http://dx.doi.org/10.7163/PrzG.2012.1.6

PRZEGLĄD GEOGRAFICZNY
2012, 84, 1, s. 105–121

Charakterystyka zasilania roztopowego w dorzeczu Warty na obszarze Niziny Wielkopolskiej jako głównej składowej fal wezbraniowych

Characteristics of meltwater nourishment as the chief component of peak high-water events in the Wielkopolska Lowland part of the Warta Basin

MACIEJ MAJOR
Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,
61-680 Poznań, ul. Dzięgielowa 27; maciej.major@amu.edu.pl

Zarys treści. Na podstawie danych dotyczących codziennych przepływów w profilach pomiarowych 12 rzek z lat 1961–1980 w dorzeczu Warty na obszarze Niziny Wielkopolskiej wykreślono roczne hydrogramy, które były podstawą wyznaczania fal wezbraniowych. W wyniku analizy hydrogramów wybrano cztery wyraźnie zarysowane fale wezbraniowe: z 1965 roku, dwie fale z 1971 oraz z 1979 roku i w dalszej części pracy te cztery fale poddano analizie.

Dokonano charakterystyki pokrywy śnieżnej w wybranych zlewniach, przedstawiono terminy pojawiania się i zaniku pokrywy śnieżnej, czas zalegania oraz jej miąższość. Obliczono również wartości równoważnika wodnego śniegu. Następnie scharakteryzowano roztopowe fale wezbraniowe, uwzględniając: terminy występowania, parametry fal, rodzaje zasilania oraz składowe odpływu rzecznego.

Słowa kluczowe: zasilanie roztopowe, fale wezbraniowe, pokrywa śnieżna, dorzecze Warty, Nizina Wielkopolska.

Wstęp

Gwałtowne topnienie śniegu jest często przyczyną powodzi wiosennych, które ze szczególnym natężeniem występują na obszarach nizinnych. Przewidywanie wiosennych wezbrań roztopowych – to jedno z trudniejszych i bardziej złożonych zagadnień w dziedzinie prognoz hydrologicznych. Zachodzi więc potrzeba podjęcia kompleksowych badań nad zagadnieniem formowania się wezbrań roztopowych w różnych regionach fizycznogeograficznych Polski.

Praca stanowi studium klimatyczno-hydrologiczne procesów tajania pokrywy śnieżnej oraz studium formowania się fal wezbraniowych, wyznaczania i analizy parametrów tych fal, określenia ilości wody pochodzącej z poszczególnych typów zasilania biorących udział w formowaniu fal oraz określenia składowych odpływu rzecznego.

http://rcin.org.pl

Zakres pracy był uzależniony od danych wyjściowych. Z powodu trudności z oszacowaniem zasobów wody w pokrywie śnieżnej w większości lat z wybranego wielolecia 1961–1980 i niewielkiej liczby stacji pomiarowych badających właściwości pokrywy śnieżnej w dorzeczu Warty, wybrano lata 1965, 1971 i 1979, ponieważ dla nich dostępna była odpowiednia liczba danych. W roku 1971 analizowano dwa okresy z wyraźnie zarysowaną pokrywą śnieżną. Drugą, główną przyczyną wybrania tych czterech przypadków było wyraźne zarysowanie się fal wezbraniowych na rocznych hydrogramach wielolecia 1961–1980.

Obszar badań

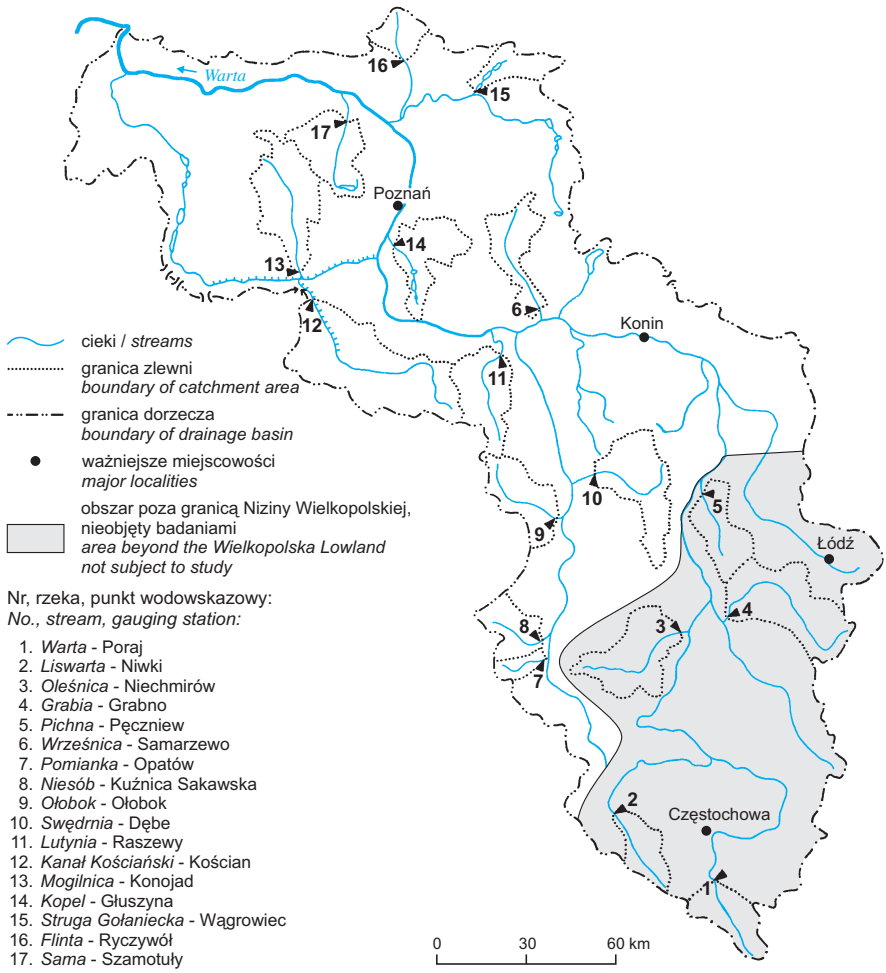
W skład Niziny Wielkopolskiej wchodzą dwa makroregiony: Pojezierze Wielkopolskie i Nizina Południowowielkopolska (Kondracki, 1969, 1977). Pierwszy cechuje się rzeźbą młodoglacjalną związaną z ostatnim zlodowaceniem i przyporządkowany jest do podprowincji Pojezierzy Południowobałtyckich, drugi zaś ma rzeźbę staroglacjalną i należy do podprowincji Nizin Środkowopolskich (Krygowski, 1972). Granicą między nimi makroregionami jest linia zasięgu rynien i jezior rynnowych na Nizinie Wielkopolskiej (Majdanowski, 1950).

Deniwelacje na obszarze Niziny Wielkopolskiej dochodzą do 270 metrów. Zarysowują się tutaj dwa systemy sfalowania powierzchni: wielkopromienne i drobnopromienne. Pierwszy z nich w przybliżeniu ma przebieg NNW–SSE i nawiązuje do tektoniki, wyrazem tego jest pewna zgodność z przebiegiem antyklinorium kujawsko-pomorskiego. Drugi system sfalowania przebiega w przybliżeniu równoleżnikowo, przecina poprzedni prawie pod kątem prostym i wiąże się z działalnością lądolodów. Oprócz dwóch wymienionych, na Nizinie Wielkopolskiej występuje także trzeci system – drobnopromienny, wyrażony drobnymi pagórkami oraz wałami pochodzenia lodowcowego i eolicznego (Krygowski, 1972).

Sieć wodna nawiązuje do wyżej opisanego głównego systemu sfalowań (głównych jednostek morfologicznych) i generalnie powtarza kierunek pierwszego systemu, a więc kierunek tektoniczny NNW–SSE, jak tego dowodzą w pierwszym rzędzie Warta i Odra (Krygowski, 1972).

Przedmiotem opracowania była część dorzecza Warty, która znajduje się w granicach Niziny Wielkopolskiej i zajmuje jej północną, wschodnią oraz południową część. Kilka rzek płynących w południowej części dorzecza Warty wykracza poza ustalone granice Niziny Wielkopolskiej. W związku z powyższym w analizach pominięto pięć małych zlewni południowej części badanego dorzecza: Warty po profil Poraj oraz zlewnie Liswarty, Oleśnicy, Grabi i Pichny (ryc. 1). Wszystkie zestawienia wykonano dla 12 zlewni cząstkowych dorzecza Warty wyszczególnionych w tabeli 1.

http://rcin.org.pl



Ryc. 1. Obszar badań na tle dorzecza Warty
Study area, located in Warta basin

Powierzchniowa budowa geologiczna

Powierzchniowa budowa geologiczna, rozkład i miąższość utworów czwartorzędowych wywiera duży wpływ na proces krążenia wody w dorzeczu Warty. Decyduje o udziale poszczególnych składowych odpływu rzecznego fal wezbraniowych oraz ma swój udział w procesie formowania się fal roztopowych.

Miąższość utworów czwartorzędowych jest na obszarze całego dorzecza Warty (także poza Niziną Wielkopolską) bardzo zmienna (Stankowski, 1991). Powierzchnia podczwartorzędowa odznacza się wyraźnym pochyleniem z SE

http://rcin.org.pl

Tabela 1. Charakterystyki litologiczne, pokrycia i użytkowania terenu, jeziorność oraz gęstość sieci rzecznej badanych zlewni dorzecza Warty
Characteristics of the lithology, land cover and use, lake percentage, and stream network density of the analysed catchment areas in the Warta drainage basin

Rzeka - profil *Stream - gauging station*	Utwory piaszczyste *Sands* (%)	Utwory gliniaste *Loams* (%)	Aluwia *Alluvial deposits* (%)	Infiltracja *Infiltration* I_p (mm)	Lesistość *Woodiness* (%)	Udział łąk Meadows (%)	Udział gruntów ornych *Arable land* (%)	Jeziorność Lake percentage (%)	Gęstość sieci rzecznej *Stream network density*	
									met. Neumanna *Neumann's method* (km km^{-2})	met. Malickiego *Malicki's method* (x km^{-2})
Wrześnica - Samarzewo	51,7	43,0	5,0	118	20,2	5,0	74,5	0,017	0,91	0,53
Pomianka - Opatów	55,9	33,1	10,9	144	20,2	11,0	68,4	0	0,66	0,41
Niesób - Kuźnica Skakawska	56,1	25,6	17,1	145	18,1	17,1	63,1	0	0,82	0,46
Ołobok - Ołobok	40,7	51,5	7,8	115	16,0	7,7	72,8	0	0,92	0,46
Swędrnia - Dębe	55,9	31,5	11,6	136	11,9	11,6	75,5	0	0,91	0,45
Lutynia - Raszewy	19,5	76,0	4,5	92	13,4	4,5	81,6	0	0,83	0,45
Kanał Kościański - Kościan	22,8	68,9	7,4	91	11,8	7,4	79,9	0,9	0,83	0,42
Mogilnica - Konojad	17,7	74,0	7,5	86	12,5	7,0	79,7	0,33	0,78	0,41
Kopel - Głuszyna	25,1	67,7	5,4	93	10,6	5,4	82,2	1,65	0,92	0,45
Struga Gołaniecka - Wągrowiec	9,8	78,2	8,4	73	7,2	8,4	80,8	2,3	0,82	0,41
Flinta - Ryczywół	62,6	25,6	11,8	127	42,4	11,6	46,0	0	0,80	0,44
Sama - Szamotuły	20,4	62,6	11,5	84	6,3	11,4	78,2	1,7	0,72	0,48
Średnia / *Average*	36,5	53,1	9,1	108,7	15,9	9,0	73,6	0,57	0,83	0,45

Źródło: Wrzesiński (1999, zmienione).
Source: Wrzesiński (1999, modified).

http://rcin.org.pl

ku NW i W. W górnej części dorzecza powierzchnia podczwartorzędowa znajduje się na rzędnych około 300 m npm., a w północno-wschodniej części dorzecza układa się poniżej 50 m npm. bądź opada nawet do 0 m. W dolnej części dorzecza niemal wszędzie znajduje się poniżej 0 m.

Środkowa część dorzecza Warty aż po linię na północ od Kłodawy przez Konin, Żerków do Dolska – to obszar o rzeźbie staroglacjalnej, czyli o rzeźbie pochodzenia glacjalnego przekształconej denudacyjnie i erozyjnie. W powierzchniowej budowie geologicznej dominują utwory bezpośredniej akumulacji lądolodu (gliny morenowe i inne), utwory akumulacji wód roztopowych, różnorodne pokrywy wietrzeniowe. W wielu miejscach wskutek procesów denudacyjnych odsłonięte zostały wychodnie skał trzeciorzędowych. Strefowo zaznaczają się formy i osady eoliczne, przede wszystkim wydmy, a częściowo także pokrywy lessowe. Pozostała, rozległa część dorzecza Warty ma rzeźbę wykształconą podczas zlodowacenia vistuliańskiego – młodoglacjalną. Formy terenu są świeże, słabo przemodelowane i zachodzi współzależność rzeźby od litologii. W krajobraie charakterystyczne są liczne jeziora oraz drobne zagłębienia wypełnione substancją organiczną. Cechą tej części dorzecza są młodoglacjalne wysoczyzny morenowe, formy akumulacji materiału w szczelinach lodowych, moreny czołowe, rozległe powierzchnie zbudowane z osadów fluwioglacjalnych oraz pola sandrowe.

Środowisko fizycznogeograficzne dorzecza Warty cechuje się znaczną różnorodnością. Decyduje o tym z jednej strony pochodzenie rzeźby i wynikające z tego właściwości powierzchniowej litologii oraz z drugiej strony budowa geologiczna podłoża. Środowisko to stanowi bazę i jednocześnie punkt wyjściowy współczesnych przyrodniczych i antropogenicznych przemian dorzecza Warty (Stankowski, 1991).

Litologia

W litologii badanych zlewni przeważają gliny i piaski. Średni udział piasków w powierzchni zlewni wynosi 36,5% i maleje wraz z biegiem Warty od 51,7% w zlewni Wrześnicy do 9,8% – Struga Połaniecka (tab. 1).

Średni udział glin w ogólnej powierzchni zlewni znacznie przewyższa udział piasków i jest równy 53,1% (tab. 1), przy tym rozkład glin jest odmienny niż piasków. W północnej części dorzecza zlewnie mają bardzo duży udział glin w powierzchni, 62,6–78,2 %, co związane jest z ostatnim zlodowaceniem. W zlewniach południowej części dorzecza Warty gliny stanowią od 25,6% do 51,5% (tab. 1).

Z kolei średni udział aluwiów wynosi 9,1%, największy przypada na Niesób – 17,1%, a najmniejszy na Lutynię – 4,5% (tab. 1).

Taki rozkład utworów powierzchniowych ma wpływ na zdolność infiltracyjną gruntu. Im większy udział piasków w ogólnej powierzchni zlewni, tym zdolność

http://rcin.org.pl

infiltracyjna jest większa, np. zlewnie zawierające ponad 50% piasków mają zdolność infiltracyjną od 118 do 145 mm. W zlewniach z ponad 60% udziałem glin, wartości infiltracji nie przekraczają 100 mm (średnio około 87 mm) – tabela 1.

Klimat

W ciągu całego roku nad dorzeczem Warty dominują masy powietrza polarnego (średnio 75% dni w roku). Dominuje powietrze polarnomorskie, napływające najczęściej latem (77 dni) i jesienią (70 dni). Rzadziej napływa powietrze polarno-kontynentalne, nieco ponad 7% dni w roku, przede wszystkim zimą i wiosną. Masą o znacznym udziale jest powietrze arktyczne, notowane zimą i wiosną po około 20 dni (16% dni w roku). Najrzadziej notowaną masą jest tu powietrze zwrotnikowe – 2% dni w roku.

Najczęściej obserwowane są wiatry z sektora zachodniego, głównie z kierunków W i SW. Stosunkowo rzadziej pojawiają się wiatry z sektora północnego, z kierunków N i NE. Na większości obszaru średnia roczna prędkość wynosi od około 2,5 do 3,5 ms^{-1} (Woś, 1994).

Średnia roczna temperatura powietrza wynosi od około 7,5°C do 8,4°C. Najwyższe temperatury notuje się w południowej i południowo-zachodniej części dorzecza, najniższe zaś w części północno wschodniej. Najwyższe średnie miesięczne temperatury powietrza występują w lipcu, około 18°C, zaś najniższe w styczniu – od –2,8°C do –1,5°C.

Z częstym przemieszczaniem się frontów meteorologicznych są związane opady atmosferyczne. Ich rozkład przestrzenny w dużej mierze jest uwarunkowany orografią terenu i ekspozycją w stosunku do przeważających wiatrów zachodnich. Północna i środkowa część dorzecza Warty w porównaniu z innymi regionami geograficznymi Polski uchodzi za obszar bardzo deficytowy w wodę. Jest to głównie wynikiem względnie małych sum opadów atmosferycznych. Średnie roczne sumy opadów kształtują się tu poniżej 500 mm w rejonie Śremu do ponad 600 mm na południowym skraju regionu. Najbardziej uboga w opady jest część środkowa, to jest Pojezierze Gnieźnieńskie i Pojezierze Poznańskie.

Większe sumy opadów przekraczające 600 mm notuje się w południowej części dorzecza. Zaznacza się przewaga opadów letnich (w lipcu od ponad 170 mm do 250 mm) nad zimowymi kształtującymi się na poziomie 80–120 mm. Jeśli chodzi o częstość opadów, to wyróżnia się okres późnojesienny i zimowy. Opady śniegu notuje się od października do maja (Woś, 1994).

Gęstość sieci rzecznej

Gęstość sieci rzecznej jest ważnym elementem struktury tej sieci. Szczegółowo tym zagadnieniem zajmował się Neumann i stwierdził zależność sieci rzek od takich czynników jak rodzaj podłoża, klimat, spadki czy pokrycie terenu. Na

http://rcin.org.pl

pierwszy plan wysunął czynnik opadowy, określając związek ilościowy między sumą rocznych opadów i gęstością sieci rzecznej. Późniejsze badania wykazały, że charakter podłoża może mieć większy wpływ niż opady (Wilgat, 1966).

W dorzeczu Warty gęstość sieci rzecznej wyliczono metodami Neumanna i Malickiego. Średnia gęstość sieci wodnej badanych zlewni obliczona, na podstawie map topograficznych w skali 1:100 000 – metodą Neumanna wynosi 0,83 km na km^2, a metodą Malickiego 0,45 (tab. 1). Zlewnie w północnej części dorzecza: Strugi Gołanieckiej, Mogilnicy i Samy charakteryzuje dość wysoki wskaźnik gęstości, powyżej 0,70 km na km^2 (według wskaźnika Neumanna). Przyczyną jest przede wszystkim duży udział glin (od 62,6 do 78,2%) i związana z nim niska zdolność infiltracji – od 73 do 86 mm (tab. 1).

Zależność gęstości sieci rzecznej dorzecza Warty od opadów jest mało wyraźna. Zlewnie położone w środkowej części dorzecza – Lutynia, Swędrnia, Ołobok – otrzymują najmniej opadów w ciągu roku, a jednak gęstość sieci nie jest niskia, zawiera się w przedziale od 0,83 do 0,92 km km^{-2}. W zlewni Lutyni widać wyraźną zależność pomiędzy gęstością sieci rzecznej – 0,83 km km^{-2} a występowaniem glin – 76% i niską zdolnością infiltracyjną – 92 mm (tab. 1). Gęstość sieci rzecznej Ołoboku (0,92 km na 1 km^2) jest większa od wyżej omawianej zlewni, mniejszy jest udział glin 51,5%, zbliżony do udziału piasków 40,7% (tab. 1). Równocześnie daje się zauważyć wzrost zdolności infiltracyjnej zlewni przy zwiększonym udziale lasów.

Odmiennym przykładem jest zlewnia Pomianki, gdzie gęstość sieci rzecznej wynosi 0,66 km km^{-2} i jest jedną z najniższych na badanym obszarze. Uwarunkowane jest to dużym udziałem piasków (średnio 55,9%), dość wysoką zdolnością infiltracyjną (144 mm), a także umiarkowanym zalesieniem zlewni – 20,2% (tab. 1).

Na gęstość sieci rzecznej dorzecza Warty wpływają przede wszystkim litologia, zdolność infiltracyjna i lasy.

Dane źródłowe i metodyka badań

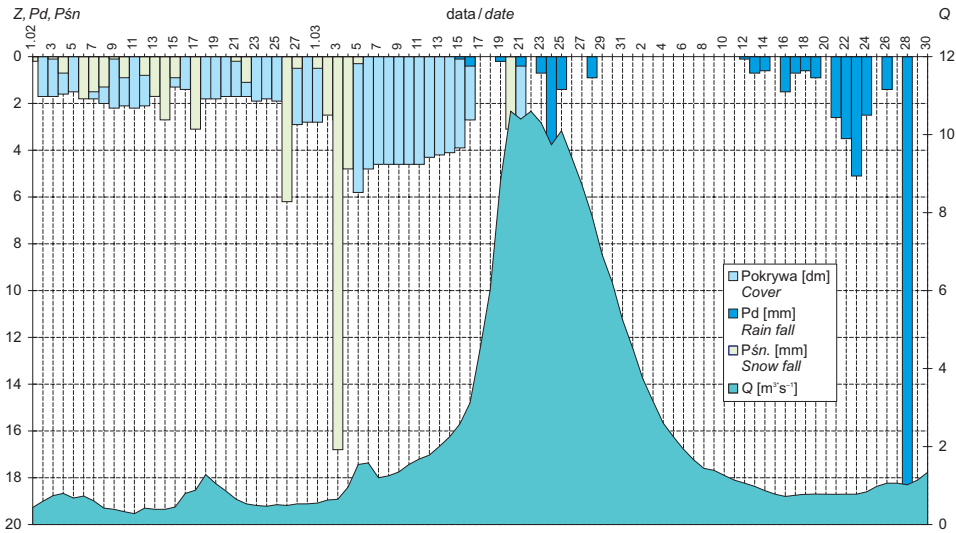
Na podstawie codziennych przepływów 12 rzek dorzecza Warty z okresu 1961–1980 wykreślono roczne hydrogramy, które były podstawą wyznaczania fal wezbraniowych. Materiałów źródłowych dostarczyły roczniki Opady atmosferyczne, Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych i Roczniki Meteorologiczne z wielolecia 1961–1980.

Za falę wezbraniową przyjęto taki przybór wody w cieku wywołany tajaniem śniegu lub opadami, w którym początek gałęzi przyboru fali mieścił się w strefie stanów niskich bądź średnich, a kulminacja fali w strefie stanów wysokich (Rotnicka, 1991).

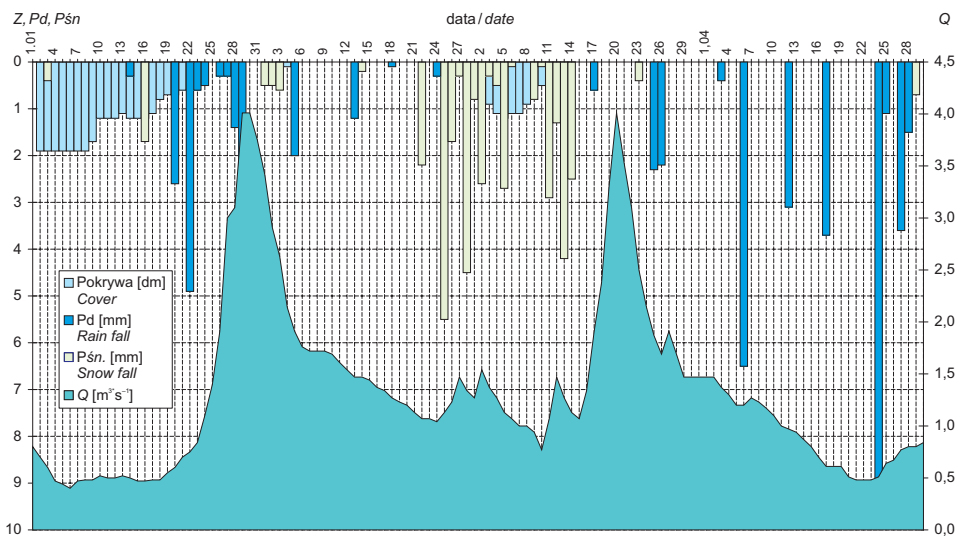
Analiza hydrogramów przy uwzględnieniu pozostałych kryteriów doprowadziła do wyboru czterech wyraźnie zarysowanych fal wezbraniowych: z 1965 r.

http://rcin.org.pl

(przykład z Wrześnicy – ryc. 2), dwie fale z 1971 (przykład z Wrześnicy – ryc. 3) oraz z 1979 r. Tylko w roku 1965 uwzględniono wszystkie, wybrane do analizy, zlewnie. Ze względu na problem z danymi źródłowymi, w 1971 r. w obu wypadkach rozpatrywano dziesięć zlewni z pominięciem Strugi Gołanieckiej i Samy, a w 1979 – jedenaście, pomijając zlewnię Strugi Gołanieckiej.



Ryc. 2. Przykładowy hydrogram fali wezbraniowej na Wrześnicy w 1965 r.
An example of a hydrograph for the peak high-water event along the Wrześnica in 1965



Ryc. 3. Przykładowy hydrogram fali wezbraniowej na Wrześnicy w 1971 r.
An example of a hydrograph for the peak high-water event along the Wrześnica in 1971

http://rcin.org.pl

Każdą falę wezbraniową opisano 10 parametrami:

1) początek wezbrania (data, kolejny dzień roku kalendarzowego) – dzień, w którym rozpoczyna się wzrost przepływów jako reakcja na wzmożone zasilanie cieku (roztopowe lub opadowe);
2) koniec wezbrania (data, kolejny dzień roku kalendarzowego) – dzień, w którym w rzece zanotowano najniższy przepływ po kulminacji fali, a przed kolejnym wzrostem przepływu, wynikającym z kolejnego zasilania;
3) czas trwania t [w dniach] – liczba dni od początku do końca fali wezbraniowej (długość fali);
4) czas wznoszenia fali t_p [w dniach] – liczba dni od początku fali do dnia, w którym nastąpiła kulminacja fali;
5) czas opadania fali t_o [w dniach] – liczba dni od dnia, w którym wystąpiła kulminacja do końca fali;
6) tempo wznoszenia T_w [m^3s^{-1} na dzień; $l\ s^{-1}km^{-2}$ na dzień] – iloraz różnicy przepływu maksymalnego i początkowego oraz czasu przyboru fali;
7) tempo opadania – T_o [m^3s^{-1}dzień$^{-1}$; $l\ s^{-1}km^{-2}$dzień$^{-1}$] – iloraz różnicy przepływu maksymalnego i końcowego oraz czasu opadania fali;
8) przepływ średni wezbrania $Q_{śr}$, [m^3s^{-1}], $q_{śr}$ [$l\ s^{-1}km^{-2}$] – średnia arytmetyczna z przepływów całego okresu fali wezbraniowej;
9) przepływ kulminacyjny Q_{max}, [m^3s^{-1}], q_{max}, [$l\ s^{-1}km^{-2}$];
10) objętość całkowita wezbrania – V_c [tys.m^3], H_c [mm]; $V_c = V_{pow.,w} + V_{podz.,w}$ (Wrzesiński, 1999; Major, 1999).

Na podstawie wykresów fal wezbraniowych wydzielono składowe odpływu rzecznego w okresie wezbrania – wydzielono odpływ gruntowy oraz odpływ powierzchniowy, którego składowymi są: spływ powierzchniowy, odpływ podpowierzchniowy i odpływ z obniżeń zwany również odpływem bezpośrednim (Kaniecki, 1982).

Kolejnym etapem pracy była analiza parametrów charakteryzujących pokrywę śnieżną w wybranych latach z wielolecia 1961–1980 w dorzeczu Warty. Podstawę stanowiły dane ze stacji położonych w analizowanych zlewniach, a także poza nimi.

Objętość wód pochodzących z opadów i z topniejącej pokrywy śnieżnej porównano z objętościami fal: (1) całkowitą, (2) uformowaną przez odpływ podziemny i (3) pochodzącą z odpływu powierzchniowego. Dokonano przeliczeń na wartości procentowe.

Charakterystyka pokrywy śnieżnej

Terminy pojawiania się i zaniku pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1961–1980

Daty pierwszego wystąpienia pokrywy śnieżnej w dorzeczu Warty w wieloleciu 1961–1980 mieszczą się w przedziale od 14 listopada (1965 r.) do 21 grudnia (1970). Średnia data w badanym dwudziestoleciu – to 29 listopada. Z kolei

http://rcin.org.pl

średnia data zaniku, czyli ostatniego wystąpienia pokrywy śnieżnej w dorzeczu Warty przypada na 21 marca. Najwcześniej zanik pokrywy śnieżnej wystąpił w 1974 r. – już 12 lutego, a najpóźniej w 1978 – dopiero 13 kwietnia (Major, 1999).

W wybranych do analizy trzech latach wyznaczono pierwsze dni bez pokrywy śnieżnej. Pokrywa ta miała bezpośredni wpływ na kształtowanie się fal wezbraniowych. W latach 1965 i 1979 były to odpowiednio 12 i 4 marca. Z kolei w 1971 r. wystąpiły dwa okresy długotrwałego zalegania pokrywy śnieżnej. Pierwszy z nich zakończył się 24 stycznia i spowodował utworzenie się wyraźnej fali roztopowej. Było to związane z napływem cieplejszych mas powietrza z sektora zachodniego. Pierwszym dniem po zakończeniu drugiego okresu z długo zalegającą pokrywą śnieżną był 14 marca (Major, 1999).

Na podstawie uzyskanych wyników można dostrzec prawidłowość, polegającą na szybszym zanikaniu pokrywy śnieżnej w środkowej i północno-zachodniej części dorzecza, co z pewnością wiąże się z napływem cieplejszych mas powietrza z W i SW.

Czas zalegania pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1961–1980

W czasie od pierwszego wystąpienia do zaniku pokrywy śnieżnej następują zwykle przerwy w jej zaleganiu. W dorzeczu Warty przeciętna liczba dni z pokrywa śnieżną w badanym dwudziestoleciu wynosi 53. Jedną z najbardziej śnieżnych była zima 1969/70, ze 121 dniami z pokrywą śnieżną. Nie jest to równoznaczne z najdłuższym czasem jej zalegania. Najmniej dni z pokrywą śnieżną – zaledwie 10 – zanotowano zimą 1974/75.

Średnia liczba dni z pokrywą śnieżną w trzech wybranych lata wynosi 68, przy czym najwięcej było ich zimą 1978/79 (78), a najmniej zimą 1970/71 (54 dni) (Major, 1999).

Miąższość pokrywy śnieżnej w wieloleciu 1961–1980

Maksymalne miąższości pokrywy śnieżnej w badanym okresie 1961–1980 zmieniały się od 4 cm w zimie 1974/75, do 39 cm zimą 1962/63.

W przebiegu maksymalnej grubości pokrywy śnieżnej występują trzy wyraźna maksima – zimy: 1962/63, 1969/70 i 1978/79 – przedzielone wyraźnymi minimami – zimy: 1960/61, 1966/67 i 1974/75. Średnia maksymalnej miąższości pokrywy śnieżnej w badanym dwudziestoleciu wynosi 18 cm (Major, 1999). W dorzeczu Warty większą rolę odgrywają warunki lokalne zlewni aniżeli warunki klimatyczne, dlatego najmniejsze z maksymalnych wartości pokryw śnieżnych występują najczęściej w środkowej części dorzecza.

http://rcin.org.pl

Równoważnik wodny śniegu

Równoważnik (lub ekwiwalent) wodny śniegu jest to warstwa wody otrzymana w wyniku stopnienia pokrywy śnieżnej o wysokości 1 cm, wyrażona w milimetrach słupa wody na 1 cm grubości pokrywy śnieżnej. Otrzymujemy go mnożąc średnią gęstość śniegu i grubość pokrywy śnieżnej (Kupczyk, 1990).

Średnia wartość równoważnika w dorzeczu Warty dla trzech wybranych lat wynosi 2,9 mm cm^{-1}. Jego skrajne, przeciętne wartości wahają się od 2,6 mm cm^{-1} podczas pierwszego okresu z wyraźnie zarysowaną pokrywą śnieżną w 1971 r., do 3,3 mm cm^{-1} w 1979 (Major, 1999), w zależności od czasu zalegania pokrywy śnieżnej oraz jej miąższości.

W 1965 i 1979 r. pokrywa śnieżna zalegała znacznie dłużej aniżeli w każdym z dwóch okresów roku 1971. Wraz z upływem czasu zwiększała się gęstość śniegu, większa też była jego miąższość, dlatego w 1965 i 1979 r. zgromadzone zostały znacznie większe zapasy wody w pokrywie.

Dokonując analizy rozkładu równoważnika wodnego śniegu w poszczególnych zlewniach można stwierdzić, że wyższe wartości równoważnika występują w północnej i południowej części dorzecza Warty, a niższe w środkowej. Zróżnicowanie tych wartości jest niewielkie, ale ukazuje pewne tendencje zmian. Może to być spowodowane zarówno większą miąższością pokryw śnieżnych w południowej części dorzecza, jak i napływem cieplejszych mas powietrza z sektora zachodniego, a tym samym szybszym rozpoczęciem procesu tajania i zwiększaniem się gęstości śniegu. Nie bez znaczenia dla rozkładu przestrzennego równoważnika wodnego śniegu są także warunki lokalne zlewni (Major, 1999).

Charakterystyka fal wezbraniowych

Terminy występowania fal wezbraniowych

W związku z różnym terminem topnienia pokrywy śnieżnej w poszczególnych regionach kraju, różne są także terminy pojawiania się wezbrań w badanych zlewniach dorzecza Warty.

Przeciętna fala wezbraniowa w dorzeczu Warty w wieloleciu 1961–1980 pojawiła się 15 lutego (Major, 1999), a tylko w analizowanych 12 zlewniach na terenie Niziny Wielkopolskiej 27 lutego. Spośród analizowanych czterech wypadków wezbranie najwcześniej pojawiło się w 1971 r. (I fala), bo już w okresie od 18 stycznia w zlewniach Wrześnicy i Swędrni, do 24 stycznia w zlewni Mogilnicy (tab. 3). Było to następstwem napływu cieplejszych mas powietrza z sektora zachodniego, o czym świadczy wystąpienie po raz pierwszy dodatniej temperatury powietrza już 9 stycznia w Gorzowie Wlkp., a na pozostałym obszarze 17 stycznia. Pozostałe trzy wezbrania, fale roztopowe z lat 1965, 1971 (II fala) i 1979, rozpoczynały się najczęściej w pierwszej i drugiej dekadzie marca, przy

http://rcin.org.pl

czym najpóźniej fala wezbraniowa rozpoczęła się 22 marca 1965 r. na Strudze Gołanieckiej (tab. 2). Czas trwania fali roztopowej był zróżnicowany i przeciętnie, w badanym dwudziestoleciu, wyniósł 24 dni. Najdłuższe z analizowanych czterech wezbrań trwało 54 dni (1979 r., zlewnia Kanału Kościańskiego; tab. 5). Z kolei najkrótsze były wezbrania w 1965 r. (tab. 2) oraz podczas pierwszej fali w 1971 (tab. 3) na Pomiance; trwały po 10 dni.

Zróżnicowanie opisanych parametrów, a zwłaszcza terminów pojawiania się fali roztopowej powoduje, że koniec wezbrania w badanych wypadkach przypadały najwcześniej w 1971 r. (I fala), bo już w okresie od 30 stycznia na Pomiance do 20 lutego w zlewni Lutyni. Był to charakterystyczny termin, ponieważ w pozostałych trzech wypadkach wezbrania się jeszcze nie rozpoczęły, a koniec wezbrań przypadał w nich najczęściej na ostatnią dekadę marca i pierwszą dekadę kwietnia. Fala roztopowa najpóźniej zakończyła się 24 kwietnia 1979 r. w zlewni Kanału Kościańskiego. Przeciętny koniec fali wezbraniowej w dwudziestoleciu 1961–1980 przypada na 10 marca w całym dorzeczu Warty (Major, 1999), a na 22 marca w 12 analizowanych zlewniach Niziny Wielkopolskiej.

Parametry fal

Z dynamiką wezbrań bezpośrednio związane jest tempo wznoszenia i tempo opadania fal wezbraniowych. Zróżnicowanie parametrów fal obrazują tabele 2–5, przedstawiające dynamikę w $l\ s^{-1}km^{-2}$ na dzień. Jako tempo wznoszenia fal roztopowych przyjęto stosunek różnicy przepływu maksymalnego i przepływu początkowego do czasu trwania wezbrania. Przeciętne tempo wznoszenia fal w badanym dwudziestoleciu w granicach dorzecza Warty na terenie Niziny Wielkopolskiej wynosiło 4,21 $l\ s^{-1}km^{-2}$. Największe z czterech analizowanych zaobserwowano na Swędrni w 1979 r. – 13,15 $l\ s^{-1}km^{-2}$ (tab. 5), najmniejsze zaś – na Kanale Kościańskim podczas drugiego wezbrania w 1971 r.: 0,63 $l\ s^{-1}km^{-2}$ (tab. 4). Tempo opadania fal wezbraniowych – to stosunek różnicy przepływu maksymalnego i przepływu końcowego do liczby dni opadania fali; przeciętne na badanym obszarze wynosiło 1,69 $l\ s^{-1}km^{-2}$. Najszybszym opadaniem fali, spośród czterech analizowanych wypadków, odznaczała się Pomianka w 1965 r. (8,44 $l\ s^{-1}km^{-2}$), a najwolniejszym Kanał Kościański (0,28 $l\ s^{-1}km^{-2}$), podczas pierwszego wezbrania w 1971 r. (tab. 3).

Osiągane średnie i maksymalne wartości przepływu oraz objętości fal w poszczególnych zlewniach wykazywały duże rozbieżności. Największy maksymalny przepływ wśród badanych zlewni osiągnęła Swędrnia (95,33 $l\ s^{-1}km^{-2}$) w 1979 r., a najmniejszy Mogilnica (7,33 $l\ s^{-1}km^{-2}$), podczas pierwszego wezbrania w 1971 r. Dla porównania: przeciętna wartość przepływu maksymalnego w wieloleciu 1961–1980 wyniosła 28,41 ($l\ s^{-1}km^{-2}$) (tab. 5). Natomiast w badanym wieloleciu przeciętny przepływ średni to 13,51 $l\ s^{-1}km^{-2}$. Drugie wezbranie na Flincie w 1971 r. charakteryzował najmniejszy średni przepływ

http://rcin.org.pl

spośród analizowanych wypadków: 4,96 l $s^{-1}km^{-2}$. Najwyższy średni przepływ zaobserwowano na Swędrni w 1979 r. – 32,48 l $s^{-1}km^{-2}$.

Objętość fal roztopowych formujących się w badanych zlewniach była zróżnicowana, przy czym największe były wezbrania w 1979 r. W pozostałych trzech wypadkach objętość fal wezbraniowych była znacznie mniejsza, a najmniejsze było drugie wezbranie 1971 r. na Flincie, przy czasie trwania tylko 12 dni.

Rodzaje zasilania fal wezbraniowych

Roczny rytm zjawisk klimatycznych jest przyczyną zmienności stanów wody w rzekach dorzecza Warty, podobnie jak w całej Polsce. Najwyższe stany wody obserwuje się w okresie wiosennym (najczęściej luty, marzec), co związane jest z roztopami. Notuje się również wezbrania letnie (np. w lipcu) po większych opadach deszczu. Najniższe stany wody występują z kolei wczesną jesienią (wrzesień), kiedy dominuje gruntowe zasilanie rzek. Taki przebieg zmienności stanów wody jest charakterystyczny dla rzek o gruntowo-deszczowo-śnieżnym ustroju zasilania. W niniejszym opracowaniu szczegółowej analizie poddano ten ostatni typ zasilania rzek na terenie Niziny Wielkopolskiej, czyli wezbrania roztopowe.

Zasilanie fal wezbraniowych odbywa się zatem drogą dopływu wód pochodzących z opadów deszczu i śniegu oraz wód z topnienia pokrywy śnieżnej. Uzyskane wyniki potwierdzają, że te drugie mają bardzo duży udział w formowaniu się fal wezbraniowych. Zasilanie z pokrywy śnieżnej znacznie przewyższało zasilanie z opadów, przy czym w 1965 r. ta przewaga była wyjątkowo duża (tab. 2, dane dotyczące powierzchni dolin wybranych zlewni). Zasilanie z topniejącej pokrywy śnieżnej wynosiło w tym wypadku od 4,0 mm na Wrześnicy do 21,8 mm na Flincie po profil w Ryczywole, podczas gdy ilość wód pochodzących z opadów deszczu i śniegu tylko od 0,3 mm na Pomiance do 1,9 mm na Strudze Gołanieckiej.

Jeśli uwzględnić w obliczeniach opady na powierzchnię całych zlewni, wzajemne proporcje zasilania z pokrywy i zasilania deszczowo-śnieżnego nie ulegają zmianie. Są to jednak kilkakrotnie większe zasoby wód, ze względu na znacznie większy obszar zasilania. Na przykład, w 1965 r. zasilanie wodami z topniejącej pokrywy śnieżnej wyniosło od 53,0 mm w zlewni Kanału Kościańskiego do 171,1 mm w zlewni Strugi Gołanieckiej, natomiast wodami z zasilania deszczowo-śnieżnego – od 2,6 mm na Pomiance do 19,9 mm na Strudze Gołanieckiej.

Dla porównania, podczas pierwszej fali wezbraniowej w 1971 r. (tab. 3) zasilanie z topniejącej pokrywy śnieżnej, które wynosiło od 2,9 mm w zlewni Wrześnicy do 16,4 mm w zlewni Niesobu, przewyższało 2,5-krotnie zasilanie z opadów (od 0,8 mm na Wrześnicy do 9,9 mm na Niesobie), biorąc pod uwagę opady na powierzchnie dolin. Natomiast przy opadach na powierzchnie całych zlewni w dorzeczu Warty, zasilanie z pokrywy wynosiło od 39,3 mm na Flincie,

http://rcin.org.pl

do 83,0 mm na Pomiance i Niesobie, a zasilanie deszczowo-śnieżne od 10,6 mm na Mogilnicy do 50,2 mm w zlewni Niesobu.

Bezpośredni udział w zasilaniu rzek brała niewielka część tych wód, głównie ze względu na znaczną odległość od cieków, formy ukształtowania terenu oraz litologię i pokrycie terenu.

Wody niezasilające bezpośrednio cieków początkowo zasilają wody podziemne i dopiero po pewnym czasie dostają się do koryta cieku, już po rozpoczęciu fali wezbraniowej.

Pomimo tak dużych zasobów wód pochodzących z topniejącej pokrywy śnieżnej i opadów, wody te w niewielkim stopniu tworzyły fale wezbraniowe. Ponad połowa wód tworzących fale roztopowe pochodziła z innych źródeł zasilania, których nie analizowano w niniejszej pracy. Wyróżnia się tutaj wezbranie w 1979 r., którego przeciętna wielkość w analizowanej części dorzecza Warty, biorąc pod uwagę opady na powierzchnie dolin, wynosiła 65,8 mm, z tego 16,2 mm stanowiły wody z topniejącej pokrywy śnieżnej i opadów, a pozostałe 49,6 mm – wody, których rodzajów zasilania nie określono (tab. 5).

Wody z nieokreślonych źródeł zasilania w najmniejszym stopniu (wartość przeciętna 5,7 mm) budowały pierwszą falę wezbraniową w 1971 r., której średnia objętość całkowita dla wybranych zlewni dorzecza Warty wynosiła 14,8 mm.

Zasilanie z pokrywy śnieżnej i opadów na powierzchnie dolin nie stanowiło również całości wód powierzchniowych tworzących fale. Największe rozmiary osiągnęły te formy zasilania podczas pierwszego wezbrania 1971 r. (tab. 3), kiedy ich wartość przeciętna wynosiła 9,1 mm i wahała się od 3,7 mm na Wrześnicy do 26,3 mm na Niesobie, przy średniej objętości wód powierzchniowych 7,1 mm, a skrajnych od 2,3 mm w zlewni Mogilnicy do 15,2 mm w zlewni Swędrni. Natomiast w 1979 r. przeciętna objętość wód pochodzących z zasilania deszczowo-śnieżnego oraz z pokrywy wynosiła tylko 16,2 mm i wahała się od 7,9 mm w zlewni Wrześnicy do 33,6 mm na Flincie (średnio 48,8 mm – od 31,5 mm na Pomiance po profil w Opatowie, do 69,5 mm na Samie).

Sytuacja opisana powyżej nie zachodziła jednak we wszystkich zlewniach – niekiedy wody pochodzące z opadów i z pokrywy przewyższały objętość wód powierzchniowych.

Z kolei analizując wartości obliczone z wykorzystaniem opadów na powierzchnie całych zlewni, zauważamy znaczną przewagę objętości wód pochodzących z zasilania z pokrywy i opadów nad objętościami całkowitymi fal wezbraniowych.

Składowe odpływu rzecznego fal wezbraniowych

Z hydrogramów przepływów dobowych, uzupełnionych wykresami przebiegu opadów śniegu, deszczu oraz miąższości pokrywy śnieżnej wydzielono formy składowe odpływu rzecznego fal wezbraniowych. Dokonano tego według podziału A. Kanieckiego (1982) na: spływ powierzchniowy, odpływ podpowierzchnio-

http://rcin.org.pl

Tabela 2. Parametry fal, rodzaje zasilania i formy składowe odpływu rzecznego w 1965 r.
Wave parameters, kinds of nourishment of river runoff and its components in 1965

Rzeka – profil *Stream - gauging station*	Parametry fal roztopowych *Flood-wave parameters*										Składowe odpływu fal wezbraniowych *Components of flood-wave runoff*											Rodzaje zasilania fal wezbraniowych *Flood-wave nourishment*						
	A (km^2)	początek fali (dzień roku)	koniec fali (dzień roku)	czas trwania (dni)	czas wznoszenia (dni)	czas opadania (dni)	T_w (l s^{-1} km^{-2})	T_o (l s^{-1} km^{-2})	q_{max} (l s^{-1} km^{-2})	$q_{śr}$ (l s^{-1} km^{-2})	H_c (mm)	$H_{podz.}$ (mm)	$H_{podz.}/H_c$ (%)	$H_{pow.}$ (mm)	$H_{pow.}/H_c$ (%)	$H_{ppow.}$ (mm)	$H_{ppow.}/H_c$ (%)	$H_{obn.}$ (mm)	$H_{obn.}/H_c$ (%)	$H_{spow.}$ (mm)	$H_{spow.}/H_c$ (%)	Z_{max} (cm)	$Rw.śn.$ (mm cm^{-1})	H z pokr. (mm) z p.dol./p.zl.	H z pokr. (mm) z pow. zl.	P (mm)	H z opad. (mm) z p.dol./p.zl.	pow. doliny (km^2)
Wrześnica - Samarzewo	360	66	98	33	13	17	2,01	1,50	29,44	13,94	39,8	10,5	26,3	29,3	73,7	24,8	62,3	2,1	5,2	2,5	6,2	30	2,65	4,0	79,5	11,3	0,6	18,0
Pomianka - Opatów	128	73	82	10	4	5	10,80	8,44	53,20	26,72	23,1	9,1	39,3	14,0	60,7	9,3	40,2	1,4	5,8	3,4	14,6	21	3,13	7,2	65,7	2,6	0,3	14,0
Niesób - Kuźnica Skakawska	246	74	88	15	4	10	7,85	3,06	37,80	22,44	29,1	8,8	30,3	20,3	69,7	15,5	53,4	2,8	9,7	1,9	6,6	17	3,13	10,5	53,2	8,9	1,8	48,5
Ołobok - Ołobok	448	74	88	15	5	9	5,94	3,05	33,48	15,56	20,2	6,3	31,4	13,8	68,6	12,3	60,9	0,5	2,6	1,0	5,1	17	3,34	5,1	56,8	7,5	0,7	40,0
Swędrnia - Dębe	492	75	90	16	3	12	9,21	2,13	29,67	12,97	17,9	4,2	23,5	13,7	76,5	11,8	66,0	0,8	4,7	1,0	5,7	25	3,34	8,2	83,5	8,2	0,8	48,5
Lutynia - Raszewy	534	76	95	20	3	16	8,35	1,55	28,28	5,57	21,8	5,8	26,4	16,1	73,6	12,1	55,3	2,9	13,2	1,1	5,0	23	3,3	5,4	75,9	8,5	0,6	37,7
Kanał Kościański - Kościan	1247	74	102	29	10	18	1,04	0,53	12,67	8,31	20,8	6,8	32,9	14,0	67,1	12,9	61,8	0,5	2,3	0,6	3,0	20	2,65	4,9	53,0	11,4	1,0	114,2
Mogilnica - Konojad	663	76	99	24	6	17	2,63	0,86	19,91	13,48	28,0	9,7	34,6	18,3	65,4	13,3	47,7	4,1	14,6	0,9	3,1	55	2,65	11,7	145,8	10,9	0,9	53,4
Kopel - Głuszyna	369	73	99	27	5	19	4,43	1,03	25,75	14,44	33,7	11,4	33,8	22,3	66,2	18,1	53,7	2,8	8,2	1,5	4,3	25	2,65	4,6	66,3	12,2	0,8	25,7
Str. Gołaniecka - Wągrowiec	232	81	110	30	10	18	1,44	0,56	17,41	11,34	29,4	13,4	45,6	16,0	54,4	13,4	45,6	1,7	5,7	0,9	3,1	55	3,11	16,7	171,1	19,9	1,9	22,7
Flinta - Ryczywół	276	77	97	21	5	15	2,88	0,97	18,73	11,59	21,0	7,8	37,0	13,2	63,0	12,4	59,0	0,6	2,7	0,3	1,2	50	3,11	21,8	155,5	8,1	1,1	38,7
Sama - Szamotuły	395	74	97	24	4	18	7,65	1,40	33,16	19,16	39,7	10,9	27,3	28,9	72,7	20,4	51,4	6,9	17,2	1,6	4,0	35	3,11	5,5	108,9	11,8	0,6	20,0
Średnia / *Average*	**449,2**	**74**	**95**	**22**	**6**	**15**	**5,4**	**2,1**	**28,3**	**14,6**	**27,0**	**8,7**	**32,4**	**18,3**	**67,6**	**14,7**	**54,8**	**2,2**	**7,7**	**1,4**	**5,2**	**31,1**	**3,0**	**8,8**	**92,9**	**10,1**	**0,9**	**40,1**

Parametry fal roztopowych/*Flood-wave parameters*
A (km^2) – powierzchnia zlewni/*catchment area*
początek fali (dzień roku)/*start of wave (day of year)*
koniec fali (dzień roku)/*end of wave (day of year)*
czas trwania (dni)/*duration (days)*
czas wznoszenia (dni)/*rising time (days)*
czas opadania (dni)/*recession time (days)*
T_w (l s^{-1}km^{-2}) – tempo wznoszenia/*rising rate*
T_o (l s^{-1}km^{-2}) – tempo opadania/*recession rate*
q_{max} (l s^{-1}km^{-2}) – przepływ maksymalny/*maximum discharge*
$q_{śr}$ (l s^{-1}km^{-2}) – przepływ średni/*average discharge*

Składowe odpływu fal wezbraniowych/*Components of flood-wave runoff*
H_c (mm) – odpływ całkowity/*total runoff*
$H_{podz.}$ (mm) – odpływ podziemny/*underground runoff*
$H_{podz.}/H_c$ (%) – odpływ podziemny/odpływ całkowity/*underground/total runoff*
$H_{pow.}$ (mm) – odpływ powierzchniowy/*surface runoff*
$H_{pow.}/H_c$ (%) – odpływ powierzchniowy/odpływ całkowity/*surface/total runoff*
$H_{ppow.}$ (mm) – odpływ podpowierzchniowy/*sub-surface runoff*
$H_{ppow.}/H_c$ (%) – odpływ podpowierzchniowy/odpływ całkowity/*sub-surface/total runoff*
$H_{obn.}$ (mm) – odpływ z obniżeń/*runoff from depressions*
$H_{obn.}/H_c$ (%) – odpływ z obniżeń/odpływ całkowity/*runoff from depressions/total runoff*
$H_{spow.}$ (mm) – spływ powierzchniowy/*overland flow*
$H_{spow.}/H_c$ (%) – spływ powierzchniowy/odpływ całkowity/*overland flow/total runoff*

Rodzaje zasilania fal wezbraniowych/*Flood-wave nourishment*
Z_{max} (cm) – maksymalna miąższość pokrywy śnieżnej/*maximum thickness of snow cover*
$Rw.śn.$ (mm cm^{-1}) – równoważnik wodny śniegu/*snow water equivalent*
H z pokr. (mm) z p.dol./p.zl.– odpływ z pokrywy z powierzchni dolin/powierzchnię zlewni/*runoff from valley surface cover / catchment area*
H z pokr. (mm) z p.zl.– odpływ z pokrywy z powierzchni zlewni/*runoff from catchment cover*
P (mm) – suma opadów (mm)/*rainfall total*
H z opad. (mm) z p.dol./p.zl. – odpływ z opadu z powierzchni dolin/powierzchnię zlewni/*rainfall runoff from valley surface/catchment area*
pow. doliny (km^2) – powierzchnia doliny/*valley area*

Źródło: Major (1999), zmienione./Source: Major (1999), modified.

http://rcin.org.pl

Tabela 3. Parametry fal, rodzaje zasilania i formy składowe odpływu rzecznego w 1971 r. (I fala)
Wave parameters, kinds of nourishment of river runoff and its components in 1971 (1st wave)

Rzeka - profil *Stream - gauging station*	Parametry fal roztopowych *Flood-wave parameters*										Składowe odpływu fal wezbraniowych *Components of flood-wave runoff*											Rodzaje zasilania fal wezbraniowych *Flood-wave nourishment*						
	A (km^2)	początek fali (dzień roku)	koniec fali (dzień roku)	czas trwania (dni)	czas wznoszenia (dni)	czas opadania (dni)	T_w (l s^{-1} km^{-2})	T_o (l s^{-1} km^{-2})	q_{max} (l s^{-1} km^{-2})	$q_{śr}$ (l s^{-1} km^{-2})	H_c (mm)	$H_{podz.}$ (mm)	$H_{podz.}/H_c$ (%)	$H_{pow.}$ (mm)	$H_{pow.}/H_c$ (%)	$H_{ppow.}$ (mm)	$H_{ppow.}/H_c$ (%)	$H_{obn.}$ (mm)	$H_{obn.}/H_c$ (%)	$H_{spow.}$ (mm)	$H_{spow.}/H_c$ (%)	Z_{max} (cm)	$Rw.śn.$ (mm cm^{-1})	H z pokr. (mm) z p.dol./p.zl.	H z pokr. (mm) z pow.zl.	P (mm)	H z opad. (mm) z p.dol./p.zl.	pow. doliny (km^2)
Wrześnica - Samarzewo	360	18	38	21	11	8	0,89	0,80	11,14	5,64	10,2	5,5	54,2	4,7	45,8	3,2	31,7	0,5	5,1	0,9	9,0	22	2,6	2,9	57,4	16,9	0,8	18,0
Pomianka - Opatów	128	21	30	10	4	5	1,91	0,88	11,56	8,28	7,2	4,8	67,0	2,4	33,0	1,7	24,1	0,4	5,5	0,2	3,3	34	2,4	9,1	83,0	27,8	3,0	14,0
Niesób - Kuźnica Skakawska	246	20	36	17	8	8	1,70	1,48	20,00	12,40	18,2	10,7	58,9	7,5	41,1	5,7	31,6	1,0	5,3	0,8	4,3	34	2,4	16,4	83,0	50,2	9,9	48,5
Ołobok - Ołobok	448	19	36	18	7	10	2,88	1,88	25,67	14,38	22,4	9,6	43,0	12,7	57,0	11,2	49,9	0,5	2,1	1,1	5,0	28	2,3	5,8	64,7	25,1	2,2	40,0
Swędrnia - Dębe	492	18	37	20	11	8	2,34	2,87	31,10	15,53	26,8	11,6	43,3	15,2	56,7	12,4	46,3	0,0	0,0	2,8	10,5	28	2,3	6,4	64,7	23,4	2,3	48,5
Lutynia - Raszewy	534	22	51	30	5	24	3,06	0,56	17,94	5,57	20,4	9,3	45,6	11,1	54,4	7,1	34,5	3,1	15,2	0,9	4,6	27	2,3	4,4	62,4	15,2	1,1	37,7
Kanał Kościański - Kościan	1247	20	48	29	10	16	0,74	0,28	9,78	6,81	17,1	9,5	55,7	7,6	44,3	6,2	36,2	0,8	4,9	0,6	3,2	27	2,6	6,5	70,7	29,0	2,7	114,2
Mogilnica - Konojad	663	24	36	13	6	6	0,88	0,38	7,33	5,58	6,3	4,0	63,5	2,3	36,5	1,9	30,4	0,3	5,0	0,1	1,1	17	2,6	3,6	44,5	10,6	0,9	53,4
Kopel - Głuszyna	369	22	37	16	8	7	1,16	0,62	12,41	8,48	11,7	7,8	66,1	4,0	33,9	0,8	7,2	2,7	23,3	0,4	3,3	20	2,6	3,6	52,4	18,8	1,3	25,7
Flinta - Ryczywół	276	21	36	16	7	8	0,75	0,51	7,86	5,47	7,6	4,5	58,9	3,1	41,1	2,5	33,0	0,1	1,7	0,5	6,4	15	2,6	5,5	39,3	16,8	2,4	38,7
Średnia / *Average*	**476,3**	**21**	**39**	**19**	**8**	**10**	**1,6**	**1,0**	**15,5**	**8,8**	**14,8**	**7,7**	**55,6**	**7,1**	**44,4**	**5,3**	**32,5**	**0,9**	**6,8**	**0,8**	**5,1**	**25,2**	**2,5**	**6,4**	**62,2**	**23,4**	**2,7**	**43,9**

Skróty jak w tabeli 2. / Abbreviations – see Table 2.

Źródło: Major (1999), zmienione. / Source: Major (1999), modified.

http://rcin.org.pl

Tabela 4. Parametry fal, rodzaje zasilania i formy składowe odpływu rzecznego w 1971 r. (II fala)
Wave parameters, kinds of nourishment of river runoff and its components in 1971 (2nd wave)

Rzeka - profil *Stream - gauging station*	Parametry fal roztopowych *Flood-wave parameters*										Składowe odpływu fal wezbraniowych *Components of flood-wave runoff*											Rodzaje zasilania fal wezbraniowych *Flood-wave nourishment*						
	A (km^2)	początek fali (dzień roku)	koniec fali (dzień roku)	czas trwania (dni)	czas wznoszenia (dni)	czas opadania (dni)	T_w (l s^{-1} km^{-2})	T_o (l s^{-1} km^{-2})	q_{max} (l s^{-1} km^{-2})	$q_{śr}$ (l s^{-1} km^{-2})	H_c (mm)	$H_{podz.}$ (mm)	$H_{podz.}/H_c$ (%)	$H_{pow.}$ (mm)	$H_{pow.}/H_c$ (%)	H_{ppow} (mm)	$H_{ppow.}/H_c$ (%)	$H_{obn.}$ (mm)	$H_{obn.}/H_c$ (%)	$H_{spow.}$ (mm)	$H_{spow.}/H_c$ (%)	Z_{max} (cm)	$Rw.śn.$ (mm cm^{-1})	H z pokr. (mm) z p.dol./p.zl.	H z pokr. (mm) z pow. zl.	P (mm)	H z opad. (mm) z p.dol./p.zl.	pow. doliny (km^2)
Wrześnica - Samarzewo	360	74	88	15	5	9	1,63	0,78	11,14	6,28	8,1	4,6	56,2	3,6	43,8	3,1	38,4	0,1	1,8	0,3	3,6	15	4	3,0	60,0	5,5	0,3	18,0
Pomianka - Opatów	128	70	85	16	6	9	3,59	2,20	25,94	11,02	15,2	7,3	47,9	7,9	52,1	6,3	41,2	0,4	2,6	1,3	8,3	17	2,57	4,8	43,7	31,8	3,5	14,0
Niesób - Kuźnica Skakawska	246	73	84	12	3	8	7,76	2,47	28,94	14,31	14,8	7,7	51,7	7,2	48,3	6,3	42,4	0,4	2,6	0,5	3,3	17	2,57	8,6	43,7	13,2	2,6	48,5
Ołobok - Ołobok	448	71	88	18	6	11	3,39	1,78	24,33	10,98	17,1	6,8	39,6	10,3	60,4	8,9	52,0	0,6	3,7	0,8	4,6	12	2,21	2,4	26,5	12,3	1,1	40,0
Swędrnia - Dębe	492	74	94	21	3	17	11,07	1,93	36,59	13,15	23,9	6,5	27,4	17,3	72,6	14,8	62,1	1,3	5,4	1,2	5,0	17	2,21	3,7	37,6	5,9	0,6	48,5
Lutynia - Raszewy	534	71	84	14	6	7	3,56	3,08	27,34	5,57	16,4	7,1	43,6	9,2	56,4	8,9	54,3	0,0	0,0	0,3	2,1	12	2,21	1,9	26,5	11,5	0,8	37,7
Kanał Kościański - Kościan	1247	75	87	13	8	4	0,63	0,75	9,94	8,63	9,7	6,7	69,0	3,0	31,0	2,3	23,9	0,6	5,7	0,1	1,4	12	2,89	3,2	34,7	8,9	0,8	114,2
Mogilnica - Konojad	663	71	94	24	8	15	1,10	0,47	10,74	5,91	12,3	5,8	47,7	6,4	52,3	5,0	41,0	0,7	6,0	0,7	5,4	14	2,89	3,3	40,5	14,3	1,2	53,4
Kopel - Głuszyna	369	72	89	18	6	11	1,87	0,78	16,12	11,11	17,3	9,6	55,7	7,6	44,3	6,6	37,9	1,0	5,9	0,1	0,5	14	2,89	2,8	40,5	10,7	0,7	25,7
Flinta - Ryczywół	276	72	83	12	5	6	1,14	0,78	7,79	4,96	5,1	2,7	52,2	2,5	47,8	2,1	40,9	0,3	5,0	0,1	1,9	10	2,89	4,1	28,9	6,9	1,0	38,7
Średnia / *Average*	**476,3**	**72**	**88**	**16**	**6**	**10**	**3,6**	**1,5**	**19,9**	**9,2**	**14,0**	**6,5**	**49,1**	**7,5**	**50,9**	**6,4**	**43,4**	**0,5**	**3,9**	**0,5**	**3,6**	**14,0**	**2,7**	**3,8**	**38,2**	**12,1**	**1,3**	**43,9**

Skróty jak w tabeli 2. / Abbreviations see Table 2.

Źródło: Major (1999, zmienione). / Source: Major (1999, modified).

http://rcin.org.pl

Tabela 5. Parametry fal, rodzaje zasilania i formy składowe odpływu rzecznego w 1979 r.
Wave parameters, kinds of nourishment of river runoff and its components in 1979

Rzeka - profil *Stream - gauging station*	Parametry fal roztopowych *Flood-wave parameters*										Składowe odpływu fal wezbraniowych *Components of flood-wave runoff*											Rodzaje zasilania fal wezbraniowych *Flood-wave nourishment*						
	A (km^2)	początek fali (dzień roku)	koniec fali (dzień roku)	czas trwania (dni)	czas wznoszenia (dni)	czas opadania (dni)	T_w (l s^{-1} km^{-2})	T_o (l s^{-1} km^{-2})	q_{max} (l s^{-1} km^{-2})	$q_{śr}$ (l s^{-1} km^{-2})	H_c (mm)	$H_{podz.}$ (mm)	$H_{podz.}/H_c$ (%)	$H_{pow.}$ (mm)	$H_{pow.}/H_c$ (%)	$H_{ppow.}$ (mm)	$H_{ppow.}/H_c$ (%)	$H_{obn.}$ (mm)	$H_{obn.}/H_c$ (%)	$H_{spow.}$ (mm)	$H_{spow.}/H_c$ (%)	Z_{max} (cm)	$Rw.śn.$ (mm cm^{-1})	H z pokr. (mm) z p.dol./p.zl.	H z pokr. (mm) z pow.zl.	P (mm)	H z opad. (mm) z p.dol./p.zl.	pow. doliny (km^2)
Wrześnica - Samarzewo	360	62	107	46	11	34	3,18	0,98	38,89	19,50	77,5	18,5	23,9	59,0	76,1	44,8	57,8	11,7	15,1	2,5	3,2	29	3,96	5,7	114,8	43,3	2,2	18,0
Pomianka - Opatów	128	62	83	22	6	15	9,90	3,64	62,73	22,34	42,5	11,0	25,9	31,5	74,1	27,2	64,1	1,1	2,6	3,2	7,4	40	2,57	11,2	102,8	23,6	2,6	14,0
Niesób - Kuźnica Skakawska	246	62	83	22	9	12	8,17	5,76	77,64	30,89	58,7	12,0	20,5	46,7	79,5	38,4	65,4	5,4	9,3	2,9	4,9	40	2,57	20,3	102,8	23,6	4,7	48,5
Ołobok - Ołobok	448	62	88	27	6	18	5,61	1,60	37,28	22,10	51,6	14,1	27,3	37,5	72,7	27,8	53,9	3,6	7,0	6,1	11,8	42	2,74	10,3	115,1	30,3	2,7	40,0
Swędrnia - Dębe	492	63	87	25	7	17	13,15	4,79	95,33	32,48	70,2	18,5	26,4	51,6	73,6	42,0	59,8	6,7	9,6	2,9	4,2	52	2,74	14,0	142,5	31,1	3,1	48,5
Lutynia - Raszewy	534	60	88	29	10	18	3,60	1,71	41,01	5,57	59,3	19,0	32,0	40,3	68,0	21,9	36,9	12,8	21,6	5,6	9,5	30	2,74	5,8	82,2	37,1	2,6	37,7
Kanał Kościański - Kościan	1247	61	114	54	14	39	1,65	0,55	26,46	15,00	70,0	19,9	28,4	50,1	71,6	42,9	61,3	5,1	7,3	2,1	3,0	30	3,97	10,9	119,1	69,9	6,4	114,2
Mogilnica - Konojad	663	64	110	47	5	41	6,56	0,71	35,75	18,67	75,8	19,2	25,4	56,6	74,6	40,0	52,7	13,8	18,2	2,8	3,7	35	3,97	11,2	139,0	84,1	6,8	53,4
Kopel - Głuszyna	369	62	107	46	9	36	4,04	0,87	39,02	20,68	82,2	20,6	25,0	61,6	75,0	51,2	62,2	8,9	10,8	1,6	1,9	29	3,97	8,0	115,1	86,9	6,1	25,7
Flinta - Ryczywół	276	61	103	43	10	31	2,38	0,71	26,38	12,25	45,5	12,7	28,0	32,8	72,0	24,6	54,2	6,1	13,3	2,1	4,6	44	3,97	24,5	174,7	64,9	9,1	38,7
Sama - Szamotuły	395	63	103	41	7	33	6,40	1,18	47,85	25,65	90,8	21,3	23,5	69,5	76,5	58,0	63,8	7,8	8,6	3,7	4,1	35	3,97	7,0	138,9	68,8	3,5	20,0
Średnia / *Average*	**468,9**	**62**	**98**	**37**	**9**	**27**	**5,9**	**2,0**	**48,0**	**20,5**	**65,8**	**17,0**	**26,0**	**48,8**	**74,0**	**38,1**	**57,5**	**7,6**	**11,2**	**3,2**	**5,3**	**36,9**	**3,4**	**11,7**	**122,5**	**51,2**	**4,5**	**41,7**

Skróty jak w tabeli 2. / Abbreviations see Table 2.
Źródło: Major (1999), zmienione. / Source: Major (1999), modified.

http://rcin.org.pl

wy, odpływ gruntowy oraz odpływ z obniżeń, zwany również odpływem bezpośrednim.

Zdaniem D. Wrzesińskiego (2001) w zlewniach dorzecza Warty w latach 1961–1980 dominującą składową odpływu rzecznego był odpływ gruntowy, którego udział w odpływie całkowitym wyniósł przeciętnie 54%, a w dalszej kolejności odpływ podpowierzchniowy (24%) i odpływ bezpośredni (20%). Spływ powierzchniowy stanowił tylko niespełna 2% odpływu całkowitego badanych rzek.

Odpływ powierzchniowy przeważał nad odpływem podziemnym. Największa różnica wystąpiła w 1979 r., kiedy udział odpływu powierzchniowego w wybranych zlewniach analizowanej części dorzecza Warty osiągnął średnio 74% i wynosił od 68% w zlewni Lutyni do 79,5% w zlewni Niesobu (tab. 5).

W składzie odpływu powierzchniowego wyraźnie zaznaczyła się dominacja odpływu podpowierzchniowego nad odpływem z obniżeń i spływem powierzchniowym, którego udział był najmniejszy. Wartości odpływu podpowierzchniowego zmieniały się od 7,2% odpływu całkowitego na Koplu w 1971 r. (I fala) (tab. 3) do 66,0 % na Swędrni w 1965 r. (tab. 2). Odpływ z obniżeń wynosił natomiast od 0,0% odpływu całkowitego w zlewni Swędrni w 1971 r. (I fala) oraz w zlewni Lutyni podczas drugiego wezbrania również w tymże roku (tab. 4), do 23,3% na Koplu podczas pierwszej fali roztopowej w 1971 r. (tab. 3). Z kolei spływ powierzchniowy wykazywał największe zróżnicowanie w 1965 r. i stanowił od 0,5% odpływu całkowitego podczas drugiego wezbrania 1971 na Koplu (tab. 4) do 14,6% na Pomiance po profil Opatów w 1965 r. (tab. 2).

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników dostrzegamy kilka prawidłowości w rozkładzie charakterystyk pokrywy śnieżnej oraz występowania fal wezbraniowych w analizowanych zlewniach dorzecza Warty. Można je sformułować następująco:

– pokrywa śnieżna najszybciej zanikała w środkowej i północno-zachodniej części dorzecza;
– najmniejsze z maksymalnych wartości pokryw śnieżnych wystąpiły w środkowej strefie dorzecza;
– wyższe wartości równoważnika wodnego śniegu wystąpiły w północnym i południowym obszarze dorzecza Warty, a niższe w jego części środkowej;
– obie fale wezbraniowe w 1971 r. charakteryzowały większe objętości całkowite w zlewniach rzek południowej części dorzecza, a mniejsze w północnej części analizowanego obszaru;
– zasilanie fal wezbraniowych wodami z topniejącej pokrywy śnieżnej znacznie przewyższało zasilanie z opadów deszczu i śniegu, biorąc pod uwagę

http://rcin.org.pl

powierzchnie dolin, jednak oba te rodzaje zasilania nie stanowiły nawet połowy wód tworzących fale roztopowe;
– spośród składowych odpływu powierzchniowego największy był odpływ podpowierzchniowy, następnie odpływ z obniżeń i spływ powierzchniowy.

Piśmiennictwo

Kaniecki A., 1982, *Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy*, Wydawnictwo UAM, Poznań.
Kondracki J., 1968, *Fizycznogeograficzna regionalizacja Polski i krajów sąsiednich w systemie dziesiętnym*, Prace Geograficzne, IG PAN, 69, Warszawa, s. 13–41.
–, 1977, *Regiony fizycznogeograficzne Polski*, Wydawnictwo UW, Warszawa.
Krygowski B., 1972, *Nizina Wielkopolska*, [w:] R. Galon (red.), *Geomorfologia Polski, Niż Polski*, t. 2, PWN, Warszawa, s. 186–223.
Kupczyk E., 1990, *Formowanie się i zanik pokrywy śnieżnej*, [w:] U. Soczyńska (red.), *Podstawy hydrologii dynamicznej*, Wydawnictwo UW, Warszawa.
Majdanowski S., 1950, *Zagadnienie rynien jeziornych na Niżu Europejskim*. Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, 2, 1, s. 35–122.
Major M., 1999, *Kształtowanie się i charakterystyka roztopowych fal wezbraniowych w zlewniach dorzecza Warty*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna, 50, s. 117–134.
Opady atmosferyczne z lat 1960–1980, PIHM, IMGW, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych z lat 1960–1980, PIHM, IMGW, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
Roczniki meteorologiczne z lat 1965, 1971, 1979, PIHM, IMGW, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
Rotnicka J., 1991, *Wpływ melioracji podstawowych i szczegółowych na przebieg wezbrań górnej Prosny*, Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna, 42, s. 229–237.
Stankowski W., 1991, *Zarys geologii i pochodzenie rzeźby dorzecza Warty*, [w:] R. Pawuła-Piwowarczyk (red.), *Planowanie przestrzenne jako narzędzie ochrony i kształtowania środowiska w dorzeczu Warty*, Materiały dla Studiów Doktoranckich i Podyplomowych, 19, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
Wilgat T., 1966, *Odległość od wody jako wskaźnik gęstości sieci wodnej*, Przegląd Geograficzny, 38, 3, s. 371–380.
Woś A., 1994, *Klimat Niziny Wielkopolskiej*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
Wrzesiński D., 1999, *Sezonowa struktura odpływu w dorzeczu Warty i jej przyrodnicze uwarunkowania*, Wydawnictwo PTPN, Poznań.

[Wpłynęło: październik 2011; poprawiono: styczeń 2012 r.]

http://rcin.org.pl

MACIEJ MAJOR

CHARACTERISTICS OF MELTWATER NOURISHMENT AS THE CHIEF COMPONENT OF PEAK HIGH-WATER EVENTS IN THE WIELKOPOLSKA LOWLAND PART OF THE WARTA BASIN

Data concerning daily discharges at the gauging stations along 12 streams in the River Warta basin were used to plot annual hydrographs capable of identifying peak high-water events. In practice it proved possible to identify for further examination four well-marked examples of the latter: one from 1965, two from 1971, and one from 1979.

Snow-cover properties considered for the selected catchments included dates of appearance and decline, and hence duration, as well as thickness. Snow water equivalent values were also calculated. Peak high-water events fed by meltwater were then characterised in terms of dates of appearance, parameters, kinds of nourishment, and runoff components.

The following regularities to the distribution of snow-cover characteristics and the opportunities for peak high-water events in the Warta basin catchments to arise were identified:

– snow cover tended to decline fastest in the central and north-western parts of the Warta basin;
– the smallest totals for maximum snow cover were found to characterise the basin's central zone;
– higher snow water equivalent values were recorded for northern and southern parts of the basin, lower ones for its central part;
– both 1971 peak high-water events involved greater total volumes in catchments of the southern part of the river basin than the northern;
– while the alimentation of peak high-water events in valley areas with snowmelt far exceeded that due to rain- or snowfall, both forms of nourishment contributed less than half of the water responsible for the events;
– among the components to surface runoff, the most major was sub-surface runoff, followed by runoff from depressions, and overland flow.

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl