



## Metody badań

Rezultaty badań są wynikiem opracowania kameralnego. Pierwszym etapem było zebranie odpowiednich materiałów i danych hydrologicznych. Dalej wykonane zostały odpowiednie charakterystyki, zestawienia i obliczenia.

Podczas badań wykorzystano dane z lat 1947 – 2003. Z lat 1947-1983 dane pochodzą z roczników hydrologicznych IMGW, a za okres 1984-2003 z archiwów RZGW Szczecin i są własnością IMGW.

Dane pochodzące z archiwów nie były wcześniej publikowane.

## Stany wody

Stany wody analizowane są na podstawie danych z lat 1947-2003.

W analizie uwzględniono zmiany rzędnej wszystkich posterunków.

**Tabela 1.** Stany wody charakterystyczne dla omawianych posterunków, za lata 1947-2003

	Słubice	Gozdowice	Widuchowa	Szczecin MD
Najniższy z niskich NNW	73	154	440	430
Średni z niskich SNW	128	205	485	466
Najwyższy z niskich WNW	193	270	518	492
Najniższy ze średnich NSW	159	238	520	505
Średni stan SSW	234	319	550	517
Najwyższy ze średnich WSW	308	397	582	532
Najniższy z wysokich NWW	258	322	582	556
Średni z wysokich SWW	432	494	658	582
Najwyższy z wysokich WWW	649	659	787	622

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Roczników Hydrologicznych Odry 1947-1983, oraz danych RZGW za lata 1984-2003

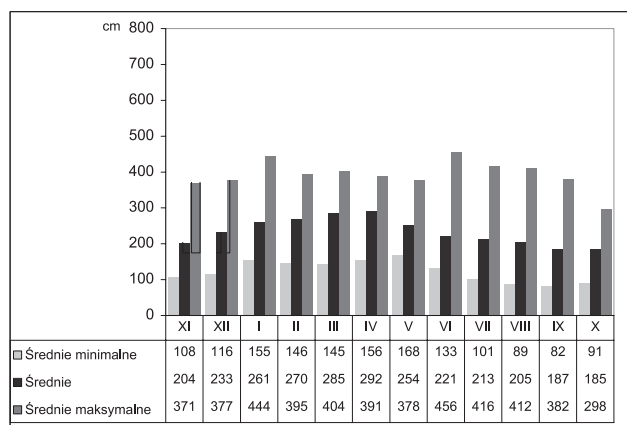
Na podstawie danych o codziennych stanach wody dla wymienionych posterunków wodnych wyliczone zostały stany charakterystyczne: średnie i ekstremalne dla wielolecia (tab. 1.).

## Przebieg średnich miesięcznych stanów wody

Przebieg roczny średnich miesięcznych stanów wody na posterunku Słubice wykazuje wzrost w miesiącach zimowych z kulminacją w marcu i kwietniu (ryc. 2.). Wzrost stanów w miesiącach zimowych już od listopada spowodowany jest lokalnymi roztopami na terenie zlewni oraz zmniejszonym parowaniem (Woś 1999). Przyczyną maksymalnych wartości średnich stanów w kwietniu jest topnienie dużych ilości śniegu, zwłaszcza w górnych częściach zlewni – w Sudetach. Spadek w miesiącach letnich

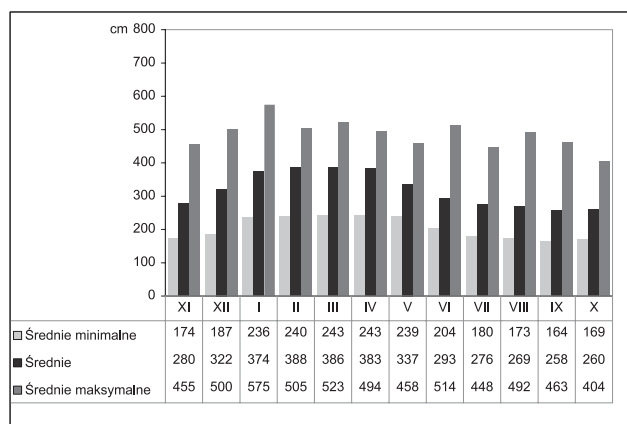
wynika ze zwiększonej intensywności parowania z terenu zlewni.

Na posterunku Gozdowice ogólny przebieg średnich miesięcznych stanów wody jest podobny. Występuje tu wzrost w miesiącach zimowych, jednak najwyższe średnie stany wody występują wcześniej, bo już w lutym, kiedy to wynoszą 388 cm, a najniższe występują we wrześniu – 258 cm (ryc. 3.). Przyczyną występowania maksymalnych średnich stanów dwa miesiące wcześniej, niż w położonych 120 kilometrów w górę rzeki Słubicach, są wezbrania zatorowe, które w miesiącach zimowych występują tutaj częściej. Dodatkowy wpływ na wcześniejsze występowanie maksymalnych stanów średnich może mieć rzeka Warta, której wody łączą się z Odrą pomiędzy dwoma omawianymi posterunkami. Olbrzymi obszar dorzecza Warty (53709,7 km<sup>2</sup>) leży na terenach nizinnych, przez co roztopy występują tu wcześniej niż w górnym biegu Odry. Latem obszar dorzecza Warty otrzymuje mniej opadów od górskiej części zlewni Odry (Woś 1999), przez co występujące tu niżówki odbijają się na stanach wody w Gozdowicach wcześniej niż w Słubicach.



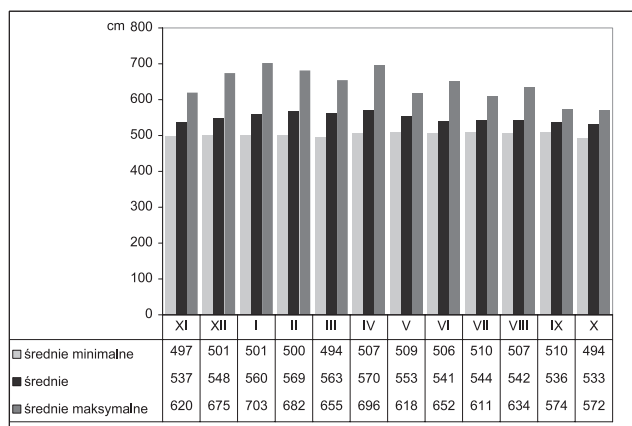
**Rysunek 2.** Przebieg średnich miesięcznych stanów wody na posterunku Słubice w latach 1947-2003

Źródło: Opracowanie własne



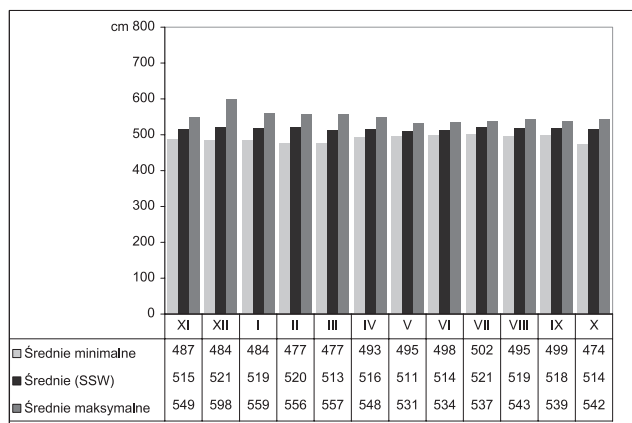
**Rysunek 3.** Przebieg średnich miesięcznych stanów wody na posterunku Gozdowice w latach 1947-2003

Źródło: Opracowanie własne



**Rysunek 4.** Przebieg średnich miesięcznych stanów wody na posterunku Widuchowa w latach 1947-2003

Źródło: Opracowanie własne



**Rysunek 5.** Przebieg średnich miesięcznych stanów wody na posterunku Szczecin w latach 1947-2003

Źródło: Opracowanie własne

Na posterunku Widuchowa przebieg średnich miesięcznych stanów wody w ciągu roku jest dużo mniej zróżnicowany (rys. 4.). Różnica pomiędzy najwyższym a najniższym średnim stanem wody wynosi 37 cm. Ze względu na małą wysokość zwierciadła wody nad poziomem morza (średnio 34 cm) i wpływu cofki wód Zalewu Szczecińskiego, przebieg stanów wody jest tu bardzo wyrównany. Najwyższe stany wody występują w czasie wiosennych roztopów – kwiecień – 560 cm, a najniższe w październiku – 533 cm.

Na posterunku Szczecin Most Długi, położonym na Odrze Zachodniej, różnice średnich stanów wody w poszczególnych miesiącach są bardzo niewielkie (rys. 5), co wynika z silnego wpływu Zalewu Szczecińskiego (Dziaduszek 1980). Amplituda średnich miesięcznych stanów wody na tym posterunku wynosi 10 cm. Najwyższy średni stan występuje tu w grudniu i lipcu.

Najwyższe średnie stany wody na posterunkach: Widuchowa i Szczecin występują w miesiącach zimowych (rys. 4 i 5). Analiza tego samego parametru dla posterunku Słubice, a w mniejszym stopniu także Gozdowice, ukazuje występowanie kulminacji

w miesiącach zimowych – spowodowanych zatorami lub roztopami, oraz letnich – będących wynikiem intensywnych opadów atmosferycznych (rys. 2 i 3).

### Przebieg średnich rocznych stanów wody

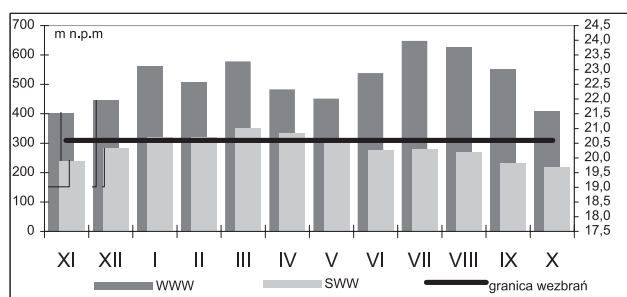
Analiza przebiegu średnich rocznych stanów wody w latach 1947-2003 wykazuje znaczne podobieństwa pomiędzy wszystkimi badanymi posterunkami. Roczne średnie stany wody na wszystkich posterunkach, z niewielkimi odstępstwami, mają podobny przebieg. Na posterunkach w Słubicach i Gozdowicach różnica średnich stanów w poszczególnych latach jest wyraźna a w Widuchowej i Szczecinie różnice te są niewielkie. W Słubicach różnica między najsuchszym rokiem (1990), a najwilgotniejszym (1977) wynosi 149 cm, natomiast w Gozdowicach dla tych samych lat 159 cm. W Widuchowej różnica wartości ekstremalnych wynosi 62 cm, a w Szczecinie 27 cm.

Niewielkie wahania średnich rocznych stanów na posterunkach położonych bliżej ujściowego odcinka Odry doskonale obrazują wpływ Zalewu Szczecińskiego (Mikulski 1963). Wpływ ten powoduje, że na posterunku w Szczecinie niektóre lata wykazują zupełnie inną tendencję niż na pozostałych posterunkach.

### Wezbrania

Na podstawie wyliczonych średnich stanów wody z wielolecia, ustalone zostały graniczne wartości określające początek wezbrania oraz niżówki. Dla wszystkich omawianych posterunków za wezbranie przyjęto stan wody wyższy od maksymalnych średnich stanów wody, natomiast za niżówkę stan wody niższy od minimalnych średnich stanów wody (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2007). Stany charakterystyczne dla wszystkich posterunków przedstawia tab. 1.

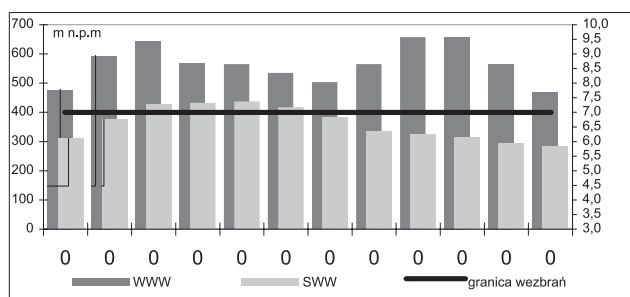
Stany wody określane jako wezbrania na posterunku Słubice występują najczęściej w miesiącach zimowych i wiosennych, najwyższe średnie wartości notowane są tam w marcu i kwietniu (rys. 6.).



**Rysunek 6.** Przebieg stanów najwyższych i średnich stanów najwyższych miesięcznych na posterunku Słubice w latach 1947-2003

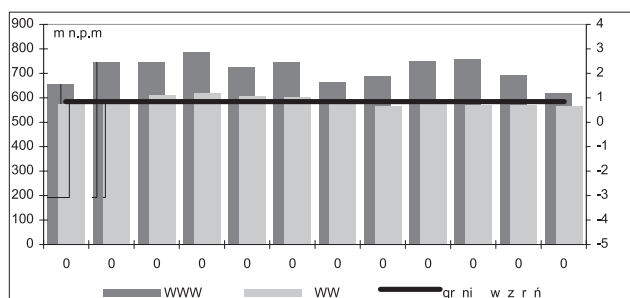
Źródło: Opracowanie własne



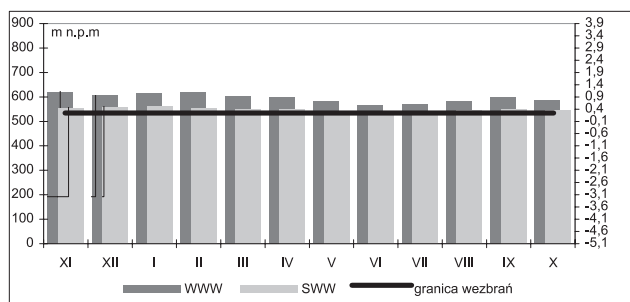


**Rysunek 7.** Przebieg stanów najwyższych i średnich stanów najwyższych miesięcznych na posterunku Gozdowice w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne

W Gozdowicach również średnio najwyższe wezbrania przypadają na wiosnę i zimę. Średni maksymalny stan przypada tu również w marcu, jednak przeciwnie niż w Słubicach stany ze stycznia i lutego są wyższe od średnich stanów maksymalnych w kwietniu (rys. 7).



**Rysunek 8.** Przebieg stanów najwyższych i średnich stanów najwyższych miesięcznych na posterunku Widuchowa w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne



**Rysunek 9.** Przebieg stanów najwyższych i średnich stanów najwyższych miesięcznych na posterunku Szczecin w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne

Przebieg maksymalnych stanów absolutnych z wielolecia dla poszczególnych miesięcy na tle średnich stanów najwyższych na posterunkach w Słubicach i Gozdowicach pokazuje wyraźnie, że pomimo przewagi średnich najwyższych stanów wiosennych spowodowanych roztopami, najwyższe wezbrania w badanym okresie (1947-2003) wystąpiły w miesiącach letnich. Wezbrania letnie są wezbrzeniami opadowymi spowodowanymi silnymi opadami. W Słubicach najwyższy zanotowany stan wody w badanym wieloleciu wystąpił 28 lipca 1997 roku.

Przyjęta granica wezbrania została wtedy przekroczona o 341 cm, a stan alarmowy o 279 cm. Wezbranie trwało wtedy od 12 lipca do 20 sierpnia. Powódź w lipcu 1997 roku spowodowała również najwyższy stan wody Odry na posterunku Gozdowice, gdzie 31 lipca wyniósł on 359 cm, czyli przekroczył o 262 cm granicę wezbrania, a stan alarmowy o 249 cm. Było to wezbranie spowodowane intensywnymi opadami deszczu w górnej części zlewni, w tym również na terytorium Czech (Dubicki 1999).

W Widuchowej średnie stany maksymalne powyżej dolnej granicy wezbrań trwają od grudnia do kwietnia, przy czym najwyższe ich wartości występują w lutym (ryc. 8.). Na posterunku w Widuchowej również z analizy najwyższych stanów wynika, że wpływ wezbrań letnich jest znacznie niższy w porównaniu z zatorowymi wezbrzeniami zimowymi (ryc. 8.). Najwyższy zanotowany w Widuchowej stan wody wynosił 787 cm, czyli o 205 cm przekroczył wartość graniczną wezbrania, natomiast stan alarmowy przekroczył o 167 cm. Wezbranie to miało charakter zatorowy i trwało od 3 lutego 1953 roku, osiągając najwyższą wartość 13 lutego, a następnie po rozpadzie pokrywy lodowej 17 lutego, trwało jako wezbranie roztopowe do 17 marca.

Przyczyną występowania średnich najwyższych stanów wody wcześniej w posterunkach położonych w dole rzeki są zimowe wezbrania zatorowe. Zatorogenny odcinek rzeki, jakim jest rozdwidlenie Odry na Wschodnią i Zachodnią powoduje przewagę wezbrań zatorowych w Widuchowej oraz znaczny ich udział w Gozdowicach w porównaniu do Słubic. Słubice pozostają pod przeważającym wpływem wezbrań roztopowych nad zatorowymi. Ponadto na wcześniejsze wystąpienie wysokich wiosennych stanów wód w Gozdowicach względem Słubic mogą mieć wpływ wody rzeki Warty, która wpada do Odry pomiędzy tymi dwoma posterunkami. Zlewnia Warty ma charakter nizinny, przez co roztopy mają tam miejsce wcześniej niż w górnej części dorzecza Odry.

Na posterunku w Szczecinie wezbrania występują we wszystkich miesiącach. Najwyższe wartości przyjmują one w miesiącach zimowych – grudzień, styczeń (ryc. 9.), najniższe w maju. Wezbrania łagodne są związane z kierunkiem wiatru. Większe wezbrania w porze zimowej stanowią typowe dla tej pory roku wezbrania sztormowe. Wpływ Bałtyku i Zalewu Szczecińskiego na dolną Odrę, jest zdaniem Z. Mikulskiego (1963) przyczyną „odrębności w postaci wezbrań styczniowych”.

Czas trwania wezbrań na posterunku w Słubicach (tab. 2.), najdłuższy jest wiosną, w czasie zasilania roztopowego. W kwietniu wezbrania trwają średnio 11 dni, a w marcu ponad 9 dni. W sezonie letnim najdłuższy czas trwania wezbrań w analizowanym okresie wynosi 3,1 dni w sierpniu. Najrzadziej wezbrania występują w listopadzie i październiku.

Na posterunku w Gozdowicach przebieg średnich czasów trwania wezbrań jest podobny (tab. 2.).

Wartości te są jednak większe, co spowodowane jest większym wpływem długotrwałych wezbrań zatorowych, przez co nie ma dużej różnicy w długości wezbrań pomiędzy styczniem, lutym i marcem. Średnio wezbrania trwają w tych miesiącach około 11 dni. W kwietniu wezbrania trwają średnio aż 16 dni, na co wpływ ma prawdopodobnie zmniejszenie spadku i wydłużenie fal wezbraniowych.

Na pozostałych posterunkach – w Widuchowej i w Szczecinie (tab. 2.) – przebieg czasów trwania wezbrań w poszczególnych miesiącach ma podobny charakter, jednak wartości są tu mniejsze. W Widuchowej średni czas trwania wezbrań wynosi 8 dni w kwietniu, a w Szczecinie ponad 8 dni w marcu. Na posterunku w Szczecinie znacznie dłuższe są wezbrania letnie i trwają one 4 dni w lipcu i 5 dni we wrześniu.

W przebiegu wieloletnim (1947-2003) stany wody określane jako wezbrania na posterunkach

w Słubicach, Gozdowicach, Widuchowej i Szczecinie wystąpiły niemal w każdym roku. Wyjątkiem były w Słubicach lata 1990 i 1991, w Gozdowicach 1984, 1990 i 1993, a w Widuchowej 1990. Maksymalne wezbrania na poszczególnych posterunkach przedstawia tab. 3.

Z analizy wykresów maksymalnych stanów wody wynika, że podobnie jak w przebiegu rocznym tak i w wieloletnim największe zróżnicowanie wezbrań występuje na posterunkach położonych wyżej – Słubice i Gozdowice, a mniejsze na posterunkach położonych bliżej ujścia.

Wraz ze wzrostem odległości od ujścia, wzrasta też procentowy udział wezbrań letnich kosztem wezbrań zimowych (tab. 4.). Te ostatnie mają największy udział na posterunku w Widuchowej. Wyjątkiem jest Szczecin znajdujący się pod wpływem Zalewu Szczecińskiego, gdzie stany wód zależą już od zupełnie innych czynników niż na pozostałych

**Tabela 2.** Średnia liczba dni z wezbraniem i niżówką na poszczególnych posterunkach wodowskazowych w latach 1984-2003

posterunek wodowskazowy	stan wody	miesiące											
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Słubice	wyżówka	0,9	1,4	6,4	8,0	9,6	10,7	2,5	2,3	2,0	3,1	1,8	0,7
	niżówka	7,2	1,2	0,8	1,1	1,6	0,1	0,9	6,0	9,8	13,5	10,8	12,6
Gozdowice	wyżówka	0,8	2,3	10,6	11,6	11,2	15,8	3,5	1,5	1,0	2,9	1,4	0,8
	niżówka	6,8	1,8	0,1	0,0	0,7	0,2	1,7	5,2	9,0	11,6	10,2	8,3
Widuchowa	wyżówka	1,6	1,8	4,5	6,3	7,6	7,9	2,2	1,1	0,7	2,5	1,3	0,7
	niżówka	10,0	7,6	6,4	4,5	6,3	2,6	6,9	8,0	4,5	5,8	7,5	10,5
Szczecin	wyżówka	6,2	5,5	7,0	8,1	8,3	4,0	1,1	1,4	3,9	3,0	5,0	4,3
	niżówka	10,7	11,9	10,0	8,7	13,1	10,3	13,9	8,9	4,8	5,3	7,7	12,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Roczników Hydrologicznych Odry 1947-1983, oraz danych RZGW za lata 1984-2003

**Tabela 3.** Maksymalne wezbrania na wybranych posterunkach na Odrze

Posterunek	Słubice	Gozdowice	Widuchowa	Szczecin
Wezbranie maksymalne (cm) (data wystąpienia)	649 (07.1997)	659 (08.1997)	787 (02.1953)	622 (12.1996)
Maks. wezbranie zimowe (cm) (data wystąpienia)	579 (03.1947)	594 (12.1981)	787 (02.1953)	622 (12.1996)
Maks. wezbranie letnie (cm) (data wystąpienia)	649 (07.1997)	659 (08.1997)	759 (08.1997)	601 (09.1995)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Roczników Hydrologicznych Odry 1947-1983, oraz danych RZGW za lata 1984-2003

**Tabela 4.** Udział wezbrań półrocza letniego i zimowego

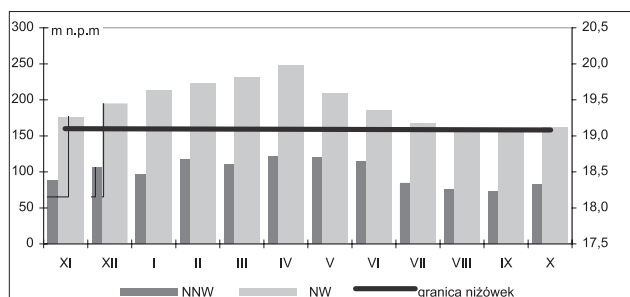
posterunek wodowskazowy	Liczba lat z wezbraniem w półroczu		Lata z wezbraniem w półroczu	
	letnim	zimowym	letnim	zimowym
Słubice	52	44	54%	46%
Gozdowice	51	31	62%	38%
Widuchowa	54	39	58%	42%
Szczecin	56	56	50%	50%

Źródło: Opracowanie własne

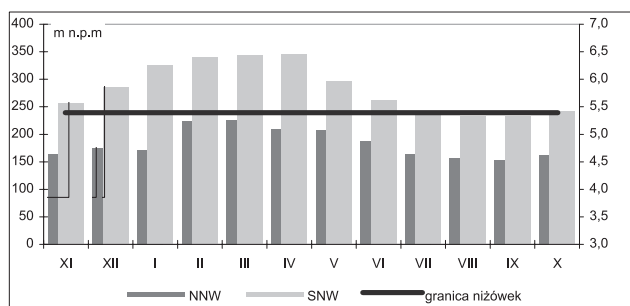
posterunkach, dlatego wezbrania występują tutaj we wszystkich latach, zarówno zimą jak i latem. Zimowe wezbrania są jednak wyższe.

### Nizówki

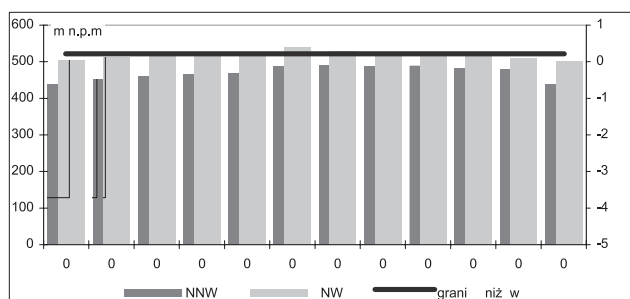
Na posterunku w Słubicach stany wody określane jako nizówki występują we wszystkich miesiącach, a najniższe w sierpniu i wrześniu (ryc. 10.). Najgłębsza nizówka na posterunku w Słubicach wystąpiła w 2003 roku. Była to nizówka, która trwała łącznie 198 dni, od 10 czerwca do 25 grudnia. Najniższy stan wody został osiągnięty 3 i 4 września i był on o 86 cm niższy od granicy nizówek.



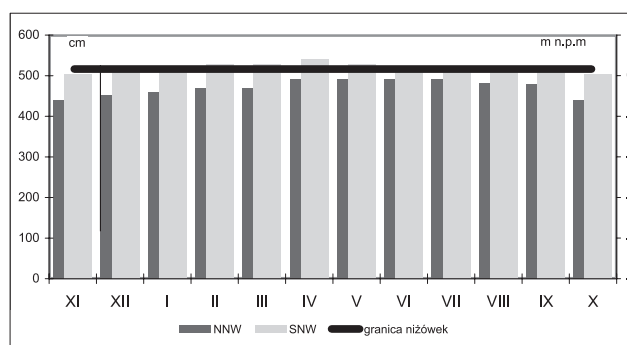
**Rysunek 10.** Przebieg stanów najniższych i średnich stanów najniższych miesięcznych na posterunku Słubice w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne



**Rysunek 11.** Przebieg stanów najniższych i średnich stanów najniższych miesięcznych na posterunku Gozdowice w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne



**Rysunek 12.** Przebieg stanów najniższych i średnich stanów najniższych miesięcznych na posterunku Widuchowa w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne



**Rysunek 13.** Przebieg stanów najniższych i średnich stanów najniższych miesięcznych na posterunku Szczecin w latach 1947-2003  
Źródło: Opracowanie własne

Na posterunku Gozdowice przebieg najniższych stanów wody jest podobny jak w Słubicach. Najgłębsze nizówki występują tutaj również w miesiącach letnich, a najłżejsze zimą (ryc. 11.). Najgłębsza nizówka wystąpiła w Gozdowicach w 1953 roku, trwała ona 216 dni, od 6 czerwca do 7 stycznia i 12 września osiągnęła wartość 154 cm, czyli 84 cm poniżej granicy nizówek.

W Widuchowej średnie niskie stany wody przyjmują wartości zaliczane do nizówek od września do grudnia (rys. 12.). Najwyższy średni niski stan występuje w kwietniu, co spowodowane jest wpływem roztopów, a najgłębsze nizówki występują w październiku ze względu na małe opady, wysokie parowanie ze zlewni oraz wyczerpywanie się zasobów wód podziemnych.

W Szczecinie (rys. 13.), nizówki występują we wszystkich miesiącach podobnie jak wezbrania, co wynika z odmiennych przyczyn wahań stanów wody oraz z bardzo małej amplitudy wahań.

Na posterunku Słubice stany wody poniżej granicznej wartości nizówki nie wystąpiły w ciągu 13 lat badanego okresu. Rokiem o najniższym zanotowanym stanie wody był rok 2003.

Na posterunku Gozdowice w ciągu 11 lat w badanym okresie nie wystąpiły nizówki. Najgłębsza nizówka wystąpiła tu w roku 1953.

Na posterunku w Widuchowej najgłębsze nizówki wystąpiły na początku lat dziewięćdziesiątych. Skrajnie niski stan wody w Widuchowej z roku 1991 oraz częste występowanie stanów wody poniżej poziomu morza świadczą o silnym związku stanów w Widuchowej ze stanami wody Zalewu Szczecińskiego. Stany wody poniżej poziomu morza należy tłumaczyć znacznymi wahaniami poziomu Morza Bałtyckiego (Dziaduszko, 1994) oraz Zalewu Szczecińskiego (Dziaduszko 1980).

Występowanie nizówek w każdym z analizowanych lat, zarówno na posterunku w Widuchowej jak i w Szczecinie, jest spowodowane bardzo małymi wahaniami stanów wody, a co za tym idzie niewielką różnicą pomiędzy stanem średnim a najniższym stanem średnim przyjętym za wielkość graniczną nizówki.

Najniższe stany na posterunku w Szczecinie zanotowano w roku 1985.

Czas trwania niżówek na posterunku w Słubicach największy jest dla miesięcy letnich. W sierpniu niżówki trwają tu średnio 13,5 dni, a w październiku 12,6 dnia (tab. 2.). Najmniej niżówek jest zimą i na wiosnę, w kwietniu nie występują praktycznie w ogóle.

W Gozdowicach przebieg czasu trwania niżówek w poszczególnych miesiącach jest podobny, z maksimum w sierpniu – 11,6 dni (tab. 2.). Najmniej niżówek jest w styczniu i lutym. Przyczyną tego mogą być zatopy lodowe oraz wpływ Warty, w zlewni, której roztopa występuje wcześniej niż w zlewni powyżej posterunku w Słubicach.

W Widuchowej najdłużej – ok. 10 dni – trwają niżówki w październiku i listopadzie (tab. 2.), ale przebieg czasu trwania w poszczególnych miesiącach jest niewyrównany. Znaczny jest udział niżówek także w miesiącach wiosennych – w marcu średnio aż 6 dni.

W Szczecinie, gdzie stany wody zależą w dużej mierze od innych czynników niż opad i roztopa, przebieg czasu trwania niżówek jest odmienny (tab. 2.). Najdłużej trwają one w marcu i w maju a najkrócej latem. Wynika z tego, że latem poziom wody najczęściej utrzymuje się na średnim poziomie, ponieważ zarówno wezbrania jak i niżówki występują tam zaledwie około 4 dni w miesiącu.

## Przepływy

Na analizowanym odcinku Odry, IMGW wyznacza przepływy dla trzech posterunków wodowskazowych: Słubic, Gozdowic i Widuchowej. Analizy przepływów dokonano na podstawie danych z roczników hydrologicznych IMGW dla Słubic i Gozdowic. Dla posterunku w Słubicach są to dane za okres 1949 – 1983, a dla posterunku w Gozdowicach za okres 1952 – 1983.

Średni przepływ na posterunku w Słubicach

wynosi  $309 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ , a w Gozdowicach  $552 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . Wartości dla Gozdowic są znacznie większe od podawanych przez Z. Mikulskiego (1963), według którego średni przepływ na Odrze wynosił  $480 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . Pomiędzy posterunkami w Słubicach i Gozdowicach do Odry uchodzi Warta, której średni przepływ według Z. Mikulskiego wynosi 188 a najwyższy  $480 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . Różnica średnich przepływów między posterunkami Słubice i Gozdowice, wyliczona na podstawie danych IMGW, wynosi natomiast  $243 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . Oznacza to, że ze zlewni bezpośredniej oraz mniejszych dopływów wraz z zasilaniem podziemnym na odcinku pomiędzy tymi dwoma posterunkami do Odry odpływa około  $55 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ .

Średni odpływ roczny dla okresu 1949 – 1983 dla profilu Słubice wynosi ponad  $9,7 \text{ km}^3$ , a dla profilu Gozdowice (za okres 1952 – 1983)  $17,4 \text{ km}^3$ . Przyczyną tak dużej różnicy jest dopływ wód Warty, z której według danych Z. Mikulskiego (1963) uchodzi rocznie do Odry prawie  $6 \text{ km}^3$  wody.

Rozmiary wezbrań letnich przedstawia tab. 5. Widać na niej, że objętość maksymalnych wezbrań letnich (WWQ), jakie wystąpiły w badanym okresie jest niemal dwa razy większa od wezbrań zimowych. Największe przepływy w badanym wieloleciu wystąpiły właśnie w miesiącach letnich. Maksymalny przepływ w XX wieku wystąpił poza badanym okresem – 22 i 23 lipca 1997 roku i wyniósł  $2570 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . Całkowita objętość fali wezbraniowej w Słubicach wyniosła w czasie tej powodzi ponad  $5,72 \text{ km}^3$  (Dubicki, 1999), czyli ponad połowę średniego odpływu rocznego.

W Gozdowicach średnie przepływy przyjmują największe wartości w miesiącach wiosennych (tab. 5.), jednak najwyższe są nie w kwietniu jak w Słubicach, ale już w marcu. Przyczyną tej różnicy pomiędzy posterunkami w Słubicach i Gozdowicach jest najprawdopodobniej Warta, której zlewnia ma charakter nizinny i roztopa mają tam miejsce wcześniej niż na terytorium zlewni Odry powyżej Słubic. Najniższe wartości średnie przepływy mają

**Tabela 5.** Przepływy charakterystyczne na posterunku Słubice w latach 1949 – 1983 i Gozdowice w latach 1953-1983

posterunek wodowskazowy	stan wody	miesiące											
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Słubice	NSQ	84	81	95	88	107	161	213	151	96	93	83	84
	SSQ	255	301	307	340	412	424	362	295	297	274	221	223
	WSQ	674	705	765	671	850	741	697	1086	862	929	784	460
	WWQ	972	985	1060	950	1170	924	991	1613	2170	1780	1820	812
	NNQ	73	62	53	71	66	119	118	126	78	69	58	67
Gozdowice	NSQ	181	199	203	205	274	341	375	242	230	202	171	175
	SSQ	466	541	583	673	770	765	627	495	463	455	392	393
	WSQ	1080	1130	1400	1132	1390	1347	949	1313	1120	1140	1220	784
	WWQ	1200	1460	1760	1510	1970	1610	1360	1796	1830	1870	2170	1130
	NNQ	170	184	134	168	168	272	274	199	197	187	161	168

Źródło: Opracowanie własne



we wrześniu i październiku, co spowodowane jest najmniejszą ilością wody w zlewni po letnim okresie z małymi opadami i dużym parowaniem oraz zmniejszonymi zasobami wód podziemnych (Dyńska 1988). W niektórych sezonach letnich występują jednak intensywne opady, które są przyczyną dużych przepływów, co prezentuje tab. 5. W analizowanym przedziale czasowym najwyższy przepływ wystąpił we wrześniu.

Największy absolutny przepływ miał miejsce, podobnie jak w Słubicach, w czasie lipcowej powodzi w 1997 roku. W Gozdowicach 24 lipca przepływ wyniósł  $2740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a całkowita objętość fali podczas powodzi wynosiła  $7,34 \text{ km}^3$  (Dubicki 1999). Najmniejsze przepływy w badanym okresie występowały w miesiącach zimowych, co może być wynikiem zlodzenia rzeki, retencją opadu w pokrywie śnieżnej oraz zmniejszonym zasilaniem wodami podziemnymi. Najniższy przepływ w badanym okresie wystąpił w styczniu 1954 roku, przed uformowaniem się trwałej pokrywy lodowej.

### Zjawiska lodowe

Temperatury wody Odry według Narodowego Atlasu Polski wynoszą średnio w roku 9 – 11 °C. W styczniu występują ich najniższe wartości, czyli od 0 do 1 °C. Niskie temperatury wody i powietrza sprzyjają występowaniu zjawisk lodowych. Na dolnej Odrze występują wszystkie zjawiska lodowe jakie mają miejsce na wodach śródlądowych: ryż, lód brzegowy, pokrywa lodowa, kra lodowa i zator lodowy (Mikulski 1963).

Zjawiska lodowe rozpoczynają się zwykle koło 20 grudnia a kończą 23 lutego. Czas trwania zjawisk lodowych wynosi średnio 43 dni w sezonie. Początek pokrywy lodowej przypada zwykle na 8 stycznia a koniec na 13 lutego.

Przyczyną występowania pokrywy lodowej na dolnej Odrze są zwykle zatory lodowe. Poniżej Gozdowic na Odrze znajdują się liczne miejsca zatorogene. Najważniejszym z nich jest rozdwojenie Odry pod Widuchową. Poza tym powyżej Widuchowej znajduje się kilka mostów: w Siekierkach, Osinowie, Krajniku. Ponadto odcinek Odry od Gozdowic do Widuchowej jest dosyć kręty i zatory mogą tworzyć się w zakolach rzeki. Tworzenie się pokrywy lodowej na dolnej Odrze rozpoczyna się zwykle koło Widuchowej w miejscu rozdwojenia Odry. Następnie pokrywa lodowa narasta w górę rzeki (Woś, 2005). Narastanie pokrywy lodowej jest przyspieszone przez napływający lód i śryż. Częstym zjawiskiem towarzyszącym tworzeniu się w ten sposób pokrywy lodowej są zatory lodowe. Koniec zalegania pokrywy lodowej jest przyspieszony prowadzonymi niemal co roku akcjami lodołamania.

Z analizy danych za lata 1947 – 2003 wynika, że w ciągu sezonu zimowego zjawiska lodowe występują: w listopadzie 1 dzień, grudniu 9, styczniu 16, lutym 13 i marcu 5. Na styczeń przypada największa liczba dni z pokrywą lodową – średnio 8, w lutym 7,

a w marcu i grudniu po 2.

W badanym okresie zjawiska lodowe nie wystąpiły jedynie w 1975 roku. W latach 1989 i 2001 zjawiska lodowe wystąpiły po jednym dniu. Najwięcej dni ze zjawiskami lodowymi wystąpiło w latach 1996 – 108 dni, 1947 – 103 dni, 1970 – 101 dni, 1969 – 94 dni, 1963 – 90 dni. Linia trendu wyznaczona dla analizowanego okresu wskazuje tendencję spadkową, czyli coraz rzadsze zjawiska lodowe.

Pokrywa lodowa na Odrze w badanym wieloleciu nie wystąpiła w 21 z 57 lat. Najdłuższy okres bez pokrywy lodowej to lata 1998 – 2001 (w roku 2002 pokrywa trwała 1 dzień). Z kolei najdłuższy okres z pokrywą lodową to lata 1959 – 1966. Najdłużej w ciągu sezonu pokrywa lodowa utrzymywała się w latach 1947 – 96 dni, 1970 – 86 dni oraz 1963 – 84 dni. Najwcześniej pokrywa lodowa pojawiła się w 1966. Po sześciodniowym okresie ze śryżem pokrywa lodowa wystąpiła wtedy 24 listopada i trwała do 3 grudnia, a potem w tym samym sezonie wytworzyła się znowu w połowie stycznia. W 1969 roku pokrywa wytworzyła się 15 grudnia, a w 1984 roku 16 grudnia. Najpóźniej zanikła pokrywa lodowa w roku 1955 – 24 marca, i w roku 1947 – 23 marca.

Coraz rzadsze tworzenie się zwartej pokrywy lodowej w Gozdowicach, można tłumaczyć sprawnymi akcjami lodołamania, które odbywają się w dolnej części rzeki. Akcje te przeprowadzone odpowiednio wcześniej nie pozwalają przesunąć się końcówce stałej pokrywy lodowej do Gozdowic. Analizowany przedział czasu jest zbyt krótki żeby można było mówić o wpływie czynników klimatycznych na przebieg zjawisk lodowych.

### Wnioski

- Roczne stany wody podobnie jak stany miesięczne wykazują coraz mniejsze wahania na niższej leżących posterunkach. Na odcinku pomiędzy posterunkami Słubice i Gozdowice wpływa na to Warta, a w Widuchowej i Szczecinie brak spadku i stan wody zbliżony do poziomu morza.
- Wezbrania na omawianych posterunkach występują najczęściej w miesiącach wiosennych i zimowych. W Słubicach są zwykle typu roztopowego, a w Gozdowicach i Widuchowej to głównie wezbrania roztopowe i zatorowe. W Szczecinie wezbrania związane są z cofką wód Zalewu Szczecińskiego i największe z nich mają charakter sztormowy.
- Maksymalne wezbrania w Słubicach i Gozdowicach wystąpiły w miesiącach letnich i były to wezbrania opadowe, będące wynikiem silnych opadów w górnej części dorzecza.
- Wezbrania zimowe w Gozdowicach występują coraz rzadziej, co jest związane z akcjami lodołamania i odpowiednio wczesnym usuwaniem zatorów lodowych.
- Niżówki w Słubicach i Gozdowicach występują najczęściej w miesiącach letnich i są najgłębsze



sze. Najniższe stany w Widuchowej i Szczecinie związane są z stanami Bałtyku i Zalewu Szczecińskiego poniżej poziomu morza.

- Średnie największe przepływy w Słubicach i Gozdowicach występują na wiosnę i związane są z roztopami, jednak największe przepływy w badanym okresie wystąpiły w miesiącach letnich i wynikają z intensywnych opadów w dorzeczu. Natomiast minimalne występują zimą, co jest związane ze zlodzeniem rzeki, retencją opadu w pokrywie śnieżnej oraz zmniejszonym zasilaniem podziemnym.
- Na dolnej Odrze występują wszystkie rodzaje zjawisk lodowych charakterystyczne dla rzek Polski. Pokrywa lodowa ma najczęściej charakter zatorowy. Średnio najwięcej dni z pokrywą lodową i zjawiskami lodowymi przypada na styczeń. Coraz mniejsza liczba dni z pokrywą lodową jest wynikiem sprawnych akcji lodołamania w dolnym odcinku Odry.
- Najbardziej reprezentatywnym posterunkiem dla ujścia Odry jest posterunek w Gozdowicach, gdzie nie sięga już cofka z Zalewu Szczecińskiego. Posterunki Widuchowa i Szczecin są pod jej silnym wpływem i pod wpływem wahań poziomu wód w Bałtyku.

11. *Rocznik Hydrologiczny, Odra (1946-1983)*, IMGW, Warszawa.

12. Woś A. (1999), *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

13. Woś K. (2005), *Taktyka i organizacja akcji lodołamania na rzece Odrze, materiały niepublikowane*, Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin.

#### Literatura:

1. *Atlas Geograficzny (1987)*, PPWK, Warszawa.
2. Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. (2007), *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
3. Dane źródłowe – *Codziennie stany wody na posterunkach: Słubice, Gozdowice, Widuchowa, Szczecin Most Długi*, w latach 1984-2003, RZGW Szczecin.
4. Dubicki A. (1999), *Dorzecze Odry, Monografia powodzi lipiec 1997*, IMGW, Warszawa.
5. Dynowska I. (1988), *Ocena odnawialnych zasobów wód podziemnych w Polsce*, W: T. Hess (red.), *Prace geograficzne UJ*, zeszyt 71, PWN Warszawa-Kraków.
6. Dziaduszek Z. (1980), *Wieloletnie wahania stanów wody*, W: A. Majewski (red.), *Zalew Szczeciński*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
7. Dziaduszek Z. (1994), *Wahania poziomu morza*, W: A. Majewski, Z. Lauer (red.), *Atlas Morza Bałtyckiego*, IMGW, Warszawa.
8. *Mapa Topograficzna Polski w skali 1:100000 (1995)*, arkusze: Dębno, Gryfino, Kostrzyn, WZKart., Warszawa.
9. Mikulski Z. (1963), *Zarys hydrografii Polski*, PWN, Warszawa.
10. Orlewicz S., Mroziński Z. (2002), *Hydrologia Doliny Dolnej Odry* W: J. Jasnowska (red.), *Dolina dolnej Odry, monografia przyrodnicza parku krajobrazowego*, Szczecińskie Towarzystwo Naukowe, Szczecin.

## VARIABILITY OF THE HYDROLOGICAL PHENOMENA ON THE LOWER Odra RIVER IN 1947-2003

Social Dissertations, Issue 2 (V) 2011

Mateusz Atroszko<sup>1</sup>, Łukasz Zbucki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nicolaus Copernicus University, <sup>2</sup>Pope John Paul II State School of Higher Education in Białá Podlaska

**Summary:** The Odra is the second largest river of Poland and the major waterway. Analysed in the study were the hydrological data collected from the gauging stations of Słubice, Gozdowice, Widuchowa and Szczecin (Most Długi). The data included the daily river stages recorded in 1947 – 2003, the flows from 1949 – 1983, and the ice phenomena observed in 1947 – 2003. Variability and characteristics of the hydrological phenomena observed on the lower Odra are of the key importance for the national economy and the people, not only in Poland but also in Germany.

**Key words:** the Odra River, river stages, flows, ice phenomena

### Introduction

The Odra River is the second largest river in Poland and the fifth largest in the Baltic drainage area with regard to the flow. Odra is also the major waterway of Poland. It connects the Silesia Region with the city of Szczecin and the Polish waterways with the Eastern European (Orlewicz, Mroziński 2002).

Principally, the Lower Odra comprises the river section downstream of the Warta River inflow (Fig. 1). However, in this study the authors have also included the readings from the water level gauge at Słubice, located upstream of the Warta inflow. This way it was possible to analyse the influence of Warta on the hydrological phenomena on the Lower Odra River.

On the Odra section between Słubice and the Szczecin Lagoon there are 14 water level gauging stations. Four of them have been included in the present analysis, namely Słubice, Gozdowice, Widuchowa and Szczecin Most Długi. They offer a broader range of data because the supervision units of the Szczecin Regional Board of Water Management (RZGW) have their seats in these locations.

### Goals

The main goal of the study was to find the regularities concerning variability of the river stages, flows and, to the possible extent, ice phenomena. In the course of the data analysis, as set in the main study goal, the following sub-goals have been defined:

- presentation of the river stage variability on the Lower Odra River: annual and from the period 1947 through 2003, with explanation,
- analysis of the river stage variability in the individual water gauging profiles and assessment of the influence of hydrological and meteorological phenomena at the individual water gauging locations,
- description and analysis of the flow variability on the Lower Odra River,

- presentation and characteristics of the ice phenomena on the Lower Odra River, including annual course and variability in 1947 through 2003.



**Figure 1.** The Lower Odra River with marked water gauging stations. Source: Authors' own studies on the basis of Atlas Geograficzny PPWK 1987, Mapa Topograficzna Polski on a scale 1:100000, 1995 and Rocznik Hydrologiczny Odry, 1983

**Methods**

The results of this study are the effect of office work. The first phase comprised gathering of the relevant material and hydrological data. Next, the appropriate characteristics, comparisons and calculations were done.

Data used in this study come from the period of 1947 - 2003. The data for 1947 - 1983 come from the Hydrological Annual Reports of The Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) whereas these for the years 1984 - 2003 from the archives of The Regional Board of Water Management (RZGW) in Szczecin; they the property of IMGW.

The data collected from the archives have not been published elsewhere.

**River stages**

River stages have been analysed on the basis of the data from 1947-2003.

In the analysis, account was taken of the datum change regarding all the gauging stations.

**Table 1.** River stages characteristics for the analysed gauging stations. 1947-2003

River stage	Słubice	Gozdowice	Widuchowa	Szczecin MD
Lowest low	73	154	440	430
Mean low	128	205	485	466
Highest low	193	270	518	492
Lowest mean	159	238	520	505
Mean	234	319	550	517
Highest mean	308	397	582	532
Lowest high	258	322	582	556
Mean high	432	494	658	582
Highest high	649	659	787	622

Source: authors' own work on the basis of Roczniki Hydrologiczne Odry 1947-1983, and RZGW data 1984-2003

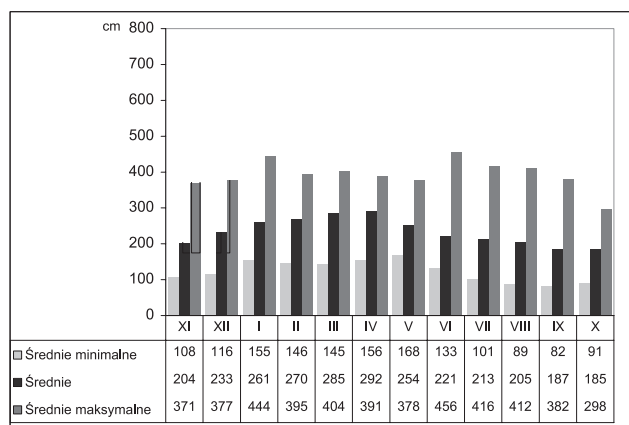
Based on the everyday river stages at the listed gauging stations, there were calculated the characteristic stages, i.e. mean and extreme multiannual (Tab. 1).

**The course of the mean monthly river stages**

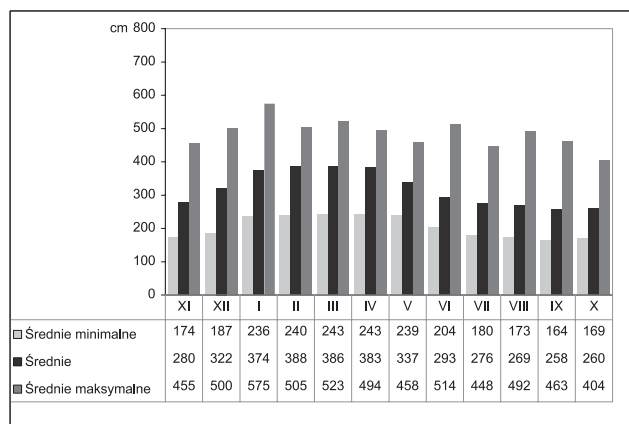
The annual course of the mean monthly river stages at the Słubice station shows an increase in the wintertime, with the peak in March and April (Fig. 2). The increase observed in the winter months, already in November, is caused by local meltdown in the drainage basin and reduced evaporation (Woś 1999). The reason for the maximum values of the

mean stages in April is the thawing of large snow masses, particularly in the upper parts of the drainage basin, the Sudety Mountains. The decrease in the summer months is caused by an increased evaporation intensity in the drainage basin.

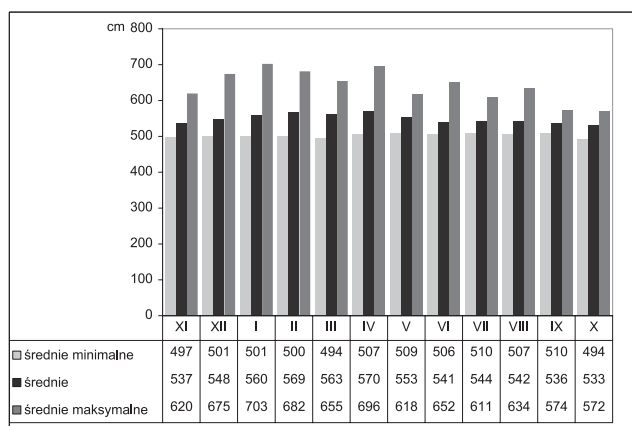
At the Gozdowice station, the overall course of the mean monthly river stages is similar. An increase can be observed in the winter months, however, the highest stages occur earlier, yet in February, and equal 388 cm while the lowest occur in September and equal 258 cm (fig. 3). The reason for the occurrence of the maximum mean stages with a 2-month advance compared to Słubice located 120 km upstream are the ice freshets, frequent here in the wintertime. An additional influence on the earlier occurrence of the maximum mean stages may have the Warta River flowing into Odra between the two discussed stations. The vast area of the Warta drainage basin (53,709.7 km<sup>2</sup>) is a lowland, therefore, thawing occurs here earlier than in the upper course of the Odra River. In summer, the Warta drainage basin receives less rainfall from the mountain part of the Odra basin (Woś 1999) thus the low water occurring here has effect on the water level at Gozdowice earlier than at Słubice.



**Figure 2.** The course of the mean monthly river stages at the Słubice station in 1947-2003  
Source: authors' own studies

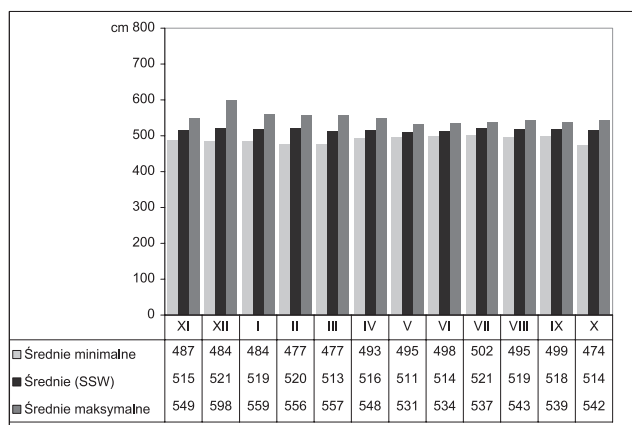


**Figure 3.** The course of the mean monthly river stages at the Gozdowice station in 1947-2003  
Source: authors' own studies



**Figure 4.** The course of the mean monthly river stages at the Widuchowa station in 1947-2003

Source: authors' own studies



**Figure 5.** The course of the mean monthly river stages at the Szczecin station in 1947-2003

Source: authors' own studies

The course of the mean monthly river stages at the Widuchowa station throughout the year is less variable (Fig. 4). The difference between the highest and the lowest water level is 37 cm. Due to the low water table above the sea level (34 cm on the average) and because of the backwater's influence from the Szczecin Lagoon, the course of the river stages is rather equalized here. The highest water levels occur during the spring meltdowns, in April – 560 cm and the lowest in October – 533 cm.

At the Szczecin Most Długi station, located on the West Odra River, the differences between the mean river stages in the individual months are minimal (Fig. 5), which results from the influence of the Szczecin Lagoon (Dziaduszko 1980). The amplitude of the mean monthly stages at this station is 10 cm. The highest mean stage occurs here in December and July.

The highest mean water levels at Widuchowa and Szczecin occur in the winter months (Fig. 4 and 5). An analysis of this parameter for the Słubice station, and to a smaller extent for Gozdownice, reveals a peak in the wintertime caused by ice jams and thaws, and a peak in the summertime, the result of intensive precipitation (Fig. 2 and 3).

## The course of the mean annual river stages

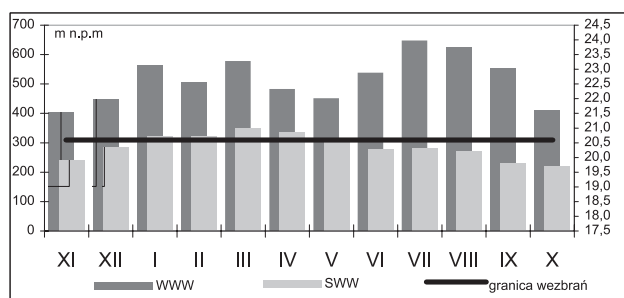
The analysis of the course of the mean annual water levels in 1947-2003 indicates large similarities between all examined gauging stations. The mean annual river stages on all stations, with minor exceptions, had a similar course. At Słubice and Gozdownice the difference regarding the mean river stages recorded in the individual years is quite obvious whereas at Widuchowa and Szczecin rather small. At Słubice, the difference between the driest year (1990) and the most humid year (1977) is 149 cm. For Gozdownice, in the same years it is 159 cm. At Widuchowa, the difference between the extreme values is 62 cm, and 27 cm at Szczecin.

Small oscillations of the mean annual water levels at the stations located closer to the Odra estuary are a good illustration of the Szczecin Lagoon's influence (Mikulski 1963). Under this influence, the Szczecin station is in some years characterized by quite different trends than those reported at the other stations.

## Freshets

On the basis of the calculated mean river stages from the multi-year period, the boundary values have been determined, indicating the beginning of a freshet and a low water. For all analysed stations, a freshet was assumed as the water level higher than the maximum mean river stage, whereas a low water as the river stage lower than the minimum mean (Bajkiewicz – Grabowska, Mikulski 2007). The characteristic stages with respect to all analysed gauging stations are presented in Tab. 1.

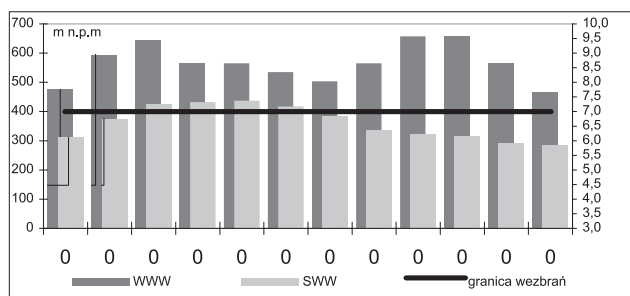
At the Słubice station the river stages referred to as freshets occur the most frequently in the winter and spring; the highest mean values are recorded in March and April (Fig. 6).



**Figure 6.** The course of the highest river stages and of the mean highest river stages at the Słubice station in 1947-2003

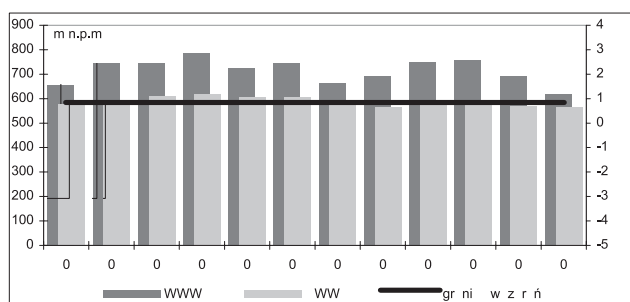
Source: authors' own studies



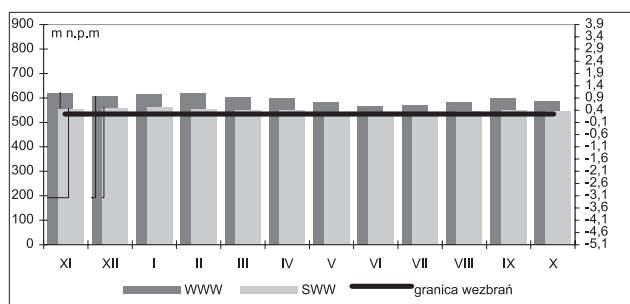


**Figure 7.** The course of the highest river stages and of the mean highest monthly stages at the Gozdowice station in 1947-2003  
Source: authors' own studies

On average, at the Gozdowice station, the highest freshets occur in the spring and winter. The mean maximum water level occurs also in March, yet unlike at the Słubice station, the river stages from January and February are higher than the mean maximum stages in April (Fig. 7).



**Figure 8.** The course of the highest river stages and of the mean highest monthly stages at the Widuchowa station in 1947-2003  
Source: authors' own studies



**Figure 9.** The course of the highest river stages and of the mean highest monthly stages at the Szczecin station in 1947-2003  
Source: authors' own studies

The course of the maximum absolute stages from the multi-year period for the individual months compared to the mean highest stages at Słubice and Gozdowice indicates clearly that despite the dominance of the mean highest stages in the spring caused by meltdowns, the highest freshets in the analysed period (1947-2003) occur in the summer months. The summer freshets are caused by heavy rainfalls. At Słubice, the highest recorded river stage in the examined multi-year period occurred on July 28, 1997; the assumed freshet boundary was exceeded by 341 cm and the emergency level by 279 cm. The freshet

lasted from July 12 until August 20. The flood in July 1997 was also the reason for the highest water level in the Odra River at Gozdowice where on July 31 it reached 359 cm, that means the freshet boundary was exceeded by 262 cm and the emergency level by 249 cm. That freshet was caused by intensive rainfall in the upper part of the drainage basin, including the Czech territory (Dubicki 1999).

At Widuchowa, the mean maximum stages above the lower freshet boundary last from December till April with the highest values recorded in February (fig. 8). The analysis of the highest water levels reveals also that at the Widuchowa station the influence of the summer freshets is considerably lower than of the ice freshets in winter (Fig. 8). The highest recorded water level at Widuchowa was 787 cm, i.e. 205 cm more than the freshet boundary value and 167 cm more than the emergency level. That freshet was caused by an ice jam and started on February 3, 1953, reached the peak on February 13, and following the ice break-up on February 17 continued as a meltdown freshet until March 17.

The reason for an earlier occurrence of the mean highest river stages at the stations located downstream are the winter ice freshets. The section of the Odra vulnerable to ice jamming, that is the section branching into the East and West Odra, is the reason for the dominance of ice freshets at Widuchowa and for their high percentage at Gozdowice in comparison with Słubice. In the latter location, the dominance of meltdown freshets over ice freshet is very obvious. Moreover, the earlier occurrence of the high spring water levels at Gozdowice, as compared to Słubice, may be caused by the Warta River waters flowing into the Odra River between these two stations. The drainage basin of the Warta River is a lowland and thawing occurs here earlier than in the upper part of the Odra drainage basin.

At the Szczecin station freshets are recorded in every month. The highest values are recorded in the winter – December and January (Fig. 9) whereas the lowest in May. Mild freshets are related to the wind direction. Larger freshets in the wintertime are typical for that season storm freshets. According to Z. Mikulski (1963), the influence of the Baltic and the Szczecin Lagoon on the lower Odra is the reason for "the river's individuality in the form of January freshets".

Duration of freshets at the Słubice station (Tab. 2) is the highest in the spring while meltdown feeding occurs. The freshets in April last 11 days on the average while in March more than 9 days. In the summer, the longest freshet of the analysed time interval equals 3.1 days in August. The least frequent are freshets in November and October.

At the Gozdowice station, the course of the averaged duration of freshets is similar (Tab. 2), yet the values are higher. The reason is the larger influence of the long-lasting ice freshets reducing the difference between the duration of freshets in January, February and March - the average freshets last 11

**Table 2.** Average number of days with freshet and low water at the individual gauging stations in 1984-2003

gauging station	river stage	Months											
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Słubice	high	0,9	1,4	6,4	8,0	9,6	10,7	2,5	2,3	2,0	3,1	1,8	0,7
	low	7,2	1,2	0,8	1,1	1,6	0,1	0,9	6,0	9,8	13,5	10,8	12,6
Gozdowice	high	0,8	2,3	10,6	11,6	11,2	15,8	3,5	1,5	1,0	2,9	1,4	0,8
	low	6,8	1,8	0,1	0,0	0,7	0,2	1,7	5,2	9,0	11,6	10,2	8,3
Widuchowa	high	1,6	1,8	4,5	6,3	7,6	7,9	2,2	1,1	0,7	2,5	1,3	0,7
	low	10,0	7,6	6,4	4,5	6,3	2,6	6,9	8,0	4,5	5,8	7,5	10,5
Szczecin	high	6,2	5,5	7,0	8,1	8,3	4,0	1,1	1,4	3,9	3,0	5,0	4,3
	low	10,7	11,9	10,0	8,7	13,1	10,3	13,9	8,9	4,8	5,3	7,7	12,0

Source: authors' own studies on the basis of *Roczniki Hydrologiczne Odry 1947-1983*, and *RZGW data 1984-2003*

**Table 3.** The maximum freshets at the selected gauging stations on the Odra River

Gauging station	Słubice	Gozdowice	Widuchowa	Szczecin
Max. freshet (cm) (date of occurrence)	649 (07.1997)	659 (08.1997)	787 (02.1953)	622 (12.1996)
Max. winter freshet (cm) (date of occurrence)	579 (03.1947)	594 (12.1981)	787 (02.1953)	622 (12.1996)
Max. summer freshet (cm) (date of occurrence)	649 (07.1997)	659 (08.1997)	759 (08.1997)	601 (09.1995)

Source: authors' own studies on the basis of *Roczniki Hydrologiczne Odry 1947-1983*, and *RZGW data 1984-2003*

**Table 4.** Percentage of freshets in the summer and winter half-year

Gauging station	Number of years with freshet in the half-year:		Years with freshet in the half-year:	
	summer	winter	summer	winter
Słubice	52	44	54%	46%
Gozdowice	51	31	62%	38%
Widuchowa	54	39	58%	42%
Szczecin	56	56	50%	50%

Source: authors' own studies

days. In April the freshets last 16 days on the average, which is probably due to the smaller sloping and elongated freshet waves.

At the other stations – Widuchowa and Szczecin (Tab. 2) – the course of freshets duration in the individual months is similar, although the values are lower. At Widuchowa, the mean duration of freshets is 8 days in April, at Szczecin - more than 8 days in March. At the Szczecin station, the summer freshets are much longer and keep on for 4 days in July and for 5 days in September.

In the multi-year course (1947-2003), the stages determined as freshets at the stations in Słubice, Gozdowice, Widuchowa and Szczecin occurred basically every year. The exceptions were: Słubice in 1990 and 1991, Gozdowice in 1984, 1990 and 1993, and Widuchowa in 1990. The maximum freshets at the individual gauging stations are presented in Tab. 3.

Analysis of the bar charts showing the highest river stages allows concluding that in the multi-year

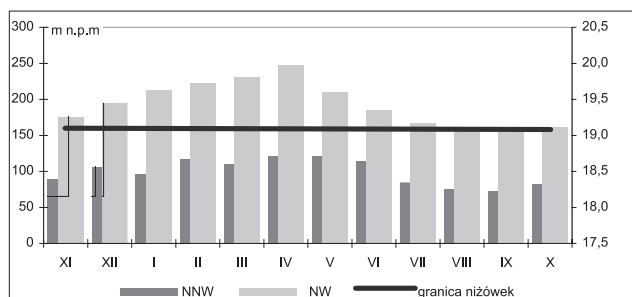
period, alike in the annual, the largest variation of freshets can be observed at the stations located upstream, *i.e.* Słubice and Gozdowice while the lower regards the stations situated closer to the Odra estuary.

Following the growth of the distance to the river mouth, percentage of the summer freshets increases at the cost of the winter freshets (Tab. 4). The percentage of the latter is the highest at Widuchowa. The Szczecin location makes an exception, being under the influence of the Szczecin Lagoon where water levels depend on different factors than in the case of other stations, thus freshets occur here in all years, in the winter and in the summer. Nonetheless, the winter freshets are higher.

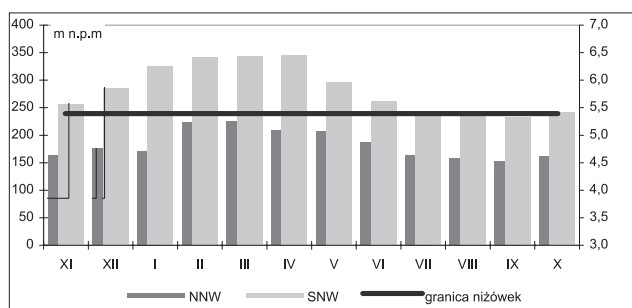
#### Low water

At Słubice, water stages determined as low water occur in all months, with the lowest in August

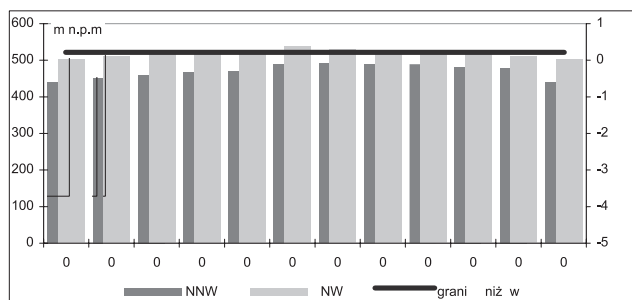
and September (Fig. 10). The deepest low water at Słubice was recorded in 2003 and lasted 198 days in total, *i.e.* from June 10 to December 25. The lowest water level was reached on September 3 and 4 and was 86 cm lower than the low water boundary.



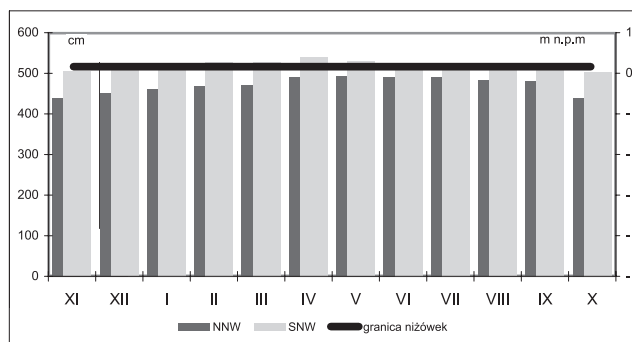
**Figure 10.** The course of the lowest river stages and the mean monthly lowest river stages at Słubice in 1947-2003  
Source: authors' own studies



**Figure 11.** The course of the lowest river stages and the mean monthly lowest river stages at Gozdownice in 1947-2003  
Source: authors' own studies



**Figure 12.** The course of the lowest river stages and the mean monthly lowest river stages at Widuchowa 1947-2003  
Source: authors' own studies



**Figure 13.** The course of the lowest river stages and the mean monthly lowest river stages at Szczecin in 1947-2003  
Source: authors' own studies

At the Gozdownice gauging station, the course of the lowest stages is similar to that at the Słubice station. The deepest low water occurs also in the summer months and the lowest in the winter (Fig. 11). The lowest low water was recorded at Gozdownice in 1953 and lasted 216 days, from June 6 to January 7, on September 12 it reached the value of 154 cm, which is 84 cm below the low water boundary.

At Widuchowa, the mean low river stages assume the values regarded as low water between September and December (Fig. 12). The highest mean low water occurs in April, which is due to meltdowns, while the deepest low water is recorded in October due to little precipitation, high evaporation in the drainage basin, and gradual exhaustion of the underground water resources.

At Szczecin (Fig. 13), the low water occurs in every month, alike the freshets, which is caused by other reasons for the water level fluctuations and by a very small amplitude of the oscillations.

At the Słubice station, water levels below the low water boundary value did not occur in 13 years of the examined period. The lowest recorded level was observed in 2003.

At the Gozdownice station, the low water did not occur in 11 years of the examined period. The deepest low water was recorded in 1953.

At the Widuchowa station, the deepest low water occurred in the early 1990s. The extremely low water level at Widuchowa in 1991 and the frequent occurrence of the water levels below the sea level indicate a strong relationship between the river stages at Widuchowa and the water levels in the Szczecin Lagoon. The water levels below the sea level can be explained by the considerable oscillations of the Baltic Sea level (Dziaduszko, 1994) and the Szczecin Lagoon (Dziaduszko 1980).

Low water observed every year in the analysed period, both at Widuchowa and Szczecin, is caused by very small oscillations of the water levels and a small difference between the mean river stage and the lowest mean river stage - the low water boundary.

The lowest river stages at the Szczecin station were observed in 1985.

Duration of the low water at the Słubice station is the maximum in the summer. In August the low water lasts 13.5 days on the average and 12.6 days in October (Tab. 2). The least low waters occur there in the winter and spring; in April they practically do not occur.

At Gozdownice, the course of the low water duration in the individual months is similar, with the maximum in August - 11.6 days (Tab. 2). The fewest low water episodes occur in January and February. The reason may be the ice jams and the Warta River influence, the basin of which undergoes meltdowns earlier than the area upstream of the Słubice station.

At Widuchowa, low water is the longest in October and November and lasts about 10 days (Tab. 2),

yet, the course of the duration varies from month to month. Duration of the low water in the springtime is considerable: 6 days on the average in March.

At Szczecin, where the river stages depend mainly on other factors than rain and meltdowns, the course of the low water duration is different (Tab. 2). Low water is the longest in March and May and the shortest in the summer, therefore, in the summer the water level is regularly mean because the freshets and low water last merely 4 days a month.

## Flows

On the analysed Odra River section IMGW determines the flows at three gauging stations, namely Słubice, Gozdowice and Widuchowa. The flow analyses were done on the basis of the IMGW hydrological annual reports for Słubice and Gozdowice. In case of Słubice the data regard the period of 1949 – 1983 and in case of Gozdowice the period of 1952 – 1983.

The mean flow at Słubice is  $309 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$  and  $552 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$  at Gozdowice. The values for Gozdowice are much higher than reported by Z. Mikulski (1963) who claimed that the mean flow on Odra was  $480 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . Between the Słubice and Gozdowice stations Odra is fed by the Warta River in which the mean flow according to Z. Mikulski is  $188 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$  and the highest flow is  $480 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . The difference between the mean flows at Słubice and Gozdowice calculated using the IMGW data is  $243 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . That means the Odra River is fed approximately  $55 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$  from the direct drainage basin and the smaller inflows, including underground feeding.

The mean annual discharge in 1949 – 1983 at the Słubice profile is more than  $9.7 \text{ km}^3$  and  $17.4 \text{ km}^3$  at the Gozdowice profile (1952 – 1983). The reason for this large difference is the Warta River feeding Odra with almost  $6 \text{ km}^3$  of water (Z. Mikulski 1963).

The summer freshets are shown in Tab. 5. It shows that the volume of the maximum summer freshets (WWQ) observed in the examined period is almost two times larger than the winter freshets.

The highest flows in the studied multi-year period occurred only in the summer. The maximum flow in the 20th century was recorded beyond the studied period, on July 22 and 23, 1997 and reached  $2,570 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ . The total volume of the freshet wave in the Słubice profile reached during that flood more than  $5.72 \text{ km}^3$  (Dubicki, 1999) which is more than half of the annual outflow.

At Gozdowice, the mean flows are the highest in the springtime (Tab. 5), yet, the highest do not occur in April, like in Słubice, but in March. The reason is most probably the Warta River: its drainage basin is a lowland and thawing occurs earlier than in the Odra River drainage basin, upstream of Słubice. The lowest mean flows are recorded in September and October due to the lowest amount of water in the drainage basin after the summer with low precipitation and high evaporation, as well as reduced underground water resources (Dynowska 1988). In several summer seasons rain was so intensive that the flow was high, as shown in Tab. 5. In the analysed period, the highest flow occurred in September.

The maximum absolute flow occurred during the flood in July 1997, like in Słubice. At Gozdowice, on July 24 the flow equalled  $2,740 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$  while the volume of the flood wave was  $7.34 \text{ km}^3$  (Dubicki 1999). The lowest flows in the examined period were recorded in the winter, which may be the result of the river's freezing, retention of rainwater in the snow cover, and reduced feeding from underground resources. The lowest flow in the studied period was in January 1954 and occurred before the permanent ice cover set up.

## Ice phenomena

The average annual water temperatures of the Odra River, as given in the National Atlas of Poland, are  $9 - 11^\circ\text{C}$ . They are the lowest in January, *i.e.* from  $0$  to  $1^\circ\text{C}$ . The low temperatures of water and air promote the occurrence of ice phenomena. On the lower Odra all kinds of ice phenomena typical for inland

**Table 5.** Characteristic flows at the Słubice station in 1949 – 1983 and at the Gozdowice station in 1953-1983

gauging station	river stage	months											
		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Słubice	NSQ	84	81	95	88	107	161	213	151	96	93	83	84
	SSQ	255	301	307	340	412	424	362	295	297	274	221	223
	WSQ	674	705	765	671	850	741	697	1086	862	929	784	460
	WWQ	972	985	1060	950	1170	924	991	1613	2170	1780	1820	812
	NNQ	73	62	53	71	66	119	118	126	78	69	58	67
Gozdowice	NSQ	181	199	203	205	274	341	375	242	230	202	171	175
	SSQ	466	541	583	673	770	765	627	495	463	455	392	393
	WSQ	1080	1130	1400	1132	1390	1347	949	1313	1120	1140	1220	784
	WWQ	1200	1460	1760	1510	1970	1610	1360	1796	1830	1870	2170	1130
	NNQ	170	184	134	168	168	272	274	199	197	187	161	168

Source: authors' own studies



waters occur, namely frazil, stranded ice, ice cover, ice float and ice jam (Mikulski 1963).

The ice phenomena occur usually around December 20 and decay on February 23. Duration of their occurrence per season is 43 days on the average. The ice cover forms usually on January 8 and decays on February 13.

Formation of ice cover on the lower Odra is mainly due to ice jams. On the Odra section downstream of Gozdowice there are numerous sites vulnerable to ice jam formation, the main being the branching of the Odra River near Widuchowa. There are also a few bridges upstream of Widuchowa, namely Siekierki, Osinowo, and Krajnik. Additionally, the Odra section between Gozdowice and Widuchowa is rather sinuous and ice jams can form in the meanders. Development of ice cover on the lower Odra usually begins near Widuchowa that is where the river forms two branches. Next, the ice cover grows in the upstream direction (Woś 2005). The growing of the ice cover is accelerated by the washed down ice and frazil. Ice jams occur frequently if ice cover is formed in this way. Decay of the ice cover is accelerated by the ice-breaking actions conducted almost every year.

Analysis of the 1947 - 2003 data shows that in the winter ice phenomena are observed in November – 1 day, December – 9 days, January – 16 days, February – 13 days and March – 5 days. The highest number of days with the ice cover is observed in January – 8 on the average, 7 in February, 2 in March, and 2 in December.

In the studied period, the ice phenomena did not occur only in 1975. In 1989 and 2001 they occurred 1 day each year. The most days with ice phenomena were observed in 1996 – 108 days, 1947 – 103 days, 1970 – 101 days, 1969 – 94 days, 1963 – 90 days. The trend curve for the analysed period reveals the tendency for a downfall, meaning less frequent ice phenomena.

The ice cover on Odra in the examined multi-year period did not occur in 21 out of 57 years. The longest ice cover-free period is 1998 – 2001 (in 2002 the ice cover lasted 1 day). On the other hand, the longest period with recorded ice cover is 1959 – 1966. The longest seasonal ice cover occurred in 1947 – 96 days, 1970 – 86 days, and 1963 – 84 days. The earliest recorded ice cover formed in 1966. After a 6-day period with frazil ice covered the river on November 24 and lasted until December 3, then it re-set in the same season in mid January. In 1969 the ice cover formed on December 15 and in 1984 on December 16. The latest the ice cover decayed was 1955 – March 24 and 1947 – March 23.

The less frequent formation of a compact ice cover at Gozdowice can be explained by the successful ice-breaking activities performed on the lower section of the river. These actions are performed early enough to prevent the downstream shift of the edge of a permanent ice cover to Gozdowice. The analysed period is too short to conclude upon the influen-

ce the climatic factors may have on the course of the ice phenomena.

## Conclusions

The annual river stages, alike the monthly stages, reveal gradually decreasing fluctuations at the stations located on the lower Odra section. On the section between Słubice and Gozdowice the reason is the Warta River influence while at Widuchowa and Szczecin lack of sloping and the river stage nearing the sea level.

Freshets at the discussed gauging stations occur mostly in spring and winter. At Słubice, they are usually of the meltdown type while at Gozdowice and Widuchowa they are caused mainly by meltdowns and jams. At Szczecin, freshets are associated with the Szczecin Lagoon backwater. The largest freshets are caused by storms.

The maximum freshets at Słubice and Gozdowice occurred in the summer and were caused by rainfall, especially by the heavy rains in the upper part of the drainage basin.

The winter freshets at Gozdowice occur with less frequency, which is related to ice-breaking activities and the early enough ice jams elimination.

The low water at Słubice and Gozdowice occurs the most often in the summer and is the deepest. The lowest stages at Widuchowa and Szczecin are associated with the water levels in the Baltic and in the Szczecin Lagoon, when below the sea level.

The mean highest flows at Słubice and Gozdowice occur in the spring and are caused by meltdowns, although the maximum flows in the examined period were recorded in the summer and resulted from intensive precipitation in the drainage basin. The lowest flows occur in the winter, which is associated with the river freeze up, retention of the precipitation in the snow cover, and reduced feeding by underground water.

All kinds of ice phenomena characteristic for the Polish rivers occur on the lower Odra. The ice cover forms usually due to jamming. On the average, the most days with ice cover and ice phenomena occur in January. The diminishing number of the days with ice cover is the result of effective ice-breaking actions performed on the lower section of the Odra.

The most representative for the Odra estuary is the gauging station at Gozdowice, keeping out of the reach of the backwater from the Szczecin Lagoon. The Widuchowa and Szczecin stations are under the strong influence of backwater and are affected by the water level oscillations in the Baltic.

**References:**

1. Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., *Hydrologia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
2. Dane źródłowe – *Codzienne stany wody na posterunkach*: Słubice, Gozdowice, Widuchowa, Szczecin Most Długi, w latach 1984-2003, RZGW Szczecin.
3. Dubicki A., *Dorzecze Odry, Monografia powodzi lipiec 1997*, IMGW, Warszawa 1999.
4. Dynowska I., *Ocena odnawialnych zasobów wód podziemnych w Polsce*, W: T. Hess (red.), *Prace geograficzne UJ*, zeszyt 71, PWN Warszawa-Kraków 1988.
5. Dziaduszek Z. „Wieloletnie wahania stanów wody”, W: A. Majewski (red.), *Zalew Szczeciński*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
6. Dziaduszek Z., „Wahania poziomu morza”, W: A. Majewski, Z. Lauer (red.), *Atlas Morza Bałtyckiego*, IMGW, Warszawa 1994.
7. Mikulski Z., *Zarys hydrografii Polski*, PWN, Warszawa 1963.
8. Orlewicz S., Mroziński Z., *Hydrologia Doliny Dolnej Odry* W: J. Jasnowska (red.), *Dolina dolnej Odry, monografia przyrodnicza parku krajobrazowego*, Szczecińskie Towarzystwo Naukowe, Szczecin 2002.
9. *Rocznik Hydrologiczny, Odra, 1946-1983*, IMGW, Warszawa.
10. Woś A., *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
11. Woś K., *Taktyka i organizacja akcji lodołamania na rzece Odrze, materiały niepublikowane*, Akademia Morska w Szczecin, Szczecin 2005.