

Władysław BUCHHOLZ¹

Analiza potrzeb i możliwości uzyskania głębokości 1,80 m na Odrze granicznej przy możliwie największej gwarancji

1. WSTĘP

Odra wraz z kanałem Gliwickim jest najważniejszą drogą wodną w Polsce. Na odcinku granicznym posiada ważne połączenia – przez kanał Odra – Szprewa na południu i Odra – Havela na północy – z Berlinem i dalej z zachodnio – europejskim systemem dróg wodnych śródlądowych. Odra jest drugą co do wielkości rzeką w Polsce. Powierzchnia dorzecza – liczona do Rostoki Odrzańskiej – wynosi 118 611 km², długość rzeki ok. 847 km (od źródeł do jeziora Dąbie), długość drogi wodnej 741,60 km liczona od ujścia Opawy w Ostrawie – km 0,00 (ok. 105 km biegu rzeki) do ujścia Odry Wschodniej do jez. Dąbie – km 741,60 Odrzańskiej Drogi Wodnej (ODW).

Na odcinku od ujścia Nysy Łużyckiej – km 542,40 ODW – do węzła Widuchowa – km 704,10, Odra jest rzeką graniczną i wszystkie przedsięwzięcia podejmowane są wspólnie przez strony polską i niemiecką. Jednym z takich ważnych przedsięwzięć jest wspólne, prawie coroczne prowadzenie akcji lodołamania w okresie zimowym mające na celu zmniejszenie zagrożeń powodziowych na Odrze granicznej. Prowadzenie tych wspólnych akcji napotyka na coraz większe trudności wynikające z ciągłego, coraz większego wypłykania się rzeki. Szacuje się, że średnie roczne wypłykanie rzeki wynosi minimum 1 cm rocznie w wieloleciu [4]. Jest to wynikiem wieloletnich zaniedbań w utrzymaniu istniejącego systemu regulacji, który praktycznie uznać można już za zniszczony. Akcje lodołamania prowadzi się często przy występujących wówczas głębokościach na wielu odcinkach mniejszych od 1,60 m. Zanurzenie największych lodołamaczy wynosi 1,65 m co w sytuacji występowania małych głębokości znacznie utrudnia z czasami wręcz uniemożliwia prowadzenie akcji lodołamania.

Istnieje więc pilna potrzeba doprowadzenia Odry granicznej do takiego stanu aby na całej jej długości uzyskać głębokość 1,80 m przy możliwie najwyższej gwarancji min. 85% tj. przez ok. 310 dni w roku.

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Budownictwa Wodnego

2. STAN ISTNIEJĄCY KORYTA ODRY GRANICZNEJ I WARUNKI HYDROLOGICZNE

Odra graniczna w opracowaniu niniejszym jest rozumiana jako odcinek od ujścia Nysy Łużyckiej (km 542,4) do Widuchowej (km 704,1). Na analizowanym odcinku Odra przyjmuje jeden duży – prawobrzeżny dopływ – Wartę w km 617,6 drogi wodnej.

Odra graniczna na analizowanym odcinku charakteryzuje się stosunkowo dużymi zmianami szerokości koryta rzeki (od ok. 165 do ok. 275 m) jak również stosunkowo dużymi zmianami szerokości regulacyjnej. Jest to prawdopodobnie jedną z przyczyn powstawania na Odrze granicznej tzw. odcinków zatorogennych w istotny sposób utrudniających prowadzenie akcji lodołamania jak i żeglugę. Drugim czynnikiem negatywnie wpływającym na stan koryta rzeki są często występujące, silnie uszkodzone lub zniszczone budowle regulacyjne.

Szacuje się też, że przy przepływie SNQ głębokości na odcinku od ujścia Nysy Łużyckiej do Warty są rzędu 0,95 m, a na odcinku od ujścia Warty do rejonu Hohensaaten ok. 1,20 m (0,80 ÷ 1,50 m), poniżej zaś rzędu 1,20 ÷ 1,80 m [1, 2]. Te bardzo małe głębokości, oprócz wcześniej wymienionych przyczyn, są prawdopodobnie także efektem nienajlepiej (wg dzisiejszych standardów) przeprowadzonej w latach dwudziestych XX w regulacji oraz bardzo dużymi zmianami zabudowy hydrotechnicznej zlewni (zbiorniki na dopływach) jakie nastąpiły do chwili obecnej.

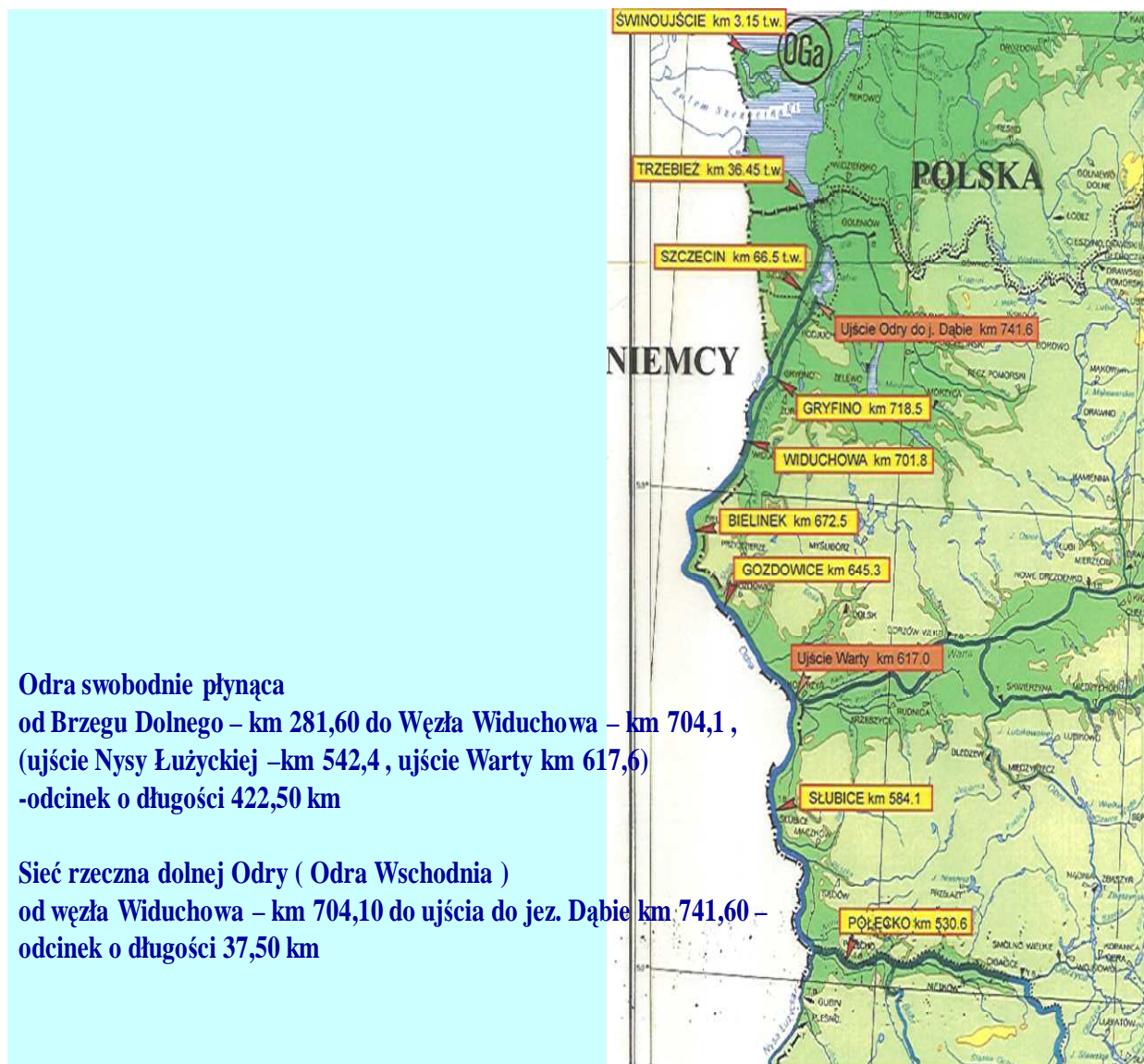
Analizując z kolei wielkości i ilości dopływów do Odry przyjęto, że uznać można z pomijalnie małym błędem, iż przepływ wody na odcinku od ujścia Nysy Łużyckiej do Warty jest stały oraz na odcinku od Warty do Widuchowej także jest stały aczkolwiek inny niż na poprzednim odcinku.

Analizując dalej warunki hydrauliczne wynikające m.in. ze spadków zwierciadła wody [2] stwierdzić można że wyraźniejsze zmiany spadków (nie lokalne) występują w rejonie Słubice, w rejonie ujścia Warty, w Gozdowicach, Bielinku i w samym rejonie węzła Widuchowa. Mając to na uwadze oraz chcąc przyjąć do dalszych badań i analiz odcinki w miarę jednorodne, przyjęto dalej podział Odry granicznej na pięć odcinków gdzie panują w miarę jednorodne warunki hydrauliczne:

- odcinek I – Nysa – Słubice – km 542,4 ÷ km 584,1 (L=41,7 km);
- odcinek II – Słubice – Warta – km 584,1 ÷ km 617,6 (L=33,5 km);
- odcinek III – Warta – Gozdowice – km 617,6 ÷ km 645,3 (L=37,7 km);
- odcinek IV – Gozdowice – Piasek – km 645,3 ÷ km 680,0 (L=34,7 km);
- odcinek V – Piasek – Ognica – km 680,0 ÷ km 695,0 (L=15,0 km).

Przyjęty podział na przedmiotowe odcinki spowodował dalej wybór przekrojów pomiarowych do pomiarów terenowych w trakcie których pobierano zarówno rumowisko z dna rzeki celem określenia ich parametrów jak i mierzono rozkłady prędkości, parametry geometryczne koryta (sondaże) oraz spadki lokalne.

Mapę Odry granicznej z lokalizacją wodowskazów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Odra graniczna z lokalizacją wodowskazów.

Ostatecznie wytypowano 7 głównych przekrojów pomiarowych i 6 tzw. „węzłowych”, skąd wyniki pomiarów wykorzystane zostaną w dalszych badaniach (3 przekroje – węzeł Widuchowa, 3 przekroje – węzeł Warta).

Przekroje pomiarowe dla potrzeb niniejszej pracy zlokalizowano w następujących miejscach:

- przekrój nr 1 – „Urad” – km 558,5;
- przekrój nr 2 – „Słubice” – km 585,4;
- przekrój nr 3 – „Górzycza” – km 604,2;
- przekrój nr 7 – „Kaleńsko” – km 623,8;
- przekrój nr 8 – „Gozdowice” – km 645,3;
- przekrój nr 9 – „Bielinek” – km 674,0;
- przekrój nr 10 – „Ognica” – km 695,2.

Ponadto w węźle „Warta” zlokalizowano przekroje nr: 4, 5, 6, a w węźle „Widuchowa” przekroje nr: 11, 12, 13.

Parametry geometryczne odcinków zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry geometryczne odcinków Odry granicznej.

Nr odcinka	Kilometr drogi wodnej	Uśredniony spadek zwierciadła wody	Szerokości koryta od – do [m]	Szerokości regulacyjne od – do [m]
I	542,4 ÷ 584,1	0,00028	164 ÷ 238	95 ÷ 130
II	584,1 ÷ 617,6	0,00026	158 ÷ 226	95 ÷ 140
III	617,6 ÷ 645,3	0,00017	196 ÷ 281	150 ÷ 210
IV	645,3 ÷ 680,0	0,00015	197 ÷ 278	160 ÷ 220
V	680,0 ÷ 695,0	0,00006	180 ÷ 251	160 ÷ 200

Przeprowadzone pomiary terenowe (pobranie próbek rumowiska, określenie późniejszej średnic miarodajnych, pionowe pomiary rozkładów prędkości wody) pozwoliły następnie określić wielkości współczynników szorstkości dla poszczególnych odcinków oraz określić zależności prędkości granicznych nierozmywających (V_{gr}) od głębokości (H).

Warunki hydrologiczne

Warunki hydrologiczne dla analizowanego odcinka Odry granicznej określono wprost z zakupionych dla potrzeb niniejszej pracy danych z IMGW Warszawa.

Miarodajnymi wodowskazami dla Odry granicznej są:

- wodowskaz Słubice dla odcinka od Nysy Łużyckiej do Warty,
- wodowskaz Gozdowice dla odcinka od Warty do Widuchowej.

Wodowskaz Słubice

Rzeka: Odra,

Powierzchnia zlewni: $A = 53\,382,0 \text{ km}^2$,

Kilometr drogi wodnej: 584,1 km,

Poziom zera wodowskazu: + 17,446 m npm. wg Kr.

Wodowskaz Gozdowice

Rzeka: Odra,

Powierzchnia zlewni: $A = 109\,729,1 \text{ km}^2$,

Kilometr drogi wodnej: 645,3 km,

Poziom zera wodowskazu: + 3,020 m npm. wg Kr.

Dalej przedstawiono przepływy i stany charakterystyczne:

- średni z minimalnych z wielolecia – SNQ ,
- średni z wielolecia – SSQ , oraz

przepływy gwarantowane ($Q_{gwar.p\%}$) uzyskane z teoretycznej krzywej sum czasów trwania przepływów wraz z wyższymi.

Dane zestawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Przepływy i stany charakterystyczne dla wodowskazów Słubice i Gozdowice z okresu obserwacji 1976 ÷ 2005.

Wodowskaz	Przepływy $Q [m^3/s]$		Stany [cm]	
	SNQ	SSQ	SNW	SSW
Słubice	138	314	131	235
Gozdowice	251	539	210	334

Tabela 3. Przepływy gwarantowane $Q_{gwar.p\%}$ z krzywej sum czasów trwania wraz z wyższymi dla wodowskazów Słubice i Gozdowice z okresu 1976 ÷ 2005.

Wodowskaz	czas trwania [% dni]						
	przepływ $Q [m^3/s]$						
	50%	66%	75%	80%	85%	90%	95%
Słubice	268	219	190	176	159	143	124
Gozdowice	467	383	342	314	285	258	231

Dane te wykorzystano do dalszych badań, obliczeń i analiz.

3. WARUNKI HYDRAULICZNE

Obliczenia granicznych prędkości nierozmywających (V_{gr}) przeprowadzono przy pomocy szeregu różnych metod [2, 3] stosowanych dla rzek nizinnych.

Współczynniki szorstkości „ n ” określono na podstawie pomiarów terenowych:

- odcinek I – $n = 0,0305$,
- odcinek II – $n = 0,0300$,
- odcinek III – $n = 0,0290$,
- odcinek IV – $n = 0,0260$,
- odcinek V – $n = 0,0230$.

Określenie i przyjęcie wartości współczynników szorstkości „ n ” prowadzi wprost do możliwości obliczenia wielkości prędkości granicznej V_{gr} (tzn. prędkości powyżej której powstaje intensywny ruch rumowiska dennego) i głębokości granicznej H_{gr} jaka musi panować w przekroju aby jednocześnie występowała prędkość graniczna. Do tego celu służy określona wcześniej zależność:

$$V_{gr} = a \cdot H_{gr}^c$$

Zakładając dalej, że teoretyczny przekrój regulacyjny jest trapezem, którego szerokość w dnie wynosi „ b ”, przyjmuje się, że na całej szerokości koryta „ b ” (czyli poza strefami brzegowymi) panować muszą prędkości graniczne V_{gr} rozumiane jako średnie prędkości w pionie, które określić można z zależności Chèzy – Manninga:

$$v_{gr} = \frac{1}{n} J^{1/2} H_{gr}^{2/3} \quad /1/$$

gdzie V_{gr} jako funkcja H_{gr} jest jednocześnie określona funkcją potęgową:

$$v_{gr} = a \cdot H_{gr}^c \quad /2/$$

Podstawiając zależności /2/ do zależności /1/ otrzymuje się:

$$a \cdot H_{gr}^c = \frac{1}{n} J^{1/2} H_{gr}^{2/3} \quad /3/$$

(gdzie „ a ” oraz „ c ” – współczynniki funkcji potęgowej – rys. 2) skąd wprost można określić wartości głębokości granicznej H_{gr} a następnie obliczyć wartości V_{gr} dla poszczególnych odcinków.

Celem hydraulicznych obliczeń parametrów geometrycznych przekroju regulacyjnego koryta Odry granicznej jest określenie:

- szerokości regulacyjnej przekroju w dnie – „ b ”,
- szerokości regulacyjnej przekroju na poziomie wody średniej SSQ – „ B ”,
- nachylenia skarp przekroju – „ m ” (1 : m),
- określenia wielkości przepływu Q jaki musi wystąpić aby uzyskać żadaną głębokość $h = 1,80 \text{ m}$ i gwarancji $p\%$ wystąpienia takiego przepływu.

Parametry te poszukiwane będą oddzielnie dla każdego odcinka.

Zakłada się dalej, że uzyskać będzie można szereg rozwiązań spełniających określone wymogi, przy czym dopiero po szczegółowej analizie uzyskanych wyników zaproponuje się ostateczne wyniki oraz sposoby i miejsca połączenia odcinków regulacyjnych o spodziewanych różnych szerokościach.

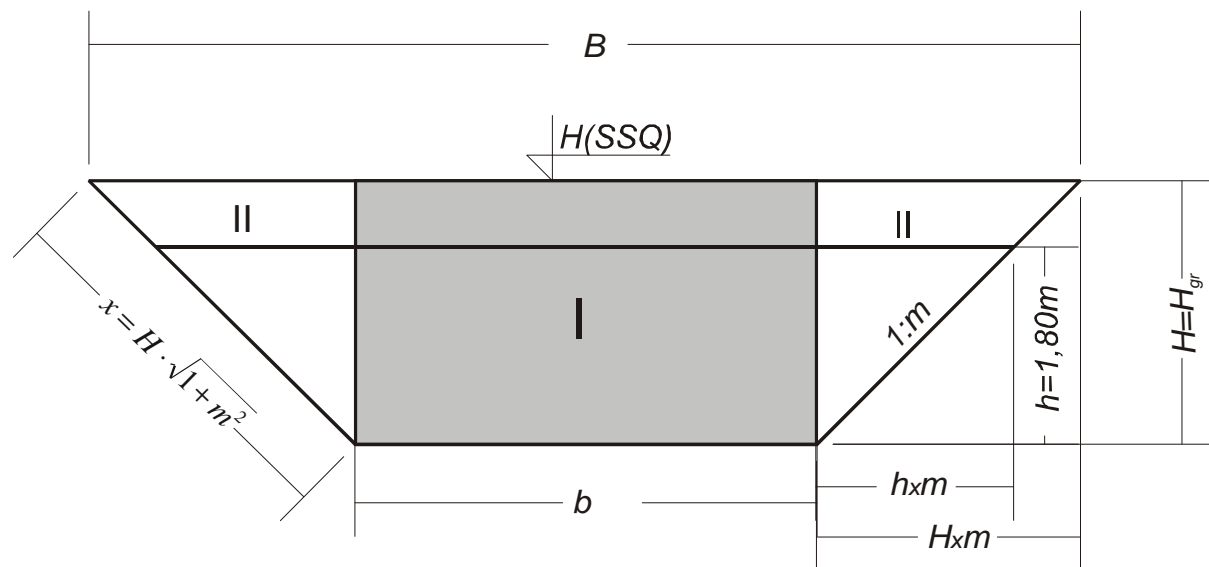
ZAŁOŻENIA

Podstawowym założeniem jest tutaj przyjęcie przekroju trapezowego (przekrój teoretyczny) jako podstawowego i praktycznego dla całego odcinka Odry granicznej.

Podstawowym założeniem hydraulicznym z kolei jest przyjęcie, że koryto musi być w równowadze przy przepływie średnim. Z założenia tego wynika wprost, że prędkości średnie w pionie na całej szerokości „ b ” (szerokość w dnie przekroju trapezowego), muszą być równe prędkości granicznej V_{gr} przy przepływie średnim SSQ a głębokości w tej części koryta muszą być równe $H = H_{gr}$.

Zakłada się dalej, rozpatrując tutaj przepływy średnie i niskie, że w całym odcinku Odry granicznej panują warunki ruchu jednostajnego i obowiązuje tym samym formuła Chézy – Manninga do opisu ruchu wody. Założenie takie przyjmuje się konsekwentnie aby ujednoczyć proces obliczeniowy i mieć możliwość porównania wyników przy takiej samej metodyce mimo, iż należy sobie zdawać sprawę, że odcinek V podlega już prawom ruchu niejednostajnego, czego konsekwencją będzie m.in. większe niż by obliczono zmniejszenie prędkości przepływu.

Dla takich założeń przedstawiono dalej na rys. 2 schemat geometryczny, przyjęty do dalszych obliczeń hydraulicznych.



Rys. 2 Schemat geometryczny przekroju regulacyjnego.

Jako dane przyjmuje się:

- przepływ Q traktowany jako przepływ średni SSQ ,
- głębokość $H = H_{gr}$ (tabela 7),
- współczynnik szorstkości „ n ” (tabela 7),
- spadek zwierciadła wody (równy spadkowi linii energii) „ J' ”,
- głębokość $h = 1,80$ m przy przepływie niskim $Q = ?$ (wartość szukana).

Wartości szukane:

- szerokość w dnie „ b ”,
- nachylenie skarp „ m ” ($1 : m$),
- szerokość „ B ” na poziomie wody średniej $B = b + 2m \cdot H$,
- przepływ Q_{gwar} powodujący uzyskanie głębokości 1,80 m przy określonych wcześniej parametrach geometrycznych.

Obliczenia hydrauliczne przeprowadzić można dwoma metodami:

I – bez rozdzielania przepływów na dwie części (prostokąt i trójkąty),

II – z rozdzieleniem przepływów.

Metoda I

Zakładając zgodności formuły Chézy – Manninga z ogólną definicją wielkości przepływu, uzyskuje się:

$$Q_{sr} = v_{sr} \cdot F = \frac{1}{n} J^{1/2} \cdot R_h^{2/3} \cdot F = \frac{1}{n} J^{1/2} \frac{F^{2/3}}{\chi^{2/3}} \cdot F \quad /4/$$

gdzie $\chi = b + 2H\sqrt{1+m^2}$

Po przekształceniach otrzymuje się:

$$\frac{Q_{sr} \cdot n}{J^{1/2}} = \frac{[(b + m \cdot H) \cdot H]^{5/3}}{(b + 2H\sqrt{1+m^2})^{2/3}} \quad /5/$$

Otrzymano jako równanie z dwoma niewiadomymi „b” i „m”.

Rozwiązanie uzyskać można określając w sposób praktyczny wartości „m” i dla każdej z nich obliczając stosowną szerokość „b”.

Ze względów praktycznych przyjęto wartość m:

m = 3, 4, 5, 13, 14, 15, i dla każdej z nich obliczano dalej wielkość „b”.

Metoda II

Dzieli się koryto na trzy części – prostokąt i dwa trójkąty (rys. 2) zakładając, że w korycie głównym (prostokątnym) płynie przepływ Q_1 , a w korycie pobocznym (trójkątnym) przepływ Q_2 , taki sam w obydwu trójkątnych częściach.

Suma przepływów: $Q_1 + 2Q_2$ powinna dać przepływ średni:

$$Q_{sr} = Q_1 + 2Q_2 \quad /6/$$

(wartości Q_1 i Q_2 nie są znane).

Przyjmując dalej, że w korycie głównym występują: głębokość $H = H_{gr}$ oraz prędkość średnia $V_{sr} = V_{gr}$, zapisać można:

$$Q_1 = V_{sr} \cdot F_1 = V_{sr} \cdot b \cdot H_{gr} \quad /7/$$

lub $Q_1 = V_{gr} \cdot b \cdot H_{gr} \quad /8/$

Dla koryta pobocznego zapisać należy z kolei:

$$Q_2 = v_{sr2} \cdot F_2 = \frac{1}{n} J^{1/2} R_{h2}^{2/3} \cdot F_2 \quad /9/$$

gdzie:

$$\left. \begin{aligned} \chi_2 &= H\sqrt{1+m^2} \\ F_2 &= \frac{mH^2}{2} \\ R_{h2} &= \frac{F_2}{\chi_2} = \frac{m \cdot H}{2\sqrt{1+m^2}} \end{aligned} \right\} \quad /10/$$

Po podstawieniu zależności /10/ do /9/ otrzymuje się

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{m \cdot H}{2\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} \cdot \frac{m \cdot H^2}{2}, \text{ oraz} \\ 2Q_2 &= \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{m \cdot H}{2\sqrt{1-m^2}} \right)^{2/3} \cdot m \cdot H^2 \end{aligned} \right\} \quad /11/$$

W równaniach /11/ dokonać można uproszczeń przy założeniu, że przy $m \geq 5$

$\sqrt{1+m^2} \approx m$, wówczas równanie /11/ przekształci się do postaci:

$$2Q_2 = \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{m \cdot H}{2m} \right)^{2/3} \cdot m \cdot H^2 = \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{H}{2} \right)^{2/3} \cdot m \cdot H^2. \quad /12/$$

Dodając wielkości /11/ lub /12/ do wielkości /8/ otrzymuje się:

$$Q_{\dot{s}r} = Q_1 + 2Q_2 = \vartheta_{gr} \cdot b \cdot H_{gr} + \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{m \cdot H}{2\sqrt{1+m^2}} \right)^{2/3} \cdot m \cdot H^2. \quad /13/$$

lub po uproszczeniach:

$$Q_{\dot{s}r} = Q_1 + 2Q_2 = \vartheta_{gr} \cdot b \cdot H_{gr} + \frac{1}{n} J^{1/2} \left(\frac{H}{2} \right)^{2/3} \cdot m \cdot H^2 \quad /14/$$

Przy tej metodzie obliczeniowej uzyskuje się rozdzielanie zmiennych i rozwikłanie równania.

Tryb obliczeniowy jest taki sam jak poprzednio:

- przyjmuje się $m = 3, 4, 5 \dots \dots \dots 13, 14, 15$
- dla przyjętych wartości m oblicza się wielkość „ b ”.

Dla potrzeb niniejszej pracy zastosowano zarówno jedną jak i drugą metodę zakładając, że wyniki muszą być zbliżone (równanie źródłowe Chézy – Manninga jest to samo).

Obliczenia w dalszej części pracy przeprowadzono, nie stosując uproszczeń w postaci zależności /12/, /13/, /14/.

Po określeniu zależności $b_i = f(m_i)$ tzn. stworzeniu (obliczeniu) wartości par liczb „ m ” i „ b ”, dla każdej takiej pary określono dalej wielkości przepływów Q_{gwar} jakie muszą wystąpić aby zagwarantować pożądaną głębokość minimalną $h = 1,80 m$.

Przekształcając formułę /5/ uzyskano

$$Q_{gwar} = \frac{1}{n} J^{1/2} \frac{[(b + m \cdot h) \cdot h]^{5/3}}{(b + 2h\sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \quad /15/$$

gdzie $h = 1,80 \text{ m}$,

lub po uproszczeniach:

$$Q_{gwar} = \frac{1}{n} J^{1/2} \frac{[(b + mh) \cdot h]^{5/3}}{(b + 2mh)^{2/3}} \quad /16/$$

W dalszych obliczeniach uproszczeń /16/ nie stosowano.

Przedstawione założenia oraz formuły wykorzystano dalej w obliczeniach parametrów geometrycznych przekroju koryta regulacyjnego przy jednoczesnym wykorzystaniu wcześniej uzyskanych i przyjętych danych.

Analiza przedstawionych wcześniej metod obliczeniowych oraz fakt wcześniejszych uzgodnień polsko – niemieckich gdzie przyjęto zasadę iż nachylenia skarp powinny być stosunkowo małe (nawet 1 : 10), do obliczeń zastosowano metodę II.

Metoda ta w założeniu ma bowiem nieco słabsze niż w metodzie I oddziaływanie brzegów, które rośnie tym bardziej im nachylenie skarp bardziej zbliża się do pionu.

Zakłada się, że nachylenia skarp będą mniejsze od 1 : 3.

Przyjmuje się także, że sumaryczne nachylenie obydwu skarp = $m_1 + m_2$ (jeżeli nachylenia byłyby różne) nie powinny przekraczać 20.

Obliczenia wykonano zakładając kolejne wartości nachylenia skarpy m (1:m) od $m=2$ (wartość czysto teoretyczna) poprzez $m = 3, m = 4, \dots, m = 13, m = 14$ oraz $m = 15$

Dla każdej z tych wielkości „ m ” wyliczono szerokości regulacyjne (szerokości w dnie) „ b ” – jedna wartość „ b ” dla każdego „ m ”, a następnie wyliczono szerokości koryta regulacyjnego na poziomie wody średniej „ B ” jako:

$$B = b + 2mH \quad /17/$$

oraz prędkości średnie przepływu V_{sr} jako:

$$v_{sr} = \frac{Q_{sr}}{F} = \frac{Q_{sr}}{(b + mH) \cdot H} \quad /18/$$

Przypomnieć należy, że podstawowym założeniem było tutaj założenie równowagi koryta przy przepływie średnim, co oznaczało dalej iż w całej części „prostokątnej” koryta regulacyjnego (na szerokości b) przy przepływie średnim panować tam muszą prędkości V_{gr} i wynikające stąd głębokości $H = H_{gr}(V_{gr})$.

Wybór stosownych parametrów rozwiązania ograniczono dalej i uzależniono od trzech parametrów:

- nachylenie skarp nie może być większe od 1 : 3 ($m \geq 3$),
- szerokość B na poziomie zwierciadła wody przy przepływie średnim nie powinna być większa od szerokości istniejących międzybrzegowych (tab. 1) dopuszczając przy tym nieco większe szerokości B przy istniejących lokalnych przewężeniach międzybrzegowych koryta,
- wybór wariantu powinien uwzględniać także wielkość przepływu gwarantowanego niskiego, to znaczy aby przyjmować te parametry, które dają możliwość uzyskania głębokości 1,80 m przy możliwie największej gwarancji.

Mając na względzie warunek trzeci wykonano drugą część obliczeń hydraulicznych – zakładając głębokość 1,80 i obliczając wielkość przepływu Q przy którym głębokość ta zostanie osiągnięta dla znanych „ m ” i „ b ” określonych na podstawie wcześniejszych obliczeń. Dla tak przedstawionych założeń wybór założeń projektowych ogranicza się praktycznie od $m = 3$ do $m = 10$ ($m_1 + m_2 = 20$).

Zakres szerokości regulacyjnych „ B ” na poziomie zwierciadła wody średniej dla poszczególnych odcinków w porównaniu ze stanem istniejącym przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie szerokości B i szerokości istniejących

Odcinek	Szerokość B od $m = 3$ do $m = 10$ [m]	Szerokość istniejąca [m]
I	134 ÷ 158	164 – 238
II	135 ÷ 159	158 – 226
III	168 ÷ 200	196 – 281
IV	165 ÷ 198	197 – 278
V	165 ÷ 205	180 - 251

Ostatecznie dla celów projektowych przyjęto nachylenie sumaryczne skarp: $m_1 + m_2 = 13$,
 $m_{sr} = 6,5$

Daje to następujące wartości szerokości b , B oraz głębokości H_{gr} :

- odc. I – $b = 113\text{m}$, $B = 146\text{m}$, $H_{gr} = 2,51\text{m}$;
- odc. II – $b = 114\text{m}$, $B = 147\text{m}$, $H_{gr} = 2,53\text{m}$;
- odc. III – $b = 140\text{m}$, $B = 184\text{m}$, $H_{gr} = 3,37\text{m}$;
- odc. IV – $b = 136\text{m}$, $B = 181\text{m}$, $H_{gr} = 3,45\text{m}$;
- odc. V – $b = 129\text{m}$, $B = 184\text{m}$, $H_{gr} = 4,18\text{m}$.

Dla tak określonych wielkości geometrycznych, gwarancja uzyskania głębokości 1,80 m wynosi:

- dla odcinków I i II – 85% ,
- dla pozostałych odcinków – 95 ÷ 96% .

Przyjęcie stałego parametru $m_{sr} = 6,5$ ($m_1 + m_2 = 13$) ujednolici z kolei technologię wykonywania budowli regulacyjnych a przy zastosowaniu systemu mieszanego regulacji :

- na łukach wypukłych ostrogi,
- na łukach wklęsłych tamy podłużne i opaski brzegowe,

pozwole na właściwe nachylenie skarp (głowic ostróg) tych budowli:

- na brzegach wklęsłych 1 : 3 ,
- na brzegach wypukłych 1 : 10 – nachylenie głowic ostróg takie jak obecnie istniejące.

4. WNIOSKI

1. Podstawowym celem nowej regulacji Odry granicznej jest uzyskanie głębokości 1,80 m przy możliwie najwyższej gwarancji (największej ilości dni w roku) przepływu niskiego.
2. Podstawowym wymogiem przy tego typu przedsięwzięciu jest uzyskanie warunku równowagi koryta regulacyjnego przy przepływie średnim. Oznacza to wprost, że przy przepływie średnim w korycie panować muszą takie głębokości, przy których w głównej części koryta (prostokątnej) występują prędkości graniczne, powyżej których następuje intensywny ruch rumowiska wleczonego.
3. Warunek równowagi koryta przy przepływie średnim prowadzi wprost do związku $V_{gr} = f(H_{gr})$, który to związek dla potrzeb niniejszej pracy określono zarówno przy pomocy zależności teoretycznych jak i na podstawie danych pomiarowych.
4. Pomiary przeprowadzono zarówno na odcinku od ujścia Nysy Łużyckiej do Warty jak i od ujścia Warty do Bielinka oraz w „węźle Warta” i „węźle Widuchowa”, które to węzły mają być rozwiązane później w ramach odrębnych badań.
5. W obliczeniach hydraulicznych uwzględniono wszystkie te zasady oraz dane pomiarowe, wybór wariantów ograniczono natomiast względami praktycznymi – istniejącymi szerokościami koryta rzeki, łatwością i jednolitością technologii wykonania, a także występowaniu zjawiska ruchu niejednostajnego na ostatnim – dolnym odcinku Odry granicznej.
6. Ostatecznie, uwzględniając warunki istniejące – spadek zw. wody, szerokości istniejące, przepływy – całą analizowaną Odrę graniczną podzielono na pięć odcinków badawczych

dla których określono dalej związki $V_{gr} = f(H_{gr})$, szerokości regulacyjne na poziomie dna i przepływu średniego, oraz wielkości przepływów przy których, dla określonych parametrów geometrycznych, wystąpi głębokość 1,80 m.

7. Stwierdzono, że głębokość 1,80 m na odcinkach od ujścia Nysy Łużyckiej do ujścia Warty uzyska się przy gwarancji przepływu niskiego rzędu 85 %. Oznacza to, że przez co najmniej 296 dni w roku na przedmiotowym odcinku występować będzie głębokość 1,80m. Na odcinku poniżej Warty uzyskuje się gwarancję $95 \div 96\%$.

ANALIZA POTRZEB I MOŻLIWOŚCI UZYSKANIA GŁĘBOKOŚCI 1,80 m NA ODRZE GRANICZNEJ PRZY MOŻLIWIE NAJWIĘKSZEJ GWARANCJI

Streszczenie

W artykule przedstawiono ogólnie stan wybranych warunków hydrologicznych Odry granicznej ze szczególnym uwzględnieniem głębokości koryta rzeki. Wskazano na potrzeby uzyskania głębokości 1,80 m przy możliwie największej gwarancji tj. uzyskania możliwie wysokiego czasu trwania tych głębokości w roku. Założono, że minimalną gwarancją winno być 85% tzn. ok. 310 dni w roku. Wskazano na potrzeby uzyskania takiego warunku przede wszystkim ze względu na potrzebę sprawnego prowadzenia koniecznej, prawie corocznej akcji lodołamania na Odrze granicznej i tym samym uzyskania skuteczniejszej aniżeli dotychczas ochrony przeciwpowodziowej w okresach zlodzenia rzeki. Przedstawiono też sposób przeprowadzenia badań terenowych i wstępnych obliczeń przekroju poprzecznego koryta regulacyjnego. Przedstawiono także dalsze4 działania mające na celu uzyskanie określonej głębokości.

ANALYSIS OF NEEDS AND POSSIBILITIES FOR REACHING THE DEPTH 1,80 M WITH ITS GUARANTEE AT THE Odra RIVER BORDER

Summary

The paper generally presents the state of particular hydrological conditions of the Lower Odra River at its border with special regard to the river depth. The needs for obtaining the depth of 1,80 m at the possibly highest warrant, i.e. the longest lasting period of these depths in a year were indicated. It has been assumed that the lowest warrant should be equal to 85%, i.e. about 310 days in a year. The needs for this condition were shown considering above all the need for efficient ice-breaking action performance that takes place almost each year at the Odra river border; thus, for more effective flood protection in ice periods. The method for field measurements and preliminary calculations of cross-section for the river bed after regulation are presented as well. Further actions aimed towards the given depth obtainment are shown also.

LITERATURA

- [1] Buchholz W. z zespołem: „Program zrównoważonego rozwoju i wykorzystania Odry” Projekt celowy KBN Nr 7 TO7 E 047 2000 C/4760, Instytut Morski O. Szczecin, Szczecin 2003,
- [2] Buchholz W. z zespołem: „Określenie parametrów koryta regulacyjnego w celu uzyskania minimalnej głębokości 180 cm na Odrze granicznej od ujścia Nysy Łużyckiej do Widuchowej poza odcinkami specjalnymi”, maszynopis dla RZGW Szczecin, Szczecin 2007,
- [3] Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A.: „Hydrauliczne podstawy projektów wodno – melioracyjnych”, PWRiL, Warszawa 1982,
- [4] Husener T., Hentschel B.: „Analiza ogólna Odry granicznej”, BAW, Karlsruhe, 2006,
- [5] Dane IMGW