

Bernard WIŚNIEWSKI¹, Tomasz WOLSKI²

Niskie poziomy wody w ujściowym odcinku Odry

1. WSTĘP

Uwarunkowania hydrologiczne rzeki mają bezpośredni wpływ na możliwości prowadzenia żeglugi śródlądowej i uprawiania sportów wodnych. Dla żeglugi śródlądowej oprócz charakterystyki hydrologicznej rzeki i stosunków batymetrycznych ważna jest znajomość ekstremalnych poziomów wód, w tym poziomów minimalnych, które mogą wystąpić z określonym prawdopodobieństwem.

Maksymalne poziomy wód w ujściowym odcinku Odry są dobrze opisane w literaturze przedmiotu natomiast mniej uwagi zwrócono dotychczas na występowanie niskich poziomów wód (Majewski A., Dziadziuszko Z. 1985; Buchholz W. 1990, 1991; Wiśniewski 2007; Wiśniewski B, Wolski T. 2009; Sztobryn et al.2009). Są one ważnym czynnikiem bezpieczeństwa żeglugi i bezpośrednio wpływają na zapas wody pod stępką statku (Wiśniewski B. 1997).

Celem pracy jest charakterystyka niskich poziomów wód ujściowego odcinka Odry od Gozdowic do Świnoujścia, które mogą mieć bezpośredni wpływ na żeglugę śródlądową.

Określenie poziomów wody o zadanym prawdopodobieństwie ich wystąpienia potrzebne jest przy projektowaniu morskich i rzecznych budowli hydrotechnicznych a także w rozpoznaniu charakterystyki obniżen sztormowych poziomów wód w ujściowych odcinkach rzek do morza.

¹ Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny

² Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi, e-mail: natal@univ.szczecin.pl

2. METODYKA I MATERIAŁY

W pracy wykorzystano minimalne roczne i minimalne miesięczne poziomy wody dla stacji Gozdowice, Szczecin (Most Długi), Trzebież i Świnoujście zestawione w pracy Wiśniewski B., Wolski T. (2009). Wykorzystano także dane terminowe poziomów wód na podstawie publikowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej: Roczników Hydrologicznych Wód Powierzchniowych, Roczników Morza Bałtyckiego, Warunków Środowiskowych Polskiej Strefy Południowego Bałtyku, oraz Morskich Komunikatów Hydrologicznych. Wykorzystano również archiwalne dane IMGW zamieszczone na geoserwerze Uniwersytetu Śląskiego a także Informator Nawigacyjny RZGW i dzienniki portowe Urzędu Morskiego w Szczecinie (źródła danych: [16-22])

Aby scharakteryzować rolę niskich poziomów wód w ujściu Odry w pracy przeanalizowano długotrwałe niżówki rzeczne (stacja wodowskazowa Gozdowice) jak również przypadki oddziaływania niskich poziomów wód w Zatoce Pomorskiej (Świnoujście) na stacje wodowskazowe ujściowego odcinka Odry. Dodatkowo zajęto się występowaniem minimalnych miesięcznych poziomów wody w stacjach wodowskazowych badanego obszaru.

Istotną treścią pracy ma być wyznaczenie prawdopodobnych, minimalnych poziomów wód czyli określenie np. poziomu wody stułetniej, tysiącletniej lub innej w danym przedziale czasowym. Obliczenia oparto o najbardziej dopasowane do danych rzeczywistych rozkłady statystyczne Fishera –Tippetta typ III i Pearsona typ III, których metodykę przedstawiono poniżej. W analizach zastosowano metodę największej wiarygodności. Do zbadania zgodności rozkładów teoretycznych z faktycznym rozkładem zmiennej losowej użyto testu Kołmogorowa.

Wyznaczanie teoretycznych, prawdopodobnych minimalnych poziomów wód w oparciu o rozkład Pearsona III typu.

Funkcja gęstości rozkładu Pearsona III typu ma postać następującą (Kaczmarek Z. i in., 1964, Kaczmarek Z. 1970):

$$f(x) = \frac{\alpha^\lambda}{\Gamma(\lambda)} e^{-\alpha(x-\varepsilon)} (x-\varepsilon)^{\lambda-1} \quad (1)$$

gdzie:

$\alpha, \varepsilon, \lambda$ – parametry rozkładu, które powinny spełniać następujące warunki $x \geq \varepsilon$ (dolne ograniczenie rozkładu), $\alpha > 0, \lambda > 0$

$\Gamma(\lambda)$ – funkcja gamma zmiennej λ .

Podstawą adaptacji metody Pearsona jest przyjęcie zmiennej z , na której dokonuje się wszystkich obliczeń. Zmienna z określa zależność podaną w pracy Wróblewskiego (1982):

$$z = 500 - x_{\min} \quad (2)$$

gdzie:

z – zmienna obliczeniowa,

x_{\min} - wartości szeregu rozdzielczego minimów rocznych

500 cm – przyjęty poziom odniesienia (oś symetrii) układu obliczeniowego

W niniejszej pracy zaproponowano modyfikacje równania zmiennej z . Uznano, że dla wodowskazowych stacji rzecznych poziom 500 cm jako oś symetrii układu obliczeniowego nie jest adekwatny w porównaniu ze stacjami morskimi. Po modyfikacji równanie zmiennej z ma postać:

$$z = Me - x_{\min} \quad (3)$$

gdzie:

Me – mediana szeregu rozdzielczego minimów rocznych

Po przeprowadzeniu obliczeń dla zmiennej z metodą określoną dla poziomów maksymalnych powraca się do układu zmiennej losowej z wyznaczając kwantyle z równania:

$$X_p = Me - z_p \quad (4)$$

gdzie :

z_p – kwantyl wyznaczony rozkładem Pearsona III typu, metodą największej wiarygodności wg zmiennej z

Według wzorów 2-4 obliczenia opierają się na symetrycznych przekształceniach zmiennych losowych w odniesieniu do osi symetrii.

Wyznaczanie teoretycznych, prawdopodobnych minimalnych poziomów wód w oparciu o rozkład Fishera-Tippetta III typu.

Do wyznaczenia prawdopodobieństwa minimalnych przepływów jak i minimalnych poziomów wód najczęściej w hydrologii stosuje się asymetryczny rozkład Fishera-Tippetta III typu który wyrażony jest wzorem (Byczkowski A. 1996, Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. 1997):

$$p(X \geq x) = e \left[- \frac{x - \varepsilon^K}{\Theta - \delta} \right] \quad (5)$$

gdzie:

p – oznacza prawdopodobieństwo, że zmienna losowa X przyjmie wartości większe lub równe x ,

K – parametr równy $1/\lambda$,

ε - dolne ograniczenie rozkładu

Θ - charakterystyczna niżówka.

W niniejszej pracy do obliczania poziomu minimalnego o prawdopodobieństwie występowania p % posłużono się uproszczonym równaniem:

$$X_p = \varepsilon + (\Theta - \varepsilon) \cdot e^{\lambda y_p} \quad (6)$$

gdzie:

e – podstawa logarytmu naturalnego

y_p – zmienna związana z prawdopodobieństwem zależnością:

$$y_p = \ln[-\ln(1 - p)] \quad (7)$$

Parametrami rozkładu są:

- średnia arytmetyczna z X_{\min} (średni niski poziom wody)
- odchylenie średnie (odchylenie standardowe z populacji):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X^2}{N} - \bar{X}_{\min}^2} \quad (8)$$

- najniższy zaobserwowany poziom wody $X_{\min 1}$
- parametr λ wyznaczono z tablic (Kaczmarek Z 1970) w zależności od długości serii statystycznej N i estymatora τ
- estymator τ obliczono ze wzoru:

$$\tau(\lambda, N) = \frac{\bar{X}_{\min} - X_{\min 1}}{\sigma} \quad (9)$$

- parametr ε (absolutnie najniższy poziom wody) stanowi dolne ograniczenie rozkładu i wyznaczono ze wzoru:

$$\varepsilon = X_{\min 1} - \frac{\bar{X}_{\min} - X_{\min 1}}{N^\lambda - 1}, \quad (10)$$

gdzie: $0 \leq \varepsilon \leq X_{\min 1}$

- charakterystyczna niżówka Θ . Niżówkę określono z zależności:

$$\Theta = \frac{\bar{X}_{\min} - \varepsilon}{\Gamma(1 + \lambda)} + \varepsilon \quad (11)$$

gdzie: $\Gamma(1 + \lambda)$ – funkcja odczytywana z tablic (Kaczmarek Z 1970)

W przypadku gdzie $\varepsilon < 0$ wówczas parametry $\tau_1(\lambda)$ i Θ określono z zależności:

$$\tau_1(\lambda) = \frac{\bar{X}_{\min}}{\delta} \quad (12)$$

$$\Theta = \frac{\bar{X}_{\min}}{\Gamma(1 + \lambda_1)} \quad (13)$$

gdzie: λ_1 – parametr określony w zależności $\tau_1(\lambda)$ z tablic (Kaczmarek Z 1970)

Wielkość minimalnego poziomu wody o określonym prawdopodobieństwie występowania oblicza się wówczas ze wzoru:

$$X_p = \Theta \cdot e^{\lambda_1 y_p} \quad (14)$$

Sprawdzenie zgodności przyjętego, teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa z rozkładem empirycznym.

W niniejszej pracy niesprzeczność przyjętego rozkładu teoretycznego z empirycznym (ciągiem obserwacyjnym poziomów wody) zbadano testem zgodności Kołmogorowa., Testowanie polega na sprawdzeniu warunku (Byczkowski A. 1996, Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. 1997).:

$$D_{\max} [p/m, N/\% - p\%] < \lambda_{kr} / \sqrt{N} \quad (15)$$

gdzie:

$p/m, N/\%$ - prawdopodobieństwo empiryczne, m - tego wyrazu ciągu,

$p\%$ - prawdopodobieństwo teoretyczne poziomu morza o wysokości odpowiadającej m - temu wyrazowi ciągu rozdzielczego,

λ_{kr} - wartość krytyczna rozkładu Kołmogorowa (przy $\alpha=5\% \rightarrow \lambda_{kr} = 136$,
przy $\alpha=1\% \rightarrow \lambda_{kr} = 163$)

N - liczebność ciągu rozdzielczego.

3. CHARAKTERYSTYKA NISKICH POZIOMÓW WÓD W UJŚCIOWYM ODCINKU ODRY

Niskie poziomy wód w ujściowym odcinku Odry to część poziomów charakterystycznych wyznaczonych dla stacji wodowskazowych Gozdowice, Szczecin Most Długi (Odra Zachodnia), Trzebież (Roztoka Odrzańska) oraz Świnoujście (Zatoka Pomorska). W tabeli 1 odnotowano bezwzględnie najniższe, poziomy wód zarejestrowane na stacjach wodowskazowych w ujściowym odcinku Odry. Lokalizacje stacji

wodowskazowych przedstawiono na rysunku 1. W tabeli 2 i na rysunku 2 ukazano poziomy ekstremalne wód WWW i NNW na tle sezonowości ich zmian i odpowiednich, uśrednionych poziomów wód dla danego miesiąca (SWW, SSW, SNW).

Tabela 1. Bezwzględnie najniższe zmierzone poziomy wód w ujściowym odcinku Odry (opracowano na podstawie źródeł: [1, 2, 16, 18, 21, 23])

Wodowskaz	km Odry	Rzędna „0”		Poziom		Minimalny poziom wody [cm]	Data wystąpienia
		Kr	N.N.	O	AL		
Gozdowice	645,3	3,02	3,20	390	410	73	26.08.1883
Szczecin Most Długi	739,9 (Odra Zach.)	-5,12	-5,04	560	580	433	14.11.1993
Trzebież	767,6	-5,08	-5,00	540	560	428	21.03.1928
Świnoujście		-5,08	-5,00	560	580	366	18.10.1967

O – poziom ostrzegawczy, przeciwpowodziowy AL - poziom alarmowy, przeciwpowodziowy

Tabela 2. Charakterystyczne poziomy wód dla Gozdowic, Szczecina (Most Długi), Trzebieży i Świnoujścia z okresu 1948 – 2007 (opracowano na podstawie źródeł:[16, 20, 21, 24])

Stacja	Miesiące												1948-2007
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Gozdowice													
WWW	644	568	566	545	495	548	658	659	566	468	477	594	659
SWW	418	426	432	416	376	328	325	311	289	279	304	368	356
SSW	365	381	379	379	332	291	270	268	253	255	273	313	313
SNW	317	334	336	339	291	255	234	228	227	237	252	276	277
NNW	154	206	216	209	195	169	146	140	136	144	146	158	136
Szczecin													
WWW	615	610	601	600	604	565	575	594	601	587	622	607	622
SWW	561	555	548	547	535	537	543	545	549	547	556	558	548
SSW	516	517	509	512	507	510	517	515	514	510	512	515	513
SNW	483	486	480	487	487	491	497	492	487	478	476	482	486
NNW	448	445	448	455	474	476	476	450	458	443	433	441	433
Trzebież													
WWW	599	596	592	587	586	552	561	586	590	575	607	598	607
SWW	555	538	538	536	527	529	535	538	543	541	550	550	540
SSW	509	508	501	503	500	504	511	509	509	501	507	510	506
SNW	475	478	473	480	481	485	492	487	482	474	471	475	479
NNW	437	429	442	448	468	470	477	468	455	446	430	435	429
Świnoujście													
WWW	639	648	617	608	568	564	590	602	597	600	669	613	669
SWW	570	556	542	536	523	528	533	536	548	551	564	563	546
SSW	500	498	491	493	492	497	505	504	504	501	501	503	499
SNW	437	444	447	459	466	473	478	472	463	449	441	439	456
NNW	398	404	412	423	448	456	453	430	413	366	370	379	366

WWW – najwyższy odnotowany poziom wody w okresie obserwacji, (poziom maksymalny)

SWW – średni z najwyższych poziomów wody, (poziom średni z maksymalnych)

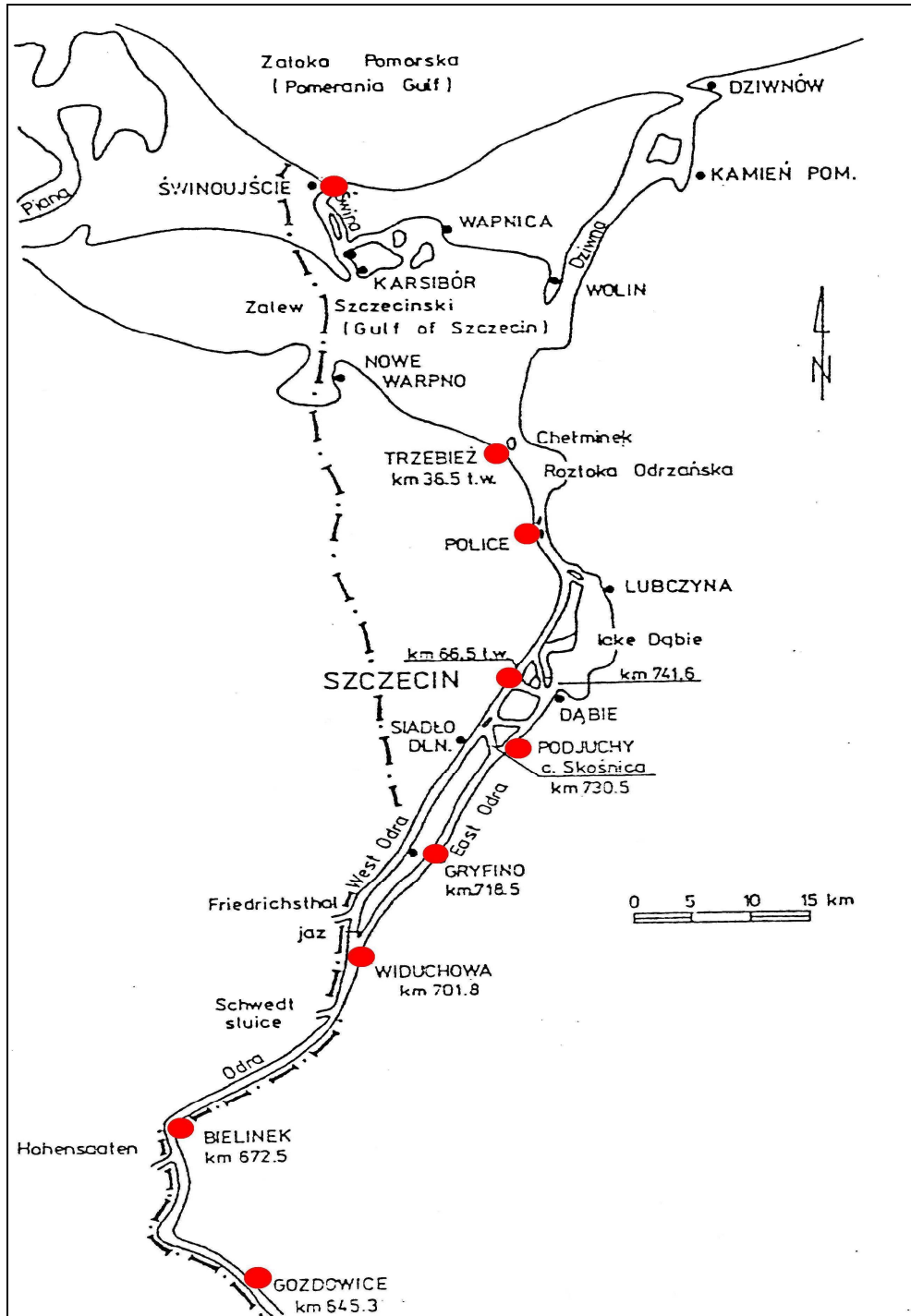
SSW – średni poziom wody w okresie obserwacji,

SNW – średni z najniższych poziomów wody, (poziom średni z minimalnych)

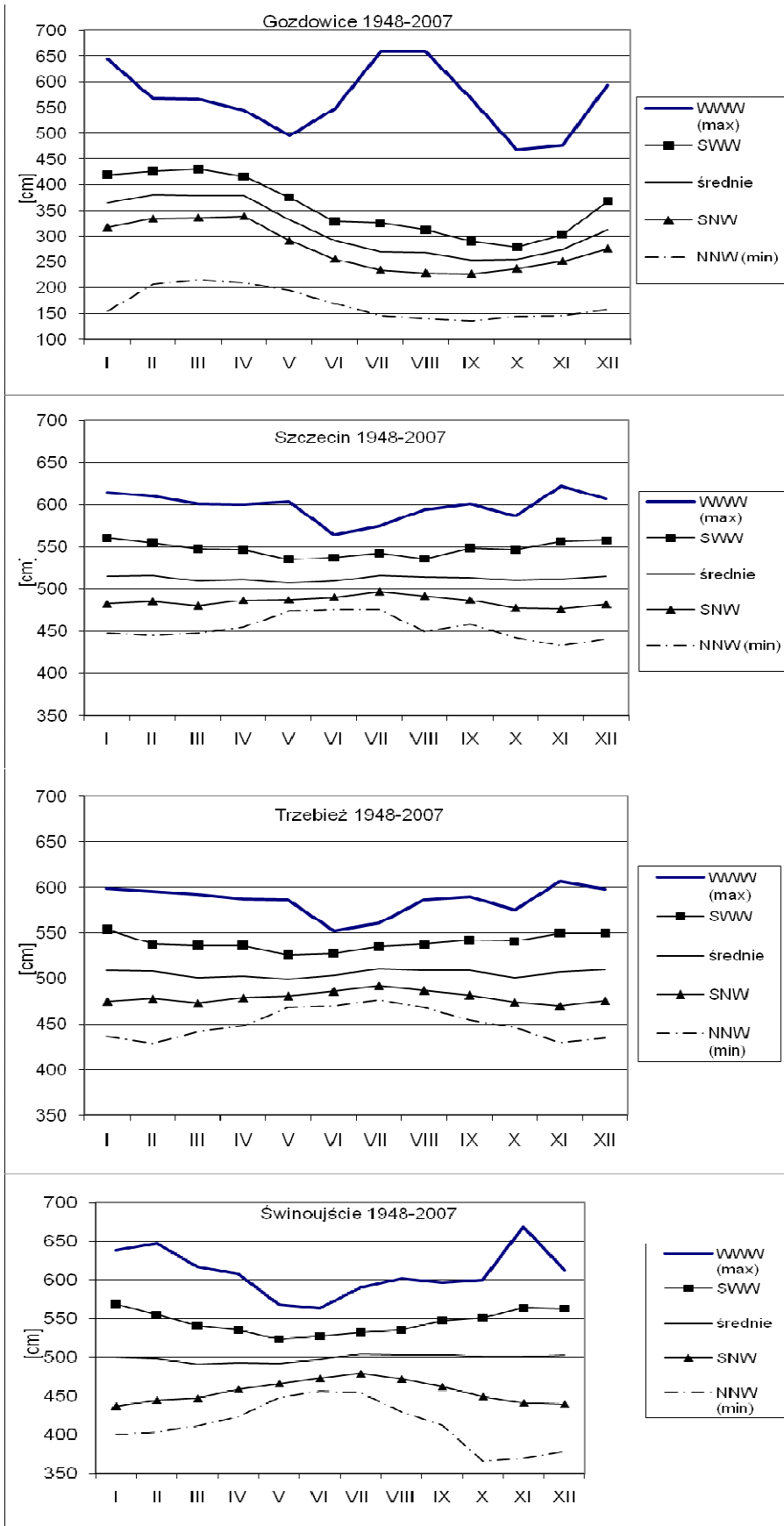
NNW – najniższy obserwowany poziom wody w okresie obserwacji (poziom minimalny)

Z przebiegu zmian sezonowych wynika odmienność reżimu hydrologicznego na stacji rzecznej Gozdowice od reżimu hydrologicznego pozostałych stacji wodowskazowych

w ujściowym odcinku Odry. W Gozdowicach ekstrema poziomów wód (minima i maksima) występują głównie latem a na stacjach wodowskazowych w Szczecinie i Trzebieży w okresie jesienno-zimowym. Ich poziomy wód będą kształtowały się jak poziomy wód stacji morskich, które reprezentuje stacja w Świnoujściu. Uzasadnieniem tego podziału mogą być także związki poziomów wód lub ich brak w czasie wystąpienia charakterystycznych niżówek na rzece Odrze czy też w czasie wystąpienia gwałtownych lub długotrwałych obniżień poziomów wód w morzu.



Rys. 1. Lokalizacja stacji wodowskazowych w ujściowym odcinku Odry (Buchholz W.1990)

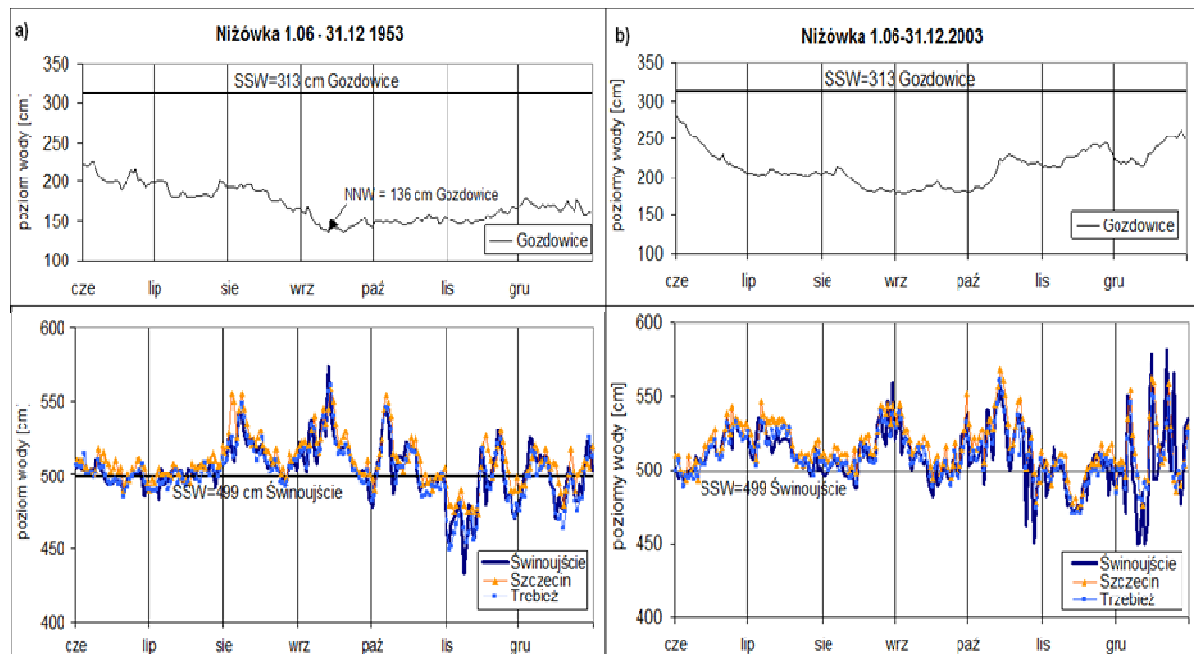


Rys. 2. Charakterystyczne poziomy wód dla Gozdowic, Szczecina, Trzebieży i Świnoujścia z okresu 1948 – 2007

Źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 2

Przykłady długotrwałych niżówek w ujściu Odry.

Przykładami braku korelacji niskich poziomów wód w Gozdowicach z pozostałymi stacjami wodowskazowymi w ujściowym odcinku rzeki Odry jest występowanie charakterystycznych niżówek. Na rys. 3 przedstawiono przykłady dwóch znaczących, niżówek dla stacji Gozdowice z roku 1953 i z roku 2003, które spowodowane były długotrwałą suszą hydrologiczną i ograniczonym zasilaniem.

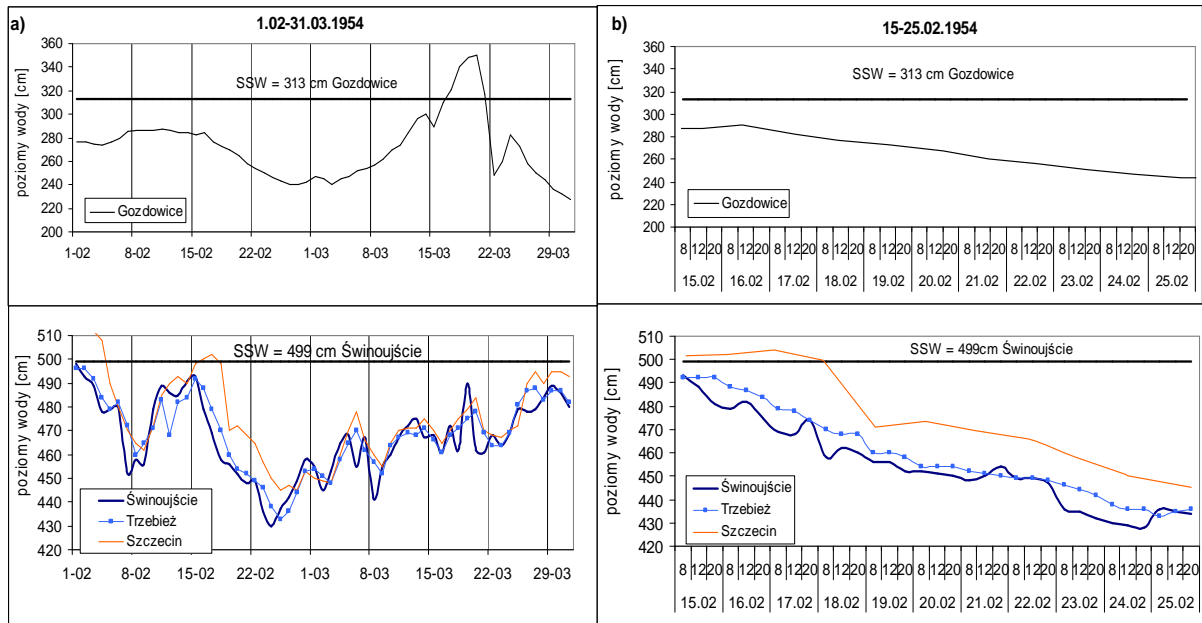


Rys. 3. Poziomy wód w Świnoujściu, Szczecinie i Gozdowicach w czasie wystąpienia długotrwałej niżówki na rzece Odrze: a) okres 1.06.-31.12.1953, b) okres 1.06.-31.12.2003

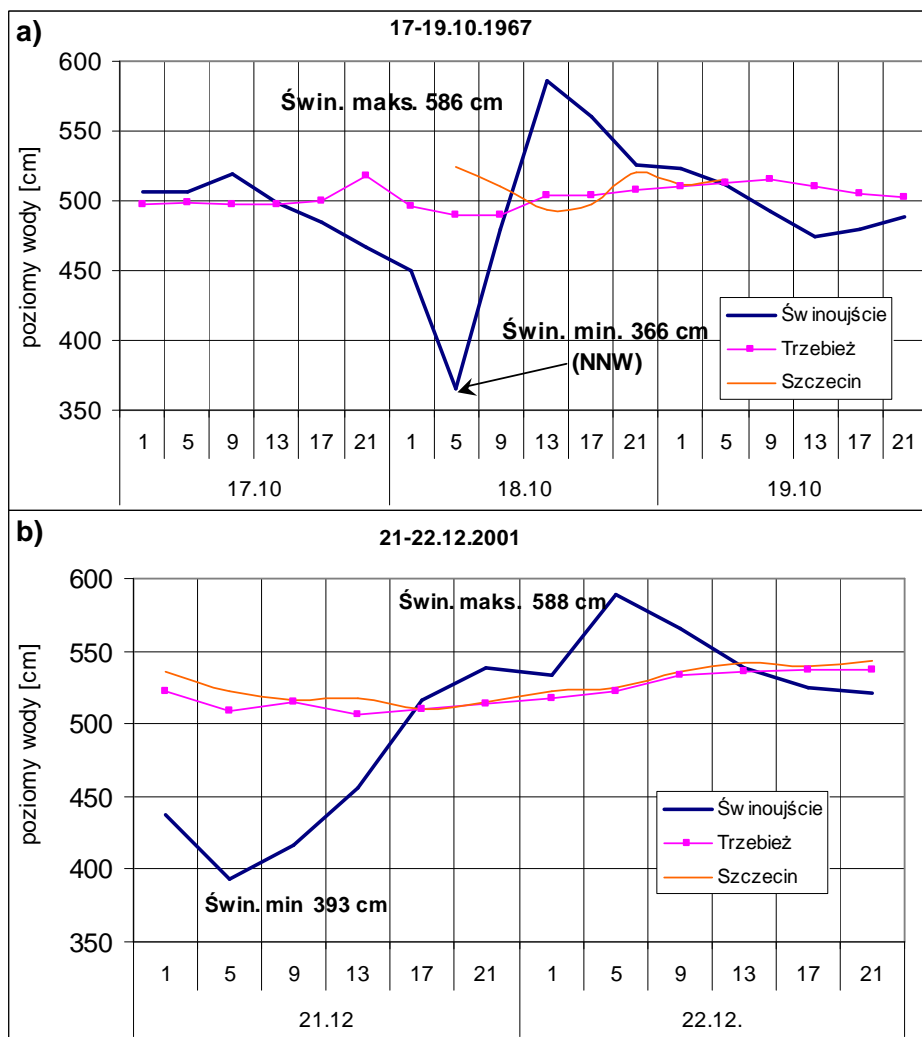
Niskie poziomy wód w rzece Odrze, reprezentowane przez stację wodowskazową w Gozdowicach nie mają żadnego odzwierciedlenia w poziomach wód w ujściowym odcinku Odry (stacja Szczecin i Trzebież) oraz na stacji morskiej w Świnoujściu (rys. 3). Przebieg poziomu wód na stacjach wodowskazowych ukazano na tle ich wartości średnich z wielolecia SSW tj. 499 cm w Świnoujściu oraz 313 cm w Gozdowicach.

Przykłady oddziaływania obniżen poziomu morza na poziomy wód w ujściu Odry

Odmienne kształtują się poziomy wód w ujściowym odcinku rzeki Odry przy kilkudniowych czy kilkunastodniowych niskich poziomach morza. Na rys. 4a ukazano wybrany przykład długotrwałego obniżenia poziomów wód w morzu i jego wpływ na poziomy wód w Trzebieży i Szczecinie dla okresu 1.02.-31.03.1954. Na takie obniżenie reaguje także poziom wód w Gozdowicach, jeżeli na rzece Odrze występują przeciętne przepływy wód (rys. 4b).



Rys. 4 Przykład oddziaływania długotrwałych, niskich poziomu wód w Świnoujściu na stacje wodowskazowe w ujściowym odcinku Odry a) w okresie. 1.02.-31.03.1954 , b) w podokresie 15-25.02.1954



Rys. 5a,b Poziomy wód w ujściowym odcinku Odry podczas gwałtownego obniżenia poziomu wód w Świnoujściu a) w dniu 18.10.1967, b) w dniu 21.12. 2001

Obniżenia i wzrosty poziomu wód w morzu mogą być często gwałtowne w czasie silnych okresów sztormowych. Obniżenia poziomu morza zagrażające żegludze w Świnoujściu są zwykle kilkugodzinne i jak wykazują obserwacje nie mają one dużego znaczenia na kształtowanie się poziomów wód w śródlądowym odcinku Odry (Gozdowice-Szczecin-Trzebież). Kilkugodzinne gwałtowne spadki poziomu morza wywołują mniejszy efekt w ujściowym odcinku Odry niż wielodniowe chociaż nie ekstremalne obniżenia poziomu morza. Na rysunku 5 ukazano przykłady bardzo gwałtownych, kilkugodzinnych obniżeń poziomu morza i ich wpływ na poziomy wód na stacjach śródlądowych.

Stacje śródlądowe Szczecin i Trzebież wykazują reakcje na gwałtowne obniżenia poziomu wód ale ich krótkotrwałość nie pozwala na wyraźny efekt obniżenia wód Zalewu Szczecińskiego z uwagi na ograniczoną przepustowość cieśnin łączących Zalew z morzem i zbyt krótkotrwały odpływ wód do morza.

Wystąpienia minimalnych miesięcznych poziomów wód w ujściowym odcinku Odry.

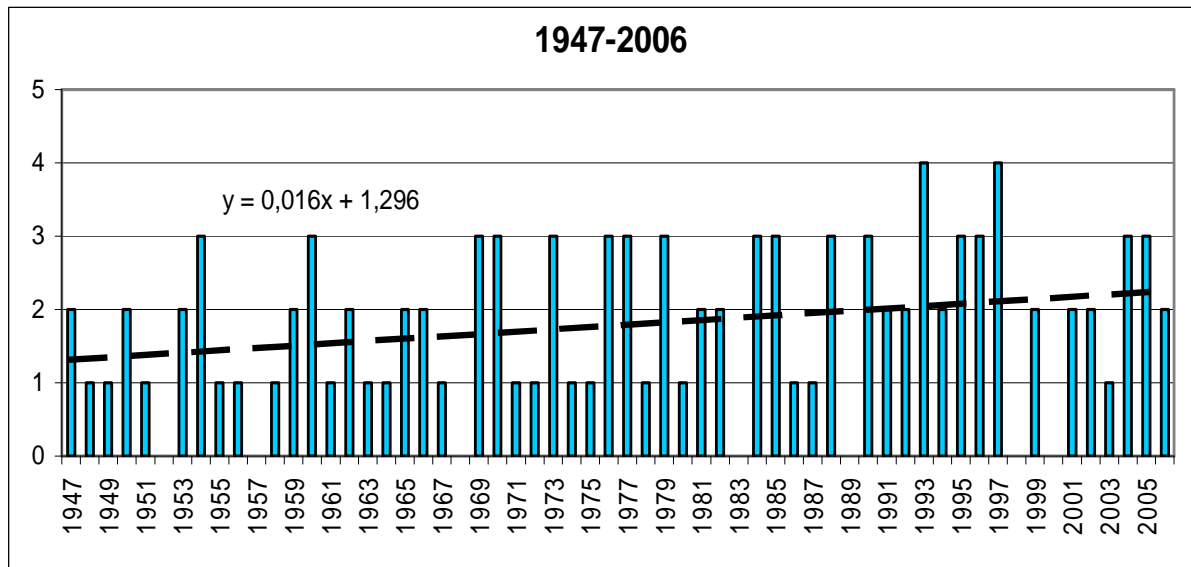
Aby dodatkowo scharakteryzować niskie poziomy wody w ujściowym odcinku Odry przeanalizowano w niniejszej pracy daty wystąpienia minimalnych miesięcznych poziomów wody w stacjach wodowskazowych z okresu 1961-1990. Analiza polegała na wyznaczeniu ilości zgodnych wystąpień minimów miesięcznych poziomów wody w przedziale czasowym od doby do maksymalnie trzech dni opóźnienia w wystąpieniu minimum pomiędzy stacjami wodowskazowymi: Świnoujście – Trzebież, Świnoujście - Szczecin oraz Trzebież – Szczecin. Wyniki prezentuje tabela 3.

Tabela 3. Ilość zgodnych wystąpień minimów miesięcznych poziomów wody w przedziale od 0 do 3 dni pomiędzy stacjami wodowskazowymi ujściowego odcinka Odry z okresu 1961-1990.

Ilość zgodnych wystąpień minimów miesięcznych poziomów wody		
Świnoujście – Trzebież	Świnoujście - Szczecin	Trzebież – Szczecin
184 (51,1 %)	172 (47,8 %)	278 (77,2 %)
Trzebież - Świnoujście	Szczecin - Świnoujście	Szczecin-Trzebież
38 (10,6%)	45 (12,5 %)	35 (9,7%)
Razem: 22 (61,7 %)	Razem: 217 (60,3%)	313 (86,9%)

W pracy wyznaczono również ilość zgodnych wystąpień minimów rocznych poziomów wody pomiędzy stacjami wodowskazowymi w ujściu Odry w latach 1948-2006. Pomiędzy stacjami Świnoujście – Trzebież wystąpiło 28 minimów rocznych w tym samym miesiącu (47,5 %), pomiędzy Świnoujściem a Szczecinem 22 zgodne minima roczne (37,3%) oraz pomiędzy Szczecinem i Gozdowicami tylko zgodne są czasowo 2 minima roczne (3,3%).

Uzyskane wyniki zgodnych wstąpień zarówno minimów miesięcznych jak i minimów rocznych poziomów wody świadczą o dominującym wpływie czynnika morskiego w inicjacji minimalnych poziomów wody dla stacji wodowskazowych Szczecin i Trzebież. Występowania niskich poziomów wody występuję wówczas w trakcie sztormowych wahań poziomu morza w ich ujemnej fazie. Zjawisko to w ostatnich 60 latach ulega nasileniu. Ilość obniżeń sztormowych poziomów morza ($\leq 430\text{cm N.N.}$) na polskim wybrzeżu wzrasta średniorocznie z 1,3 do 2,2 (rys. 6).



Rys. 6. Ilość obniżeń sztormowych poziomów morza ($\leq 430\text{cm N.N.}$) na polskim wybrzeżu w poszczególnych latach i ich tendencja zmian w okresie 1947-2006 (Wiśniewski, Wolski 2009).

W samym Świnoujściu w okresie 1947-2007 wystąpiło 104 obniżenia sztormowe poziomu morza $\leq 430\text{cm N.N.}$ oraz 6 obniżenia poziomu morza $\leq 400\text{ cm N.N}$ czyli 1 metr lub więcej od średniego wieloletniego poziomu wód (Wiśniewski, Wolski 2009).

4. WYNIKI TEORETYCZNYCH, MINIMALNYCH POZIOMÓW WÓD DLA POSZCZEGÓLNYCH STACJI WODOWSKAZOWYCH I ICH PRAWDOPODOBIENSTWO WYSTĄPIENIA

W niniejszej pracy minimalne poziomy wody z ich prawdopodobieństwem wystąpienia wyznaczono w oparciu o rozkład Pearsona III typu i Fishera – Tipetta, III typu (tabele 4-5). Dla sprawdzenia zgodności przyjętych rozkładów teoretycznych z rozkładami empirycznymi użyto testu Kołmogorowa (tabela 6). Wyniki tych obliczeń testowych nie prowadzą do odrzucenia wcześniej przyjętej hipotezy o zgodności tych rozkładów.

Tabela 4. Teoretyczne, minimalne poziomy wody i ich prawdopodobieństwo wystąpienia dla stacji Gozdowice i Szczecina (Most Długi) za okres 1948- 2007

T (lata)	F(X)	Gozdowice		Szczecin	
		r. Fishera – Tippetta, t. III	rozkład Pearsona t. III	r. Fishera – Tippetta, t. III	rozkład Pearsona t. III
1000	0,1%	127,6	130,8	424,7	406,3
500	0,2%	129,1	131,8	426,6	412,0
200	0,5%	131,9	132,1	429,7	419,6
100	1%	135,1	134,1	432,5	425,4
50	2%	139,4	137,2	435,7	431,2
20	5%	148,0	143,6	440,9	439,2
10	10%	157,7	151,4	445,6	445,5
5	20%	172,0	163,6	451,5	452,4
3,33	30%	183,8	174,2	455,7	456,9
2	50%	205,7	194,5	462,4	463,5
1,33	75%	237,0	224,4	470,5	470,7
1,25	80%	245,2	231,8	472,4	472,3
1,11	90%	267,3	251,9	477,2	476,2
1,01	99%	322,1	293,0	487,8	483,8

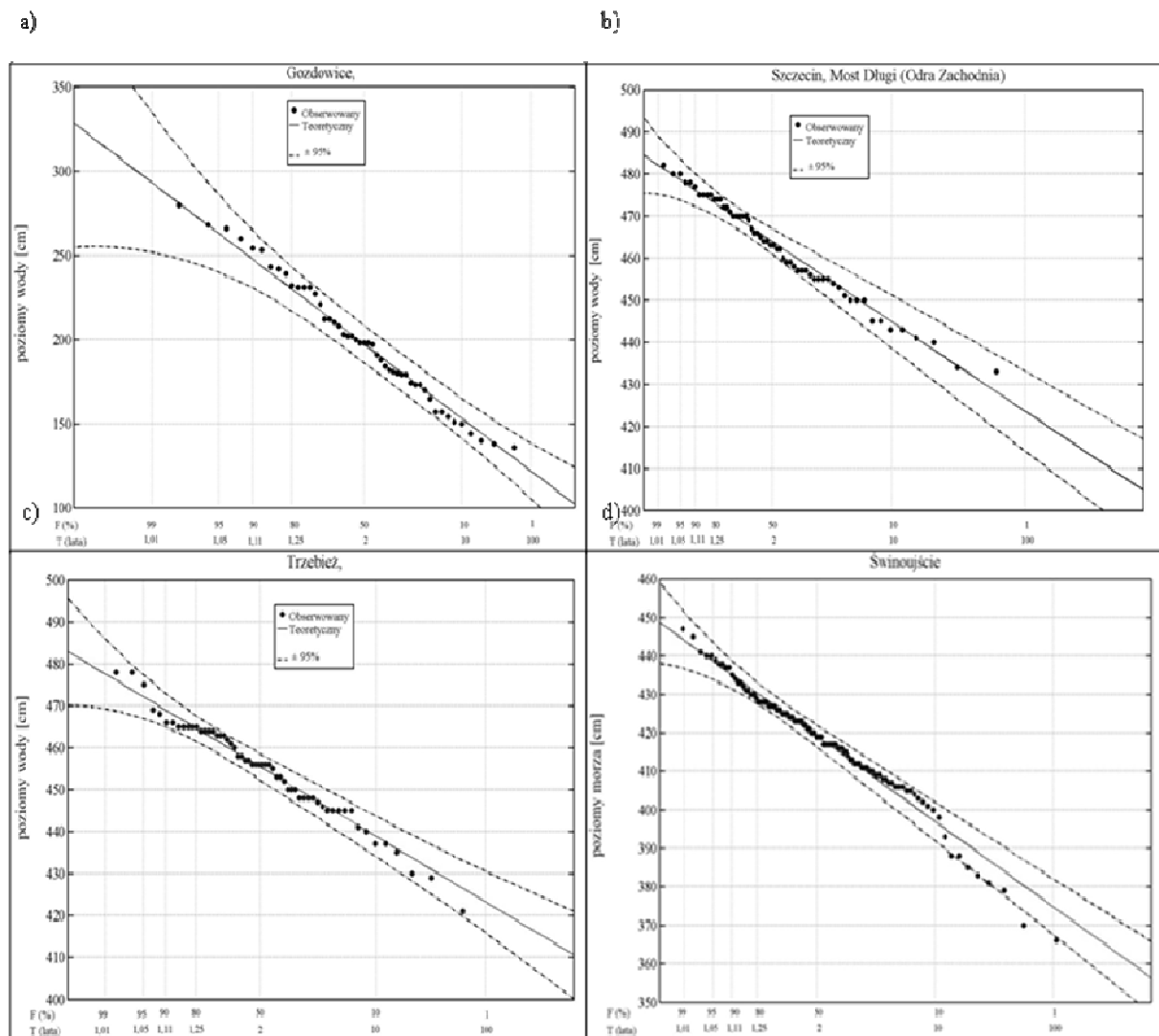
Tabela 5. Teoretyczne, minimalne poziomy wody i ich prawdopodobieństwo wystąpienia dla stacji Trzebież okres 1948-2007 i Świnoujście za okres 1901-2006

T (lata)	F(X)	Trzebież		Świnoujście	
		r. Fishera – Tippetta, t. III	rozkład Pearsona t. III	r. Fishera – Tippetta, t. III	rozkład Pearsona t. III
1000	0,1%	406,2	409,6	350,1	348,6
500	0,2%	410,3	413,5	356,4	355,8
200	0,5%	416,1	418,7	365,2	365,2
100	1%	420,8	422,9	372,0	372,4
50	2%	425,8	427,3	379,2	379,7
20	5%	432,9	433,7	389,2	389,5
10	10%	438,8	439,0	397,2	397,3
5	20%	445,3	445,0	405,8	405,8
3,33	30%	449,6	449,1	411,4	411,3
2	50%	455,9	455,5	419,6	419,3
1,33	75%	462,9	462,9	428,3	428,2
1,25	80%	464,5	464,6	430,3	430,1
1,11	90%	468,3	468,9	435,0	434,9
1,01	99%	476,0	477,8	444,3	444,2

Tabela 6. Wyniki testu Kołmogorowa dla 2 rozkładów wyznaczania teoretycznych, minimalnych poziomów wody dla poszczególnych stacji w dolnym odcinku Odry.

Stacje	λ_{kr}/\sqrt{N} dla $\alpha = 1\%$	λ_{kr}/\sqrt{N} dla $\alpha = 5\%$	D_{max}	
			r. Fishera – Tippetta, t. III	r. Pearsona, typ III
Gozdowice	0,20844	0,17373	0,07	0,06
Szczecin Most Długi	0,20844	0,17373	0,12	0,08
Trzebież	0,20844	0,17373	0,14	0,08
Świnoujście	0,15822	0,1319	0,06	0,06

Za najbardziej dopasowane do wieloletnich ciągów obserwacyjnych są teoretyczne, minimalne poziomy wody i ich prawdopodobieństwo wystąpienia wyznaczone rozkładem Pearsona. Potwierdzają to wyniki testu istotności oraz wykresy zamieszczone na rysunku 7. W drugiej kolejności dobrze prezentuje rzeczywiste, minimalne poziomy wód, poziomy teoretyczne obliczone rozkładem Fishera – Tipetta typ III. Inne rozkłady statystyczne nie spełniały takich warunków.



Rys. 7. Prawdopodobieństwo wystąpienia minimalnych rocznych poziomów wód na 3 stacjach ujściowego odcinka Odry w okresie 1948-2007 oraz w Świnoujściu 1901-2007 (rozkład Pearsona, III typ, metoda największej wiarygodności)

Gozdowice są stacją wodowskazową, w której mogą wystąpić wyraźnie najniższe, z teoretycznych, minimalnych poziomów wody (130,8 cm N.N. – czyli 189,2 cm poniżej zera wodowskazu dla kwantyla 0,1%). W pozostałych rzecznych stacjach wodowskazowych wartości górnego kwantyla minimalnych poziomów wód są wyższe i kształtują się około 1 m poniżej zer wodowskazów (Szczecin Most Długi - 406,3 cm N.N., Trzebież 409,6 cm

N.N.). Dla stacji morskiej w Świnoujściu poziom wody 1000- letniej wg. rozkładu Pearsona wynosi 348,6 cm czyli ponad 1,5 m poniżej zera wodowskazu = -500 N.N. Kolejno można też rozważać inne prawdopodobieństwa wystąpienia minimalnych poziomów wód . Graficzny obraz tych zależności prezentują wykresy na rysunku 7 dla poszczególnych stacji wodowskazowych dolnego odcinka Odry. Uzyskane wyniki wskazują na typowo rzeczny charakter wahań poziomów wód dla stacji wodowskazowej Gozdowice i morskie zmiany poziomu wód dla stacji Szczecin Most Długi (Odra Zachodnia) i Trzebież (Roztoka Odrzańska) .

Dyskusja wyników teoretycznych, prawdopodobnych minimalnych poziomów wód.

W polskiej literaturze przedmiotu metody wyznaczania prawdopodobieństwa ekstremalnych poziomów wody opisał w swoich pracach A. Wróblewski (1970, 1982), Buchholz W.(1990, 1991), Massel S. (red.) (1992) oraz Jednorął T, Sztobryn M., Miłkowska M. (2008). W niniejszym pracy ujęto charakterystykę teoretycznych, minimalnych poziomów wody i prawdopodobieństwo ich wystąpienia dla czterech reprezentatywnych stacji wodowskazowych dolnego odcinka Odry oraz stacji morskiej Świnoujście . Najcenniejszą publikacją pod względem metodycznym dotyczącą tego regionu jest publikacja W. Buchholza (1991), z którym celowe jest porównać wyniki bieżących badań. Porównanie wyników teoretycznych poziomów wody dla wybranych kwantyli wyznaczonych przez W. Buchholza oraz autorów publikacji dla stacji Gozdowice i Trzebież prezentuje tabela 7. Można było dokonać porównań minimalnych poziomów wód obliczonych rozkładem Fishera –Tippetta, typ III jaki zastosował Buhcholz W. (1991).

Tabela 7. Teoretyczne, minimalne poziomy wody i ich prawdopodobieństwo wystąpienia dla stacji Gozdowic i Trzebieży wg. Buhcholz W. (1991) oraz autorów pracy.

T (lata)	F(X) (%)	Minimalne poziomy wody [cm]			
		Wyniki autorów		Wyniki W. Buchholza	
		Gozdowice (r. Fishera – Tippetta, typ III)	Trzebież (r. Fishera – Tippetta, typ III)	Gozdowice (r. Fishera – Tippetta, typ III)	Trzebież (r. Fishera – Tippetta, typ III)
1000	0,1%	127,6	406,2	73	417
100	1%	135,1	420,8	104	429
20	5%	148,0	432,9	131	438
10	10%	157,7	438,8	146	443
2	50%	205,7	455,9	198	457
1,33	75%	237,0	462,9	225	463
1,11	90%	267,3	468,3	250	468
1,01	99%	322,1	476,0	292	475

Porównując wyniki teoretycznych, minimalnych poziomów wody dla stacji Trzebież wyznaczonych w niniejszej pracy z wynikami W. Buchholza (1991), można zaobserwować niewielkie, kilkucentymetrowe różnice dla różnych kwantyli. Różnice te mogą być spowodowane różnymi zakresami serii obserwacyjnych poziomów wód (analizowane w pracy serie obserwacyjne są dłuższe o 18 lat niż w pracy W. Buchholza). Wyraźnie większe różnice w wyznaczonych, teoretycznych poziomach wody występują dla stacji Gozdowice,. Dla kwantyla 0,1% różnica ta wynosi 54 cm. Prawdopodobną przyczyną powyższej różnicy (oprócz różnych długości serii obserwacyjnych) jest odmienny sposób wyznaczenia dolnego ograniczenia rozkładu ε w rozkładzie Fishera –Tippetta, typ III. W. Buchholz wyznaczając dolne ograniczenie rozkładu prawdopodobnie przyjął historyczny, najniższy zaobserwowany poziom wody 73 cm (dane archiwalne niemieckie z XIX w) W niniejszej pracy autorzy wyznaczyli dolne ograniczenie rozkładu ε ze wzoru (10) wykorzystując przy tym najniższy poziom wody ze współczesnej, analizowanej serii obserwacyjnej równy 136 cm .

5. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki wskazują na typowo rzeczny charakter wahań poziomów wody dla stacji wodowskazowej Gozdowice i morskie oddziaływanie na zmiany poziomu wody dla pozostałych stacji wodowskazowych w dolnym odcinku Odry: Szczecin (Odra Zachodnia), i Trzebież (Roztoka Odrzańska) .

W Gozdowicach ekstrema poziomu wód (maksimum i minimum) występują latem, w pozostałych stacjach w okresie jesienno-zimowym tak jak w morzu. Brak też korelacji niskich poziomów wód w Gozdowicach (niżówki) z rozważanymi stacjami wodowskazowymi w ujściu rzeki Odry .

Odmiennie kształtują się poziomy wód na śródlądowym, ujściowym odcinku Odry, które reprezentowane są przez stacje Szczecin i Trzebież. Potwierdzają to wyniki zgodnych wstąpień zarówno minimów miesięcznych jak i minimów rocznych poziomów wody, które świadczą o dominującym wpływie czynnika morskiego w inicjacji minimalnych poziomów wody dla tych stacji śródlądowych.

Kilkudniowe lub kilkunastodniowe niskie poziomy wód w morzu odzwierciedlają się na stacjach wód śródlądowych a w wyjątkowych przypadkach mogą być odnotowywane także w Gozdowicach jeżeli na rzece występują przeciętne przepływy wód. Natomiast kilkugodzinne, gwałtowne zmiany obniżenia poziomu wód w morzu (Świnoujście) w mniejszym stopniu wpływają na obniżenie poziomu wód w ujściowym odcinku Odry.

Wyniki uzyskane z obliczeń prawdopodobieństwa niskich poziomów wody dla stacji wodowskazowych dolnego odcinka Odry mogą mieć zastosowanie w hydrologicznych uwarunkowaniach prowadzenia żeglugi śródlądowej. Wskazane jest wykorzystać rozkłady prawdopodobieństwa do wyznaczania dodatkowych parametrów żeglugowych np. określenia średniej niskiej wody żeglownej (SNWŻ) i głębokości tranzytowych.

Oprócz rozpoznania charakterystyki hydrologicznej obszaru ujściowego Odry wyznaczone w niniejszej pracy niskie poziomy wody o zadanym prawdopodobieństwie ich wystąpienia, mogą być wykorzystane przy projektowaniu rzecznych budowli hydrotechnicznych, a także w zarządzaniu terenami zalewowymi i polderami.

NISKIE POZIOMY WODY W UJŚCIOWYM ODCINKU ODRY

Streszczenie

W pracy scharakteryzowano niskie poziomy wód w ujściowym odcinku rzeki Odry od Gozdowice do Świnoujścia. Wyniki wskazują na typowo rzeczny charakter wahań poziomów wody dla stacji wodowskazowej Gozdowice i morskie oddziaływanie na zmiany poziomu wody dla pozostałych stacji wodowskazowych w dolnym odcinku Odry. Uzyskano czasową zgodność wystąpienia minimów miesięcznych i rocznych poziomów wód dla stacji Szczecin, Trzebież i Świnoujście. Określono teoretyczne, niskie poziomy wody o zadanym prawdopodobieństwie ich wystąpienia. Wyniki analiz prawdopodobieństwa mogą mieć zastosowanie w projektowaniu morskich i rzecznych budowli hydrotechnicznych oraz w zachowaniu w bezpieczeństwa żeglugi śródlądowej.

LOW LEVELS OF WATER IN THE SECTION OF ODRA ESTUARY

Abstract

In this work one characterized low waters levels in the lower section of the Odra river from Gozdowice to Świnoujście. Results indicate the typical, fluvial character of fluctuations of water levels at the gauge station Gozdowice and the sea-influence on changes of the water level for remaining water gauge stations, in the lower section of the Odra river. One obtained the accordancy of the appearance of monthly and annual water levels minimum for the gauge stations Szczecin, Trzebież and Świnoujście. In this work also has been determined the occurrence probability of low water levels. Results of analyses of the probability can be applied in the designing of sea- and river- hydraulic engineering buildings and in the preservation of the safety of the inland navigation.

LITERATURA

- [1] Buchholz W., 1990, - Materiały do monografia Dolnej Odry. Warunki hydrologiczno-hydrodynamiczne, Prace IBW PAN, Nr 22, Gdańsk
- [2] Buchholz W., 1991 - Monografia Dolnej Odry. Hydrologia i hydrodynamika. Prace IBW PAN, Nr 25, Gdańsk
- [3] Byczkowski A., 1996, - Hydrologia tom I i II, Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- [4] Jednorał T., Sztobryn M., Miłkowska M., 2008 – Zastosowanie modelu statystyk pozycyjnych do prognozowania ekstremalnych poziomów Morza Bałtyckiego w polskiej strefie brzegowej, [w:] Inżynieria Morska i Geotechnika, nr.5, str. 257-263
- [5] Kaczmarek Z., 1970 - Metody statystyczne i meteorologiczne w hydrologii i meteorologii. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- [6] Kaczmarek Z., Trykozko E., 1964- Application of the Method of Quantiles to Estimation of the Pearson Distribution [w:] Acta Geophysica Polonica tom 12, zeszyt 1
- [7] Majewski A., Dziadziuszko Z. 1985 - Niskie stany wody południowego Bałtyku. Materiały monograficzne.,: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa,
- [8] Massel S. (red.), 1992 - Poradnik hydrotechnika. Obciążenia budowli hydrotechnicznych wywołane przez środowisko morskie. Wyd. Morskie Gdańsk
- [9] Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997 - Hydrologia stosowana, Wyd. PWN, Warszawa
- [10] Sztobryn M., Weidig B., Stanisławczyk I., Holfort J., Kowalska B., Mykita M., Kańska A., Krzysztofik K., Perlet I., 2009, Negative Surges in the Southern Baltic Sea (Western and Central Parts), Report No. 45, Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg and Rostock, 71 pp.
- [11] Wiśniewski B 1997 – Zmienność zapasu wody pod stępką statku w czasie wezbrań sztormowych [w:] Inżynieria Morska i Geotechnika nr 5, str. 325-327
- [12] Wiśniewski B. 2007, - Ekstremalne poziomy morza w polskich portach. [w:] – Regionalne Problemy Ochrony Środowiska „XV Seminarium Naukowe” str. 143-151, Wyd. Politechnika Szczecińska
- [13] Wiśniewski B., Wolski T., 2009, Katalogi wezbrań i obniżeń sztormowych poziomów morza oraz ekstremalne poziomy wód na polskim wybrzeżu, Wyd. Akademia Morska, Szczecin pp. 158,
- [14] Wróblewski A., 1970 – Występowanie minimalnych rocznych stanów wody w Południowym Bałtyku, (Na podstawie wyników obserwacji w Nowym Porcie w latach 1886-1939 i 1946-1966) [w:] Przegląd Geofizyczny, rocznik XV, zeszyt nr 1, str. 69-83
- [15] Wróblewski A. 1982 – Prawdopodobieństwo minimalnych rocznych poziomów Morza Bałtyckiego w Nowym Porcie, Kołobrzegu i Świnoujściu. [w:] Archiwum Hydrotechniki, tom 29, zeszyt 4, str. 507-516

ŹRÓDŁA DANYCH:

- [16]Dzienniki Portowe i baza danych VTS portów Szczecin, Trzebież, Świnoujście, www.ums.gov.pl,
- [17]GeoSerwer: Baza danych hydro-meteorologicznych zakupiona w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w ramach grantu (Nr projektu badawczego: PBZ-KBN-086/P04/2003,) *Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce* - pkt 5.6.3 i umieszczona na serwerze Uniwersytetu Śląskiego <https://geo.wnoz.us.edu.pl>
- [18]Informator Nawigacyjny RZGW w Szczecinie , Śródlądowe Drogi Wodne w Regionie Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego, <http://rzgw.szczecin.pl>
- [19]Morski Komunikat Hydrologiczno-Meteorologiczny, (roczniki 1961-1990), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Wyd. IMGW, Oddział Morski, Gdynia
- [20]Rocznik Hydrograficzny Morza Bałtyckiego (roczniki 1947-1970), - Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny ,Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
- [21]Rocznik Hydrograficzny Wód Powierzchniowych, Dorzecze Odry i rzeki Przymorza między Odą i Wisłą (roczniki 1948-1983)
- [22]Warunki środowiskowe polskiej strefy południowego Bałtyku (roczniki 1986-2001), Materiały Oddziału Morskiego IMGW, Gdynia
- [23]Strony internetowe IMGW - <http://www.imgw.pl>, <http://www.pogodynka.pl>
- [24]Strona internetowa Urzędu Środowiska Landu Brandenburgia <http://www.luis-bb.de>