

CECHY REŻIMU ODPŁYWU RZEK W ZLEWNI WARTY

DARIUSZ WRZESIŃSKI, ADAM PERZ

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

Abstract: This paper seeks to identify the features of the flow regime of the rivers in the basin of the river Warta in terms of the runoff, the structure as well as temporal and spatial variabilities. The analysis was carried out on the basis of hydrometric data from the Institute of Meteorology and Water Management from 1971–2010 obtained from 71 gauging stations located in 39 rivers. The research embraced the entire Warta basin with its tributaries. In hydrological terms, this region is characterized by sharp differences in the runoff conditions due to abundant or scarce water resources in the sub-basins. As a result, those rivers have different regime features; following the regularities in their flow variability, they can be classified into 3 types of the nival hydrological regime. The river Warta and its tributaries reveal exceptional differences in the total runoff, from the lowest values in Poland (under 100 mm, the upper Noteć basin) to very high in the upper Warta (above 380 mm, the Kręciwilk station). There are also big differences in the groundwater flow and its contribution to the total runoff. For some of them it exceeds 80%, the most distinct in Poland. The rivers of the Warta basin also show a wide range of variability in the discharges, from very stable to very irregular. In general, the greatest differences in the regime characteristics are between the central part of the basin in comparison with the northern and southern parts.

Keywords: river runoff, hydrological regime, the Warta basin

WSTĘP

Ze względu na zmienność warunków klimatycznych, a także zaznaczający się wpływ człowieka na obieg wody w przyrodzie, istotnym zagadnieniem staje się prawidłowe rozpoznanie cech reżimu hydrologicznego, zwłaszcza w zakresie stabilności warunków odpływu. Szczególnie ważny jest problem sezonowości odpływu rzecznego, dostępności i wielkości zasobów wodnych, ich trwałości oraz przewidywalności. Rozpoznanie cech reżimu odpływu oraz ocena jego stabilności są ważne nie tylko z naukowego punktu widzenia, ale również z uwagi na potencjalne konsekwencje gospodarcze, ekonomiczne i społeczne wynikające z jego destabilizacji. W tym kontekście reżim odpływu może służyć do identyfikacji przestrzennych oraz czasowych zmian wysokości i sezonowości odpływu, jak i do ustalenia obecnych oraz przyszłych deficytów wody (Wrzesiński 2013). Celem niniejszej pracy jest identyfikacja cech reżimu hydrologicznego rzek w zlewni Warty w zakresie wielkości odpływu, jego struktury oraz czasowej i przestrzennej zmienności.

OBSZAR BADAŃ I MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

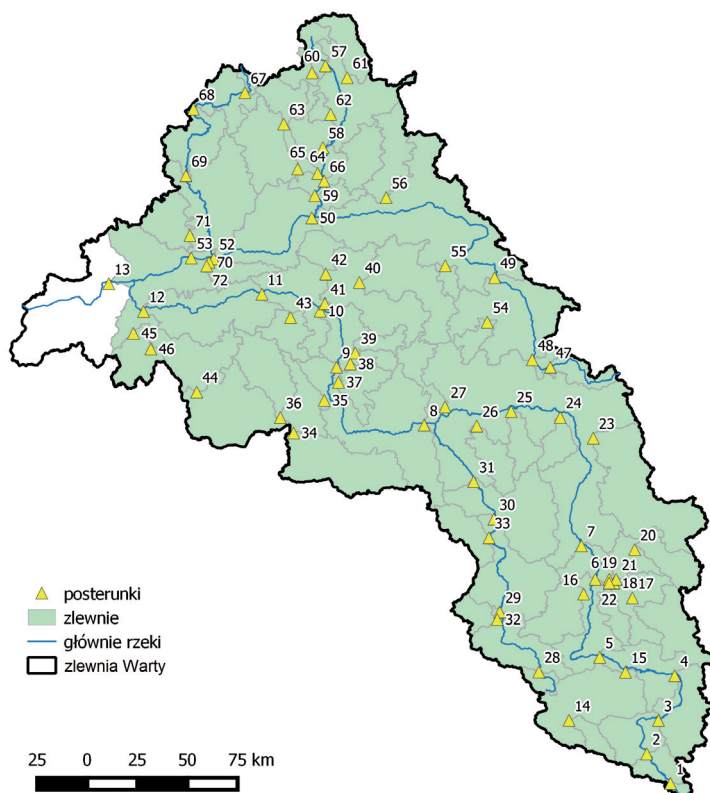
Zlewnia Warty charakteryzuje się znaczną powierzchnią, a także dużym zróżnicowaniem warunków środowiskowych. Dotyczy to genezy rzeźby, ukształtowania powierzchni terenu, warunków klimatycznych i hydrologicznych.

Badany obszar znajduje się w obrębie podprovincji: Pojezierza Południowo-bałtyckie (314-316), Niziny Środkowopolskie (318), Wyżyna Śląsko-Krakowska (341) i Wyżyna Małopolska (342) (Kondracki 2013). W północnej i środkowej części omawianego obszaru występuje rzeźba młodoglacjalna z charakterystycznymi formami dla ostatniego zlodowacenia, zagłębieniami terenu oraz wzniesieniami morenowymi i stożkami sandrowymi. W południowej części badanego obszaru teren odznacza się rzeźbą staroglacjalną. Zauważalne są tutaj mniejsze deniwelacje terenu związane ze wcześniejszym ustąpieniem lądolodu. Cały obszar Nizin Środkowopolskich jest porozcinany dolinami rzecznyymi, między którymi ukształtowały się bezzeizorne wysoczyzny. Deniwelacje terenu znów rosną na południu zlewni, gdzie Warta wraz ze swoimi dopływami Liswartą i Prosną rozcina północną część Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. W północno-zachodniej części Wyżyny Małopolskiej przebiega dział wodny pomiędzy dorzeczami Odry i Wisły. Bierze tu swój początek Widawka – prawy dopływ Warty.

Zgodnie z podziałem Wosia (2010) zlewnia Warty należy do dziewięciu regionów klimatycznych (z 28 wyznaczonych dla obszaru Polski). Średnia temperatura roczna w dorzeczu waha się od 7,5°C na północy do 8,5°C na zachodzie, średnia temperatura w styczniu od -2,5°C na południowym wschodzie do -1,2°C na zachodzie, natomiast średnia temperatura w lipcu od 16,9°C na północy do 18,1°C na zachodzie i południu. Roczne sumy opadów wahają się od 520 mm na północnym wschodzie (Kujawy) do 675 mm na południu. Minimum sum opadów przypada na luty i osiąga wartości od 26 mm na południowym zachodzie i w centralnej części dorzecza do 33 mm na południu. Największe miesięczne sumy opadów notowane są w lipcu i wynoszą od 71 mm na zachodzie do 96 mm na południu zlewni.

Warta jest najdłuższym dopływem Odry, jej długość wynosi 808 km. Sieć rzeczna w jej zlewni jest rozwinięta, warunkują ją dwa czynniki: nachylenie powierzchni w kierunku północno-zachodnim oraz rzeźba polodowcowa. Szczególne znaczenie mają pradoliny, które wykorzystuje Warta, płynąc równoleżnikowo oraz odcinki przełomowe (Poznański Przełom Warty), którymi Warta przerzuca swoje wody z Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej do Pradoliny Toruńsko-Eberswaldzkiej. Do najdłuższych jej dopływów należą: Noteć, Proсна, Drawa, Obra, Gwda i Wełna. W biegu rzeki Warty zlokalizowano również dwa duże zbiorniki retencyjne – Poraj oraz Jeziorsko.

W pracy wykorzystano codzienne wartości przepływów z lat 1971–2010 dla 71 posterunków wodowskazowych na 39 rzekach (ryc. 1). Dane pochodziły z zasobów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB.



Ryc. 1. Lokalizacja zlewni i posterunków wodowskazowych
 Numeracja posterunków zgodna z numeracją w tabeli 1

Fig. 1. Locations of catchments and gauge stations
 The numeration as for Table 1

METODY BADAŃ

W pracy zastosowano różnorodne metody badań, zarówno statystyczne przy analizie danych, jak i graficzne do prezentacji uzyskanych wyników. Do ogólnej charakterystyki cech reżimu odpływu rzeczno wykorzystano miary i wskaźniki powszechnie używane w pracach hydrologicznych. Wysokość odpływu całkowitego przedstawiono za pomocą wskaźnika odpływu H [mm]. Do oceny struktury odpływu zastosowano prostsze metody obliczania przeciętnych wartości odpływu podziemnego, oparte na przepływach charakterystycznych. Za średnią wartość odpływu podziemnego uznano medianę ze zlinearyzowanych wartości minimów miesięcznych uporządkowanych w rosnący szereg (Kille 1970). Obliczono udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym.

Zmienność przepływów wyrażoną współczynnikiem zmienności (C_v) obliczono dla przepływów dobowych, średnich rocznych oraz maksymalnych

Tabela 1. Cechy reżimu odpływu rzek w dorzeczu Warty w latach 1 971–2 010
 Table 1. Flow regime characteristics of rivers in the Warta basin in years 1 971–2 010

Lp.	Rzeka	Posterunek	Powierzchnia zlewni A [km ²]		Odpływ całkowity H [mm]	Odpływ podziemny [mm]	[%]	Zmienność przepływów (Cv)			Nieregularność przepływów	Typ reżimu*
								dobowych	rocznych	min.		
1	Warta	Kręciwilk	66	384	262	68,2	0,610	0,226	0,205	0,548	44	1
2	Warta	Poraj	390	233	125	56,3	0,881	0,379	0,295	0,838	101	1
3	Warta	Mstów	988	205	123	60,3	0,761	0,317	0,250	0,579	71	2
4	Warta	Bobyry	1 800	193	124	66,1	0,668	0,317	0,457	0,573	245	2
5	Warta	Działoszyn	4 088	192	132	66,8	0,647	0,265	0,234	0,552	35	2
6	Warta	Burzenin	5 437	186	125	67,0	0,630	0,274	0,252	0,599	35	2
7	Warta	Sieradz	8 140	177	125	67,7	0,599	0,248	0,204	0,495	27	2
8	Warta	Nowa Wieś Podgórna	20 763	146	95	64,7	0,612	0,277	0,281	0,527	29	2
9	Warta	Poznań (most Rocha)	25 126	128	87	64,3	0,621	0,295	0,267	0,518	29	2
10	Warta	Oborniki	26 789	135	87	64,1	0,626	0,296	0,278	0,489	30	2
11	Warta	Wronki	30 684	129	83	64,5	0,636	0,309	0,249	0,503	25	2
12	Warta	Skwierzyna	31 268	127	88	66,2	0,620	0,303	0,254	0,505	25	2
13	Warta	Gorzów Wielkopolski	52 186	127	97	74,0	0,520	0,264	0,251	0,408	17	2
14	Liswarta	Niwki	218	221	114	52,4	0,931	0,249	0,336	0,431	168	2
15	Liswarta	Kule	1 557	159	93	56,0	0,869	0,297	0,345	0,607	115	2
16	Oleśnica	Niechmirów	592	132	56	42,1	1,362	0,443	0,399	0,721	312	3
17	Widawka	Szczerców	721	249	207	83,1	0,410	0,250	0,350	0,670	34	2
18	Widawka	Rogożno	1 268	208	170	74,7	0,524	0,244	0,302	0,525	31	1

Lp.	Rzeka	Postorunek	Powierzchnia zlewni		Odpyw całkowity H [mm]	Odpyw podziemny		Zmienność przepływów (Cv)			Nieręglarność przepływów	Typ reżimu*
			A [km ²]	H [mm]		[%]	dobowych	rocznych	min.	max		
19	Widawka	Podgórze	2 354	186	128	65,9	0,689	0,260	0,327	0,491	54	1
20	Grabia	Łask	472	180	96	53,4	1,061	0,305	0,393	0,575	192	3
21	Grabia	Grabno	811	165	82	48,3	1,110	0,329	0,334	0,523	115	3
22	Nieciecz	Widawa	242	131	48	36,9	1,468	0,542	0,918	0,716	10 267	3
23	Ner	Dąbie	1 712	189	113	55,5	0,720	0,275	0,378	0,417	116	2
24	Kiełbaska	Kościelec	476	167	127	67,8	0,547	0,223	0,333	0,486	34	2
25	Powa	Posoka	332	113	44	38,6	1,335	0,434	0,658	0,861	3 550	3
26	Czarna Struga	Trąpczyn	423	115	40	34,2	1,434	0,489	0,813	0,721	3 043	3
27	Wrzeźnica	Samarzewo	360	93	37	39,0	1,329	0,545	0,593	0,684	278	3
28	Proсна	Gorzów Śląski	164	171	92	53,9	1,358	0,270	0,307	0,703	407	2
29	Proсна	Mirków	1 255	130	64	47,7	1,018	0,286	0,380	0,541	156	2
30	Proсна	Piwnice	2 938	123	68	52,1	0,959	0,316	0,386	0,574	127	2
31	Proсна	Bogusław	4 304	118	61	49,5	0,968	0,342	0,356	0,579	131	2
32	Niesób	Kuźnica Skakawska	246	123	67	52,4	1,052	0,283	0,401	0,717	554	3
33	Ołobok	Ołobok	447	115	47	41,6	1,287	0,386	0,445	0,547	550	3
34	Kanał Kościański	Kościan	1 247	98	43	44,6	1,004	0,506	0,870	0,603	334	3
35	Kanał Mosiński	Mosina	2 492	78	40	51,2	1,021	0,513	0,727	0,546	244	3
36	Mogilnica	Konojad	663	77	26	33,1	1,440	0,653	0,704	0,797	1 325	3
37	Kopel	Głuszyna	369	105	36	36,3	1,288	0,532	0,594	0,611	705	3

Lp.	Rzeka	Postarunek	Powierzchnia zlewni		Odpływ całkowity H [mm]	Odpływ podziemny		Zmienność przepływów (Cv)			Nieręglarność przepływów	Typ reżimu*	
			A [km ²]			[%]	dobowych	rocznych	min.	max			
38	Cybina	Antoninek	171		107	58	54,5	0,936	0,442	0,834	0,541	1 707	3
39	Główna	Wierzenica	222		102	38	37,5	1,185	0,593	0,670	0,679	1 800	3
40	Wełna	Pruście	1 130		95	52	52,7	1,032	0,556	0,681	0,747	410	3
41	Wełna	Kowanówko	2 597		107	53	50,7	1,068	0,550	0,638	0,774	182	3
42	Flinta	Rycyzwół	276		75	35	46,5	1,170	0,522	0,883	0,555	728	3
43	Sama	Szamotuły	395		85	38	43,3	1,362	0,673	0,802	0,945	1 025	3
44	Obra	Zbąszyń	1 291		111	56	53,1	0,842	0,431	0,730	0,407	158	3
45	Obra	Błędzew	2 618		111	60	56,0	0,657	0,339	0,537	0,320	49	2
46	Paklica	Międzyrzecz	279		114	64	56,2	0,615	0,256	0,692	0,359	166	2
47	Noteć	Łysek	306		89	43	49,6	1,126	0,568	0,814	0,773	11 100	3
48	Noteć	Noć Kalina	440		99	54	54,1	0,977	0,470	0,559	0,627	334	3
49	Noteć	Pakość 2	1 620		110	63	59,5	0,979	0,588	0,562	0,878	131	2
50	Noteć	Ujście 2	11 255		132	97	73,3	0,462	0,268	0,253	0,292	11	2
52	Noteć	Krzyż	12 610		134	98	72,9	0,451	0,261	0,255	0,275	11	2
53	Noteć	Nowe Drezdenko	15 970		144	116	78,1	0,394	0,216	0,202	0,270	9	2
54	Noteć (Zachodnia)	Gębice	182		109	55	54,8	0,926	0,519	0,747	0,742	393	2
55	Gąsawka	Żnin	148		116	66	55,5	0,952	0,544	0,787	0,671	1 713	3
56	Łobzonka	Wyrzysk	635		127	60	49,6	0,880	0,400	0,480	0,470	352	2
57	Gwda	Gwda Wielka	426		259	205	79,2	0,525	0,282	0,259	0,363	23	2
58	Gwda	Ptusza	2 052		174	122	69,3	0,378	0,186	0,183	0,246	10	2

Lp.	Rzeka	Posterunek	Powierzchnia zlewni A [km ²]		Odpyw całkowity H [mm]	Odpyw podziemny [mm]	[%]	Zmienność przepływów (Cv)		Nieręgalność przepływów	Typ reżimu*	
								dobowych	rocznych			min.
59	Gwda	Piła	4 704	181	144	77,6	0,353	0,177	0,218	0,244	8	2
60	Nizica	Szczecinek	161	165	104	63,9	0,761	0,339	0,539	0,381	2 280	2
61	Czernica	Czarne	411	211	147	69,9	0,597	0,270	0,191	0,487	18	2
62	Czarna	Okonek	104	113	61	53,5	0,993	0,331	0,440	0,648	209	2
63	Piława	Nadarzyce	347	232	205	88,1	0,283	0,153	0,277	0,230	10	1
64	Piława	Zabrodzie	1 368	178	151	84,1	0,330	0,190	0,240	0,270	8	1
65	Dobrzyca	Wiesiółka	892	161	128	82,3	0,401	0,207	0,218	0,445	11	2
66	Głomia	Dobrzyca	569	157	95	60,4	0,717	0,272	0,379	0,553	164	2
67	Drawa	Stare Drawsko	67	201	104	51,4	1,064	0,476	0,478	0,655	240	3
68	Drawa	Drawsko Pomorskie	609	215	161	71,1	0,554	0,236	0,289	0,334	22	2
69	Drawa	Drawno	1 267	226	184	81,4	0,384	0,189	0,238	0,253	10	2
70	Drawa	Drawiny	3 298	205	182	88,9	0,280	0,123	0,194	0,233	6	1
71	Mierzęcka Struga	Mierzęcin	533	104	83	79,5	0,500	0,223	0,426	0,305	69	2
72	Miała	Chetst	292	136	108	79,6	0,372	0,201	0,362	0,269	44	1

* Typy reżimów: 1 – reżim niwalny słabo wykształcony, 2 – reżim niwalny średnio wykształcony, 3 – reżim niwalny silnie wykształcony.

i minimalnych rocznych. Wyraża się ją stosunkiem odchylenia standardowego do średniej. Nieregularność przepływów określono ilorazem absolutnego maksimum i minimum przepływu w całym okresie pomiarowym w badanym wieloleciu.

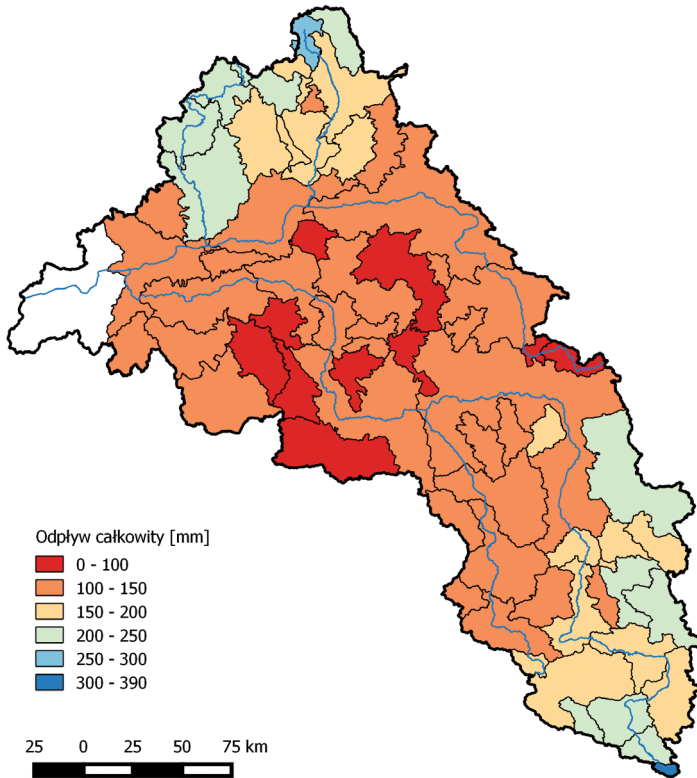
Typy reżimów rzek w Polsce podano zgodnie z kryteriami Dynowskiej, co umożliwiło porównanie uzyskanych wyników z wcześniejszymi opracowaniami autorki, zawartymi w *Atlasie Rzeczypospolitej Polskiej* (1997) oraz w pracy Dynowskiej i Pociask-Karteczki (1999).

W opracowaniu matematyczno-statystycznym danych źródłowych użyto procedur statystycznych programu *Excel* [Microsoft]. Z kolei w tworzeniu strony graficznej wykorzystano program *QGis* [Quantum GIS].

STRUKTURA ODPLYWU RZECZNEGO

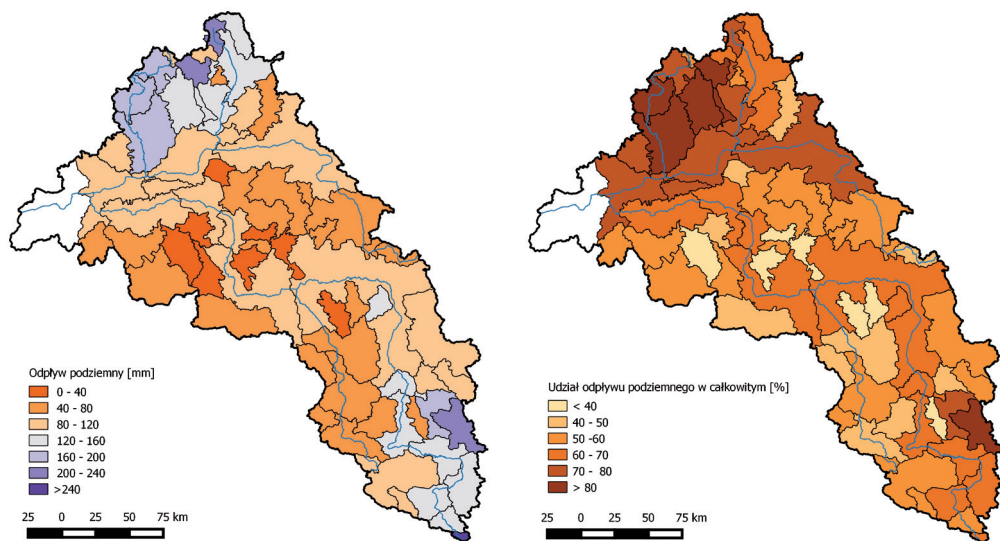
Zlewnia Warty charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem wysokości odpływu całkowitego w poszczególnych zlewniach (ryc. 2). Wyższe wartości – ponad 200 mm, a lokalnie nawet ponad 300 mm, notuje się na rzekach w południowej i północnej części zlewni, natomiast rzeki w centralnej części cechują się odpływem poniżej 150 mm, a lokalnie nawet poniżej 80 mm. Najwyższy odpływ występuje w zlewni Warty – profil Kręciwilk (384 mm), natomiast najniższymi odpływami charakteryzują się zlewnie Flinty (75 mm), Mogilnicy (77 mm) i Kanału Mosińskiego (78 mm).

Rozkład przestrzenny odpływu podziemnego (ryc. 3) wykazuje wyraźne podobieństwo do zaobserwowanego w przypadku odpływu całkowitego. Wiązać to należy zarówno z uwarunkowaniami klimatycznymi, jak i z zasobnością wodną potamicznych warstw wodonośnych. Zasobność tych warstw natomiast zależy od wielkości zasilania opadowego (niskie wartości w centralnej części dorzecza Warty), cech rzeźby terenu (część północną i południową charakteryzują wyższe wysokości n.p.m.) oraz litologii i przepuszczalności utworów powierzchniowych. Wielkość odpływu podziemnego zależy zatem nie tylko od cech klimatu, ale również od zdolności retencyjnej skał wodonośnych i głębokości erozyjnego wcięcia rzek w podłoże (Dynowska, Pociask-Karteczka 1999). Cechą charakterystyczną odpływu podziemnego w zlewni Warty są stosunkowo wysokie różnice w jego wartościach w poszczególnych zlewniach. Wielkości te wahają się od poniżej 40 mm w centralnej części zlewni do ponad 200 mm w północnej i południowej jej części. Największy odpływ podziemny obserwuje się w zlewni źródłowego odcinka Warty (262 mm). Na południu obszaru badań odpływ podziemny powyżej 200 mm odnotowano jeszcze tylko w zlewni Widadki (profil Szczerców). Na północy takim wysokim odpływem cechują się zlewnie Gwdy (Gwda Wielka) oraz Piławy (Nadarzyce). W centralnej części zlewni Warty odpływ podziemny rzadko przekracza 100 mm, lokalnie wynosi



Ryc. 2. Odpiyw całkowity
Fig. 2. Average runoff values

nawet poniżej 40 mm, np. w zlewniach: Mogilnicy (Konojad), Flinty (Ryczywół), Kopla (Głuszyna), Wrześnicy (Samarzewo) oraz Samy (Szamotuły). Odpiyw podziemny na Kujawach jest najmniejszy z przyczyn naturalnych – jest to obszar, gdzie notuje się najniższe sumy opadów atmosferycznych i wysokie straty na parowanie. Ważną cechą reżimu jest również udział odpiywu podziemnego (zasilania wodami podziemnymi) w odpiywie całkowitym. Informuje on o zdolności retencyjnej zlewni. Udział zasilania podziemnego w Polsce wynosi średnio 55%, czyli w strukturze odpiywu ma większe znaczenie od zasilania powierzchniowego. Przestrzenne zróżnicowanie tego parametru odbiega od prawidłowości zaobserwowanych w przypadku odpiywu całkowitego i podziemnego (ryc. 3). Wyraźnie większe wartości odnotowuje się w północnej części analizowanego obszaru niż w części centralnej i południowej. Zlewnie pojezierne, podobnie jak rzek Przymorza, charakteryzuje specyficzna struktura odpiywu z dominującą składową podziemną (Dynowska 1971; Orsztynowicz 1973; Paszczyk 1975; Gutry-Korycka 1985; Tomaszewski 2001; Bogdanowicz 2004). Największy udział odpiywu podziemnego w odpiywie całkowitym, powyżej 80%,



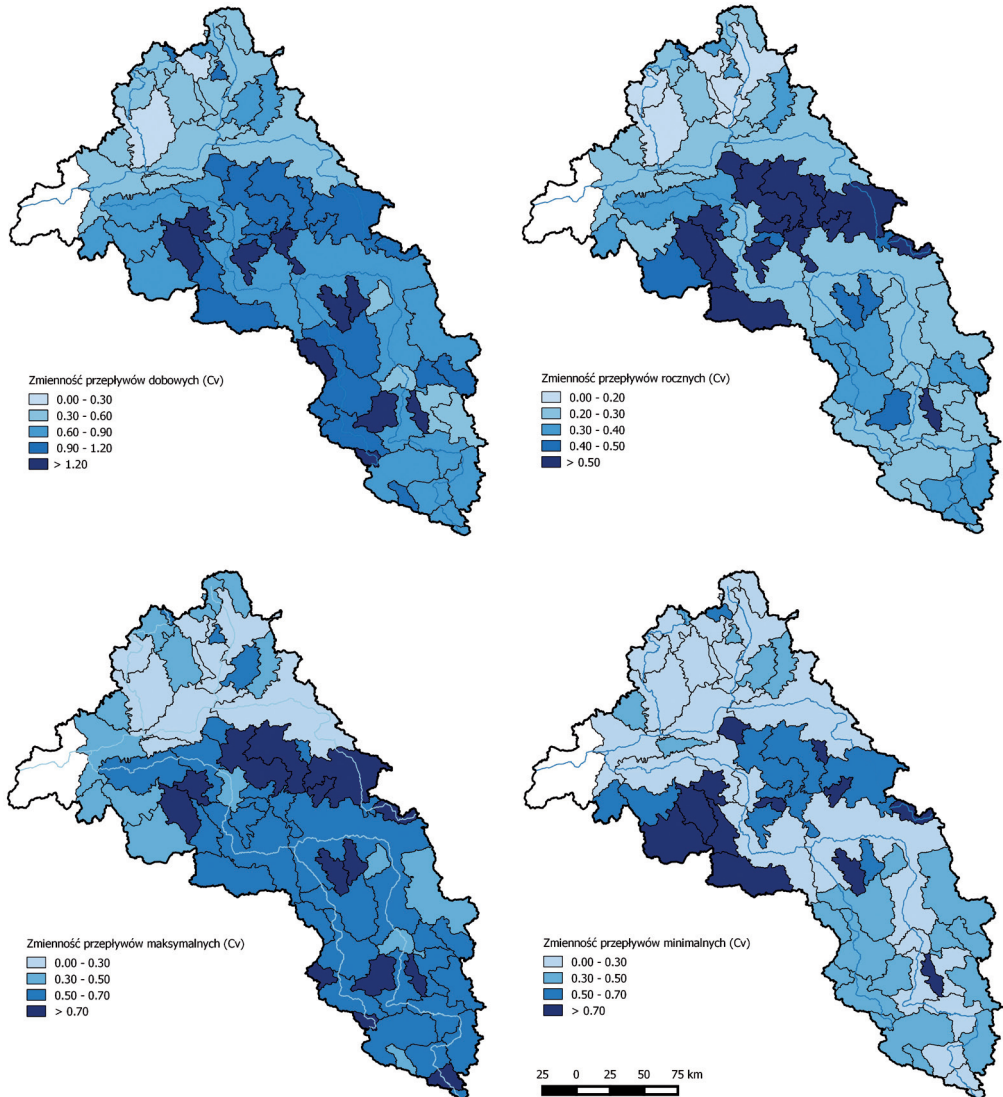
Ryc. 3. Odpływ podziemny i jego udział w odpływie całkowitym
 Fig. 3. Underground flow volume and its ratio in the total flow

zanotowano w zlewniach Piławy, Dobrzycy i Drawy na północy zlewni Warty oraz w zlewni Widawki na południu. Niskim udziałem odpływu podziemnego, nawet poniżej 40%, odznaczają się zlewnie w centralnej części badanego obszaru, np. zlewnie: Niecieczy, Powy, Czarnej Strugi, Wrześnicy, Mogilnicy, Kopła i Głównej.

ZMIENNOŚĆ PRZEPŁYWÓW

Ważną miarą opisującą reżim odpływu jest zmienność przepływów. W pracy obliczono cztery miary zmienności – przepływów dobowych oraz średnich, maksymalnych i minimalnych rocznych. Krótkookresowe zmiany wielkości odpływu mają charakter głównie sezonowy, będący konsekwencją rocznego cyklu zmian wielkości i form zasilania. Oprócz tego na zmienność odpływu wpływają lokalne czynniki środowiskowe, decydujące o zdolności retencyjnej zarówno powierzchniowej, jak i podziemnej części zlewni.

Najmniejszą zmiennością przepływów dobowych ($C_v < 0,60$) charakteryzują się rzeki północnej części zlewni Warty (m.in. Drawa, Gwda, Noteć) (ryc. 4). Zdaniem Dynowskiej (1971) wpływają na to częste deszcze o małym natężeniu i nietrwałość pokrywy śnieżnej, a także duża zdolność infiltracji wody w przepuszczalne osady oraz występowanie licznych zagłębień bezodpływowych. Zmienność przepływów dobowych rzek na południe od równoleżnikowego odcinka Noteci przyjmuje znacznie wyższe wartości, przekraczające w części



Ryc. 4. Zmienność przepływów dobowych, średnich rocznych oraz maksymalnych i minimalnych rocznych

Fig. 4. Variability in daily flows, average yearly flows, and maximum and minimum yearly flows

zlewni $Cv = 1,20$. Taką zmiennością wyróżniają się przepływy: Proсны, Oleśnicy, Niecieczy, Czarnej Strugi, Wrześnicy, Ołoboku, Mogilnicy, Koplą i Samy. Warto zaznaczyć, że w większości są to rzeki cechujące się najniższymi wartościami udziału odpływu podziemnego w odpływie całkowitym (ryc. 3).

Zmienność przepływów średnich rocznych jest znacznie niższa, a w ujęciu

przestrzennym (ryc. 4) odmienna od zmienności przepływów dobowych. Wyraźnie wyższe wartości obserwuje się na rzekach w centralnej części zlewni, natomiast niższe na rzekach w południowej i północnej części obszaru badań. Największą zmiennością przepływów rocznych charakteryzuje się Mogilnica i Sama ($C_v > 0,6$), a najmniejszą ($C_v < 0,2$) dopływy Noteci (m.in. Drawa i Gwda). Można zauważyć pewną zależność między udziałem odpływu podziemnego w odpływie całkowitym a zmiennością przepływów rocznych. Większe rzeki (Warta, Noteć, Proсна, Drawa i Gwda) w swoich środkowych i dolnych odcinkach charakteryzują się generalnie mniejszą zmiennością średnich przepływów rocznych od swoich dopływów.

W analizie zmienności przepływów maksymalnych rocznych zaznaczają się większe różnice w wartościach. Jednak przestrzenne zróżnicowanie nie jest tak złożone, jak w przypadku zmienności średnich przepływów rocznych (ryc. 4). Jednakże również w tym przypadku widać małą zmienność przepływów Noteci w jej środkowym biegu i dwóch jej największych dopływów – Gwdy i Drawy ($C_v < 0,3$). Największą zmiennością przepływów maksymalnych odznacza się Sama ($C_v = 0,945$). Wysoka jest ona także na Warcie (Poraj), Noteci (Pakość 2), Powie i Mogilnicy. Większość rzek zlewni Warty charakteryzuje się zmiennością przepływów maksymalnych w zakresie 0,5–0,7.

Odmienny jest obraz przestrzennego zróżnicowania zmienności przepływów minimalnych (ryc. 4). Największe rzeki analizowanego obszaru, tj. Warta, Noteć (oprócz górnego odcinka), Proсна, Drawa i Gwda, cechują się bardzo niską zmiennością przepływów minimalnych ($C_v < 0,3$). Największą zmienność ($C_v > 0,7$) natomiast zanotowano na zachód od poznańskiego odcinka Warty (w zlewniach takich cieków, jak Kanał Mosiński, Kanał Kościański, Obra, Sama) oraz na górnym odcinku Noteci, Flincie, Gąsawce, Czarnej Strudze, Cybinie i Niecieczy.

Innym wskaźnikiem opisującym zmienność przepływów jest nieregularność przepływu wyrażona stosunkiem absolutnego maksimum przepływu do absolutnego minimum przepływu w całym okresie pomiarowym. Najbardziej regularne przepływy notowane są na Drawie (Drawiny – 6,4, Drawno – 9,6), Piławie (Zabrodzie – 7,7, Nadarzyce – 9,9), Gwdzie (Piła – 7,7) i Noteci w Nowym Drezdenku (8,8). Największą nieregularnością z kolei odznacza się górny odcinek Noteci na obszarze Pojezierza Kujawskiego (Łysek – 11 100). Zbliżoną wartość zanotowano w zlewni Warty jeszcze jedynie na Niecieczy (ok. 10 267), której nieregularność przepływów wynika z oddziaływania leja depresji wytworzonego przez odkrywkową kopalnię węgla brunatnego. Noteć charakteryzuje się największym zróżnicowaniem nieregularności przepływów skrajnych, których wartości wzdłuż biegu rzeki znacznie maleją (od 11 100 do 8,8). Jest to konsekwencja silnego przekształcenia regulacyjnego koryta Noteci, m.in. poprzez budowę wielu stopni wodnych, znacznie modyfikujących naturalny reżim odpływu.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że rzeki o niższym odpływie podziemnym cechują się większą zmiennością przepływów, zarówno dobowych, jak i rocznych. Podobna zależność zaznacza się dla drugiego opisanego wskaźnika, jakim jest nieregularność przepływów. Największymi wartościami w tym przypadku (przekraczającymi 1000, a nawet 10 000) także charakteryzują się rzeki o stosunkowo niskich wartościach odpływu podziemnego. Taka zależność wynika z lokalnych uwarunkowań infiltracyjnych podłoża i rzeźby terenu. W zlewniach, w których dominują utwory trudno przepuszczalne, obserwuje się przyspieszony spływ powierzchniowy w okresie wilgotnym lub niskiego zasilania rzek wodami podziemnymi w okresach suchych.

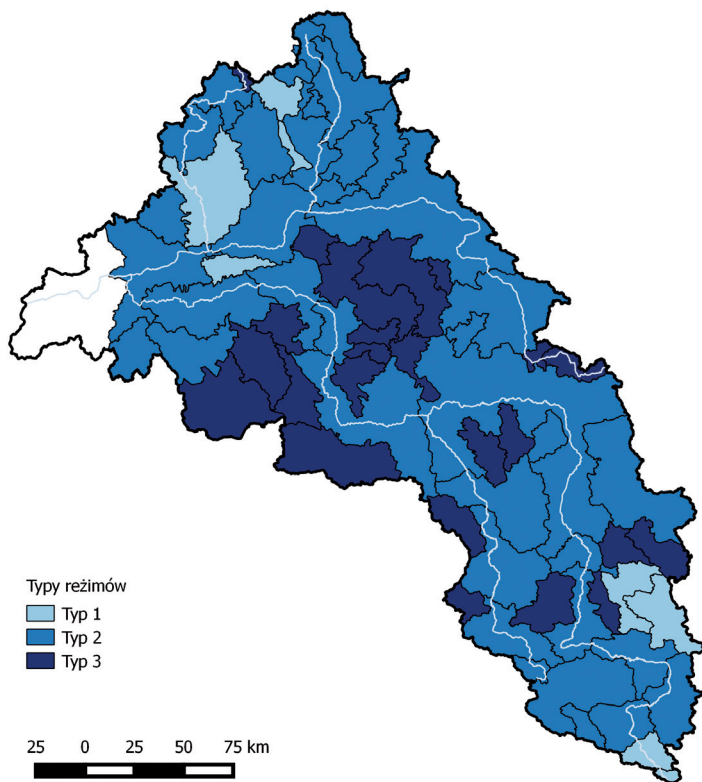
TYPY REŻIMU

Do ustalenia typów reżimów odpływu rzek na analizowanym obszarze posłużono się kryteriami zaproponowanymi przez Dynowską (1999, *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 1997). Z uwagi na rozkład odpływu w cyklu rocznym, wyrażony przebiegiem i wysokością miesięcznych współczynników przepływu, analizowane rzeki można zaliczyć do trzech typów niwalnego reżimu rzeczno-

Typ 1 – reżim niwalny słabo wykształcony. Charakteryzują się nim rzeki o średnim przepływie miesiąca wiosennego (marzec–kwiecień) niższym niż 130% średniego przepływu rocznego. Można go przypisać głównie rzekom Pojezierza Pomorskiego – Gwdzie i Drawie (ryc. 5). Wyróżniają się one małą zmiennością odpływu w cyklu rocznym. Wpływa na to duża zdolność retencyjna (korzystne warunki infiltracyjne), warunki hydrogeologiczne, wysoki wskaźnik jeziorności oraz liczne zagłębienia bezodpływowe. Tym typem reżimu charakteryzuje się także przekształcona antropogenicznie Widawka oraz górny odcinek Warty.

Typ 2 – reżim niwalny średnio wykształcony. Przypisany jest rzekom o średnim przepływie miesiąca wiosennego (marzec–kwiecień) stanowiącym 130–180% średniego przepływu rocznego. Ten typ reżimu jest charakterystyczny dla Warty i Noteci oraz części ich dopływów (m.in. Proсны, Neru, Łobżonki, ujściowego odcinka Obry) (ryc. 5).

Typ 3 – reżim niwalny silnie wykształcony. Charakterystyczny jest dla rzek o średnim przepływie miesiąca wiosennego (marzec–kwiecień) wyższym od 180% średniego przepływu rocznego. Odznaczają się nim rzeki w centralnej i południowej części dorzecza Warty (ryc. 5). Są to głównie rzeki Niziny Wielkopolskiej (np. Wełna, Kopel, Mogilnica, Sama i Gąsawka).



Ryc. 5. Typy reżimu odpływu rzek

Fig. 5. Flow regime types

WNIOSKI

Zlewnia Warty charakteryzuje się specyficznym przestrzennym rozkładem wartości analizowanych wskaźników. Należy wiązać to przede wszystkim ze zróżnicowaniem warunków środowiska przyrodniczego, choć w skali poszczególnych zlewni cząstkowych dużego znaczenia nabiera wpływ przekształceń antropogenicznych. Tak jest w przypadku reżimu Widawki. Rozkład przestrzenny wskaźników modyfikowany jest tu przez lej depresji oraz zrzuty wody z kopalni odkrywkowej. Podobnie jest w przypadku Noteci, której reżim ulega zmianom w wyniku przekształceń koryta i budowy kilkunastu stopni wodnych.

Odpływ całkowity przyjmuje wysokie wartości na północy i południu badanego obszaru, kontrastując z wartościami nawet kilkukrotnie niższymi w jego centralnej części. Część północną zlewni Warty stanowią wyniesione tereny pojezierzy, o litologii i budowie geologicznej sprzyjającej wysokiemu zasileniu podziemnemu cieków, które stosunkowo głęboko wcinają się erozyjnie

w podłoże. W południowej części, gdzie Warta ma swoje źródło, budowa geologiczna Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej również sprzyja wysokim wartościom odpływu podziemnego. Wyniesione tereny na północy i południu charakteryzują się też wyższymi sumami opadów w stosunku do centralnej, nizinnej części zlewni, która cechuje się niskim odpływem całkowitym, jak i podziemnym. Podobne zróżnicowanie jest widoczne także w przestrzennym zróżnicowaniu udziału odpływu podziemnego w odpływie całkowitym. W tym wypadku jednak zdecydowanie najwyższe wartości notowane są na północy analizowanego obszaru, wartości przeciętne na południu i najniższe w centralnej części zlewni Warty, gdzie lokalnie udział odpływu podziemnego stanowi mniej niż 40% odpływu całkowitego. Ma to swoje odzwierciedlenie w przestrzennym zróżnicowaniu zmienności przepływów rocznych – generalnie im większy udział odpływu podziemnego, tym większa stabilność przepływów rocznych. W analizie zmienności przepływów rocznych i dobowych zaznacza się wpływ antropogeniczny w postaci mniejszej zmienności przepływów na ciekach silnie przekształconych, takich jak Warta, Noteć czy Widawka.

W przypadku współczynnika zmienności przepływów ekstremalnych maksymalnych i minimalnych stabilne przepływy są charakterystyczne dla rzek w północnej części zlewni. Zmienność przepływów minimalnych jest wyraźnie najwyższa w zlewniach o najniższym udziale zasilania podziemnego. Wskaźnik zmienności przepływów maksymalnych przybiera podobne, wysokie wartości zarówno w południowej, jak i w centralnej części zlewni.

Rzeki w zlewni Warty reprezentują wszystkie typy reżimu niwalnego, jednak zdecydowanie przeważa typ średnio wykształcony. Reżim niwalny silnie wykształcony wyróżnia rzeki cechujące się zazwyczaj niskim odpływem, zarówno całkowitym, jak i podziemnym oraz dużą zmiennością przepływów. Reżim niwalny słabo wykształcony jest charakterystyczny dla rzek o wysokim udziale odpływu podziemnego (np. Drawa, Piława), silnie przekształconych przez człowieka (np. Widawka) oraz górnego odcinka rzeki Warty, charakteryzującego się wysokimi wartościami odpływu podziemnego na obszarze krasowym.

LITERATURA

- Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 1997: Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Bogdanowicz R., 2004: *Hydrologiczne uwarunkowania transportu wybranych związków azotu i fosforu Odrą i Wisłą oraz rzekami Przymorza do Bałtyku*, Wyd. UG, Gdańsk.
- Dynowska I., 1971: *Typy reżimów rzecznych w Polsce*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 28.
- Dynowska I., Pociask-Karteczka J., 1999: *Obieg wody*, [w:] L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 343–373.
- Gutry-Korycka M., 1985: *Struktura naturalnego bilansu wodnego Polski (1931–1960)*, Prace i Studia Geograficzne, 7, Studia Hydrologiczne, Wyd. UW, Warszawa.
- Kille K., 1970: *Das Verfahren MoMNO, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen*

- Grundwasserneubildung mit Hilfr der monatlichen Niedrigwasserabflüsse*, Z. Deutch, Geol. Ges., Sonderh., Hydrogeol., Hydrogeochem., Hannover.
- Kondracki J., 2013: *Geografia regionalna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Orsztynowicz J., 1973: *Odpyw podziemny rzek polskich*, Gospodarka Wodna, 5.
- Paszczyk J.L., 1975: *Rola wód podziemnych w odplywie rzeczonym i w bilansie wodnym Polski*, Wyd. UMCS, Lublin.
- Tomaszewski E., 2001: *Sezonowe zmiany odplywu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990*, Acta Geographica Lodziensia, 79.
- Woś A., 2010: *Klimat Polski w drugiej polowie XX wieku*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Wrzesiński D., 2013: *Entropia odplywu rzek w Polsce*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.