

KOREFERAT DO RAPORTU

1B.2 Etap I i Etap II Prace modernizacyjne na Odrze granicznej
w ramach Projektu Ochrony Przeciwpowodziowej w Dorzeczu Odry i Wisły

„Skuteczność planowanego polderu zalewowego Międzyodrze i koncepcji regulacji cieku na poprawę
ochrony przeciwpowodziowej na dolnej Odrze” przygotowanego na zlecenie Deutscher
Naturschutzring”

Autor:

Dr hab. Artur Magnuszewski, prof. UW

Warszawa, Listopad 2018r.

dr hab. Artur Magnuszewski, prof. UW

Koreferat do raportu

„Skuteczność planowanego polderu zalewowego Międzyodrze i koncepcji regulacji cieku na poprawę ochrony przeciwpowodziowej na dolnej Odrze” przygotowanego na zlecenie Deutscher Naturschutzring”.

Odra jest przykładem rzeki silnie przekształconej przez człowieka, gdzie obok naturalnych procesów transportu osadów i formowania koryta działają zjawiska wykorzystane w budownictwie hydrotechnicznym do regulacji rzeki. Z tego powodu zrozumienie procesów korytowych wymaga analizy transportu osadów w skali dorzecza, a także prześledzenia przebiegu prac hydrotechnicznych w ujęciu historycznym. Ciekawych informacji dostarcza dolna Wisła, na której zachował się odcinek nie uregulowany, funkcjonuje długi odcinek uregulowany w XIX w. i od lat 70. XX w. zbiornik podparty stopniem wodnym (Jezioro Włocławskie). Takie zróżnicowania stopnia zabudowy daje możliwość porównania wpływu regulacji rzeki na transport osadów i warunki lodowe.

Historia prac regulacyjnych na Odrze w kontekście planowanych prac modernizacyjnych

Odra aż do lat 30. XVIII w. była rzeką o mało zmienionym biegu, jej regulacja rozpoczęła się po katastrofalnej powodzi w 1736 r. Pierwsze prace polegały na prostowaniu koryta rzeki za pomocą przekopów. Te prace doprowadziły do zwiększenia spadku podłużnego rzeki w miejscach przekopów i erozji brzegów, jednocześnie w dolnym biegu rzeki rozpoczęła się akumulacja materiału klastycznego transportowanego przez rzekę. Efektem odkładania się osadów w dolnym biegu Odry było jej dziczenie i rozgałęzianie koryta (Born, 1954). W wyniku tworzenia przekopów skrócono środkowy bieg Odry (ujście Nysy Kłodzkiej – Uraz) o 22 km. Łatwość i niski koszt

wykonania przekopów była pozorna wobec dużych kosztów stabilizacji skróconego nowego koryta rzeki. Kiedy w drugiej połowie XIX w. dokonano oceny tej metody regulacji reki okazało się, że przekopy wywołują więcej skutków negatywnych niż pozytywnych.

Nowe metody regulacji Odry stosowano w latach 1819-1880, polegały one na zastosowaniu systematycznej (prowadzonej na długim odcinku) regulacji z użyciem obustronnych ostróg. Ostrogi były budowane jako budowla ziemno-wiklinowa wg projektu J.A. Eytelwein.

Przełomową datą dla regulacji Odry był rok 1819, kiedy Prusy i Austria podpisały tzw. Protokół Bogumiński. Celem tej umowy było ograniczenie szkodliwych przekopów, zachowanie krętej z łagodnymi łukami trasy regulacyjnej rzeki i likwidacja płycizn w nurcie.

Prace regulacyjne rozpoczęto z myślą o polepszeniu warunków żeglugi w okresie stanów średnich i niskich. Wykonane w pierwszej połowie XIX w. roboty regulacyjne zgodnie z Protokołem Bogumińskim dały pozytywne rezultaty. Do 1840 r. wykonano na Odrze aż 5432 ostrogi oraz 262 km wałów przeciwpowodziowych. Największe nasilenie prac na Odrze środkowej przypadło na lata 1855-1874. W 1842 r. kierownictwo prac regulacyjnych przejął C. Becker, który wprowadził zasadę budowy ostróg polegającą na zatopieniu materaca faszynowego obciążonego kamieniami, który nadbudowywano dopiero po wystąpieniu pozytywnych efektów załadownienia.

Początek nowoczesnych prac hydrotechnicznych na Odrze datuje się na 1874 r., kiedy powstała Dyrekcja Budowy i Regulacji Odry z siedzibą we Wrocławiu. Jej zadaniem było zorganizowanie regulacji Odry na odcinku od Wrocławia do Świecia. Przyjęto, że minimalna głębokość żeglowna koryta Odry powinna wynosić 1 m. To założenie wymagało korekty Protokołu Bogumińskiego z 1819 r., w którym ustalono minimalną szerokość rzeki na jej poszczególnych odcinkach. Aby uzyskać założoną głębokość żeglugową 1 m przy średnim stanie wody, należało zwęzić szerokość koryta o 20-25 m (Czaja, 2011).

W latach 1905-1913 koło Ścinawy, Głogowa, Krosna, wykonano eksperymentalne roboty regulacyjne uzupełniające, które miały dać odpowiedź, czy da się osiągnąć głębokość żeglugową 1,3 m, a przez zasilanie zbiornikami nawet 1,4 m. Wyniki były zadowalające, więc po przerwie w pracach wywołanych wojną, powrócono do tych regulacji w 1928 r., prowadząc je do 1943 r. Stosowano ostrogi faszynowo-kamienne, skierowane pod kątem 75° pod prąd. Do 1939 r. wykonano ok. 80 % zamierzonej regulacji. Uzupełniająca regulacja na małą wodę objęła odcinek 335 km, jednak w latach suchych nie dała ona zadowalających efektów. W latach suchych mimo

zasilania zrzutami ze zbiorników Turawa i Otmuchów nie można było zagwarantować głębokości nawet 1,2 m, a przerwy w żegludze trwały nawet 3 miesiące. (Muszyński, 1948).

Po II wojnie światowej przystąpiono do odbudowy zniszczonych obiektów regulacyjnych. Szczególnie zaniedbany był odcinek km 554 (Kanał Odra-Szprewa) – km 667 (Kanał Odra-Hawela), gdyż przed wojną główny strumień ładunków omijał ten fragment drogi wodnej.

Na dolnej Odrze w latach 70. w celu utrzymania drogi wodnej administracja wodna w Szczecinie musiała wykonywać prace czerpalne o średniej rocznej kubaturze 470 000 m³. Przemiały występowały w tych latach w km 617 (przy ujściu Warty), km 623, 659, 662 (Miłkowski, 1976).

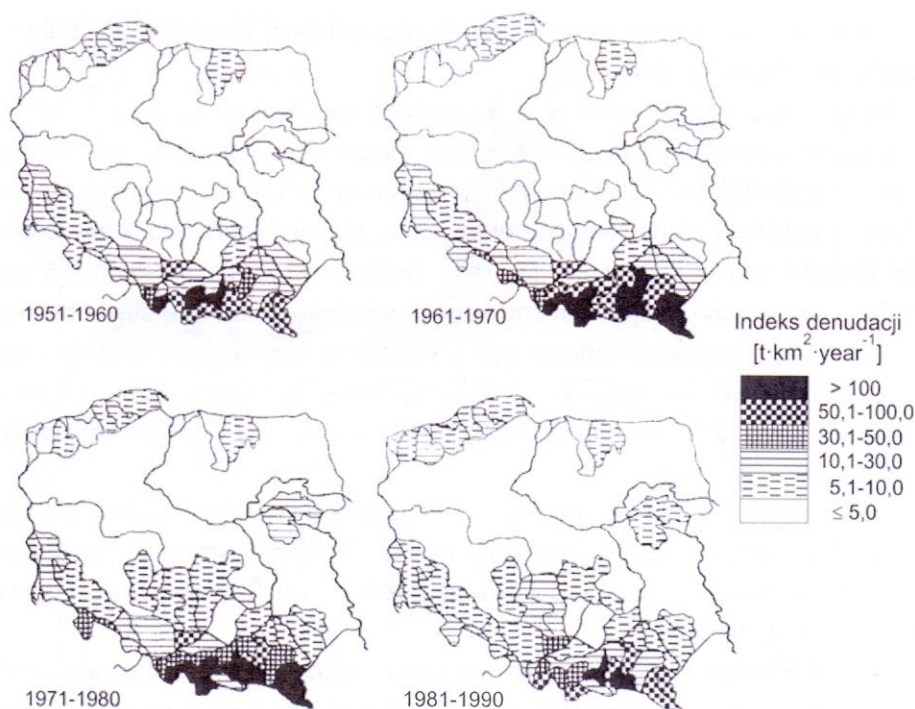
Współczesne wykorzystanie żeglugowe Odry jest ograniczone głównie do dolnego odcinka, który będzie także intensywnie eksploatowany po ukończeniu podnośni żeglugowej Niderfinow w Niemczech. Ta inwestycja ułatwi ruch dużych jednostek między drogami wodnymi Berlina i Szczecinem. Znaczenie budowli regulacyjnych na Odrze zmalało w kontekście transportu wodnego, nie zmieniła się jednak ich rola dla poprawy bezpieczeństwa powodziowego w trakcie spływu lodu. Trasa regulacyjna likwiduje rozwidlenia nurtu, duże formy korytowe i łagodzi krzywizny koryta. Ruch lodu prądowego może być zatrzymany przez zwiększone opory wywołane przez nierówności dna rzeki (odsypy, przemiały) lub gwałtowną zmianę kierunku przepływu (ostre zakręty całego koryta lub linii brzegowej). Gdy lód prądowy zostanie zatrzymany przez krawędź lodu typu jeziornego lub zwiększone opory jego przepływu, zaczyna tworzyć się zator z nagromadzenia lodu prądowego. Budowle regulacyjne są więc istotnym elementem ograniczenia zagrożenia powodzią zatorowymi. W wypadku wystąpienia zatoru i przy udrożnieniu koryta dla spływu lodu konieczne jest użycie lodołamaczy. Taka praktyka co roku sprawdza się w ujściu Wisły, w dolnym odcinku Odry, na Jeziorze Włocławskim. Tak więc utrzymywanie w dobrym stanie budowli regulacyjnych jest istotnym elementem bezpieczeństwa powodziowego w dolnym biegu głównych rzek Polski. Proponowane prace w Zadaniu 1B.2: Prace modernizacyjne na Odrze granicznej należy widzieć w kontekście nadrzędnego interesu publicznego, jakim jest bezpieczeństwo powodziowe. Odra od połowy XIX w. jest poddawana pracom regulacyjnym i kanalizacji, co sprawia, że obecnie mamy do czynienia z rzeką przekształconą już przez człowieka. Oznacza to, że obecnie obserwowane procesy fluwialne w korycie rzeki są wypadkową działania zabudowy hydrotechnicznej i procesów naturalnych. Utrzymywanie i poprawa stanu istniejącej zabudowy hydrotechnicznej na Odrze (podobnie jak na dolnej Wiśle) nie stanowi ingerencji w naturalną rzekę, bo została ona zmieniona w czasach

intensywnego wykorzystania żeglugowego jeszcze w XIX w. Obecnie żegluga śródlądowa zeszła na drugi plan, jednak budowle regulacyjne na Odrze spełniają także ważną rolę w kontekście bezpieczeństwa powodziowego.

Skutki geomorfologiczne regulacji

Konsekwencją prac regulacyjnych jest ograniczenie deformacji bocznej koryta rzeki oraz koncentracja strumienia. Rzeka pozbawiona możliwości meandrowania i erozji bocznej odkłada transportowany materiał w polach między ostrogami, tworząc nową równinę zalewową. Regulacja rzek wykonywana jest na przepływy projektowy odpowiadający wartości średniego przepływu wieloletniego. Koncentracja strumienia wody w uregulowanym korycie wytwarza warunki lepszego transportu rumowiska rzeczno i doprowadza do wypełnienia osadami przestrzeni między ostrogami. Z punktu widzenia ekologii istotna jest głębokość wcięcia koryta i wielkość sedymentacji na nowej równinie zalewowej. Badania wielkości depozycji osadów na nowej równinie zalewowej górnej Odry były prowadzone przez Czajkę i Cieszewskiego (2010) w rejonie Raciborza. Ten odcinek rzeki został silnie zmieniony początkowo w wyniku przekopów, a następnie prac regulacyjnych. Z przeprowadzonych badań wynika, że obecne koryto Odry leży ok. 3 m niżej w stosunku do początkowego poziomu, za co odpowiedzialne są przekopy wykonane w XIX w. Wywołana tymi pracami sedymentacja na nowej równinie zalewowej wynosiła 1,3-1,8 cm/rok, a obecnie jest rzędu 2-5 cm. Do określenia tempa sedymentacji wykorzystano analizę geochemiczną osadów (metale ciężkie), co umożliwiło ich datowanie w profilu pionowym.

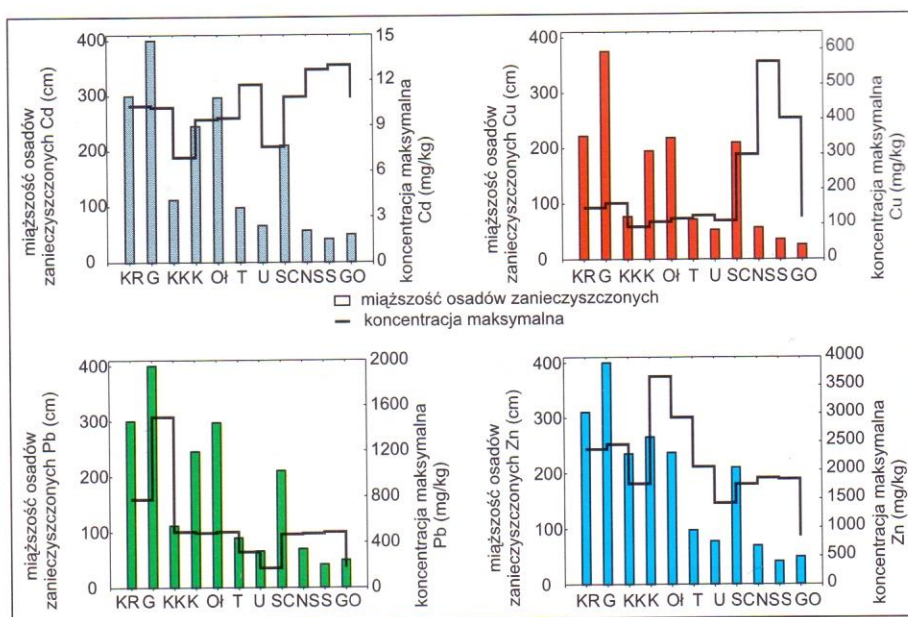
Przytoczone dane dotyczą górnego odcinka Odry, gdzie transport rumowiska zawieszonego i wleczanego jest większy. Średnie zmaczenie wody Odry w Miedoni wynosi 166 g/m³, a w Brzegu 109 g/m³. W dalszym biegu szybko maleje i wynosi w Ścinawie 70 g/m³, a w dolnym biegu w Gozdowicach tylko 6 g/m³. W zakresie wielkości transportu zawiesiny wyraźnie zaznacza się różnica między dolnym biegiem Odry i górnym. Wskaźnik denudacji w profilu Chałupki wynosi 70,7 t km²/rok i maleje do 3 t km²/rok w ujściu Odry. Do spadku transportu przyczynia się odcinek skanalizowany Odrze (sedymentacja), a także zmiana właściwości rzeki w jej dolnym biegu. W profilu podłużnym Odry między przekrojem Chałupki i ujściem przyrost transportowanego ładunku zawiesiny jest bardzo mały (0,33 mln t/rok), mimo 12-stokrotnego wzrostu przepływu. Warta nie przyczynia się do wzrostu transportu osadów na dolnej Odrze (rys. 1), bowiem jej zlewnia wykazuje wskaźnik denudacji poniżej 5 t/km² rok (Brański i Banasik, 1996).



Rys. 1. Wskaźnik denudacji w dorzeczu głównych rzek Polski (Brański i Banasik, 1996)

Porównując warunki transportu osadów wleczonych na Wiśle i Odrze można zauważyć, że Wisła transportuje dwukrotnie więcej rumowiska wlezonego na jednostkę objętości wody. Wielkość transportu materiału wlezonego dla Odry przy ujściu można oszacować na 0,35 mln t /rok (Ciupa i in. 2017).

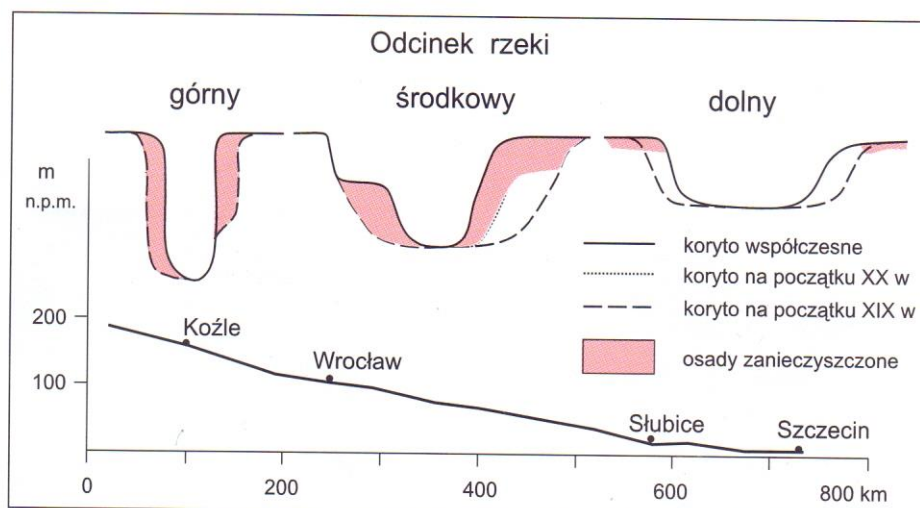
W badaniach nad transportem i depozycją osadów rzecznych jako znacznik są wykorzystywane metale ciężkie, które pozwalają datować osady z okresu intensywnego uprzemysłowienia zlewni Odry. W pracy Ciszewski (2007) wykazano, że na dolnej Odrze w wyniku sedymentacji na nowej równinie zalewowej tworzącej się od czasu pierwszych regulacji osadziła się warstwa o miąższości kilku centymetrów (rys. 2). Tak małe tempo sedymentacji na równinie zalewowej dolnej Odry wynika z małego strumienia osadów jaki transportuje rzeka.



Rys. 2. Miąższość warstwy osadów na równinie zalewowej Odry wyznaczona na podstawie koncentracji metali ciężkich: GO – profil Gozdowice (Ciszewski, 2007)

Odra w wyniku wykonanej zabudowy hydrotechnicznej i przy aktualnym natężeniu transportu osadów osiągnęła stan równowagi dna, co potwierdzają skumulowane wyniki deformacji dna na podstawie obserwacji wykonywanych od lat 60. XX w. przez BfG. W ich ocenie w latach 1998 - 2008 Odra osiągnęła stabilny poziom dna (Gerstgraser, 2018).

Również pomiary tempa sedymentacji osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi wskazują, że dno dolnej Odry jest stabilne i nie ulega obniżaniu, niewielka sedymentacja zachodzi zaś na nowej równinie zalewowej (rys. 3). Ciszewski (2007) pokazał, że pomimo zwężenia koryta dolnej Odry w wyniku prowadzonych prac regulacyjnych nie doprowadziło to w czasach historycznych do znaczących procesów obniżenia dna rzeki i nie nastąpiła silna sedymentacja na powierzchni równiny zalewowej. Odwołując się do tych wyników można założyć, że niewielkie zwężenie trasy regulacyjnej dolnej Odry nie doprowadzi do znaczących deformacji w dolinie rzeki, prace regulacyjne wyrównają jedynie dno.



Rys. 3. Schemat deformacji koryta i równiny zalewowej Odry w jej profilu podłużnym ustalony na podstawie analizy sedymentacji osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi (Ciszewski, 2007)

Biorąc pod uwagę niewielkie (w porównaniu z Wisłą) objętości rumowiska transportowanego na dolnej Odrze nie należy spodziewać się załadowienia przestrzeni między ostrogami, dużej erozji zdeponowanego już materiału na nowej równinie zalewowej ani znacznego wzrostu rzędnych równiny zalewowej. Do podobnych konkluzji dochodzą autorzy opracowania (Analiza wyników..., 2018), w którym wykorzystano modelowanie hydrodynamiczne 2D dla odcinka km 613,8 - 616,1, obejmującego ujście Warty do Odry.

Autorzy raportu (Gerstgraser, 2018) piszą o utrudnieniach, jakie dla żeglugi po wykonanej modernizacji budowli regulacyjnych może spowodować wzrost wysokości form korytowych pręg (wydm, diun) wędrujących na całej szerokości koryta. Powołują się na obliczenia stosunku naprężenia stycznego τ do krytycznego naprężenia stycznego dla uruchomienia ziarna osadu τ_{cr} wg diagramu Shieldsa. Nie podano, jakim wzorem obliczono naprężenie styczne τ . W krajowej praktyce inżynierskiej stosowane jest równanie Du Boys:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h \cdot I$$

gdzie:

- τ – naprężenie styczne w N m^{-2} ,
- ρ – gęstość wody 1000 kg m^{-3} ,
- g – przyspieszenie ziemskie m s^{-2} ,
- h – głębokość wody,
- I – spadek podłużny.

Jeśli przyjąć dane z tabeli 3 (Gerstgraser, 2018) dla km 618 to naprężenie styczne obliczone wzorem Du Boys wynosi $\tau = 7.76 \text{ N m}^{-2}$

Stosowane dla rzek polskich równanie Meyer-Peter and Müllera określające graniczne warunki ruchu ziarna osadu ma postać:

$$\tau_{cr} = 0.047 \cdot (\rho_s - \rho) g \cdot d_{50}$$

τ_{cr} – krytyczne naprężenie styczne w N m^{-2} ,

ρ_s – gęstość ziarna osadu 2600 kg m^{-3} ,

ρ – gęstość wody 1000 kg m^{-3} ,

g – przyspieszenie ziemskie w m s^{-2} ,

d_{50} – miarodajna średnica ziarna w m.

Ponownie przyjmując dane z tabeli 3 dla km 681 uzyskamy wartość krytycznego naprężenia stycznego $\tau_{cr}=0.59 \text{ N m}^{-2}$. Stosunek $\tau/\tau_{cr} = 7.76/0.59 = 13.2$, co według Raudkivi oznacza warunki dominacji transportu w zawieszinie. A zatem nie może dochodzić do wzrostu stromości i wysokości pręg (wydm), jak piszą to autorzy opracowania (Gerstgraser, 2018). Zwiększenie naprężenia stycznego działającego na dno spowoduje spłaszczenie form korytowych i w rezultacie wyrównanie dna, co jest korzystne dla spływu lodu i pracy lodołamaczy.

Kolejnym dyskusyjnym założeniem z pracy (Gerstgraser, 2018) jest przyjęcie, że w korycie Odry mamy do czynienia z wydmami dwuwymiarowymi. Takie formy są charakterystyczne dla eksperymentów w laboratoriach hydraulicznych, jednak w rzekach obraz dna jest bardziej złożony. Przemiały tworzą się na odcinkach o zbyt wyprostowanym układzie koryta, przy niskich stanach rzeki w wyniku erozji ławic bocznych. Rzeka poddana regulacji przez wyprostowanie koryta i zabudowę ostrogami ma nadal tendencję do krętego przebiegu nurtu i rozwoju ławic bocznych, między którymi rozciągają się przemiały. Taki obraz dna potwierdza rys. 22 z opracowania (Gerstgraser, 2018), gdzie widoczne są formy typowe dla rzeki uregulowanej takie jak ławica, przemiał, zatoń, plosa.

W rzece uregulowanej podstawowym problemem są migracje ławic bocznych, które powodują przerzucanie nurtu i powstawanie przemiałów utrudniających żeglugę. Uzyskane w wyniku modernizacji budowli regulacyjnych większe naprężenie styczne i przejście w transporcie osadów z wleczenia do zawiesiny będzie korzystnie wpływało na wyrównanie dna w trasie regulacyjnej.

Ostrogi utrzymywane w dobrym stanie i zmodernizowane pod kątem wyrównania rozkładu prędkości w korycie mają znaczenie dla utrzymania głębokości tranzytowej w korycie (ważne dla pracy lodołamaczy), ale również nie dopuszczają do dużych odchyłeń nurtu od trasy regulacyjnej, co grozi erozją brzegów i uformowaniem się drugorzędnych koryt z wodą płynącą u podstawy wałów. Takie zjawisko jest bardzo niebezpieczne dla stabilności wałów, bo pod ich podstawą płynie w czasie powodzi strumień wody o dużej prędkości skierowany skośnie do brzegu.

Proponowana przebudowa ostróg spowoduje zwężenie trasy regulacyjnej, a łagodny profil ostróg da bardziej wyrównany profil prędkości, w mniejszym stopniu tworzyć się będą wyboje za główkami ostróg, co uznać trzeba za zjawisko pozytywne dla wyrównania pola prędkości i koncentracji strumienia wody w głównym nurcie.

Wpływ modernizacji budowli regulacyjnych na warunki hydrologiczne

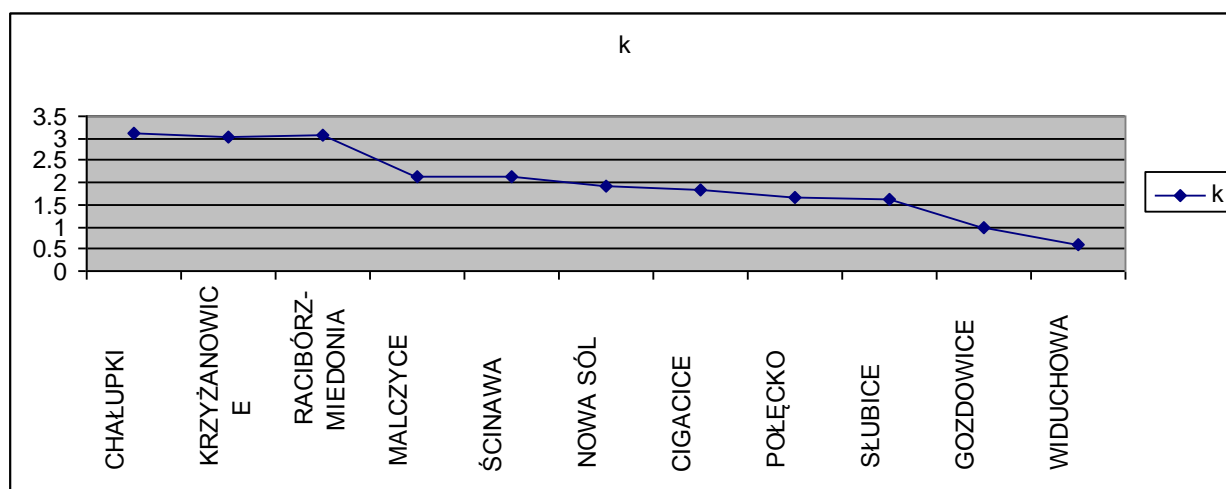
Dolna Odra charakteryzuje się dużą retencją dolinową, której przejawem jest spłaszczanie kulminacji fal powodziowych. Wskaźnikiem względnym, który pozwala porównywać potencjał powodziowy rzek o różnej powierzchni zlewni, jest indeks k , zaproponowany przez J. François (Rodier i Roche, 1984). Im większą wartość przyjmuje wskaźnik potencjału powodziowego k , tym większa jest zdolność zlewni do tworzenia powodzi. W celu normalizacji wartości w równaniu przyjęto maksymalny przepływ graniczny $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ i maksymalną powierzchnię graniczną dorzecza 10^8 km^2 dla rzek świata. Wzór na wskaźnik k ma postać:

$$k = 10 \cdot \left(1 - \frac{\log WWQ - 6}{\log A - 8}\right)$$

gdzie:

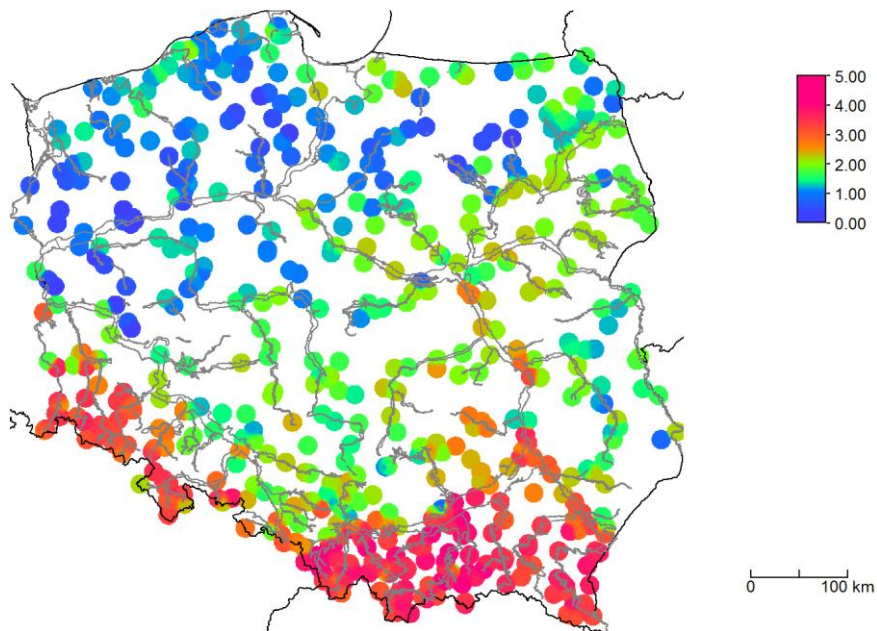
WWQ – najwyższy przepływ obserwowany,

A – powierzchnia zlewni w km^2 .



Rys. 4 Zmiany wskaźnika potencjału powodziowego w profilu podłużnym Odry

Jak wynika z wykresu (rys. 4), rzeka Warta mimo dużego udziału w powierzchni i przepływie dolnej Odry nie wpływa na wzrost potencjału powodziowego w dolnym biegu rzeki. Odra od profilu wodowskazowego Słubice wykazuje bardzo mały potencjał powodziowy w porównaniu do innych rzek w kraju (rys. 5).



Rys. 5. Wskaźnik potencjału powodziowego rzek w Polsce (Magnuszewski i Porczek, 2015)

Modernizacja budowli regulacyjnych na dolnej Odrze nie wpłynie na zmianę warunków przepływu wezbrań, ponieważ budowle te są tworzone pod kątem regulacji warunków hydraulicznych przepływów średnich i niskich. Wyniki modelowania hydrodynamicznego (Analiza..., 2018) wskazują, że w wyniku modernizacji budowli regulacyjnych wzrost poziomu wody średniej wyniesie ok. 20 cm – jest to wartość nieznaczna w porównaniu do zmian w położeniu dna Odry, jakie zachodziły na początku prac regulacyjnych, gdy stosowano skracanie koryta za pomocą przekopów. Wzrost poziomu wody średniej wynika z koncentracji strumienia wody przez zmodernizowane budowle regulacyjne. Przepływy wysokie powyżej $SWQ = 900 \text{ m}^3/\text{s}$, jak też przepływy niskie poniżej $SNQ = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, będą podpiętrzone o zanedbywalnie małą wysokość 5-10 cm. Należy się liczyć także z faktem, że wyrównywanie dna Odry w wyniku regulacji może poprawić jej przepustowość hydrauliczną, co zniweluje efekt podpiętrzenia i przywróci obecne zależności między poziomem wody i wielkością przepływu.

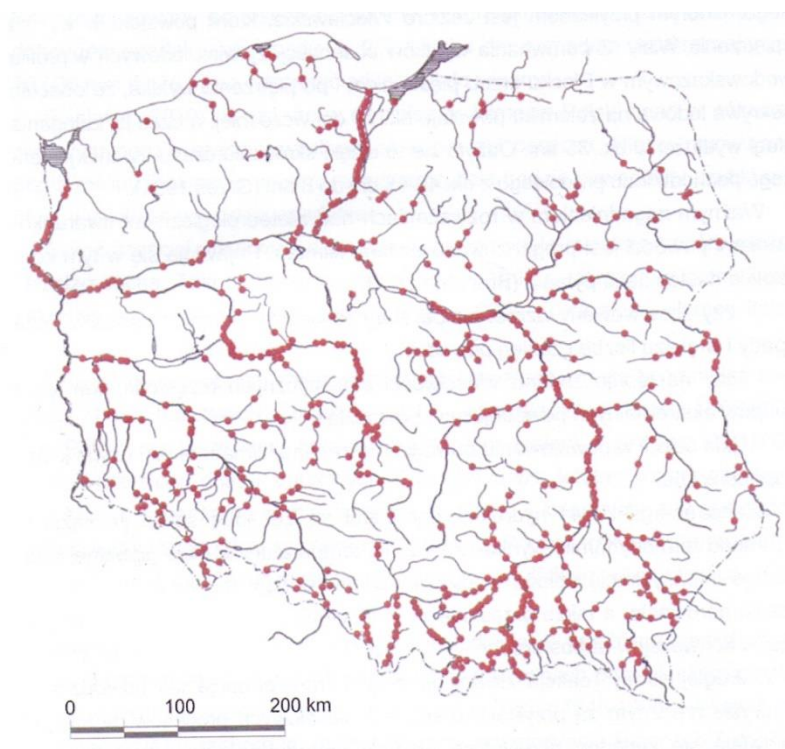
Dyskusyjna jest sprawa refugium dla zimujących ryb, jakimi mają być wyboje w dnie rzeki w okolicy główek ostróg, podnoszona w opracowaniu (Gerstgraser, 2018). Zimujące ryby unikają w zimie kontaktu z płynącym śryżem, który może uszkodzić ich ciała i spowodować następnie choroby w okresie ciepłym. W rejonie wybojów przy główkach ostróg występują także duże prędkości przepływu wody, które są niekorzystne dla wydatku energetycznego ryb w okresie ich zimowania.

Dolna Odra należy do odcinków, gdzie zatory lodowe powstają z dużym natężeniem na praktycznie każdym kilometrze rzeki (rys. 6). Jest to proces, na który wpływ ma oddziaływanie spiętrzeń sztormowych od strony Zalewu Szczecińskiego i pokrywy lodowej typu jeziornego formującej się na jeziorze Dąbie i na Zalewie Szczecińskim. Przykład regulacji dolnej Wisły pokazuje, że zwężenie szerokości rzeki i koncentracja strumienia przepływu mają wpływ na formowanie się pokrywy lodowej i przebieg jej zaniku. Z badań Pawłowskiego (2015) wynika, że po uregulowaniu dolnej Wisły zatory lodowe tworzyły się kilkukrotnie rzadziej, w porównaniu z odcinkiem nieuregulowanym. Warunki hydrauliczne na odcinku dolnej Wisły uregulowanej sprawiają, że spadła częstość tworzenia się pokrywy lodowej. W okresie 100 lat po zakończeniu regulacji Wisły w wyniku zmian parametrów morfometrycznych i hydraulicznych koryta zagrożenie powodzią zatorowymi zostało ograniczone, wpłynęła na to także możliwość użycia lodołamaczy (Pawłowski, 2017).

Skrócenie czasu trwania pokrywy lodowej na odcinku uregulowanym można zauważyć, porównując odcinek uregulowanej dolnej Wisły (profile Toruń, Korzeniewo, Tczew) z odcinkiem o ograniczonym stopniu regulacji na środkowej Wiśle (Tab. 1).

Tabela 1. Czas trwania stałej pokrywy lodowej na rzekach Wisła, Bug, Wieprz na podstawie pracy Gołek (1964)

Rzeka	Profil	Utworzenie i zanik pokrywy lodowej		Czas trwania pokrywy lodowej	
		początek	koniec	średni	maksymalny
Wisła	Zawichost	31XII	10 III	30	92
	Puławy	13 I	10 III	35	95
	Warszawa	15 I	18 III	20	90
	Płock	8 I	9 III	25	96
	Toruń	9 I	16 III	14	81
	Korzeniewo	15 I	21 III	17	82
	Tczew	13 I	15 III	17	95



Rys. 6 Miejsca występowania zatorów lodowych na rzekach w Polsce (Grześ i Pawłowski, 2006)

Autorzy opracowania (Gerstgraser, 2018) sugerują zastąpienie lodołamaczy innymi jednostkami pływającymi, które mogłyby działać lokalnie przy usuwaniu zatorów lodowych. Pamiętajmy jednak należy, że usuwanie zatoru polega na wykonaniu rynny wolnej od lodu, którą można spławiać nagromadzone w miejscu zatoru masy lodu. Do takiej operacji niezbędne są lodołamacze, od których sprawności zależy bezpieczeństwo powodziowe, podobna sytuacja występuje także przy ujściu Wisły do Zatoki Gdańskiej pod Świbnem i na zbiorniku przy stopniu Włocławek.

W dłuższej perspektywie czasowej należy brać pod uwagę zmiany warunków hydrologicznych w wyniku zmian klimatu. Odnosi się to zwłaszcza do czasu trwania zjawisk lodowych – według Pawłowskiego (2017) wzrost średniej temperatury zimy obserwowany od lat 60. XX w. w perspektywie roku 2030 doprowadzi do skrócenia czasu trwania zjawisk lodowych na Wiśle o 5-10 dni. Prognozy zmian klimatu w perspektywie połowy XXI stulecia w kontekście zmian warunków żeglugowych na rzekach w Niemczech (KLIWAS, 2009) mówią o wzroście przepływu rzek w okresie zimowym i jednocześnie spadku przepływów w okresie letnim. Stawia to pod znakiem zapytania opłacalność żeglugi towarowej np. na Odrze, nie zanika jednak problem zatorów lodowych, które będą nadal wymagały interwencji lodołamaczy w ujściowych odcinkach rzek. W scenariuszu zmian klimatu należy liczyć się z sytuacją, gdy przeciągające się niżówki letnie będą trwały aż do okresu rozpoczęcia zjawisk lodowych. Powodem wzrostu głębokości i czasu trwania niżówek będą zmienione warunki klimatyczne z większymi deficytami opadu w stosunku do parowania. Taka sytuacja jest niebezpieczna, ponieważ mało wody w korycie rzeki w trakcie napływu śryżu zwiększa szanse utworzenia się zatoru.

Wnioski

Czy w związku z planowanym do wykonania zamierzeniem, po zakończeniu prac inwestycyjnych, można spodziewać się zmiany położenia wód gruntowych, czy utrzymane będą dotychczasowe poziomy wód gruntowych, ponadto, czy można spodziewać się zmiany w drenażu wód z otaczających koryto terenów.

Planowane prace regulacyjne doprowadzą do wyrównania geometrii koryta, przez zwężenie przekroju, w który łagodnie wejdą główki ostróg o małym nachyleniu. To spowoduje zanik wybojów na krańcach budowli regulacyjnych, a więc nie będzie głębokich lokalnych rozmyć dna, a więc także nie zostanie obniżona baza drenażu wód gruntowych w bezpośrednim otoczeniu rzeki. Prace regulacyjne na rzekach nizinnych wzbudzają obawę, że obniżenie dna rzeki i poziomu wód niskich oraz średnich spowoduje przesuszenie obszarów przyległych łąk. Jako przykład zasięgu takiego oddziaływania można podać badania nad oddziaływaniem poziomu wody w Narwi poniżej stopnia wodnego Dębe na wody gruntowe w przyległych tarasach, wykonane przez Kardasza i Simoni (1966). Dane, jakimi posłużono się w tej pracy, zebrane zostały przez Instytut Melioracji i Użytków Zielonych oraz wykorzystano materiały archiwalne Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego. Obserwacje te pochodzą z okresu lat hydrologicznych 1960/61 oraz 1961/62 z 95 stacji wód gruntowych w 22 przekrojach poprzecznych doliny Narwi i Bugu. Na podstawie krzywej układu zwierciadła wód gruntowych skonstruowanej dla odcinka poniżej ujścia Bugu do Narwi wyodrębniono strefy zależności wód podziemnych od wód rzecznych. Wykazano, że najsilniej na zmiany poziomu wód w rzece reagowały wody gruntowe w strefie oddalonej od rzeki o 0-200 m. W przypadku planowanych prac polegających na modernizacji budowli regulacyjnych na dolnej Odrze wiemy, na podstawie badań modelowych, że nie dojdzie do tak głębokich deformacji koryta rzeki, jakie miały miejsce w XIX w. Na położenie wody gruntowej w pasie przyległym do Odry w większym stopniu wpływać będą regionalne warunki hydrogeologiczne i wielkość ich alimentacji przez opady atmosferyczne w warunkach zmienionego klimatu niż zmiany poziomu wody w Odrze wywołane regulacją.

Czy funkcjonowanie odbudowanej zabudowy regulacyjnej, zarówno w perspektywie 40 lat samoistnego pogłębiania się rzeki, jak i po upływie tego czasu i osiągnięciu celu, tj. głębokości 1,8 m, może spowodować zmiany aktualnego reżimu hydrologicznego rzeki, jeśli tak w jakim zakresie i skali.

Regulacja rzeki nie wpłynie na ustrój hydrologiczny Odry, który jest zależny od warunków zasilania i odpływu ze zlewni. Odra ma mały potencjał powodziowy, a poprawienie stanu budowli regulacyjnych przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa powodziowego zmniejszając ryzyko tworzenia się zatorów lodowych.

Czy na etapie funkcjonowania odbudowanych ostróg, tam i umocnień brzegowych, tj. do 40 lat i później, może dojść do zmiany przepływów, długości stagnowania wody na wezbraniach oraz siły depozycji namulów przez wielkie wody.

Budowle regulacyjne nie wpłyną na zmiany przepływów ani zdolność doliny rzecznej do spłaszczania hydrogramów fal powodziowych. Nie zmieni się też wielkość transportu osadów, która zależy od procesów erozji gleb i dostawy osadów z innych źródeł w skali dorzecza. Mała ilość rumowiska rzeczno transportowanego w dolnym biegu Odry nie spowoduje znaczącej sedimentacji na równinie zalewowej i nie doprowadzi do utrudnienia zarówno zalewania, jak i odwadniania terenów przyległych do rzeki.

Czy zapewniona będzie dotychczasowa dynamika stanów wód, włączając w to coroczne i ekstremalne niżówki, jak i ekstremalne wezbrania, jeśli główny nurt skoncentrowany będzie w środkowej części koryta, czy w trakcie niżówek tereny bezpośrednio przyległe do rzeki będą podlegały większemu niż dotychczas przesuszeniu.

Budowle regulacyjne (także poddane modernizacji) nie wpływają na zmianę warunków hydrologicznych w skali dorzecza. Większym problemem w skali regionalnej będą zmiany klimatu, które objawiać się mogą przedłużającymi się okresami suszy. Wyniki pomiarów rzędnych dna wskazują na stabilizację profilu podłużnego rzeki. W pracy Nowickiej i in. (2015) wykazano, że wpływ obniżania dna Odry w wyniku silnej erozji poniżej stopnia Brzeg Dolny na położenie wód gruntowych jest ograniczony do strefy najbliższej położonej w stosunku do koryta rzeki. W dalszej

odległości od rzeki na poziom wód gruntowych mają wpływ warunki zasilania i przepływu wody w strefie saturacji.

Czy w trakcie funkcjonowania odbudowanej zabudowy regulacyjnej może w długoterminowej perspektywie dojść do załadowienia pól międzyostrogowych przez przyspieszenie erozji i zmiany w procesach akumulacji osadów.

Czy funkcjonowanie odbudowanej zabudowy regulacyjnej może powodować usuwanie piaszczystych płyczn w obrębie pól międzyostrogowych.

Ilość osadów transportowanych przez Odrę w porównaniu z Wisłą jest niewielka. Jeśli brać za przykład dolną Wisłę, to nie doszło tam do wypełnienia osadami przestrzeni między ostrogami. Nadal w części zaprawdowej są tam miejsca cyrkulacji wody ze wstecznym prądem oraz miejsca, gdzie odkładają się osady piaszczyste. Podobne mechanizmy działają na Odrze, gdyż zastosowano na obu rzekach zbliżone systemy regulacji.

Ciszewski (2007) podnosi także ważny aspekt utrzymania w dobrym stanie budowli regulacyjnych na Odrze, jakim jest ochrona Zalewu Szczecińskiego przed osadami zanieczyszczonymi metalami ciężkimi, zdeponowanymi w polach międzyostrogowych. Osady te, jeśli są unieruchomione i nie podlegają transportowi w rzece, nie stanowią zagrożenia. Ich uruchomienie mogłoby być możliwe w warunkach zaniechania prowadzenia prac utrzymaniowych i modernizacyjnych na budowlach regulacyjnych w korycie Odry.

Literatura

Analiza wyników modelowania pod kątem oceny oddziaływania na środowisko działań zaproponowanych w „Aktualizacji koncepcji regulacji cieku Odry Granicznej”, 2018.

Brański J., Banasik K., 1996, Sediment yields and denudation rates in Poland {w:] Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. IAHS Publ. no. 236.

Ciupa T., Suligowski R., Łajczak A., Babiński Z., 2017, Transport fluwialny w rzekach Polski. Materiał klastyczny. [w:] Jokieli P., Marszelewski W., Pociąg-Karteczka J. (red.) Hydrologia Polski. PWN Warszawa.

Ciszewski D., 2007, Regulacja Odry i zanieczyszczenie jej osadów powodziowych metalami ciężkimi. Gospodarka Wodna, 6, 247-253.

Czaja S., 2011, Powódzie w dorzeczu górnej Odry. Uniwersytet Śląski, Katowice.

Czajka A., Ciszewski D., 2010, Deposition of overbank sediments within a regulated reach of the the upper Odra River, Poland.

Gerstgraser Ingenieurbüro für Renaturierung, 2018, Skuteczność planowanego polderu zalewowego Międzyodrze i koncepcji regulacji cieku na poprawę ochrony przeciwpowodziowej na dolnej Odrze.

Gołek J., 1964, Złodzenie rzek polskich. Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego. z. 63.

Grześ M., Pawłowski B., 2006, Zatory na rzekach w Polsce. [w:] Pawłowski B. (red.) II Warsztaty Lodowe "Zatory i wezbrania zatorowe" Dobiegniewo.

Kardiasz P., Simoni J., 1966, Wpływ stanów wód w rzece na wody gruntowe jej doliny na przykładzie stosunków wodnych w rejonie zbiornika Dębe w okresie przed spiętrzeniem, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, s. 7-58.

KLIWAS, 2009, Impacts of Climate Change on Waterways and Navigation in Germany

Magnuszewski A., Porczek M., 2015, Wskaźnik potencjału powodziowego i względna ekspozycja na niebezpieczeństwo powodziowe gmin w Polsce. Prace i Studia Geograficzne T. 57, ss. 55-65.

Miłkowski M., 1976, Odrzańska droga wodna. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.

Muszyński W., 1948, Rozwój regulacji Odry. Gospodarka Wodna, 5/6.

Nowicka E., Olszewska B., Pływaczyk L., Łyczko W., 2015, Zmiany poziomów wód gruntowych w dolinie rzeki Odry poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym w okresie 1971–2012. Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus 14 (1), 169–178.

Pawłowski B., 2015, Determinants of change in the duration of ice phenomena on the Vistula River in Toruń. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 63, 145-153.

Pawłowski B., 2017, Przebieg zjawisk lodowych dolnej Wisły w latach 1960-2014. Wydawnictwa naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Toruń.

Rodier J. A., Roche M., 1984, World Catalogue of Maximum Observed Floods. IAHS Publ. no. 143.

A handwritten signature in blue ink, reading "A. Magurański", is written over a horizontal line.

Podpis autora