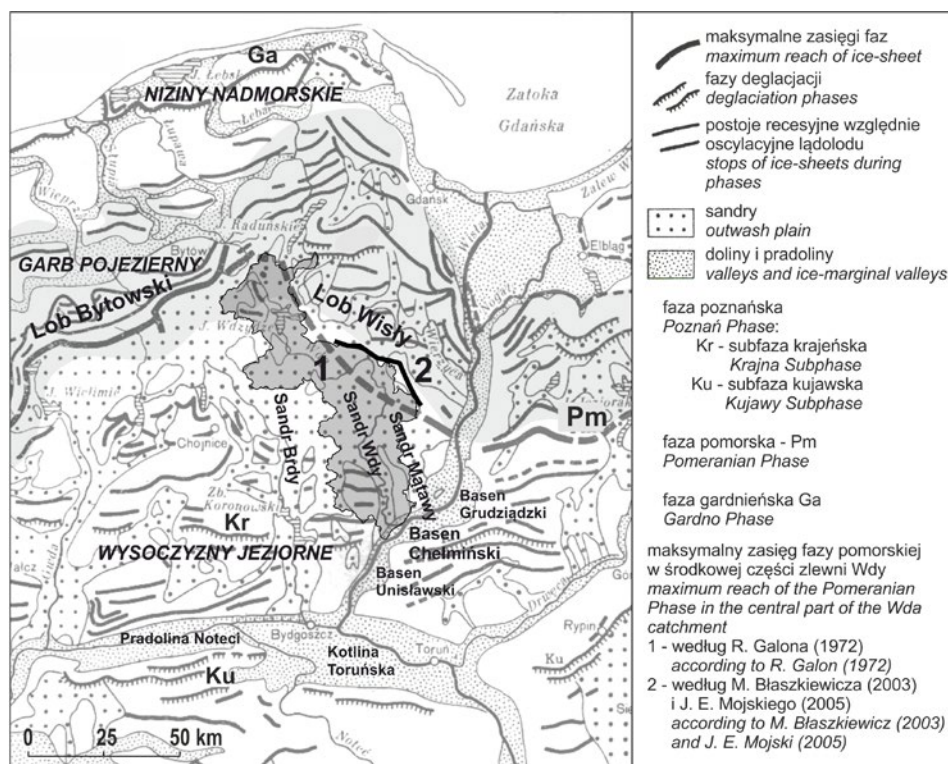
Na obszarze zlewni Wdy dominują wiatry z sektora zachodniego, które – jak wspomniano wcześniej – odgrywają dużą rolę w kształtowaniu przestrzennego zróżnicowania opadów atmosferycznych. W Kościerzynie wiatry zachodnie oraz południowo-zachodnie i północno-zachodnie stanowią 46,6% przypadków w roku (Kwiecień, 1979). Podobnie kształtują się częstości w położonych dalej na zachód Chojnicach (45%) (Wójcik, Marciniak, 2001) i na wschód w Radostowie (40,8%) (Kwiecień, 1979). Na tej ostatniej stacji przeważają jednak wiatry z południowego-zachodu (18,9%) nad zachodnimi (14,7%). Wiatry z pozostałych kierunków występują z częstotliwością 5-10% dni w ciągu roku.

2.2. Warunki morfologiczne i hydrogeologiczne

Zlewnia Wdy położona jest w zasięgu obszaru młodoglacjalnego Nizżu Polskiego, w obrębie trzech stref morfogenetycznych o randze makroregionu. Część północna obejmuje fragment garbu pojeziernego, środkowa i południowa wchodzi w skład wysoczyzn jeziornych, natomiast odcinek ujściowy znajduje się w obrębie astrefowych, czwartorzędowych den dolin (ryc. 7) (Galon, 1972). Główne rysy rzeźby zlewni nawiązują do równoleżnikowo zmieniających się stref morfogenetycznych. Wysokości bezwzględne zmniejszają się z północy na południe, osiągając wartości 200-350 m n.p.m. w obrębie strefy czołowomorenowej, 220 m n.p.m. w części proksymalnej sandru i 100 m n.p.m. na jego granicy z Wysoczyzną Świecką. Na obszarze wysoczyzny rzędne osiągają wartości 90-120 m n.p.m. Jej południowo-wschodni kraniec stanowi wysoka na 50 m krawędź doliny Wisły. Ujściowy odcinek zlewni Wdy, o rzędnych 20-25 m n.p.m., wykształcony jest w obrębie rozszerzenia doliny Wisły, nazwanego przez R. Galona (1934) Basenem Chełmińskim. Na rzeźbę terenu zlewni Wdy składa się zespół form charakterystycznych dla obszarów młodoglacjalnych. Największą powierzchnię zajmują rozległy szlak sandrowy, związany z odpływem wód fluwioglacjalnych podczas fazy pomorskiej oraz powierzchnie morenowe (ryc. 7 i 8) (Galon, 1972).

Sandr rozpoczyna się u podnóża lobu bytowskiego i zachodniej części lobu Wisły. Zwarta w części proksymalnej powierzchnia sandrowa rozdziela się na północ od jeziora Wdzydze na szlaki sandrowe Brdy i Wdy. Proksymalna część sandru Wdy wykazuje silne rozpoziomowanie (9 poziomów), które świadczy o znacznej dynamice formujących go wód fluwioglacjalnych (Rolka, 1997). Większość poziomów proksymalnej części sandru wykazuje nachylenie z północnego zachodu na południowy wschód. W odcinku dystalnym sandr zwęża się do rozcinającego poziomy wysoczyznowe szlaku o szerokości 2 km (Andrzejewski, 1994), na który składają się 2 lub 3 poziomy, zawieszone w stosunku do obecnej doliny Wisły (Drozdowski, 1967; Andrzejewski, 1994).

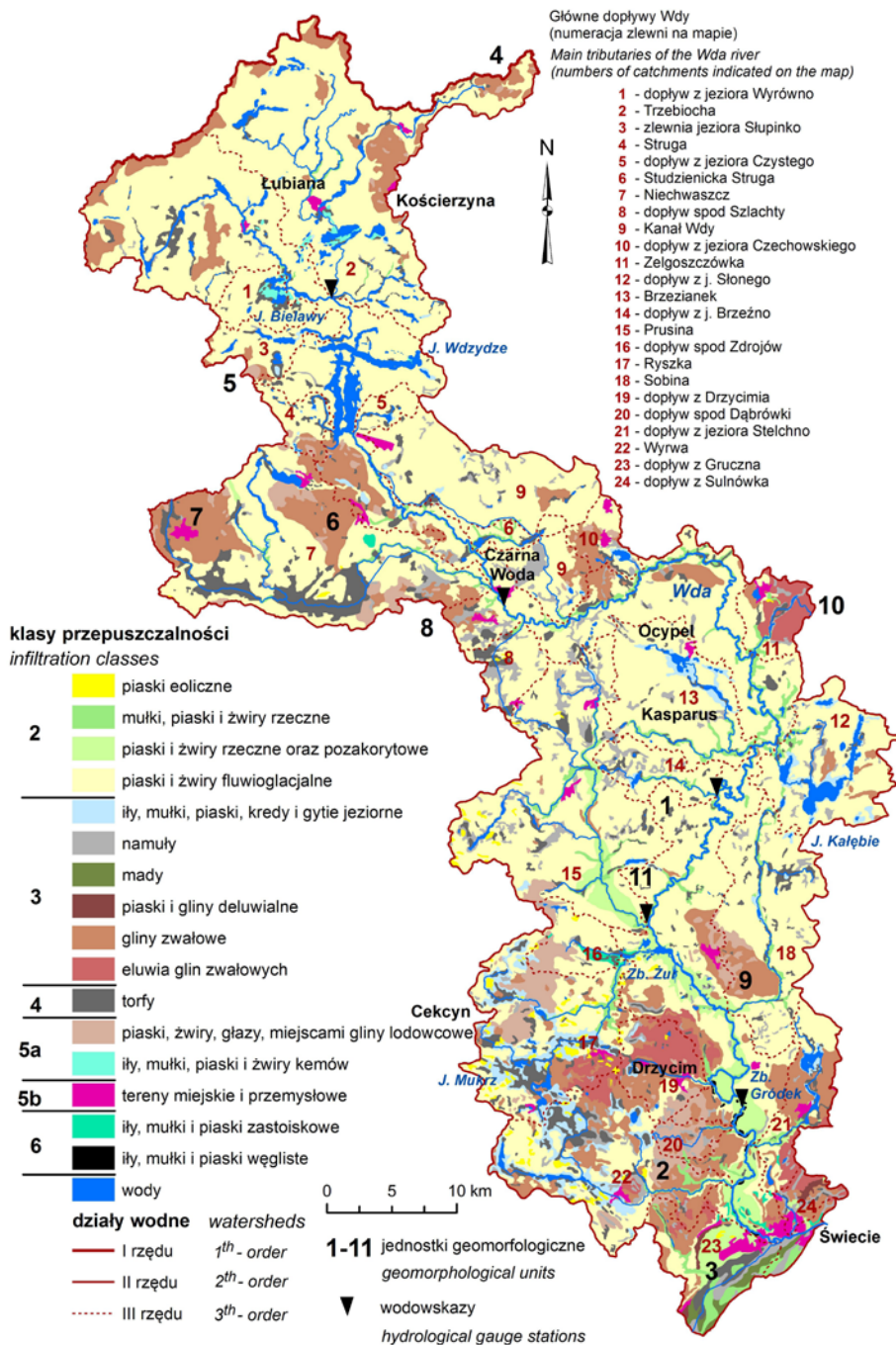
Powierzchnie morenowe w zlewni Wdy rozmieszczone są nierównomiernie (ryc. 7 i 8). Północna część zlewni zlokalizowana jest na zapleczu lobu bytowskiego i w zasięgu zachodniej części lobu Wisły, które wyznaczają na tym obszarze maksimum zasięgu fazy pomorskiej zlodowacenia Vistulian (Galon, 1972). Ciągi moren czołowych, często silnie spiętrzone, oddzielające zlewnię Wdy od rzek Przymorza, rozcina potężna brama lodowcowa jezior Raduńskich. Najwyższy, a zarazem najbardziej wysunięty na północny wschód fragment zlewni Wdy, stanowią Wzgórza Szymbarskie z kulminacją Wieży-cy, o wysokości 328,7 m n.p.m, które opisywane są jako silnie spiętrzone moreny subfazy kaszubsko-warmińskiej (Roszko, 1968). Dalej w kierunku południowo-wschodnim zarówno linia maksymalnego zasięgu fazy pomorskiej, jak też granica zlewni Wdy jest mniej wyraźna. Występujący tu zachodni fragment lobu Wisły jest bardzo zniszczony przez liczne mniejsze bramy lodowcowe (Galon, 1972) (ryc. 7).



Ryc. 7. Zlewnia Wdy na tle schematycznej mapy geomorfologicznej i zasięgu makroregionów geomorfologicznych (Galon, 1972; zmodyfikowane na podstawie Kozarski, 1995)

Fig. 7. The Wda catchment against the background of the geomorphological map and main geomorphological regions (according to Galon, 1972 and Kozarski, 1995)

Ryc. 8.



Drugi typ obszarów morenowych w zlewni Wdy stanowią wyspy morenowe, wyłaniające się z sandru na całej jego długości aż do zwężenia szlaku sandrowego, wcinającego się na południu w Wysoczyznę Świecką (ryc. 8). Największe wyspy położone są na północ, zachód i południe od zespołu rynien wdzydzkich i oddzielają je od podobnie wykształconej grupy rynien Jeziora Charzykowskiego w zlewni Brdy. Są to od północy: wyspa raduńska (Przewoźniak, 2001), bruska, czerska oraz wielewska (Galon, 1953) (ryc. 8). Wyspy te przewyższają otaczający sandr o 10-15 metrów. W związku z tym na ich linii wykształciły się strefy wododziałowe zlewni zlokalizowanych w obrębie szlaków sandrowych Brdy i Wdy.

Trzeci typ powierzchni morenowych w zlewni Wdy reprezentuje Wysoczyzna Świecka, której powstanie związane jest z fazą poznańską zlodowacenia Vistulian (Galon, 1972). Jest to niewielki płat wysoczyznowy, oddzielony od sąsiednich powierzchni morenowych przez głęboko wcięte szlaki sandrowe Brdy i Mątały, a na południu ograniczony doliną Wisły. Szlak odpływu fluwiogłacialnego Wdy rozdziela wysoczyznę na dwie części, przy czym fragment zachodni jest zdecydowanie większy. Cechą charakterystyczną wysoczyzny są występujące tu zwarte pokrywy utworów morenowych na obrzeżach i nieciągłe w części centralnej (na zachód od doliny Wdy). Zwartym płatom glin morenowych towarzyszą moreny czołowe, związane z subfazą krajeńską. W części centralnej występuje mozaikowaty układ form, niewielkim fragmentem morenowym towarzyszą utwory fluwiogłacialne związane z fazą poznańską, liczne wytopiska oraz formy kemowe.

Późnoglacialna i holocenska ewolucja rzeźby terenu związana jest z tworzeniem sieci odpływu powierzchniowego. W zlewni Wdy (Drwał, 1979, 1982; Niewiarowski, 1986; Andrzejewski, 1994; Błaszczewicz, 1998, 2003, 2005 a; Kugler, 2000), podobnie jak w innych fragmentach obszaru młodogłacialnego, widoczne jest wykorzystywanie przez współcześnie formującą się sieć rzeczna starszych form, głównie

Opis do ryc. 8 (s. 36)

Ryc. 8. Budowa geologiczna i przepuszczalność utworów powierzchniowych w zlewni Wdy (opracowano na podstawie Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, i in., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976; map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 oraz badań własnych). Klasy przepuszczalności: 2 – dobra, 3 – słaba, 4 – zmienna, 5a i 5b – zróżnicowana, 6 – bardzo słaba; Nazwy jednostek geomorfologicznych omawianych w pracy: 1 – Sandr Wdy, 2 – Wysoczyzna Świecka, 3 – Basen Chełmiński, 4 – Wzgórza Szymbarskie, 5 – wyspa raduńska, 6 – wyspa wielewska, 7 – wyspa bruska, 8 – wyspa czerska, 9 – wyspa Osia, 10 – rynna Jezior Borzechowskich, 11 – rynna jeziora Piaseczno

Fig. 8. Geological structure of and infiltration conditions in the Wda catchment (prepared on the basis of the Geological Map of Poland at a scale of 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, et al., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976; soil maps at a scale of 1:25 000 and author's own study). Infiltration classes: 2 – good, 3 – poor, 4 – changeable, 5a i 5b – varied, 6 – very poor; Names of geomorphological units mentioned in the text: 1 – the Wda outwash plain, 2 – Świecie moraine plateau, 3 – Chełmno Basin, 4 – the Symbark hills, 5 – Radunia patch, 6 – Wielewska patch, 7 – Brusy patch, 8 – Czersk patch, 9 – Osie patch, 10 – Borzechowo Lakes glacial channel, 11 – Piaseczno Lake glacial channel

rynien i zagłębień wytopiskowych różnej genezy. W związku z poligenetycznym charakterem, cechą doliny Wdy są nagłe zmiany kierunku i występowanie naprzemiennie odcinków szerszych, których krawędzie nawiązują do starszych obniżień oraz fragmentów węższych – przełomowych. Największe zgrupowanie rynien, m. in. zespół rynien wdzydzkich, występuje w strefie proksymalnej sandru Wdy (ryc. 8). Dla środkowej części sandru charakterystyczne jest występowanie rynien o ukierunkowaniu wschód-zachód, które często krzyżują się z obecnymi strefami wododziałowymi. Nierównomiernie rozmieszczone w zlewni Wdy są także wytopiska. Znaczne nagromadzenie form o dużych powierzchniach występuje w obrębie środkowej części Wysoczyzny Świeckiej.

Przedstawiony powyżej układ jednostek morfologicznych w zlewni Wdy determinował warunki formowania się sieci odpływu w holocen, istotnie oddziałuje też na współczesne procesy hydrologiczne. Charakterystyczny dla obszaru młodoglacjalnego mozaikowaty układ form oraz warstwowa budowa geologiczna wpływają bezpośrednio na warunki infiltracyjne, jak też możliwości drenażu wód podziemnych. Pośredni wpływ na procesy hydrologiczne wywierają poprzez determinowanie sposobu użytkowania terenu. Urozmaicona rzeźba oraz obecność zagłębień o genezie glacialnej, subglacialnej czy wytopisk oddziałują z kolei na procesy erozji, transportu, akumulacji, determinując sposób wykształcenia koryt rzek oraz morfologię równiny zalewowej.

W powierzchniowej budowie geologicznej na obszarze zlewni Wdy zdecydowanie przeważają piaszczysto-żwirowe utwory fluwioglacjalne, zajmujące 58,59% powierzchni (ryc. 8), z czego ponad 90% stanowią utwory związane z odpływem wód podczas fazy pomorskiej. Największy udział utworów fluwioglacjalnych występuje w północnej części zlewni, do jeziora Wdzydze oraz w części środkowej, pomiędzy Czarną Wodą a Zbiornikiem Żur. Gliny zwałowe zajmują 11,58% powierzchni zlewni, a łącznie z pozostałymi osadami pochodzenia glacialnego oraz deluwiami, które towarzyszą powierzchniom morenowym – 17,35%. Utwory glacialne wykazują największy udział w części południowej zlewni, na obszarze Wysoczyzny Świeckiej oraz w pasie pomiędzy jeziorem Wdzydze a rynną Jezior Borzechowskich. Z pozostałych utworów geologicznych większe rozprzestrzenienie mają osady akumulacji rzecznej (korytowej i pozakorytowej), osiagające 6,73% powierzchni, z czego 4,06% przypada na mułki, piaski i żwiry holocenijskich den dolinnych, a 2,67% na piaski i żwiry teras późnoglacjalnych. Znaczny udział w powierzchni terenu, przekraczający 10%, przypada na utwory torfowe i namuły. Podkreślić należy, że osady określane na mapie geologicznej jako namuły holocenijskie, na mapach glebowo-rolniczych znaczone są najczęściej jako utwory mineralno-organiczne zagłębień bezodpływowych lub płytkie (0,75-

1,0 m) złoża torfowe, występujące na piaskach rzecznych. Osady jeziorne, wykształcone w postaci iłów, mułków i piasków, rzadziej gytii i kredy jeziornej, zajmują 2,67% powierzchni zlewni.

Najlepszymi własnościami infiltracyjnymi odznaczają się piaski i żwiry fluwio-glacialne. Współczynniki filtracji tych utworów na obszarze Równiny Tucholskiej zostały określone na 20 do 30 m·d⁻¹ (Przewłocka, 1988), zaliczono je do 2 klasy przepuszczalności dobrej. Łącznie utwory reprezentujące 2 klasę przepuszczalności, do których wliczono też piaski i żwiry rzeczne oraz piaski eoliczne, zajmują 61,3 % powierzchni zlewni Wdy (tab. 5).

Kilka płatów sandru włączono do klasy 3, na podstawie informacji zawartych na mapach glebowo-rolniczych w skali 1:25 000. Większość z nich to fragmenty sandru zbudowanego z piasków słabogliniastych, pod którymi płytko, na głębokości 0,25-0,50 m, zalega glina. Klasę 3, o przepuszczalności słabej, reprezentuje w zlewni Wdy większość utworów genezy glacialnej, w których dominują gliny i eluwia glin zwałowych. Utwory morenowe najczęściej wykształcone są w postaci glin lekkich i średnich. Do klasy tej wliczono także utwory jeziorne, które zajmują znaczne powierzchnie na zachodnim skraju Wysoczyzny Świeckiej oraz namuły szeroko rozprzestrzenione w środkowej części zlewni. Łącznie utwory 3 klasy obejmują 24,5% powierzchni zlewni Wdy.

Z pozostałych utworów większe znaczenie mają torfy, charakteryzujące się zmiennymi (klasa 4) właściwościami infiltracyjnymi, które zajmują 6,1% powierzchni. Ich największe nagromadzenie występuje w zlewni Niechwaszczy oraz na zachodnim skraju Wysoczyzny Świeckiej, gdzie towarzyszą znacznym powierzchniom zanikłych jezior.

Do 5 klasy zaliczono utwory o zróżnicowanych warunkach infiltracyjnych. Zajmują one łącznie 4,7% powierzchni, z czego 3,6% stanowią utwory akumulacji glacialnej i glacialolimnicznej o zróżnicowanym uziarnieniu (klasa 5a), a pozostałe 1,1% przypada na tereny zabudowane i przemysłowe (klasa 5b).

Wśród zlewni różnicowych Wawrzynowo, Błędno i Tleń wyróżniają się wyraźnie ponad 70% udziałem utworów 2 klasy przepuszczalności (dobrej) (tab. 5). Nieco niższy udział tych utworów charakteryzuje zlewnię Czarna Woda (63,1%) i Krąplewice (50,2%), a najniższy Świecie (25,8%). Największy udział utworów klasy 3 (przepuszczalność słaba) i 5a (zróżnicowana) reprezentowany jest w zlewniach różnicowych Krąplewice i Świecie (odpowiednio 32,6 i 54,7% oraz 8,0 i 5,0%), natomiast największy udział utworów o przepuszczalności zmiennej charakteryzuje zlewnię Czarna Woda (8,7%). W zlewni Niechwaszczy udział torfowisk (przepuszczalność zmienna) przekracza 15%, co stawia ją na pierwszym miejscu w stosunku do pozostałych zlewni głównych dopływów Wdy. W zlewni tej przeważają utwory 2 klasy przepuszczalności (48,4%), jednak znaczny udział mają także utwory klasy 3 (26%).

Tab. 5. Udział procentowy utworów poszczególnych klas przepuszczalności w powierzchni zlewni Wdy, zlewniach różnicowych oraz zlewni Niechwaszczy (obliczono na podstawie Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, i in., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976, map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 oraz badań własnych)

Tab. 5. Percentage of individual infiltration classes in the Wda catchment, subcatchments and the Niechwaszcz catchment area (calculated on the basis of the Geological map of Poland at a scale of 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, et al., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976; soil maps at a scale of 1:25 000 and author's own study)

Klasa przepuszczalności <i>Infiltration class</i>	2 dobra <i>good</i>	3 słaba <i>poor</i>	4 zmienna <i>changeable</i>	5a zróżnicowana <i>varied</i>	5b zróżnicowana <i>varied</i>	6 bardzo słaba <i>very poor</i>	zbiorniki wodne <i>water reservoirs</i>
Zlewnia <i>Catchment</i>							
Wawrzynowo	77,2	12,6	3,8	1,6	0,5	0,0	4,3
Czarna Woda	63,1	18,6	8,7	3,7	1,1	0,2	4,6
Błędno	73,3	17,5	4,6	0,5	0,7	0,0	3,4
Kraplewice	50,2	32,6	6,1	8,0	0,7	0,6	1,8
Tleń	75,8	16,1	4,7	1,6	0,9	0,0	0,9
Świecie	25,8	54,7	7,7	5,0	3,4	1,2	2,2
Wda	61,3	24,5	6,1	3,6	1,1	0,3	3,1
Niechwaszcz	48,4	26,0	15,2	7,0	1,3	0,4	1,7

W zasilaniu wód powierzchniowych w zlewni Wdy uczestniczą głównie poziomy związane z utworami plejstocеныmi. Utwory te osiąają znaczne miąższości, z generalną tendencją do jej zmniejszania w kierunku południowo-wschodnim (Sadurski i in., 1994). Maksymalną miąższość, powyżej 200 m, stwierdzono w rejonie wzniesienia Wieżycy, w proksymalnej części sandru Wdy osiąga ona wartości 70-150 m (Sadurski i in., 1994; Liberacki, Murawski, 1964; Szupryczyński, 1988). Jedynie w obrębie Wysoczyzny Świeckiej, w miejscach, gdzie płytko pod powierzchnią zalegają osady miocenu, nie przekracza miejscami kilku metrów. W profilu osadów plejstocеныskich najbardziej rozprzestrzenione są trzy pokłady glin morenowych. Najniżej leżący pokład gliny związany jest ze zlodowaceniem środkowopolskim, natomiast dwa górne poziomy ze zlodowaceniem Vistulian (Sadurski i in., 1994; Liberacki, Murawski, 1964). Lokalnie występują także osady zlodowacenia południowopolskiego, wykształcone w postaci 3 poziomów gliny morenowej, o łącznej miąższości dochodzącej do 30-50 metrów. Osady

najmłodszego zlodowacenia reprezentowane są przez 2-4 pokłady glin morenowych, rozdzielone seriami fluwioglacjalnymi oraz zastoiskowymi (Makowska 1975; Ozon-Gostkowska, 1991; Sadurski i in., 1994). Na bezpośrednim przedpolu strefy marginalnej fazy pomorskiej poziomy morenowe wykazują silne zniszczenie i występują w postaci nieciągłych listew rozdzielających kolejne serie fluwioglacjalne (Błaszkiwicz, 2005 b). Utwory fluwioglacjalne rozdzielające poziomy morenowe osiągają największe miąższości, średnio 20-40 m, w północnej i środkowej części zlewni. W południowej natomiast, na obszarze Wysoczyzny Świeckiej, a także w obrębie wysp morenowych w odcinku środkowym, miąższość tych utworów jest mniejsza, miejscami nie ma ich w ogóle, a młodsze poziomy glin zalegają bezpośrednio na starszych.

Strop osadów przedplejstocenijskich najwyżej zalega w północnej i południowej części zlewni, na wysokości 50-100 m n.p.m. W części środkowej występuje średnio na wysokości 0-20 m n.p.m (Błaszkiwicz, 2005 b). Utwory pliocenijskie na obszarze zlewni zostały zniszczone przez procesy czwartorzędowe (Makowska, 1975). Osady paleogenu, związane ze zmienną sedymentacją w środowiskach lądowym, zbiorników słodkowodnych oraz bagien, wykształcone są w postaci piasków glaukonitowych i margli paleocenu, piasków glaukonitowych i kwarcowych oraz mułków i mułowców oligocenu (Makowska 1972, 1975; Sadurski i in., 1994). Miocen stanowią głównie utwory osadowe: piaski, mułki i ropy, często o ciemnym zabarwieniu, spowodowanym obecnością pyłu węglowego, przewarstwione cienkimi wkładkami węgla brunatnego. W dolnym odcinku zlewni, na południe od Zbiornika Gródek, występuje kulminacja serii miocenijskiej. Jest ona rozcięta przez dolny bieg współczesnej doliny Wdy, której dno występuje miejscami 6-9 m poniżej stropu miocenu (Makowska, 1975; Liberacki, Murawski, 1964; Andrzejewski, 1994).

Biorąc pod uwagę warunki hydrogeologiczne, zlewnię Wdy można podzielić na dwa fragmenty: pierwszy, związany z jednostką morfologiczną sandru Wdy, a drugi z Wysoczyzną Świecką (ryc. 8). Pierwszy z nich wchodzi w skład wyróżnionego na Mapie hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000, regionu słupsko-chojnickiego, natomiast drugi zaliczany jest do regionu mazurskiego (Bohdziewicz i in., 1985, 1986; Pruszkowska, 1986, 1988; Ozon-Gostkowska, 1987, 1989; Sukowska, Uścińowicz, 1987, 1988). W obrębie pierwszego regionu występują dwa podregiony: kaszubski, który obejmuje północną i środkowo-wschodnią część zlewni oraz chojnicki, w którego zasięgu znajduje się jej środkowa część. Drugi region reprezentowany jest przez rejon Świecia, obejmujący południowy fragment zlewni (prawie cała Wysoczyzna Świecka). W podregionach kaszubskim i chojnickim główny użytkowy poziom wodonośny, o wydajności 30-70 m³·h⁻¹, znajduje się w utworach plejstocenijskich. W podregionie kaszubskim występuje też drugi poziom w utworach oligocenu, o wydajności średniej 30-70 m³·h⁻¹. W obrębie rejonu Świecia główne poziomy użytkowe znajdują się w utworach plejstocenu i miocenu, pierwszy o wydajności 30-70 m³·h⁻¹, a miejscami 70-120 m³·h⁻¹, drugi o średniej wydajności 10-50 m³·h⁻¹, dochodzącej miejscami do 90 m³·h⁻¹.

W regionie słupsko-chojnickim główną rolę w zasilaniu cieków odgrywają piaszczysto-żwirowe poziomy plejstocenijskie. Większość cieków w tej części zlewni wcięta jest w poziom sandrowy fazy pomorskiej lub rozcina zalegające na powierzchni terenu górne poziomy glin zwałowych. Kontakt z głębszymi poziomami fluwioglacjalnymi (starszych zlodowaceń) ma miejsce w obrębie głęboko wciętych dolin kopalnych, które spełniają rolę okien hydrogeologicznych. Oprócz dolin kopalnych, lokalne okna hydrogeologiczne stanowią także głębokie rynny i wytopiska, zajęte obecnie przez jeziora. W zlewni Wdy, a przede wszystkim w jej części północnej (do jeziora Wdzydze), znaczna liczba tego typu jezior wchodzi w skład sieci odpływu powierzchniowego. Najgłębiej wcięta rynna jeziorna to Wdzydze Południowe, o głębokości maksymalnej jeziora 68 m i głębokości rynny (w stosunku do otaczających poziomów sandrowych) 80 m. W omawianym regionie jeszcze 28 jezior osiąga maksymalną głębokość powyżej 10 m, z czego 17 to zbiorniki przepływowe lub odpływowe. Starsze niż plejstocen poziomy wodonośne nie odgrywają w tej części zlewni większego znaczenia w zasilaniu wód powierzchniowych z powodu małej zasobności oraz głębokiego zalegania (Ozon-Gostkowska, 1991). Na podstawie obliczeń modelowych, wykonanych dla poziomów plejstocenijskich w północnej części zlewni Wdy ustalono, że wody podziemne tych poziomów w 99% zasilane są przez infiltrację opadów atmosferycznych i w 1% przez dopływ boczny (Frączak, Kobylński, 1991). Stwierdzono też, że około 10% opadów ($2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$) zasila wody podziemne, a drenaż tych wód zachodzi głównie przez odpływ do cieków powierzchniowych – 61%.

W obrębie Wysoczyzny Świeckiej, oprócz poziomów śródglinowych związanych ze zlodowaceniami plejstocenijskimi, drenowane są też osady miocenijskie, w które wcięta jest Wda i dolne odcinki jej dopływów. Bardzo wydajne wypływy wód z tego poziomu widoczne są w głęboko wciętych dolnych odcinkach cieków zasilających Wdę poniżej Gródka. W tej części zlewni występuje natomiast zdecydowanie mniejsza liczba głębokich mis jeziornych. Z trzech występujących tu jezior o głębokości powyżej 10 m: Błędzkie, Stelchno i Deczno, tylko pierwsze dwa mają charakter odpływowy.

Z modeli przepływu wód podziemnych wyznaczonych przez J. Kachnic (2004) wynika, że główny przepływ wód podziemnych w północnej części zlewni występuje w strefie przypowierzchniowej obiegu, natomiast w części południowej większe znaczenie jako strefa drenażu zaczyna odgrywać głęboko wcięta w podłoże dolina Wisły. Z przedstawionych modeli wynika, że Wisła drenuje tu częściowo poziomy czwartorzędowy oraz poziomy głębszy. Jednak jak wspomniano wcześniej, także Wda w dolnym biegu rozcina utwory starsze niż czwartorzęd i jest zasilana wodami z tych poziomów. Niewątpliwie warunki hydrogeologiczne w zlewni Wdy są dość złożone, szczególnie w jej dolnym biegu, gdzie z jednej strony wzrasta liczba drenowanych poziomów, a z drugiej występuje lokalna baza drenażu, jaką jest Wisła.

2.3. Sieć wodna

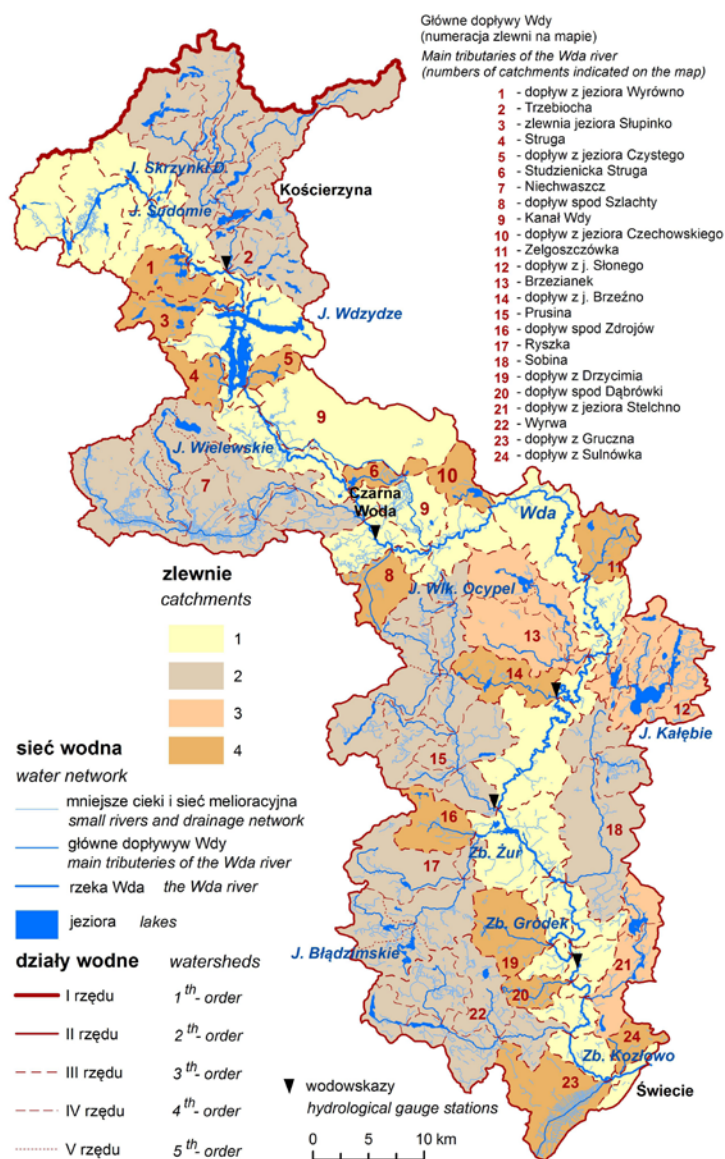
Rzeka Wda stanowi lewobrzeżny dopływ dolnej Wisły, do której uchodzi w jej 813,5 km, w miejscowości Świecie, na wysokości 23,1 m n.p.m. Za początek Wdy przyjęto wypływ z Jeziora Wieckiego (Czarnecka, 1983; MPHP, 2004) (ryc. 9), położonego na Równinie Charzykowskiej, na wysokości 155,5 m n.p.m. W niektórych opracowaniach jako początek rzeki podawany jest wypływ z jeziora Krążno, położonego około 10 km na północny-zachód. Powierzchnia zlewni Wdy wynosi 2322,37 km², a długość Wdy (od Jeziora Wieckiego) 204,3 km. Długość rzeki podawana w podziałach hydrograficznych jest nieco mniejsza (191,7 km wg H. Czarneckiej, 1983 i 199,4 km wg MPHP, 2004), ponieważ jako bieg rzeki przyjmowany jest kanał doprowadzający wodę do elektrowni w Gródku (ryc. 9).

Zlewnia Wdy charakteryzuje się znacznym wydłużeniem (średnia szerokość wynosi tylko 15,85 km, a maksymalna nie przekracza 35 km), a także asymetrią, z przewagą po stronie części prawobrzeżnej (większa powierzchnia i szerokość) (tab. 6). Obydwie części zlewni Wdy – prawobrzeżna i lewobrzeżna – charakteryzują się odmiennym wykształceniem sieci hydrograficznej. Za wyjątkiem górnego odcinka zlewni, dopływy części prawobrzeżnej wyróżniają się wyższą organizacją sieci wodnej, co jest związane z większym oddaleniem od stref czołowomorenowych fazy pomorskiej.

Największymi, biorąc pod uwagę powierzchnię zlewni, dopływami Wdy są: Trzebiocha (243 km²), Niechwaszcz (210 km²) i Prusina (191 km²), najdłuższym ciekim jest Niechwaszcz (40,6 km). Łącznie te trzy zlewnie stanowią 28% powierzchni całej zlewni Wdy. W odcinku górnym najwyższy stopień organizacji sieci hydrograficznej (dopływy do V rzędu) wykazuje główny, lewobrzeżny dopływ Wdy – Trzebiocha. W środkowym biegu głównymi dopływami Wdy są prawobrzeżne – Niechwaszcz i Prusina, w dolnym natomiast lewobrzeżnie uchodząca Sobina i prawobrzeżnie – Ryszka oraz Wyrwa.

Średnia gęstość sieci rzecznej w zlewni Wdy wynosi 0,98 km·km⁻² (tab. 7). Obszary o najwyższej wartości tego parametru położone są w zlewni Niechwaszczy, w ujściowym odcinku zlewni Wdy (na terenie doliny Wisły), a także w górnych odcinkach zlewni jej mniejszych dopływów.

W zlewni Wdy widoczne jest znaczne zróżnicowanie rozmieszczenia zbiorników wodnych (ryc. 9). Najwyższą jeziornością charakteryzuje się północna część obszaru (do jeziora Wdzydze), gdzie jeziora zajmują w niektórych zlewniach częściowych nawet powyżej 20% powierzchni. W odcinku środkowym największy udział jezior w powierzchni związany jest ze strefą położoną najbliżej linii maksymalnego zasięgu fazy pomorskiej (ryc. 8). Centralna część sandru natomiast wyróżnia się prawie zupełnym brakiem zbiorników wodnych. Na zwiększenie jeziorności tego obszaru wpłynęło przegrodzenie Wdy i utworzenie zbiorników zaporowych Żur, Gródek i Kozłowo. Na terenie wysoczyzny, największa jeziorność charakteryzuje źródłkowe odcinki zlewni częściowych, położone w sąsiedztwie wododziału Wdy.



Ryc. 9. Sieć wodna oraz podział hydrograficzny zlewni Wdy. Zlewnie: 1 – obszar odwadniany bezpośrednio przez Wdę i Kanał Wdy, 2 – o powierzchni powyżej 100 km², 3 – o powierzchni od 40 do 100 km², 4 – o powierzchni poniżej 40 km² (wyjątek – zlewnia nr 23 o pow. 54 km²) (opracowano na podstawie MPHP, 2004) Fig. 9. Water network and watersheds in the Wda catchment. Catchments: 1 – area drained directly by the Wda river and the Wda Canal, 2 – area larger than 100 km², 3 – area from 40 to 100 km², 4 – area smaller than 40 km² (exception – catchment 23 of size exceeding 54 km²) (prepared on the basis of the MPHP, 2004)

Tab. 6. Wybrane charakterystyki Wdy i jej zlewni (obliczono na podstawie danych zawartych w MPHP, 2004 oraz map topograficznych polskich w skali 1:25 000)

Tab. 6. Main features of the Wda catchment and the Wda river (estimated with the use of data from the MPHP, 2004 and Polish topographic maps at a scale of 1:25 000)

	Zlewnia Wdy <i>Wda catchment</i>	
A [km ²]	powierzchnia <i>area</i>	2322,37
Ap [km ²]	powierzchnia części prawobrzeżnej <i>the right part of the catchment area</i>	1330,94
Al [km ²]	powierzchnia części lewobrzeżnej <i>the left part of the catchment area</i>	991,43
L [km]	długość <i>length</i>	146,52
P [km]	obwód <i>perimeter</i>	467,56
H _{maks.} [m n.p.m.]	wysokość maksymalna <i>maximum elevation</i>	328,70
H _{min.} [m n.p.m.]	wysokość minimalna <i>minimum elevation</i>	23,10
H _{śr.} [m n.p.m.]	wysokość średnia <i>mean elevation</i>	170,03
B [km]	średnia szerokość <i>mean width</i>	15,85
Bp [km]	średnia szerokość części prawobrzeżnej <i>mean width of the right part</i>	9,08
Bl [km]	średnia szerokość części lewobrzeżnej <i>mean width of the left part</i>	6,77
Cf	wskaźnik formy <i>shape coefficient</i>	0,11
Cw	wskaźnik wydłużenia <i>elongation coefficient</i>	0,37
Cz	wskaźnik zwartości <i>compactness coefficient</i>	2,72
Cf [m·km ⁻¹]	średni spadek <i>mean slope</i>	2,08
	Rzeka Wda <i>the Wda river</i>	
L [km]	długość <i>length</i>	204,30
J [‰]	średni spadek <i>mean slope</i>	0,65
K	krętość <i>sinuosity</i>	1,39

2. Środowisko przyrodnicze zlewni Wdy

Analizując zlewnie różnicowe zauważyć można, że cały górny fragment zlewni Wdy (zlewnie Wawrzynowo, Czarna Woda i Błędno) charakteryzuje się podobną jeziornością, w granicach 3,39-4,56% (tab. 7). W zlewniach Krąplewice i Świecie wartość wskaźnika maleje do około 2%. Najniższy udział jezior występuje w zlewni Tleń, gdzie zajmują one zaledwie 0,91% powierzchni terenu.

Tab. 7. Gęstość sieci rzecznej, jeziorność i zatorfienie w zlewni Wdy, zlewniach różnicowych oraz zlewni Niechwaszcz (obliczono na podstawie danych zawartych w MPHP, 2004 oraz na Mapie geologicznej Polski w skali 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz i in., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976)

Tab. 7. Drainage density, lake and peatland percentage in the Wda catchment, subcatchment and the Niechwaszcz catchment (calculated on the basis of MPHP, 2004, Geological map of Poland at a scale of 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, et al., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976)

Zlewnia <i>Catchment</i>	Pow. zlewni <i>Area</i> [km ²]	Gęstość sieci rzecznej <i>Drainage network density</i> A [km·km ⁻²]	Gęstość sieci rzecznej <i>Drainage network density</i> B [km·km ⁻²]	Wzrost gęstości sieci rzecznej <i>Drainage network density increase</i> [km·km ⁻²]	Jeziorność <i>Lake percentage</i> [%]	Zatorfienie <i>Peatland percentage</i> [%]
Wawrzynowo	421,10	0,25	0,65	+0,40	4,32	3,78
Czarna Woda	516,27	0,28	1,19	+0,91	4,56	8,77
Błędno	436,58	0,35	0,97	+0,62	3,39	4,59
Krąplewice	463,69	0,30	0,82	+0,52	1,77	6,18
Tleń	187,39	0,36	1,06	+0,70	0,91	4,71
Świecie	297,34	0,33	1,30	+0,97	2,20	7,76
Wda	2322,37	0,31	0,98	+0,67	3,14	6,10
Niechwaszcz	209,71	0,32	1,75	+1,43	1,75	15,31

A – ciek naturalne, B – wszystkie ciek
A – natural streams B – rivers, canals and ditches

Rola jezior w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni Wdy zależy od ich udziału w powierzchni terenu, liczności, sposobu połączenia z siecią odpływu i sytuacji hydrogeologicznej mis jeziornych. Z zestawienia przedstawionego na rycinie 10 wynika, że w zlewni liczbowo przeważają jeziora małe (do 1 ha), które stano-

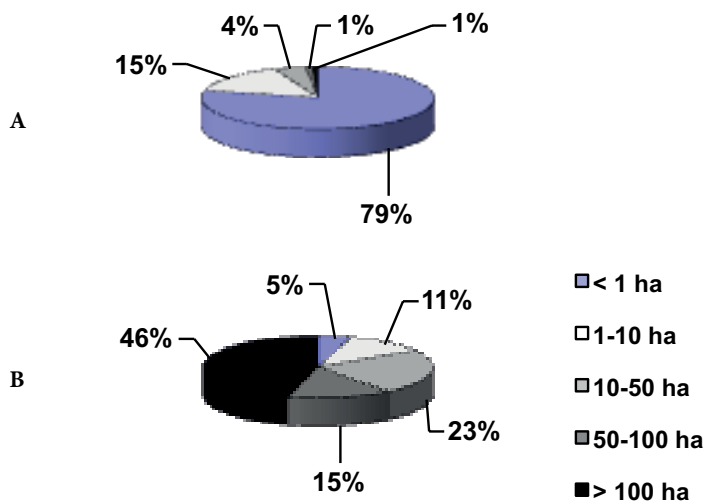
wią prawie 80% wszystkich zbiorników. W ogólnej powierzchni dominują natomiast zbiorniki większe od 100 ha, które wraz z jeziorami w klasie wielkości 10-100 ha stanowią 83% wszystkich wód stojących.

Największe jeziora charakteryzują się bardzo różnymi głębokościami maksymalnymi (tab. 8). Najwięcej jezior o średnich i bardzo dużych głębokościach występuje w północnej części zlewni. Większość z nich to jeziora przepływowe lub odpływowe, które – jak już wspomniano wcześniej – przez swą znaczną głębokość mogą spełniać rolę okien hydrogeologicznych i wpływać znacząco na regulowanie odpływu w ciekach (Drwał, 1985). Do takich zbiorników zaliczyć można jeziora Sumino, Wieckie, Skrzynki Duże, Garczyn, Sandomie, Karpno, Słupino, Kramsko Duże, Blewice, Mielnica, Debrzno, Wielewskie, Skąpe (prawie połowa z wymienionych wykazuje głębokość powyżej 20 m), a przede wszystkim zespół jezior wdziedzkich z głębokim na 68 m jeziorem Wdziedze Południowe. Misa tego jeziora rozcina kilka pokładów gliny morenowej i jest zasilana przez wody głębszych poziomów wodonośnych (Michalska, Michalski, 1980). Ten najbardziej specyficzny zbiornik wodny w zlewni Wdy, o powierzchni prawie 15 km², nazywany jest często „morzem kaszubskim”. Jezioro położone jest w północnej części zlewni i zamyka od południa jej najbardziej zasobną w zbiorniki wodne część. W miejscu tym zlewnia Wdy zwęża się do około 10 km, tak że na całej szerokości stanowi obszar bezpośredniego zasilania jeziora Wdziedze. Pojemność zbiornika wynosi około 220 mln m³, co stanowi 50% zasobów wodnych zlewni Wdy, zgromadzonych w jeziorach o powierzchni większej niż 10 ha.

W środkowej i południowej części zlewni Wdy występuje jedynie kilka zbiorników wodnych o głębokościach większych niż 10 m. Są to jeziora: Czechowskie, Ocypel Wielki, Jelonek, Okonińskie, Piaseczno, Trzebciny, Błędzkie, Stelchno i Deczno. Oprócz trzech jezior: Trzebciny, Piaseczno i Deczno, pozostałe są połączone z siecią rzeczną. Występuje tu zatem jedynie 6 jezior odpływowych lub przepływowych o głębokości powyżej 10 m, podczas gdy w części północnej (do wodowskazu Czarna Woda) jest ich 16.

W zlewni Wdy, podobnie jak w obrębie innych obszarów młodoglacjalnych, w wielu zagłębieniach różnej genezy występują mokradła. Trudności w jednoznacznym określeniu roli, jaką odgrywają mokradła i torfowiska w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni (Mikulski, Leśniak, 1972; Byczkowski, Kiciński, 1991; Ilnicki, 2002; Bullock, Acreman, 2003) sprawiają, że znacznie rzadziej są one rozpatrywane jako obiekt hydrograficzny niż jeziora. Jednocześnie bardzo duża zawartość wody w utworach torfowych, wynosząca w zależności od rodzaju torfu 85-95% objętości złoża (Ilnicki, 1972) powoduje, że w niektórych obszarach ilość wody zgromadzona w torfowiskach przewyższa zasoby wód stojących (Szumińska, 2004).

Według Cz. Pietrucienia (1988), obszary podmokłe zajmują w zlewni Wdy 1,9% powierzchni, podczas gdy w sąsiedniej zlewni Brdy 2,9%. Jest to jednak wartość zaniżona, na co wskazują badania autorki prowadzone w obrębie fragmentu zlewni Prusiny (Szumińska, 2004). W wyniku analizy map geologicznych w skali 1:200 000, uzupełnionych na podstawie map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000, uzyskano 6,1% udział obszarów zatorfionych w powierzchni zlewni Wdy. Z pewnością część z nich, wskutek powierzchniowego odwodnienia, przestała pełnić funkcję aktywnych torfowisk i straciła charakter mokradeł o stale wysoko zalegającym zwierciadle wód gruntowych. Środkowa i północna część zlewni charakteryzują się stosunkowo znacznym udziałem torfowisk wysokich i przejściowych w ich ogólnej liczbie. Stanowią one 20-40% wszystkich torfowisk w części środkowej i 40-60% w północnej (na podstawie map w: S. Żurek, 1987). Duży udział torfowisk wysokich i przejściowych w północnej części zlewni świadczy o większym znaczeniu oligotroficznych wód opadowych w zasilaniu, co należy wiązać z wyższymi sumami opadów atmosferycznych i niższymi średnimi temperaturami powietrza. Na szczególną uwagę zasługuje zlewnia Niechwaszczy, w której przy jeziorności wynoszącej 1,75%, czyli o połowę mniej niż średnia dla zlewni Wdy, torfowiska zajmują 15,31% powierzchni terenu (tab. 7).



Ryc. 10. Udział procentowy poszczególnych grup wielkościowych jezior: A – w ogólnej liczbie jezior, B – w całkowitej powierzchni jezior (obliczono na podstawie MPHP, 2004)

Fig. 10. Percentage of individual lake size groups: A – in the total number of lakes, B – in the total area of lakes (estimated with the use of the MPHP, 2004)

Tab. 8. Jeziora według powierzchni i głębokości w zlewni Wdy (zestawiono na podstawie danych według 1 – IRŚ – Instytut Rybactwa Śródlądowego, za A. Choińskim, 1991, 2 – A. Choińskiego, 1991, 3 – MPHP, 2004)

Tab. 8. Lakes by surface area and depth in the Wda catchment (compilation based on: 1 – IRŚ – Inland Fisheries Institute, after A. Choiński, 1991, 2 – A. Choiński, 1991, 3 – MPHP, 2004)

Lp.	Jeziora wg powierzchni <i>Lakes by area</i>	Powierzchnia <i>Area</i> 1	Powierzchnia <i>Area</i> 2	Powierzchnia <i>Area</i> 3	Głębokość średnia <i>Mean depth</i>	Głębokość maksymalna <i>Max depth</i>	Objętość <i>Volume</i>
		[ha]	[ha]	[ha]	[m]	[m]	[mln m ³]
1	Wdzydze Pd.	918,8	—	—	18,7	68,0	180,10
2	Wdzydze Północne	536,8	—	—	7,6	18,8	40,70
	Wdzydze – łącznie	1455,6	1417,0	1456,9	—	—	—
3	Kałębie	466,3	437,5	440,4	2,4	6,4	11,06
4	Zbiornik Żur	440,0	—	—	3,6	—	16,00
5	Sudomie	173,5	169,0	169,9	4,6	13,0	8,03
	Jeziora wg głębokości <i>Lakes by depth</i>	Powierzchnia <i>Area</i> 1	Powierzchnia <i>Area</i> 2	Powierzchnia <i>Area</i> 3	Głębokość średnia <i>Mean depth</i>	Głębokość maksymalna <i>Max depth</i>	Objętość <i>Volume</i>
		[ha]	[ha]	[ha]	[m]	[m]	[mln m ³]
1	Wdzydze Południowe	918,8	—	—	18,7	68,0	180,10
2	Wielewskie	156,1	152,5	154,9	11,8	40,5	18,40
3	Wlk. Ocypel	114,0	106,0	105,9	6,7	40,0	8,14
4	Skrzynki Duże	11,6	13,5	11,7	13,4	35,2	1,55
5	Błędzimskie	52,8	51,0	50,3	8,8	34,2	4,67

W ujęciu zlewni różnicowych zauważyć można, że w zlewniach Wawrzynowo, Błędno i Tleń zatorfienie osiąga wartości 3,78-4,71% (niższe niż średnia dla zlewni Wdy), natomiast w zlewniach Czarna Woda, Krąplewice i Świecie 6,18-8,77% (tab. 7). Najwyższa wartość wskaźnika – 8,77%, charakteryzuje zlewnię Czarna Woda. Wskaźnik zatorfienia jest zatem, z wyłączeniem zlewni Tleń, odwrotnie proporcjonalny do wskaźnika jeziorności, a wiele z powierzchni pokrytych utworami organicznymi stanowi zanikłe zbiorniki jeziorne.

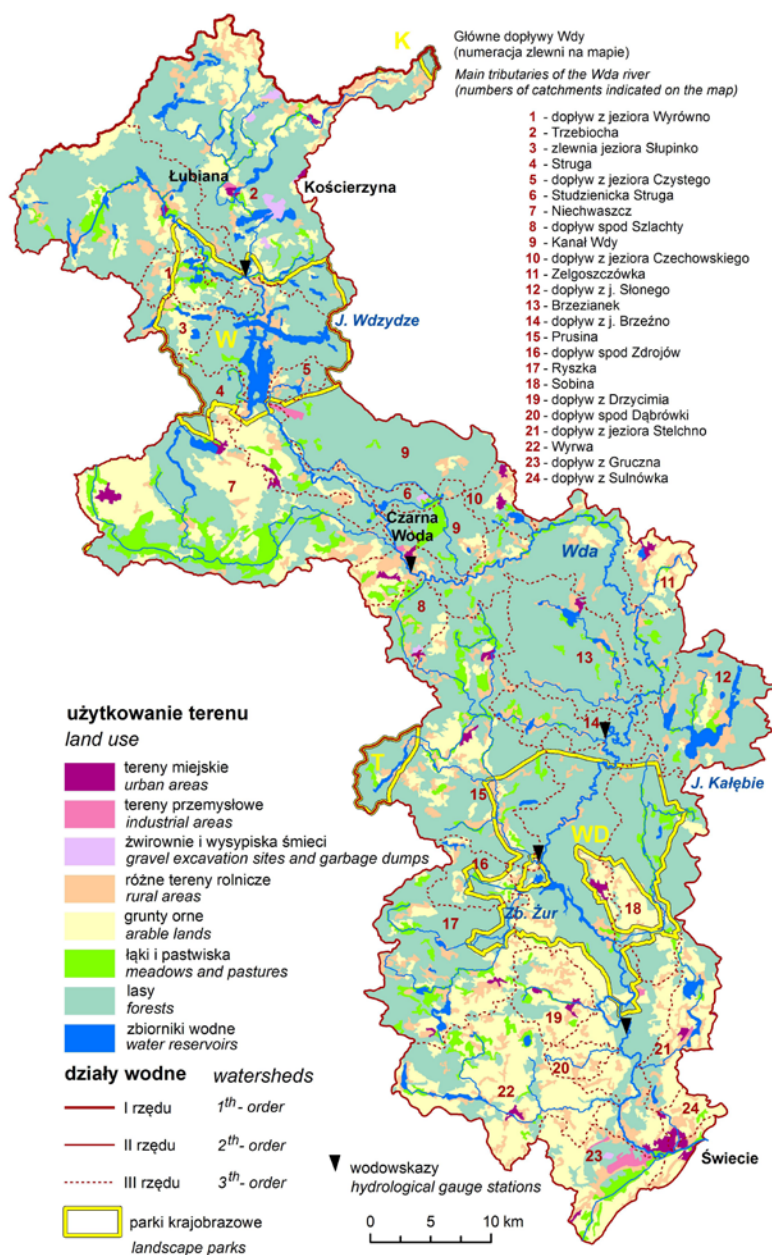
3. Użytkowanie terenu i gospodarka wodna

3.1. Użytkowanie terenu

Układ przestrzenny poszczególnych typów użytkowania terenu w zlewni Wdy jest ściśle powiązany z powierzchniową budową geologiczną (por. ryc. 8 i 11). Piaszczysto-żwirowe utwory fluwioglacjalne i rzeczne są w większości użytkowane jako lasy, natomiast na Wysoczyźnie Świeckiej oraz wyspach morenowych dominują grunty orne i tereny rolnicze. Główną cechą użytkowania terenu zlewni Wdy jest obecność największego w Polsce zwartego kompleksu borów sosnowych – Borów Tucholskich o powierzchni 3550 km² i lesistości 70,3% (Giętkowski, 2009). W porównaniu do innych dużych kompleksów leśnych na terenie Polski wyróżnia się on dość znaczną przebudową drzewostanu w kierunku monokultury sosny.

Największym udziałem lasów (72,17%) charakteryzuje się zlewnia Błędno, natomiast w pozostałych (z wyłączeniem zlewni Świecie) jest on podobny i waha się w zakresie 59,22 – 66,84%. Najniższy stopień lesistości charakteryzuje zlewnię Świecie, gdzie tereny leśne stanowią zaledwie 22,03% powierzchni. Grunty orne i tereny rolnicze zajmują łącznie powierzchnie od 18,71 do 27,3% w zlewniach Wawrzynowo, Czarna Woda, Błędno i Tleń, nieco więcej – 30,79% w zlewni Krąplewice i 66,94% w zlewni Świecie. Niewielką lesistością charakteryzuje się też zlewnia Niechwaszczy (tab. 9). Na jej terenie występuje natomiast największy odsetek (prawie 18%) łąk i pastwisk. Wartość ta trzykrotnie przewyższa średni udział łąk i pastwisk w całej zlewni Wdy i jest związana ze znacznym arealem utworów torfowych w tej zlewni. Wśród zlewni różnicowych znacznym udziałem łąk i pastwisk odznaczają się zlewnie Czarna Woda i Tleń.

W celu sprawdzenia, czy w ostatnim trzydziestoleciu XX wieku (okres szczegółowej analizy danych hydrologicznych) nastąpiły istotne zmiany w stopniu zalesienia poszczególnych fragmentów zlewni Wdy, porównano rozmieszczenie lasów na mapach topograficznych w skali 1:25 000 z lat 1976-1985 ze stanem z roku 2000, zarejestrowanym w bazie CORINE Land Cover 2000. Stwierdzono, że udział lasów w powierzchni, a także ich rozmieszczenie w zlewni, nie uległo znaczącym zmianom od lat 70. XX wieku. Nieznaczny (nieprzekraczający 1% powierzchni) wzrost lesistości zanotowano w zlewni Wawrzynowo, gdzie zalesiono niewielkie obszary położone głównie w bezpośrednim otoczeniu zbiorników wodnych.



Ryc. 11. Użytkowanie terenu w zlewni Wdy; parki krajobrazowe: K – Kaszubski PK, W – Wdzydzki PK, T – Tucholski PK, WD – Wdecki PK (zestawiono na podstawie CORINE Land Cover, 2002, uzupełnione)
Fig. 11. Land use in the Wda catchment; the landscape parks: K – Kaszubian LP, W – Wdzydze LP, T – Tuchola LP, WD – Wdecki LP (prepared on the basis of the CORINE Land Cover, 2002, supplemented)

Tab. 9. Udział procentowy poszczególnych typów użytkowania terenu w zlewni Wdy, zlewniach różnicowych oraz zlewni Niechwaszczy (obliczono na podstawie CORINE Land Cover, 2002 i MPHP, 2004)
 Tab. 9. Percentage of individual land use types in the Wda catchment, subcatchments and the Niechwaszcz catchment (calculated on the basis of the CORINE Land Cover, 2002 and the MPHP, 2004)

Zlewnia <i>Catchment</i>	Miejskie <i>Urban areas</i>	Przemysłowe <i>Industrial areas</i>	Grunty orne i tereny rolnicze <i>Arable land and rural areas</i>	Łąki i pastwiska <i>Meadows and pastures</i>	Lasy <i>Forests</i>	Zbiorniki wodne <i>Water reservoirs</i>
Wawrzynowo	0,40	1,11	27,30	4,59	62,28	4,32
Czarna Woda	0,81	0,42	25,37	9,62	59,22	4,56
Błędno	0,71	0,07	18,71	4,95	72,17	3,39
Krąplewice	0,61	0,07	30,79	4,58	62,18	1,77
Tleń	0,88	0,02	23,45	7,90	66,84	0,91
Świecie	2,05	1,46	66,94	5,32	22,03	2,20
Wda	0,84	0,51	30,70	6,13	58,68	3,14
Niechwaszcz	1,26	0,00	36,95	17,73	42,31	1,75

Analizując zmiany lesistości Borów Tucholskich od lat 30. XX wieku T. Giętkowski stwierdził, że udział lasów na tym terenie zwiększył się o 12,8% w okresie pomiędzy latami 1934-1938 a 1984-1986 i już tylko o kolejne 0,3% pomiędzy drugim z wymienionych okresów a rokiem 2000 (Giętkowski, 2009). Wprawdzie analizowany przez T. Giętkowskiego obszar nie obejmuje całej zlewni Wdy, jednak z przedstawionych w pracy map wynika, że największe zmiany lesistości miały miejsce w północnej części zlewni Wdy. Przy czym od lat 80. XX wieku zmiany te obejmowały już tylko niewielkie obszary.

Z dotychczasowych badań wynika, że wpływ lasu na wielkość odpływu nie jest jednoznaczny. Oddziaływanie lasu zmienia się w zależności od bilansu wodnego, który uwarunkowany jest wysokością opadów atmosferycznych na danym obszarze, potrzebami wodnymi zbiorowisk leśnych oraz zdolnościami retencyjnymi podłoża (Dębski, 1951). Z podanego przez tego autora (za E. Kirwaldem, 1944) podziału wody opadowej w lesie sosnowym i bukowym wynika, że przy opadach rzędu 700 mm drzewostan sosnowy powoduje straty (z koron drzew, ściółki i powierzchni ziemi oraz wskutek transpiracji) rzędu 79% sumy opadów, natomiast las bukowy 90%. Pozostała ilość wody opadowej wchodzi w skład odpływu, przy czym w lesie sosnowym z pozostałych 21%, 16% zasila wody podziemne, a 5% wody powierzchniowe; w lesie bukowym całe 10% odpływa powierzchniowo (dane przeliczono na wartości procentowe na podstawie podanych przez autora sum opadów wyrażonych w mm). Brak odpływu podziemnego w lesie bukowym wynika z innych właściwości infiltracyjnych podłoża. Inne badania dowodzą,

że obecność lasów powoduje zwiększenie odpływu w zlewniach o średniej wielkości, o powierzchni od 200 do 1000 km² i dużych, o powierzchni powyżej 2000 km² (Kucharska, Tysza, 1991). W małych zlewniach natomiast większa lesistość powoduje zmniejszenie wielkości odpływu. W przypadku północnych i południowych obrzeży Niżu dodatkowym czynnikiem różnicującym jest wystawa w stosunku do przeważającego kierunku wiatrów deszczonośnych. Z kolei badania przeprowadzone w Polsce północno-wschodniej (Byczkowski, Mandes, 1998) wykazały mały związek lesistości z odpływem, wyrażający się w słaby sposób jedynie w odniesieniu do przepływów zwyczajnych i średnich niskich. Bez wątpienia natomiast pozostaje wpływ lesistości na dynamikę odpływu. Znaczny stopień zalesienia zlewni powoduje opóźnienie i wydłużenie w czasie roztopów, zmniejsza zatem zagrożenie wystąpienia wezbrań roztopowych na rzekach (m. in. Lambor, 1965; Pleczyński, 1983; Kucharska i in., 1984; Choiński, 1988).

We wszystkich zlewniach różnicowych marginalne znaczenie mają tereny miejskie i przemysłowe, zajmujące 1-2% powierzchni. Największe miejscowości to Kościerzyna (23,8 tys. mieszkańców) i Świecie (26,5 tys. mieszkańców) (Rocznik Statystyczny 2013, woj. pomorskie i kujawsko-pomorskie). Pozostałe, to niewielkie miejscowości, o liczbie mieszkańców w granicach 2-5 tys. Średnia gęstość zaludnienia w gminach wiejskich z przewagą terenów leśnych wynosi 20-30 osób na 1 km², na terenie gmin rolniczych natomiast 20-50 osób na 1 km². Natężenie przemysłu na obszarze zlewni jest niewielkie. Największe zakłady przemysłowe to: Lubiana Zakłady Porcelany Stołowej S.A. w Łubianie, Zakłady Płyt Pilśniowych Czarna Woda S.A. w Czarnej Wodzie i Mondi Packaging Paper Świecie SA (dawniejsze Zakłady Papieru i Celulozy w Świeciu). Wszystkie powstały w latach 60. XX wieku i zlokalizowane są nad rzeką Wdą, pokrywającą część potrzeb wodnych zakładów (w różnym procencie uzupełnianych wodą z ujęć podziemnych). Największym przedwojennym zakładem na obszarze zlewni Wdy była Spółka Akcyjna Pomorska Elektrownia Krajowa „Gródek”. Podstawę funkcjonowania zakładu stanowiła produkcja energii elektrycznej w hydroelektrowniach w Gródku i Żurze, dodatkowo produkowano tu pierwsze w Polsce urządzenia gospodarstwa domowego zasilane energią elektryczną. Poza wymienionymi, na obszarze zlewni, znajduje się kilka mniejszych zakładów, są to głównie tartaki oraz zakłady przetwórstwa mięsnego i spożywczego.

Niektóre fragmenty zlewni Wdy ze względu na szczególne walory głównie środowiska wodnego oraz towarzyszących mu zespołów roślin i zwierząt objęte są ochroną w formie parków krajobrazowych. Na terenie zlewni istnieją aktualnie dwa parki krajobrazowe: Wdzydzki Park Krajobrazowy, obejmujący jezioro Wdzydze i jego zlewnię bezpośrednią oraz Wdecki Park Krajobrazowy, w którego granicach znajduje się fragment sandru z doliną Wdy, końcowy odcinek doliny Prusiny, dolina Sobiny oraz północny fragment Wysoczyzny Świeckiej (ryc. 11). W części

północno-wschodniej w granicach zlewni znajduje się mały fragment Kaszubskiego Parku Krajobrazowego, a w części środkowo-zachodniej Tucholskiego Parku Krajobrazowego.

3.2. Gospodarka wodna

Tereny, na których nastąpiła modyfikacja warunków hydrologicznych, rozmieszczone są w zlewni Wdy nierównomiernie. Powodem takiego stanu rzeczy jest zróżnicowanie środowiska naturalnego oraz umiejscowienie zlewni w strefie granicznej pomiędzy obszarami intensywniej zasiedlanymi przez człowieka. Skutkiem tego jest przestrzenne zróżnicowanie kierunków i intensywności antropopresji w czasach historycznych oraz współczesnych. Część środkowa zlewni, położona w strefie piaszczystych, nieurodzajnych sandrów, znajdowała się długo na granicy intensywniej zasiedlanych terenów Wybrzeża Bałtyku i Wielkopolski. Części północna oraz południowa, zlokalizowane bliżej centrów osadniczych i wykazujące dogodniejsze warunki dla osadnictwa, zostały zagospodarowane przez człowieka wcześniej i w większym stopniu. Rys osadnictwa, wynikający z położenia geopolitycznego, przetrwał do czasów współczesnych, a graniczny charakter centralnej części zlewni odzwierciedlony jest zarówno w strukturze użytkowania, małej gęstości zaludnienia, jak też braku większych ośrodków miejskich.

Do najważniejszych działań związanych z gospodarowaniem wodą na terenie zlewni Wdy zaliczyć można: regulacje cieków, melioracje, retencję i pobór wód oraz przerzuty wody.

Z badań dotyczących wpływu melioracji na stosunki wodne wynika, że mogą one powodować przekształcenie reżimu oraz wielkości odpływu rzecznego, a także zmiany położenia zwierciadła wód gruntowych, a w konsekwencji wtórne przekształcenia sieci hydrograficznej (m. in. Babiński, 1973; Bajkiewicz-Grabowska, 1975; Churski, 1988; Głazik, 1988; Rotnicka, 1988; Byczkowski, Kiciński, 1991; Nowicki, Cymes, 2000; Mioduszewski, 1989).

Prace melioracyjne przeprowadzone na terenie zlewni Wdy, podobnie jak większość takich działań w Polsce, służyły przede wszystkim odprowadzeniu nadmiaru wody z terenów o znacznych potencjalnych walorach dla działalności rolniczej. Czasami obejmowały też budowę urządzeń umożliwiających zatrzymanie wody oraz przerzucanie jej na obszary, na których okresowo odczuwano jej niedobory.

Większość prac melioracyjnych w zlewni Wdy przeprowadzono do lat 40. XX wieku (tab. 10). Melioracje w czasie zaborów oraz początku II Rzeczypospolitej objęły około 18 tys. ha, co stanowi prawie 7,9% całkowitej powierzchni zlewni Wdy. W kolejnych analizowanych przedziałach czasowych, czyli do końca lat 70. oraz do końca lat 90. XX wieku zanotowano 2% przyrost powierzchni poddanych melioracji, przy czym na każdy z tych okresów przypadł wzrost o 1%. Jak widać więc, około

3. Użytkowanie terenu i gospodarka wodna

80% wszystkich prac melioracyjnych w zlewni Wdy zostało wykonanych do lat 40. XX wieku. Istotne jest także, że największe nasilenie prac związanych z budową sieci rowów szczegółowych nastąpiło do końca drugiego analizowanego okresu, czyli do końca lat 70. Pozwala to stwierdzić, że w przedziale czasowym, rozpatrywanym w dalszej części pracy (lata 1974-2003), zarówno zasięg przestrzenny, jak też intensywność melioracji w zlewni Wdy nie uległa znaczącym zmianom.

Tab. 10. Udział procentowy obszarów zmeliorowanych w zlewni Wdy, zlewniach różnicowych i zlewni Niechwaszczy w ujęciu historycznym: I – do roku 1940, II – do roku 1979, III – do roku 2000 (obliczono na podstawie: I – map topograficznych pruskich w skali 1:25 000; II – map topograficznych polskich w skali 1:25 000; III – MPHP, 2004)

Tab. 10. Percentage of drained areas² in the Wda catchment, subcatchments and the Niechwaszcz catchment against the historical background: I – by 1940, II – by 1979, III – by the year 2000 (estimated with the use of: I – Prussian topographic maps at a scale of 1:25 000, II – Polish topographic maps at a scale of 1:25 000; III – MPHP, 2004)

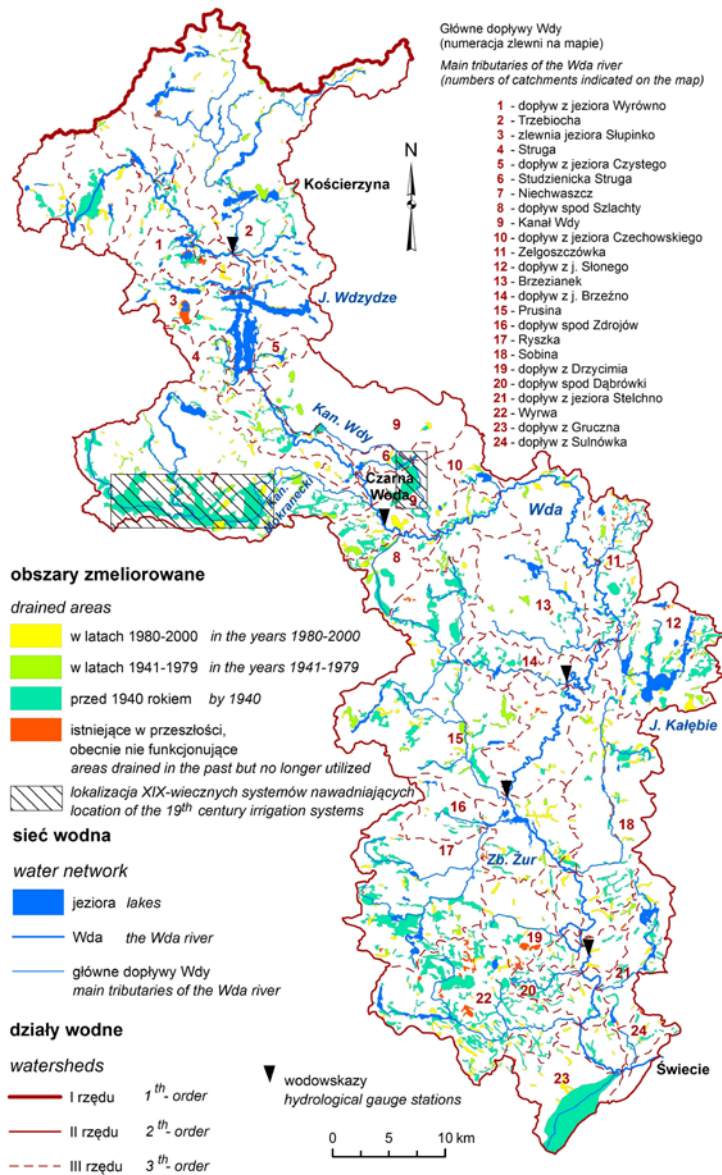
Zlewnia	I			II			III		
Catchment	p	s	Suma Total	p	s	Suma Total	p	s	Suma Total
Wawrzynowo	1,8	2,0	3,8	1,5	2,6	4,1	3,0	2,4	5,4
Czarna Woda	8,0	1,6	9,6	1,8	8,9	10,7	3,3	8,2	11,5
Błędno	3,5	2,1	5,6	3,1	4,0	7,1	5,1	3,1	8,2
Kraplewice	4,9	1,1	6,0	3,1	3,6	6,7	5,6	2,6	8,2
Tleń	5,6	4,3	9,9	3,0	8,0	11,0	4,6	7,1	11,7
Świecie	7,0	9,1	16,1	6,0	10,1	16,1	8,8	8,7	17,5
Wda	5,1	2,8	7,9	2,9	5,9	8,8	4,9	5,0	9,9
Niechwaszcz	15,7	0,5	16,2	1,4	16,3	17,7	4,4	15,1	19,5

p – melioracje podstawowe, s – melioracje szczegółowe

p – areas with main ditches only, s – areas with main ditches and ditches of lower order

Na podstawie analizy map z poszczególnych okresów stwierdzono, że na wysoczyznach regulacja stosunków wodnych przeprowadzona została głównie w obrębie rozległych zagłębień jeziornych oraz śródmorenowych zagłębień bezodpływowych (ryc. 12). Na terenie sandru prace objęły przede wszystkim dna rynien polodowcowych oraz zagłębień wytopiskowych, a także późnoglacialne poziomy rzeczne. Zaznaczyć należy, że z powodu niedostatku urodzajnych gleb, w obrębie terenów sandrowych odwadniano często zagłębienia o niewielkich powierzchniach, zwłaszcza jeśli występowały w większych skupiskach. Często wiązało się to z włączeniem zagłębień bezodpływowych do sieci odpływu powierzchniowego.

² All presented areas feature systems of ditches, majority of which is used exclusively for drainage. Location of the 19th century irrigation systems are indicated in Fig. 12.



Ryc. 12. Rozmieszczenie obszarów zmeliorowanych w zlewni Wdy w ujęciu historycznym (opracowano na podstawie: map topograficznych pruskich w skali 1:25 000; map topograficznych polskich w skali 1:25 000; MPHP, 2004)

Fig. 12. Distribution of the drained areas in the Wda catchment against the historical background (prepared on the basis of Prussian topographic maps at a scale of 1:25 000, Polish topographic maps at a scale of 1:25 000; MPHP, 2004)

Niewielki udział w obrębie meliorowanych terenów miały powierzchnie teras holocénskich. Większość odcinków, w których dna dolin rzecznych osiągają znaczną szerokość, to włączone do odpływu zagłębienia genezy glacialnej, które, ze względu na dogodne warunki do wykorzystania rolniczego, były stosunkowo wcześniej poddawane pracom melioracyjnym. W trakcie badań stwierdzono, że na terenie sandru Wdy działalność rolnicza została na wielu obszarach pod koniec XX wieku ograniczona. Przyczyną takiego stanu rzeczy były niewątpliwie generalnie niekorzystne warunki do rozwoju rolnictwa w sandrowej części zlewni, a także znaczna odległość do większych ośrodków miejskich. W wielu enklawach śródlęśnych w XIX i pierwszej połowie XX wieku rolnictwo było jedynie zajęciem uzupełniającym (główne związane były z gospodarką leśną), nastawionym na zaspokojenie własnych potrzeb i w związku z tym z natury rzeczy ekstensywnym.

Po zmianach gospodarczych, jakie zaszły pod koniec XX wieku ludność, która nie miała tradycji rolniczych, a jednocześnie utraciła pomoc polegającą na utrzymywaniu i konserwacji urządzeń melioracyjnych, zaniechała użytkowania wielu łąk śródlęśnych. W miejscach, w których zaprzestano użytkować łąki, zachodzą procesy prowadzące do powrotu warunków hydrologicznych do zbliżonych sprzed okresu odwodnienia. Czynnikiem przyspieszającym ten proces jest tamowanie odpływu wskutek budowania tam i żeremi przez bobry. Niekontrolowany wzrost populacji bobra związany jest z reintrodukcją przeprowadzoną w zlewni Wdy pod koniec lat 70. XX wieku (Aszyk, Kistowski, 2002). Działalność bobrów nie tylko zmienia warunki hydrologiczne, ale także przyczynia się do akumulacji osadów w tworzonych przez nie zbiornikach (Rurek, 2013). Nieco inaczej przedstawia się obraz zmeliorowanych obszarów położonych na lub w otoczeniu wysp morenowych, w północnej i środkowej części zlewni Wdy oraz na Wysoczyźnie Świeckiej. Tutaj nadal użytkowane są znaczne powierzchnie gruntów ornych oraz łąk i pastwisk. Ma to związek – po pierwsze – z dogodniejszymi warunkami naturalnymi, a po drugie – z wyższą kulturą rolniczą mieszkańców, dla których rolnictwo było od pokoleń podstawowym zajęciem.

Rozpatrując udział terenów zmeliorowanych w powierzchni zlewni różnicowych, zauważa się, że zdecydowanie największy areał, bo aż 17,5%, zajmują one w zlewni Świecie (tab. 10). W przypadku pięciu zlewni, które analizowane będą w dalszej części pracy, zasięg melioracji jest mniejszy. Tereny zmeliorowane zajmują aktualnie od 5,4% w zlewni Wawrzynowo do 11,7% w zlewni Tleń. Znacznym ich udziałem odznacza się też zlewnia Czarna Woda, gdzie na podwyższenie areału wpływa wysoki odsetek obszarów poddanych melioracjom w zlewni Niechwaszczy. W zlewniach Tleń i Świecie wcześniej niż na pozostałym obszarze przeprowadzono melioracje szczegółowe, które już do lat 40. XX wieku stanowiły około połowę, podczas gdy w pozostałych zlewniach zaledwie jedną piątą część wszystkich terenów zmeliorowanych (tab. 10).

Kolejnym elementem modyfikującym warunki hydrologiczne jest pobór wód na różne cele. W zlewni Wdy eksploatowane są wody podziemne, głównie dla zaspokojenia potrzeb bytowych mieszkańców oraz nielicznych zakładów przemysłowych,

a także wody powierzchniowe przede wszystkim na cele hydroenergetyczne, nawodnień rolniczych oraz hodowli ryb (ryc. 13).

Do elementów wyróżniających zlewnię Wdy zaliczyć należy niewątpliwie obecność XIX-wiecznych systemów nawadniających, w których skład wchodzi m. in. kanały nawadniające: Kanał Wdy (Czarnowodzki) o długości 23,3 km i Kanał Mokranecki (ryc. 12). Pozwalają one na doprowadzenie wody na tereny piaszczyste, charakteryzujące się niewielkimi naturalnymi zdolnościami retencji wody. W związku z tym, że systemy te znacząco wpłynęły na zmiany stosunków wodnych, ich funkcjonowanie w ujęciu historycznym omówiono szerzej w podrozdziale 3.3.1.

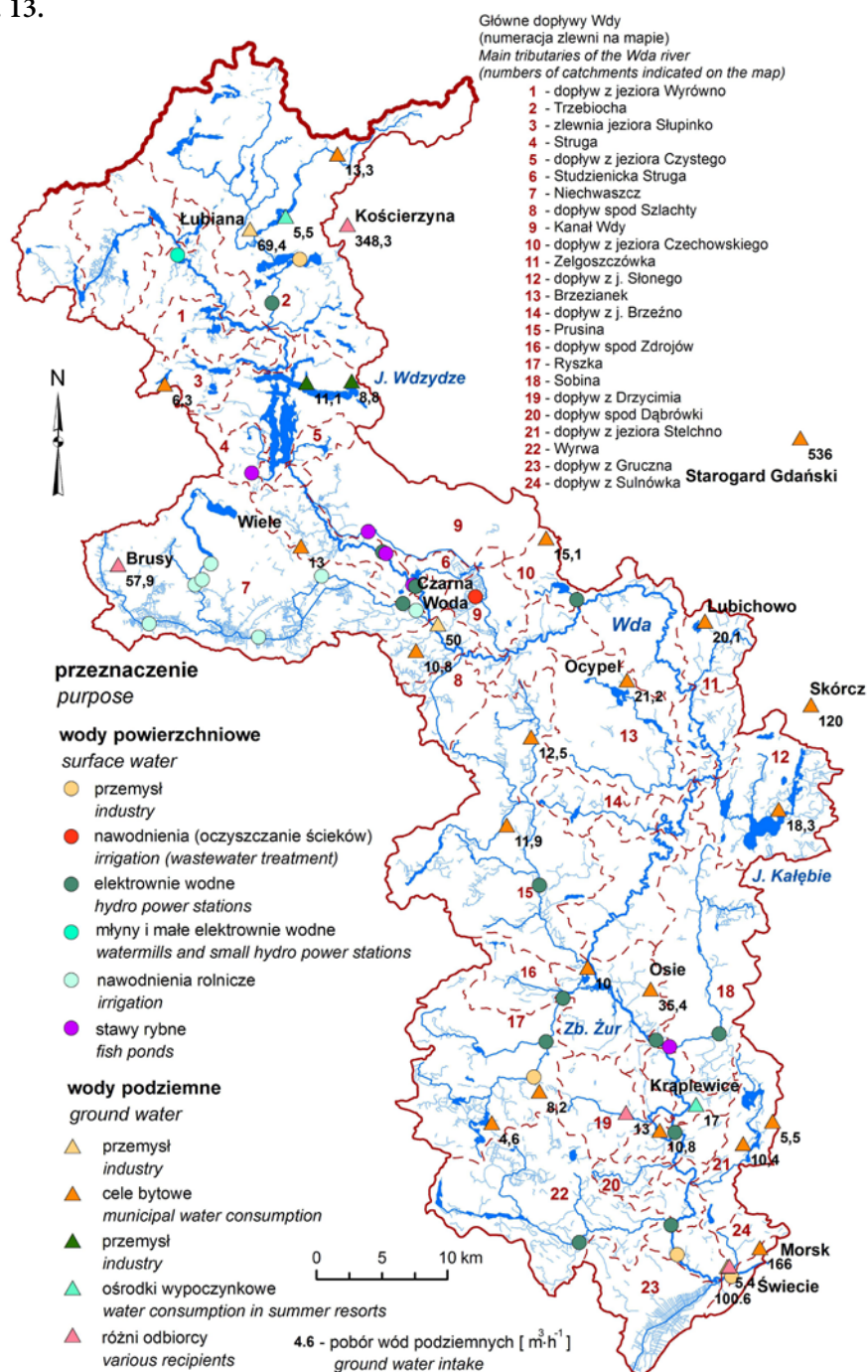
Pobór wód na cele hydroenergetyczne związany jest ze stopniami wodnymi na rzece Wdzie i jej dopływach. Z istniejących na przełomie XIX i XX wieku 28 piętrzeń młyńskich, obecnie funkcjonuje 13 stopni, przy czym tylko jeden z nich pełni funkcję młyna wodnego, a pozostałe pracują jako małe elektrownie wodne. Większość z nich umiejscowionych jest w dolinie Wdy, a jedynie w zlewniach Tleń, Krąplewice i Świecie pojedyncze stopnie zlokalizowane są na mniejszych ciekach. W latach 20. XX wieku wybudowano dwa duże stopnie piętrzące w dolnym odcinku doliny Wdy, w miejscowościach Żur i Gródek.

Na podstawie wpisów w księgach wodnych byłych województw gdańskiego i bydgoskiego można stwierdzić, że w latach 70. XX wieku zaniechano użytkowania wielu stopni wodnych, natomiast od lat 90. rozpoczął się powrót do hydroenergetycznego użytkowania wód. Zmieniła się jednak funkcja stopni piętrzących, które odtwarzane są w celach produkcji energii elektrycznej. W ostatnich latach, w związku z rozwojem turystyki, powstały też na kilku odcinkach dolin rzecznych stawy rybne, wyspecjalizowane w produkcji ryb łososiowatych (głównie pstrąga). Stawy takie tworzone są najczęściej przy stopniach piętrzących, samodzielnie lub wraz z elektrowniami wodnymi (na przykład Wojtał, Wieck). Użytkowanie spiętrzonych wód do zaspokojenia potrzeb stawów rybnych zachodzi w innym rytmie rocznym niż w przypadku piętrzeń wykorzystywanych do celów hydroenergetycznych. Maksymalne zapotrzebowanie na wodę notowane jest w okresie letnim, natomiast zimą spada ono praktycznie do zera. Znaczne potrzeby wodne stawów pstrągowych w okresie letnim (zwłaszcza w czasie wysokich temperatur powietrza) powodują nieprawidłowości w użytkowaniu stopni piętrzących, polegające na nadmiernym piętrzeniu zbiorników (Szumińska, Habel, 2005).

Pobór wód podziemnych w zlewni Wdy jest ściśle związany z rozmieszczeniem większych miejscowości (ryc. 13). W opracowaniu wykonanym w celu zweryfikowania zasobów wód podziemnych (Frączak, Kobyliński, 1991) przeprowadzono badania modelowe dla części zlewni Wdy w granicach byłego województwa gdańskiego, dla dwóch czwartorzędowych poziomów wodonośnych. Obydwa poziomy wykształcone są w utworach sandrowych, izolowanych (pierwszy – częściowo, drugi – całkowicie) przez utwory o słabszych warunkach infiltracyjnych. Na obszarze zlewni czerpane są głównie wody pierwszego poziomu (60% całego

3. Użytkowanie terenu i gospodarka wodna

Ryc. 13.



poboru), a intensywna eksploatacja ujęć jest przyczyną występowania lokalnych depresji o głębokości 1-2 m (Frączak, Kobyliński, 1991). Depresja o zasięgu regionalnym związana jest z ujęciami I poziomu w Kościerzynie. Zwierciadło tego poziomu obniżyło się o 3 metry w promieniu 5-10 km od miasta i o 1 metr na znacznym obszarze: od granic zlewni Wdy na północy, do jeziora Wdzydze na południu. Według zestawienia podanego w cytowanym opracowaniu łączny pobór wód w Kościerzynie wyniósł w 1990 roku $348,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, przy czym $225 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pochodziło z głównego ujęcia miejskiego. Poza Kościerzyną, największe ujęcie miejskie, o stałym poborze wody $166 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, znajduje się w miejscowości Morsk, położonej na Wysoczyźnie Świeckiej (Zambrzycka, 2002). Zaspokaja ono część zapotrzebowania na wodę miasta Świecie. W samym Świeciu pobór wód na różne cele (kilka ujęć) wynosi łącznie $100,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Większe ujęcia wód podziemnych znajdują się też w Łubianie $69,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (na potrzeby Zakładów Porcelany Stołowej Lubiana oraz osiedla pracowniczego) i Brusach $57,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (ujęcie miejskie i kilka ujęć na potrzeby zakładów produkcyjnych), a także w miejscowościach Osie, Krąplewice, Czarna Woda, Ocypel i Lubichowo (ujęcia powyżej $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Są one przyczyną powstania lokalnych depresji pierwszego poziomu o głębokości 1-2 m. Pomimo mniejszej ilości pobieranej wody, lokalne głębsze depresje (4 m) występują w rejonie miejscowości Wiele i Kaliska (Frączak, Kobyliński, 1991). Pobór wód w pozostałych ujęciach na obszarze zlewni mieści się w zakresie $2-10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Wpływ poboru wód poza granicami zlewni Wdy zaznacza się w jej północno-wschodniej części, gdzie obydwa poziomy wykazują na modelach 1-metrowe obniżenie spowodowane znaczną ilością wody pobieranej w Skórczu i Starogardzie Gdańskim (Frączak, Kobyliński, 1991).

Podsumowując można stwierdzić, że większość ujęć wód podziemnych powstała od drugiej połowy lat 60. do końca lat 80. XX wieku, a biorąc pod uwagę przeznaczenie pobieranej wody, przeważają cele bytowe (ujęcia miejskie, gminne i wiejskie), stanowiące około 80% całego poboru (Frączak, Kobyliński, 1991; księgi wodne byłych województw gdańskiego i bydgoskiego, RZGW w Gdańsku).

Opis do ryc. 13 (s. 60)

Ryc. 13. Pobór wód powierzchniowych i podziemnych w zlewni Wdy. Zaznaczono ujęcia wód podziemnych o poborze wody większym niż $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. W przypadku kilku ujęć w jednej miejscowości podano sumaryczną wartość poboru wody (opracowano na podstawie: Frączak, Kobyliński, 1991; Sadurski i in., 1994; Kreczko, 2000; Muter, 2002; Prussak, 2002; Zambrzycka, 2002 oraz danych z Ksiąg wodnych byłych woj. gdańskiego i bydgoskiego, RZGW w Gdańsku)

Fig. 13. Surface water and ground water intake stations in the Wda catchment. The intake stations larger than $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ are indicated on the map. If there are several water intakes located in one town, the total volume of consumption is given (prepared on the basis of: Frączak, Kobyliński, 1991; Sadurski et al., 1994; Kreczko, 2000; Muter, 2002; Prussak, 2002; Zambrzycka, 2002 and the data of RZGW in Gdańsk – Water books of the former Gdańsk and Bydgoszcz voivodeships)

3.3. Zmiany użytkowania wód powierzchniowych w wybranych fragmentach zlewni Wdy od XIX do początków XXI wieku

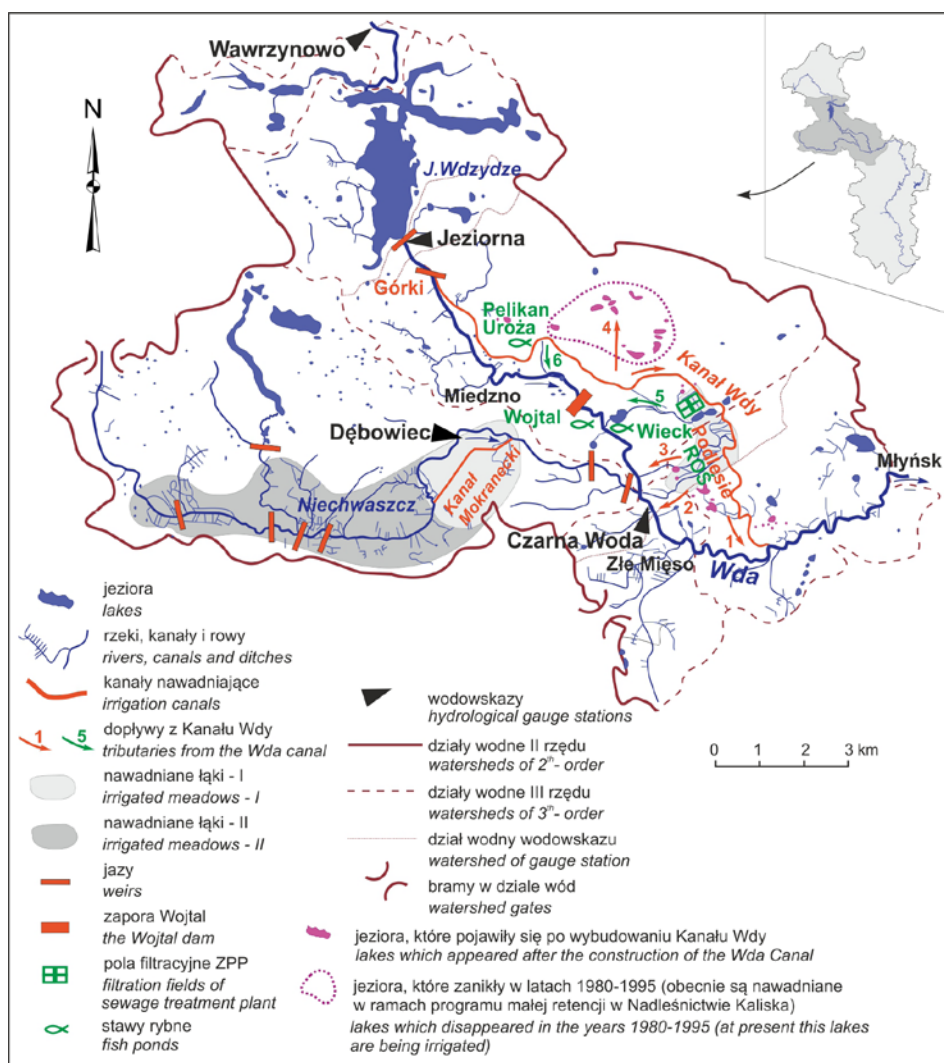
3.3.1. Zlewnia Wdy od jeziora Wdzydze do Czarnej Wody

Analizowany obszar zamknięty jest wodowskazami Wawrzynowo i Czarna Woda. Do głównych naturalnych obiektów hydrograficznych w tym rejonie należą jezioro Wdzydze, przepływająca przez nie rzeka Wda oraz jej prawobrzeżny dopływ – Niechwaszcz (ryc. 14). W czasach historycznych znajdowało się tu znacznie więcej terenów bezleśnych niż obecnie. Na sandrze, w okolicach jeziora Wdzydze oraz na południowy wschód od niego, występowały do końca XIX wieku tereny znaczone na mapach jako „heide und ödland” (mapa topograficzna pruska, arkusz Viele, 1874), na których prowadzono ekstensywny wypas owiec. W celu poprawienia warunków wilgotnościowych w obrębie piaszczystej powierzchni sandrowej król Prus Wilhelm IV ufundował kanały nawadniające: Kanał Wdy, wybudowany w latach 1841-1843 (Zabory, 1938) oraz Kanał Mokranecki w latach 1846-1849 (Sabiniarz, 2006). Kilka lat później zakończono urządzenie nawadnianych łąk, nazwanych Łąkami Czerskimi lub Królewskimi (niem. Königswiese).

System hydrotechniczny Kanału Wdy

Najważniejszymi elementami systemu hydrotechnicznego utworzonego w XIX wieku w środkowej części zlewni Wdy są: jezioro Wdzydze o powierzchni 14,6 km² – wykorzystane jako zbiornik retencyjny, Kanał Wdy o długości 23,3 km – doprowadzający wodę do nawadnianych łąk oraz rzeka Wda – stanowiąca główne źródło zasilania oraz odbiornik wykorzystanej wody (ryc. 14).

Czynniki, które umożliwiły wykorzystanie jeziora Wdzydze do retencji wody to przede wszystkim jego znaczne rozmiary (wielkość i głębokość) oraz położenie w zlewni. Początkowo było wykorzystywane jako zbiornik naturalny, lecz pod koniec XIX wieku zostało spiętrzone jazem w Jeziornej o 0,6 m, co pozwoliło na zwiększenie objętości gromadzonej wody. W związku z ciągle wzrastającym zapotrzebowaniem na wodę, początkowa wysokość piętrzenia – 0,6 m, została zwiększona w krótkim czasie do 2,2 m. Warstwę użytkową ponownie zmieniono w drugiej połowie XX wieku. Przy podobnej jak w okresie wcześniejszym wysokości piętrzenia, zmniejszono strefę wahań rocznych do 0,6 m. Ograniczenie warstwy użytkowej związane było ze spadkiem zapotrzebowania na wodę oraz koniecznością ustabilizowania linii brzowej jeziora Wdzydze (Wołoszyn, 1993).



Ryc. 14. Systemy hydrotechniczne środkowej części zlewni Wdy oraz zlewni Niechwaszcz. Nawadnianie łąk: I – od połowy XIX wieku, II – od końca XIX wieku. Kolorem pomarańczowym zaznaczono obiekty hydrotechniczne powstałe do pierwszej połowy XX wieku, natomiast kolorem zielonym te, które wybudowano później; analogicznie oznaczono kierunki przepływu wód w kanałach; pozostałe objaśnienia w tekście (opracowanie własne)

Fig. 14. Hydrotechnical infrastructure in the central part of the Wda catchment and in the Niechwaszcz catchment. Meadow irrigation: I – from the half of the 19th century, II – from the end of the 19th century. Hydrotechnical structures built by the first half of the 20th century are marked in orange and those built later – in green; the directions of water flow in canals are marked in corresponding colours (author's own study)

3. Użytkowanie terenu i gospodarka wodna

W pierwszym okresie (do wybudowania jazu) warstwa użytkowa nie przekraczała prawdopodobnie 0,3 m, takie bowiem amplitudy roczne stanów wód wykazuje rzeka Wda w górnej części zlewni. Można zatem przypuszczać, że wahania poziomu jeziora nie były większe. Warstwa ta pozwalała retencjonować 4,36 mln m³ wody. W drugim okresie (od końca XIX wieku do lat 60. XX wieku), przy warstwie użytkowej 1,5 m, retencja wynosiła 21,82 mln m³, natomiast później, przy warstwie 0,6 m, objętość retencjonowanej wody zmalała do 8,73 mln m³. Zmniejszenie warstwy użytkowej jeziora od lat 60. XX wieku nastąpiło głównie poprzez podniesienie stanów minimalnych i ustabilizowanie stanów średnich, nieznacznie obniżono też stany maksymalne (ryc. 15). Obecny poziom jeziora jest więc nadal wyższy od naturalnego (sprzed spiętrzenia) o około 2 m.

Tab. 11. Udział wód retencjonowanych w jeziorze Wdzydze w odpływie z górnej części zlewni Wdy (do wodowskazu Jeziorna) w wieloleciu 1974-2003, przy uwzględnieniu różnej wysokości warstwy użytkowej (obliczono na podstawie danych IMGW dla stacji Wawrzynowo i Czarna Woda według wzoru M. Ozgi-Zielińskiej i J. Brzezińskiego, 1997, s. 171)

Tab. 11. The percentage of retained waters in the Wdzydze lake in the runoff from the upper part of the Wda catchment (down to the Jeziorna gauge station) in the period from 1974 to 2003, taking into account different elevations of the usable layer of the reservoir (calculated on the basis of the data from IMGW regarding the Wawrzynowo and Czarna Woda gauge stations, following the formula of M. Ozgi-Zielińska and J. Brzeziński, 1997, pp. 171)

Warstwa użytkowa <i>Usable layer</i>	0,3 m		1,5 m		0,6 m	
Udział retencjonowanej wody w odpływie <i>Percentage share of retained water in the runoff</i>	Rocznym <i>Annual</i>	Z miesięcy XI-III <i>In the months Nov-Mar</i>	Rocznym <i>Annual</i>	Z miesięcy XI-III <i>In the months Nov-Mar</i>	Rocznym <i>Annual</i>	Z miesięcy XI-III <i>In the months Nov-Mar</i>
Vmaks.	2,7%	5,4%	13,7%	27,0%	5,5%	10,8%
Vśr.	3,7%	8,0%	18,5%	40,0%	7,4%	16,0%
Vmin.	4,8%	11,0%	24,1%	55,1%	9,6%	22,0%

Vśr. – odpływ średni roczny i średni z miesięcy XI-III

Vmaks. – najwyższy w wieloleciu odpływ roczny i z miesięcy XI-III

Vmin. – najniższy w wieloleciu odpływ roczny i z miesięcy XI-III

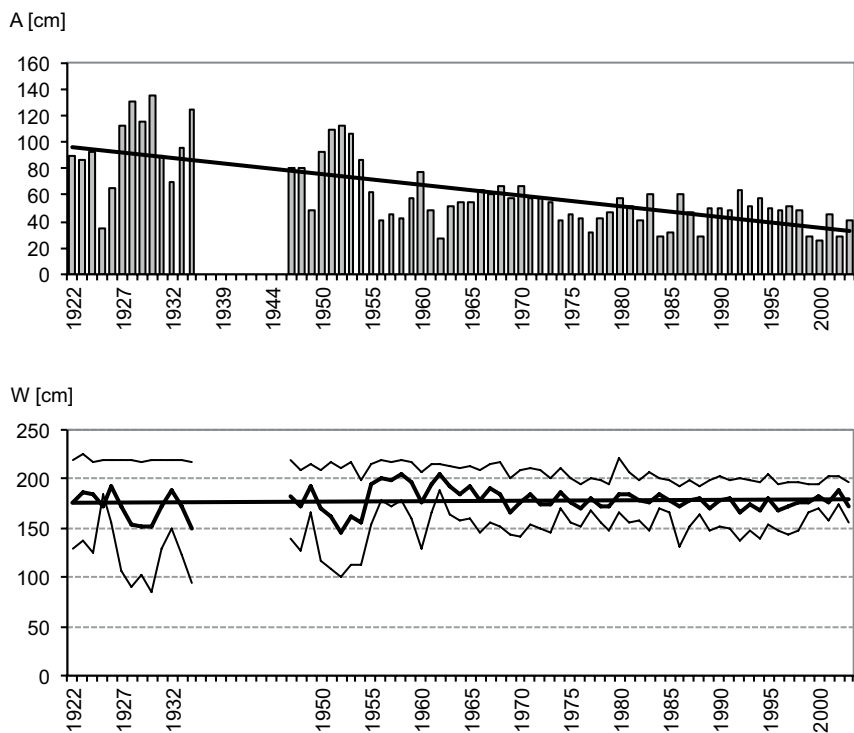
Vśr. – mean annual runoff and mean runoff in the months Nov-Mar

Vmaks. – the highest annual runoff in the years 1974-2003 and in the months Nov-Mar

Vmin. – the lowest annual runoff in the years 1974-2003 and in the months Nov-Mar

Na podstawie wartości średniego odpływu ze zlewni Wdy na wypływie z jeziora Wdzydze (profil Jeziorna) obliczono, jaka część odpływającej wody była zatrzymywana w jeziorze przy różnej wysokości warstwy użytkowej (tab. 11). Wielkość reten-

cji obliczono w stosunku do odpływu rocznego oraz odpływu z okresu listopad-marzec, w którym zatrzymywano wodę w jeziorze Wdzydze. Przy największej warstwie użytkowej (w okresie od końca XIX wieku do lat 60. XX wieku) można było zatrzymać w jeziorze średnio 27% całkowitego odpływu Wdy z pięciu miesięcy zimowych (w kwietniu rozpoczynano nawodnienia). Dla roku suchego wartość ta przekraczała 50% odpływającej w tym czasie wody. W okresie późniejszym, przy warstwie użytkowej 0,6 m, możliwości retencyjne były nieco mniejsze, ale i tak osiągały ponad 20% odpływu z miesięcy zimowych w roku suchym. Retencjonowana woda była włączana do obiegu w sezonie wegetacyjnym, poprzez nawadnianie łąk. Można przypuszczać, że wyłączenie jej chwilowo z odpływu (w chłodnej porze roku), a następnie dostarczanie na łąki (w porze ciepłej), musiało spowodować zwiększenie strat z powodu parowania i ewapotranspiracji.



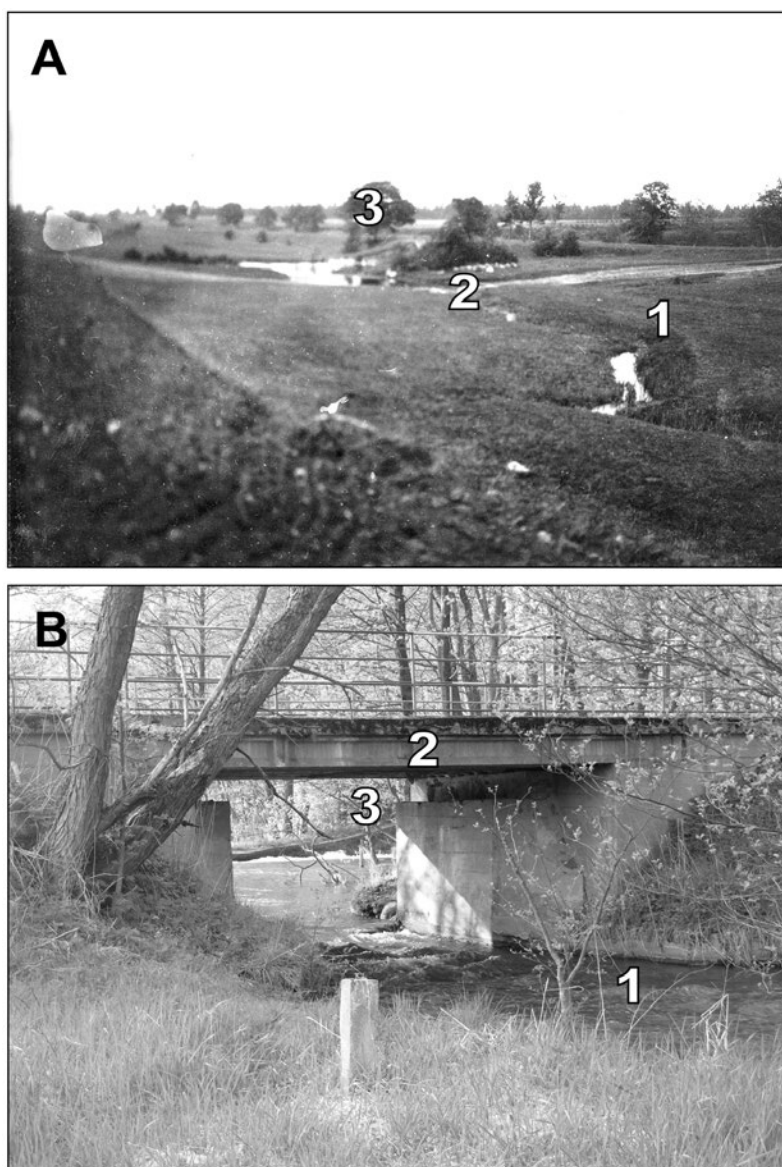
Ryc. 15. Średnie, maksymalne i minimalne stany wody jeziora Wdzydze (h) oraz roczne amplitudy stanów wód (A) na posterunku Jeziorna w okresie 1922–2003 (obliczono na podstawie roczników PIHM z lat 1922–1934 i IMGW z lat 1946–2003)

Fig. 15. Mean, maximum and minimum water levels of the Wdzydze lake (h) and annual amplitude of water levels (A) at the Jeziorna gauge station in the years 1922–2003 (calculated on the basis of the PIHM yearbooks from the years 1922–1934 and IMGW data from 1946–2003)

Poniżej wypływu z jeziora Wdzydze, w miejscowości Górki, rzeka została rozdzielona na właściwe koryto i Kanał Wdy za pomocą upustu wałowego. Różnica poziomów wody obydwu cieków wynosi w tym miejscu prawie 3 m, a dalej, w miarę oddalania się kanału od Wdy, wzrasta do 15 m. Przez pierwsze około 13 km (do miejscowości Wojtal) kanał biegnie w odległości od rzeki nieprzekraczającej 1 km, miejscami dystans ten wynosi jedynie 100-300 m, a różnica w położeniu zwierciadła wody osiąga na tym odcinku aż 7 m. Osiem kilometrów poniżej upustu rzeka przyjmuje lewobrzeżny dopływ ze stawów rybnych Uroża, zasilanych wodą z Kanału Wdy (ryc. 14, nr 6). Po kolejnych 3 km jest spiętrzona zaporą ziemną w Wojtalu. Poniżej przyjmuje jeszcze lewobrzeżny dopływ Studzienicką Strugę oraz prawobrzeżnie rzekę Niechwaszcz. Część wody prowadzona przez pierwszy z cieków pochodzi z Kanału Wdy (ryc. 14, nr 5). Kolejne dopływy z kanału znajdują się w miejscowości Czarna Woda (nr 2 i 3) oraz około 7 km poniżej tej miejscowości – w Zimnych Zdrojach (nr 1).

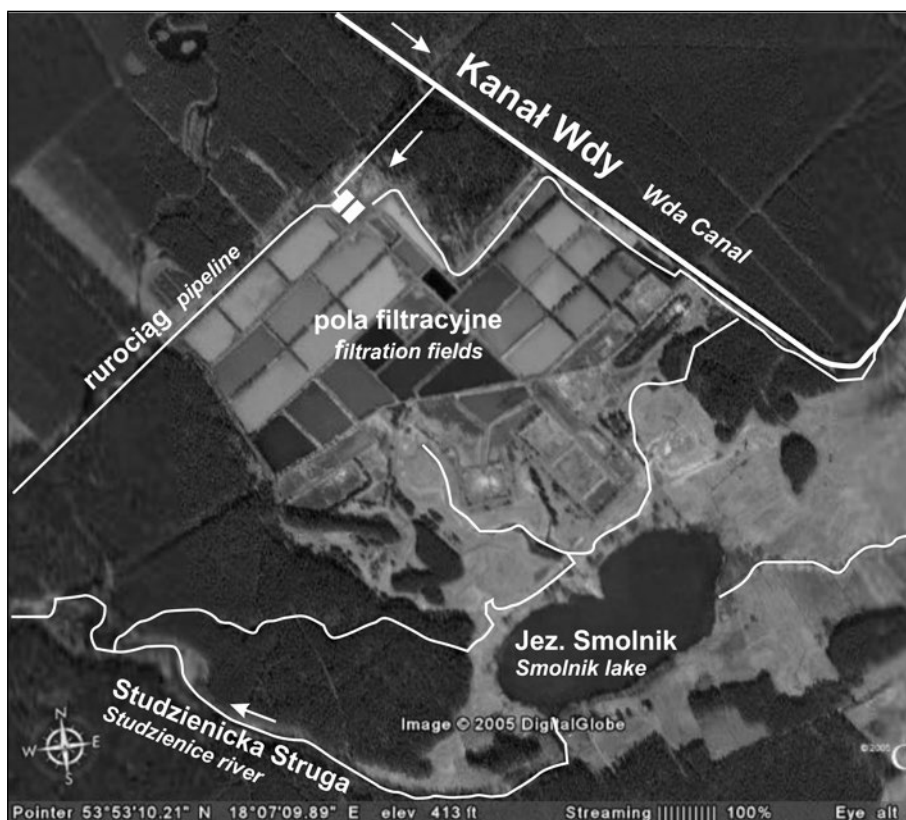
W trakcie ponad 150-letniego okresu użytkowania systemu hydrotechnicznego środkowej Wdy nastąpiły istotne zmiany w sposobie rozrządu wody z Kanału Wdy. Można tu wyróżnić trzy przedziały czasowe: od powstania kanału do lat 60. XX wieku, od lat 60. do lat 90. XX wieku i trzeci, najkrótszy, przypadający na ostatnią dekadę XX i początek XXI wieku.

W pierwszym, najdłuższym, bo trwającym ponad 100 lat okresie, woda prowadzana kanałem służyła wyłącznie celom rolniczym. Najbardziej intensywne użytkowanie łąk przypadło na koniec XIX i pierwszą połowę XX wieku. Wtedy spiętrzone jezioro Wdzydze i zwiększono jego warstwę użytkową. W okresie tym nawadniane były nie tylko łąki kompleksu Podlesie, ale także obecnie zalesione tereny położone na północ od Kanału Wdy (ryc. 14). Znaleźć tu można obecnie suche rowy, przebiegające przez tereny leśne. Na lewym brzegu Kanału Wdy występują natomiast dawne, zasypane już pozostałości upustów (Frydel, 2004). Po drugiej wojnie światowej łąki były wykorzystywane mniej intensywnie (ograniczenie warstwy użytkowej do 0,6 m) (ryc. 15). W tym czasie głównym odbiorcą wody z kanału był kompleks łąk Podlesie. Z opisu zawartego w przedwojennym przewodniku dla kajakarzy (Podhorska-Okołów, 1924) wynika jednak, że Wda była na odcinku od jazu w Górkach tak małym ciekim, że szlak kajakowy przebiegał wyłącznie kanałem, a dopiero za miejscowością Miedzno możliwe było przeniesienie kajaków na Wdę. O prawie całkowitym zaniku przepływu Wdy w tym okresie świadczy wygląd jej koryta udokumentowany na fotografiach wykonanych przez inż. Alfonsa Hoffmana (ryc. 16). Podobny stan funkcjonował jeszcze na pewno w latach 50. XX wieku, ponieważ Z. Churski (1961), który prowadził w tym czasie badania jeziora Wdzydze pisał, że do kanału kierowana jest całość wód, a dawne koryto Wdy poniżej jazu w Górkach do Czarnej Wody zupełnie zanikło.



Ryc. 16. Zmiany w obrębie koryta Wdy poniżej jazu w miejscowości Górki: A – 1930 rok (fot. A. Hoffman, Archiwum Państwowe w Bydgoszczy), B – 2006 rok (fot. autorka); 1 – koryto Wdy; 2 – droga Górki-Konarzyny; 3 – upust wałowy

Fig. 16. Changes within the Wda channel downstream of the weir in the town of Górki: A – 1930 (photo – A. Hoffman, State Archive in Bydgoszcz), B – 2006 (photograph by the author); 1 – the Wda channel; 2 – Górki-Konarzyny road; 3 – weir



Ryc. 17. Pola filtracyjne oczyszczalni ścieków Zakładów Płyt Pilśniowych Czarna Woda, 2005 rok (źródło: Google Earth, uzupełnione)

Fig. 17. Filtration fields of the sewage treatment plant at Zakłady Płyt Pilśniowych Czarna Woda, 2005 (source: Google Earth, supplemented)

Od lat 60. XX wieku głównym użytkownikiem systemu hydrotechnicznego były Zakłady Produkcji Płyt Pilśniowych Czarna Woda. Zakład powstał w 1948 roku, na lewym brzegu Wdy, we wsi Czarna Woda (Musielak, Zatorska, 1972). W roku 1969, ze względu na dużą presję zakładu na środowisko (silne zanieczyszczenie wód Wdy), na obszarze łąk Podlesie utworzono rolniczą oczyszczalnię ścieków (ROŚ) (ryc. 14 i 17), a powierzchnię nawadnianych łąk ograniczono z pierwotnych 506 ha do 396 ha. W założeniach funkcjonowanie oczyszczalni oparte było na dwóch cyklach: zimowym i letnim. Pierwszy polegał na oczyszczaniu ścieków poprzez przesiąkanie przez złożę piaskowe na poletkach filtracyjnych, a drugi na biologicznej neutralizacji związków organicznych na łąkach, nawadnianych rozcieńczonymi wodą ściekami. W obydwu cyklach użytkowana była woda z Kanału Wdy (Machnikowski

i in., 1991). Woda z pól filtracyjnych i nawadnianych łąk częściowo zasilala wody podziemne, a częściowo odprowadzana była rowami do rzeki Wdy. Odpływ gruntowy, wynikający z budowy geologicznej, odbywał się w dwóch kierunkach – w stronę Studzienickiej Strugi i jeziora Smolnik oraz w kierunku południowo-wschodnim, do Wdy (Machnikowski i in., 1991). Zmiany w obiegu wody, w stosunku do okresu poprzedzającego użytkowanie łąk przez ZPP, polegały na zmniejszeniu zapotrzebowania na wodę.

Od lat 80. XX wieku, pomimo że nadal głównym użytkownikiem Kanału Wdy były ZPP Czarna Woda, nastąpiły dalsze zmiany w sposobie gospodarowania wodą. Ograniczenie produkcji zakładu po transformacji ustrojowej w Polsce, spowodowało zmniejszenie ilości wytwarzanych ścieków. Jednocześnie zwiększano ładunek ścieków w wodach, którymi nawadniano łąki. W efekcie minimalny pobór wody z Kanału Wdy na cele rolniczej oczyszczalni ścieków zmniejszył się z $1,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w roku 1968, dwukrotnie do roku 1971, czterokrotnie do roku 1996 i ponad 12-krotnie do roku 2002 (Wołoszyn i in., 2005a). Wraz z ograniczeniem ilości wody prowadzonej Kanałem Wdy na nawadniane łąki pojawili się nowi użytkownicy wód: zakłady hodowli ryb (stawy: Uroża, Pelikan, Wojtał i Wieck) oraz małe elektrownie wodne w Wojtału i Wiecku (ryc. 14). W wyniku rozbudowy stawów pstrągowych w latach 90. pojawiła się konieczność zwiększenia poboru wody w 11 km Kanału Wdy, do zaspokojenia potrzeb początkowo stawów Pelikan, a później także stawów w Wojtału i Wiecku.

Z powyższej analizy wynika, że zmiany w gospodarce wodnej spowodowały stopniowy powrót dawnego przepływu do właściwego koryta Wdy na odcinku, który do lat 60. XX wieku prawie zupełnie pozbawiony był wody. Przerzucenie wody do starego koryta staje się też powoli koniecznością z powodu złego stanu technicznego Kanału Wdy. Stałe zmniejszanie jego przepustowości z projektowanej $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, na $4,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w połowie XX wieku (Churski, 1961, za Hoffmannem, 1953) do około $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ obecnie (Wołoszyn i in., 2005a) spowodowane jest zniszczeniem wałów bocznych oraz wypełnieniem kanału rumowiskiem.

Przesiąki wody z kanału mogą przybierać znaczne rozmiary, dochodzące do $0,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, przy czym najczęściej notowane były straty w zakresie $0,09\text{--}0,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ (tab. 12). Z pewnością ich wielkość jest bardzo zróżnicowana, zależy bowiem od ilości prowadzonej kanałem wody, jak też stanu wałów na poszczególnych jego odcinkach. Uwzględniając jednak nawet najniższą zmierzoną wartość strat – $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, daje to łącznie, w stosunku do całkowitej długości kanału, około $2,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Biorąc pod uwagę obecną przepustowość, ocenianą na $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Wołoszyn i in., 2005 b) można stwierdzić, że realne możliwości wykorzystania Kanału Wdy, bez wykonania prac remontowych, są niewielkie.

Wyniki pojedynczych pomiarów przepływu wykonanych w korycie Wdy poniżej jeziora Wdzydze (ryc. 18) wskazują, że w trakcie nawodnień łąk i uzupełniania wody w stawach (okres letni) przepływ ograniczany jest do minimalnego, określone-

go w pozwoleniu wodnoprawnym na $0,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (przepływ dnia 12 lipca 1993 roku, tab. 12). W pozostałej części roku przepływ zmierzony w dawnym korycie Wdy wyniósł od $1,36$ do $1,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W okresie zwiększonego zasilania, w miesiącach zimowych i wiosennych, jest zapewne jeszcze wyższy.

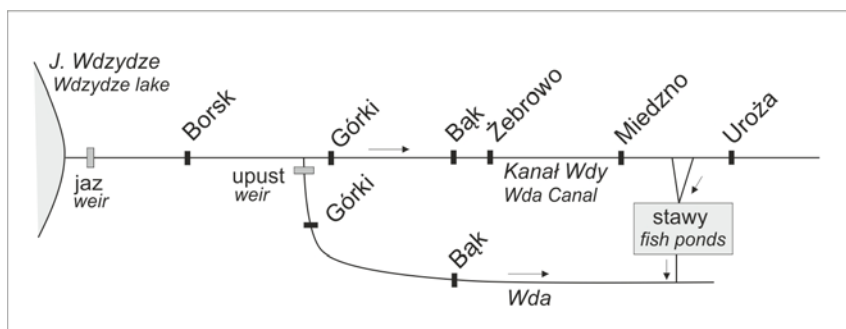
Funkcjonowanie systemu hydrotechnicznego, a także opisane powyżej zmiany w rozrządzie wody pomiędzy Wdę a Kanał Wdy są przyczyną silnego przekształcenia stosunków wodnych w zlewni oraz procesów korytowych Wdy.

Po wybudowaniu Kanału Wdy, w zagłębieniach w powierzchni sandru pomiędzy kanałem a Wdą, a także na północ od Kanału Wdy powstały niewielkie zbiorniki wodne (ryc. 14 i 19) (Szumińska, 2006 a). Najważniejszym dowodem na ich antropogeniczne pochodzenie jest mapa topograficzna z końca XVIII wieku (*Mapa Schröttera...*, 1796-1802), na której przedstawiony jest stan sieci wodnej przed wybudowaniem Kanału Wdy. Nie ma na niej zbiorników widocznych na późniejszych materiałach kartograficznych (mapy topograficzne pruskie i polskie).

Tab. 12. Przepływy w Kanaale Wdy i rzece Wdzie oraz wielkość przesiąków wody pomiędzy punktami pomiarowymi w przeliczeniu na 1 km długości kanału (obliczono na podstawie: E. Wołoszyn, 1993¹, E. Wołoszyn i in. 2005 a¹ i pomiarów własnych²)

Tab. 12. Discharges in the Wda Canal and the Wda river, as well as volume of water loss along the Wda Canal per 1 km of length (calculated on the basis of: E. Wołoszyn, 1993¹, E. Wołoszyn i in. 2005 a¹ and author's own measurements²)

		km	12.07. 1993 ¹	14.09. 2004 ¹	12.11. 2005 ²	18.03. 2006 ²	13.05. 2006 ²
Kanał + Wda			<i>Wda Canal + Wda river</i>				
Borsk	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1+008	3,93	4,46	-	-	4,04
Kanał Wdy			<i>Wda Canal</i>				
strata loss	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$		0,49	0,09	-	-	-
Górki	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	2+440	2,44	2,60	-	-	-
strata loss	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$		-	0,13	-	-	-
Bąk	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	5+720	-	2,16	-	-	-
strata loss	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$		-	-	-	-	0,22
Żebrowo	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	4+152	-	-	-	-	1,77
strata loss	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$		-	-	-	-	0,17
Miedzno	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	8+214	-	-	-	-	1,07
strata loss	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$		0,09	0,21	-	-	-
Uroża	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	11+440	1,62	0,95	-	-	-
Wda			<i>Wda river</i>				
Górki	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	149+970	0,78	1,73	1,36	1,5	1,58
wzrost gain	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$		-	-	-	-	0,03
Bąk	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	146+595	-	-	-	-	1,67



Ryc. 18. Punkty pomiaru przepływu na Kanale Wdy i Wdzie

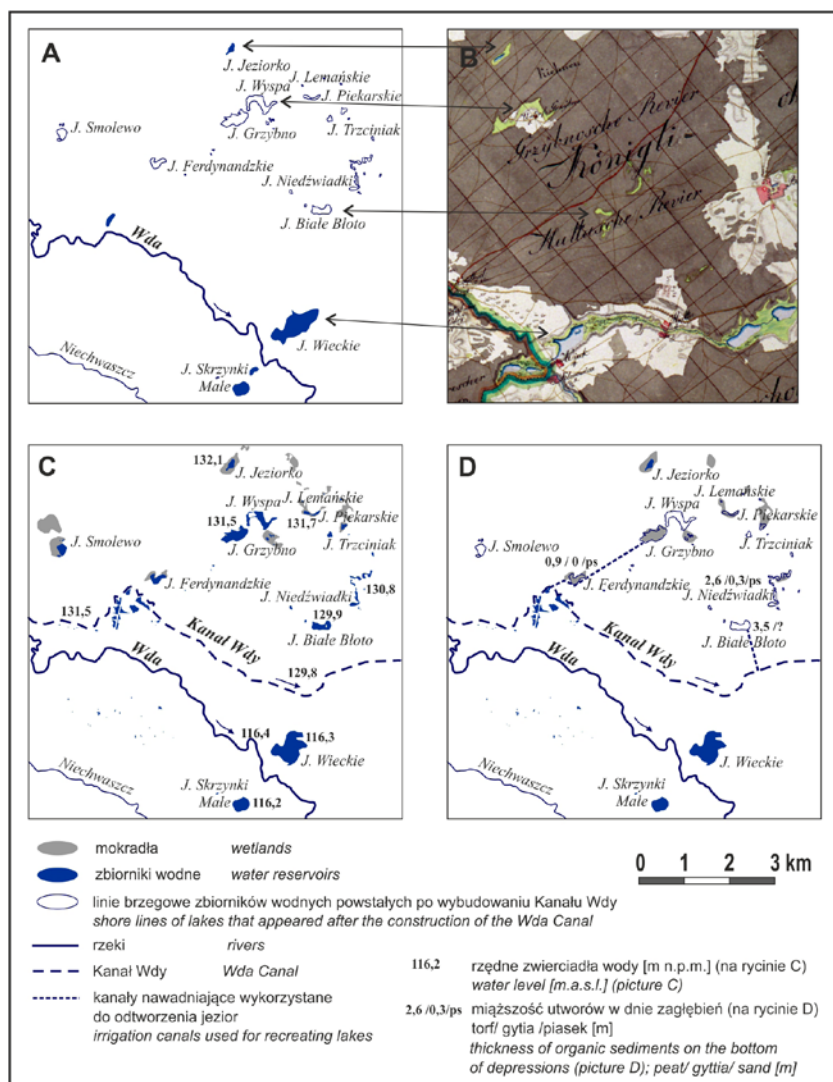
Fig. 18. Discharge measurement points along the Wda Canal and the Wda river

Zbiorniki te istniały przez cały pierwszy okres użytkowania systemu nawodnień, czyli do końca lat 60. XX wieku oraz na początku funkcjonowania rolniczej oczyszczalni ścieków ZPP Czarna Woda. W latach 1980-1995 zanotowano całkowity zanik zbiorników położonych na północ od Kanału Wdy (Frydel, 2004; Szumińska, 2006 a) (ryc. 19). W dotychczasowych opracowaniach (Frydel, 2004; Wołoszyn, Szydłowski, 2002) proces ten tłumaczony był niskimi sumami opadów atmosferycznych w drugiej połowie lat 80. i pierwszej połowie lat 90. XX wieku. Jednak kompleksowa analiza stosunków wodnych na tym obszarze pozwala wiązać zanik zbiorników z gwałtownym ograniczeniem ilości wody prowadzonej Kanałem Wdy na nawadniane łąki.

O znacznej wrażliwości sandru na sposób gospodarowania wodą na tym terenie świadczą pośrednio efekty projektu odtworzenia jezior. Po doprowadzeniu wody do zagłębień zlokalizowanych najbliżej Kanału Wdy, w krótkim okresie czasu woda pojawiła się także w obniżeniach położonych w dalszej odległości (Frydel, 2004).

Innym dowodem wskazującym na związek pojawienia się wody w zagłębieniach z użytkowaniem Kanału Wdy jest budowa geologiczna ich dna, udokumentowana w trakcie wykonywania arkusza mapy geologicznej, w czasie, gdy były suche. W dnie zagłębień znajdują się niewielkiej miąższości osady jeziorne, a nad nimi torfy o miąższości dochodzącej do 3,5 m!, co dobitnie świadczy o środowisku lądowym funkcjonującym przez dłuższy czas (informacja uzyskana od M. Błaszkieвича, autora mapy geologicznej, por. Szumińska, 2006 a).

Powrót znacznej części wody do właściwego koryta Wdy spowodował kompletne jego przemodelowanie poniżej upustu w Górkach, a także zmianę stosunków wodnych w dnie doliny (Szumińska, Habel, 2005). Nastąpiło przemieszczenie się rumowiska w dół biegu rzeki i jego akumulacja w strefie cofki zbiornika Wojtał. W dnie doliny zarejestrowano liczne podtopienia sięgające rzędnych, które przez długi czas były "bezpieczne", dlatego poziom ten został zabudowany podpiwniczonymi budynkami.



Ryc. 19. Zmiany w powierzchni zbiorników wodnych w okolicach Kanału Wdy (Szumińska, 2006 a, zmienione). Zasięgi zbiorników wodnych: A i B – przed budową Kanału Wdy (Mapa Schröttera, 1796-1802); C – po wybudowaniu Kanału Wdy (mapy topograficzne niemieckie, 1940, mapy topograficzne polskie, 1977-1979 oraz współcześnie – po przeprowadzeniu nawodnień jezior (Frydel, 2004), D – zbiorniki wodne w połowie lat 90. XX wieku (Frydel 2004)

Fig. 19. Changes in the surface area of water reservoirs in the vicinity of the Wda Canal (Szumińska, 2006a, changed). Water reservoirs: A i B – prior to the construction of the Wda Canal (Schrötter's map, 1796-1802); C – after the construction of the Wda Canal (Prussian topographic maps, 1940, Polish topographic maps, 1977-1979 and at present – after lake irrigation (Frydel, 2004), D – water reservoirs in the mid 90s of the 20th century (Frydel 2004)

W obydwu przypadkach, tzn. zaniku jezior w okolicach Kanału Wdy i podtopień w dolinie Wdy, charakterystyczne jest, że zjawiska te dotknęły tylko niewielkich terenów i – co należy uznać za ważny wskaźnik ich antropogenicznego charakteru – wystąpiły synchronicznie.

Systemy hydrotechniczne w zlewni Niechwaszczy

Niechwaszcz stanowi główny dopływ Wdy w obrębie zlewni różnicowej, zamkniętej wodowskazami Wawrzynowo i Czarna Woda (ryc. 14). Długość rzeki wynosi obecnie 40,16 km, a powierzchnia jej zlewni 209,71 km², co stanowi 6% całej zlewni Wdy i aż 40,6% zlewni różnicowej Czarna Woda. Obszar źródłowy znajduje się na północ od miejscowości Brusy, gdzie Niechwaszcz rozpoczyna się jako rów odwadniający zagłębienie rynnowe. Rzeka uchodzi do Wdy prawobrzeżnie, kilometr powyżej miejscowości Czarna Woda. Zlewnia Niechwaszczy wyróżnia się w skali całej zlewni Wdy najwyższym udziałem obszarów zajętych przez torfowiska, przekraczającym 15% powierzchni (tab. 7, ryc. 8), a także, co jest konsekwencją pierwszej cechy, znacznym udziałem łąk i pastwisk (tab. 9, ryc. 11), utworzonych na zmeliorowanych utworach organicznych.

Analizując historię zagospodarowania hydrotechnicznego zlewni Niechwaszczy, zauważyć można, że do lat 40. XX wieku stopień przekształcenia sieci wodnej był, w porównaniu do stanu późniejszego, nieznaczny (tab. 10, ryc. 12). Melioracje przeprowadzone w tym okresie objęły 16,2% powierzchni zlewni Niechwaszczy, przy czym zaledwie na 0,5% powierzchni przeprowadzono prace szczegółowe. W związku z tym gęstość sieci rzecznej wynosiła do roku 1940 tylko 0,7 km·km⁻².

W latach 1846-1849 wybudowano Kanał Mokranecki (Sabiniarz, 2006), który pozwalał na nawadnianie obszaru łąk o powierzchni około 1200 ha, zlokalizowanych we wschodniej części zlewni. Należy przypuszczać, że zlewnia Niechwaszczy stanowiła w XIX wieku jeden z licznie zaludnionych obszarów w skali całego dorzecza Wdy, o czym świadczą znaczne przekształcenia nie tylko w obrębie dna doliny, ale także na wysoczyznach, gdzie zanotowano pojawienie się dużej liczby antropogenicznych zbiorników wodnych (500 zbiorników w okresie pomiędzy rokiem 1874 a latami 1977-1985; Szumińska, Absalon, 2012). Porównując rozmieszczenie sieci wodnej w końcu XIX wieku i w latach 70. XX wieku zauważyć można znaczne różnice. W wyniku przeprowadzenia melioracji szczegółowych na 16,3% powierzchni zlewni, znacznie zwiększyła się gęstość sieci wodnej do 1,95 km·km⁻² (Szumińska, Absalon, 2012 - obliczono na podstawie map topograficznych 1:25 000). Ostatnie dwudziestolecie XX wieku charakteryzowało się natomiast małym nasileniem prac melioracyjnych.



Fot. 1. Łąki w dolinie Niechwaszczy w okolicach miejscowości Bielawy, kwiecień 2004 rok
Photo 1. Meadows in the Niechwaszcz Valley near the Bielawy town, April 2004



Fot. 2. Zastawka na jednym z głównych rowów nawadniających w dolinie Niechwaszczy w okolicach miejscowości Bielawy, kwiecień 2004 rok
Photo 2. Watergate on one of the main irrigation ditches in the Niechwaszcz Valley near the Bielawy town, April 2004

W większości pozwoleń wodnoprawnych, wydanych na użytkowanie urządzeń piętrzących systemu hydrotechnicznego Niechwaszczy, określono datę ich ważności na 2000 rok. Z wpisów w księgach wodnych (RZGW w Gdańsku) wynika, że pozwolenia te do roku 2005 (rok wykonywania kwerendy) nie zostały odno-

wione. W trakcie rekonesansu terenowego w 2004 roku stwierdzono zaś, że część łąk nie jest systematycznie koszona, rowy ulegają zarastaniu, a urządzenia piętrzące wodę są otwarte (fot. 1 i 2). Stan urządzeń wskazuje na zaniechanie użytkowania w ostatnim okresie. Odnowione kilka lat temu piętrzenie, wykorzystywane obecnie jako mała elektrownia wodna, znajduje się w dolnym biegu Niechwaszczy, w miejscowości Zawada.

Podobnie zatem jak w przypadku sytemu hydrotechnicznego Kanału Wdy, w zlewni Niechwaszczy obserwowane jest ograniczenie użytkowania wody oraz transformacja odpływu w kierunku warunków zbliżonych do stanu naturalnego.

3.3.2. Dolina Wdy na odcinku kaskady hydroenergetycznej

Drugim najsilniej przekształconym obszarem zlewni Wdy jest dolny fragment doliny Wdy, położony pomiędzy 44 km a 6 km od jej ujścia do Wisły. Na odcinku tym wybudowano cztery stopnie wodne: w Żurze (34 km), Gródku (24 km), Kozłowie (9 km) i Przechowie (6 km) (ryc. 20). Dwa pierwsze piętrzą wodę w celach hydroenergetycznych. Stopień w Kozłowie wykorzystywany jest do wyrównywania przepływów poniżej hydroelektrowni Żur i Gródek oraz retencji wody do celów przemysłowych (dla Mondi Packaging Paper Świecie S.A.). Ostatnie piętrzenie, zlokalizowane na krawędzi Wysoczyzny Świeckiej i doliny Wisły, utworzono już w XIX wieku na potrzeby młyna wodnego. Obecnie młyn został zelektryfikowany, a stopień od 2008 roku jest wykorzystywany jako mała elektrownia wodna.

W związku z tym, że fragment zlewni analizowany w niniejszym opracowaniu zamknięty jest wodowskazem Krąplewice, przedstawiono poniżej zmiany w użytkowaniu dwóch stopni wodnych, położonych powyżej wodowskazu: w Żurze i Gródku.

Kaskada hydroenergetyczna Żur – Gródek została wybudowana w latach 1915-1929. Budowę pierwszej zapory w Gródku rozpoczęto jeszcze w okresie zaborów, tj. w roku 1914, w ramach projektu elektryfikacji Pomorza opracowanego przez prof. Gustava Roesslera. Budowę zakończono już po odzyskaniu niepodległości, w roku 1923 (Megawát, 2000). W roku 1925 wybudowano linię przesyłową Gródek – Grudziądz, która zapoczątkowała realizację projektu elektryfikacji Pomorza (kierowanego w wolnej Polsce przez inż. Alfonsa Hoffmana). Od 1924 roku elektrownia funkcjonowała pod zarządem Spółki Akcyjnej Pomorska Elektrownia Krajowa Gródek. Decyzja o budowie drugiego stopnia – w Żurze, związana była z przyznaniem spółce w roku 1927 koncesji na zaopatrywanie w energię elektryczną powstającego portu w Gdyni (Megawát, 2000). Zapora w Żurze wybudowana została w rekordowym tempie, w latach 1928-1929. Po drugiej wojnie światowej elektrownie weszły w skład państwowych zakładów energetycznych i do 2000 roku były zarządzane przez Zakład Energetyczny w Bydgoszczy. W roku 2000 zostały

wyłączone ze struktur zakładu i wraz z elektrowniami wodnymi na rzece Brdzie w Koronowie, Smukale i Oplawcu weszły w skład Spółki z o.o. Elektrownie Wodne z siedzibą w Samociążku, od 2013 roku połączonej z ENEA Wytwarzanie S.A.

Przegrodzenie Wdy w 24 i 34 km od ujścia spowodowało powstanie dwóch zbiorników zaporowych – Gródek o maksymalnej powierzchni 95 ha i Żur o powierzchni 400 ha (ryc. 20, tab. 13, fot. 3 i 4).

Przy podobnej wysokości piętrzenia (Żur – 15 m, Gródek – 12 m) powstały zbiorniki o odmiennym kształcie. Jest to spowodowane pierwotną rzeźbą doliny Wdy i jej otoczenia. Zbiornik Żur utworzono w miejscu, gdzie kończy się rozległa powierzchnia sandrowa, a szlak sandrowy zwęża się i rozcina Wysoczyznę Świecką (ryc. 8). Na odcinku tym dolina Wdy krzyżuje się z licznymi rynnami polodowcowymi. W konsekwencji zalaniu uległa nie tylko sama dolina, lecz także krzyżujące się z nią rynny wraz z ujściowymi fragmentami odwadniających je cieków. Zbiornik Gródek zlokalizowany jest na odcinku doliny głębiej wciętym w wysoczyznę. Jest on zatem mniejszy i znacznie mniej rozczłonkowany. Zbiornik Żur, pomimo czterokrotnie większej powierzchni i trzykrotnie większej objętości, wykazuje zdolności retencyjne niewiele większe niż zbiornik Gródek. Tak niekorzystne parametry techniczne górnego zbiornika wynikają prawdopodobnie z faktu dosyć pośpiesznej i wymuszonej względami ekonomicznymi (zobowiązania na dostawę energii do Gdyni) jego lokalizacji, a także z drugorzędnej roli funkcji przeciwpowodziowej.

Specyficzne położenie zbiornika Żur spowodowało znaczne zmiany w stosunkach wodnych jego otoczenia (Szumińska, 2010). W wyniku podniesienia zwierciadła wód podziemnych zwiększyła się powierzchnia jezior położonych w jego sąsiedztwie, a także powstały nowe zbiorniki wodne. Największe przekształcenia środowiska nastąpiły w obrębie dużych form rynnowych, które krzyżują się z doliną Wdy.

Niewielkie zdolności retencyjne zbiorników, kilkukrotnie mniejsze niż zdolności retencyjne jeziora Wdzydze, powodują konieczność stałego uzupełniania poziomu wody. W jeziorze można w warunkach naturalnych zatrzymać około 4,36 mln m³, natomiast obecnie, przy regulacji poziomu za pomocą jazu, 8,73 mln m³, co stanowi 7,4% średniego odpływu rocznego z wielolecia (do przekroju Jeziorna). W obydwu zbiornikach łącznie można retencjonować natomiast tylko 3,06 mln m³ wody (Żur – 1,94 mln m³, Gródek – 1,12 mln m³) (tab. 13). Przyjmując średni z wielolecia 1974-2003 odpływ w profilu Krąplewice (obliczony na podstawie danych IMGW), stanowi to zaledwie 0,9% średniego odpływu rocznego w warunkach normalnego piętrzenia i 2,3% przy uwzględnieniu warstwy użytkowej wynikającej z maksymalnych i minimalnych dopuszczalnych rzędnych piętrzenia. Zbiorniki mają zatem charakter przepływowy i w celu prawidłowej pracy elektrowni wodnych wymagają stałego uzupełniania wody bieżącym dopływem.



Ryc. 20. Lokalizacja stopni wodnych kaskady dolnej Wdy na tle układu sieci wodnej (opracowano na podstawie MPHP, 2004, uzupełnione)

Fig. 20. Location of dams on the lower Wda river against the background of the entire water network (prepared on the basis of MPHP, 2004, supplemented)



Fot. 3. Stopień wodny w Gródku – zbiornik i zapora (źródło: www.zielonaenergia.pl)
Photo 3. The dam and the reservoir at the town of Gródek (source: www.zielonaenergia.pl)



Fot. 4. Stopień wodny w Żurze – zbiornik, kanał derywacyjny i elektrownia (źródło: www.zielonaenergia.pl)
Photo 4. The Żur dam – water reservoir, derivation canal and power station (source: www.zielonaenergia.pl)

3.3. Zmiany użytkowania wód powierzchniowych...

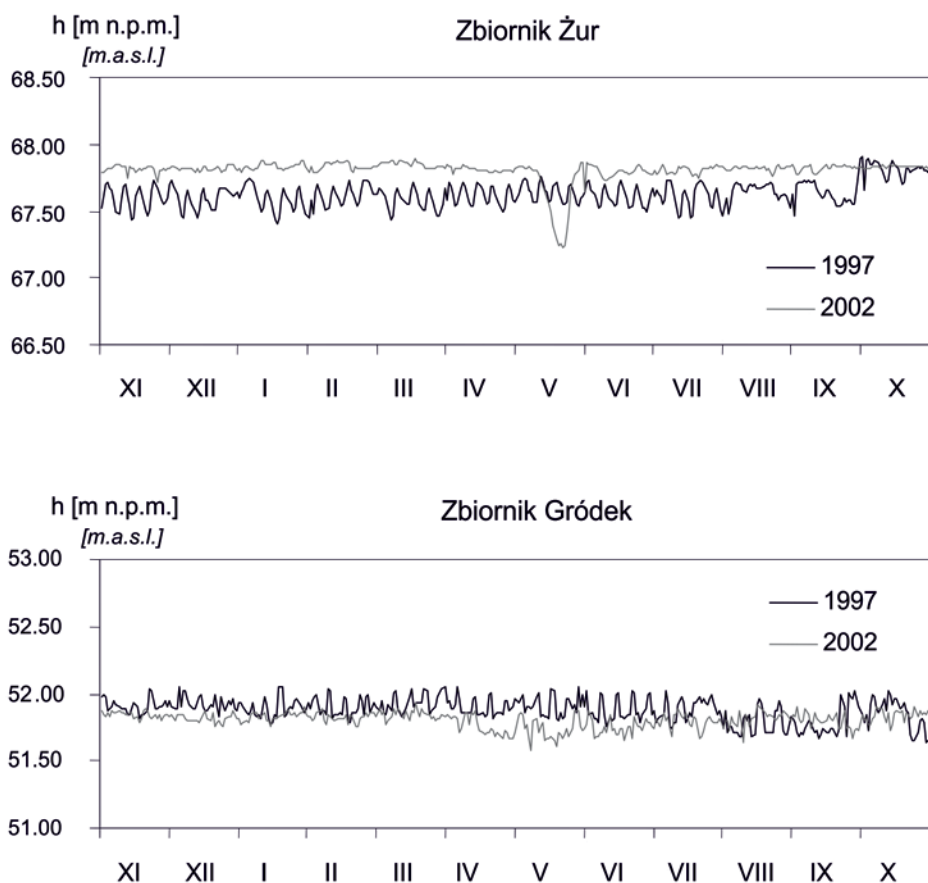
Tab. 13. Parametry techniczne stopni wodnych Żur i Gródek (opracowano na podstawie: danych archiwalnych z elektrowni wodnych Żur i Gródek, Pozwolenia wodnoprawnego – decyzja nr OS-II-6811/3/04/00 z dnia 09.05.2001 i Megawat, 2000)

Tab. 13. Technical features of the Żur and the Gródek dams (prepared on the basis of: archival data from hydro power stations, Pozwolenia wodnoprawne – decyzja nr OS-II-6811/3/04/00 z dnia 09.05.2001 and Megawat, 2000)

Parametry zapory <i>Dam parameters</i>	Żur	Gródek	Jednostka <i>unit</i>
Rzędna korony <i>Crest elevation</i>	70,8-71,1	53,6-54,1	m n.p.m.
Wysokość zapory <i>Dam height</i>	19	14	m
Piętrzenie wody przy zaporze <i>Reservoir depth near the dam</i>	15	12	m
Parametry zbiornika <i>Reservoir parameters</i>			
Powierzchnia przy maksymalnym poziomie piętrzenia <i>Surface area at the maximum damming level</i>	400	95	ha
Powierzchnia przy normalnym poziomie piętrzenia <i>Surface area at normal damming level</i>	221,9	63,2	ha
Długość <i>Length</i>	12	8	km
Maksymalny roboczy poziom piętrzenia <i>Maximum operating level of damming</i>	67,9	b.d.	m n.p.m.
Minimalny roboczy poziom piętrzenia <i>Minimum operating level of damming</i>	67,4	b.d.	m n.p.m.
Normalny poziom piętrzenia <i>Normal water damming level</i>	b.d.	51,9	m n.p.m.
Maksymalny dopuszczalny poziom piętrzenia <i>Maximum acceptable damming level</i>	68,2	51,9	m n.p.m.
Minimalny dopuszczalny poziom piętrzenia <i>Minimum acceptable damming level</i>	66,4	50,7	m n.p.m.
Pojemność przy maksymalnym poziomie piętrzenia <i>Capacity at the maximum level of damming</i>	16,0	5,5	mln m ³
Pojemność użytkowa <i>Useful capacity</i>	1,94	1,12	mln m ³
Inne parametry <i>Other parameters</i>			
Długość kanału derywacyjnego <i>Length of the flume</i>	900	1240	m
Spad użyteczny <i>Useful slope</i>	15,2	18	m
Moc elektrowni <i>Plant rating</i>	7,5	3,5	MW
Ilość i typ turbin <i>Number and type of turbines</i>	2 Kaplana	3 Francisa	
Produkcja roczna <i>Annual production</i>	11,912	13,835	GWh

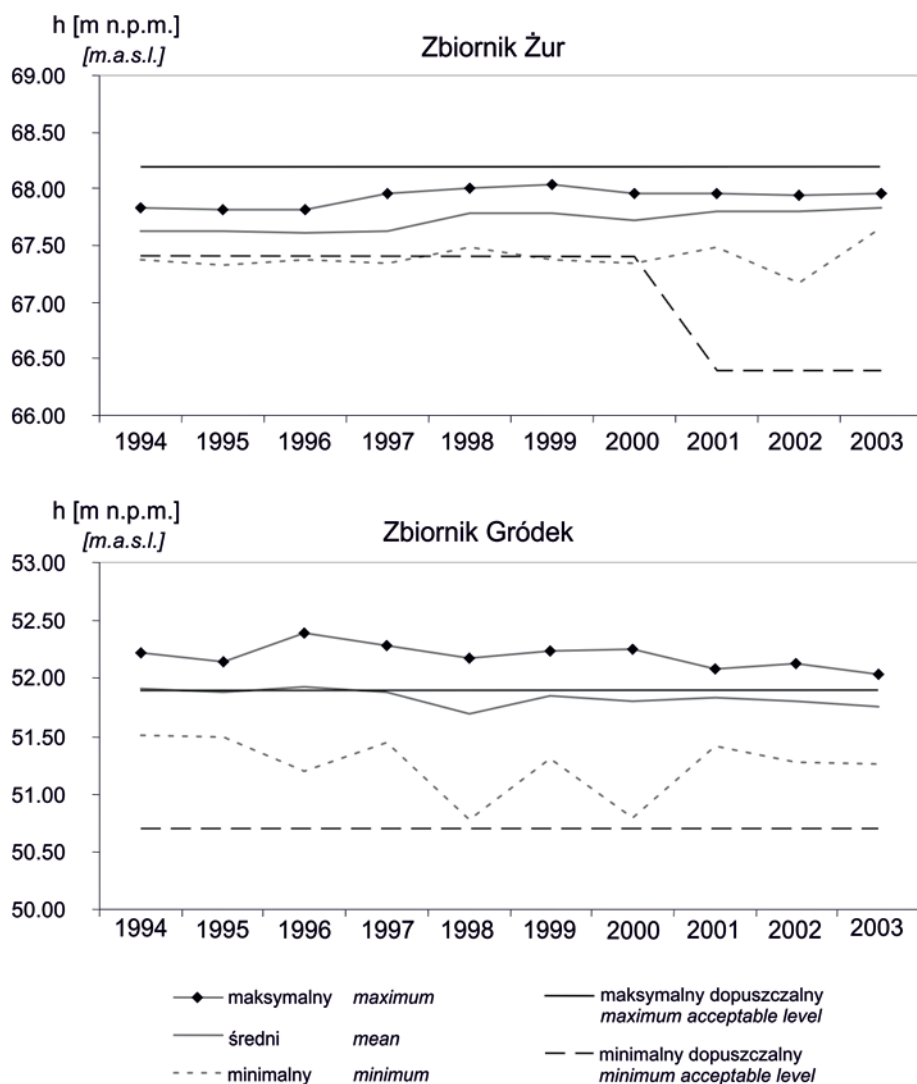
Do roku 2001 praca elektrowni wodnych była regulowana przez pozwolenie wodnoprawne wydane w 1955 roku, w którym widniał zapis o nieograniczonym korzystaniu z wód Wdy (księgi wodne RZGW w Gdańsku). Skutkiem tego było prawie całkowite ograniczanie objętości przepływu w okresach uzupełniania zasobów w zbiornikach. Szczytowy sposób pracy hydroelektrowni powodował także znaczne chwilowe zmiany w ilości wody zrzucanej do koryta Wdy poniżej stopnia w Gródku (Ujda i in., 1977; Szumińska, 2005, 2006 b). W nowym pozwoleniu wodnoprawnym wydanym w roku 2001 (Decyzja nr OS-II-6811/3/04/00 z dnia 09.05.2001, ważność do 2030 roku) – niestety – także nie określono przepływu nienaruszalnego dla Wdy poniżej kaskady hydroenergetycznej. Podany natomiast maksymalny pobór wody dla elektrowni Żur wynosi aż $71,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowi wartość maksymalną przełyku turbin. Jak stwierdzono, na podstawie analizy danych z hydroelektrowni i wywiadu z pracownikami, pomimo mało restrykcyjnych zapisów w pozwoleniu wodnoprawnym, w ostatnich latach zmieniono rytm pracy obydwu hydroelektrowni. Obecnie pracują one z wyrównaniem dobowym poziomowi wody w zbiornikach. Zauważyć można wyraźne zmniejszenie wahań dobowych przepływu, a także w przypadku Zbiornika Żur, utrzymywanie stałego wysokiego poziomu piętrzenia (ryc. 21).

Podwyższenie średniego poziomu piętrzenia w zbiorniku Żur wprowadzono od roku 1998, z kolei w przypadku zbiornika Gródek, widoczne jest nieznaczne obniżenie średniego i maksymalnego poziomu piętrzenia (ryc. 22). Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych stwierdzono, że zwiększenie średniego i maksymalnego poziomu piętrzenia zbiornika Żur powoduje wzrost jego powierzchni. Proces ten odbywa się na drodze włączania do zbiornika fragmentów niskich teras, występujących dotychczas poza zasięgiem lustra wody. W przypadku zbiornika Gródek, faktyczna strefa użytkowa znajduje się wyżej niż określona dla zbiornika przez dopuszczalne poziomy piętrzenia (ryc. 22).



Ryc. 21. Przebieg codziennych stanów zwierciadła wody w zbiornikach Żur i Gródek w latach 1997 i 2002 (opracowano na podstawie danych z elektrowni wodnych)

Fig. 21. Daily water surface levels on the reservoirs of Żur and Gródek in 1997 and 2002 (prepared on the basis of data obtained from hydro power stations)



Ryc. 22. Średnie, maksymalne i minimalne poziomy zwierciadła wody zbiorników Gródek i Żur w wieloletniu 1994-2003 oraz dopuszczalne poziomy piętrzenia (opracowano na podstawie danych z elektrowni wodnych)

Fig. 22. Mean, maximum and minimum surface levels on the reservoirs of Żur and Gródek in the years 1994-2003 along with the maximum and minimum acceptable damming levels (prepared on the basis of data obtained from hydro power stations)

4. Przebieg odpływu w zlewni Wdy w drugiej połowie XX wieku w odniesieniu do zmieniającej się antropopresji

Obserwowane parametry hydrologiczne (przepływy i stany wody) stanowią wypadkową czynników naturalnych i antropogenicznych. Te ostatnie zaś przybierają różny wymiar: powierzchniowy (np. struktura użytkowania terenu) i punktowy (np. pobór wód do celów nawodnień). W czasie interpretacji danych hydrologicznych starano się uwzględnić dostępne dla poszczególnych zlewni różnicowych informacje o elementach wpływających na przebieg zjawisk hydrologicznych. Pomimo że trudno jest oddzielić ilościowe i jakościowe skutki oddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych, zastosowanie zlewni różnicowych do analizy odpływu pozwoliło na porównanie między sobą obszarów charakteryzujących się różnym nasileniem antropopresji. Założono przy tym, że jeśli komponenty środowiska przyrodniczego determinujące przebieg procesów hydrologicznych, takie jak lesistość, budowa geologiczna, jeziorność czy opady atmosferyczne (Choiński, 1988) wykazywały w poszczególnych zlewniach podobne cechy, to najważniejszą przyczyną odmienności w przebiegu zjawisk hydrologicznych był sposób gospodarowania wodą.

W związku z tym, że spośród wymienionych czynników opady podlegają cyklicznym wahaniom, analizowano je w kolejnych rozdziałach równolegle z parametrami hydrologicznymi.

4.1. Odpływy charakterystyczne

W wieloleciu 1974-2003 średnie przepływy Wdy wyniosły $3,08 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w górnym odcinku (Wawrzynowo) i $11,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w dolnym biegu (Krąplewice) (tab. 14 A). Ostatni wodowskaz IMGW, zlokalizowany w Krąplewicach, zamyka 87% powierzchni całej zlewni Wdy. Przepływ rzeki przy ujściu można oszacować na $12,51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

przyjmując dla pozostałego odcinka średni odpływ jednostkowy ze zlewni różnicowej Krąplewice. Średnie przepływy pomiędzy poszczególnymi posterunkami wzrastają równomiernie o około $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 14 A). Podobnie regularnie zwiększały się w dół biegu Wdy przepływy maksymalne, osiągając najwyższą wartość, wynoszącą $47,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, w Krąplewicach. W przypadku przepływów niskich, regularny wzrost widoczny był do wodowskazu Błędno, natomiast w Krąplewicach zarówno średni, jak też najniższy i najwyższy z niskich przepływów osiągnęły wartości kilkudziesięciokrotnie niższe niż w górnym biegu rzeki z powodu wpływu zespołu hydroelektrowni Żur – Gródek. Wartość przepływu średniego niskiego w profilu Krąplewice, wynosząca $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jest około trzydzieści razy niższa niż określony dla tego fragmentu Wdy przepływ nienaruszalny, wynoszący $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Zasoby wodne Wdy, 1999). Okresowe ograniczanie objętości przepływu sprawia, że współczynnik nieregularności, obliczony w odniesieniu do skrajnych zanotowanych w wieloleciu przepływów ($W_{Q \text{ ekstr}}$), osiągnął dla tego posterunku bardzo wysoką wartość ponad 793, podczas gdy powyżej zbiorników zaporowych wahał się w granicach 5,01–7,8 (tab. 14 A). Wyższa wartość współczynnika charakteryzowała też dopływ Wdy, rzekę Prusinę w posterunku Tleń, której przepływ maksymalny z wielolecia przewyższył minimalny ponad 50 razy oraz zlewnię Czarna Woda, gdzie osiągnął wartość dwukrotnie większą niż w zlewniach Wawrzynowo i Błędno.

Średni z wielolecia 1974-2003 roczny odpływ jednostkowy (SSq) w zlewni Wdy do Krąplewic wyniósł $5,74 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 14 B). Wartość ta jest zbliżona do średniego odpływu jednostkowego z obszaru dorzecza Wisły, wynoszącego $5,55 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Byczkowski, 1999, za Fal i in., 1994). Średni odpływ roczny z wielolecia 1974-2003 wyniósł w profilu Krąplewice 366,44 mln m^3 , a średni odpływ z całej zlewni Wdy dla tego okresu oszacowano na 395,23 mln m^3 . Stanowi to 0,6% średniego z wielolecia 1974-1990 odpływu z obszaru Polski (obliczono na podstawie danych z pracy B. Fal, 1993). Najwyższe (WSq) i najniższe (NSq) średnie roczne odpływy jednostkowe do profilu Krąplewice wyniosły odpowiednio $8,13 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ i $4,01 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 14 B), natomiast odpływy całkowite 518,48 mln m^3 i 256,63 mln m^3 .

Wartości obliczone w odniesieniu do zlewni różnicowych (tab. 14 C) wskazują jednak, że ilość wody odpływająca z obszarów o zmienionych stosunkach wodnych jest mniejsza. W zlewni różnicowej Czarna Woda zanotowano niższe odpływy jednostkowe (średnia $5,77 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) niż w występującej na południe od niej zlewni Błędno (średnia $6,73 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), pomimo odwrotnej relacji opadów atmosferycznych. Najniższe średnie odpływy jednostkowe, osiągające zaledwie $3,07 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, czyli prawie dwa razy mniej niż na pozostałym obszarze, wystąpiły w zlewni Krąplewice, pomimo wyższych niż w zlewniach Tleń i Błędno sum opadów atmosferycznych.

Na podstawie charakterystyk odpływu obliczonych dla półroczy hydrologicznych (tabele 15 i 16) stwierdzono, że ich rozkład przestrzenny zarówno w odniesieniu do zlewni całkowitych, jak też różnicowych jest podobny jak wartości rocznych

(tab. 14). W związku ze zmianami sezonowymi intensywności ewapotranspiracji, wyższy odpływ generowany jest w okresie zimowym, pomimo wyższych sum opadów półrocza letniego. W zlewni różnicowej Krąplewice zarówno w odniesieniu do roku, jak też poszczególnych półroczy notowane były bardzo niskie odpływy, charakteryzujące się dużo wyższą nieregularnością niż w pozostałych zlewniach. W zlewni Czarna Woda współczynnik nieregularności ($W_{q\text{śr}}$) w półroczu letnim, czyli w okresie prowadzonych nawodnień rolniczych, osiągnął wyższą wartość niż w położonej na południe od niej zlewni Błędno (tab. 16).

Objaśnienia do tabel 14, 15 i 16 (s. 86-88)

$W_{Q\text{śr}}$, $W_{q\text{śr}}$, $W_{P\text{śr}}$ – współczynniki nieregularności odpływu w wieloleciu obliczone z wartości średnich rocznych przepływów i odpływów jednostkowych oraz sum rocznych opadów atmosferycznych

$W_{Q\text{ekstr}}$ – współczynnik nieregularności odpływu w wieloleciu obliczony z wartości ekstremalnych przepływów w wieloleciu

$W_{QR\text{śr}}$ – średnia z rocznych współczynników nieregularności

$W_{QR\text{maks}}$ i $W_{QR\text{min}}$ – najwyższy i najniższy w wieloleciu roczny współczynnik nieregularności odpływu

c_{vQ} , c_{vq} , c_{vP} – współczynniki zmienności w wieloleciu obliczone z wartości średnich rocznych przepływów i odpływów jednostkowych oraz sum rocznych opadów atmosferycznych

P – opad atmosferyczny, H – wskaźnik odpływu – warstwa odpływu

c – współczynnik odpływu – udział procentowy warstwy odpływu (H) w sumie opadu (P)

Explanation to Tables 14, 15 and 16

$W_{Q\text{śr}}$, $W_{q\text{śr}}$, $W_{P\text{śr}}$ – irregularity coefficient calculated for the entire study period on the basis of mean annual discharges, mean annual specific discharges and total annual precipitation

$W_{Q\text{ekstr}}$ – runoff irregularity coefficient calculated for the entire study period on the basis of extreme discharges

$W_{QR\text{śr}}$ – mean value of annual runoff irregularity coefficient

$W_{QR\text{maks}}$ and $W_{QR\text{min}}$ – maximum and minimum values of annual runoff irregularity coefficient in the study period

c_{vQ} , c_{vq} , c_{vP} – coefficients of variation calculated for the entire study period on the basis of mean annual discharges, mean annual specific discharges and total annual precipitation

P – precipitation, H – runoff expressed in millimetres

c – percentage of runoff (H) in total precipitation (P)

Tab. 14. Charakterystyki odpływu i opadu rocznego ze zlewni Wdy w wieloletniu 1974-2003: A i B – w zlewniach całkowitych; C – w zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW)

Tab. 14. Outflow and precipitation characteristics regarding the Wda catchment in the years 1974-2003: A and B – in catchments; C – in sub-catchments (calculated on the basis of the IMGW data)

A Zlewnie całkowite	WWQ	SWQ	NWQ	WSQ	SSQ	NSQ	WNQ	SNQ	NNQ	W _Q śr	W _Q ekstr	W _{QR} śr	W _{QR} maks	W _{QR} min	C _{v,Q}	C _{v,P}
	m ³ ·s ⁻¹			m ³ ·s ⁻¹			m ³ ·s ⁻¹			[%]						
Wawrzynowo	7,07	4,69	3,24	4,28	3,08	2,35	2,68	2,02	1,41	1,82	5,01	2,4	3,7	1,6	15,7	16,8
Czarna Woda	15,60	10,13	6,28	8,31	6,05	4,33	5,40	3,68	2,00	1,92	7,80	2,9	6,1	1,6	15,9	16,3
Błędno	21,40	14,20	8,80	12,30	8,99	6,18	8,58	6,03	4,12	1,99	5,19	2,4	3,5	1,7	16,3	16,9
Kraplewnice	47,60	33,01	23,40	16,40	11,62	8,12	0,26	0,14	0,06	2,02	793,33	288	793	119	17,7	18,3
Tleń	7,34	3,20	1,91	1,70	1,20	0,84	1,10	0,66	0,13	2,02	56,46	5,5	17,6	2,4	17,5	23,1
B Zlewnie całkowite	WWq	SWq	NWq	WSq	SSq	NSq	WNq	SNq	NNq	W _P śr						
	dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			mm						
Wawrzynowo	16,79	11,13	7,69	10,17	7,30	5,59	6,36	4,80	3,35	-	1,81	763	230	30,1	-	-
Czarna Woda	16,64	10,81	6,70	8,86	6,46	4,62	5,76	3,93	2,13	-	1,78	718	204	28,4	-	-
Błędno	15,58	10,33	6,40	8,95	6,55	4,50	6,24	4,39	3,00	-	1,86	681	206	30,2	-	-
Kraplewnice	23,51	16,30	11,56	8,13	5,74	4,01	0,13	0,07	0,03	-	1,98	655	181	27,6	-	-
Tleń	39,17	17,06	10,19	9,11	6,43	4,53	5,87	3,51	0,69	-	2,52	578	203	35,1	-	-
C Zlewnie różnicowe				WSq	SSq	NSq				W _q śr	W _P śr	P	H	c	C _{v,q}	C _{v,P}
	-			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			-			mm						[%]
Wawrzynowo	-	-	-	10,17	7,30	5,59	-	-	-	1,82	1,81	763	230	30,1	15,7	16,8
Czarna Woda	-	-	-	8,30	5,77	3,50	-	-	-	2,37	1,89	681	182	26,7	20,9	17,0
Błędno	-	-	-	10,34	6,73	3,45	-	-	-	3,00	2,22	602	212	35,2	24,7	20,2
Kraplewnice	-	-	-	6,53	3,07	0,46	-	-	-	14,20	2,66	605	97	16,0	49,9	24,0
Tleń	-	-	-	9,11	6,43	4,53	-	-	-	2,00	2,52	578	203	35,1	17,2	23,1

Tab. 15. Charakterystyki odpływu i opadu półroczna zimowego ze zlewni Wdy w wieloleciu 1974-2003 (wartości ekstremalne z lat 1974-1983): A i B – w zlewniach całkowitych; C – w zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW)

Tab. 15. Outflow and precipitation characteristics for the winter half-year in the Wda catchment in the years 1974-2003 (extreme values from the years 1974-1983): A and B – in catchments; C – in subcatchments (calculated on the basis of the IMGW data)

A Zlewnie całkowite	WWQ	SWQ	NWQ	WSQ	SSQ	NSQ	WNQ	SNQ	NNQ	W _Q śr	W _Q ekstr	W _{OR} śr	W _{OR} maks	W _{OR} min	c _{v,Q}	c _{v,P}
	m ³ ·s ⁻¹			m ³ ·s ⁻¹			m ³ ·s ⁻¹			[%]						
Wawrzynowo	6,52	5,04	2,98	4,98	3,43	2,51	3,76	2,85	2,04	1,98	3,20	-	-	-	19,5	24,7
Czarna Woda	14,30	11,32	7,41	9,95	6,79	4,90	5,24	4,12	3,02	2,03	4,74	-	-	-	19,6	23,7
Błędno	19,00	14,94	9,56	14,40	10,03	6,69	10,20	7,79	5,70	2,15	3,33	-	-	-	20,3	23,0
Kraplewice	44,60	33,92	26,80	19,50	12,88	9,20	0,46	0,21	0,07	2,12	637,14	-	-	-	21,0	23,5
Tleń	4,67	3,32	2,35	2,04	1,35	0,90	1,34	1,00	0,77	2,27	6,06	-	-	-	20,6	25,9
B Zlewnie całkowite	WWq	SWq	NWq	WSq	SSq	NSq	WNq	SNq	NNq	W _P śr	P	H	c			
	dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			mm			[%]			
Wawrzynowo	15,48	11,97	7,08	11,81	8,14	5,96	8,93	6,77	4,84	-	3,92	322	128	39,8	-	-
Czarna Woda	15,26	12,08	7,91	10,62	7,15	5,23	5,59	4,40	3,22	-	3,46	304	112	36,8	-	-
Błędno	13,83	10,87	6,96	10,50	7,30	4,87	7,42	5,67	4,15	-	3,27	280	114	40,7	-	-
Kraplewice	22,02	16,75	13,23	9,62	6,36	4,54	0,23	0,10	0,03	-	3,27	261	100	38,3	-	-
Tleń	24,92	17,72	12,54	10,85	7,20	4,78	7,15	5,34	4,11	-	3,39	216	113	52,3	-	-
C Zlewnie różnicowe				WSq	SSq	NSq				W _q śr	W _P śr	P	H	c	c _{v,q}	c _{v,p}
				dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²						mm			[%]			
Wawrzynowo	-	-	-	11,81	8,14	5,96	-	-	-	1,98	3,92	322	128	39,8	19,5	24,7
Czarna Woda	-	-	-	9,98	6,33	3,82	-	-	-	2,61	3,27	290	99	34,1	24,6	24,6
Błędno	-	-	-	13,30	7,63	4,11	-	-	-	3,24	2,97	227	119	52,4	30,2	23,8
Kraplewice	-	-	-	6,51	3,23	-2,16	-	-	-	-	3,19	222	51	23,0	51,4	31,5
Tleń	-	-	-	10,85	7,20	4,78	-	-	-	2,27	3,39	216	113	52,3	20,6	25,9

Tab. 16. Wybrane charakterystyki odpływu i opadu półrocza letniego ze zlewni Wdy w wieloleciu 1974-2003 (wartości ekstremalne z lat 1974-1983): A i B – w zlewniach całkowitych; C – w zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW)

Tab. 16. Outflow and precipitation characteristics for the summer half-year in the Wda catchment in the years 1974-2003 (extreme values from the years 1974-1983): A and B – in catchments; C – in subcatchments (calculated on the basis of the IMGW data)

A Zlewnie całkowite	WWQ	SWQ	NWQ	WSQ	SSQ	NSQ	WNQ	SNQ	NNQ	W _Q śr	W _Q ekstr	W _{QR} śr	W _{QR} maks	W _{QR} min	C _{v,Q}	C _{v,P}
	m ³ ·s ⁻¹			m ³ ·s ⁻¹			m ³ ·s ⁻¹			[%]						
Wawrzynowo	5,94	4,46	3,50	3,59	2,72	2,00	2,68	1,96	1,52	1,80	3,91	-	-	-	14,6	28,1
Czarna Woda	15,60	9,80	6,20	7,38	5,41	3,64	4,96	3,39	2,00	2,03	7,80	-	-	-	17,7	26,1
Błędno	20,10	12,89	8,67	11,20	7,96	5,12	8,58	5,88	4,59	2,19	4,38	-	-	-	17,6	25,9
Kraplewice	42,70	31,70	26,30	17,10	10,36	6,67	0,31	0,16	0,09	2,56	474,44	-	-	-	21,9	26,6
Tleń	7,34	2,93	0,58	1,88	1,06	0,60	1,10	0,78	0,58	3,13	12,66	-	-	-	22,6	30,7
B Zlewnie całkowite	WWq	SWq	NWq	WSq	SSq	NSq	WNq	SNq	NNq	W _p śr	P	H	C			
	dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²			mm			[%]			
Wawrzynowo	14,11	10,59	8,31	8,53	6,47	4,73	6,36	4,65	3,61	-	2,85	441	103	23,4	-	-
Czarna Woda	16,64	10,45	6,61	7,87	5,77	3,88	5,29	3,62	2,13	-	2,82	413	92	22,3	-	-
Błędno	14,63	9,38	6,31	8,17	5,79	3,73	6,24	4,28	3,34	-	2,90	401	92	22,9	-	-
Kraplewice	21,09	15,65	12,99	8,42	5,12	3,29	0,15	0,08	0,04	-	3,12	394	81	20,6	-	-
Tleń	39,17	15,64	3,10	10,00	5,65	3,21	5,87	4,16	3,10	-	3,46	362	90	24,9	-	-
C Zlewnie różnicowe				WSq	SSq	NSq				W _q śr	W _p śr	P	H	C	C _{v,q}	C _{v,p}
				dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²						mm			[%]			
Wawrzynowo	-	-	-	8,53	6,47	4,73	-	-	-	1,80	2,85	441	103	23,4	14,6	28,1
Czarna Woda	-	-	-	8,12	5,21	2,37	-	-	-	3,43	2,82	391	83	21,2	25,3	25,3
Błędno	-	-	-	9,25	5,84	2,78	-	-	-	3,33	3,07	375	93	24,8	25,6	27,2
Kraplewice	-	-	-	8,50	2,90	-1,82	-	-	-	-	4,50	383	46	12,0	65,6	30,8
Tleń	-	-	-	10,00	5,65	3,21	-	-	-	3,12	3,46	362	90	24,9	22,6	30,7

4.2. Przebieg odpływu i opadów rocznych w wieloleciu

Wielkość odpływu w poszczególnych latach przeanalizowano na podstawie współczynnika nadmiaru/niedoboru n , który obliczono dla pięciu zlewni różnicowych w odniesieniu do podstawowego badanego okresu 1974-2003 (tab. 17). Wartość współczynnika obliczono ponadto dla dłuższych okresów dla zlewni całkowitych do Czarnej Wody i do Krąplewic, w pierwszym przypadku dla lat 1959-2003, a w drugim 1965-2003 (tab. 18).

Przebieg odpływu w wieloleciu 1974-2003 nie był w poszczególnych zlewniach różnicowych jednakowy (tab. 17). Odpływy roczne wykazywały najmniejszą zmienność w północnej części, w zlewni Wawrzynowo. Następnie, w kierunku południowym, różnice odpływu w poszczególnych latach były coraz większe i maksymalne wartości osiągnęły w zlewni różnicowej Krąplewice. Zanotowano tu najwyższy nadmiar i niedobór, które wyniosły odpowiednio +113,6% odpływu średniego z wielolecia w roku 1980 i -84,5% średniej wieloletniej w roku 1975 (tab. 17). Ekstremalne wartości wskaźnika obliczonego dla pozostałych zlewni są dwu, trzykrotnie niższe.

Na wzrost nieregularności odpływu z północy na południe wywiera wpływ kilka czynników. Po pierwsze – w tym samym kierunku postępuje wzrost nieregularności opadów atmosferycznych, co jest wyraźnie widoczne przy porównaniu zlewni Błędno i Krąplewice do pozostałych (tab. 17). Ponadto zlewnia Krąplewice wykazuje nieznacznie mniejsze zdolności retencyjne ze względu na wyższy niż w pozostałych zlewniach o 10% udział utworów o słabych i bardzo słabych warunkach infiltracyjnych (tab. 5). Czynnik ten został przez A. Choińskiego (1988) postawiony na drugim miejscu wśród jedenastu analizowanych elementów wpływających na zmienność odpływu rzek w Polsce. Należy zwrócić jednak uwagę, że areał terenów rolniczych i gruntów ornych jest tu niewiele wyższy niż w zlewniach Wawrzynowo i Czarna Woda, bo tylko o 3-6% (tab. 9). Większy udział utworów morenowych, jeziornych i torfowych wpływa jednak na nieco inną strukturę drzewostanu, z większym udziałem drzew liściastych, podczas gdy w pozostałych zlewniach różnicowych przeważają monokulturowe bory sosnowe. Obszar wysoczyzny charakteryzuje się też nieco większymi spadkami niż powierzchnia sandru, co przy znacznym zasięgu melioracji może powodować zmniejszenie zdolności retencyjnych i przyspieszenie odpływu. Większy udział drzew liściastych wpływa na wzrost spływu z terenów zalesionych głównie w czasie zimy (brak liści powoduje zmniejszenie intercepcji). Latem natomiast straty wody mogą być tu wyższe niż na pokrytych borami sosnowymi obszarach sandrowych z powodu wyższej ewapotranspiracji i intercepcji drzewostanu liściastego (Dębski, 1951; Król, Soczyńska, 1989). Kolejnym czynnikiem powodującym wzrost nieregularności odpływu ze zlewni Krąplewice jest funkcjonowanie hydroelektrowni w Żurze i Gródku.

4. Przebieg odpływu w zlewni Wdy...

Tab. 17. Roczne współczynniki nadmiaru/niedoboru odpływu (nQ) i opadu (nP) w zlewniach różnicowych w latach 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Tab. 17. Annual excess/deficiency runoff coefficient (nQ) and precipitation coefficient (nP) in subcatchments in the years 1974-2003 (calculated on the basis of the IMGW data)

nQ różnic. [%]	Wawrzynowo	Czarna Woda	Błędno	Kraplewnice	Tień	nP różnic. [%]	Wawrzynowo	Czarna Woda	Błędno	Kraplewnice	Tień
1974	15.6	43.7	-20.7	-83.2	11.1	1974	26.8	37.4	21.8	28.4	24.4
1975	29.7	33.1	-18.6	-84.5	17.7	1975	-10.6	-6.0	-6.5	-9.4	1.3
1976	5.1	-27.2	-13.5	-44.2	2.2	1976	-18.3	-14.6	-6.9	4.5	-3.7
1977	-6.4	-11.6	23.5	26.6	10.6	1977	2.4	9.9	19.0	25.4	17.1
1978	-12.2	-31.2	-3.7	-10.0	-4.0	1978	3.0	-1.9	-12.3	-5.5	-11.6
1979	-7.8	-6.3	-17.6	22.3	-15.7	1979	-25.6	-19.9	-22.2	-9.5	-19.2
1980	-10.1	14.8	12.3	113.6	23.6	1980	34.5	31.7	43.6	65.9	45.2
1981	39.0	17.7	53.2	72.3	41.6	1981	3.9	18.8	15.0	16.8	14.6
1982	27.5	3.7	52.1	60.5	33.5	1982	-22.5	-24.4	-27.6	-35.5	-28.4
1983	1.6	-2.4	4.1	-5.0	-4.8	1983	-5.2	-2.7	-7.9	-37.7	-5.0
1984	6.5	-24.2	24.6	1.4	-9.0	1984	-16.3	-2.3	1.8	-5.0	0.8
1985	-5.2	10.8	7.4	23.3	-1.1	1985	-6.4	3.2	14.5	9.2	19.6
1986	-9.8	5.6	5.9	57.3	6.4	1986	-8.9	-6.5	-7.0	-26.5	-9.5
1987	0.5	-4.1	-7.1	16.8	-0.2	1987	-9.9	-1.2	-9.5	-27.2	-15.9
1988	0.6	18.2	13.0	18.9	11.1	1988	-6.3	-3.4	-13.5	-21.2	-24.5
1989	-18.7	13.7	-22.5	-39.5	-23.1	1989	-9.5	-22.3	-35.2	-33.2	-37.2
1990	-9.5	-6.8	-43.1	-62.9	-9.1	1990	16.5	-4.4	-0.2	10.5	-6.2
1991	-2.1	-26.6	-29.8	-14.6	-21.3	1991	5.7	-15.9	-17.6	-14.2	-18.2
1992	-17.7	-39.5	-36.7	-23.1	-29.4	1992	-23.5	-27.1	-30.9	-26.8	-35.6
1993	-23.6	-21.7	-49.0	-7.3	-25.9	1993	-3.1	-1.5	-10.1	1.5	-19.0
1994	-13.0	-3.3	-2.7	-51.0	0.0	1994	-5.5	1.1	2.6	13.9	2.7
1995	13.7	-9.4	6.5	-62.4	11.0	1995	20.5	10.9	6.6	11.4	12.3
1996	-6.9	-11.6	4.7	-59.9	-9.9	1996	-5.5	-8.9	-10.3	-20.2	-15.2
1997	-13.9	-14.2	-3.9	-17.3	-19.5	1997	3.7	-0.6	1.5	5.6	-1.9
1998	-3.7	-10.1	18.4	-31.0	-15.0	1998	32.2	15.0	18.5	16.6	19.5
1999	6.7	14.6	23.4	20.1	-0.7	1999	5.6	5.3	21.4	8.6	27.7
2000	4.5	-1.0	-1.6	3.4	1.2	2000	0.9	2.1	-3.4	1.0	-4.6
2001	-11.6	10.2	-6.3	44.8	-5.5	2001	21.4	22.9	44.2	34.2	58.5
2002	30.5	43.6	32.4	88.3	24.1	2002	23.9	31.9	30.3	33.4	30.8
2003	-9.0	21.5	-4.7	26.1	0.1	2003	-23.9	-26.4	-19.6	-15.2	-18.8

współczynnik n coefficient n	rok year
 n < -50	skrajnie suchy extremely arid
 -30.1 > n ≥ -50	bardzo suchy very arid
 -10.1 > n ≥ -30	suchy arid
 -10 ≤ n ≤ 10	normalny normal
 10.1 < n ≤ 30	wilgotny humid
 30.1 < n ≤ 50	bardzo wilgotny very humid
 n > 50	skrajnie wilgotny extremely humid

4.2. Przebieg odpływu i opadów rocznych w wieloleciu

Tab. 18. Roczne współczynniki nadmiaru/niedoboru odpływu (nQ) i opadu (nP) w zlewni Wdy do profilu Czarna Woda w latach 1959-2003 i Kraplewice w latach 1965-2003. Objaśnienia pod tabelą 17 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Tab. 18. Annual excess/deficiency runoff coefficient (nQ) and precipitation coefficient (nP) in the Wda catchments down to the Czarna Woda station in the years 1959-2003 and the Kraplewice station in the years 1959-2003. Explanation below Tab. 17 (calculated on the basis of the IMGW data)

	nQ	[%]	nP	[%]		nQ	[%]	nP	[%]
	Czarna Woda	Kraplewice	Czarna Woda	Kraplewice		Czarna Woda	Kraplewice	Czarna Woda	Kraplewice
1959	1.7		-33.8		1980	-2.5	20.3	34.2	41.8
1960	-1.2		2.4		1981	22.8	41.2	12.7	12.6
1961	14.1		12.0		1982	10.6	32.0	-22.8	-27.9
1962	35.8		7.9		1983	-4.8	-0.5	-3.1	-12.7
1963	18.8		-10.2		1984	-12.4	0.8	-8.2	-6.1
1964	11.1		-30.0		1985	-1.9	5.8	-0.5	4.8
1965	-10.7	14.9	0.8	6.3	1986	-6.6	7.8	-6.8	-12.5
1966	-9.7	-10.8	-9.5	-10.7	1987	-6.2	-0.9	-4.5	-12.5
1967	13.1	12.5	21.4	20.7	1988	4.7	11.4	-3.9	-12.4
1968	32.7	22.6	9.0	10.6	1989	-7.1	-14.5	-15.5	-26.0
1969	-7.6	-10.9	-23.4	-16.4	1990	-12.3	-24.0	6.5	3.5
1970	1.7	9.4	24.4	21.4	1991	-18.0	-19.1	-4.7	-11.6
1971	23.2	4.6	6.9	4.5	1992	-31.4	-30.1	-24.7	-28.3
1972	12.1	-15.2	-0.2	-6.0	1993	-26.1	-27.9	-1.4	-5.3
1973	-1.8	-20.8	-4.1	-2.8	1994	-12.4	-11.4	-1.2	1.7
1974	23.6	0.8	33.5	27.5	1995	-2.3	-3.9	16.5	11.6
1975	25.5	2.9	-7.4	-8.2	1996	-13.1	-12.2	-6.5	-12.1
1976	-14.8	-14.4	-15.6	-9.9	1997	-17.9	-12.6	2.3	1.1
1977	-13.1	5.4	7.3	12.7	1998	-11.0	-4.5	24.3	19.4
1978	-25.1	-14.0	1.3	-5.2	1999	5.6	13.6	6.4	10.1
1979	-11.3	-7.2	-22.0	-20.3	2000	-2.4	0.8	2.4	-1.0
					2001	-5.4	2.6	23.2	30.9
					2002	30.8	40.5	29.2	28.7
					2003	1.2	4.9	-24.5	-22.2

W przypadku zlewni całkowitych różnice odpływu w poszczególnych latach są mniejsze (tab. 18). Wahania odpływu ze zlewni Wdy do Czarnej Wody i do Kraplewic mieszczą się w przedziale -31,4 do +41,2% w stosunku do wartości średniej wieloletniej. Zmienność odpływu nie jest zatem dużo mniejsza niż zmienność opadów, która zawiera się w przedziale -33,8 do +41,8%.

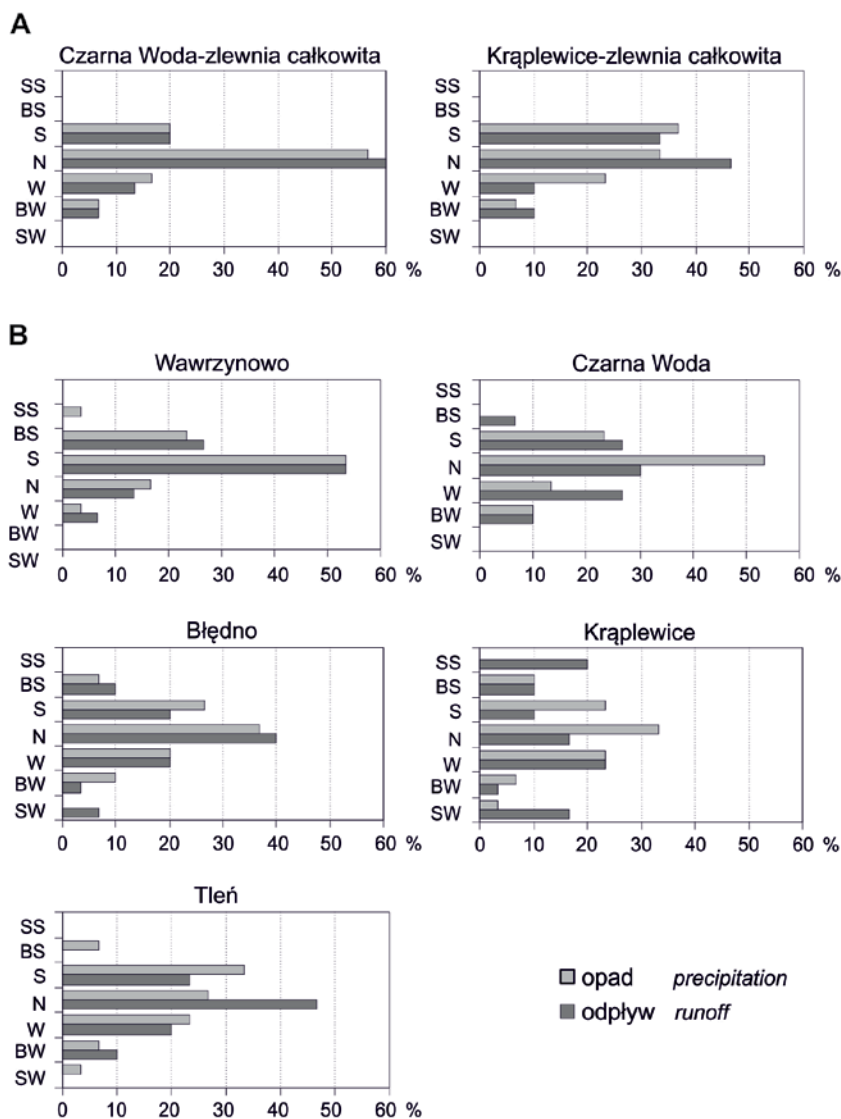
Porównując dane obliczone dla zlewni różnicowych (tab. 17) i całkowitych (tab. 18) można zauważyć, że odpływ generowany w górnej części zlewni Wdy (zlewnie Wawrzynowo, Czarna Woda, Tleń) wpływa na wyrównanie odpływu w biegu dolnym (zlewnie Błędno i Kraplewice).

Analizując przebieg odpływu w latach 1974-2003, zauważyć można, że wielolecie to rozpoczęło się serią lat suchych, która zaznaczyła się w Czarnej Wodzie od roku 1976 (tab. 17). W Krąplewicach okres suchy rozpoczął się nieco wcześniej – w roku 1969 (tab. 18). Na przełomie lat 70. i 80. rozpoczęła się seria lat o odpływach wyższych od średniej wieloletniej. Po nich nastąpił długi, bo trwający do końca lat 90., okres suchy, o odpływach zbliżonych bądź niższych od średniej. Z porównania przebiegu odpływu do opadów atmosferycznych wynika, że niedobory opadów pojawiły się trochę wcześniej niż niskie odpływy, bo już w roku 1982 i trwały ponad 10 lat (tab. 17). Od roku 1995 wysokość opadów w większości przewyższała średnią z wielolecia, natomiast zmiany w odpływie widoczne były dopiero w roku 1999. Wskazuje to na znaczne opóźnienie reakcji zlewni na wahania wysokości opadów atmosferycznych i pośrednio na dominujący udział zasilania podziemnego.

4.3. Częstość występowania lat normalnych, suchych i wilgotnych

Przedstawione różnice w zmienności i przebiegu odpływu w poszczególnych fragmentach zlewni Wdy znajdują potwierdzenie w częstości pojawiania się lat normalnych, suchych i wilgotnych (ryc. 23). Rozpatrując odpływ ze zlewni całkowitych (ryc. 23 A) zauważyć można, że do Czarnej Wody zdecydowanie przeważają lata normalne (60% przypadków), natomiast w Krąplewicach ich udział maleje (47%) na korzyść lat suchych (33%). Jednocześnie w żadnym z przekrojów nie pojawiają się lata o odpływie bardzo i skrajnie suchym oraz skrajnie wilgotnym. Porównanie odpływu do opadów wskazuje, że do profilu Czarna Woda rozkład częstości obydwu parametrów jest zbliżony, z największym udziałem lat normalnych w obydwu przypadkach. W odniesieniu jednak do fragmentu zamkniętego profilem Krąplewice ujawnia się mniejsza zgodność, zaznacza się tu bowiem większy udział lat o opadach niższych od średniej wieloletniej niż w górnym odcinku.

Dane obliczone dla zlewni różnicowych (ryc. 23 B) potwierdzają, że znaczna stabilność odpływu sumarycznego ze zlewni Wdy kształtowana jest w jej górnej części (do Wawrzynowa) oraz w zlewniach dopływów wykształconych w obrębie sandru, takich jak Prusina (zlewnia Tleń). W obydwu zlewniach różnicowych zaznacza się w odpływie przewaga lat normalnych, a także podobny udział lat suchych i wilgotnych, przy braku bardzo i skrajnie suchych. Na pozostałym obszarze rozkład częstości jest odmienny, maleje udział lat normalnych, natomiast wzrasta częstość pojawiania się lat suchych i bardzo suchych. Należy zauważyć, że w zlewni Czarna Woda udział lat o odpływie normalnym jest o 10% mniejszy niż w zlewni Błędno, zlokalizowanej bliżej ujścia Wdy. Największe różnice dotyczą jednak zlewni Krąplewice, w której odsetek lat o odpływie normalnym w wieloleciu 1974-2003 wyniósł zaledwie 17%, lat skrajnie i bardzo wilgotnych łącznie 20%, a skrajnie i bardzo suchych łącznie 30%.



Ryc. 23. Częstość wystąpienia lat suchych, normalnych i wilgotnych w okresie 1974-2003. A – w zlewniach całkowitych, B – w zlewniach różnicowych. Lata: SW – skrajnie wilgotne, BW – bardzo wilgotne, W – wilgotne, N – normalne, S – suche, BS – bardzo suche, SS – skrajnie suche; kryteria podziału w tabeli 17 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 23. Frequency of arid, normal and humid years in the period from 1974 to 2003. A – catchments, B – subcatchments. Years: SW – extremely humid, BW – very humid, W – humid, N – normal, S – arid, BS – very arid, SS – extremely arid; criteria of classification below Tab. 17 (prepared on the basis of the IMGW data)

Można też zauważyć, że największe niezgodności w rozkładzie odpływu w stosunku do opadów występują w zlewniach Czarna Woda i Krąplewice (ryc. 23 B), co potwierdza zauważoną wcześniej wyższą nieregularność odpływu z tych fragmentów, związaną z większym natężeniem użytkowania wód.

4.4. Wieloletnie tendencje odpływów i opadów rocznych

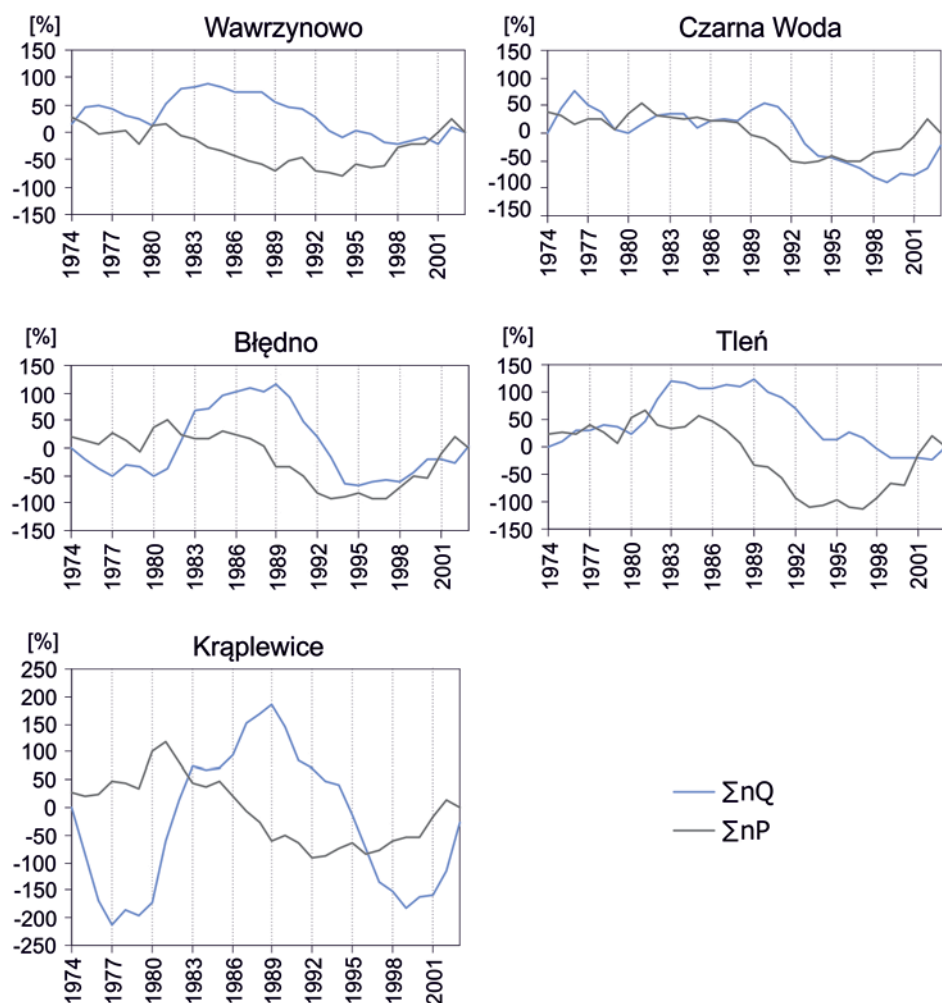
Krzywe kumulacyjne współczynnika nadmiaru/niedoboru odpływu i opadów

Na podstawie zaprezentowanych na ryc. 24 krzywych kumulacyjnych przeanalizować można tendencje odpływu w poszczególnych zlewniach różnicowych. We wszystkich zlewniach, oprócz Czarnej Wody, widoczny jest wzrost odpływu w latach 1980-1983. W kolejnym okresie w zlewni Wawrzynowo miała miejsce trwała tendencja spadkowa odpływu. W zlewniach Krąplewice i Błędno do roku 1989 notowany był dalszy wzrost, podczas gdy w zlewni Tleń odpływ utrzymywał się na stałym poziomie. Od roku 1990 zanotowano we wszystkich zlewniach tendencję malejącą, trwającą do końca lat 90. (w zlewni Błędno do roku 1995). Zdecydowanie odmienny przebieg odpływu, w porównaniu do pozostałych obszarów, odnotowano w zlewni Czarna Woda. Od połowy lat 70. do końca lat 80. krzywa kumulacyjna wykazuje inny kształt niż w pozostałych zlewniach. Cechują ją krótkotrwałe wahania, bez wyraźnych dłuższych tendencji. Od końca lat 80. krzywa przybiera podobny przebieg jak na pozostałym obszarze. W zlewni Czarna Woda doszło do dość znacznej zmiany w sposobie gospodarowania wodą w latach 80., polegającej na stopniowym wzroście przepływu w korycie Wdy, a zmniejszaniu objętości wody wykorzystywanej do nawodnień rolniczych.

Układ krzywych kumulacyjnych wskazuje też na wspomniane już wcześniej opóźnienie odpływów rocznych w stosunku do opadów. Świadczy o tym przesunięcie punktów zmiany tendencji pierwszego parametru w stosunku do drugiego o około trzy lata.

Krzywe konsekwentne odpływów jednostkowych i opadów

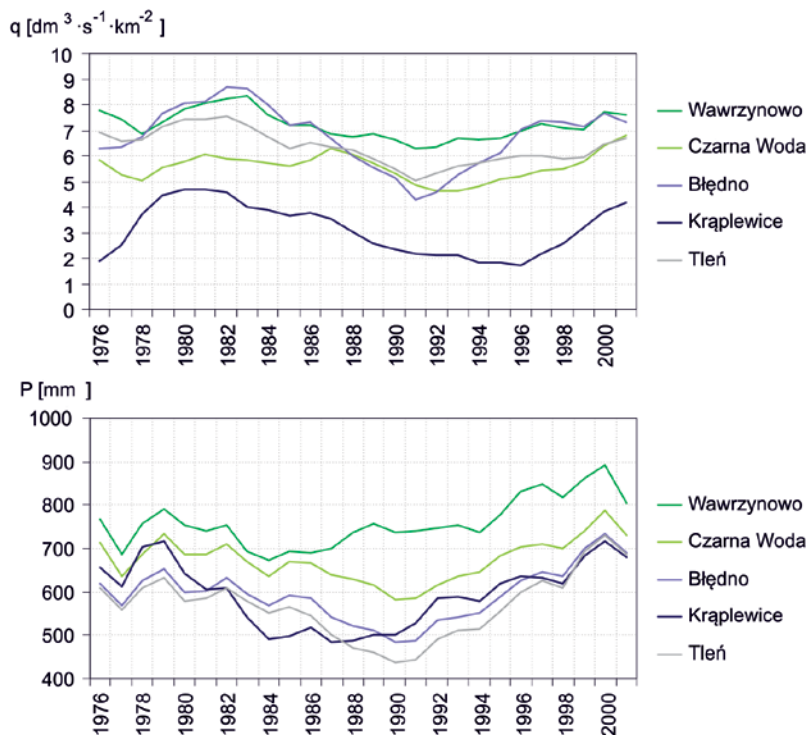
W przebiegu wygładzonych krzywych odpływów jednostkowych (ryc. 25) dużo wyraźniej niż w przypadku analizy danych z poszczególnych lat zaobserwować można odmienną dwóm zlewniom różnicowym: Czarna Woda i Krąplewice. W pierwszej z nich widoczny jest inny niż na pozostałym obszarze przebieg krzywej w pierwszej połowie analizowanego wielolecia, co zauważono też na wykresie skumulowanych wartości współczynnika nadmiaru/niedoboru odpływu (ryc. 24). Odpływ ze zlewni Czarna Woda do końca lat 80. był niższy w stosunku do zlewni Wawrzynowo, Błędno i Tleń o około $1,5-2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$. Następnie jego wartość uległa zwiększeniu do poziomu porównywalnego do pozostałych zlewni.



Ryc. 24. Krzywe kumulacyjne rocznych współczynników nadmiaru/niedoboru odpływu (nQ) i opadów (nP) obliczonych dla zlewni różnicowych dla lat 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)
Fig. 24. Cumulative curves for the annual excess/deficiency runoff coefficient (nQ) and precipitation coefficient (nP) in subcatchments in the years 1974-2003 (calculated on the basis of the IMGW data)

Podobnie wcześniej już stwierdzono, że średni wieloletni odpływ jednostkowy ze zlewni różnicowej Krąplewice jest niższy niż odpływy z pozostałej części zlewni Wdy (tab. 14). Cecha ta widoczna była w całym analizowanym wieloleciu, a odpływy były w poszczególnych latach niższe o około $2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ niż na pozostałym obszarze (ryc. 25).

Należy zaznaczyć, że ani niższe odpływy w pierwszej części analizowanego okresu w przypadku zlewni Czarna Woda, ani w całym okresie w przypadku zlewni Krąplewice, nie znajdują uzasadnienia w wysokości i przebiegu opadów atmosferycznych (ryc. 25).



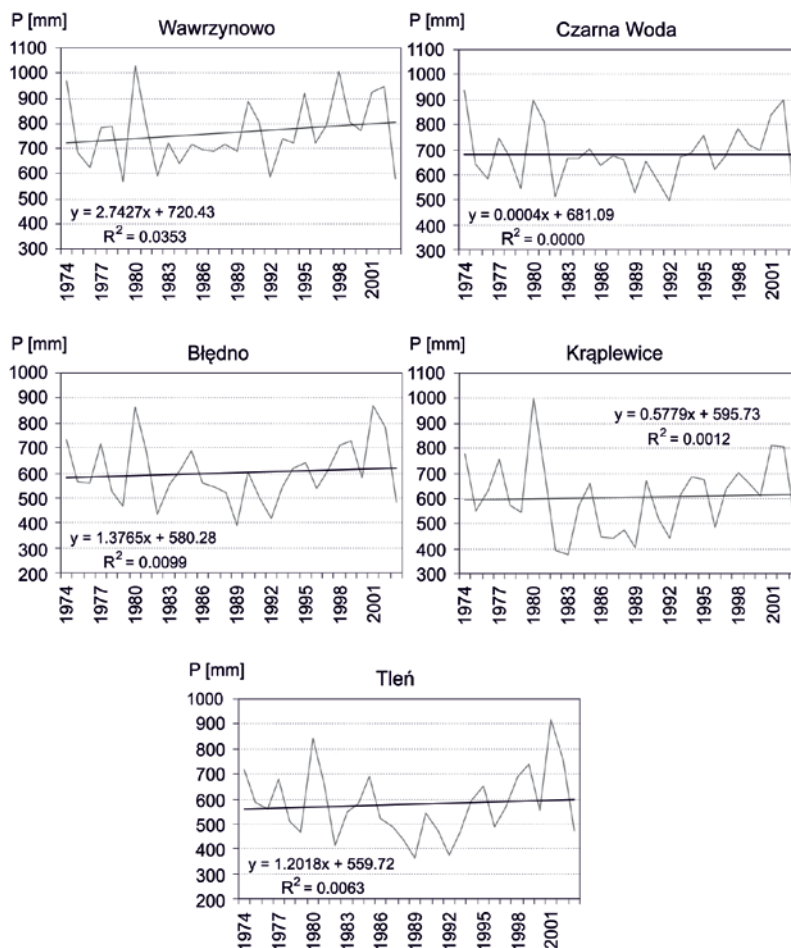
Ryc. 25. Krzywe konsekwentne (okresy pięcioletnie) rocznych odpływów jednostkowych (q) i rocznych sum opadów atmosferycznych (P) w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 25. Consecutive curves (5-year periods) depicting mean annual specific discharges (q) and total annual precipitation (P) in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

Trendy liniowe odpływów jednostkowych na tle opadów

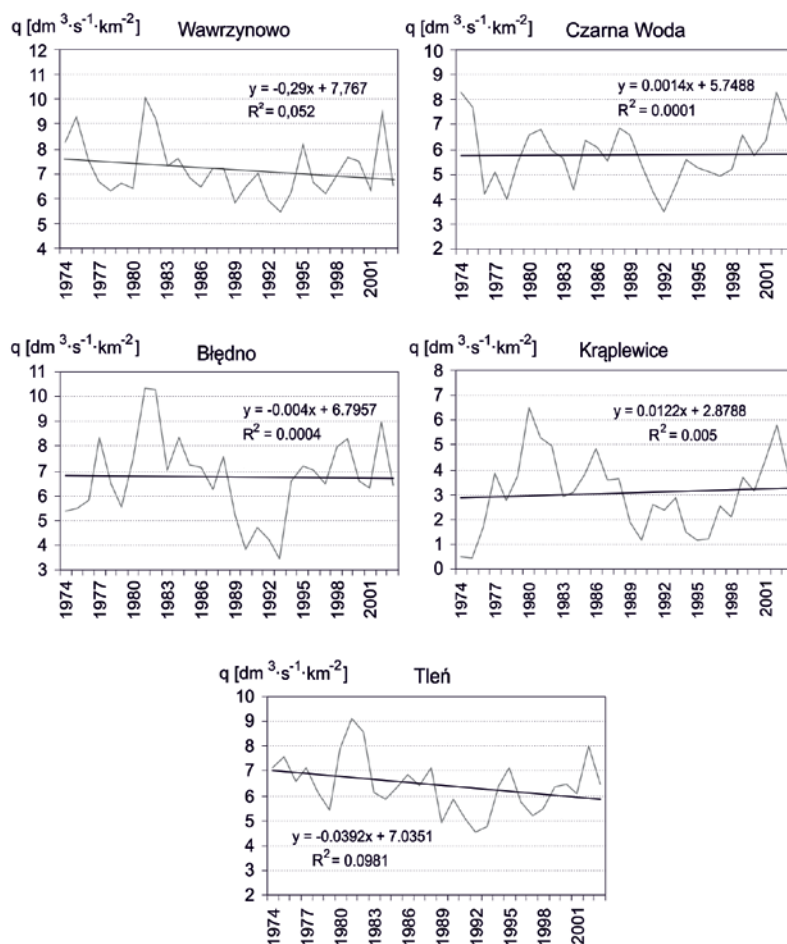
We wszystkich zlewniach różnicowych, oprócz Czarnej Wody, zauważyć można w badanym wieloleciu 1974-2003 nieznaczny trend wzrostu opadów atmosferycznych (ryc. 26), w żadnym przypadku jednak tendencja nie jest istotna statystycznie (tab. 19).

Proste regresji odpływów jednostkowych wykazują odmienną tendencję – spadkową w zlewniach Wawrzynowo i Tleń, w ostatnim przypadku istotną statystycznie na poziomie 0,1 (tab. 19, ryc. 27). W zlewniach Czarna Woda i Błędno nie uwidoczniła się żadna tendencja, natomiast w zlewni Krąplewice odpływy wykazują nieznaczną tendencję wzrostową. Zastanawiające jest, że pomimo wzrostu opadów w zlewniach Wawrzynowo i Tleń, zaznaczył się w ich przypadku spadkowy trend odpływu jednostkowego.



Ryc. 26. Przebieg i tendencje zmian rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 26. The course and trends regarding total annual precipitation in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)



Ryc. 27. Przebieg i tendencje zmian średnich rocznych odpływów jednostkowych w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 27. The course and trends regarding mean annual specific discharges in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

Wielokrotnie już zwracano uwagę, że parametry statystyczne danych hydrologicznych są, ze względu na różnorodność czynników kształtujących procesy hydrologiczne, trudne do interpretacji, a uzyskane wyniki należy wyjaśnić związkiem przyczynowo-skutkowym, przy uwzględnieniu jak największej liczby czynników (Choiński, 1988; Rotnicka, 1988). B. Fal (1993) stwierdza, że w analizie tendencji metodą regresji liniowej należy zwrócić uwagę na wartości parametrów w końcowej części badanego okresu.

Tab. 19. Tendencje zmian średnich rocznych odpływów jednostkowych i rocznych sum opadów w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach różnicowych; i – korelacja istotna statystycznie, n – korelacja nieistotna statystycznie (opracowano na podstawie danych IMGW)

Tab. 19. Trends regarding mean annual specific discharges and total annual precipitation in subcatchments in the years 1974-2003; i – statistically significant correlation, n – statistically insignificant correlation (calculated on the basis of the IMGW data)

Zlewnia różnicowa <i>Subcatchment</i>	Równanie regresji liniowej <i>Linear regression equation</i>	Współczynnik determinacji <i>Coefficient of determination</i>	Istotność korelacji <i>Significance of correlation</i>
Odpływ jednostkowy <i>Specific discharge</i>			
Wawrzynowo	$y = -0,0298x + 7,7673$	0,0525	n
Czarna Woda	$y = 0,014x + 5,7488$	0,0001	n
Błędno	$y = -0,004x + 6,7957$	0,0004	n
Krąplewice	$y = 0,0122x + 2,8788$	0,0050	n
Tleń	$y = -0,0392x + 7,0351$	0,0981	i (0,1)
Opad <i>Precipitation</i>			
Wawrzynowo	$y = 2,7427x + 720,43$	0,0353	n
Czarna Woda	$y = 0,0004x + 681,09$	0,0000	n
Błędno	$y = 1,3765x + 580,28$	0,0099	n
Krąplewice	$y = 0,5779x + 595,73$	0,0012	n
Tleń	$y = 1,2018x + 559,72$	0,0063	n

Tendencja wzrostowa opadów w zlewniach Wawrzynowo, Błędno i Tleń była związana z tym, że opady były na tym obszarze wyższe w ostatnich latach analizowanego przedziału czasowego (od połowy lat 90.) niż w pozostałych zlewniach. Odmienność tendencji odpływu jednostkowego w poszczególnych zlewniach może też wynikać z faktu, że w zlewniach Błędno i Krąplewice w początku wielolecia wystąpiły lata o niskich odpływach, natomiast w trzech pozostałych wręcz przeciwnie – lata 1974 i 1975 można zaliczyć do wilgotnych (tab. 19, ryc. 27).

W zlewni Czarna Woda brak tendencji spadkowej jest spowodowany relatywnie (w porównaniu do pozostałego obszaru) niskimi odpływami jednostkowymi w latach 1980-1983. Jak wiadomo, w okresie tym zanotowano bardzo wysokie sumy opadów atmosferycznych, ze szczególną kulminacją latem 1980 roku. Sumy opadów półroczna letniego osiągnęły wtedy w zlewni Wdy wartości powyżej 600 mm. Reakcja Wdy na ten wzrost opadów widoczna była w górnej części zlewni (Wawrzynowo) dopiero w następnym roku, lecz w jej dolnym odcinku, reprezentowanym przez zlewnię Krąplewice, już w roku 1980.

W zlewni różnicowej Czarna Woda natomiast w czasie wysokich opadów wykorzystano możliwości retencji wody zarówno w jeziorze Wdzydze, jak też w dolinie Niechwaszczy. W przypadku jeziora Wdzydze maksymalny stan wody osiągnął w roku 1980 wartość zbliżoną do maksymalnych stanów wody notowanych do lat 60. XX wieku (ryc. 15). W zlewni Niechwaszczy system zastawek znajdujących się na rzece głównej oraz jej dopływach pozwolił na zalanie wodą znacznej powierzchni zlewni. Niższe, w porównaniu do pozostałego obszaru, odpływy jednostkowe lat 1980 i 1981 w zlewni różnicowej Czarna Woda były zatem spowodowane większymi stratami w wyniku parowania i transpiracji, związanymi z maksymalnym wykorzystaniem w tym okresie możliwości retencyjnych, stwarzanych przez sztuczne systemy hydrotechniczne. Woda została zatrzymana w okresie letnim, czyli wtedy, gdy straty są największe. Wyraźne obniżenie odpływu zarejestrowane w pierwszej połowie lat 80. daje wyobrażenie oddziaływania systemów hydrotechnicznych na odpływ w czasie najbardziej intensywnych nawodnień, prowadzonych od końca XIX wieku do lat 60. XX wieku, kiedy wykorzystywano 1,5-metrową warstwę użytkową w jeziorze Wdzydze. W okresie tym uzyskiwano na łąkach trzy pokosy traw, stosując intensywne nawodnienia od maja do sierpnia. Istotny wpływ nawodnień na odpływ w roku mokrym pozwala jednocześnie przypuszczać, że w czasie lat suchych, kiedy parowanie i transpiracja były większe, a dopływ wody znacznie mniejszy, następowało bardzo istotne uszczuplenie zasobów wodnych w zlewni.

W zlewni Wawrzynowo na znaczne zredukowanie wysokich odpływów jednostkowych w roku 1980 mogła wpłynąć duża liczba jezior przepływowych. Niektóre jeziora wchodzące w skład rzeczno-jeziornego systemu Trzebiochy stwarzają możliwość dodatkowego zatrzymania wody w sytuacjach wyjątkowych, za pomocą zastawek zainstalowanych na wypływających z nich ciekach. Relatywnie (w stosunku do innych lat) wysoka wartość odpływu w tym roku w zlewni Krąplewice związana była natomiast z opróżnieniem zbiorników Żur i Gródek do minimalnego dopuszczalnego poziomu, w celu przygotowania ich na przyjęcie wód wezbraniowych. Pomimo niewielkich możliwości retencyjnych, pełnią one funkcję przeciwpowodziową w czasie katastrofalnych wezbrań.

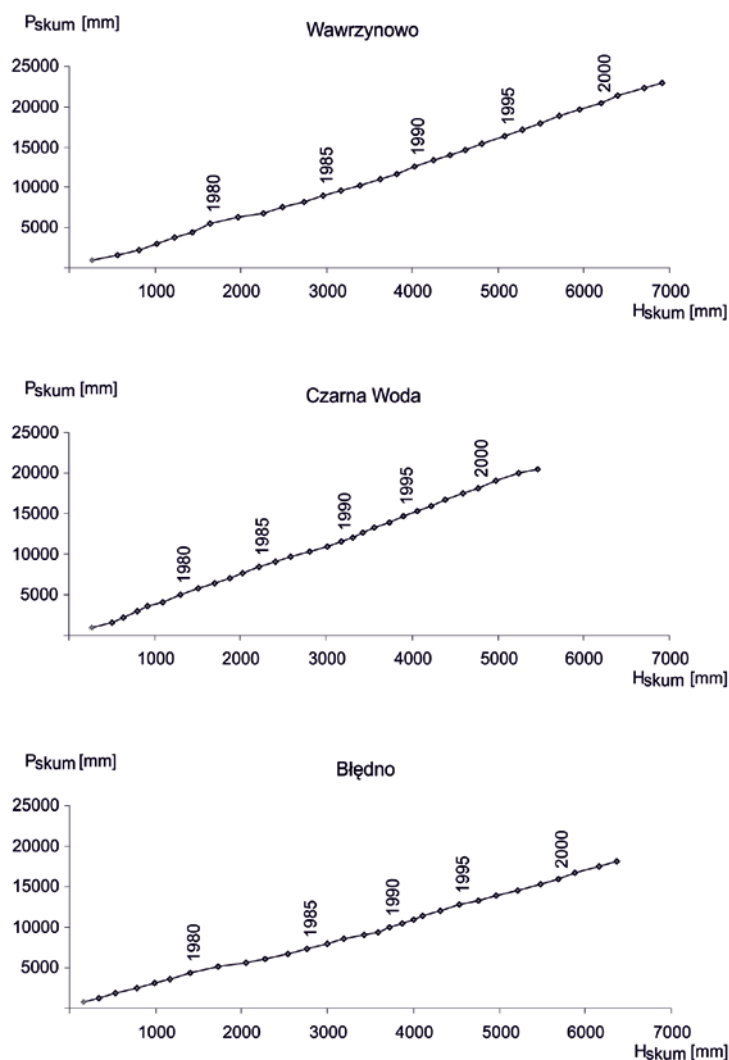
Z powyższych rozważań wynika, że w zlewni Wdy istnieją znaczące możliwości sterowania odpływem w sytuacjach zagrożenia powodziowego. Sprzyja temu duża liczba urządzeń umożliwiających regulację odpływu, a także niewielka liczba miejscowości położonych na terenach narażonych na ewentualne zalanie w czasie nadmiernego piętrzenia wód.

4.5. Zmiany relacji opad-odpływ i nieregularności przepływów w wieloleciu

Podwójne krzywe kumulacyjne opadów i odpływów

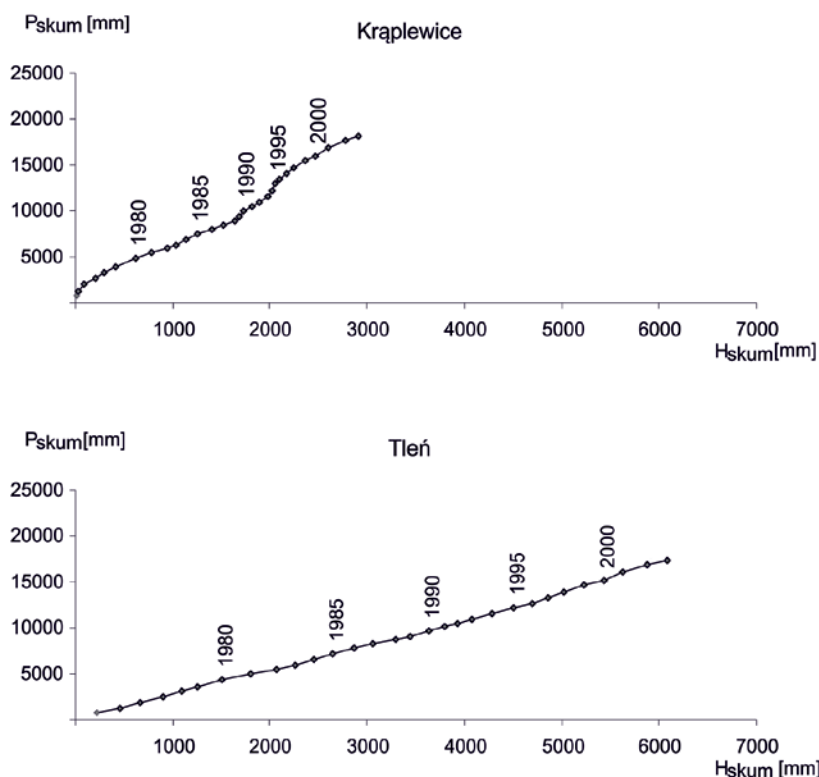
Przebieg podwójnych krzywych kumulacyjnych opadów i odpływów wskazuje, że w przypadku dwóch zlewni – Czarna Woda i Krąplewice, krzywe są zdecydowanie krótsze niż w przypadku pozostałych obszarów. Wynika to z relatywnie niskich odpływów, przy podobnej jak w pozostałych zlewniach wysokości opadów atmosferycznych (ryciny 28 i 29). Jest to szczególnie widoczne w zlewni Krąplewice, ale także zauważalne w zlewni Czarna Woda. Z przebiegu krzywych wynika również, że najmniej stabilne warunki odpływu w badanym wieloleciu panowały w zlewni Krąplewice (ryc. 29). Świadczą o tym częste zmiany nachylenia krzywej, które dowodzą znacznych zaburzeń w relacji opad-odpływ. Największe zmiany nachylenia krzywej wystąpiły w latach 1989-1998 (ryc. 29), czyli w czasie kumulacji lat suchych (tab. 17). W okresach suchych wzrasta zatem wpływ kaskady na wielkość odpływu. Wcześniej stwierdzono już, że pomimo podobnych do innych zlewni wysokości opadów atmosferycznych, odpływ ze zlewni Krąplewice jest o prawie połowę niższy, co potwierdza przebieg podwójnej krzywej kumulacyjnej. Jednocześnie pamiętać należy, że elektrownie wodne korzystają z przepływu Wdy, będącego sumą dopływu ze zlewni różnicowych Wawrzynowo, Czarna Woda, Błędno, Tleń i częściowo Krąplewice, który wykazuje mniejszą nieregularność niż odpływ z poszczególnych zlewni różnicowych. Odnosząc się jednak do wcześniejszych rozważań można przypuszczać, że w okresie kiedy jednocześnie bardzo intensywnie wykorzystywano systemy nawadniające oraz kaskadę hydroenergetyczną, czyli od lat 20. do lat 60. XX wieku, dochodziło okresowo do znaczącego zmniejszania objętości przepływu Wdy. Ten wpływ odczuwany był prawdopodobnie na całym odcinku Wdy od jeziora Wdzydze do ujścia do Wisły. Prawdopodobnie także w tym przedziale czasowym wystąpiły największe wahania przepływu w cyklu rocznym.

W pozostałych analizowanych zlewniach różnicowych podwójne krzywe kumulacyjne wykazują jedynie niewielkie załamania (ryc. 28 i 29). Fakt, że pojawiają się one wszędzie mniej więcej w tym samym czasie świadczy, że są spowodowane przez czynnik lub czynniki, które oddziaływały na odpływ na całym badanym obszarze. Taka zmiana relacji opad-odpływ miała miejsce w pierwszej połowie lat 80., kiedy sumy opadów atmosferycznych przekroczyły średnie wieloletnie o ponad 30-60% (tab. 17).



Ryc. 28. Podwójna krzywa kumulacyjna opadów (P) i odpływów (H) rocznych w zlewniach różnicowych Wawrzynowo, Czarna Woda i Błędno w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 28. Double cumulative curves of total annual precipitation (P) and runoff (H) in the subcatchments of Wawrzynowo, Czarna Woda and Błędno in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

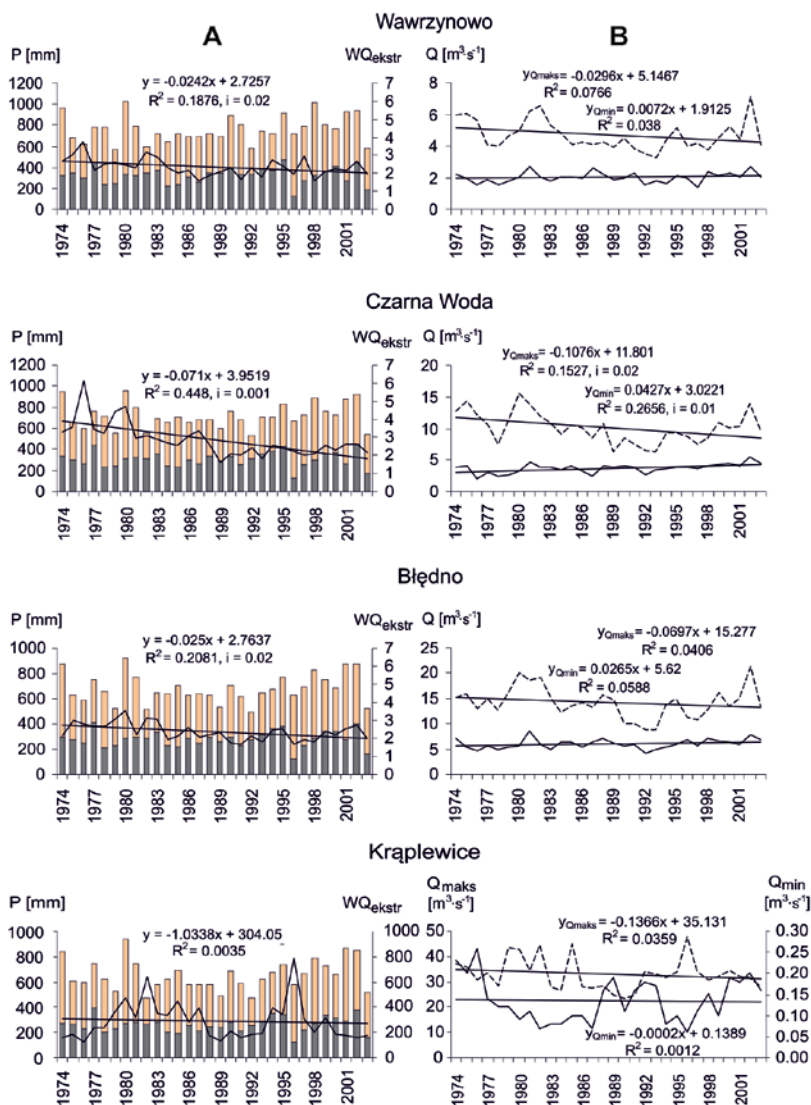


Ryc. 29. Podwójna krzywa kumulacyjna opadów (P) i odpływów (H) rocznych w zlewniach różnicowych Krąplewice i Tleń w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 29. Double cumulative curves of total annual precipitation (P) and runoff (H) in the subcatchments of Krąplewice and Tleń in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

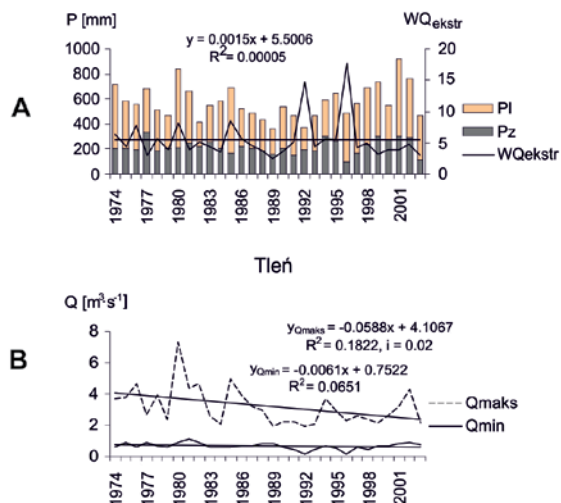
Przebieg i tendencje współczynnika nieregularności przepływów

Współczynnik nieregularności przepływów, obliczony jako iloraz przepływu maksymalnego i minimalnego odnosi się do przepływów chwilowych w profilu rzeczonym, charakteryzuje więc zlewnie całkowite, a nie różnicowe. Na podstawie przebiegu współczynnika w wieloleciu 1974-2003 można stwierdzić, że najczęściej najwyższe wartości przyjmował on w latach, kiedy opady osiągały sumy bardzo wysokie lub bardzo niskie (ryciny 30 A i 31 A). W latach o opadach przeciętnych wartość współczynnika była zazwyczaj niższa. Przebieg prostych regresji w profilach Wawrzynowo, Czarna Woda i Błędno wskazuje na istotny statystycznie trend malejący nieregularności przepływów w badanym okresie (ryc. 30 A).



Ryc. 30. Przebieg i tendencje zmian współczynnika nierówności przepływów na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach różnicowych – A oraz przebiegu przepływów ekstremalnych – B w latach 1974-2003: WQ_{ekstr} – współczynnik nierówności przepływów, P – opad roczny, Q_{maks} – przepływ maksymalny, Q_{min} – przepływ minimalny; pozostałe objaśnienia na ryc. 31 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 30. The course and trends regarding the annual runoff irregularity coefficient against the background of total annual precipitation in subcatchments – A and the course of maximum and minimum annual discharges – B in the years 1974-2003: WQ_{ekstr} – runoff irregularity coefficients, P – total annual precipitation, Q_{maks} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge; remaining explanations in Fig. 31 (prepared on the basis of the IMGW data)

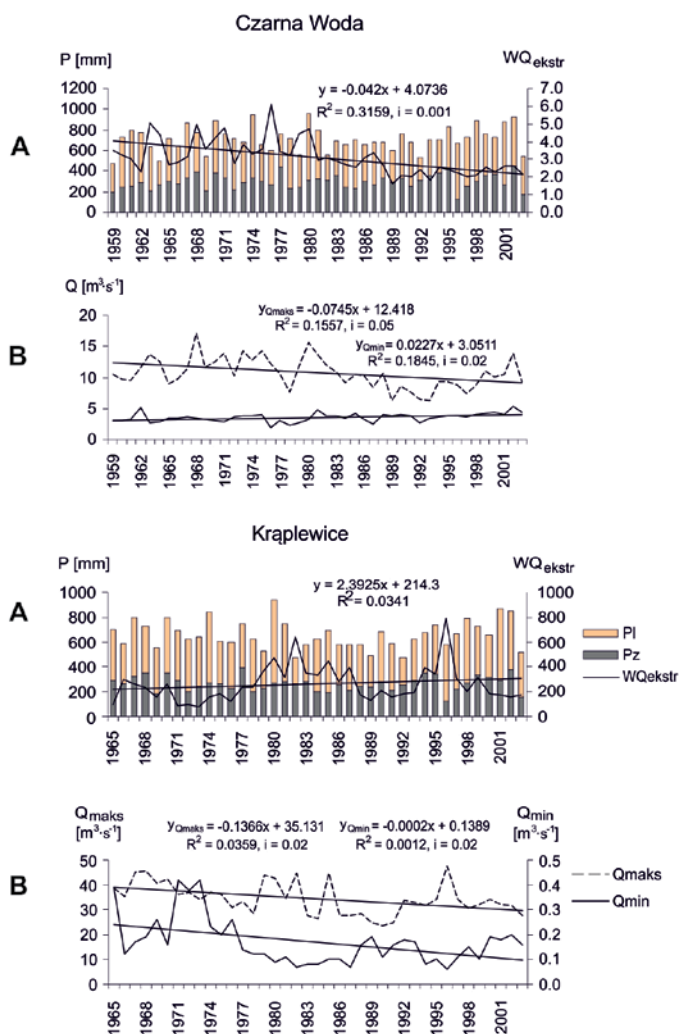


Ryc. 31. Przebieg i tendencje zmian współczynnika nieregularności przepływów na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach różnicowych – A oraz przebiegu przepływów ekstremalnych – B w latach 1974-2003: WQ_{ekstr} – współczynnik nieregularności przepływów, P – opad roczny, Pl – suma opadu z miesięcy V-X, Pz – suma opadu z miesięcy XI-V, Q_{maks} – przepływ maksymalny, Q_{min} – przepływ minimalny (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 31. The course and trend of the annual runoff irregularity coefficient against the course of total annual precipitation in subcatchments – A and the course of maximum and minimum annual discharges – B in the years 1974-2003: WQ_{ekstr} – runoff irregularity coefficients, P – total annual precipitation, Pl – total precipitation for the months V-X, Pz – total precipitation for the months XI-V, Q_{maks} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge (prepared on the basis of IMGW data)

Jak stwierdzono wcześniej, jednym z wyznaczników intensywności użytkowania wód w zlewni Wdy jest wyższa niż na pozostałych obszarach nieregularność przepływów i odpływu w zlewniach Czarna Woda i Krąplewice. Zmniejszenie intensywności nawodnień rolniczych w zlewni Czarna Woda ujawnia się w postaci trendu malejącego współczynnika nieregularności przepływów w profilu Czarna Woda (ryc. 30 A). W tym przypadku wynika to z występującego równocześnie zmniejszenia przepływów maksymalnych i istotnego statystycznie wzrostu przepływów minimalnych (ryc. 30 B). Tendencja spadkowa przepływów maksymalnych widoczna jest natomiast także w pozostałych profilach.

W Krąplewicach przepływy minimalne były przez cały badany okres bliskie zeru, co jest efektem pracy kaskady hydroenergetycznej. W efekcie współczynnik nieregularności przyjmował bardzo wysokie wartości, wahające się w granicach od 200 do 800 (ryc. 30, tab. 14).



Ryc. 32. Przebieg i tendencje zmian współczynnika nieregularności przepływów na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach całkowitych Czarna Woda (1959-2003) i Krąplewice (1965-2003) – A oraz przebiegu przepływów ekstremalnych – B: WQ_{ekstr} – współczynnik nieregularności przepływów, P – opad roczny, PI – suma opadu z miesięcy V-X, Pz – suma opadu z miesięcy XI-V, Q_{maks} – przepływ maksymalny, Q_{min} – przepływ minimalny (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 32. The course and trends regarding the annual runoff irregularity coefficient against the background of total annual precipitation in the Czarna Woda (1959-2003) and Krąplewice (1965-2003) catchments – A and the course of maximum and minimum annual discharges – B: WQ_{ekstr} – runoff irregularity coefficient, P – total annual precipitation, PI – total precipitation in the May-Oct period, Pz – total precipitation in the Nov-May period, Q_{maks} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge (prepared on the basis of the IMGW data)

W Tleniu, pomimo wyraźnego obniżenia od końca lat 90. przepływów maksymalnych, spowodowanego odnowieniem piętrzenia w miejscowości Zawada, współczynnik nieregularności przepływów rocznych nie uległ zmniejszeniu. Jest to spowodowane bardzo niskimi przepływami minimalnymi w czasie suchych lat 90. (ryc. 31).

Na ryc. 32 przedstawiono tendencje zmian współczynnika nieregularności przepływów w profilach Czarna Woda i Krąplewice w odniesieniu do dłuższych szeregów czasowych. W przypadku przekroju Czarna Woda, na podstawie danych z lat 1959-2003, wyraźnie zauważyć można zmianę wysokości współczynnika nieregularności od początku lat 80. (ryc. 32 A). Do tego czasu przepływy charakteryzowały się dużo większą nieregularnością. Średnia wartość współczynnika z lat 1959-1980 wyniosła 3,8, podczas gdy z kolejnego wielolecia 1981-2003 tylko 2,5.

W profilu Krąplewice znaczne wahania przepływu występowały w całym wieloleciu 1965-2003 (ryc. 32 A), przy czym zanotowano w tym okresie spadek zarówno przepływów maksymalnych, jak też minimalnych (ryc. 32 B). Należy zwrócić jednak uwagę, że trend ten wymierne wartości przybiera w odniesieniu do przepływów maksymalnych, które zmniejszyły się z ponad $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w połowie lat 60. XX wieku do $30\text{-}35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w końcu lat 90. Tendencja ta przerywana była przez wysokie przepływy maksymalne w pojedynczych latach, przy czym zauważyć można, że występowały one w latach o wysokich opadach półroczu letniego (na przykład rok 1980 czy 1996) (ryc. 32 B). Jak już wspomniano wcześniej, w trakcie wysokich opadów letnich zbiorniki zaporowe wykorzystywane są do zredukowania wysokości fal wezbraniowych. Trend malejący przepływów maksymalnych (za wyjątkiem sytuacji wyjątkowych) należy prawdopodobnie wiązać ze zmianą trybu pracy kaskady hydroenergetycznej, która od roku 2000 wykorzystuje bieżący dopływ, a nie jak wcześniej, wodę gromadzoną w czasie dni wolnych od pracy. Trend ten może też być spowodowany przez generalnie niskie odpływy w latach 90. (tab. 17). Tendencja malejąca przepływów minimalnych jest mniej znacząca ze względu na ich generalnie bardzo niskie wartości. W badanym wieloleciu zmniejszyły się one z średnio $0,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w latach 1965-1976 do $0,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w latach 1977-2003.

4.6. Zmiany koncentracji odpływu i opadów w wieloleciu

Na podstawie wskaźnika koncentracji GMO można ocenić antropogeniczne przekształcenia reżimu hydrologicznego w skali wielolecia. Różnice wartości wskaźnika w poszczególnych zlewniach informują też o zróżnicowaniu przestrzennym nasilenia antropopresji.

Z obliczonych średnich wartości wskaźnika w wieloleciu 1974-2003 wynika, że opady wykazywały w zlewni Wdy generalnie nieznacznie wyższą koncentrację niż odpływ (tab. 20). Można jednak zauważyć, że wartości wskaźnika są w przypadku opadów we wszystkich zlewniach różnicowych zbliżone, podczas gdy odpływ wykazuje zdecydowanie wyższą koncentrację w zlewni Krąplewice niż na pozostałym obszarze.

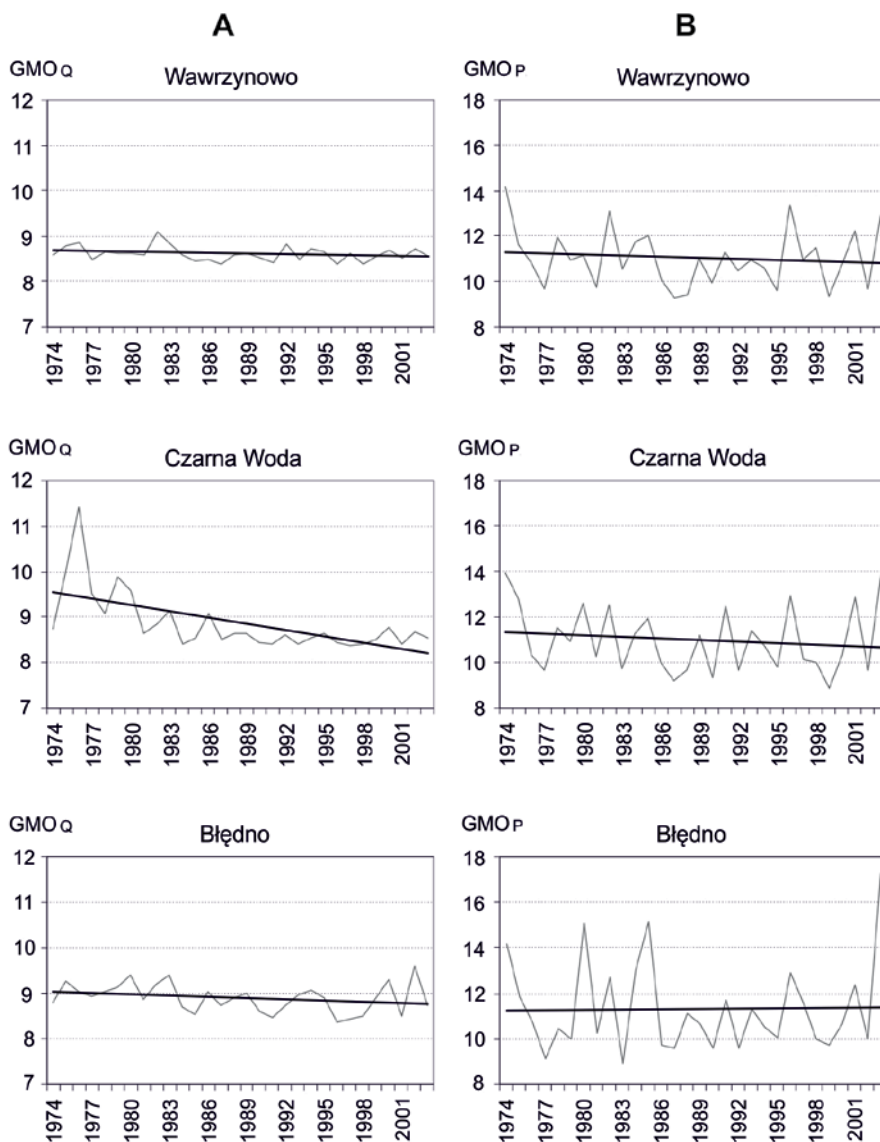
Tab. 20. Średnie wartości wskaźnika koncentracji odpływów (GMO_Q) i opadów (GMO_p) oraz tendencje zmian wskaźnika w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach różnicowych; i – korelacja istotna statystycznie, n – korelacja nieistotna statystycznie (opracowano na podstawie danych IMGW)

Tab. 20. Mean runoff concentration coefficient (GMO_Q) and precipitation concentration coefficient (GMO_p), and trends regarding changes in the runoff and precipitation concentration coefficient in the years 1974-2003 in subcatchments; i – statistically significant correlation, n – statistically insignificant correlation (calculated on the basis of the IMGW data)

Zlewnia różnicowa <i>Subcatchment</i>	GMO	Równanie regresji liniowej	Współczynnik determinacji	Istotność korelacji
Odpływ <i>Runoff</i>	GMO_Q	<i>Linear regression equation</i>	<i>Coefficient of determination</i>	<i>Significance of correlation</i>
Wawrzynowo	8,61	$y = -0,0048x + 8,6863$	0,0708	n
Czarna Woda	8,87	$y = -0,0465x + 9,5864$	0,3886	i (0,0001)
Błędno	8,90	$y = -0,0098x + 9,0515$	0,0752	n
Krąplewice	11,46	$y = -0,217x + 14,825$	0,1701	i (0,05)
Tleń	8,82	$y = -0,0048x + 8,8972$	0,0158	n
Opad <i>Precipitation</i>	GMO_p			
Wawrzynowo	11,04	$y = -0,0165x + 11,291$	0,0132	n
Czarna Woda	10,99	$y = -0,0243x + 11,366$	0,0216	n
Błędno	11,33	$y = 0,0044x + 11,259$	0,0004	n
Krąplewice	11,63	$y = -0,0267x + 12,047$	0,0105	n
Tleń	11,52	$y = 0,0061x + 11,428$	0,0006	n

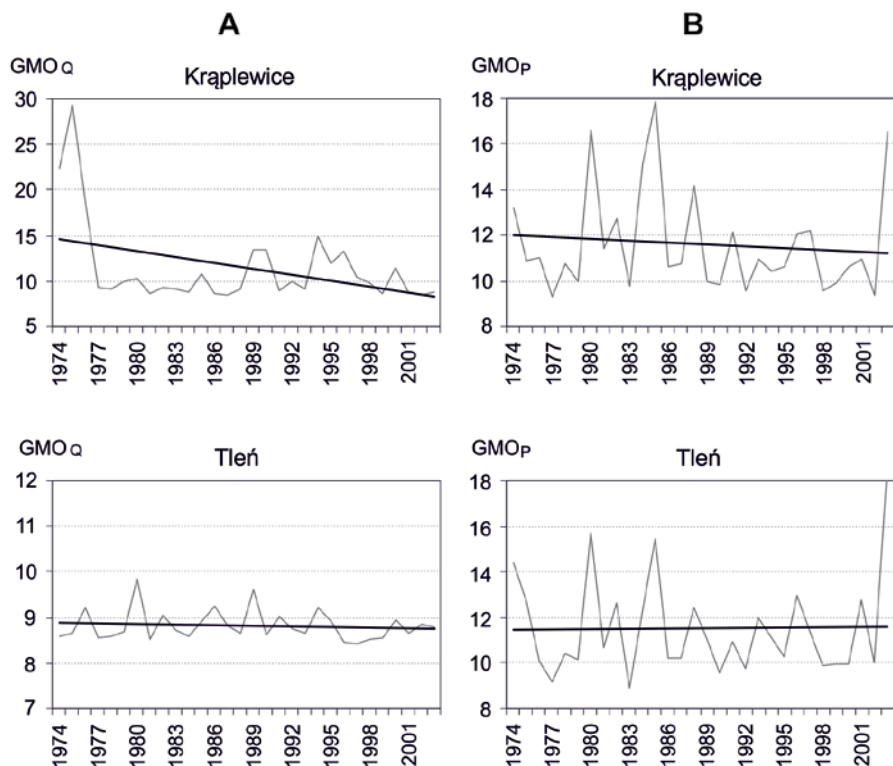
Interesująco przedstawiają się zmiany wskaźnika koncentracji odpływu w poszczególnych latach. W zlewniach Wawrzynowo, Błędno oraz Tleń jego wartość wykazywała małe wahania w wieloleciu i brak wyraźnych trendów wzrostowych lub spadkowych (ryc. 33 A i 34 A, tab. 20). Na uwagę zasługuje natomiast odmienny przebieg wskaźnika w zlewniach Czarna Woda i Krąplewice. W wieloleciu 1974-2003 wystąpił wyraźny, istotny statystycznie, spadek koncentracji odpływu w obydwu zlewniach różnicowych (ryc. 33 A i 34 A, tab. 20).

W zlewni Krąplewice zauważyć można niezgodność w przebiegu koncentracji odpływu i opadów w badanym okresie (ryc. 34 A i B). Z przebiegu linii trendu wskaźnika koncentracji odpływu (ryc. 34 A) wynika, że ujemna, istotna statystycznie tendencja (tab. 20), spowodowana jest głównie przez bardzo wysokie, przekraczające 30, wartości w pierwszych latach analizowanego okresu. Podobną wysokość wskaźnika GMO dla rzek rosyjskich, z odpływem zniekształconym przez pracę zbiorników retencyjnych: Oka – 28,86, Wołga w środkowym biegu – 16,45 i Don – 18,34 podaje R. Soja (2002). Od roku 1977 wartość wskaźnika osiągnęła w zlewni Krąplewice poziom nieznacznie wyższy niż w pozostałych zlewniach, pomimo bardzo wysokiej koncentracji opadów.



Ryc. 33. Przebieg oraz tendencje zmian rocznych współczynników koncentracji odpływów (GMO_Q) – A i opadów (GMO_P) – B w zlewniach różnicowych Wawrzynowo, Czarna Woda i Błędno w wieloletciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 33. The course and trends regarding the annual runoff concentration coefficient (GMO_Q) – A and annual precipitation concentration coefficient (GMO_P) – B in the Wawrzynowo, Czarna Woda and Błędno subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)



Ryc. 34. Przebieg oraz tendencje zmian rocznych współczynników koncentracji odpływów (GMO_Q) – A i opadów (GMO_P) – B w zlewniach różnicowych Krąplewice i Tleń w wieloletniu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 34. The course and trends regarding changes in the annual runoff concentration coefficient (GMO_Q) – A and annual precipitation concentration coefficient (GMO_P) – B in the Krąplewice and Tleń subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

Ponowny powrót do wyższych wartości wskaźnika koncentracji odpływu nastąpił w pierwszej połowie lat 90. Na podstawie analizy przebiegu odpływu i opadów w poszczególnych latach (tab. 17) można stwierdzić, że wysokie wartości wskaźnika koncentracji odpływu w zlewni różnicowej Krąplewice występowały w latach o generalnie niskich odpływach (lata suche i skrajnie suche), w latach normalnych i wilgotnych natomiast wskaźnik przybierał wartości zbliżone do pozostałych zlewni różnicowych. Potwierdza to zauważony wcześniej większy wpływ kaskady hydroenergetycznej na odpływ w czasie lat suchych.

W zlewni Czarna Woda zauważyć można wyraźne zmniejszenie wartości wskaźnika od lat 80. XX wieku. W przeciwieństwie do zlewni Krąplewice, odpływy na początku badanego okresu były tu dużo wyższe od średniej (tab. 17), natomiast

wskaźnik koncentracji osiągnął wartość najwyższą w całym wieloleciu (ryc. 33 A). Od drugiej połowy lat 80. wartość wskaźnika koncentracji odpływu ustabilizowała się na poziomie około 9, porównywalnym do zlewni Wawrzynowo, Błędno i Tleń. Potwierdza to zauważone już podczas analizy współczynnika nieregularności przepływów oraz krzywych konsekwentnych odpływów jednostkowych zmiany w odpływie, związane z ograniczeniem intensywności nawodnień rolniczych.

4.7. Wieloletnie tendencje odpływów sezonowych oraz miesięcznych na tle opadów

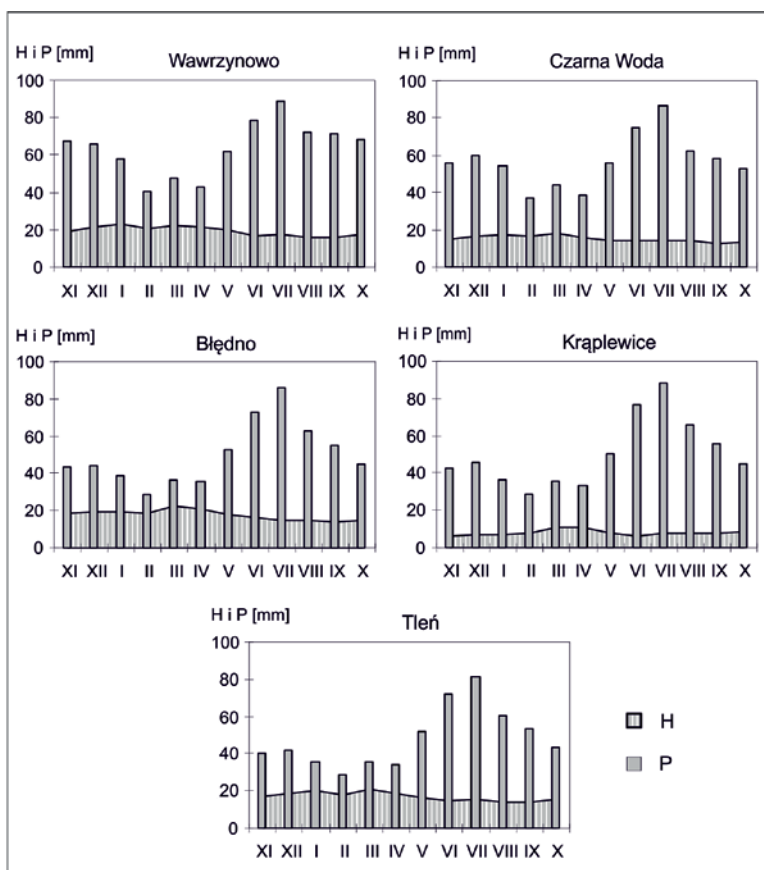
Wartości średnie wieloletnie

Rozkład opadów w roku hydrologicznym jest we wszystkich zlewniach różnicowych podobny (ryc. 35). Najwyższe sumy opadów przypadają na miesiąc lipiec, drugim najwilgotniejszym miesiącem jest czerwiec, a trzecim sierpień. Łącznie w ciągu tych trzech miesięcy na obszarze zlewni spada średnio około 30% sumy rocznej opadów. Udział opadów czerwca, lipca i sierpnia wzrasta w kierunku południowym i najwięcej, bo aż 38,1% sumy rocznej osiąga w zlewni Krąplewice. Najniższą średnią sumą opadów charakteryzuje się luty, a w szerszej skali cały drugi kwartał roku hydrologicznego, czyli miesiące luty, marzec i kwiecień. W trakcie tego trzymiesięcznego okresu spada tylko około 17% opadu rocznego.

Przebieg odpływu w roku hydrologicznym jest odmienny niż przebieg opadów (ryc. 35, tab. 21). Najwyższe odpływy przypadają na miesiące zimowe, przy czym zauważyć można, że różnice wysokości odpływu w kolejnych miesiącach roku nie są duże. Średnie odpływy jednostkowe (SSq) miesięcy zimowych są wyższe od odpływów letnich tylko o 1-2 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Przebieg odpływu w ciągu roku można, na podstawie wartości średnich, ocenić we wszystkich zlewniach jako wyrównany. Nieznaczne podwyższenie średnich odpływów jednostkowych towarzyszy miesiącom styczeń-kwiecień w zlewniach Wawrzynowo, Czarna Woda, Błędno i Tleń. W zlewni Krąplewice odpływy miesięcy zimowych są porównywalne do odpływu w półroczu letnim, nieznaczny wzrost notowany jest tylko w marcu i kwietniu. Przebieg hydrogramu odbiega tu zatem od naturalnego dla zlewni Wdę rytmu rocznego, widocznego w pozostałych zlewniach różnicowych, z wyższymi odpływami półrocza zimowego (ryc. 35). Nieznacznie niższe niż w pozostałych zlewniach odpływy miesięcy zimowych występują też w obrębie drugiego, silnie użytkowanego hydrotechnicznie obszaru – zlewni Czarna Woda, co jest spowodowane retencją wody w jeziorze Wdzydze w tym okresie.

Najwyższe (WSq) i najniższe (NSq) średnie miesięczne odpływy jednostkowe wykazują podobny rozkład w ciągu roku jak odpływy średnie (SSq) (tab. 21). Zauważyć można jednak, że stosunkowo wysokie odpływy mogą wystąpić też w lipcu. W przypad-

ku zlewni Tleń i Krąplewice są one nawet wyższe niż odpływy maksymalne miesięcy zimowych. Najniższe średnie odpływy miesięczne przypadają na miesiące półrocza letniego. Wyjątkiem jest zlewnia Krąplewice, w której w prawie każdym miesiącu najniższy ze średnich odpływów jednostkowych osiągnął wartość niższą od zera. Okresowo zatem przepływy rejestrowane w profilu Krąplewice są kształtowane głównie przez dopływ z obszaru zlokalizowanego powyżej wodowskazu Błędno oraz ze zlewni różnicowej Tleń.



Ryc. 35. Średnie odpływy miesięczne – H ze zlewni różnicowych na tle sum miesięcznych opadów atmosferycznych – P w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 35. Mean monthly runoff from the subcatchments – H against the background of the sums of total monthly precipitation – P in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

W zlewni Czarna Woda najniższy średni miesięczny odpływ wystąpił w badanym wieloleciu we wrześniu i wyniósł tylko $0,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Należy zauważyć, że był on znacznie niższy od najniższych ze średnich odpływów, notowanych w zlewniach

Wawrzynowo ($3,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), Błędno ($1,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) i Tleń ($2,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) (tab. 21). Tak niska wartość odpływu jednostkowego w zlewni Czarna Woda wystąpiła w suchym roku 1976, kiedy większość wód z Kanału Wdy kierowana była jeszcze na nawadnianie łąki. W przypadku niedoborów opadów wiązało się to z prawie całkowitym ograniczeniem odpływu z tej zlewni różnicowej.

Krzywe konsekwentne odpływów i opadów sezonowych

Badając przebieg rocznych odpływów jednostkowych ze zlewni różnicowych w latach 1974-2003 zauważono, że był on odmienny w zlewniach Czarna Woda i Kraplewice (ryc. 25). Jak wynika z danych obliczonych dla poszczególnych półrocz hydrologicznych, niższe odpływy jednostkowe występowały w całym badanym okresie w zlewni Kraplewice, a w pierwszej jego połowie w zlewni Czarna Woda zarówno w półroczu letnim, jak i zimowym (ryc. 36). W zlewni Czarna Woda jednak różnice w odpływie w półroczu zimowym pierwszej części analizowanego okresu były większe w porównaniu do pozostałych zlewni niż w półroczu letnim. Jednocześnie zaobserwowano w półroczu letnim wcześniejszy powrót odpływów jednostkowych do wysokości porównywalnych z innymi zlewniami. Zwiększenie odpływów tego półroczu jest widoczne już od początku lat 80., co było spowodowane przez znaczne nadmiary wody występujące w miesiącach letnich tego okresu.

Trendy liniowe odpływów i opadów miesięcznych

W celu sprawdzenia, czy odpływ w poszczególnych miesiącach wykazuje w badanym wieloleciu trwałe tendencje oraz zbadania ich związku ze zmianami opadów, obliczono równania regresji liniowej dla miesięcznych odpływów jednostkowych i sum opadów atmosferycznych. W tabeli 22 zestawiono wybrane równania regresji, dla których stwierdzono, na podstawie testu t-Studenta istotną, na poziomie przynajmniej 0,1, korelację pomiędzy rozkładem teoretycznym a empirycznym.

Na podstawie przedstawionych równań regresji można stwierdzić, że we wszystkich zlewniach zaobserwowano w miesiącach od lutego do maja wzrost sum opadów, przy czym najsilniej zaznaczył się on w lutym i marcu (tab. 22, ryc. 37). Należy zwrócić uwagę, że w wieloleciu 1974-2003 w miesiącach tych notowano najniższe sumy opadów w skali roku hydrologicznego (ryc. 36).

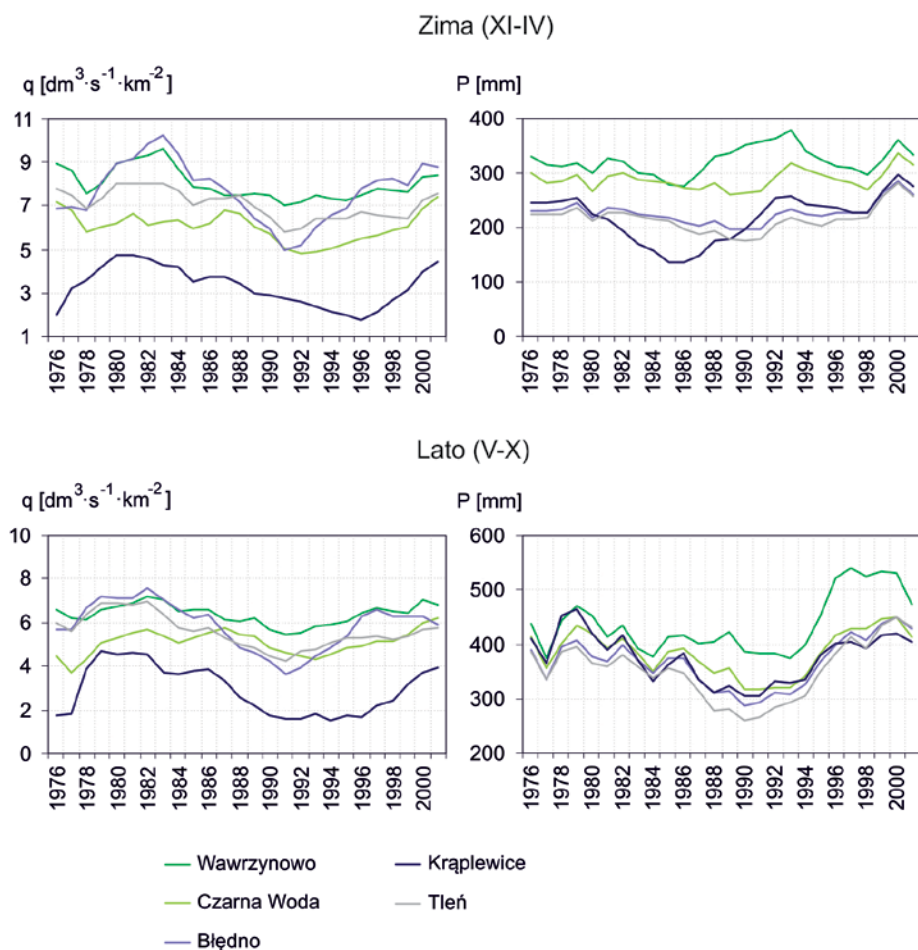
Analizując trendy odpływu zauważa się w zlewni Czarna Woda istotny statystycznie trend wzrostowy w maju i trend dodatni na granicy istotności w kwietniu. W tej jednej zlewni wystąpił też wzrost odpływu we wrześniu. Dodatnie trendy odpływu mogą być częściowo spowodowane przez wzrost sum opadów, ale ich występowanie tylko w tej jednej zlewni wskazuje na znaczącą rolę ograniczenia nawodnień rolniczych jako przyczyny tego zjawiska.

Tab. 21. Miesięczne odpływy jednostkowe [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$] ze zlewni różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)
 Tab. 21. Monthly specific discharges [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$] in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

Wawrzynowo	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
WSq	12,1	12,5	13,5	14,0	13,2	11,6	9,6	9,5	10,0	9,2	8,5	8,8
SSq	7,3	8,0	8,5	8,5	8,4	8,2	7,3	6,4	6,4	6,0	6,1	6,6
NSq	4,9	6,0	5,7	6,7	5,4	5,9	5,0	4,5	4,1	3,9	4,3	4,5
Czarna Woda	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
WSq	8,3	12,0	13,8	12,6	11,7	9,2	8,3	9,5	11,0	12,1	8,8	8,6
SSq	5,6	6,3	6,5	6,8	6,7	6,0	5,4	5,6	5,3	5,2	4,8	5,0
NSq	3,6	3,5	3,3	3,2	3,9	2,8	1,7	2,6	2,5	2,1	0,3	0,6
Będno	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
WSq	15,2	12,4	14,2	14,4	16,3	12,7	11,4	11,1	13,6	11,6	9,8	9,5
SSq	7,1	7,3	7,3	7,7	8,4	8,0	6,7	6,4	5,5	5,5	5,4	5,5
NSq	2,5	3,6	3,2	2,8	3,7	3,3	2,4	2,9	1,9	3,2	2,7	2,7
Kraplewice	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
WSq	6,0	6,2	6,7	6,9	7,6	7,1	5,5	7,4	14,9	9,5	7,1	8,4
SSq	2,5	2,7	2,6	3,2	4,1	4,3	2,8	2,5	2,9	3,0	3,1	3,1
NSq	-3,2	-4,1	-3,4	-1,5	-7,1	0,3	-1,6	-3,8	-2,6	-1,6	-1,9	-0,9
Tień	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
WSq	12,4	10,5	12,7	12,6	12,6	10,3	8,5	8,2	17,6	11,1	9,0	9,7
SSq	6,5	6,9	7,4	7,5	7,8	7,3	6,2	5,7	5,7	5,2	5,3	5,8
NSq	3,8	3,8	3,8	4,6	4,5	4,6	4,5	3,0	2,3	2,5	2,7	2,9

SSq, WSq, NSq – średni oraz najwyższy i najniższy ze średnich odpływów jednostkowych w danym miesiącu
 SSq, WSq, NSq – average, as well as the highest and the lowest specific discharges in a given month

W zlewniach Wawrzynowo i Tleń wystąpiły odwrotne – ujemne trendy odpływu prawie we wszystkich miesiącach, istotne statystycznie w miesiącach listopad-styczeń w zlewni Wawrzynowo i czerwiec w zlewni Tleń. W ostatnim przypadku istotna statystycznie tendencja widoczna była także w odniesieniu do średnich rocznych odpływów (tab. 19), głównie z powodu obniżenia przepływów maksymalnych (ryc. 31).



Ryc. 36. Krzywe konsekwentne (okresy pięcioletnie) odpływów jednostkowych (q) i opadów atmosferycznych (P) półrocza zimowego (XI-IV) i letniego (V-X) w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 36. Consecutive curves (5-year periods) of mean specific discharges (q) and total precipitation (P) in winter half-year (XI-IV) and summer half-year (V-X) in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

4. Przebieg odpływu w zlewni Wdy...

Tab. 22. Istotne statystycznie równania regresji liniowej miesięcznych odpływów jednostkowych i opadów w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach różnicowych (opracowano na podstawie danych IMGW)
Tab. 22. Statistically significant linear regression equations of mean monthly specific discharges and total monthly precipitation in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)

Zlewnia różnicowa <i>Subcatchment</i>	Miesiąc <i>Month</i>	Równanie regresji <i>Linear regression equation</i>	Współczynnik determinacji <i>Coefficient of determination</i>	Istotność korelacji <i>Significance of correlation</i>
Odpływ <i>Runoff</i>				
Wawrzynowo	XI	$y = -0,0581x + 8,2111$	0,1039	0,10
	XII	$y = -0,0867x + 9,3555$	0,1975	0,02
	I	$y = -0,0919x + 9,8786$	0,1565	0,05
Czarna Woda	XII	$y = -0,821x + 7,5898$	0,1176	0,10
	V	$y = 0,0524x + 4,5532$	0,1000	0,10
	IX	$y = 0,0668x + 3,7991$	0,1034	0,10
Tleń	VI	$y = -0,0521x + 6,5256$	0,1468	0,05
Opad <i>Precipitation</i>				
Wawrzynowo	II	$y = 1,3392x + 19,969$	0,2876	0,02
	V	$y = 1,3482x + 40,969$	0,1547	0,05
Czarna Woda	II	$y = 1,0882x + 20,351$	0,2439	0,02
Błędno	II	$y = 0,6716x + 18,455$	0,1996	0,02
	III	$y = 0,748x + 24,814$	0,1093	0,10
Krąplewice	II	$y = 0,8002x + 15,957$	0,2431	0,02
	III	$y = 0,914x + 21,789$	0,1530	0,05
Tleń	II	$y = 0,7652x + 16,637$	0,2209	0,02
	III	$y = 0,759x + 24,264$	0,1030	0,10

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Z	L
W	P	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-
	q	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Cz	P	-	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-
W	q	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+
B	P	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+
	q	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
K	P	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-
	q	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+
T	P	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+
	q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Istotny statystycznie trend ujemny – statistically significant negative trend														
	Istotny statystycznie trend dodatni – statistically significant positive trend														
	Trend na granicy istotności – trend of borderline statistical significance														

Ryc. 37. Tendencje zmian odpływu jednostkowego (q) i opadów (P) miesięcznych w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003; W – Wawrzynowo, CzW – Czarna Woda, B – Błędno, K – Krąplewice, T – Tleń (opracowano na podstawie danych IMGW)

Fig. 37. Trends regarding monthly specific discharges (q) and total monthly precipitation (P) in subcatchments in the years 1974-2003; W – Wawrzynowo, CzW – Czarna Woda, B – Błędno, K – Krąplewice, T – Tleń (prepared on the basis of the IMGW data)

5. Antropogeniczne uwarunkowania odpływu w zlewni Wdy

Na podstawie przeprowadzonej w poprzednich rozdziałach analizy danych hydrologicznych wykazano, że odpływ ze zlewni Czarna Woda i Krąplewice, pomimo podobnych warunków opadowych, kształtował się w odmienny sposób niż w zlewniach Wawrzynowo, Błędno i Tleń. Opisane różnice w przebiegu procesów hydrologicznych w poszczególnych zlewniach wynikają z innego sposobu gospodarowania wodą w badanym wieloleciu.

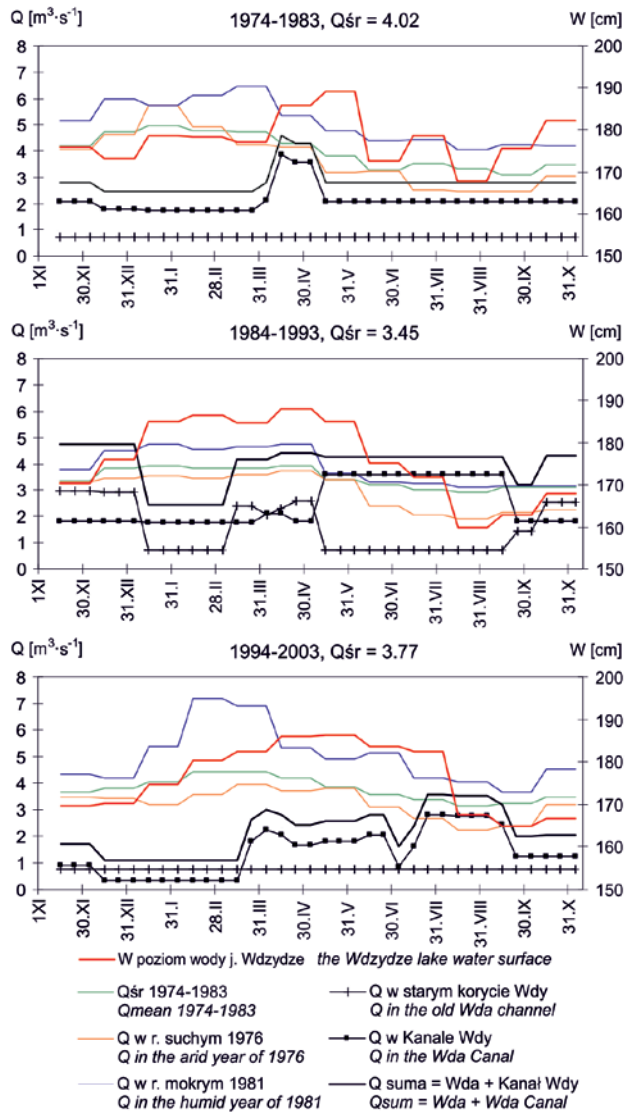
5.1. Zlewnia Czarna Woda

Rozmieszczenie obiektów hydrotechnicznych oraz sposób gospodarowania wodą w tej zlewni omówiono w podrozdziale 3.3.1, w tym miejscu zaprezentowano natomiast zmiany sposobu rozrządu wody w badanym trzydziestoleciu na tle warunków hydrologicznych. Na ryc. 38 zestawiono przepływy średnie miesięczne w profilu Jeziorna oraz zapotrzebowanie na wodę w trzech przedziałach dziesięcioletnich, w których obowiązywał różny sposób rozdziału wody z Kanału Wdy i retencjonowania jej w jeziorze Wdzydze (*Operat wodnoprawny...*, 1970; *Decyzja Wojewody Gdańskiego nr OS-V-7240/52/83 z dnia 4.07.1983*; Wołoszyn, 1993).

Na podstawie analizy trzech kolejnych harmonogramów rozrządu wody oraz porównania ich z rzeczywistymi przedziałami czasowymi retencji i wykorzystania wody (ryc. 38) można stwierdzić, że w kolejnych dziesięcioletnich okresach (1974-1983, 1984-1993 i 1994-2003) zmieniał się sposób pracy systemu hydrotechnicznego. W pierwszym dziesięcioleciu zapotrzebowanie na wodę było przez większą część roku niższe od średnich przepływów Wdy w Jeziornej. Pomimo tego, od drugiej dekady grudnia rozpoczynano retencję, na co wskazuje wzrost stanów wód jeziora Wdzydze (ryc. 38). Z przebiegu hydrogramu wynika, że zaplanowane na

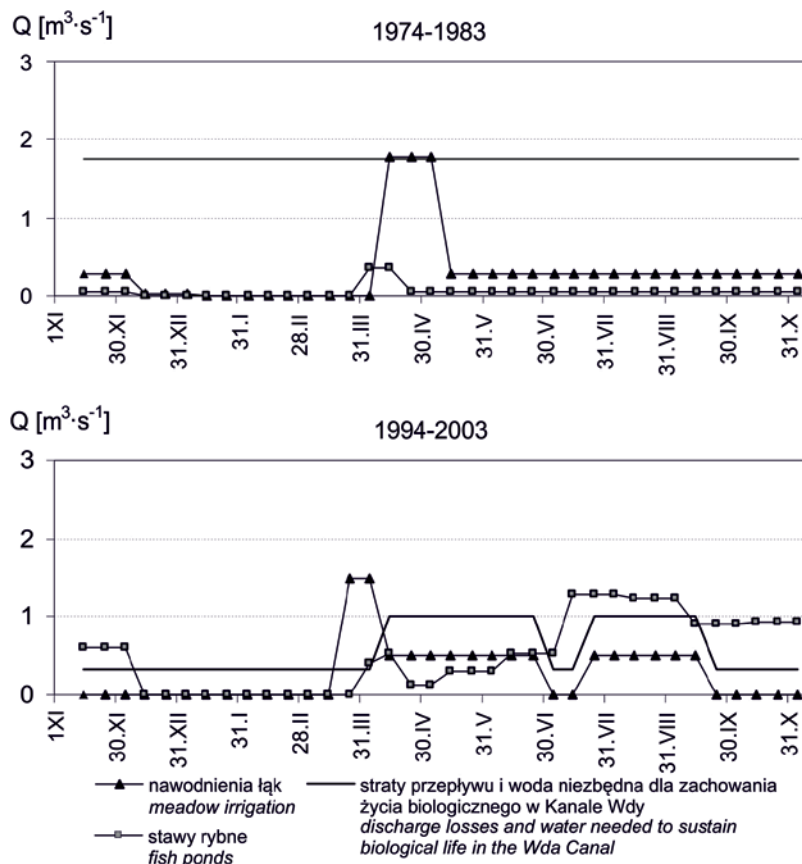
kwiecień nawodnienia rozpoczynano później, w połowie maja, co mogło być uwarunkowane czynnikiem termicznym. Drugi termin nawodnień rozpoczynał się pod koniec lipca, a termin drugiego pokosu przypadał na przełom sierpnia i września. Harmonogramy wyznaczające terminy retencji i nawodnień dla okresów 1984-1993 i 1994-2003 zostały opracowane na podstawie obliczonych niedoborów wody w okresie letnim, wynikających z różnicy pomiędzy dopływem a potrzebami użytkowników (*Decyzja Wojewody Gdańskiego nr OS-V-7240/52/83 z dnia 4.07.1983*; Wołoszyn, 1993). Pozwoliło to na opracowanie sposobu rozrządu wody w roku normalnym i suchym. Jak wynika jednak z porównania planowanego zapotrzebowania na wodę, w stosunku do faktycznych przepływów Wdy, w okresie 1984-1993 wystąpił znaczny deficyt odpływu. W trakcie opracowywania harmonogramów wykorzystano bowiem do obliczeń niedoborów wody w roku normalnym średni przepływ z wielolecia 1959-1983 (dla profilu Czarna Woda). Okres ten, w porównaniu do następnego dziesięciolecia 1984-1993, charakteryzował się generalnie wyższymi opadami i odpływem (tab. 18).

Analizując zmiany w sposobie wykorzystania wody prowadzonej Kanałem Wdy, zauważyć można, że pomiędzy pierwszym a trzecim analizowanym dziesięcioleciem znacznie wzrosło wykorzystanie wody na potrzeby stawów rybnych, co spowodowało konieczność zmniejszenia w operacji wodnoprawnym zasobów niezbędnych do zachowania życia biologicznego w kanale (ryc. 39). W latach 90. powstały na tym obszarze stawy pstrągowe, które wymagają stałego dopływu czystej, natlenionej wody. W okresie wcześniejszym, kiedy prowadzono wyłącznie hodowlę karpia, potrzeby wodne ograniczone były do napełnienia stawów w okresie wiosennym oraz kilkakrotnego ich uzupełnienia z powodu strat spowodowanych parowaniem i przesiąkami przez groble. Wzrost produkcji w stawach pstrągowych, początkowo w zakładzie Pelikan, a następnie Wojtał, spowodował konieczność utrzymania stałego wysokiego przepływu na odcinku upust w Górkach – stawy Uroża i Pelikan – Wda w profilu Wojtał (wodowskaz Czarna Woda znajduje się poniżej) (ryc. 14). Wynikiem tego jest, stwierdzony na podstawie krzywej konsekwtywnej (ryciny 25 i 36), stały wzrost od początku lat 80. odpływów jednostkowych Wdy na odcinku zlewni różnicowej Czarna Woda. Objętość przepływu kierowanego do koryta Wdy w lipcu i sierpniu wzrosła w tym okresie o około $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Odpływ zimowy był ograniczany przez zatrzymanie wody w jeziorze Wdzydze aż do drugiej połowy lat 80. W kolejnych latach, wskutek zmniejszenia zapotrzebowania na wodę w obrębie rolniczej oczyszczalni ścieków, retencję zimową w jeziorze ograniczono, co spowodowało zwiększenie odpływu zimowego i całkowitego ze zlewni Czarna Woda.



Ryc. 38. Średnie przepływy w profilu Jeziorna na tle harmonogramów użytkowania wód i średnich stanów wody jeziora Wdzydze w okresach obowiązywania pozwoleń wodnoprawnych (opracowano na podstawie: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn i in., 2005 b; przepływy w profilu Jeziorna obliczono na podstawie danych IMGW dla wodowskazów Wawrzynowo i Czarna Woda)

Figure. 38. Mean monthly discharges at the Jeziorna gauge station against the timetable of water use and mean monthly water levels on Wdzydze lake in the periods of applicable water law permits (prepared on the basis of: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn et. al., 2005 b; discharges at the Jeziorna station were calculated on the basis of the IMGW data regarding the Wawrzynowo and Czarna Woda gauge stations)



Ryc. 39. Sposób wykorzystania wody prowadzonej Kanałem Wdy w latach 1974-1983 i 1994-2003 (opracowano na podstawie: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn i in., 2005 b)
 Fig. 39. The use of water from the Wda Canal in the years 1974-1983 and 1994-2003 (prepared on the basis of: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn et. al., 2005 b)

Z danych zaprezentowanych na ryc. 39 wynika, że pozornie wzrosło też zapotrzebowanie na wodę do nawodnień w obrębie rolniczej oczyszczalni ścieków. Faktycznie natomiast w operacie wodnoprawnym z 1970 roku, obowiązującym od powstania oczyszczalni, wyszczególniono jedynie potrzeby związane z pierwszym wiosennym napełnieniem sieci rowów kompleksu Podlesie. Brak innych użytkowników nie wymuszał obowiązku restrykcyjnego określenia potrzeb wodnych ZPP Czarna Woda. Niska wartość przepływu nienaruszalnego w obrębie starego koryta Wdy w ciągu całego roku hydrologicznego ($0,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) stwarzała możliwość wykorzystania całej nadwyżki wody do rozcieńczania ścieków zrzucanych na łąki.

Problemy z dostarczeniem użytkownikom odpowiedniej ilości wody, które pojawiły się w okresie 1984-1993, stały się przyczyną wydłużenia w wieloleciu 1994-2003 czasu retencji wody w jeziorze Wdzydze do połowy lipca (ryc. 38). Przeszacowanie zasobów wodnych w okresie 1984-1993 spowodowało, że w harmonogramie dla wielolecia 1993-2004 zrezygnowano, z uwzględnionego wcześniej, przepływu dla zapewnienia życia biologicznego w kanale ($0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), zmniejszono też ilość wody szacowanej na straty w kanale (z 1 do $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a także ponownie ograniczono, zwiększony w latach 1984-1993, przepływ nienaruszalny w obrębie właściwego koryta Wdy. Kumulacja lat suchych na przełomie lat 80. i 90. spowodowała jednak, że w drugiej połowie lat 90. ponownie zwiększono wielkość retencji zimowej (ryc. 38). Sytuacja ta trwała do ostatnich lat XX wieku, kiedy zanotowano wzrost opadów atmosferycznych.

Trudności w planowaniu gospodarki wodnej systemu hydrotechnicznego jezioro Wdzydze – Kanał Wdy – Wda wynikają z faktu, że główny użytkownik, czyli ZPP Czarna Woda, nie ma możliwości oceny bieżącej sytuacji hydrologicznej. W związku z tym sposób gospodarowania wodą zależy często od tego, jak kształtowały się warunki hydrologiczne na przełomie kilku poprzednich sezonów nawadniania, a nie wynika z faktycznych warunków w danym roku hydrologicznym. Pracownikom ZPP Czarna Woda trudno jest bowiem określić już zimą, czyli w czasie kiedy rozpoczynana jest retencja wody, jak będą się kształtowały warunki termiczne i opadowe w sezonie letnim.

Kilkakrotne nawadnianie łąk w okresie letnim wodą pochodzącą z odpływu zimowego (retencjonowanego w jeziorze Wdzydze) powodowało, że straty w wyniku parowania i transpiracji były dużo większe niż w warunkach naturalnych, kiedy woda ta odpływała zimą korytem Wdy. Straty te związane były nie tylko z prowadzonymi planowo nawodnieniami, ale także z niekontrolowaną ucieczką wód w otaczający obszar sandru. Woda wracała zatem do rzeki Wdy w dużo mniejszej ilości niż była z niej pobierana. W sytuacji, gdyby do rzeki odprowadzano większość pobieranej wody, średnie odpływy obliczone dla zlewni Błędno powinny być wyższe o około $1,5\text{-}2,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$. Wielkość strat w zlewni Czarna Woda oszacowana, po uwzględnieniu powierzchni zlewni, na $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, pozwala określić obniżenie średniego przepływu Wdy w profilu Czarna Woda o $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Stanowi to 27% przepływu generowanego pomiędzy Wawrzynowem a Czarną Wodą i 13% przepływu całkowitego Wdy do Czarnej Wody (obliczenia w stosunku do wartości średnich z lat 1974-2003). Można przypuszczać, że w czasie najbardziej intensywnych nawodnień, od powstania systemu hydrotechnicznego do lat 60. XX wieku, kiedy do kanału kierowano prawie cały przepływ Wdy, straty te mogły być jeszcze wyższe.

O skali antropogenicznych zmian obiegu wody w tej części zlewni dobitnie świadczą, opisane wcześniej zjawiska pojawiania się i zaniku jezior w otoczeniu Kanału Wdy. Ogromne są także ekologiczne skutki zmian w obiegu wody. Dowodem

tego są badania przeprowadzone przez Nadleśnictwo Kaliska w ramach projektu małej retencji, który nazwano projektem odtworzenia jezior, w związku z błędną interpretacją ich genezy. Zanik zbiorników wodnych na początku lat 90. spowodował spadek tempa przyrostu drzewostanów o około 15%, natomiast po odtworzeniu jezior wielkość przyrostów zwiększyła się o około 12%, w strefie 200 m od zbiorników (Frydel, 2004). W obserwacjach przyrostów drzew, które trwały 10 lat i objęły okres przed oraz po rozpoczęciu nawodnień, uwzględniono poprawkę wynikającą z naturalnych fluktuacji opadów atmosferycznych (prowadzono pomiary porównawcze na terenach nieznajdujących się pod wpływem nawadnianych zbiorników). Można więc stwierdzić, że obliczona 12-15% różnica w przyroście masy drzewostanu jest wymiernym wskaźnikiem większego zużycia wody. Wydaje się, że obserwacje przeprowadzone na zbiornikach położonych na północ od Kanału Wdy można odnieść do całego obszaru pomiędzy kanałem i rzeką Wdą. Wzrost retencji na tym obszarze w czasie intensywnie prowadzonych nawodnień jest bezsprzecznie uwarunkowany działaniami człowieka, przy czym retencja ta dotyczy nie tylko wód autochtonicznych (opadowych, roztopowych, podziemnych), ale także wód dopływających korytem Wdy z górnego odcinka zlewni i poprzez Kanał Wdy ponownie wprowadzanych do strefy zasilania. Jednocześnie zaznaczyć należy, że występująca w tym przypadku forma retencji powierzchniowej uważana jest za najbardziej korzystną, biorąc pod uwagę wpływ na środowisko przyrodnicze (Żelazo, Popek, 2002).

Trudno w tej chwili przewidzieć, w jakim kierunku będą zmierzać dalsze zmiany sposobu rozrządu wody w systemie jezioro Wdzydze – Kanał Wdy – Wda. Od września 2005 roku zmienił się właściciel Zakładów Płyt Piłśniowych w Czarnej Wodzie, które są głównym użytkownikiem kanału. W nowym operacie wodnoprawnym (Wołoszyn i in., 2005 b) nadal przewiduje się wykorzystanie wód prowadzonych Kanałem Wdy do nawadniania łąk Podlesie. Podczas zbierania materiałów do niniejszej publikacji (2006 rok) uzyskano informację, że nowy właściciel zakładów rozważa możliwość wprowadzenia zmian technologicznych, pozwalających ograniczyć ilość produkowanych ścieków poprzez wprowadzenie zamkniętego obiegu wody. Do chwili obecnej jednak (2014 rok) obecny właściciel Steico S.A. takich zmian nie wprowadził i korzysta z rolniczej oczyszczalni ścieków, bazując na wspomnianym operacie wodnoprawnym z 2005 roku.

5.2. Zlewnia Krąplewice

Największym przejawem antropopresji w zlewni Krąplewice jest obecność kaskady hydroenergetycznej. Na podstawie analizy danych hydrologicznych stwierdzono, że Wda w Krąplewicach charakteryzuje się znacznie większą nieregularnością przepływów niż na innych odcinkach. Zlewnia różnicowa Krąplewice wyróżnia się też dwukrotnie niższym odpływem niż pozostałe badane fragmenty zlewni Wdy.

Zagadnienie wpływu zbiorników zaporowych na reżim hydrologiczny cieków poruszane było wielokrotnie (m.in. Chien, 1985; Fruget, 1992; Babiński, 1992, 2002; Babiński, Grześ, 1995; Avakian, 1998). Pomimo korzystnego gospodarczo efektu budowy zbiorników związanego z obniżaniem fal wezbraniowych, większość autorów zwraca uwagę na zwiększenie nieregularności przepływów dobowych. Należy zauważyć także, że w przypadku rzek takich jak Wda, charakteryzujących się naturalnie bardzo niewielkimi wahaniami przepływów i właściwie brakiem wezbrań przynoszących straty, wspomniany wpływ na wyrównanie fali wezbraniowej jest mało istotny.

Wpływ budowy zbiorników zaporowych na wielkość odpływu jest trudniejszy do jednoznacznej identyfikacji, wymaga bowiem wieloletniej serii danych hydrologicznych sprzed i po powstaniu stopnia, dlatego rzadziej pojawia się w literaturze hydrologicznej. Obniżenie wartości przepływu w rzekach w wyniku budowy stopni wodnych zostało stwierdzone w kilku przypadkach, gdy dysponowano takimi danymi (Scheuerlein, 1995; Ibáñez, Prat, 1996; Fergus, 1997; Lu, Siew, 2006). C. Ibáñez i N. Prat (1996) obliczyli, że wybudowanie zbiorników zaporowych na rzece Ebro w Hiszpanii spowodowało zmniejszenie jej średniego przepływu w latach 1913-1990 o kilka procent. Z zamieszczonego w pracy T. Fergus (1997) hydrogramu przepływów średnich rocznych rzeki Fortun w Norwegii przed i po regulacji oraz wybudowaniu trzech hydroelektrowni wynika, że objętość przepływu tej rzeki uległa ograniczeniu w trakcie całego roku hydrologicznego. Największe różnice przepływów, w stosunku do okresu sprzed zabudowy rzeki, zanotowano w miesiącach letnich – od maja do października. Autorzy X. X. Lu i S. Y. Siew (2006) stwierdzili obniżenie średniego rocznego przepływu w dolnym odcinku rzeki Mekong po kaskadyzacji jej górnego biegu, przeprowadzonej na początku lat 90. XX wieku. W cytowanych pracach możliwa była analiza danych hydrologicznych z czasu przed i po wybudowaniu stopni wodnych.

Pośrednim dowodem na znaczne zmiany warunków odpływu po wybudowaniu stopni piętrzących są badania hydrologiczne terenów położonych w ich otoczeniu (Pietrucień, 1967, 1971; Głazik, 1978, 1987; Poźniak, 1984; Absalon, 1998; Kowalewski, 2001). R. Głazik (1978, 1987) stwierdził, że po utworzeniu zbiornika zaporowego na Wiśle we Włocławku, podtopienia osiągnęły strefę 500 m od zbiornika, a podpiętrzenie wód gruntowych osiągnęło odległość 1400 m. Na obszarze depresyjnym, oddzielnym od zbiornika zaporą boczną, nastąpiło odwrócenie kierunku przepływu wód podziemnych. R. Poźniak (1984) zauważa, że po powstaniu zbiornika Dębe na Narwi, w znacznej odległości od zbiornika powiększył się zasięg terenów nadmiernie uwilgotnionych i nastąpiły zmiany siedlisk leśnych. D. Absalon (1996) podaje, obok uwarunkowań klimatycznych, jako możliwą przyczynę spadku odpływu w zlewni rzeki Rudy, powstanie w 1973 roku Zalewu Rybnickiego (cyt. za Absalon i in. 1996). Badania Cz. Pietrucienia (1967, 1971) i G. Kowalewskiego (2001), dotyczące Zbiornika Koronowskiego na Brdzie, można odnieść do sytuacji kaskady Wdy. Obydwie rzeki odwadniają obszar sandrowy i wykazują podobne cechy środowiska przyrodniczego zlewni.

Zbiornik Koronowo, podobnie jak Żur, powstał w miejscu, gdzie dolina krzyżuje się z rynnami polodowcowymi. Cz. Pietrucień (1967, 1971) stwierdził, że powstanie Zbiornika Koronowskiego i towarzyszącego mu kanału lateralnego spowodowało pojawienie się mokradeł w odległości do 4 km od zalewu (9 lat po spiętrzeniu Brdy). Na podstawie analizy zdjęć lotniczych G. Kowalewski (2001) obliczył natomiast, że powierzchnia mokradeł w otoczeniu zbiornika wzrosła z 227 ha do 464 ha (dwukrotnie), natomiast powierzchnia zbiorników wodnych z 36 do 231 ha (ponad sześciokrotnie). Według tego autora, po napełnieniu zbiornika wody, wcześniej drenowane przez głęboko wciętą Brdę, zaczęły infiltrować w obszar otaczającego sandru. Do podobnych wniosków doszedł Cz. Pietrucień (1967, 1971), obserwując powstanie licznych zbiorników wodnych w miejscach, gdzie wcześniej funkcjonowały torfowiska. Próbę określenia wpływu Zbiornika Koronowskiego na przepływy Brdy przeprowadziła E. Jutrowska (2001). Autorka stwierdziła wzrost przepływów Brdy po wybudowaniu zbiornika. Wniosek ten został jednak sformułowany nie na podstawie rzeczywistych pomiarów z okresu przed i po utworzeniu zbiornika, lecz na podstawie danych obliczonych teoretycznie, na podstawie prostych regresji. Obliczenia te wydają się przeczyć wynikom uzyskanym przez Cz. Pietrucienia (1967, 1971) i G. Kowalewskiego (2001). Trudno sobie bowiem wyobrazić, żeby przy tak znacznym zwiększeniu powierzchni zbiorników wodnych i mokradeł w sąsiedztwie doliny Brdy wzrosła objętość wód drenowanych przez rzekę.

W przypadku kaskady dolnej Wdy, utworzonej już na początku XX wieku, systematyczne obserwacje hydrologiczne nie objęły okresu sprzed jej powstania. Utrudnia to określenie zmian w odpływie, związanych z zabudową hydrotechniczną rzeki. Wykonane w ramach niniejszej pracy obliczenia odpływu ze zlewni różnicowej Krąplewice wykazały jednoznacznie, że zarówno odpływ średni z wielolecia, jak też odpływy roczne i miesięczne są tu znacznie niższe niż w pozostałych analizowanych zlewniach.

Według teoretycznych obliczeń IMGW (Zasoby wodne Wdy, 1999), średnie odpływy jednostkowe w wieloleciu 1951-1980 ze zlewni głównych dopływów Wdy pomiędzy Błędem a Krąplewicami (zlewnie 17 i 18 na ryc. 1) wyniosły: Ryszki – $6,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ i Sobiny – $5,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Dla porównania, średni odpływ w zlewni różnicowej Tleń wyniósł, według cytowanego opracowania – $6,65 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, czyli prawie tyle samo co uzyskana z własnych obliczeń wartość dla wielolecia 1974-2003, wynosząca $6,43 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (tab. 14 C). Ze zlewni różnicowej Krąplewice spływało w tym czasie średnio $3,07 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a z położonej na północ od niej zlewni Błędno $6,73 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. W związku z tym, że zlewnie Sobiny i Ryszki zajmują 50% powierzchni zlewni różnicowej Krąplewice, przyjmując średnie odpływy obliczone przez IMGW można oszacować, że odpływ jednostkowy z pozostałej połowy zlewni różnicowej Krąplewice, o powierzchni $233,95 \text{ km}^2$, powinien wynieść tylko $0,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, co jest bardzo mało prawdopodobne.

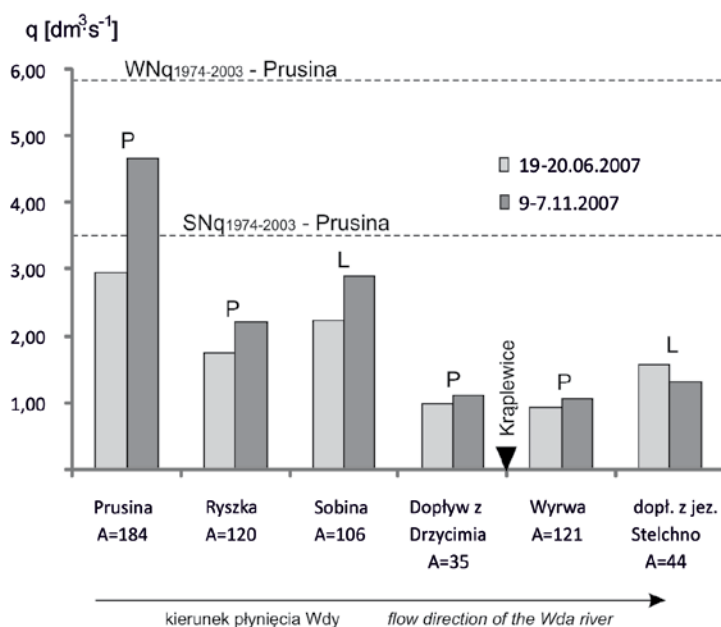
Obliczone niskie wartości odpływu ze zlewni różnicowej Krąplewice mogą wynikać z kilku przyczyn: błędnych obliczeń natężenia przepływu w Krąplewicach,

naturalnie uwarunkowanego niskiego odpływu z tego obszaru i przeszacowania odpływów Ryszki oraz Sobiny, a także wpływu zbiorników zaporowych na zmniejszenie odpływu generowanego w obszarze odwadnianym bezpośrednio przez Wdę.

Według informacji uzyskanych od S. Kosińskiego, pracownika IMGW (oddział w Słupsku), przepływy Wdy w Krąplewiczach określone są na podstawie objętości wody przepływającej przez hydroelektrownię w Gródku, można więc przyjąć, że są wiarygodne.

Na podstawie porównania warunków środowiska oraz opadów w zlewniach różnicowych (rozdział 3) można stwierdzić, że elementy te nie odbiegają w zlewni Krąplewice na tyle od pozostałych analizowanych zlewni różnicowych, żeby kształtować dwukrotnie niższe odpływy jednostkowe. Relatywnie najslabiej rozpoznane są jednak na badanym obszarze warunki zasilania cieków wodami podziemnymi.

W 2007 roku wykonano pomiary objętości przepływu dopływów dolnej Wdy w ich profilach ujściowych. Porównując wyniki uzyskane dla rzeki Prusiny do wartości średnich z wielolecia 1974-2003, można stwierdzić, że zmierzone wartości odpowiadają strefie przepływów niskich (ryc. 40), czyli kształtowanych w znacznej mierze przez odpływ podziemny.



Ryc. 40. Odpływy jednostkowe ze zlewni dopływów dolnej Wdy w roku 2007 (opracowano na podstawie pomiarów własnych); A – powierzchnia zlewni [km²], L – dopływy lewobrzeżne, P – dopływy prawobrzeżne Fig. 40. Specific discharges in the catchments of the selected Wda river tributaries in 2007 (author's own study); A – catchment surface area [km²], L – left-side tributaries, P – right-side tributaries

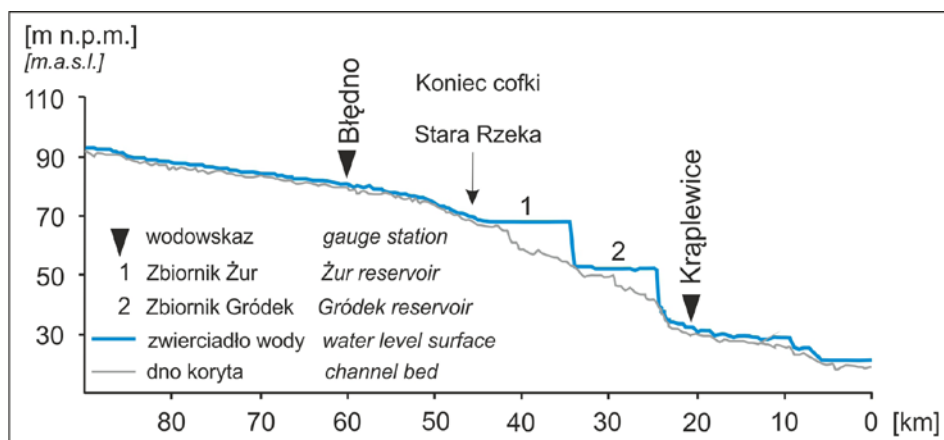
Obliczone odpływy ze zlewni Ryszki i Sobiny były niższe od odpływu Prusiny o około 20-30% w czerwcu 2007 roku i o około 30-40% w listopadzie (ryc. 40). Jeszcze niższe odpływy charakteryzowały dopływ z Drzycimia, Wyrwę i dopływ z jeziora Stelchno, przy czym tylko pierwszy z cieków wchodzi w skład zlewni różnicowej Krąplewice, a pozostałe znajdują się w południowej części zlewni Wdy, wyłączonej z analizy ze względu na brak danych hydrologicznych. Cieki zasilające Wdę w dolnym biegu generują zatem niższe odpływy niż Prusina i prawdopodobnie inne dopływy uchodzące do Wdy w jej środkowym i górnym biegu. Jednak rzeki, które charakteryzują się aż 2-4-krotnie niższymi wartościami odpływu w stosunku do Prusiny, w większości uchodzą do Wdy poniżej wodowskazu Krąplewice, za wyjątkiem dopływu z Drzycimia. Jego zlewnia stanowi jednak zaledwie 7% powierzchni zlewni różnicowej Krąplewice, nie wywiera więc istotnego wpływu na odpływ z tej zlewni różnicowej. Można założyć też, że w bezpośrednim przyrzeczu Wdy odpływ nie powinien być w warunkach naturalnych niższy niż odpływy ze zlewni Sobiny i Ryszki. Bardzo możliwe, że jest nawet wyższy, ze względu na znaczne wcięcie Wdy w otaczające jednostki morfologiczne – sandr i wysoczyznę. Na podstawie pomiarów przepływów wykonanych w zlewni Ryszki w 2008 roku wykazano, że w górnym jej biegu chwilowe odpływy jednostkowe były rzędu $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, podczas gdy odpływy w biegu dolnym wyniosły $4\text{-}5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Szumińska, Spóz, 2012). W roku 2007 różnice te były jeszcze większe, ponieważ odpływy jednostkowe w dolnym biegu Ryszki w obydwu terminach pomiarowych przekroczyły $7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Podobne wyniki uzyskano dla Wyrwy w roku 2007, gdzie odpływy w górnym biegu nie przekraczały $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, podczas gdy w biegu dolnym osiągały wartość $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Można zatem przyjąć, że bezpośrednie przyrzecze Wdy wykazuje warunki drenażu podobne jak ujściowe, głęboko wcięte w podłoże odcinki jej dopływów. W górnych i środkowych biegach cieków odwadniających Wysoczyznę Świecką brak jest możliwości drenażu głębszych poziomów wodonośnych, ponieważ cieki są w niewielkim stopniu wcięte w wysoczyznę, głębokich jezior jest niewiele, a niektóre z nich uległy znacznemu wypełnieniu osadami w holocenie, przez co drenaż głębszych warstw śródglinowych odbywa się obecnie poprzez osady, a nie bezpośredni kontakt z wodą jeziora (Szumińska, Spóz, 2012). Możliwość zasilania wodami głębszych warstw wodonośnych pojawia się dopiero w odcinkach ujściowych cieków.

Można zauważyć, że najniższe odpływy charakteryzują dopływy Wdy zlokalizowane najbliżej jej ujścia do Wisły (ryc. 40). Jak już wspomniano wcześniej, w dolnym biegu Wdy widoczny jest wpływ Wisły na odpływ podziemny (Kachnic, 2004). Stanowi ona lokalną bazę drenażu dla głębszych poziomów wodonośnych. Można zauważyć jednak, że na wielkość odpływu nie wpływa wyłącznie odległość od doliny Wisły, ponieważ odpływy lewobrzeżnych dopływów Wdy zlokalizowanych bliżej Wisły są wyższe niż wartości zmierzone dla dopływów prawobrzeżnych (ryc. 40). Prawdopodobnie zatem odpływ wód podziemnych następuje nie tylko bezpośrednio

w stronę doliny Wisły, ale także w innych kierunkach i wynika z lokalnego zróżnicowania w układzie warstw wodonośnych, a także obecności starszych struktur, np. dolin kopalnych.

Na znaczne zasilanie wodami podziemnego głębokiego i płytkiego krążenia w obrębie zlewni różnicowej Wisły pomiędzy Toruniem a Tczewem wskazują R. Głazik i B. Pius (2007). Autorzy obliczyli, że średnie roczne odpływy jednostkowe wynoszą na tym obszarze od 5 do 15 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, z czego około 45% to wynik zasilania wodami podziemnymi głębokiego krążenia, a 40% – płytkiego krążenia; pozostałe 15% to odpływ powierzchniowy. Jako wody głębokiego krążenia autorzy przyjmują bezpośredni odpływ podziemny z otaczających obszarów, m.in. zlewni dopływów Wisły, jako wody płytkiego krążenia – odpływ podziemny stanowiący składnik odpływu rzek uchodzących do Wisły. Wyniki uzyskane przez cytowanych autorów są zbieżne z badaniami modelowymi (Kachnic, 2004) oraz wynikami obserwacji odpływu rzek uchodzących do dolnej Wdy (ryc. 40).

Można założyć, że przed wybudowaniem zbiorników zaporowych w obrębie doliny Wdy istniały warunki intensywnego drenażu wód podziemnych płytkiego krążenia. Dolina od okolic miejscowości Błędno głęboko rozcina sander, a dalej w kierunku południowym wysoczyznę. Warunki te zostały zaburzone wskutek budowy zbiorników zaporowych, które zajmują około połowy długości doliny Wdy na odcinku pomiędzy wodowskazami Błędno i Krąplewice (ryc. 41). Prawdopodobnie zatem kolejnym czynnikiem wpływającym na niższy odpływ ze zlewni różnicowej Krąplewice jest zmiana warunków drenażu wód podziemnych, spowodowana spiętrzeniem Wdy.



Ryc. 41. Lokalizacja wodowskazów Błędno i Krąplewice na profilu podłużnym Wdy na odcinku od ujścia do 90 km (wykonano na podstawie pomiarów RZGW w Toruniu)

Fig. 41. Location of the Błędno and Krąplewice gauge stations against the Wda longitudinal profile at the section between the mouth and river kilometre 90 (prepared on the basis of the RZGW Toruń surveys)

W. Mioduszeński (1989) stwierdza, że w dolinach, w których zwierciadło wody gruntowej zostanie obniżone do rzędnej, na której występuje poziom wodonośny o napiętym zwierciadle, może dochodzić do zwiększenia intensywności drenażu tego poziomu w związku z obniżeniem ciśnień piezometrycznych. Odwracając tę sytuację, podczas sztucznego podniesienia rzędnej zwierciadła wód gruntowych (przez spiętrzenie ciekłu), należy spodziewać się zwiększenia ciśnień piezometrycznych i w rezultacie zmniejszenia intensywności drenażu. Do sytuacji takiej mogło dojść w dolinie Wdy, która została przegrodzona zaporami w miejscu, gdzie zwarta powierzchnia sandru ogranicza się do wąskiego szlaku sandrowego, wykorzystanego przez dolny fragment rzeki Wdy (ryc. 8). Na wysokości górnej części zbiornika Żur, w okolicach miejscowości Stara Rzeka, zaobserwowano liczne wysięki i wypływy o znacznej wydajności, zlokalizowane powyżej zwierciadła wody rzeki Wdy. Są one związane z rozcięciem przez dolinę głębszych warstw wodonośnych. Z przekrojów hydrogeologicznych (Prussak, 2002) wynika, że na odcinku zbiornikowym zarówno dolina Wdy, jak też krzyżujące się z nią rynny rozcinają dwa poziomy gliny i kontaktują się z warstwami wodonośnymi o napiętym zwierciadle, wykształconymi w piaszczystych utworach fluwioglacjalnych. Na południe od zbiornika Gródek dolina zasilana jest już nie tylko przez wody z poziomów plejstocénskich, ale także z warstw miocénskich. Zalanie zatem doliny Wdy na wysokość kilku do kilkunastu metrów na odcinku po pierwsze tak długim, a po drugie zasilanym przez kilka poziomów wodonośnych o zwierciadle napiętym, mogło być przyczyną zmniejszenia intensywności drenażu wód podziemnych.

Pomimo znacznego urozmaicenia kształtu, zwłaszcza zbiornika Żur, nie wydaje się, żeby na obniżenie odpływu mogło wpływać parowanie z powierzchni zbiorników. Według danych podawanych przez Zarząd zespołu hydroelektrowni, powierzchnia zbiornika Żur wynosi 400 ha, a zbiornika Gródek 95 ha, natomiast według MPHP (2004) odpowiednio 265 ha i 65 ha. Pierwsze wartości odpowiadają maksymalnym awaryjnym poziomom piętrzenia, a drugie poziomom średnim. Przyjmując powierzchnię przy średnim poziomie piętrzenia, średnią roczną wartość parowania z wolnej powierzchni wody – 620 mm (wartość podana przez A. Choińskiego w 1985 roku dla Jez. Charzykowskiego w zlewni Brdy) oraz wielkość parowania terenowego dla tego obszaru – 470 mm (Stachý, 1987) obliczono, że średni odpływ ze zlewni różnicowej Krąplewice, po dodaniu strat na parowanie z powierzchni zbiorników, powinien być wyższy zaledwie o 1,6%.

Analizując możliwy wzrost ewapotranspiracji należy wziąć pod uwagę wyniki badań wykonanych w zlewni różnicowej Czarna Woda (Szumińska, 2006; Frydel, 2004). Bardzo prawdopodobne jest, że zalanie doliny Wdy spowodowało zwiększenie zużycia wody w otoczeniu zbiorników zaporowych przez znajdujące się tam ekosystemy leśne. U. Soczyńska z zespołem (1991) przeprowadziła badania modelowe, w których wykonano symulację zmian procesów hydrologicznych w profilu glebowym pod wpływem podniesienia i obniżenia zwierciadła wód gruntowych.

Stwierdzono, że przy obniżeniu zwierciadła wody z głębokości 1,5 do 2 m zachodzi znaczący spadek uwilgotnienia gleby w strefie do 60 cm, co powoduje obniżenie ewapotranspiracji lasu; w sytuacji odwrotnej wzrasta ewapotranspiracja. Prawdopodobnie największe straty wynikające z tego procesu wiązać można z obecnością Zbiornika Żur. Długość jego linii brzegowej wynosi 31,915 km, a wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej osiąga wartość 5,82.

5.3. Zlewnie Wawrzynowo, Błędno i Tleń

Na podstawie przeprowadzonej analizy trendów liniowych odpływów miesięcznych w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach Wawrzynowo i Tleń stwierdzono, że prawie we wszystkich miesiącach nastąpił tu spadek wysokości odpływu pomimo tego, że opady wykazywały tendencję wzrostową (ryc. 37). W zlewni Błędno spadek zaobserwowano w miesiącach półroczu letniego, od kwietnia do października. W zlewniach tych od lat 90. wznowiono użytkowanie dawnych piętrzeń młyńskich. Wszystkie stopnie wodne odtworzono w celu produkcji energii elektrycznej: w zlewni Wawrzynowo na cieku Trzebiocha w Grzybowski Młynie (w 1988 roku), w zlewni Tleń na Prusinie w Śliwiczach (w 2000 roku), a w zlewni Błędno na dopływie z Jeziora Czechowskiego w miejscowości Młyńsk (w 1995 roku) i na Wdzie we Wdeckim Młynie (w 1992 roku).

Na podstawie informacji uzyskanych w Biurze Terenowym Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Świeciu oraz własnych badań i wywiadów terenowych stwierdzono, że na niektórych odcinkach doliny Wdy oraz jej dopływów, w miejscach, gdzie odtworzono dawne piętrzenia, zanotowano podtopienia gruntów. Zaznaczyć należy, że są to podtopienia stałe, które utrzymują się od okresu wiosennych roztopów przez cały sezon wegetacyjny. Badania przeprowadzone na odcinku oddziaływania stopnia w Wojtalu wykazały, że skala przestrzenna podtopień, a tym samym ilość wody stagnującej na równinie zalewowej, może być znaczna, z powodu urozmaiconej morfologii doliny Wdy (Szumińska, Habel, 2005). W wyniku obserwacji tego i innych piętrzeń w zlewni Wdy stwierdzono, że największy zasięg przestrzenny wpływu stopnia wodnego występuje w miejscach, gdzie cofka dotrze do odcinka doliny o założeniach glacialnych (najczęściej rynna lub wytopisko). Najlepszym przykładem jest zbiornik Żur, ale zależność ta dotyczy też mniejszych stopni wodnych. W częściach doliny o założeniach glacialnych występują naturalne warunki sprzyjające dłuższej stagnacji wód na równinie zalewowej (mniejsze spadki poprzeczne i podłużne doliny). Często też, z powodu głębokiego rozcięcia powierzchni terenu, zachodzi tam intensywny drenaż wód podziemnych. Przegrodzenie rzeki w takim fragmencie doliny powoduje znaczne rozprzestrzenienie wpływu utworzonego zbiornika na warunki hydrologiczne zarówno w górę doliny, jak też w stronę jej krawędzi.

Ze względu na niewielkie spadki dna doliny w odcinkach o założeniach glacialnych, były one często w przeszłości poddawane melioracjom. W ostatniej dekadzie XX wieku na wielu zmeliorowanych łąkach zaniechano działalności rolniczej, a urządzenia odwadniające ulegały postępującej dewastacji. W okresie tym pojawiły się też problemy z zalewaniem łąk spowodowane działalnością bobrów, które budują tamy zarówno na ciekach naturalnych, jak też na sztucznych rowach (fot. 5). Z rozmów z pracownikami RZGW wnioskować można, że w znacznie mniejszym zakresie wykonuje się też od lat 90. XX wieku czyszczenie koryta Wdy z roślinności wodnej (fot. 6).

Przykład zespołu uwarunkowań, związanych z ograniczeniem zabiegów konserwacji urządzeń melioracyjnych i koryta Wdy można zaobserwować w miejscowości Złe Mięso (lokalizacja na ryc. 14). We wrześniu 2005 roku, w okresie słoneczniej, bezdeszczowej pogody, doszło tu do wlewania się i stagnowania wód Wdy na równinie zalewowej (fot. 7), co było spowodowane spiętrzeniem, wywołanym silnym zarośnięciem koryta (fot. 6). Trwałe zmiany w poziomie wód gruntowych na tym odcinku doliny spowodowały też wkroczenie trzciny na dawne łąki (fot. 8). W czasie kartowania koryta Wdy we wrześniu 2005 roku, na odcinku od jeziora Wdzydze do miejscowości Wdecki Młyn zaobserwowano w kilkunastu miejscach wymieranie olch (fot. 9), świadczące o trwałych zmianach warunków wilgotnościowych w dnie doliny Wdy. Straty odpływu w tego typu fragmentach doliny mogą być znaczne, zwłaszcza podczas stagnacji wody na równinie zalewowej w miesiącach letnich.

Na podstawie przeanalizowanych zmian wysokości opadów i odpływu w zlewni Wdy w badanym wieloleciu (tab. 18) nasuwa się jeszcze jedna uwaga, że problemy związane z użytkowaniem stopni wodnych mogły wynikać ze zmiany sytuacji hydrologicznej w ostatnich latach XX wieku. Seria lat suchych z pierwszej połowy lat 90. wymusiła zmiany w sposobie użytkowania już istniejących stopni i spowodowała, że nowo odtworzone piętrzenia w pierwszym okresie funkcjonowania nie powodowały konfliktów. Kilkuletnia susza skłoniła użytkowników istniejących stopni wodnych do starania się o wydanie decyzji zezwalających na zwiększenie rzędnych piętrzenia (w Lipuszu o 35 cm i Wojtalu o 80 cm), a często też do samowolnego nadpiętrzenia zbiorników (w Wojtalu i Wdeckim Młynie o prawie 100 cm). Protesty miejscowych rolników, sygnalizujące trwałe (również w czasie lata) podtopienia użytków rolnych, pojawiły się od roku 2000. Zauważyć można, że od roku 1998, po kilkuletniej suszy, nastąpił wzrost opadów, a od roku 1999 wzrost odpływu (tab. 18). Prawdopodobnie zatem podtopienia gruntów były spowodowane przez kilka nakładających się na siebie czynników: nadpiętrzenie zbiorników, zaniedbanie koryt głównych cieków oraz urządzeń odprowadzających nadmiar wód z równiny zalewowej; naturalne predyspozycje użytkowanych rolniczo odcinków doliny do długiej stagnacji wód na równinie zalewowej oraz zmianę wysokości opadów atmosferycznych. Podobna sytuacja

dotyczyła stopni odtworzonych w latach 90., które w początkowym okresie nie powodowały protestów, a skargi na ich użytkowników zaczęły wpływać w ostatnich latach XX wieku.

Do wzrostu retencji doszło także na odcinkach dolin rzecznych, gdzie nie ma stopni wodnych i w różnej genezy zagłębieniach. W latach 2002-2005 prowadzono kartowanie hydrograficzne zagłębień położonych w obrębie fragmentu sandru Wdy pomiędzy Wdą i Prusimą (fragmenty zlewni Błędno, Tleń i Krąplewice) (ryc. 9). Zagłębienia te wykazują najczęściej charakter ciągów rynien i wytopisk o ukierunkowaniu poprzecznym do wododziału Wdy i Prusiny. W XX wieku zagłębienia zmeliorowano i włączono (przez przekopanie progów pomiędzy nimi) do sieci odpływu powierzchniowego. Ich położenie w pobliżu wododziału powoduje, że wykonane prace mogły spowodować zwiększenie intensywności drenażu wód podziemnych. W latach 2002-2005 stwierdzono, że w wielu obniżeniach sieci rowów melioracyjnych jest bardzo zaniedbana, co powoduje utrudnienia odpływu i stagnowanie wody. Odpływ bardzo często utrudniała też obecność budowanych przez bobry tam (fot. 10 i 11). Opisane zjawiska zarejestrowano głównie w śródleśnych zagłębieniach (oddalonych od większych osad i wsi), w obrębie których w ostatnich latach zaprzestano użytkowania rolniczego. Należy zaznaczyć, że zmieniło się też podejście leśników do zagadnienia retencji wód. Jeszcze na początku lat 80., kiedy wskutek wysokich opadów atmosferycznych zwiększył się znacznie poziom bezodpływowego jeziora Piaseczno, zlokalizowanego w opisywanej strefie wododziałowej, podjęto decyzję o wykonaniu przekopu od jeziora do zmeliorowanego zagłębienia. Przyczyną tej decyzji było zagrożenie podtopieniem okolicznych drzewostanów. Obecnie natomiast licznie stawiane na terenach administrowanych przez Lasy Państwowe tamy bobrowe nie są rozbierane i zezwala się na powstawanie naturalnych zbiorników retencyjnych (fot. 11 i 12), które – jak wskazują badania wpływu nawodnień w Nadleśnictwie Kaliska – powodują zwiększenie przyrostów drzewostanu.

Opisane zmiany w sposobie użytkowania zarówno dolin rzecznych (Wdy i jej dopływów), jak też zagłębień śródleśnych, są najbardziej prawdopodobną przyczyną zmniejszenia objętości odpływów miesięcznych w zlewniach Wawrzynowo, Błędno i Tleń.



Fot. 5. Zaniedbany rów melioracyjny w okolicach wsi Miedzno (lokalizacja na ryc. 14), widoczny stan po udrożnieniu rowu i odprowadzeniu wody spiętrzonej przez tamę postawioną przez bobry, czerwiec 2004 rok

Photo 5. Damaged ditch in the vicinity of Miedzno village (location indicated in Fig. 14) after removing a beaver dam and draining the excess of water, June 2004



Fot. 6. Silnie zarośnięte koryto Wdy we wsi Złe Mięso (lokalizacja na ryc. 14), widoczne dzielenie się koryta, wrzesień 2005 rok

Photo 6. Overgrown Wda channel section near the village of Złe Mięso (location indicated in Fig. 14) gradually splitting its course, September 2005



Fot. 7. Wylewanie się wody na równinę zalewową wskutek spiętrzenia wywołanego silnym zarośnięciem koryta Wdy, miejscowość Złe Mięso (lokalizacja na ryc. 14), wrzesień 2004 rok

Photo 7. Inundation of flood plain as a consequence of vegetation-induced water damming, Złe Mięso village (location indicated in Fig. 14), September 2004



Fot. 8. Wypalanie trzciny na równinie zalewowej w miejscowości Złe Mięso, wrzesień 2005 rok (lokalizacja na ryc. 14)

Photo 8. Burning reeds on the flood plain near Złe Mięso village (location indicated in Fig. 14), September 2005



Fot. 9. Zamierające olchy na równinie zalewowej Wdy 5 kilometrów powyżej miejscowości Młyńsk (lokalizacja na ryc. 14), wrzesień 2005 rok

Photo 9. Decaying alder tree on the Wda flood plain 5 km upstream of Młyńsk village (location indicated in Fig. 14), September 2005



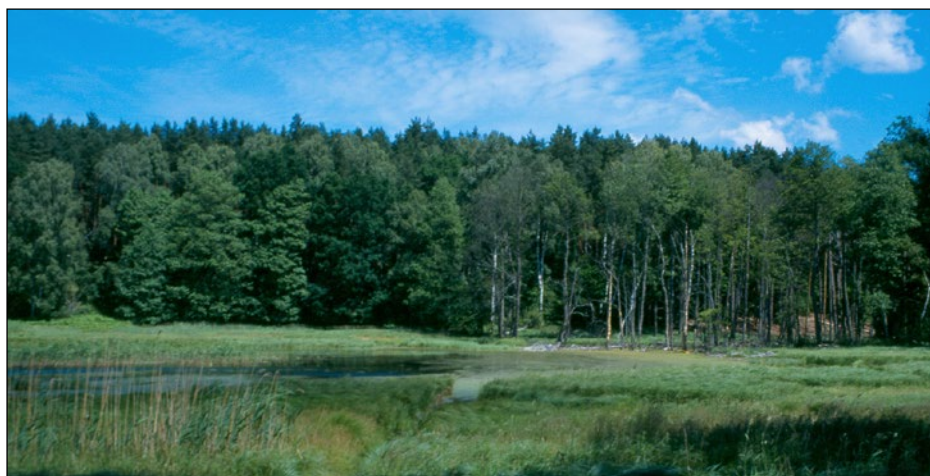
Fot. 10. Tama bobrowa na rowie melioracyjnym w okolicy Grzybna, teren administrowany przez Lasy Państwowe, wrzesień 2003 rok

Photo 10. Beaver dam on the ditch near the village of Grzybno, state-owned forests, September 2003



Fot. 11. Dolna część zbiornika powstałego w wyniku zataamowania odpływu przez bobry w rynn timer jeziora Piaseczno, czerwiec 2006

Photo 11. The lower part of a water reservoir formed as a result of beaver dams blocking runoff in the Piaseczno Lake glacial channel (location indicated in Fig. 8, No. 11), June 2006



Fot. 12. Górna część zbiornika powstałego w wyniku zataamowania odpływu przez tamy bobrowe w rynn timer jeziora Piaseczno, czerwiec 2003 rok

Photo 12. The upper part of a water reservoir formed as a result of beaver activity in the Piaseczno Lake glacial channel (location indicated in Fig. 8, No. 11), June 2003

6. Podsumowanie i dyskusja

Na podstawie przeprowadzonej równoległej analizy danych hydrologicznych dla zlewni całkowitych i różnicowych stwierdzono, że uzyskane do tej pory wyniki, wskazujące na znaczną regularność odpływu ze zlewni Wdy, są w dużej mierze kształtowane przez przebieg procesów hydrologicznych w jej północnej części (fragment do wodowskazu Wawrzynowo). Znaczna stabilność odpływu z tego obszaru determinowana jest przez najwyższe, w skali całej zlewni, opady atmosferyczne, niższe niż w pozostałych fragmentach temperatury powietrza oraz znaczną liczbę głębokich jezior przepływowych i odpływowych. Czynniki te powodują, że odpływy są tu wyrównane zarówno w skali wielolecia, jak też roku hydrologicznego. Niewątpliwie północna część zlewni Wdy znacząco wpływa na sumaryczny odpływ rejestrowany w przekrojach położonych poniżej.

Najistotniejszą cechą odróżniającą pięć analizowanych zlewni różnicowych jest intensywność prowadzonej gospodarki wodnej. Pod tym względem, jako najbardziej przekształcone, wytypowano zlewnie Czarna Woda i Krąplewice.

W pierwszej z nich wybudowano system urządzeń hydrotechnicznych pozwalających na okresowe zatrzymanie odpływu i wykorzystanie wody do nawodnień łąk. Woda retencjonowana jest w naturalnym zbiorniku – jeziorze Wdzydze. To duże jezioro o powierzchni 14,6 km² zostało spiętrzone o około 2 m w miejscu, w którym wypływa z niego rzeka Wda. Zgromadzona woda była następnie doprowadzana Kanałem Wdy (Czarnowodzkim) o długości 23,3 km na nawadnianie łąki. Przy największej warstwie użytkowej jeziora Wdzydze wynoszącej 1,5 metra (w okresie od końca XIX wieku do lat 60. XX wieku) można było zatrzymać w nim średnio 27% całkowitego odpływu Wdy z pięciu miesięcy zimowych (nawodnienia łąk rozpoczynano w kwietniu). Dla roku suchego wartość ta przekraczała 50% odpływającej w tym czasie wody. W okresie późniejszym, przy warstwie użytkowej 0,6 m, możliwości retencyjne były nieco mniejsze, ale i tak osiągały ponad 20% odpływu z miesięcy zimowych w roku suchym. Retencjonowana woda była włącza-

na do obiegu w sezonie wegetacyjnym poprzez nawadnianie łąk. Wskutek nawadniania łąk wodą prowadzoną Kanałem Wdy zmieniły się stosunki wodne w jego otoczeniu, co doprowadziło do powstania niewielkich zbiorników wodnych w suchych wcześniej zagłębieniach. Jednocześnie doszło do prawie całkowitego zaniku przepływu Wdy na odcinku około 20 kilometrów. W latach 90. XX wieku wspomniane zbiorniki wodne wyschły. W tym samym czasie w korycie Wdy zanotowano stopniowy wzrost przepływu, który spowodował podtopienia dna doliny. Zjawiska te były efektem znacznego zmniejszenia intensywności nawodnień i objętości wody prowadzonej Kanałem Wdy.

W zlewni Krąplewice w latach 30. XX wieku wybudowano dwa stopnie wodne w miejscowościach Żur i Gródek o przeznaczeniu hydroenergetycznym. Utworzone zbiorniki retencyjne o powierzchniach odpowiednio 221,9 ha i 63,2 ha zajmują ponad połowę długości doliny Wdy w obrębie zlewni różnicowej Krąplewice. Do końca XX wieku stopnie wodne pracowały w rytmie tygodniowym, tzn. woda gromadzona była w sobotę i niedzielę, a w dni robocze tygodnia, w godzinach szczytu, produkowano najwięcej energii elektrycznej. Od kilkunastu lat elektrownie pracują w oparciu o bieżący dopływ wody.

Na pozostałym, objętym badaniami obszarze, użytkowanie wód przybiera mniej intensywny charakter. Z działań występujących w ostatnim dziesięcioleciu analizowanego okresu 1974-2003 na uwagę zasługuje odnowienie niewielkich piętrzeń na ciekach w zlewniach Wawrzynowo, Błędno i Tleń. W zlewniach tych jednak warunki formowania odpływu rzeczno wykazują najmniejszy stopień przekształcenia w wyniku prowadzonej gospodarki wodnej. Odpływy wykazują tu znaczną regularność, a przepływy najwyższe w roku przewyższają najniższe zaledwie 2-3-krotnie. W zlewniach tych przeważają lata o odpływie normalnym (różniące się od odpływu średniego z wielolecia o 10%), których częstość w skali wielolecia 1974-2003 wyniosła 40-55%.

Wskutek intensywnego użytkowania wód w zlewniach Czarna Woda i Krąplewice zanotowano różnice w przebiegu procesów hydrologicznych, w stosunku do pozostałych badanych fragmentów:

- Odpływy wykazują tu większą nieregularność w skali roku hydrologicznego oraz wielolecia. Współczynnik nieregularności średnich rocznych odpływów był w okresie 1974-2003 w zlewni Czarna Woda około dwa razy, natomiast w zlewni Krąplewice aż siedem razy wyższy niż na pozostałym obszarze.
- Notowany jest mniejszy udział lat o odpływie normalnym, kosztem lat suchych i wilgotnych, w zlewni Czarna Woda o 10-20%, a w zlewni Krąplewice o 30-50%. W tej ostatniej występują największe nadmiary i niedobory odpływu, wynoszące odpowiednio +113,6% i -84,5% odpływu średniego z wielolecia 1974-2003.
- Odpływy wykazują większą koncentrację, czyli są mniej równomiernie rozłożone w czasie roku hydrologicznego. Średnia z wielolecia 1974-2003 wartość wskaźni-

ka koncentracji GMO w zlewni Krąplewice wyniosła 11,46, podczas gdy w pozostałych zlewniach mieściła się w granicach 8,61-8,90. W zlewni Czarna Woda średnia wieloletnia nie była wyższa niż na pozostałym obszarze (8,87), jednak w pierwszej części analizowanego okresu wartości roczne wskaźnika przewyższały 11.

- W obydwu zlewniach zanotowano straty odpływu wskutek bezpośredniego i pośredniego oddziaływania prowadzonej gospodarki wodnej. W zlewni różnicowej Czarna Woda straty osiągały w pierwszej połowie badanego okresu 1974-2003 około $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, co stanowi 13% średniego wieloletniego przepływu Wdy do profilu Czarna Woda. Określenie różnic w przebiegu i wysokości odpływu, w stosunku do innych obszarów, było w tym przypadku możliwe z powodu ograniczenia intensywności użytkowania wód od lat 80. XX wieku. W zlewni Krąplewice, w związku z podobnym w całym badanym wieloleciu natężeniem pracy kaskady, a także brakiem danych hydrologicznych sprzed jej powstania, nie było możliwe jednoznaczne określenie jej wpływu na objętość odpływu. Na dwukrotnie niższe odpływy ze zlewni różnicowej Krąplewice składa się najprawdopodobniej kilka czynników. Po pierwsze – niższe o 20-40% odpływy ze zlewni dopływów, głównie Ryszki i Sobiny, po drugie – oddziaływanie zbiorników zaporowych, powodujące zmniejszenie intensywności дренаżu wód podziemnych w dolinie Wdy i wzrost strat przede wszystkim na ewapotranspirację, a w mniejszym stopniu na parowanie, po trzecie – дренаż wód podziemnych głębokiego krążenia przez rzekę Wisłę.

Przedstawione wyniki badań wskazują na dosyć znaczne przekształcenie stosunków wodnych w zlewni Wdy, w szczególności w jej niektórych fragmentach. Zastosowane wskaźniki okazały się przydatne do rozpoznania wpływu działalności człowieka na odpływ przy zastosowaniu analizy porównawczej zlewni różnicowych. Bardzo przydatny okazał się wskaźnik koncentracji odpływu GMO, który w zlewniach o przekształconych stosunkach wodnych przyjmował wartości kilkakrotnie wyższe niż w zlewniach poddanych względnie niewielkiej presji antropogenicznej. Dosyć dobre wyniki uzyskano też poprzez zastosowanie podwójnej krzywej kumulacyjnej opadu i odpływu oraz krzywej konsekwentnej odpływu.

Opisane w pracy wyniki znajdują potwierdzenie w materiałach przedstawionych w jednej z nowszych prac zajmujących się odpływem rzek w Polsce (Wrzesiński, 2013). Oprócz kilkuset innych posterunków hydrologicznych, autor wykorzystał dane z posterunków w Wawrzynowie i Czarnej Wodzie z wielolecia 1951-2010. Obliczony wskaźnik odpływu ze zlewni różnicowej Czarna Woda w badanym wieloleciu był w granicach 150-200 mm. Zarówno w zlewniach zlokalizowanych na północ (zlewnia różnicowa Wawrzynowo), jak na zachód (górna część dorzecza Brdy) i wschód (górna część dorzecza Wieżycy) odpływy były w przedziale 200-250 mm (Wrzesiński, 2013, s. 26 – ryc. 4). Podobne wartości wskaźnika odpływu uzyskano dla analizowanego przez autorkę wielolecia 1974-2003 (Wawrzynowo 230 mm, Czarna Woda 182 mm, tab. 14). Tak niska wartość wskaźnika dla zlewni Czarna Woda w sto-

sunku do otoczenia nie jest możliwa do zaakceptowania bez uwzględnienia wpływu gospodarki wodnej. Należy bowiem pamiętać, że w zlewni tej znajduje się jezioro Wdzydze, które stanowi miejsce bardzo intensywnego drenażu wód podziemnych. Potwierdzeniem uzyskanych przez autorkę wyników są też: mniejszy niż w otaczających zlewniach udział odpływów letnich (Wrzesiński, 2013, s. 27 – ryc. 5), większa zmienność przepływów minimalnych (Wrzesiński, 2013, s. 30 – ryc. 7), większa niestabilność występowania II maksimum przepływów miesięcznych, w tym przypadku zimowo-wiosennego (Wrzesiński, 2013, s. 44 – ryc. 11). Wszystkie te odstępstwa od otaczających zlewni są wynikiem zaburzenia reżimu odpływu Wdy na odcinku zlewni różnicowej Czarna Woda.

Do ważniejszych wniosków wynikających z przedstawionego w niniejszej pracy materiału badawczego zaliczyć można ujawnienie swoistego stanu **wtórnej równowagi hydrologicznej**, który wytworzył się po ponad stuletnim użytkowaniu pruskich systemów nawodnieniowych. Jego przejawem były stałe zmiany stosunków wodnych – pojawienie się zbiorników wodnych. Obiekty te zostały z czasem potraktowane jako naturalne. Prawdopodobnie należy to tłumaczyć „dobrym wpasowaniem” w otaczający krajobraz młodogłacjalny, charakteryzujący się obecnością licznych zagłębień wypełnionych jeziorami i mokradłami. Z pewnością pojawienie się takich zbiorników na obszarze starogłacjalnym, zostałyby od razu powiązane z budową kanału nawadniającego. Omówiony wpływ pruskich systemów nawodnieniowych na obieg wody w zlewni Wdy można przez analogię przenieść na sąsiednią zlewnię Brdy, gdzie znajduje się drugi z głównych kompleksów Łąk Królewskich, nawadniany wodą doprowadzaną Wielkim Kanałem Brdy. Niestety, w zlewni Brdy układ posterunków hydrologicznych jest mniej korzystny do analizy tego zagadnienia.

Bardzo interesujące są też spostrzeżenia związane z efektami zaburzenia tego wtórnego stanu równowagi hydrologicznej i zapoczątkowania procesu **renaturyzacji warunków odpływu**. W zalesionej zlewni sandrowej efekty wprowadzonych zmian w obiegu wody są z jednej strony bardzo rozległe przestrzennie, z drugiej strony rozciągnięte w czasie, co utrudnia ich identyfikację. Dlatego wiele problemów związanych z użytkowaniem wód w zlewni Wdy rozpatrywanych do tej pory oddzielnie (Wołoszyn, 1995 a; Wołoszyn, Szydłowski, 2002; Unczur, 2002; Frydel, 2004) powodowało błędną interpretację ich przyczyn. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono jednak, że przeciwstawne zjawiska (zanik jezior, podtopienia gruntów) wykazują silne powiązanie ze sobą i są wynikiem znacznych zmian w sposobie gospodarowania wodą w ostatnim dwudziestoleciu XX wieku. Właściwe zrozumienie przyczyn tych zjawisk może pomóc w określaniu warunków korzystania z wód oraz w rozwiązywaniu konfliktów. Nadal trwa proces renaturyzacji warunków odpływu w zlewni różnicowej Czarna Woda, związany z ograniczeniem nawodnień. Może to powodować w przyszłości kolejne konflikty związane z występującymi lokalnie zmianami warunków hydrologicznych. Warto przy tym podkreślić, że w przypadku jakiej-

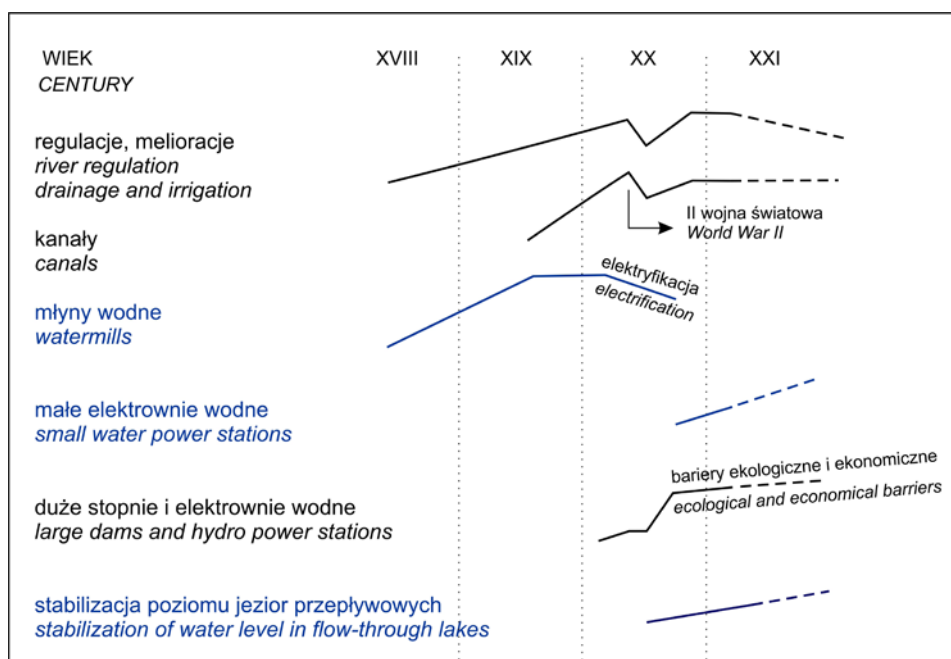
kolwiek interpretacji przeszłych, obecnych i przyszłych procesów hydrologicznych istnieje ogromna potrzeba analizy warunków hydrologicznych w powiązaniu z geomorfologią, geologią i warunkami hydrogeologicznymi. Oddzielne traktowanie tych elementów prowadzi do błędów w interpretacji przyczyn zjawisk hydrologicznych.

Zastanawiając się nad przyszłym sposobem użytkowania wód w środkowym odcinku zlewni Wdy, wydaje się, że najlepsze byłoby zachowanie zdolności retencyjnych XIX-wiecznych systemów hydrotechnicznych, ze względu na możliwość prowadzenia, bardzo korzystnej dla środowiska, retencji powierzchniowej. Jednocześnie obiekty te dają unikalną w skali Europy możliwość prezentacji zabytków architektury hydrotechnicznej, a także edukacji w zakresie hydrologii, hydrotechniki, ekologii. Podobną rolę może pełnić kaskada hydroenergetyczna Żur – Gródek.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że w świetle zaprezentowanych wyników, intensywnie przekształcany od XVIII wieku obszar Borów Tucholskich należy traktować jako teren o warunkach seminaturalnych. Pomimo że jest to jeden z największych w Polsce zwartych kompleksów leśnych, większość elementów środowiska przyrodniczego została tu w pewien sposób poddana antropopresji. W niektórych fragmentach Borów Tucholskich jednym z silnie przekształconych elementów są stosunki wodne i obieg wody.

Zidentyfikowane w zlewni Wdy formy antropogenicznego oddziaływania na warunki odpływu można ująć w postaci schematu przedstawiającego skalę ich oddziaływania na przestrzeni ostatnich 300 lat (ryc. 42). W XVIII i XIX wieku intensywność antropogenicznych zmian odpływu była zależna przede wszystkim od regulacji rzek i melioracji oraz retencji wody i regulacji odpływu poprzez niewielkie piętrzenia. W wieku XX elektryfikacja doprowadziła z jednej strony do likwidacji większości małych stopni wodnych, a z drugiej do budowy dużych stopni o przeznaczeniu hydroenergetycznym. W zlewni Wdy duże stopnie powstały relatywnie wcześnie, w latach 30. XX wieku. W innych rejonach Polski większość stopni wodnych budowana była po II wojnie światowej, przy czym od lat 80. XX wieku zmieniało się podejście do gospodarowania dolinami rzecznyymi. Ograniczono liczbę budowanych stopni wodnych ze względu na duże koszty ekonomiczne i ogromne straty ekologiczne. Od lat 90. XX wieku odtwarzane są dawne małe stopnie wodne, głównie w celach produkcji energii elektrycznej, ale niezamierzonym skutkiem tych inwestycji jest wzrost retencji.

Wzrost retencji w zlewniach powodowany jest także przez zmniejszenie intensywności wykorzystania użytków zielonych i zaniechanie w związku z tym konserwacji sieci melioracyjnej. Dosyć powszechne jest też montowanie zastawek na ciekach wypływających z jezior, co pozwala na stabilizację warunków hydrologicznych w strefach brzegowych jezior przepływowych.



Ryc. 42. Zmiany intensywności i kierunków oddziaływania człowieka na odpływ rzeczny od XVIII do XXI wieku

Fig. 42. Changes in the intensity and directions of human impact on river runoff from the 18th to the 21st century

Zauważyć można, że proces renaturyzacji wielu odcinków dolin rzecznych był w Polsce niezamierzonym skutkiem zmniejszenia nakładów finansowych na utrzymanie drożności koryt rzecznych i sieci melioracyjnej. W wielu krajach europejskich natomiast, jak np. Wielka Brytania czy Francja, odchodzi się obecnie świadomie od sztucznego utrzymania „porządku” w dolinach rzecznych, pozwalając na swobodny przebieg procesów hydrologicznych.

Bibliografia

References

- Absalon D., 1996, *Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznego w zlewni Rudy*, Wyd. Nauk o Ziemi, UŚ, Sosnowiec, maszynopis pracy doktorskiej.
- Absalon D., 1998, *Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznego w zlewni Rudy*, Prace Nauk. UŚ, 1732, Wyd. UŚ, Katowice.
- Absalon D., Czaja S., Jankowski A.T., Kańok J., Leśniok M., 1996, *Odpływ antropogeniczny*, [w:] A.T. Jankowski (red.), *Tendencje zmian obiegu wody w zlewni górnej Odry*, Zakł. Hydr. i Gosp. Wodnej Obsz. Zurb., Wyd. Nauk o Ziemi, UŚ, Sosnowiec, s. 110-116.
- Andrzejewski L., 1994, *Ewolucja systemu fluwialnego doliny dolnej Wisły w późnym vistulianie i holocenie na podstawie wybranych dolin jej dopływów*, Rozprawy UMK, Toruń.
- Aszyk M., Kistowski M., 2002, *Monitoring bobra w województwie pomorskim. Ekologiczne, sozologiczne i społeczne uwarunkowania rozmieszczenia gatunku w regionie*, UG, Bogucki Wyd. Nauk., Gdańsk-Poznań.
- Augustowski B., Sylwestrzak J., 1979, *Zarys budowy geologicznej i rzeźba terenu*, [w:] B. Augustowski (red.), *Pojezierze Kaszubskie*, Gdańskie Tow. Nauk., Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 49-71.
- Avakian A.B., 1998, *Ecological Problems of River Systems Regulated by Reservoir*, [w:] D.P. Loucks (red.), *Restoration of Degradated Rivers: Challenges, Issues and Experiences*, Kluwer Acad. Publ., The Netherlands, s. 85-98.
- Babiński Z., 1973, *Zmiany stosunków wodnych w bezodpływowej zlewni jeziora Pniewie na skutek prac melioracyjnych*, Gosp. Wodna, 8, s. 309-312.
- Babiński Z., 1992, *Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 157, Warszawa.
- Babiński Z., 2002, *Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych ze szczególnym uwzględnieniem stopnia wodnego „Włocławek”*, AB, Bydgoszcz.

- Babiński Z., Grześ M., 1995, *Monografia hydrologiczna zbiornika stopnia wodnego „Włocławek”*, Zesz. IGiPZ PAN, 30, Warszawa.
- Bajkiewicz-Grabowska E., 1975, *Zmiany odpływu z małej zlewni w wyniku prac melioracyjnych*, Gosp. Wodna, 1, s. 9-13.
- Bajkiewicz-Grabowska E., 1996, *Zmiany wielkości przepływu w węzłach hydrograficznych systemu rzeczno-jeziornego Krutyni (Pojezierze Mazurskie)*, [w:] A. Hillbricht-Ilkowska, R.J. Wiśniewski (red.), *Funkcjonowanie systemów rzeczno-jeziornych w krajobrazie pojeziernym: rzeka Krutynia (Pojezierze Mazurskie)*, Zesz. Nauk. Komitetu „Człowiek i Środowisko” PAN, 13, Oficyna Wydaw. Inst. Ekol. PAN, Dziekanów Leśny, s. 35-42.
- Bartczak A., 2004, *Wieloletnia zmienność odpływu z dorzecza Zgłowiączki*, Wyd. Bi-
NoZ, UMK, Toruń, maszynopis rozprawy doktorskiej.
- Błaszkwicz M., 1998, *Dolina Wierzycy, jej geneza oraz rozwój w późnym plejstocenie i wczesnym holocenie*, Dokum. Geogr. IGiPZ PAN, 10, Wyd. Continuo, Wrocław.
- Błaszkwicz M., 2003, *Wybrane problemy późnoglacialnej i wczesnoholocenijskiej ewolucji jezior na wschodnim Pomorzu*, Przegl. Geogr., t. 75, z. 4, Warszawa.
- Błaszkwicz M., 2005 a, *Późnoglacialna i wczesnoholocenijska ewolucja obniżen jezior na Pojezierzu Kociewskim (wschodnia część Pomorza)*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 201, Warszawa.
- Błaszkwicz M., 2005 b, *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000*, arkusz Stara Kiszewa, Wyd. Min. Środ. i PIG, Warszawa.
- Bohdziewicz L., Jankowska H., Musielak S., 1985, *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Gdańsk, Wyd. Geol., Warszawa.
- Bohdziewicz L., Jankowska H., Musielak S., 1986, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000*, arkusz Gdańsk, Wyd. Geol., Warszawa.
- Brandt S., 1976, *Metody statystyczne i obliczeniowe analizy danych*, PWN, Warszawa.
- Bullock A., Acreman M., 2003, *The Role of Wetlands in the Hydrological Cycle*, „Hydrology and Earth System Sciences”, 7 (3), s. 358-389.
- Butrymowicz N., Murawski T., Pasierbski M., 1975, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Chojnice, PIG, Warszawa.
- Byczkowski A., 1999, *Hydrologia*, t. II, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Byczkowski A., Kiciński T., 1991, *Hydrologia i hydrografia dorzecza Biebrzy*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 372, PWN, Warszawa, s. 75-118.
- Byczkowski A., Mandes B., 1998, *Wpływ stopnia zalesienia zlewni na wybrane odpływy charakterystyczne w świetle analizy związków korelacyjnych tych odpływów z czynnikami odpływotwórczymi w północno-wschodniej Polsce*, Międzynarodowa Konferencja „Las i woda”, 25-29 maja, Kraków, Inst. Inżynierii i Gosp. Wodnej, Politechn. Krakowska, IBL w Warszawie, s. 127-135.

- Chien N., 1985, *Changes in River Regime After the Construction of Upstream Reservoirs*, „Earth Surface and Landforms”, vol. 10, s. 143-159.
- Chełmicki W., Skąpski R., Soja R., 1999, *Reżim hydrologiczny rzek karpackich w Polsce*, Folia Geogr., Seria Geogr. Phys., 29/30, Kom. Nauk Geogr. PAN, Kraków, s. 67-81.
- Choiński A., 1985, *Wybrane zagadnienia z limnologii fizycznej Polski*, UAM, Poznań.
- Choiński A., 1988, *Zróźnicowanie i uwarunkowania zmienności przepływów rzek polskich*, Seria Geogr., 39, UAM, Poznań.
- Choiński A., 1991, *Katalog jezior Polski, Pojezierze Pomorskie*, UAM, Poznań.
- Choiński A., 2002, *Rzeki Borów Tucholskich*, [w:] J. Banaszak, K. Tobolski (red.), *Park Narodowy Bory Tucholskie na tle projektowanego rezerwatu biosfery*, Wyd. Hominii, Kraków, s. 139-150.
- Churska C., 1958, *Stosunek sandru Brdy do wysp moreny dennej*, Zesz. Nauk. UMK, Seria Geogr., 4, Toruń.
- Churski Z., 1961, *Morfologia i hydrografia kompleksu jeziora Wdzydze*, Roczn. Nauk Roln., t. 93-D, PAN-WNRiL, IRŚ, Warszawa, s. 15-57.
- Churski Z., 1988, *Wpływ gospodarczej działalności człowieka na zmiany jezior i mokradeł na Pojezierzu Brodnickim*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce*, Rozprawy UMK, Toruń, s. 182-193.
- Ciepielowski A., Kucharska K., Pierzgański E., Tyszką J., 1998, *Wezbrania powodziowe i procesy erozyjne w zlewniach dwóch potoków sudeckich*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Las i woda”, 25-29 maja, Kraków, Inst. Inżynierii i Gosp. Wodnej, Politechn. Krakowska, IBL w Warszawie, s. 136-148.
- CORINE Land Cover Update I&CLC2000 Project. Technical Guidelines, 2002, EEA, European Topic Center – Terrestrial Environment, European Environment Agency, København, <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice>.
- Czaja S., 1988, *Wpływ górnictwa i uprzemysłowienia na reżim odpływu rzek w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym na przykładzie zlewni Krynicy do profilu w Sosnowcu*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokum. Geogr. IGiPZ PAN, 4, Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 65-77.
- Czaja S., 1999, *Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej)*, Prace Nauk. UŚ, 1782, UŚ, Katowice.
- Czarnecka H. (red.), 1983, *Podział hydrograficzny Polski, Część I, Zestawienia liczbowo-opisowe*, IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Decyzja nr OS-II-6811/3/04/00 wojewody kujawsko-pomorskiego z dnia 09.05.2001 roku w sprawie pozwolenia wodnoprawnego dla elektrowni wodnej Żur.
- Decyzja Wojewody Gdańskiego nr OS-V-7240/52/83 z dnia 4.07.1983 roku.

- Dębski K., 1951, *Wpływ lasu na stosunki hydrologiczne*, Wiad. Służby Hydrol. i Meteor., t. II, z. 2-3, Warszawa.
- Drozdowski E., 1967, *Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000*, arkusz Chełmno, Wyd. Geol., Warszawa.
- Drwal J., 1973/1975, *Zagadnienie bezodpływowości na obszarach młodoglacjalnych*, Zesz. Nauk. Wydz. BiNoZ, Seria Geogr. UG, 3, Gdańsk, s. 7-25.
- Drwal J., 1979, *Charakterystyka hydrograficzna*, [w:] B. Augustowski (red.), *Pojezierze Kaszubskie*, Gdańskie Tow. Nauk., Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 121-138.
- Drwal J., 1982, *Wykształcenie i organizacja sieci hydrograficznej jako podstawa oceny struktury odpływu na terenach młodoglacjalnych*, Zesz. Nauk. UG, Rozprawy i Monografie, 33, UG, Gdańsk.
- Drwal J., 1985, *Jeziora w egzoreicznych systemach pojezierzy młodoglacjalnych*, Zesz. Nauk. Wydz. Biol. Geogr. i Ocean., Seria Geogr. UG, 14, Gdańsk.
- Drwal J., Jankowski A.T., Kaniecki A., Michalczyk Z., 1996, *Wytyczne techniczne K-3.4., Mapa Hydrograficzna w wersji analogowej i cyfrowej w skali 1:50 000*, Państw. Służba Geodez. i Kart., Warszawa.
- Drwal J., Jankowski A.T., Kaniecki A., Michalczyk Z., Berus T., Jasiński R., Kokociński P., Ostrowski W., Pawlak W., 2005, *Wytyczne Techniczne GIS – 3, Mapa Hydrograficzna Polski Skala 1:50 000 w formie analogowej i numerycznej*, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Drwal J., Cieśliński R., Fac-Beneda J., 2011, *Geographic Record of Human Impact Conformance to Different Water Relationships Along a Coastal River (the Łupawa Valley)*, Quaestiones Geographicae, no 30/1.
- Dynowska I., 1971, *Typy reżimów rzecznych w Polsce*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 28, Prace Inst. Geogr., 50, Wyd. UJ, Kraków.
- Dynowska I., Jankowski A.T., Soja R., 1985, *Metody oceny wpływu gospodarczej działalności człowieka na odpływ*, Folia Geogr., Seria Geogr. Phys., 17, Kom. Nauk Geogr. PAN, Kraków, s. 105-119.
- Dynowska I., Tlałka A., 1982, *Hydrografia*, PWN, Warszawa.
- Fac-Beneda J., 2010 a, *Estimation of Total River Runoff from Small Catchments in Northern Poland*, Folia Geographica, Ser. Geographica-Physica, vol. XLI (41): 85-92.
- Fac-Beneda J., 2010 b, *Sezonowa zmienność elementarnej struktury hydrograficznej na obszarach młodoglacjalnych*, [w:] A. Magnuszewski (red.), *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska*, 2, PAN Komitet Inżynierii Środowiska, Monografie, 69, Warszawa, s. 119-128.
- Fac-Beneda J., 2011 a, *Lakes in the Model of a Cascade of Storage and Drainage Reservoirs*, Lim. Rev., vol. 6, Polish Limnological Society, Poznań, p 143-150.

- Fac-Beneda J., 2011 b, *Młodoglacjalny system hydrograficzny*, Wyd. UG, Gdańsk, ss. 213.
- Fal B., 1993, *Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu*, Wiad. Inst. Meteor. i Gosp. Wodnej, t. 16 (37), z. 3, s. 3-20.
- Fal B., 1994, *Zasoby wodne rzek polskich*, IMGW, maszynopis.
- Fergus T., 1997, *Geomorphological response of a river regulated for hydropower: River Fortun, Norway*, Regulated Rivers: Research and Management, vol. 13, John Wiley and Sons, s. 449-461.
- Frączak E., Kobyliński A., 1991, *Regionalne zasoby wód podziemnych z utworów czwartorzędowych na obszarze zlewni rzek górnej Wierzycy i górnej Wdy, woj. gdańskie – cz. II*, Przeds. Geol. w Warszawie, Zakł. w Gdańsku, maszynopis.
- Fruget J.F., 1992, *Ecology of the Lower Rhone After 200 Years of Human Influence, A Review*, Regulated Rivers: Research and Management, vol. 7, John Wiley and Sons, s. 233-246.
- Frydel K., 2004, *Woda wróciła, czyli o małej retencji w Nadleśnictwie Kaliska słów kilka*, Wyd. Agencja Art.-Styl, Nadleśnictwo Kaliska.
- Galon R., 1934, *Dolina Dolnej Wisły, jej kształt i rozwój na tle budowy dolnego Powiśla*, Prace Inst. Geogr., z. 12-13, UAM, Poznań.
- Galon R., 1953, *Morfologia doliny i sandru Brdy*, Studia Soc. Scient. Torun., sec. C, vol. I, 6, UMK, Toruń.
- Galon R. (red.), 1972, *Geomorfologia Polski, Niż Polski*, t. 2, PWN, Warszawa.
- Giętkowski T., 2009, *Zmiany lesistości Borów Tucholskich w latach 1938-2000*, [w:] Z. Babiński (red.), *Promotio Geographica Bydgosiensia*, UKW, Bydgoszcz, t. 4, 149-161.
- Glazik R., 1970, *Stosunki wodne powiatu włocławskiego*, Przegl. Geogr., t. 17, z. 4, Warszawa, s. 661-681.
- Glazik R., 1978, *Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie*, Dokum. Geogr. IGiPZ PAN, 2-3, Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław.
- Glazik R., 1987, *Zmiany hydrologiczne w obszarze depresyjnym przyległym do dolnej części zbiornika wodnego „Włocławek”*, Czasop. Geogr., 58, 3, PTG, Wrocław, s. 287-301.
- Glazik R., 1988, *Naturalne i antropogeniczne zmiany powierzchni jezior i mokradeł w zachodniej części Kotliny Płockiej*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce*, Rozprawy UMK, Toruń, s. 105-107.
- Glazik R., 1995, *Obieg wody w klimacie kontynentalnym na przykładzie północnej Mongolii*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 164, Wyd. Conitnuo, Wrocław.

- Glazik R., Pius B., 2007, *Zasilanie doliny Wisły wodami podziemnymi na odcinku Toruń-Tczew*, [w:] Z. Michalczyk (red.), *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym*, Wyd. UMCS, Lublin, s. 227-234.
- Gregory S., 1976, *Metody statystyki w geografii*, PWN, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., Nowicka B., Soczyńska U. (red.), 2003, *Rola retencji zlewni w kształtowaniu wezbrań opadowych*, Wyd. Geogr. i Stud. Region. UW, Warszawa.
- Hoffman A., 1953, *Kataster sił wodnych Polski, rzeka Wda*, Komitet Gosp. Wodnej PAN, Gdańsk, rękopis.
- Ibáñez C., Prat N. 1996, *Changes in the Hydrology and Sediment Transport Produced by Large Dams on the Lower Ebro River and its Estuary*, *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 12, John Wiley and Sons, s. 51-62.
- Illicki P., 1972, *Osiadanie powierzchni torfowisk niskich w dolinie Noteci będących w długotrwałym rolniczym użytkowaniu w zależności od ich budowy i intensywności odwodnienia*, *Rozprawy*, 30, Wyższa Szkoła Roln., Szczecin.
- Illicki P., 2002, *Torfowiska i torf*, Wyd. Akad. Roln. im. A. Cieszkowskiego, Poznań. Internet, www.zielonaenergia.pl
- Jankowski A.T., 1975, *Stosunki hydrograficzne bydgoskiego węzła wodnego i ich zmiany spowodowane gospodarczą działalnością człowieka*, *Stud. Soc. Scient. Torun.*, supl. VII, UMK, Toruń.
- Jankowski A.T., 1986, *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowionym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*, *Prace Nauk. UŚ*, 868, UŚ, Katowice.
- Jankowski A.T., 1988, *Wpływ przemysłu i urbanizacji na zmiany odpływu Rawy (próba oceny)*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN*, 4, Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 51-63.
- Jankowski A.T., 1998, *Antropogeniczne uwarunkowania obiegu wody na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, [w:] A., Magnuszewski, U. Soczyńska (red.), *Hydrologia u progu XXI wieku*, PTG, Komisja Hydrologiczna, UW, Warszawa, s. 139-155.
- Jankowski A.T. (red.), 1996, *Tendencje zmian obiegu wody w zlewni górnej Odry*, *Zakł. Hydr. i Gosp. Wodnej Obsz. Zurb.*, Wyd. Nauk o Ziemi, UŚ, Sosnowiec.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., 1988, *Wpływ kopalni odkrywkowej „Bełchatów” na zmiany odpływu*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN*, 4, Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 79-95.
- Jokiel P., Tomalski P., 2004, *Odpływy maksymalne w rzekach Polski*, *Czasop. Geogr.*, 75, 1-2, PTG, Wrocł. Druk. Nauk., Wrocław, s. 83-97.

- Jutrowska E., 2001, *Antropogeniczne przemiany stosunków wodnych w dorzeczu Brdy w XIX i XX wieku*, Wyd. BiNoZ, UMK, Toruń, maszynopis rozprawy doktorskiej.
- Kachnic J., 2004, *Warunki hydrogeochemiczne w zlewniach Wdy i Mątwy*, Wyd. BiNoZ, UMK, Toruń, maszynopis rozprawy doktorskiej.
- Kaniecki A., 1995, *Przemiany stosunków wodnych na obszarze Poznania w czasach historycznych*, Przegl. Geogr., t. 67, z. 1-2, Warszawa, s. 109-120.
- Kondracki J., 2002, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kowalczyk S., Ujda K., 1987, *Pomiary porównawcze opadów atmosferycznych*, Mat. Bad. IMGW, Seria Meteorologia, 14, s. 9-12.
- Kowalewski G., 2001, *Transformation of Wetlands and Lakes at the Zone of Influence of Koronowski Reservoir*, Limn. Review, 1, s. 165-172.
- Kozarski S., 1995, *Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacje geosystemu (~20ka → 10ka BP)*, Dokument. Geograf., 1.
- Kreczko M., 2000, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Stara Kiszewa*, Min. Środ., PIG, Oddział Geologii Morza, Gdańsk.
- Król H., Soczyńska W., 1989, *Wpływ lasu na stosunki hydrologiczne małych zlewni strefy przymorskiej*, IMGW, Wyd. Geol., Warszawa.
- Księgi wodne byłych województw gdańskiego i bydgoskiego*, RZGW, Gdańsk, maszynopis.
- Kucharska K., Tyszka J., 1991, *Znaczenie lasu w kształtowaniu zasobów wodnych*, Notatnik Nauk. IBL, 7, IBL, Warszawa.
- Kucharska K., Tyszka J., Ciepeliowski A., 1984, *Rola lasów w wyrównaniu odpływu z małych zlewni w północno-wschodniej Polsce*, Gosp. Wodna, 4, s. 107-110.
- Kugler T., 2000, *Kilka uwag o stanie badań rzeźby doliny Wdy*, Roczn. Fizycznogeogr. UG, t. 5, UG, Gdańsk, s. 107-114.
- Kurek S., 1969, *Kształtowanie się bilansu wodnego w okresie roztopowym w trzech zlewniach górskich o różnym użytkowaniu*, Gosp. Wodna, 3.
- Kwiecień K., 1979, *Warunki klimatyczne*, [w:] B. Augustowski (red.), *Pojezierze Kaszubskie*, Gdańskie Tow. Nauk., Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 95-120.
- Lambor J., 1965, *Podstawy i zasady gospodarki wodnej*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Liberacki M., Murawski T., 1964, *Niektóre problemy czwartorzędu w dolinie Wdy poniżej Gródka*, Zesz. Nauk. UMK, Nauki Mat.-Przyr., Geogr. III, 10, Toruń.
- Lu X. X., Siew R. Y., 2006, *Water Discharge and Sediment Flux Changes over the past Decades in the Lower Mekong River: Possible Impacts of the Chinese Dams*, Hydrology and Earth System Sciences, 10, s. 181-195.
- Machnikowski M., Błaszowska B., Bruski K., Gerstmannowa E., Knapik A., Popławski A., Sikora R., Teleżyński A., Zalewski W., Janczewska A., Lenartowicz Z.,

- 1991, *Ocena oddziaływania Zakładu Płyt Piłśniowych w Czarnej Wodzie na środowisko*, Inst. Ochr. Środ., Oddział w Gdańsku, Zakł. Kształt. Środ. Obszarów Nadmorskich, Gdynia, maszynopis udostępniony w ZPP Czarna Woda.
- Magnuszewski A., 2002, *Systemy geoinformacyjne w badaniach ekohydrologicznych, Przykład doliny Wisły pod Włocławkiem*, Wyd. Geogr. i Stud. Region. UW, Warszawa.
- Makowska A., 1972, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Grudziądz, PIG, Warszawa.
- Makowska A., 1975, *Objaśnienia do Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000*, arkusz Grudziądz, PIG, Warszawa.
- Mapy glebowo-rolnicze w skali 1:25 000*, gminy: Studzienice, Parchowo, Sulęczyń, Stężyca, Lipusz, Kościerzyna, Dziemiany, Brusy, Karsin, Stara Kiszewa, Czersk, Czarna Woda, Kaliska, Osieczna, Lubichowo, Skórcz, Śliwice, Osiek, Cekcyn, Osie, Warlubie, Lniano, Drzycim, Jeżewo, Świekatowo, Bukowiec, Świecie (łącznie 48 arkuszy), Wojewódzkie Biuro Geodezji i Terenów Rolnych w Bydgoszczy i Gdańsku, aktualność map lata 1974-1976.
- Mapa Podziału Hydrograficznego Polski, 2004*, Udostępniona przez Biuro Gospodarki Wodnej w Warszawie.
- Mapy topograficzne polskie w skali 1:25 000*, arkusze: Parchowo, Studziennice (1976), Dziemiany, Piechowice (1977), Nowa Karczma, Zblewo, Śliwice, Chełmno (1979), Czerwińsk (1981), Lniano (1982), Kościerzyna Pn., Kościerzyna Pd., Karsin, Kaliska, Czersk, Osieczna, Lubichowo, Osiek, Łązek, Osie, Jeżewo, Lubiewo, Świecie, Pruszcz (1983), Brusy, Męcikał (1985), Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne.
- Mapy topograficzne pruskie w skali 1:25 000*, arkusze: Drzycim (1873), Brusy, Czarne, Łąg, Łązek, Malachin, Wiele, Zalesie, Zblewo (1874), Stare Grabowo (1877), Chełmno (1906), Jeżewo (1908), Lubichowo, Skórcz, (1910), Gruczno (1913), Kościerzyna (1919), Kalisz, Nakło, Nowe Polaszki, Leśno, Lubiewo, Osie, Przysiersk, Szlachta, Śliwice, Świecie, Wąglikowice (1936), Wygonin (1940).
- Mapa Schröttera w skali 1:50 000*, arkusz 92, 1796-1802.
- Megawat, Luty 2000, *Numer specjalny, 70 lat Elektrowni Wodnej Żur*, Zakład Energetyczny Bydgoszcz Spółka Akcyjna, Bydgoszcz.
- Michalska M., Michalski T., 1980, *Warunki hydrogeologiczne piętrzenia wód na Pojezierzu Pomorskim*, [w:] *Stosunki wodne w zlewniach rzek Przymorza i dorzecza Dolnej Wisły ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki wodnej jezior*, Mat. Sesji Nauk.-Techn., 23-24 X 1980, część 1, Słupsk, s. 178-194.
- Mikulski Z., Leśniak E., 1972, *Badania hydrologiczne torfowiska w dorzeczu górnej Supraśli*, Gosp. Wodna, 12, s. 458-462.
- Mioduszewski W., 1989, *Regulowanie zwierciadła wód gruntowych w dolinach małych rzek nizinnych*, Bibl. Wiad. IMUZ, Państw. Wyd. Roln. i Leśn., Warszawa.

- Mioduszeński W., Querner E. (red.), 2003, *Hydrological System Analysis in the Valley of Biebrza River*, Wyd. IMUZ, Falenty.
- Mojski J.E., 1976, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Gdańsk, PIG, Warszawa.
- Mojski J.E., Sylwestrzak J., 1975, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Słupsk, PIG, Warszawa.
- Mojski J. E., 2005, *Ziemia Polskie w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy*, PIG i Minist. Środ., Warszawa.
- Musiak J., Zatorska J., 1972, *Rozwój Zakładów Płyt Pilśniowych w Czarnej Wodzie i ich wpływ na rozbudowę osiedla*, Zesz. Nauk. UG, Wyd. BiNoZ, Seria Geogr., 2, Gdańsk, s. 77-106.
- Muter K., 2002, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000*, arkusz Cekcyn, Biuro Poszukiwań i Ochrony Wód Podziemnych „Hydroeko”, Min. Środ., PIG, Warszawa.
- Niewiarowski W., 1986, *The Phases of Transformation of Subglacial Channels into River Valleys: A Case Study of the Lower Vistula Region*, Acta Univ. Nicolae Copernici, Geographia, 21, UMK, Toruń, s. 61-72.
- Nowicki Z., Cymes I., 2000, *Renaturyzacja systemów wodno-melioracyjnych na Pojezierzu Mazurskim*, [w:] Z. Michałczyk (red.), *Renaturyzacja obiektów przyrodniczych – aspekty ekologiczne i gospodarcze*, UMCS, Lublin, s. 131-137.
- Okulaniś E., 1982, *Rola jezior w kształtowaniu powierzchniowych zasobów wodnych Pojezierza Kaszubskiego*, Zesz. Nauk. UG, Rozprawy i Monografie, 37, UG, Gdańsk.
- Oliver J.E., 1980, *Monthly Precipitation Distribution: A Comparative Index*, Professional Geographers, 32, 3, s. 300-309.
- Operat wodnoprawny na pobór wód i odprowadzanie ścieków dla Fabryki Płyt Pilśniowych w Czarnej Wodzie, na pobór wody z rzeki Czarnej Wody do rozcieńczania ścieków przemysłowych, używanych do nawodnień łąk, rozrząd wody w miejscowości Górki na Kanał Czarnowodzki i na rzekę Czarną Wodę*, 1970, Zespół Rzeczoznawców Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, Warszawa.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, PWN, Warszawa.
- Ozon-Gostkowska E., 1987, *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Chojnice, Wyd. Geol., Warszawa.
- Ozon-Gostkowska E., 1989, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000*, arkusz Chojnice, Wyd. Geol., Warszawa.
- Ozon-Gostkowska E., 1991, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych zlewni górnej Wierzycy i górnej Wdy – cz. I*, Przeds. Geol. w Warszawie, Zakł. w Gdańsku, maszynopis.

- Pietrucień Cz., 1967, *Stosunki hydrograficzne w rejonie Zalewu Koronowskiego*, Zesz. Nauk. UMK, Nauki Mat.–Przys., Seria Geogr. V, 14 a, Toruń.
- Pietrucień Cz., 1971, *Formy i zasięg oddziaływania Zalewu Koronowskiego na obszarach przyległych*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., CCLXXXI, 29, s. 33-37, Kraków.
- Pietrucień Cz., 1988, *Analiza rozmieszczenia obszarów podmokłych w Polsce na tle występowania torfowisk, łąk i pastwisk*, [w:] Z. Churski (red.), *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce*, Rozprawy UMK, Toruń, s. 205-223.
- Pleczyński J., 1983, *Zasoby wodne obszarów leśnych i ich wykorzystanie*, Gosp. Wodna, 9, s. 271-275.
- Podhorska-Okołów M., 1924, *Informator wodny, Najpiękniejsze trasy kajakowe – przewodnik po Wdzie*, kopia dostępna na stronie: www.chem.univ.gda.pl.
- Późniak R., 1984, *Wpływ zbiorników retencyjnych na wody podziemne w Polsce*, Czasop. Geogr., t. LV, 3, PTG, Wrocław, s. 317-327.
- Pożaryski W., 1974, *Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne*, [w:] *Budowa geologiczna Polski*, t. 4, Tektonika, cz. 1., Wyd. Geol., Warszawa, s. 24-44.
- Prussak E., 2002, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000*, arkusz Osie, Min. Środ., PIG, Oddział Geologii Morza, Gdańsk.
- Pruszkowska E., 1986, *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000*, arkusz Słupsk, Wyd. Geol., Warszawa.
- Pruszkowska E., 1988, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000*, arkusz Słupsk, Wyd. Geol., Warszawa.
- Przewłocka M., 1988, *Chemizm wód podziemnych utworów sandrowych Równiny Tucholskiej*, [w:] IV Ogólnopolskie Sympozjum Aktualne Problemy Hydrogeologii, UG, Gdańsk.
- Przeźwoźniak M., 2001, *Warunki geomorfologiczne i ochrona litosfery*, [w:] M. Przeźwoźniak (red.), *Materiały do monografii przyrodniczej regionu gdańskiego*, t. 4, *Wdzydzki Park Krajobrazowy, Problem trójochrony (przyroda-kultura-krajobraz)*, Wyd. Gdańskie, Gdańsk.
- Punzet J., 1999, *Występowanie katastrofalnych wezbrań w karpackiej części dorzecza Wisły*, Folia Geogr., Seria Geogr. Phys., 29/30, Kom. Nauk Geogr. PAN, Kraków, s. 81-111.
- Roczniki hydrograficzne 1922-1934, Dorzecze Wisły*, PIHM, Warszawa.
- Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych, 1946-1983, Dorzecze Wisły i rzeki Przymorza na wschód od Wisły*, IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Roczniki opadów atmosferycznych, 1974-1981*, IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Rocznik Statystyczny województwo kujawsko-pomorskie*, 2000, t. II, Urząd Statystyczny w Bydgoszczy.

- Rocznik Statystyczny województwo pomorskie*, 2000, t. I, Urząd Statystyczny w Gdańsku.
- Rolka A.M., 1997, *Charakterystyka obszarów sandrowych północnej części dorzecza Wdy*, Roczn. Fizycznogeogr. UG, t. 2, Gdańsk.
- Roszek L., 1968, *Recesja ostatniego lądolodu z terenu Polski*, [w:] *Ostatnie zlodowacenie skandynawskie w Polsce*, Prace Geogr. IG PAN, 74, Warszawa.
- Rotnicka J., 1988, *Wpływ regulacji koryta rzecznego i melioracji zlewni na odpływ górnej Prosy*, [w:] I. Dynowska (red.), *Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski*, Dokum. Geogr. IGIPZ PAN, 4, Wyd. Zakł. Narod. im. Ossolińskich, Wrocław, s. 23-38.
- Rurek M., 2013, *Wpływ działalności bobra (Castor fiber L. 1758) na przemiany holocenijskiego krajobrazu w południowej części Borów Tucholskich*, Wyd. Nauk o Ziemi, UŚ, Sosnowiec, maszynopis pracy doktorskiej.
- Sabiniański A., 2006, *Łąki Czerskie w aspekcie historycznym*, Łąkarstwo w Polsce, 9, Polskie Towarzystwo Łąkarskie, Poznań, s. 181-194.
- Sadurski A., Churski Z., Pomianowska H., Marszelewski Wł., Zatorska-Sadurska J., Wysota W., Brandyk A., Jutrowska E., Pietruszewska L., Karwowski J., Kozłowski S., 1994, *Identyfikacja głównych problemów w zlewniach: Brdy, Wdy i Wierzyca wraz z przyrzeczem Wisły*, UMK Toruń, maszynopis.
- Scheuerlein H., 1995, *Downstream Effect of Dam Construction and Reservoir Operation*, Sixth International Symposium on River Sedimentation, New Delhi, India.
- Soczyńska U., Gutry-Korycka M., Desperat T., 1991, *Procesy pionowego transportu wilgoci w jednostkowym polu quasi-jednorodnym, Okres wegetacyjny*, [w:] M. Gutry-Korycka, U. Soczyńska (red.), *Modelowanie obiegu wody, atmosfera, biosfera, pedosfera*, UW, Warszawa, s. 17-73.
- Soja R., 1980, *Tendencje zmian odpływu ze zlewni Ropy w latach 1970-1980*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 235, PWN, Warszawa.
- Soja R., 1994, *Zmiany reżimu wezbraniowego Wisły*, [w:] L. Starkel, P. Prokop (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Karpat i kotlin podkarpackich*, Conference Papers, 20, s. 73-74.
- Soja R., 2002, *Hydrologiczne aspekty antropopresji w Polskich Karpatach*, Prace Geogr. IGIPZ PAN, 186, Warszawa.
- Stach J. (red.), 1987, *Atlas hydrologiczny Polski*, t. 1 i 2, IMGW, Wyd. Geol., Warszawa.
- Sukowska K., Uścińowicz S., 1987, *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000, arkusz Grudziądz*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Sukowska K., Uścińowicz S., 1988, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000*, Wyd. Geol., Warszawa.
- Szumińska D., 2004, *The Hydrological Importance of Peatlands in the Catchment of the Prusina River*, [w:] L. Wolejko, J. Jasnowska (red.), *The Future of Polish*

- Mires, Soc. Scient. Stein. Agricultural University of Szczecin, Wyd. Akad. Roln. w Szczecinie, s. 79-84.
- Szumińska D., 2005, *Hydrograficzna i hydrologiczna charakterystyka zlewni Wdy*, [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, Promotio Geografica Bydgostiensia, t. 2, Wyd. UKW, Bydgoszcz, s. 35-67.
- Szumińska D., Habel. M., 2005, *Problemy związane z użytkowaniem rzeki Wdy pomiędzy jeziorem Wdzydze a stopniem wodnym Wojtal oraz ich naturalne i antropogeniczne uwarunkowania*, [w:] Z. Babiński (red.), *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej*, Promotio Geografica Bydgostiensia, t. 2, Wyd. UKW, Bydgoszcz, s. 67-88.
- Szumińska D., 2006 a, *Zmiany zasięgu zbiorników wodnych w sąsiedztwie Kanału Wdy w XIX i XX wieku*, Ogólnopolski Zjazd Geografów i 55 Zjazd PTG, Toruń 13-17 września, Dokum. Geogr. IGiPZ PAN, 32, Warszawa, s. 271-277.
- Szumińska D., 2006 b, *Wpływ kaskady hydroenergetycznej Żur-Gródek na przepływy i stany wód rzeki Wdy*, [w:] A. Olszewski, K. Chutkowski (red.), *Drogami wędrówek i badań Profesora Rajmunda Galona w 100. rocznicę urodzin, Przewodnik sesji terenowych*, Ogólnopolski Zjazd Geografów Polskich i 55 Zjazd PTG, Toruń 13-17 września 2006, Oficyna Wyd. Turpress, Toruń, s. 180-183.
- Szumińska D., 2010. *Przekształcenia warunków hydrologicznych w dolinie dolnej Wdy wskutek budowy stopni wodnych*, Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG, T. 13, s. 110-121.
- Szumińska D., Absalon D., 2012. *Transformation of a Water Network in a Moraine Upland-Outwash Plain-Valley Landscape*, Polish Jurnal of Environmental Studies, Vol. 21, No 2 (2012), 259-265.
- Szumińska D., Spóz M., 2012. *Wstępne wyniki badań dotyczących zróżnicowania odpływu ze zlewni Ryszki oraz zasilania jeziora Mukrz*, [w:] J. Pająkowski (red.), *Rezerwat przyrody „Cisy Staropolskie im. Leona Wyczółkowskiego w Wierzchlesie”*, Zespół Parków Krajobrazowych Chełmińskiego i Nadwiślańskiego, Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły, Świecie, s. 49-56.
- Szupryczyński J., 1988, *Morphology and Ice Melting in a Pomeranian Outwash Plain. Wda Valley*, Geogr. Polon., 55, s. 173-179.
- Ujda K., Mrówka J., Krawczyk A., 1977, *Określenie średniego przepływu dobowego na Wdzie w profilu Krąplewice poniżej elektrowni wodnej*, Gazeta Obserwatora IMGW, październik, Warszawa, s. 9-12.
- Unczur L., 2002, *Ekspertyza dotycząca przyczyny i zasięgu występowania podtopień na gruntach w miejscowości Miedzno-Odry*, IEW Inżynieria i Energetyka Wodna, Rumia, maszynopis udostępniony w RZGW w Toruniu.
- Wiszniewski W., Chełchowski W., 1987, *Regiony klimatyczne*, [w:] A. Stachy (red.), *Atlas hydrologiczny Polski*, IMGW, Warszawa, s. 79.

- Wołoszyn E., 1993, *Operat wodnoprawny na piętrzenie wód rzeki Wdy i Kanału Czarnowodzkiego oraz pobór wód powierzchniowych dla ZPP Czarna Woda i Spółki Chemak wraz z instrukcją gospodarowania wodą*, Hydroprojekt, Gdańsk, na zlecenie ZPP Czarna Woda, maszynopis udostępniony w ZPP Czarna Woda.
- Wołoszyn E., 1995 a, *Wybrane problemy gospodarki wodnej na rzece Wdzie*, II Konf. Nauk. „Współczesne Problemy Inżynierii Wodnej”, Zakopane, s. 204-213.
- Wołoszyn E., 1995 b, *Overview of Drought and Hydrologic Conditions in the Wda Catchment*, International Symposium on Research on Hydraulic Engineering, Gdańsk, s. 417-424.
- Wołoszyn E., 2001, *Analysis of the Hydrological Conditions In the Wda River Catchment*, VII International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, 12.09.2001., Międzybórze Żywieckie, s. 94-102.
- Wołoszyn E., Szydłowski M., 2002, *Ekspertyza hydrologiczna dotycząca projektu odtworzenia jezior Ferdynandzie, Grzybno i Wyspa na terenie Nadleśnictwa Kaliska*, Gdańsk, maszynopis udostępniony w Nadleśnictwie Kaliska.
- Wołoszyn E., Szydłowski M., Zima P., 2005 a, *Inwentaryzacja Kanału Czarnowodzkiego wraz z oceną stanu technicznego koryta i urządzeń wodnych*, Gdańsk, na zlecenie ZPP Czarna Woda, maszynopis udostępniony w ZPP Czarna Woda.
- Wołoszyn E., Szydłowski M., Zima P., 2005 b, *Operat wodnoprawny na szczególne korzystanie z wód, polegające na piętrzeniu wód rzeki Wdy i Kanału Czarnowodzkiego oraz pobór wód powierzchniowych dla ZPP Czarna Woda i innych użytkowników wraz z projektem instrukcji gospodarowania wodą*, Gdańsk, maszynopis udostępniony w ZPP Czarna Woda.
- Woś D., 1989, *Ocena potencjalnych zasobów wodnych dorzecza Warty*, Seria Geogr. UAM, 46, Poznań.
- Wrzesiński D., 2013, *Entropia odpływu rzek w Polsce*, Studia i Prace z Geografii i Geologii nr 33, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, ss. 204.
- Wójcik G., Marciniak K., 1987, *Stosunki termiczne środkowej części Polski Północnej w latach 1951-1970*, Acta Univ. Nicolae Copernici, Geogr. XX, 66, UMK, Toruń, s. 29-50.
- Wójcik G., Marciniak K., 2001, *Klimat województwa kujawsko-pomorskiego*, [w:] A. Przystalski (red.), *Przyroda województwa kujawsko-pomorskiego*, Woj. Fundusz Ochr. Środ i Gosp. Wodnej w Toruniu, Wyd. Nice, Bydgoszcz, s. 23-32.
- Wójcik G., Tomaszewski W., 1987, *Opady atmosferyczne w środkowej części Polski Północnej w okresie 1951-1970*, Avta Univ. Nicolae Copernici, Geogr. XX, 66, UMK, Toruń, s. 51-69.
- Zasoby wodne Wdy*, (6 tomów), IMGW Oddział Poznań, 1999, maszynopis udostępniony w RZGW w Gdańsku.
- Zabory*, nr 4, rok IV, kwartał 4, 1938.

Bibliografia

- Zambrzycka M., 2002, *Objaśnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Chełmno*, Min. Środ., PIG, Przeds. Geolog. Polgeol S.A., Zakł. w Gdańsku.
- Żelazo J., Popek Z., 2002, *Podstawy renaturyzacji rzek*, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Żurek S., 1987, *Złóża torfowe Polski na tle złóż torfowych Europy*, Dokum. Geogr. IGiPZ PAN, 4, Wyd. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.

Spis tabel, rycin, fotografii

Tabele

Tab. 1. Zestawienie posterunków hydrologicznych w zlewni Wdy	16
Tab. 1. Hydrological gauge stations in the Wda catchment.	16

Tab. 2. Stacje opadowe, wodowskazy oraz zlewnie cząstkowe wyszczególnione na ryc. 1 (numeracja w tabeli odpowiada oznaczeniom na ryc. 1)	17
Tab. 2. Precipitation gauge stations, hydrological gauge stations and subcatchments presented in Fig. 1 (numbers in the table represent the numbers in Fig. 1)	17

Tab. 3. Charakterystyki opadów atmosferycznych w wieloleciu 1965-2003 zestawione dla wybranych stacji opadowych oraz obliczone dla zlewni Wdy i zlewni różnicowych na podstawie poligonów Thiessena (zastosowano poprawkę wg S. Kowalczyk i K. Ujdy, 1987; obliczono na podstawie danych IMGW)	28
Tab. 3. Precipitation characteristics in the years 1965-2003 compiled for the selected gauge stations and calculated with reference to the Wda catchment and subcatchments on the basis of the Thiessen poligons (corrected according to S. Kowalczyk and K. Ujda 1987; author's own study with the use of the IMGW data)	28

Tab. 4. Temperatura powietrza (°C) na wybranych stacjach meteorologicznych w wieloleciu 1951-1970; numery stacji w tabeli odpowiadają numeracji na ryc. 4 (obliczono na podstawie danych z pracy G. Wójcika i K. Marciniaka, 1987)	32
Tab. 4. Air temperature (°C) at selected meteorological gauge stations in the years 1951-1970; numbers in Tab. 4 correlate to the numbers in Fig. 4 (calculated on the basis of data provided by G. Wójcik and K. Marciniak, 1987)	32

Tab. 5. Udział procentowy utworów poszczególnych klas przepuszczalności w powierzchni zlewni Wdy, zlewniach różnicowych oraz zlewni Niechwaszczy (obliczono na podstawie Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, i in.,	
---	--

1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976, map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 oraz badań własnych)	40
Tab. 5. Percentage of individual infiltration classes in the Wda catchment, subcatchments and the Niechwaszcz catchment area (calculated on the basis of the Geological map of Poland at a scale of 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, et al., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976; soil maps at a scale of 1:25 000 and author's own study)	40
Tab. 6. Wybrane charakterystyki Wdy i jej zlewni (obliczono na podstawie danych zawartych w MPHP, 2004 oraz map topograficznych polskich w skali 1:25 000)	45
Tab. 6. Main features of the Wda catchment and the Wda river (estimated with the use of data from the MPHP, 2004 and Polish topographic maps at a scale of 1:25 000).	45
Tab. 7. Gęstość sieci rzecznej, jeziorność i zatorfienie w zlewni Wdy, zlewniach różnicowych oraz zlewni Niechwaszczy (obliczono na podstawie danych zawartych w MPHP, 2004 oraz na Mapie geologicznej Polski w skali 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz i in., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976)	46
Tab. 7. Drainage density, lake and peatland percentage in the Wda catchment, subcatchment and the Niechwaszcz catchment (calculated on the basis of MPHP, 2004, Geological map of Poland at a scale of 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, et al., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976)	46
Tab. 8. Jeziora według powierzchni i głębokości w zlewni Wdy (zestawiono na podstawie danych według 1 – IRŚ – Instytut Rybactwa Śródlądowego, za A. Choińskim, 1991, 2 – A. Choińskiego, 1991, 3 – MPHP, 2004)	49
Tab. 8. Lakes by surface area and depth in the Wda catchment (compilation based on: 1 – IRŚ – Inland Fisheries Institute, after A. Choiński, 1991, 2 – A. Choiński, 1991, 3 – MPHP, 2004) ...	49
Tab. 9. Udział procentowy poszczególnych typów użytkowania terenu w zlewni Wdy, zlewniach różnicowych oraz zlewni Niechwaszczy (obliczono na podstawie CORINE Land Cover, 2002 i MPHP, 2004)	53
Tab. 9. Percentage of individual land use types in the Wda catchment, subcatchments and the Niechwaszcz catchment (calculated on the basis of the CORINE Land Cover, 2002 and the MPHP, 2004)	53
Tab. 10. Udział procentowy obszarów zmeliorowanych w zlewni Wdy, zlewniach różnicowych i zlewni Niechwaszczy w ujęciu historycznym: I – do roku 1940, II – do roku 1979, III – do roku 2000 (obliczono na podstawie: I – map topograficznych pruskich w skali 1:25 000; II – map topograficznych polskich w skali 1:25 000; III – MPHP, 2004)	56
Tab. 10. Percentage of drained areas in the Wda catchment, subcatchments and the Niechwaszcz catchment against the historical background: I – by 1940, II – by 1979, III – by the year 2000 (estimated with the use of: I – Prussian topographic maps at a scale of 1:25 000, II – Polish topographic maps at a scale of 1:25 000; III – MPHP, 2004). All presented areas feature systems of ditches, majority of which is used exclusively for drainage. Location of the 19th century irrigation systems are indicated in Fig. 12.	56

Tab. 11. Udział wód retencjonowanych w jeziorze Wdzydze w odpływie z górnej części zlewni Wdy (do wodowskazu Jeziorna) w wieloleciu 1974-2003, przy uwzględnieniu różnej wysokości warstwy użytkowej (obliczono na podstawie danych IMGW dla stacji Wawrzynowo i Czarna Woda według wzoru M. Ozgi-Zielińskiej i J. Brzezińskiego, 1997, s. 171) 64

Tab. 11. The percentage of retained waters in the Wdzydze lake in the runoff from the upper part of the Wda catchment (down to the Jeziorna gauge station) in the period from 1974 to 2003, taking into account different elevations of the usable layer of the reservoir (calculated on the basis of the data from IMGW regarding the Wawrzynowo and Czarna Woda gauge stations, following the formula of M. Ozga-Zielińska and J. Brzeziński. 1997, pp. 171) 64

Tab. 12. Przepływy w Kanale Wdy i rzece Wdzie oraz wielkość przesiąków wody pomiędzy punktami pomiarowymi w przeliczeniu na 1 km długości kanału (obliczono na podstawie: E. Wołoszyn, 1993¹, Wołoszyn i in. 2005 a¹ i pomiarów własnych²) 70

Tab. 12. Discharges in the Wda Canal and the Wda river, as well as volume of water loss along the Wda Canal per 1 km of length (calculated on the basis of: E. Wołoszyn, 1993¹, E. Wołoszyn i in. 2005 a¹ and author's own measurements²). 70

Tab. 13. Parametry techniczne stopni wodnych Żur i Gródek (opracowano na podstawie: danych archiwalnych z elektrowni wodnych Żur i Gródek, Pozwolenia wodnoprawnego – decyzja nr OS-II-6811/3/04/00 z dnia 09.05.2001 i Megawat, 2000) 79

Tab. 13. Technical features of the Żur and the Gródek dams (prepared on the basis of: archival data from hydro power stations, Pozwolenia wodnoprawne – decyzja nr OS-II-6811/3/04/00 z dnia 09.05.2001 and Megawat, 2000) 79

Tab. 14. Charakterystyki odpływu i opadu rocznego ze zlewni Wdy w wieloleciu 1974-2003: A i B – w zlewniach całkowitych; C – w zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW) 86

Tab. 14. Outflow and precipitation characteristics regarding the Wda catchment in the years 1974-2003: A and B – in catchments; C – in subcatchments (calculated on the basis of the IMGW data) 86

Tab. 15. Charakterystyki odpływu i opadu półrocza zimowego ze zlewni Wdy w wieloleciu 1974-2003 (wartości ekstremalne z lat 1974-1983): A i B – w zlewniach całkowitych; C – w zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW) 87

Tab. 15. Outflow and precipitation characteristics for the winter half-year in the Wda catchment in the years 1974-2003 (extreme values from the years 1974-1983): A and B – in catchments; C – in subcatchments (calculated on the basis of the IMGW data) 87

Tab. 16. Wybrane charakterystyki odpływu i opadu półrocza letniego ze zlewni Wdy w wieloleciu 1974-2003 (wartości ekstremalne z lat 1974-1983): A i B – w zlewniach całkowitych; C – w zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW) 88

Tab. 16. Outflow and precipitation characteristics for the summer half-year in the Wda catchment in the years 1974-2003 (extreme values from the years 1974-1983): A and B – in catchments; C – in subcatchments (calculated on the basis of the IMGW data) 88

Tab. 17. Roczne współczynniki nadmiaru/niedoboru odpływu (n_Q) i opadu (n_P) w zlewniach różnicowych w latach 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	90
Tab. 17. Annual excess/deficiency runoff coefficient (n_Q) and precipitation coefficient (n_P) in subcatchments in the years 1974-2003 (calculated on the basis of the IMGW data)	90

Tab. 18. Roczne współczynniki nadmiaru/niedoboru odpływu (n_Q) i opadu (n_P) w zlewni Wdy do profilu Czarna Woda w latach 1959-2003 i Krąplewice w latach 1965-2003. Objaśnienia pod tabelą 17 (opracowano na podstawie danych IMGW)	91
Tab. 18. Annual excess/deficiency runoff coefficient (n_Q) and precipitation coefficient (n_P) in the Wda catchments down to the Czarna Woda station in the years 1959-2003 and the Krąplewice station in the years 1959-2003. Explanation below Tab. 17 (calculated on the basis of the IMGW data)	91

Tab. 19. Tendencje zmian średnich rocznych odpływów jednostkowych i rocznych sum opadów w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach różnicowych; i – korelacja istotna statystycznie, n – korelacja nieistotna statystycznie (opracowano na podstawie danych IMGW).	99
Tab. 19. Trends regarding mean annual specific discharges and total annual precipitation in subcatchments in the years 1974-2003; i – statistically significant correlation, n – statistically insignificant correlation (calculated on the basis of the IMGW data)	99

Tab. 20. Średnie wartości wskaźnika koncentracji odpływów (GMO_Q) i opadów (GMO_P) oraz tendencje zmian wskaźnika w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach różnicowych; i – korelacja istotna statystycznie, n – korelacja nieistotna statystycznie (opracowano na podstawie danych IMGW)	108
Tab. 20. Mean runoff concentration coefficient (GMO_Q) and precipitation concentration coefficient (GMO_P), and trends regarding changes in the runoff and precipitation concentration coefficient in the years 1974-2003 in subcatchments; i – statistically significant correlation, n – statistically insignificant correlation (calculated on the basis of the IMGW data).	108

Tab. 21. Miesięczne odpływy jednostkowe [$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$] ze zlewni różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW).	114
Tab. 21. Monthly specific discharges [$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$] in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	114

Tab. 22. Istotne statystycznie równania regresji liniowej miesięcznych odpływów jednostkowych i opadów w wieloleciu 1974-2003 w zlewniach różnicowych (opracowano na podstawie danych IMGW)	116
Tab. 22. Statistically significant linear regression equations of mean monthly specific discharges and total monthly precipitation in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	116

Ryciny

- Ryc. 1.** Rozmieszczenie posterunków hydrologicznych i opadowych oraz poligonów Thiessena na tle podziału hydrograficznego zlewni Wdy (opracowano na podstawie MPHP – Mapy Podziału Hydrograficznego Polski, 2004 oraz badań własnych) 15
 Fig. 1. Location of hydrological gauge stations, precipitation gauge stations and Thiessen polygons against the background of the watershed map of the Wda catchment (prepared on the basis of MPHP – Hydrographic map of Poland, 2004 and author's own study) 15
- Ryc. 2.** Lokalizacja zlewni Wdy na tle podziału fizyczno-geograficznego Polski (Kon-dracki, 2002). Na czerwono zaznaczono nazwy i numery mezoregionów, których frag-menty wchodzą w skład zlewni Wdy 24
 Fig. 2. The Wda catchment location mapped against the geophysical regions of Poland (Kon-dracki, 2002). Names and numbers of regions in the Wda catchment marked in red 24
- Ryc. 3.** Lokalizacja zlewni Wdy oraz obszaru badań na tle podziału hydrograficznego (opracowano na podstawie J. Stachý, 1987, uzupełnione) 25
 Fig. 3. The Wda catchment location against the background of the watershed map (prepa-red on the basis of J. Stachý, 1987, supplemented) 25
- Ryc. 4.** Średnie z lat 1965-2003 roczne sumy opadów atmosferycznych w zlewni Wdy; na-zwy stacji podano w tabeli 3 (obliczono na podstawie danych IMGW) 27
 Fig. 4. Mean annual precipitation in the Wda catchment in the years 1965-2003; name of the precipitation gauge stations listed in Tab. 3 (author's own study with the use of IMGW data)..... 27
- Ryc. 5.** Średnie, maksymalne i minimalne sumy opadów miesięcznych w wieloleciu 1965-2003 w zlewni Wdy i zlewniach różnicowych (obliczono na podstawie danych IMGW) 31
 Fig. 5. Mean, maximum and minimum (śr, maks, min) monthly precipitation in the years 1965-2003 in the Wda catchment and subcatchments (author's own study with the use of IMGW data)..... 31
- Ryc. 6.** Charakterystyki miesięcznych temperatur powietrza na wybranych stacjach me-teorologicznych w wieloleciu 1951-1970: Tśr, T śr maks, T śr min – średnie, średnie mak-symalne, średnie minimalne; Tabs maks, Tabs min – ekstremalne (obliczono na podstawie danych z pracy G. Wójcika i K. Marciniaka, 1987). 33
 Fig. 6. Characteristics of monthly air temperature at the selected meteorological gauge sta-tions in the years 1951-1970: Tśr, Tśr maks, T śr min – mean, maximum mean, minimum mean of air temperature; Tabs maks, Tabs min – extreme maximum and extreme mini-mum air temperatures (calculated on the basis of data provided by G. Wójcik and K. Mar-ciniak, 1987)..... 33

Ryc. 7. Zlewnia Wdy na tle schematycznej mapy geomorfologicznej i zasięgu makroregionów geomorfologicznych (Galon, 1972; zmodyfikowane na podstawie Kozarski, 1995) 35
 Fig. 7. The Wda catchment against the background of the geomorphological map and main geomorphological regions (according to Galon, 1972 and Kozarski, 1995) 35

Ryc. 8. Budowa geologiczna i przepuszczalność utworów powierzchniowych w zlewni Wdy (opracowano na podstawie Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, i in., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976; map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 oraz badań własnych). Klasy przepuszczalności: 2 – dobra, 3 – słaba, 4 – zmienna, 5a i 5b – zróżnicowana, 6 – bardzo słaba; Nazwy jednostek geomorfologicznych omawianych w pracy: 1 – Sandr Wdy, 2 – Wysoczyzna Świecka, 3 – Basen Chełmiński, 4 – Wzgórza Szymbarskie, 5 – wyspa raduńska, 6 – wyspa wielewska, 7 – wyspa bruska, 8 – wyspa czerska, 9 – wyspa Osia, 10 – rynna Jezior Borzechowskich, 11 – rynna jeziora Piaseczno 36

Fig. 8. Geological structure of and infiltration conditions in the Wda catchment (prepared on the basis of the Geological Map of Poland at a scale of 1:200 000: Makowska, 1972; Butrymowicz, et al., 1975; Mojski, Sylwestrzak, 1975; Mojski, 1976; soil maps at a scale of 1:25 000 and author's own study). Infiltration classes: 2 – good, 3 – poor, 4 – changeable, 5a i 5b – varied, 6 – very poor; Names of geomorphological units mentioned in the text: 1 – the Wda outwash plain, 2 – Świecie moraine plateau, 3 – Chełmno Basin, 4 – the Szymbark hills, 5 – Radunia patch, 6 – Wielewska patch, 7 – Brusy patch, 8 – Czersk patch, 9 – Osie patch, 10 – Borzechowo Lakes glacial channel, 11 – Piaseczno Lake glacial channel 36

Ryc. 9. Sieć wodna oraz podział hydrograficzny zlewni Wdy. Zlewnie: 1 – obszar odwadniany bezpośrednio przez Wdę i Kanał Wdy, 2 – o powierzchni powyżej 100 km², 3 – o powierzchni od 40 do 100 km², 4 – o powierzchni poniżej 40 km² (wyjątek – zlewnia nr 23 o pow. 54 km²) (opracowano na podstawie MPHP, 2004). 44

Fig. 9. Water network and watersheds in the Wda catchment. Catchments: 1 – area drained directly by the Wda river and the Wda Canal, 2 – area larger than 100 km², 3 – area from 40 to 100 km², 4 – area smaller than 40 km² (exception – catchment 23 of size exceeding 54 km²) (prepared on the basis of the MPHP, 2004) 44

Ryc. 10. Udział procentowy poszczególnych grup wielkościowych jezior: A – w ogólnej liczbie jezior, B – w całkowitej powierzchni jezior (obliczono na podstawie MPHP, 2004) 48

Fig. 10. Percentage of individual lake size groups: A – in the total number of lakes, B – in the total area of lakes (estimated with the use of the MPHP, 2004) 48

Ryc. 11. Użytkowanie terenu w zlewni Wdy; parki krajobrazowe: K – Kaszubski PK, W – Wdzydzki PK, T – Tucholski PK, WD – Wdecki PK (zestawiono na podstawie CORINE Land Cover, 2002, uzupełnione) 52

Fig. 11. Land use in the Wda catchment; the landscape parks: K – Kaschubian LP, W – Wdzydze LP, T – Tuchola LP, WD – Wdecki LP (prepared on the basis of the CORINE Land Cover, 2002, supplemented) 52

- Ryc. 12.** Rozmieszczenie obszarów zmeliorowanych w zlewni Wdy w ujęciu historycznym (opracowano na podstawie: map topograficznych pruskich w skali 1:25 000; map topograficznych polskich w skali 1:25 000; MPHP, 2004) 57
- Fig. 12. Distribution of the drained areas³ in the Wda catchment against the historical background (prepared on the basis of Prussian topographic maps at a scale of 1:25 000, Polish topographic maps at a scale of 1:25 000; MPHP, 2004) 57
- Ryc. 13.** Pobór wód powierzchniowych i podziemnych w zlewni Wdy. Zaznaczono ujęcia wód podziemnych o poborze wody większym niż $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. W przypadku kilku ujęć w jednej miejscowości podano sumaryczną wartość poboru wody (opracowano na podstawie: Frączak, Kobyliński, 1991; Sadurski i in., 1994; Kreczko, 2000; Muter, 2002; Prussak, 2002; Zambrzycka, 2002 oraz danych z Ksiąg wodnych byłych woj. gdańskiego i bydgoskiego, RZGW w Gdańsku) 60
- Fig. 13. Surface water and ground water intake stations in the Wda catchment. The intake stations larger than $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ are indicated on the map. If there are several water intakes located in one town, the total volume of consumption is given (prepared on the basis of: Frączak, Kobyliński, 1991; Sadurski et al., 1994; Kreczko, 2000; Muter, 2002; Prussak, 2002; Zambrzycka, 2002 and the data of RZGW in Gdańsk – Water books of the former Gdańsk and Bydgoszcz voievodeships) 60
- Ryc. 14.** Systemy hydrotechniczne środkowej części zlewni Wdy oraz zlewni Niechwaszczy. Nawadnianie łąk: I – od połowy XIX wieku, II – od końca XIX wieku. Kolorem pomarańczowym zaznaczono obiekty hydrotechniczne powstałe do pierwszej połowy XX wieku, natomiast kolorem zielonym te, które wybudowano później; analogicznie oznaczono kierunki przepływu wód w kanałach; pozostałe objaśnienia w tekście (opracowanie własne) 63
- Fig. 14. Hydrotechnical infrastructure in the central part of the Wda catchment and in the Niechwaszcz catchment. Meadow irrigation: I – from the half of the 19th century, II – from the end of the 19th century. Hydrotechnical structures built by the first half of the 20th century are marked in orange and those built later – in green; the directions of water flow in canals are marked in corresponding colours (author's own study) 63
- Ryc. 15.** Średnie, maksymalne i minimalne stany wody jeziora Wdzydze (h) oraz roczne amplitudy stanów wód (A) na posterunku Jeziorna w okresie 1922-2003 (obliczono na podstawie roczników PIHM z lat 1922-1934 i IMGW z lat 1946-2003) 65
- Fig. 15. Mean, maximum and minimum water levels of the Wdzydze lake (h) and annual amplitude of water levels (A) at the Jeziorna gauge station in the years 1965-2003 (calculated on the basis of the PIHM yearbooks from the years 1922-1934 and IMGW data from 1946-2003) 65
- Ryc. 16.** Zmiany w obrębie koryta Wdy poniżej jazu w miejscowości Górki: A – 1930 rok (fot. A. Hoffman, Archiwum Państwowe w Bydgoszczy), B – 2006 rok (fot. autorka); 1 – koryto Wdy; 2 – droga Górki-Konarzyny; 3 – upust wałowy 67

Fig. 16. Changes within the Wda channel downstream of the weir in the town of Górk:	
A – 1930 (photo – A. Hoffman, State Archive in Bydgoszcz), B – 2006 (photograph by the	
author); 1 – the Wda channel; 2 – Górk-Konarzyny road; 3 – weir	67
Ryc. 17. Pola filtracyjne oczyszczalni ścieków Zakładów Płyt Pilśniowych Czarna Woda,	
2005 rok (źródło: Google Earth, uzupełnione)	68
Fig. 17. Filtration fields of the sewage treatment plant at Zakłady Płyt Pilśniowych Czarna	
Woda, 2005 (source: Google Earth, supplemented)	68
Ryc. 18. Punkty pomiaru przepływu na Kanale Wdy i Wdzie	71
Fig. 18. Discharge measurement points along the Wda Canal and the Wda river	71
Ryc. 19. Zmiany w powierzchni zbiorników wodnych w okolicach Kanału Wdy (Szumiń-	
ska, 2006 a, zmienione). Zasięgi zbiorników wodnych: A i B – przed budową Kanału Wdy	
(Mapa Schröttera, 1796-1802); C – po wybudowaniu Kanału Wdy (mapy topograficzne	
niemieckie, 1940, mapy topograficzne polskie, 1977-1979 oraz współcześnie – po prze-	
prowadzeniu nawodnień jezior (Frydel, 2004), D – zbiorniki wodne w połowie lat 90. XX	
wieku (Frydel 2004)	72
Fig. 19. Changes in the surface area of water reservoirs in the vicinity of the Wda Canal	
(Szumińska, 2006a, changed). Water reservoirs: A i B – prior to the construction of the	
Wda Canal (Schrötter's map, 1796-1802); C – after the construction of the Wda Canal	
(Prussian topographic maps, 1940, Polish topographic maps, 1977-1979 and at present –	
after lake irrigation (Frydel, 2004), D – water reservoirs in the mid 90s of the 20 th century	
(Frydel 2004)	72
Ryc. 20. Lokalizacja stopni wodnych kaskady dolnej Wdy na tle układu sieci wodnej	
(opracowano na podstawie MPHP, 2004, uzupełnione)	77
Fig. 20. Location of dams on the lower Wda river against the background of the entire wa-	
ter network (prepared on the basis of MPHP, 2004, supplemented)	77
Ryc. 21. Przebieg codziennych stanów zwierciadła wody w zbiornikach Żur i Gródek w la-	
tach 1997 i 2002 (opracowano na podstawie danych z elektrowni wodnych)	81
Fig. 21. Daily water surface levels on the reservoirs of Żur and Gródek in 1997 and 2002	
(prepared on the basis of data obtained from hydro power stations)	81
Ryc. 22. Średnie, maksymalne i minimalne poziomy zwierciadła wody zbiorników Gró-	
dek i Żur w wieloleciu 1994-2003 oraz dopuszczalne poziomy piętrzenia (opracowano na	
podstawie danych z elektrowni wodnych)	82
Fig. 22. Mean, maximum and minimum surface levels on the reservoirs of Żur and Gró-	
dek in the years 1994-2003 along with the maximum and minimum acceptable damming	
levels (prepared on the basis of data obtained from hydro power stations)	82
Ryc. 23. Częstość wystąpienia lat suchych, normalnych i wilgotnych w okresie 1974-2003.	
A – w zlewniach całkowitych, B – w zlewniach różnicowych. Lata: SW – skrajnie wilgotne,	

BW – bardzo wilgotne, W – wilgotne, N – normalne, S – suche, BS – bardzo suche, SS – skrajnie suche; kryteria podziału w tabeli 17 (opracowano na podstawie danych IMGW)	93
Fig. 23. Frequency of arid, normal and humid years in the period from 1974 to 2003. A – catchments, B – subcatchments. Years: SW – extremely humid, BW – very humid, W – humid, N – normal, S – arid, BS – very arid, SS – extremely arid; criteria of classification below Tab. 17 (prepared on the basis of the IMGW data).	93
Ryc. 24. Krzywe kumulacyjne rocznych współczynników nadmiaru/niedoboru odpływu (nQ) i opadów (nP) obliczonych dla zlewni różnicowych dla lat 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	95
Fig. 24. Cumulative curves for the annual excess/deficiency runoff coefficient (nQ) and precipitation coefficient (nP) in subcatchments in the years 1974-2003 (calculated on the basis of the IMGW data)	95
Ryc. 25. Krzywe konsekwentne (okresy pięcioletnie) rocznych odpływów jednostkowych (q) i rocznych sum opadów atmosferycznych (P) w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	96
Fig. 25. Consecutive curves (5-year periods) depicting mean annual specific discharges (q) and total annual precipitation (P) in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	96
Ryc. 26. Przebieg i tendencje zmian rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	97
Fig. 26. The course and trends regarding total annual precipitation in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	97
Ryc. 27. Przebieg i tendencje zmian średnich rocznych odpływów jednostkowych w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	98
Fig. 27. The course and trends regarding mean annual specific discharges in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	98
Ryc. 28. Podwójna krzywa kumulacyjna opadów (P) i odpływów (H) rocznych w zlewniach różnicowych Wawrzynowo, Czarna Woda i Błędno w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	102
Fig. 28. Double cumulative curves of total annual precipitation (P) and runoff (H) in the subcatchments of Wawrzynowo, Czarna Woda and Błędno in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	102
Ryc. 29. Podwójna krzywa kumulacyjna opadów (P) i odpływów (H) rocznych w zlewniach różnicowych Krąplewice i Tleń w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW)	103
Fig. 29. Double cumulative curves of total annual precipitation (P) and runoff (H) in the subcatchments of Krąplewice and Tleń in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data)	103

Ryc. 30. Przebieg i tendencje zmian współczynnika nieregularności przepływów na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach różnicowych – A oraz przebiegu przepływów ekstremalnych – B w latach 1974-2003: WQ_{ekstr} – współczynnik nieregularności przepływów, P – opad roczny, Q_{maks} – przepływ maksymalny, Q_{min} – przepływ minimalny; pozostałe objaśnienia na ryc. 31 (opracowano na podstawie danych IMGW) 104
 Fig. 30. The course and trends regarding the annual runoff irregularity coefficient against the background of total annual precipitation in subcatchments – A and the course of maximum and minimum annual discharges – B in the years 1974-2003: WQ_{ekstr} – runoff irregularity coefficients, P – total annual precipitation, Q_{maks} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge; remaining explanations in Fig. 31 (prepared on the basis of the IMGW data). 104

Ryc. 31. Przebieg i tendencje zmian współczynnika nieregularności przepływów na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach różnicowych – A oraz przebiegu przepływów ekstremalnych – B w latach 1974-2003: WQ_{ekstr} – współczynnik nieregularności przepływów, P – opad roczny, Pl – suma opadu z miesięcy V-X, Pz – suma opadu z miesięcy XI-V, Q_{maks} – przepływ maksymalny, Q_{min} – przepływ minimalny (opracowano na podstawie danych IMGW) 105
 Fig. 31. The course and trend of the annual runoff irregularity coefficient against the course of total annual precipitation in subcatchments – A and the course of maximum and minimum annual discharges – B in the years 1974-2003: WQ_{ekstr} – runoff irregularity coefficients, P – total annual precipitation, Pl – total precipitation for the months V-X, Pz – total precipitation for the months XI-V, Q_{maks} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge (prepared on the basis of IMGW data). 105

Ryc. 32. Przebieg i tendencje zmian współczynnika nieregularności przepływów na tle sum rocznych opadów atmosferycznych w zlewniach całkowitych Czarna Woda (1959-2003) i Krąplewice (1965-2003) – A oraz przebiegu przepływów ekstremalnych – B: WQ_{ekstr} – współczynnik nieregularności przepływów, P – opad roczny, Pl – suma opadu z miesięcy V-X, Pz – suma opadu z miesięcy XI-V, Q_{maks} – przepływ maksymalny, Q_{min} – przepływ minimalny (opracowano na podstawie danych IMGW) 106
 Fig. 32. The course and trends regarding the annual runoff irregularity coefficient against the background of total annual precipitation in the Czarna Woda (1959-2003) and Krąplewice (1965-2003) catchments – A and the course of maximum and minimum annual discharges – B: WQ_{ekstr} – runoff irregularity coefficient, P – total annual precipitation, Pl – total precipitation in the May-Oct period, Pz – total precipitation in the Nov-May period, Q_{maks} – maximum discharge, Q_{min} – minimum discharge (prepared on the basis of the IMGW data) 106

Ryc. 33. Przebieg oraz tendencje zmian rocznych współczynników koncentracji odpływów (GMO_Q) – A i opadów (GMO_p) – B w zlewniach różnicowych Wawrzynowo, Czarna Woda i Błędno w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW) 109
 Fig. 33. The course and trends regarding the annual runoff concentration coefficient (GMO_Q) – A and annual precipitation concentration coefficient (GMO_p) – B in the Waw-

rzynowo, Czarna Woda and Błędno subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data) 109

Ryc. 34. Przebieg oraz tendencje zmian rocznych współczynników koncentracji odpływów (GMO_Q) – A i opadów (GMO_P) – B w zlewniach różnicowych Krąplewice i Tleń w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW) 110
 Fig. 34. The course and trends regarding changes in the annual runoff concentration coefficient (GMO_Q) – A and annual precipitation concentration coefficient (GMO_P) – B in the Krąplewice and Tleń subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data) 110

Ryc. 35. Średnie odpływy miesięczne – H ze zlewni różnicowych na tle sum miesięcznych opadów atmosferycznych – P w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW) 112
 Fig. 35. Mean monthly runoff from the subcatchments – H against the background of the sums of total monthly precipitation – P in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data) 112

Ryc. 36. Krzywe konsekwtywne (okresy pięcioletnie) odpływów jednostkowych (q) i opadów atmosferycznych (P) półrocza zimowego (XI-IV) i letniego (V-X) w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003 (opracowano na podstawie danych IMGW) 115
 Fig. 36. Consecutive curves (5-year periods) of mean specific discharges (q) and total precipitation (P) in winter half-year (XI-IV) and summer half-year (V-X) in subcatchments in the years 1974-2003 (prepared on the basis of the IMGW data) 115

Ryc. 37. Tendencje zmian odpływu jednostkowego (q) i opadów (P) miesięcznych w zlewniach różnicowych w wieloleciu 1974-2003; W – Wawrzynowo, CzW – Czarna Woda, B – Błędno, K – Krąplewice, T – Tleń (opracowano na podstawie danych IMGW) 116
 Fig. 37. Trends regarding monthly specific discharges (q) and total monthly precipitation (P) in subcatchments in the years 1974-2003; W – Wawrzynowo, CzW – Czarna Woda, B – Błędno, K – Krąplewice, T – Tleń (prepared on the basis of the IMGW data) 116

Ryc. 38. Średnie przepływy w profilu Jeziorna na tle harmonogramów użytkowania wód i średnich stanów wody jeziora Wdzydze w okresach obowiązywania pozwoleń wodnoprawnych (opracowano na podstawie: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn i in., 2005 b; przepływy w profilu Jeziorna obliczono na podstawie danych IMGW dla wodowskazów Wawrzynowo i Czarna Woda) 119
 Figure. 38. Mean monthly discharges at the Jeziorna gauge station against the timetable of water use and mean monthly water levels on Wdzydze lake in the periods of applicable water law permits (prepared on the basis of: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn et. al., 2005 b; discharges at the Jeziorna station were calculated on the basis of the IMGW data regarding the Wawrzynowo and Czarna Woda gauge stations) 119

Ryc. 39. Sposób wykorzystania wody prowadzonej Kanałem Wdy w latach 1974-1983 i 1994-2003 (opracowano na podstawie: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn i in., 2005 b)	120
Fig. 39. The use of water from the Wda Canal in the years 1974-1983 and 1994-2003 (prepared on the basis of: Operat Wodnoprawny, 1970; Wołoszyn, 1993; Wołoszyn et. al., 2005 b)	120
Ryc. 40. Odpływy jednostkowe ze zlewni dopływów dolnej Wdy w roku 2007 (opracowano na podstawie pomiarów własnych); A – powierzchnia zlewni [km ²], L – dopływy lewobrzeżne, P – dopływy prawobrzeżne	125
Fig. 40. Specific discharges in the catchments of the selected Wda river tributaries in 2007 (author's own study); A – catchment surface area [km ²], L – left-side tributaries, P – right-side tributaries	125
Ryc. 41. Lokalizacja wodowskazów Błędno i Krąplewice na profilu podłużnym Wdy na odcinku od ujścia do 90 km (wykonano na podstawie pomiarów RZGW w Toruniu) . . .	127
Fig. 41. Location of the Błędno and Krąplewice gauge stations against the Wda longitudinal profile at the section between the mouth and river kilometre 90 (prepared on the basis of the RZGW Toruń surveys)	127
Ryc. 42. Zmiany intensywności i kierunków oddziaływania człowieka na odpływ rzeczny od XVIII do XXI wieku	142
Fig. 42. Changes in the intensity and directions of human impact on river runoff from the 18th to the 21st century	142

Fotografie

Fot. 1. Łąki w dolinie Niechwaszczy w okolicach miejscowości Bielawy, kwiecień 2004 rok . . .	74
Photo 1. Meadows in the Niechwaszcz Valley near the Bielawy town, April 2004	74
Fot. 2. Zastawka na jednym z głównych rowów nawadniających w dolinie Niechwaszczy w okolicach miejscowości Bielawy, kwiecień 2004 rok	74
Photo 2. Watergate on one of the main irrigation ditches in the Niechwaszcz Valley near the Bielawy town, April 2004.	74
Fot. 3. Stopień wodny w Gródku – zbiornik i zapora (źródło: www.zielonaenergia.pl) . . .	78
Photo 3. The dam and the reservoir at the town of Gródek (source: www.zielonaenergia.pl) . . .	78
Fot. 4. Stopień wodny w Żurze – zbiornik, kanał derywacyjny i elektrownia (źródło: www.zielonaenergia.pl)	78
Photo 4. The Żur dam – water reservoir, derivation canal and power station (source: www.zielonaenergia.pl)	78

- Fot. 5.** Zaniedbany rów melioracyjny w okolicach wsi Miedzno (lokalizacja na ryc. 14), widoczny stan po udrożnieniu rowu i odprowadzeniu wody spiętrzonej przez tamę postawioną przez bobry, czerwiec 2004 rok 132
Photo 5. Damaged ditch in the vicinity of Miedzno village (location indicated in Fig. 14) after removing a beaver dam and draining the excess of water, June 2004..... 132
- Fot. 6.** Silnie zarośnięte koryto Wdy we wsi Złe Mięso (lokalizacja na ryc. 14), widoczne dzielenie się koryta, wrzesień 2005 rok 132
Photo 6. Overgrown Wda channel section near the village of Złe Mięso (location indicated in Fig. 14) gradually splitting its course, September 2005..... 132
- Fot. 7.** Wylewanie się wody na równinę zalewową wskutek spiętrzenia wywołanego silnym zarośnięciem koryta Wdy, miejscowość Złe Mięso (lokalizacja na ryc. 14), wrzesień 2004 rok 133
Photo 7. Inundation of flood plain as a consequence of vegetation-induced water damming, Złe Mięso village (location indicated in Fig. 14), September 2004..... 133
- Fot. 8.** Wypalanie trzciny na równinie zalewowej w miejscowości Złe Mięso, wrzesień 2005 rok (lokalizacja na ryc. 14) 133
Photo 8. Burning reeds on the flood plain near Złe Mięso village (location indicated in Fig. 14), September 2005 133
- Fot. 9.** Zamierające olchy na równinie zalewowej Wdy 5 kilometrów powyżej miejscowości Młyńsk (lokalizacja na ryc. 14), wrzesień 2005 rok 134
Photo 9. Decaying alder tree on the Wda flood plain 5 km upstream of Młyńsk village (location indicated in Fig. 14), September 2005 134
- Fot. 10.** Tama bobrowa na rowie melioracyjnym w okolicy Grzybna, teren administrowany przez Lasy Państwowe, wrzesień 2003 rok 134
Photo 10. Beaver dam on the ditch near the village of Grzybno, state-owned forests, September 2003 134
- Fot. 11.** Dolna część zbiornika powstałego w wyniku zatamowania odpływu przez bobry w rynnie jeziora Piaseczno, czerwiec 2006 135
Photo 11. The lower part of a water reservoir formed as a result of beaver dams blocking run-off in the Piaseczno Lake glacial channel (location indicated in Fig. 8, No. 11), June 2006.... 135
- Fot. 12.** Górna część zbiornika powstałego w wyniku zatamowania odpływu przez tamy bobrowe w rynnie jeziora Piaseczno, czerwiec 2003 rok. 135
Photo 12. The upper part of a water reservoir formed as a result of beaver activity in the Piaseczno Lake glacial channel (location indicated in Fig. 8, No. 11), June 2003 135

Runoff in the Wda Drainage Basin Against the Background of Water Management in the Second Half of the 20th Century

Summary

The drainage basin of the Wda river, a left-bank tributary of the lower Vistula, is located in the lakeland area in the north of Poland. The Wda is 204 km-long and its surface area amounts to 2322 km². After the partition of Poland in the 18th century, the region under discussion became part of Prussia. The extent to which natural resources were being exploited in this region was much higher than anywhere else in Poland at that time. It is often assumed that anthropopression tends to correlate with the intensity of deforestation, hence, regions featuring many forest areas are believed *a priori* to be less altered than regions devoid of forests. Such assumption, however, may prove erroneous and the study region of the former Prussian partition should be treated with particular caution. The Wda river basin constitutes one of the largest complexes of pine forests in Poland – the Tuchola Pinewoods (Bory Tucholskie) has a surface area of 3550 km² and afforestation rate of 70.3%. During the partitions, the region served as the main source of timber, which was later rafted down the river and used for many of Prussian investments. In the 18th and 19th century forests were converted into a pine monoculture. More importantly, it was a time of large-scale hydrotechnical works, in consequence of which the water conditions underwent permanent changes.

The reason for taking up the subject of the influence of anthropopression on the runoff conditions in the Wda drainage basin were the reports of local problems regarding either a deficiency or excess of water in the last decade of the 20th century. The two seemingly opposing occurrences, namely the disappearance of reservoirs and valley bottom inundation, were taking place simultaneously and, moreover, in relatively close proximity.

The main objective of the study was to determine the role of natural and anthropogenic factors, with regard to the use of water in particular, which shape runoff in the Wda river basin. Moreover, bearing in mind the significant shift in the approach to water management that occurred in the last quarter of the 20th century, an attempt was made to demonstrate the impact of these changes on hydrological conditions and runoff.

The results and conclusions were based on the archive hydrological and meteorological data from the years 1974-2003, which were obtained from the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) in Warsaw, as well as own measurements and observations conducted at various sites of the drainage area. The study also involved analysing thematic maps, which served as a basis for examining the spatial arrangement of natural elements that determine runoff. Moreover, data were gathered from state archives and institutions responsible for water management in the catchment area.

The following five subcatchments enclosed with IMGW hydrological stations were compared: Wawrzynowo, Czarna Woda, Błędno, Krąplewice and Tleń (fig. 1). The first four have relatively similar surface area (20% of the Wda river drainage area), while the last is half the size. Analysing subcatchments is recommended when studying any human-induced changes in runoff. Discharges recorded at each consecutive gauge station result from hydrological conditions that shape runoff in the entire area stretching from a given station to the springs, thus rendering it difficult to identify changes in runoff within individual smaller areas of the catchment under study.

Parallel analyses of hydrological data from catchments and subcatchments revealed a marked regularity in runoff from the Wda drainage basin, apparently shaped in the course of hydrological processes in its northern part (area down to the Wawrzynowo station). Considerable stability of runoff in this area appears to be determined by the abundance of rainfall and lower temperatures in comparison to the remaining parts of the Wda catchment (fig. 4, tab. 4), as well as a large number of deep flow-through and drainage lakes (fig. 9). These factors render runoff regular both with regard to the entire period of 1974-2003 and individual hydrological years. It is evident from the low value of the irregularity coefficient ($W_qsr = 1.82$) (tab. 14). The northern part of the Wda drainage basin apparently exerts considerable impact on the total runoff recorded in the profiles below.

The subcatchments vary greatly in terms of water management intensity. Areas featuring the least altered conditions regarding runoff include the subcatchments of Wawrzynowo, Błędno and Tleń. Water runoff in these drainage areas in the study period (1974-2003) represented considerable regularity, with the maximum discharges in a given year being only 2-3 times higher than the minimum. These drainage basins showed a prevalence of years with normal runoff (different from the

mean runoff calculated for the entire study period by 10%), meaning 40-55% in the scale of the entire period (fig. 23). The last decade of the 20th century marked the reconstruction of several minor dams that were used as small hydropower plants. Because of that, as well as due to a lack of maintenance over the irrigation and drainage ditches in the vicinity of mid-forest meadows, a minor decrease in runoff was noted in the area.

The Czarna Woda and Krąplewice subcatchment areas were found to be the most altered parts of the Wda watershed.

The first of them was developed into a system of hydrotechnical structures, allowing for a periodic cessation of runoff and the use of water for irrigating meadows. The water was retained in a natural reservoir, Wdzydze, a large lake with a surface area of 14.6 km² dammed up by 1.5 m in consequence of a weir construction at the place where the Wda rivers flows out. Such stored water was then allowed to flow through a 23.3 km-long canal (the Wda Canal) to irrigate meadows. At the time of the highest usable storage capacity at Wdzydze lake amounting to 1.5 m (from the end of the 19th century to the 60s of the 20th century), it could store on average 27% of total Wda runoff from five winter months (meadows were irrigated in April) (tab. 11). In arid years the amount exceeded 50% of total water runoff at the time. In later periods, at a usable storage capacity of 0.6 m (similarly to the end of 19th century), retention was slightly lower, yet still exceeded 20% of water runoff from the winter months of an arid year. Retained water was returned to the circulation in the growing season through the irrigation of meadows. As a result of using water from the Wda Canal for irrigation, water conditions in its proximity altered, which led to the formation of small reservoirs in the formerly dry depressions (fig. 19). However, it also caused nearly complete cessation of flow at a 20 km-long reach of the Wda. In the 90s of the 20th century the above-mentioned reservoirs dried up. Simultaneously, there was a noticeable increase in discharges in the Wda river, which caused inundation of the valley floor. These occurrences resulted from a marked decrease in the intensity of irrigation and lower flows in the Wda canal.

In the 30s of the 20th century two dams intended predominantly for energy production were built within the Krąplewice subcatchment, in the towns of Żur and Gródek (fig. 20). The reservoirs that were formed in the process had surface areas of 221.9 and 63.2 ha and covered nearly half the length of the Wda valley within the Krąplewice subcatchment. By the end of the 20th century the dams operated in compliance with a weekly schedule. Water was retained on Saturdays and Sundays to be used for energy production on working days. However, for the past ten-odd years the dams have been operating based on the currently available supply of water.

As a consequence of an intensive use of waters in the Czarna Woda and Krąplewice subcatchments, a difference was noted in the course of hydrological process in comparison to the remaining study fragments.

- Water runoff here displays higher irregularity with respect to both a single hydrological year and the entire period under discussion. The runoff irregularity coefficient (W_{gr}) in the years 1974-2003 calculated for the zone of mean flows in the Czarna Woda drainage basin is approximately two times higher than in the remaining area (tab. 14). In the case of the Krąplewice watershed it is fourteen times higher.
- The number of years featuring normal runoff (as opposed to arid and humid years) is lower by 10-20% at the Czarna Woda watershed, and by 30-50% in the Krąplewice drainage basin (fig. 23). The latter also features the highest surplus and deficit of runoff, which amount to respectively +113.6% and -84.5% of mean runoff calculated for the entire period under discussion.
- Runoffs display greater concentration, namely they are less evenly distributed over a hydrological year. The average value of the GMO concentration coefficient in the Krąplewice subcatchment amounted to 11.46, while in other subcatchments it ranged from 8.61 to 8.90 (tab. 20). In the Czarna Woda subcatchment, the mean value calculated for the period under discussion was not higher than in the remaining area (8.87). However, in the first part of the analysed period the annual value of the coefficient calculated for this subcatchment exceeded 11.
- Both drainage basins featured a loss in runoff resulting from the direct and indirect influence of water management activities. In the Czarna Woda subcatchment the loss in the first half of the period between 1974-2003 amounted to an average of $1.5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, which constituted 13% of the mean discharge in the Wda river down to the Czarna Woda profile (Wawrzynowo and Czarna Woda subcatchments). It was possible to determine the difference in the course and volume of runoff in comparison to other areas thanks to the limited intensity of water use in the second half of the 80s of the 20th century. In the Krąplewice catchment, owing to a steady operation intensity of the hydro-energetic cascade within the study period and the fact that there are no available data regarding the conditions prior to its erection, it was not possible to convincingly assess its influence on the volume of runoff. Twice as low runoff from the Krąplewice subcatchment in comparison to other subcatchments is likely a consequence of several factors. Firstly, lower by 20-40% runoff in the catchments of the tributaries, mainly the Ryszka and Sobina rivers, and secondly, the functioning of the dam reservoirs, which reduce the intensity of underground water drainage in the Wda valley and increase losses from evapotranspiration and, to lower degree, evaporation. Thirdly, drainage of the deep groundwater circulation system by the Vistula river.

The presented material revealed a specific form of a **secondary hydrological balance**, which emerged as a result of extended use of the irrigation systems dated back to the 19th century. It resulted in a permanent alteration of water conditions – formation of water reservoirs. In time, these objects became treated as natural. Per-

haps due to the fact that they “fitted” well into the surrounding early post-glacial landscape featuring numerous depressions filled with lakes and marshes. Certainly, had they been formed in a late post-glacial area, they would have been immediately associated with the construction of the irrigation canal.

Equally interesting proved to be the effects of interference in the said secondary hydrological balance, which marked the beginning of **the renaturalization process of runoff conditions**. In the forest-covered outwash plain, the effect of changes introduced to the water regime are spread out both in time and space, which renders their identification particularly difficult. However, the study indicated that the seemingly contradicting occurrences (disappearance of lakes and inundation of grounds) are in fact strongly correlated and arise from the changes in the approach to water management in the last twenty years of the 20th century. Better understanding of what caused these phenomena may help solve conflicts that are likely to emerge in future. The approach to water management in the Wda catchment area may yet undergo considerable changes. Furthermore, the renaturalization of runoff in the Czarna Woda subcatchment caused by limiting irrigation is as of now unfinished. Thus, it is likely to cause further conflicts with regard to the locally occurring hydrological changes.

Also, it should be emphasized that when attempting to interpret any of the past, current and future hydrological processes, it is crucial to analyse hydrological conditions in the context of geomorphology, geology and hydrogeology. If approached individually, interpretation of what causes particular hydrological phenomena is bound to be erroneous.

To conclude, in the light of the presented results, the Tuchola Pinewoods region, intensively transformed since the 18th century, can be regarded as semi-natural not only with respect to its flora, but also water conditions. Despite the fact that it is one of the largest forest complexes in Poland, most of the natural elements of the environment have been altered due to human activity. Hydrographic conditions and water cycle constitute two elements that have changed to the greatest degree in certain parts of the Tuchola Pinewoods.

The identified anthropogenic impact on runoff conditions in the Wda catchment is presented in the form of a diagram, which demonstrates its extent over the last 300 years (fig. 42). In the 18th and 19th century, the intensity of anthropogenic influence on river runoff largely depended on river regulation and drainage, as well as water retention and runoff regulation by means of small weirs used for watermills. On the one hand, the process of electrification that took place in the 20th century led to the decommissioning of a majority of watermills and small weirs. On the other hand, however, it initiated the construction of large dams better suited for hydroenergetic purposes. Hydro power plants in the Wda catchment were constructed relatively early, in the 30s of the 20th century. In other regions of Poland majority of the dams

were built after the Second World War. From the 80s of the 20th century the approach to river valley management gradually changed. The construction of dams was greatly limited due to considerable costs and tremendous ecological impact. From the 90s of the 20th century efforts were made to reconstruct former small weirs for the purpose of energy production. However, the unintended consequence of these investments involved an increase in retention. Another reason is the fact that the importance of grasslands diminished and, in consequence, efforts to maintain the drainage networks were abandoned. It is also a common practice to install side weirs on streams flowing out of lakes, which allows for stabilization of hydrological conditions within the bank zones of flow-through lakes.

Admittedly, the process of renaturalization of many river valley sections was an unintended consequence of the reduction of financing for removing obstructions from river channels and drainage networks. However, many European countries, such as the United Kingdom and France, are in fact consciously renouncing their efforts to alter river valleys, instead allowing for an undisturbed, natural course of hydrological processes.

Translated by Tomasz Szymenderski

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2014



© Copyright by Wdecki Park Krajobrazowy, Osie 2014



Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany w całości ani we fragmentach
bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

Druk i oprawa

Studio Grafiki Komputerowej Krzysztof John
86-300 Grudziądz, ul. Gen. J. Bema 39

