

Tomasz Kolarski

Ochrona przed powodzią zatorowymi na Dolnej Odrze i jeziorze Dąbie

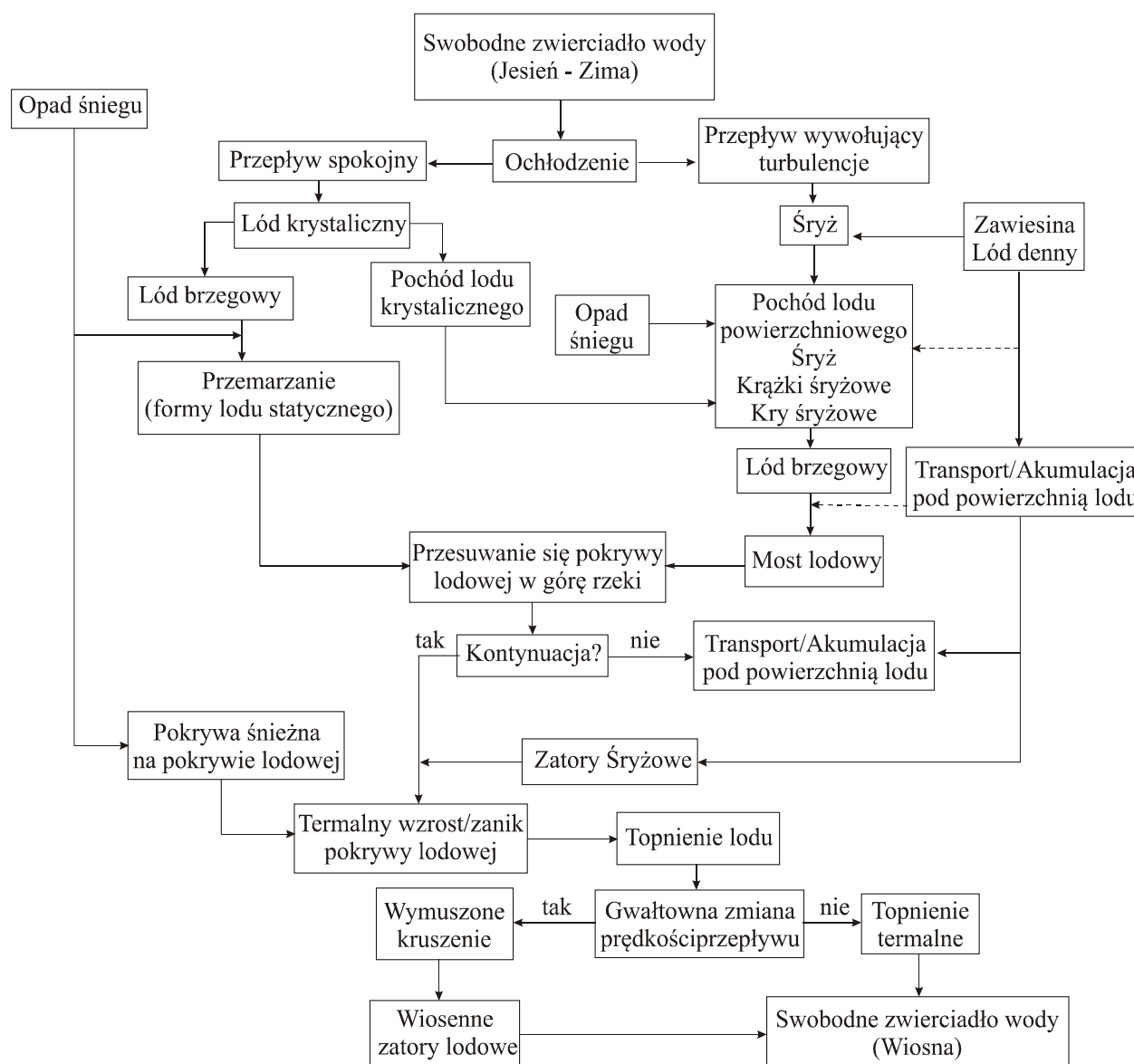
Gdańsk, 30/11/2014

Spis treści

1	Formowanie pokrywy lodowej na wodach śródlądowych	- 2 -
2	Zatory lodowe	- 8 -
3	Metody przeciwdziałania zatorom lodowym.....	- 10 -
3.1	Metody bierne	- 11 -
3.1.1	Przegrody stałe.....	- 11 -
3.1.2	Przegrody pływające	- 12 -
3.2	Metody czynne.....	- 14 -
3.2.1	Lodołamanie przy wykorzystaniu poduszkowców	- 14 -
3.2.2	Lodołamanie przy wykorzystaniu ładunków wybuchowych.....	- 15 -
3.2.3	Usuwanie lodu przy wykorzystaniu sprzętu budowlanego.....	- 16 -
3.2.4	Lodołamacze	- 17 -
4	Ocena zasadności podejmowanego projektu	- 19 -
5	Podsumowanie.....	- 21 -
6	Literatura.....	- 21 -

1 Formowanie pokrywy lodowej na wodach śródlądowych

Pokrywa lodowa na wodach śródlądowych tworzy się w efekcie ochłodzenia wody do temperatury bliskiej zeru. W warunkach Polski, lód tworzy się zwykle na przełomie jesieni i zimy w efekcie intensywnego wypromieniowywania ciepła z powierzchni wody i jej ochładzaniu. W bilansie cieplnym dominującymi czynnikami są promieniowanie krótkofalowe słońca i promieniowanie długofalowe powierzchni wody. Biorąc pod uwagę powyższe fakty, należy oczekiwać, że podczas bezchmurnych i mroźnych nocy będzie dochodziło do powstawania pierwszych kryształów lodu w przechłodzonej wodzie.



Rys. 1.1. Schemat procesów lodowych zachodzących w wodach śródlądowych [29]

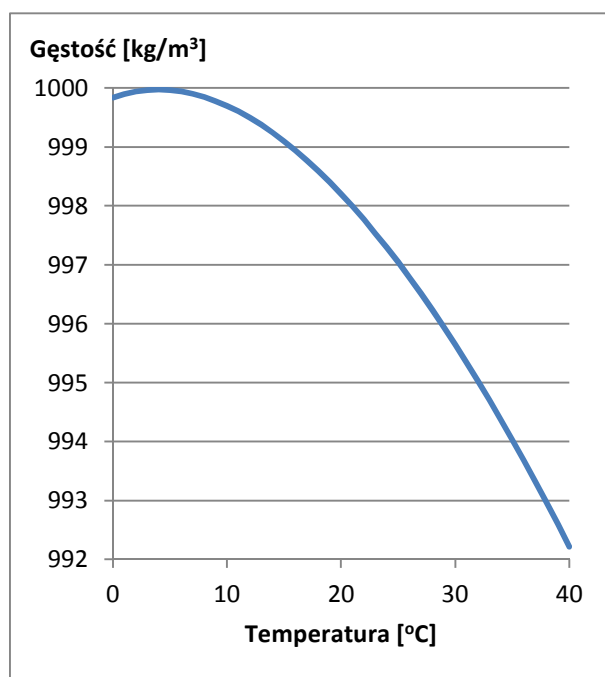
Rozróżniamy dwa podstawowe mechanizmy powstawania lodu w wodach śródlądowych (Rys. 1.1). Prowadzą one do utworzenia:

1. gładkiego lodu krystalicznego (Rys. 1.2) lub
2. lodu prądowego (Rys. 1.6).

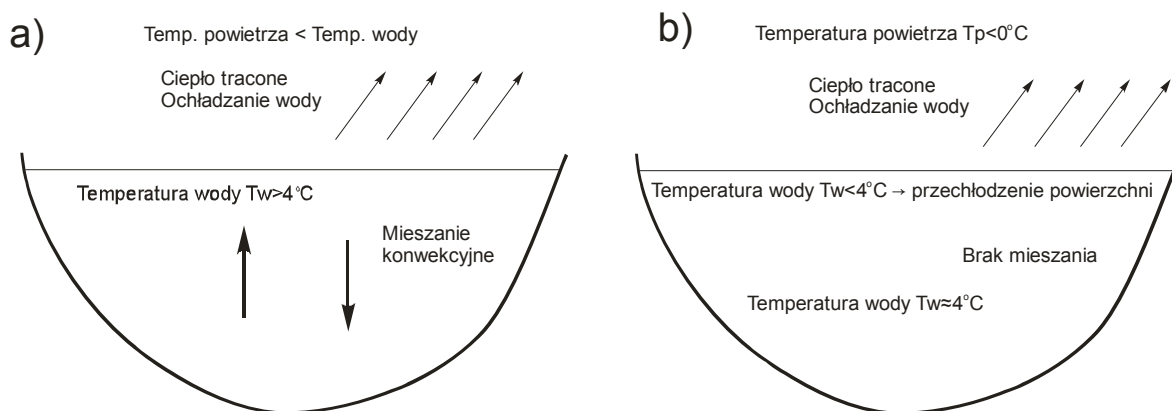
Pierwszy mechanizm dotyczy wód stojących lub wód płynących o niskim stopniu turbulencji. Na wstępie należy przypomnieć, że gęstość wody rośnie wraz ze spadkiem temperatury (Rys. 1.3). Ze względu na wymienioną tutaj właściwość fizyczną wody, podczas ochładzania woda ulega mieszanii pionowemu. Dzieje się tak do momentu uzyskania przez wodę swej maksymalnej gęstości przy temperaturze 4°C. Dalsze ochładzanie wody nie spowoduje mieszania konwekcyjnego, gdyż lżejsza warstwa chłodniejszej wody będzie zalegać na powierzchni cieplejszej wody. W takiej sytuacji ochłodzeniu poddawana będzie jedynie powierzchnia wody i stosunkowo szybko dochodzi do jej przechłodzenia (temperatura nieznacznie mniejsza od 0°C) i powstawania stałej pokrywy lodowej. Pokrywa utworzona na skutek pionowej stratyfikacji gęstościowej wody charakteryzuje się jednolitą grubością i gładką dolną powierzchnią. Opisane zjawisko jest charakterystyczne dla jezior i zbiorników wodnych oraz odcinków rzek o niewielkiej prędkości przepływu. Warunkiem koniecznym jest brak mieszania na skutek działania siły wiatru lub ruchu przepływającej wody. W rzekach lód krystaliczny formuje się najczęściej w płytkich, przybrzeżnych rejonach w postaci lodu brzegowego. Dla analizowanego odcinka Dolnej Odry opisany proces będzie z dużym prawdopodobieństwem występował na Jeziorze Dąbie i obszarach przybrzeżnych na rzece, a w szczególności w rejonie istniejących ostróg i pól międzyostrogowych. Na torze wodnym na Jeziorze Dąbie będzie w zależności od warunków przepływu dochodziło do utworzenia lodu gładkiego lub pokrywy lodowej powstającej na skutek akumulacji dopływających form lodu. W górnej części jeziora, w rejonie wejścia rzeki Regalicy oczekiwane jest utworzenie płoni na skutek dopływu podgrzanych wód z Elektrowni Gryfino. W celu dokładnego rozeznania warunków lodowych na Jeziorze Dąbie niezbędne jest przeprowadzenie symulacji numerycznych w różnych warunkach hydraulicznych (zmienne natężenie przepływu) i atmosferycznych, a następnie porównanie uzyskanych wyników z obserwacjami w terenie. Lód brzegowy na Odrze będzie prawdopodobnie miał niewielki wpływ na dynamikę zatorów lodowych, jednak należy pamiętać o jego istnieniu.



Rys. 1.2. Gładki лёд krystaliczny utworzony w laboratorium HSVA, siatka stalowa o prześwicie 0,5 cm [13]

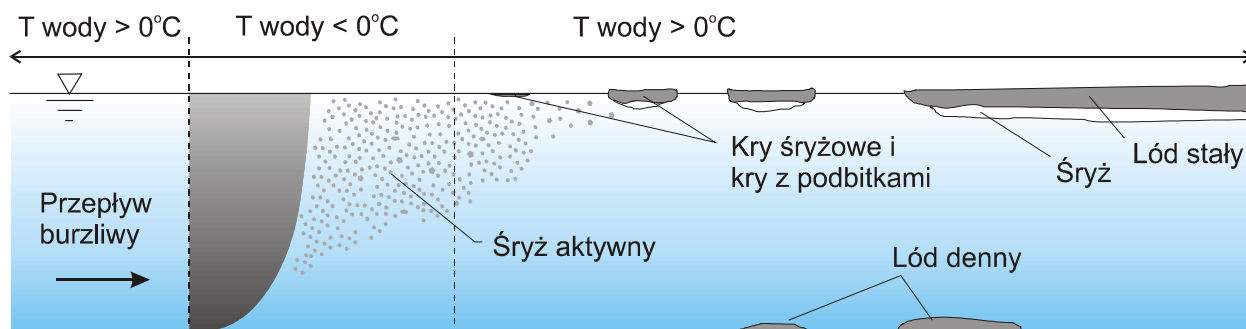


Rys. 1.3 Zależność gęstości wody od jej temperatury (wg danych z [7])



Rys. 1.4. Stratyfikacja termiczna wody podczas jej ochładzanie (a) i po ochłodzeniu do temperatury granicznej 4°C (b)

Drugim procesem, który prowadzi do powstanie lodu jest sytuacja często występująca w rzekach. Chodzi o istnienie turbulencji przepływu, która uniemożliwia ukształtowania się trwałej równowagi gęstościowej wody na skutek jej ochłodzenia. W takiej sytuacji, przy niskiej temperaturze powietrza może dochodzić do całościowego przechłodzenia wody, co spowoduje powstawania kryształów lodu w całej objętości wody. Kryształy lodu utworzonego na skutek mieszania turbulentnego zwane są śryżem lub lodem prądowym. Śryż znajdujący się w przechłodzonej wodzie ma zdolność zwiększania swej objętości poprzez przymarzanie cząsteczek wody jak również do łączenia się w większe konglomeraty oraz przyczepiania się do rumowiska rzeczno lub innych obiektów będących w wodzie. Ten stan lodu prądowego określa się mianem lodu w formie aktywnej. Jest to niebezpieczna sytuacja zarówno dla użytkowników cieku jak również dla życia biologicznego. Śryż aktywny może blokować ujęcia wody i wloty do elektrowni wodnych osadzając się na kratkach wlotowych. Może również przyczepiać się do stalowych i betonowych elementów innych budowli hydrotechnicznych powodując utrudnienie lub wręcz uniemożliwienie manewrowania wrotami śluz żeglugowych i zamknięć na budowlach piętrzących. Usunięcie śryżu z budowli hydrotechnicznych jest trudne i kosztowne. Lód prądowy w wodzie przechłodzonej jest niebezpieczny dla ryb, ponieważ może przyklejać się do ich skrzel, co w wielu sytuacjach przyczynia się do śmierci tych zwierząt. Lód przywierający do dna cieku określa się mianem lodu dennego i jest istotnym elementem dynamiki lodu rzeczno.



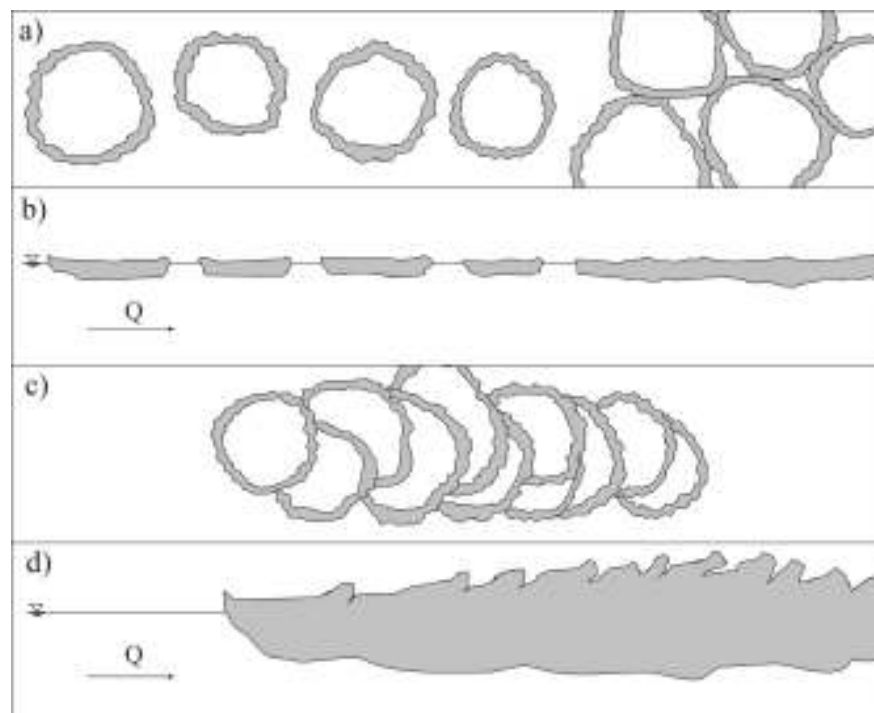
Rys. 1.5. Przemiany lodu prądowego w rzece z przepływem burzliwym



Rys. 1.6. Śryż (lód prądowy) utworzony w laboratorium HSVA, siatka stalowa o prześwicie 0,5 cm [13]

Gęstość lodu jest o około 10% mniejsza od gęstości wody, wobec czego jego naturalną tendencją jest wynoszenie na powierzchnię. Oczywiście będzie to możliwe jedynie w sytuacji, gdy siła wyporu działająca na lód będzie przewyższała składową pionową siły pochodzącej od turbulentnego ruchu wody. Oznacza to, że lód prądowy pozostanie w zawieszeniu w przepływie turbulentnym do momentu uzyskania odpowiedniej objętości skutkującej jego unoszeniu się ku powierzchni wody. Następnie, śryż unoszący się na powierzchni wody może nadal zwiększać swoją objętość poprzez przyłączanie kolejnych kryształów lodu i spływać w dół rzeki w postaci tzw. krążków śryżowych. Krążki śryżowe mają charakterystyczną talerzykową formę i często niosą ze sobą dużą ilość podczepionego luźnego śryżu w postaci podbitek [12]. Transport krążków śryżowych będzie trwał do momentu natrafienia przez te formy lodu na jakąś przeszkodę w nurcie rzeki. Przeszkodą taką może być zarówno przewrócone drzewo, znaczne wypłylenie rzeki, filary mostu czy inna budowla hydrotechniczna blokująca swobodny odpływ lodu. Najczęściej transportowany po rzece lód zatrzymuje się na czole istniejącej pokrywy lodowej. Wówczas w zależności od lokalnych warunków hydraulicznych może dochodzić do podpływania lodu pod istniejącą pokrywę lodową, akumulacji lodu w postaci zatoru lub rozbudowywanie pokrywy lodowej w górę rzeki (Rys. 1.7). Kryterium warunkującym czy pokrywa lodowa będzie rozbudowywała się w górę rzeki jest liczba Froude'a definiowana w postaci $Fr = V/(gh)^{0.5}$, gdzie V jest średnią prędkością wody, h jest głębokością wody, natomiast g jest przyspieszeniem ziemskim. Obserwacje terenowe przeprowadzone dla różnych wielkości lodu dopływającego do czoła istniejącej pokrywy lodowej wskazują na zakres granicznej liczby Froude'a $Fr = 0.05 - 0.10$ [19]. Wynika z tego, że w pewnych sytuacjach, mimo sprzyjających warunków meteorologicznych, rzeka pozostanie wolna od ciągłej pokrywy lodowej na skutek panujących w niej warunków hydraulicznych. Oczywiście natężenie przepływu w rzekach jest zmienne i mimo początkowego zahamowania procesu rozbudowy pokrywy

lodowej, w późniejszym okresie będzie on kontynuowany. Jeśli przeszkody nie występują, lód jest odprowadzany do ujścia bez utworzenia pokrywy lodowej.



Rys. 1.7. Typy pokrywy lodowej zbudowanej z krążków śryżowych luźno połączonych (a) i (b), oraz nawarstwionych (c) i (d) wg. [12]

Należy podkreślić, że pokrywa lodowa zbudowana w sposób dynamiczny ma nierównomierną grubość, oraz znacznie większą szorstkość w stosunku do pokrywy utworzonej w sposób statyczny. Często pod dynamiczną pokrywą lodową występują podbitki śryżowe zbudowane z gąbczastej i silnie porowatej lepy śryżowej. Mogą też znajdować się tam różne inne formy lodu podpływającego pod pokrywą od jej czoła i przemieszczającego się pod nią w dół rzeki. Tego typu forma pokrywy lodowej jest niekorzystna z punktu widzenia użytkowników rzek ze względu na to, że generuje wyższe stany wody, oraz jest znacznie trudniejsza do bezpiecznego usunięcia podczas akcji lodołamania.

Odra jest rzeką płynącą z południa na północ, co niesie konsekwencje w sposobie powstawania pokrywy lodowej. Na południowym zachodzie Polski średnie temperatury powietrza są zwykle wyższe niż w dolnym biegu Odry. Wobec tego można z dużym prawdopodobieństwem powiedzieć, że pokrywa lodowa na Dolnej Odrze jest zapoczątkowana statycznie utworzonym lodem gładkim na jeziorze Dąbie. Jest to zgodne z obserwacjami, które wskazują, że zjawiska lodowe na jeziorze Dąbie trwają najdłużej i są najbardziej intensywne [27]. Na pozostałej części rzeki lód najprawdopodobniej będzie powstawał w formie śryżu, ale jest to uzależnione zarówno od warunków meteorologicznych, jaki i hydrodynamicznych. Zakładając taki scenariusz, w uproszczeniu można oczekiwać, że spływający z Odry lód zatrzyma się na istniejącej na jeziorze Dąbie pokrywie lodowej. Następnie będzie dochodziło do rozbudowy pokrywy w górę rzeki do momentu, gdy warunki hydrodynamiczne na to pozwolą (graniczna

liczba Froude'a). Powstrzymanie rozbudowy pokrywy lodowej może również nastąpić na skutek podniesienia temperatury powietrza powyżej 0°C , co spowoduje ustanie generowania śryżu w rzece swobodnie płynącej na odcinku powyżej już istniejącej pokrywy lodowej. Przy ekstremalnie niskiej temperaturze powietrza utrzymującej się przez długi czas, rozbudowywana dynamicznie pokrywa lodowa, teoretycznie może dotrzeć do stopnia wodnego Brzeg Dolny, co jest jednak mało prawdopodobne. Oczywiście powstrzymanie pochodzących form lodowych może wystąpić w innych lokalizacjach na całej długości Odry, do czego przyczyniać się mogą zarówno obiekty mostowe, jak i załamania nurtu oraz wszelkiego rodzaju przeszkody i wypłylenia występujące na rzece. Jest to tym bardziej prawdopodobne im większa jest koncentracja płynącego lodu oraz im mniejsza jest prędkość przepływu [31]. Lokalizacje potencjalnego inicjowania pokrywy lodowej mogą się pokrywać z miejscami zatorogennymi wskazanymi w [14].

Opisany powyżej proces formowania pokrywy lodowej na Dolnej Odrze jest jedynie sytuacją spekulowaną na podstawie wiedzy teoretycznej i szacunkowych warunków przepływu na rzece. W celu przeprowadzenia wnikliwej analizy wymagane byłoby zaimplementowanie do odcinka Środkowej i Dolnej Odry modelu matematycznego, który ujmowałby zjawiska lodowe na rzekach. Sugerowane byłoby zastosowanie modelu jednowymiarowego podobnie jak to miało miejsce np. na rzece Łabie [18].

2 Zatory lodowe

Zjawisko zatoru lodowego jest bardzo dynamiczne i trudne do przewidzenia, jednakże jego wpływ jest zwykle lokalny. Zatory lodowe mogą tworzyć się zarówno podczas tworzenia się pokrywy lodowej jak i podczas jej rozpadu. Na początku sezonu zimowego zwykle mamy do czynienia ze stosunkowo małą objętością lodu, wobec czego, jeśli nawet dojdzie do powstrzymania odpływu lodu i jego akumulacji, zator powstały w ten sposób jest niegroźny i nie wymaga specjalnej uwagi ze strony administratora wód. Inaczej wygląda sytuacja podczas rozpadu pokrywy lodowej, która najczęściej występuje na wiosnę, lecz coraz częściej jest również obserwowana w miesiącach typowo zimowych.

Rozpad pokrywy lodowej jest procesem skomplikowanym i wciąż nie do końca rozpoznanym. Aktualnie prowadzone badania naukowe dotyczą zarówno przyczyn jak i mechanizmów towarzyszącym rozpadowi pokrywy lodowej. Ogólnie można powiedzieć, że pokrywa lodowa zaczyna się rozpadać w momencie, gdy jest osłabiona na skutek wysokiej temperatury powietrza i wody (rozpad termiczny) lub gdy siła działająca na pokrywę zgodnie z kierunkiem przepływu znacznie wzrośnie (rozpad wymuszony). Oba wspomniane mechanizmy występują zwykle równocześnie i wzajemnie się uzupełniają [17].

Rozpadowi termicznemu towarzyszy intensywne absorbowanie ciepła przez powierzchnię lodu i wody. W bilansie cieplnym dominować będą promieniowanie krótkofalowe, którego wartość rośnie na wiosnę wraz ze zbliżaniem się do przesilenia letniego, oraz promieniowanie długofalowe powierzchni lodu. Strumień ciepła pobierany na skutek promieniowania długofalowego jest ściśle związany z różnicą temperatur powietrza i rozpatrywanej powierzchni. Wynika z tego, że podniesienie temperatury powietrza lub wody będzie skutkowało zwiększeniem ciepła pobieranego przez lód. Dodatkowo topnienie pokrywy lodowej może być znacznie przyspieszone poprzez opad deszczu w dniach o wysokiej

temperaturze powietrza. Strumień ciepła przekazywany przez deszcz jest wprost proporcjonalny do temperatury powietrza oraz natężenia opadu [2].

Ruszenie lodu występuje również w momencie, gdy dochodzi do zwiększenia siły działającej na pokrywę lodową i skierowaną w kierunku przepływu wody w rzece. Przyrost siły generującej ruch lodu jest najczęściej wywołany poprzez gwałtowną zmianę poziomu wody ([4], [16] i [28]). Podniesienie się zwierciadła wody w okresie wiosennym może być wywołane topnieniem śniegu lub opadem deszczu, który spada na wciąż zmarzniętą ziemię generując tym samym większy opad efektywny. Wytrzymałość lodu na zginanie nie jest znaczna w szczególności, gdy jego temperatura jest bliska 0°C. W opisanych powyżej warunkach przemieszczająca się w dół rzeki fala wezbraniowa będzie powodowała kruszenie zalegającej na rzece pokrywy lodowej.

Sytuacja, gdy odpływ lodu kruszonego poprzez falę wezbraniową jest utrudniony ze względu na zalegająca poniżej pokrywę lodową stanowi potencjalne zagrożenie z punktu widzenia tworzenia zatoru lodowego. Niestety w warunkach Dolnej Odry jest to proces typowy ze względu na kierunek przepływu rzeki z południa na północ. Zwykle ruszenie lodu następuje początkowo w górnym i środkowym biegu rzeki z uwagi na wyższe temperatury powietrza w południowo-zachodniej części kraju. To czy skruszona kora lodowa będzie przemieszczała się w dół rzeki czy zostanie powstrzymana przez istniejącą w niższym odcinku rzeki pokrywę lodową będzie zależne o bilansu sił działających na lód. Lód będzie spływał w dół rzeki, jeśli siła grawitacji oraz siła pochodząca od ruchu wody przeważą siły oporu wewnętrznego lodu oraz tarcia na styku lód-brzeg lub lód-dno rzeki. Siły oporu wewnętrznego lodu będą osłabione ze względu na dodatnie temperatury powietrza obserwowane zwykle podczas ruszenia lodu. Dlatego pokrywa lodowa znajdująca się na drodze poruszającego się w dół rzeki skruszonego lodu może stosunkowo łatwo ulec zniszczeniu i dodając tym samym masę do poruszającego się lodu. Jednak w sytuacjach, gdy mamy do czynienia ze zmniejszeniem składowej podłużnej siły grawitacji na skutek zmniejszenia spadku zwierciadła wody (np. cofka wywołana piętrzeniem lub zmniejszenie spadku dna ciek) pokrywa lodowa może skutecznie zablokować odpływ lodu. Jest to często obserwowane w przypadku wchodzenia kry lodowej do zbiornika wodnego, a przykładem zatoru w ten sposób formowanego może być sytuacja powodzi zatorowej na Wiśle w 1982 r. [21]. Podobna sytuacja była obserwowana na ujściowym odcinku Wisły w 1954 i 1992 r. lecz w tym wypadku intensywna akcja lodołamania uchroniła tereny przybrzeżne przed powodzią [23].

Dużo bardziej prawdopodobne jest utworzenie zatoru lodowego w rezultacie zwiększenia siły oporu na skutek oparcia się lodu o brzeg lub dno rzeki. Dzieje się tak, gdy mamy do czynienia z gwałtowną zmianą kierunku przepływu (ostre zakręty na rzece) lub gdy w rzece występują wypłcenia z odłożonego rumowiska. Wówczas, przy znacznej grubości transportowanego lodu może on zostać zatrzymany w tych miejscach, lecz nie koniecznie musi prowadzić to do wytworzenia się trwałego zatoru lodowego. To czy zator będzie nadal w ruchu jest efektem składowej sił działających na niego. Jeśli siły działające w kierunku zgodnym z przepływem dominują nad siłami oporu zator nie będzie stabilny i powolnie, lecz stale będzie przemieszczał się w kierunku ujścia. Należy przy tym pamiętać, że natężenie przepływu nie jest wielkością stałą i może zarówno ułatwiać transport lodu podczas wezbrania lub utrudniać w sytuacji obniżenia przepływu.

Dodatkowym czynnikiem warunkującym stabilizację zatoru lodowego jest temperatura powietrza. W skrajnych sytuacjach, na skutek gwałtownego obniżenia temperatury powietrza niestabilny zator lodowy może zamarznąć i utrzymywać się w miejscu przez wiele miesięcy, czego przykładem może być zjawisko obserwowane na rzece Thames w Ontario zimą 1986 r. [5]. Sytuację odwrotną często obserwuje się podczas absorbowania ciepła przez zalegające masy lodu, co przyczynia się do osłabienia jego sił wewnętrznych i do topnienia (np. ruszenie zatoru na rzece St. Clair na przełomie kwietnia i maja 1984 r. [24]). Wówczas łatwo może dochodzić do samoczynnego ruszenia lodu i uformowania się fali wezbraniowej poprzez uwolnienie wody zmagazynowanej powyżej zatoru. Jest to bardzo niebezpieczna sytuacja często powodująca zagrożenie dla pracujących przy usuwaniu zatoru lodołamaczy.

Zatory lodowe na Dolnej Odrze formują się najczęściej w lokalizacjach przedstawionych w [27]. Przyczyna tworzenia się zatorów w tych lokalizacjach nie została przedyskutowana w wymienionej pracy. Na podstawie dostępnych informacji ([14], [25]) można wymienić kilka przyczyn powodujących powstawanie zatorów lodowych na Dolnej Odrze:

1. Wpływ cofki odmorskiej obserwowanej nawet to Gozdowic (km 645)
2. Wiatr wiejący z kierunku przeciwnego do kierunku przepływu; problem szczególnie istotny dla jeziora Dąbie, ale również w każdej innej lokalizacji
3. Zmiana kierunku nurtu (np. dla km 673 Bielinek)
4. Zwężenie koryta rzeki (np. Bielinek czy Widuchowa)
5. Zatrzymanie spływu lodu na filarach obiektów mostowych znajdujących się w nurcie rzeki (np. Słubice)
6. Wypłylenia występujące w nurcie rzeki na powstające wskutek odkładu rumowiska; wobec braku prowadzonych prac pogłębiarskich oraz złej jakości urządzeń regulacyjnych problem dotyczy niemal całego odcinka Odry.
7. Zasilanie Odry lodem z lewostronnych dopływów (np. Gozdowice lub Ognica)

Zagadnienia wymienione w punktach 1 i 2 są niemożliwe do wyeliminowania. Punkty 2 i 3 są związane z układem hydrograficznym Odry, co w pewnym stopniu może być skorygowane poprzez prace regulacyjne. Pozostałe przyczyny mogą być zminimalizowane dzięki odpowiednim pracom hydrotechnicznym.

3 Metody przeciwdziałania zatorom lodowym

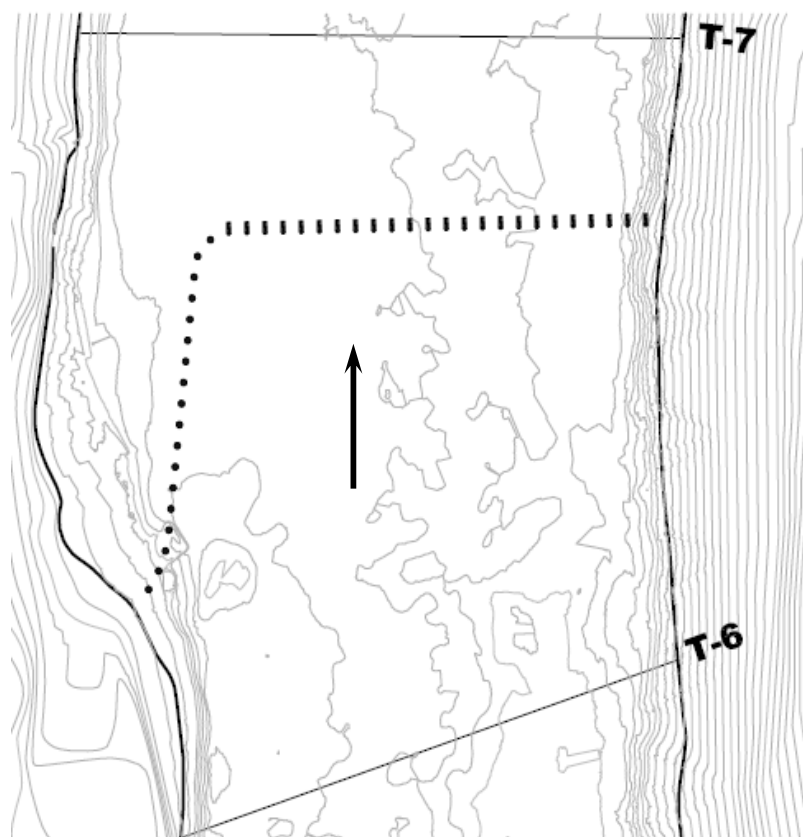
W celu walki z niebezpiecznym zjawiskiem zatoru lodowego opracowano szereg metod, które można podzielić na metody czynne i bierne. Do metod biernych zalicza się przede wszystkim przegrody lodowe budowane w celu stabilizacji pokrywy lodowej, kierowaniu spływem lodu lub powstrzymywaniem dopływu lodu do pewnych odcinków rzek. Metody czynne to lodołamanie, które przeprowadza się w celu udrożnienia koryta rzecznej i zapewnienia sprawnego odpływu lodu do ujścia.

3.1 Metody bierne

Przegrody lodowe służą głównie kontrolowaniu ilości przepływającego lodu w rzekach. Poprzez regulację przepływu lodu rozumie się najczęściej powstrzymanie przed powstawaniem zatoru lodowego w miejscu, w którym spowoduje to znaczne straty ekonomiczne. Stosuje się dwa typy przegród: stałe oraz pływające.

3.1.1 Przegrody stałe

Z przegród stałych najczęściej stosowane są przegrody stałe filarowe. Są wykonane z pali stalowych lub żelbetonowych umocowanych w dnie rzeki. Stosuje się również bloki betonowe lub kamienne w zależności od potrzeb i lokalnych uwarunkowań. W wyniku budowy stałej przegrody lodowej zator wytworzy się w miejscu wcześniej do tego zaplanowanym, gdzie nie będzie generował poważnych strat. Miejsca w których planuje się realizację przegrody lodowej jest specjalnie do tego przystosowane poprzez umocnienie dna (brukowanie) oraz przygotowanie kanału ulgi dla przepływającej wody (Rys. 3.1). Dzięki temu zator nie powoduje erozji dna oraz nie stwarza zagrożenia powodziowego dzięki zapewnieniu odpływu wody. Dodatkowo poprzez kontrolowane wytwarzanie zatoru unika się oddziaływania znacznych sił pochodzących od skumulowanego lodu na budowle hydrotechniczne. Wiadomym jest, że siła dynamicznego i statycznego działania lodu może przekraczać 10 kN na metr bieżący konstrukcji. Takiego rzędu obciążenie w wielu przypadkach prowadzi do całkowitego zniszczenia konstrukcji. Przegrody lodowe stałe stosuje się głównie na rzekach o niewielkim natężeniu przepływu oraz na takich, gdzie objętość lodu podlegającego zatrzymaniu nie jest zbyt duża. Nie ma możliwości ustawienia takiego typu zapor na Dolnej Odrze. Skutkowałoby to akumulacją ogromnej ilości lodu dopływającego zarówno z Górnej i Środkowej Odry, jak również ze wszystkich dopływów zasilającej rzekę poniżej stopnia Brzeg Dolny. Można jedynie rozpatrzyć ustawienie przegrody filarowej, jako urządzenia naprowadzające i wspomagającego spływ lodu po wcześniej wytypowanym torze. Myślę tutaj o dolnej części Jeziora Dąbie w rejonie ujścia Iny, gdzie w wariantcie IIIB przewidziano zakręt na planowanym torze wodnym [27]. Oczywiście, ze względu na duży koszt takiej inwestycji, proponowane rozwiązanie wymaga szczegółowej i wielowariantowej analizy przy wykorzystaniu modelu matematycznego.



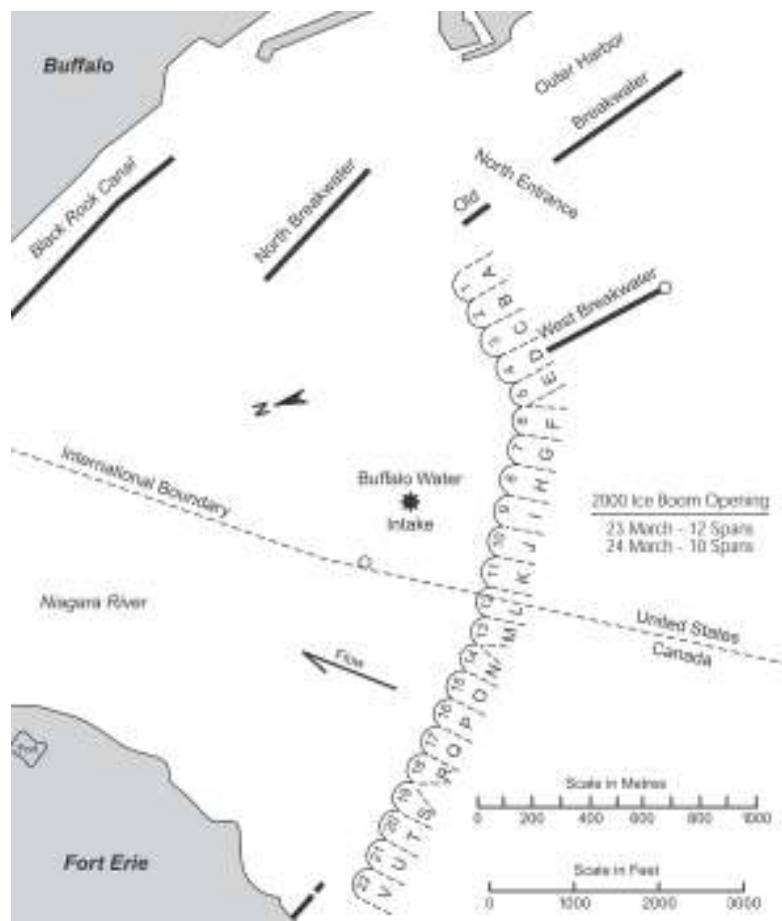
Rys. 3.1. Koncepcja filarowej przegrody lodowej projektowanej na rzece Grasse w stanie Nowy Jork; kierunek przepływu jest oznaczony strzałką; przy lewym brzegu widoczny kanał ulgi [1]

3.1.2 Przegrody pływające

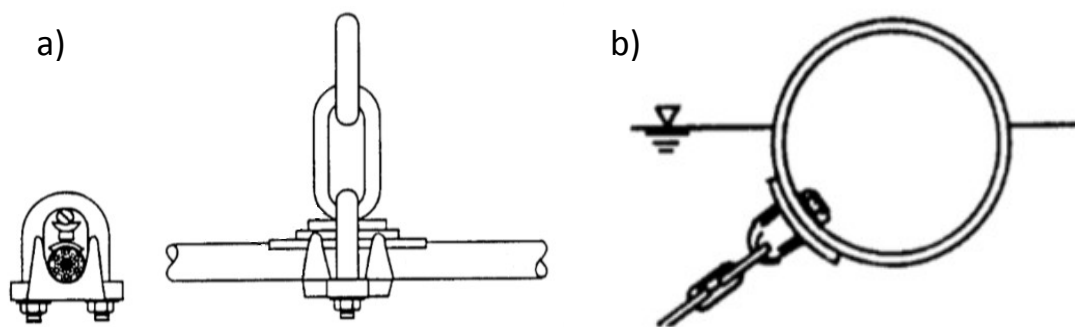
Przegrody pływające są znacznie bardziej rozpowszechnione ze względu na szerszy zakres stosowalności w celu kontroli spływu lodu. Składają się one z pływających na powierzchni wody drewnianych bali lub stalowych pontonów połączonych liną stalową lub łańcuchem. Całość jest zakotwiczona do dna i brzegów rzeki. Dzięki temu przegroda może być instalowana na początku sezonu zimowego i usuwana po ustąpieniu lodu. Jest to bardzo wygodne rozwiązanie ze względu na brak kolizji z innymi użytkownikami rzeki w sezonie żeglugowym. Zadaniem przegrody pływającej jest zainicjowanie rozbudowy pokrywy lodowej podczas jej formowania. Przegrody odgrywają również istotną rolę podczas ruszenia lodu poprzez ograniczenie spływu lodu z jezior do rzek (np. pomiędzy jeziorem Erie a rzeką Niagarą) lub dopływu lodu z rzek do zbiorników wodnych (np. przegroda na zbiorniku Włocławek [12]).

Praca przegrody podwieszanej polega na zatrzymaniu lodu spływającego rzeką w miejscu do tego przeznaczonym. Ponieważ jest to konstrukcja pływająca lód jest wstrzymywany warunkowo, to znaczy do momentu, gdy siła przenoszona przez pływające elementy przegrody nie przekroczy siły granicznej, która jest składową siły wyporu pontonów i sił napięcia liny. Po przekroczeniu wartości granicznej, pontony ulegną zatopieniu, a lód będzie przemieszczał się ponad nimi. Przegroda wynurzy się ponownie w momencie, gdy siła wyporu przeważa nad siłą ciężkości przepływającego lodu. Inaczej rzecz ujmując

przegroda wypłynie na powierzchnię, gdy grubość przepływającego lodu będzie stosunkowo mała, co pozwoli na przebicie się pontonu przez poruszający się lód. Ze względu na opisany powyżej sposób pracy przegrody, aby nie powodować zrzutu całości zgromadzonego lodu powyżej przegrody, wykonuje się ją z niezależnych segmentów. Przykład przegrody zastosowanej na jeziorze Erie pokazano na Rys. 3.2, natomiast szczegół konstrukcyjny łączenia pontonu stalowego z liną na Rys. 3.3.



Rys. 3.2. Schemat pływającej przegrody lodowej na Jeziorze Erie [15]



Rys. 3.3 Szczegół konstrukcyjny mocowania pontonu w przegrodzie pływającej; siodło pomiędzy liną stalową a łańcuchem (a); mocowanie pontonu do łańcucha (b); [6]

Na Dolnej Odrze Instalacja przegrody lodowej typu pływającego może być brana pod uwagę w miejscach, gdzie chcemy zapewnić stabilizację pokrywy lodowej lub gdy chcemy ograniczyć zasilanie Odry lodem spływającym z jej dopływów. Wykonanie przegrody na Odrze może być brane pod uwagę na odcinkach powyżej miejsc szczególnie chronionych, takich jak rejon Słubic czy Kostrzynia lub jazu w Widuchowej. Instalacja przegrody pływającej na lewostronnych dopływach Odry powodowałaby limitowanie spływu lodu do rzeki głównej a tym samym zmniejszyłoby zagrożenie potencjalnego zatoru. Wydaje się, że można rozpatrzyć dopływy, poniżej których często obserwowane są zatory lodowe, jak na przykład:

- Rzeka Rurzyca – zmniejszenie potencjału zatorowego w rejonie Ognicy km 697
- Rzeka Kurzyca i Myśla – zmniejszenie potencjału zatorowego w rejonie Gozdowice km 645 i pośrednio w rejonie Szumiłowa km 621
- Rzeka Ilanka – zmniejszenie potencjału zatorowego w rejonie Słubic km 584

Przedstawione powyżej propozycje są wynikiem analizy miejsc zatorogennych wymienianych w [14] oraz w [27] pod kątem przyczyn formowania się zatoru w tych miejscach. Dla lokalizacji Ognica i Gozdowice wydaje się, że jedną z przyczyn powstawania zatorów poza efektem cofki odmorskiej jest zwiększenie koncentracji lodu w Odrze na skutek dodatkowego zasilania z dopływów. Przemawia za tym brak obiektów mostowych i zakrętów na Odrze w wymienionych odcinkach rzeki. Ze względu na brak danych batymetrycznych z tych rejonów rzeki nie mam możliwości odniesienia się do układu dna i wpływu potencjalnych wypływności na zatrzymywanie się i akumulację lodu prowadzących do zatorów.

Każda decyzja o próbie złagodzenia problemu zatoru lodowego poprzez instalację przegrody lodowej powinna być poprzedzona wnikliwą analizą teoretyczną popartą obliczeniami numerycznymi. Analogiczne obliczenia zostały przeprowadzone dla rzeki Grasse [20] oraz dla przegrody lodowej na jeziorze Noto [22]. Brak takich analiz może prowadzić do błędnego projektu przegrody lodowej i mimo poniesionych kosztów nie uzyska się wymaganych efektów.

3.2 Metody czynne

Lodołamanie jest najczęściej stosowanym środkiem technicznym mającym na celu udrożnienie rzeki w celu spławiania lodu lub usunięcie zatoru lodowego. Na przestrzeni lat opracowano kilka metod, z których najpopularniejszym rozwiązaniem jest kruszenie lodu przy wykorzystaniu specjalnie do tego przystosowanych statków o wzmocnionym kadłubie, zwanych dalej lodołamaczami. Do kruszenia lodu i usuwania zatorów stosuje się również poduszkowce, ładunki wybuchowe lub usuwa się lód za pomocą koparek. W warunkach Dolnej Odry użycie lodołamaczy to jedyna metoda mogąca skutecznie przeciwdziałać powodziom zatorowym. Pozostałe metody są nieskuteczne lub niemożliwe do zastosowania ze względu na charakter rzeki, lecz zostaną poniżej opisane w celu weryfikacji tego wniosku.

3.2.1 Lodołamanie przy wykorzystaniu poduszkowców

Poduszkowce testowane były w Kanadzie od lat siedemdziesiątych. Stwierdzono, że fala powietrzna produkowana przez te pojazdy powoduje ugięcie pokrywy lodowej i w przypadku niewielkiej jej

wytrzymałości dochodzi do pęknięcia lodu. Poduszkowce są z powodzeniem stosowane w celu usuwania lodu z jezior i zbiorników w Kanadzie, jednak nie mogą być stosowane w miejscach gdzie pokrywa lodowa jest nierównomierna ma zróżnicowaną wierzchnią warstwę lub posiada liczne podbitki śryżowe. Oznacza to, że stosowanie poduszkowców w warunkach Dolnej Odry jest niemożliwe. Również wykorzystanie tych pojazdów na zalewie Szczecińskim jest raczej trudne do przeprowadzenia ze względu na liczne wały lodowe powodowane przez wiatr [11].

3.2.2 Lodołamanie przy wykorzystaniu ładunków wybuchowych

Ładunki wybuchowe zakładane pod lodem były stosunkowo często stosowane w minionych latach, jednak ich skuteczność jest delikatnie mówiąc dyskusyjna. Istota tej metody polega na zakładaniu stosunkowo niewielkich ładunków wybuchowych pod pokrywą lodową przeznaczoną do pokruszenia. Najczęściej akcje tego typu przeprowadzane są w obliczu silnej presji społecznej w celu ochrony mostu przed zerwaniem lub zniszczeniem innych obiektów hydrotechnicznych. Zwykle skupia się przy tym na próbie rozbicia zatoru bez możliwości odprowadzenia lodu w dół rzeki. Trzeba pamiętać, że akcja lodołamania może przynieść pożądany skutek jedynie w sytuacji, gdy zapewniony jest odpływ skruszonego lodu. W przypadku braku spełnienia tego warunku, punktowe kruszenie lodu może przyczyniać się jedynie do przesunięcia zatoru w niższy odcinek rzeki. Biorąc to pod uwagę łatwo zauważyć, że akcja lodołamania przeprowadzana przy wykorzystaniu ładunków wybuchowych zakładanych pod lodem będzie powodowała lokalne pokruszenie zatoru i przesunięcie go nieznacznie w dół rzeki bez uzyskania wymaganego rezultatu lub wręcz pogorszeniem sytuacji. Dobrym przykładem jest powódź w Płocku spowodowana zatorem lodowym w lutym 1982 r. Ze względu na zagrożenie rurociągu „Przyjaźń” podjęto próby rozbicia zatoru lodowego poprzez detonowanie ładunków wybuchowych. Akcja ta nie przyniosła żadnego skutku, co widać po zarejestrowanych stanach wody w Płocku. Dopiero dotarcie do Płocka lodołamaczy i wytworzenie rynny wolnej od lodu na całej długości zbiornika Włocławek przyczyniło się do obniżenia poziomu wody o 2 metry. Również na Odrze stosowano w latach czterdziestych bombardowania lodu z samolotów lub przy użyciu artylerii. Jak pokazują relacje z tamtego okresu nie przyniosło to zakładanego skutku [14]. Oczywiście pomijam tutaj wpływ tego rodzaju rozwiązania na obszary siedliskowe czy ptasie „Natura 2000”.



Rys. 3.4. Próba usunięcia zatoru lodowego w rejonie mostu drewnianego w Wyszogrodzie przy wykorzystaniu ładunków wybuchowych zimą 1998; po eksplozji nie stwierdzono spływu lodu w dół rzeki (strzałka wskazuje kierunek przepływu)

3.2.3 Usuwanie lodu przy wykorzystaniu sprzętu budowlanego

Usuwanie lodu przy pomocy koparek jest z powodzeniem stosowane na niewielkich i płytkich ciekach (np. rzeka Grasse; $SQ = 32 \text{ m}^3/\text{s}$). Operacja ta polega na usuwaniu lodu koparką z brzegu rzeki. Następnie, gdy zasięg ramienia koparki jest niewystarczający wprowadzenia się ją na pływającą barkę skąd może kontynuować pracę. Koparka powolnie, lecz systematycznie usuwa lód z rzeki na barkę i dalej w miejsce jego składowania poza ciekiem. Przeprowadzenie takiej operacji może wymagać dużej ilości czasu, jednak w przypadku niewielkich rzek jest to skuteczne, gdyż fizycznie pozbywamy się lodu z cieku. Oczywiście decyzję o rozpoczęciu takiej akcji należy podjąć na podstawie prognoz meteorologicznych, które mogą wskazać na szacunkową datę samoczynnego ruszenia lodu. Niebezpieczeństwo związane z usuwaniem zatoru przy wykorzystaniu koparki wiąże się z ryzykiem porwania sprzętu wraz z falą wezbraniową powstałą w momencie udrożnienia rzeki. Z tego względu operacja najczęściej prowadzona jest blisko brzegu, bez podejmowania zbędnego ryzyka. Dla Dolnej Odry rozwiązanie to jest niemożliwe. Prace prowadzone są powolnie, co w zestawieniu z ogromną objętością lodu wymagającego usunięcia jest zadaniem nierealnym do realizacji. Dodatkowo koparki mogą pracować jedynie blisko brzegu rzeki, co oznacza, że usuwanie zatorów na całej szerokości Odry (ok 200 metrów powyżej Widuchowej) nie będzie technicznie możliwe.

3.2.4 Lodołamacze

Najbardziej popularnym i skutecznym środkiem technicznym stosowanym w walce z zatorami lodowymi jest wykorzystanie lodołamaczy. Jednostki służące do prowadzenia akcji lodołamania są zwykle specjalnie w tym celu wykonywane ze względu na specyficzne wymogi. Muszą to być statki o stosunkowo niewielkim zanurzeniu, dużej masie i mocnym silniku. Lodołamacz kruszy lód wykorzystując do tego swą masę (lodołamacze czołowe) lub wywołując falę na wolnym od lodu fragmencie rzeki. Lodołamacz czołowy poruszając się w górę rzeki napływa na stałą taflę lodu, która pęka pod jego ciężarem. Następnie kora lodowa przemieszcza się wraz z nurtem rzeki w kierunku ujścia. W celu zapewnienia odpływu lodu w dół rzeki niezbędna jest praca wspomagających lodołamaczy udrażniających rynnę wolną od lodu. Dodatkowo lodołamacze wspomagające przepływając z dużą prędkością wzdłuż rynny wywołują fale, które powodują pękanie pokrywy lodowej i w konsekwencji prowadzi do poszerzania kanału wolnego od lodu.



Rys. 3.5. Lodołamacz pracujący przy udrażnianiu ujścia Wisły w styczniu 2003 r.

Podstawowym warunkiem zapewniającym skuteczną akcję usuwania pokrywy lodowej przy użyciu lodołamaczy jest zapewnienie odpływu lodu w dół rzeki. Z tego względu akcja lodołamania musi zawsze rozpoczynać się w rejonie ujścia lub zbiornika wodnego, do którego spławiany będzie pokruszony lód. Na Wiśle akcję lodołamania rozpoczyna się z zatoki Gdańskiej i kontynuuje w górę rzeki w zależności od potrzeb i możliwości. Zwykle nie jest wymagane prowadzenie akcji lodołamania powyżej Tczewa, jednak w pewnych sezonach lodołamacze docierały znacznie powyżej tej miejscowości. Oddzielna akcja prowadzona jest na zbiorniku Włocławek, gdzie kora lodowa jest spławiana przez stopień wodny.

Zbiornikiem, który będzie odbierał i magazynował krę lodową spływającą z Dolnej i Środkowej Odry oraz z Warty i pozostałych dopływów jest jezioro Dąbie. Oczywiście nie ma możliwości zmagazynowania całego lodu z Odry w tym jeziorze, więc w miarę możliwości powinno się przepuszczać krę lodową przez Babinę, Czapinę, Iński Nurt i Odrę Zachodnią oraz Domiążę do zalewu Szczecińskiego, a stamtąd do zatoki Pomorskiej [25]. Ze względu na specyficzny układ hydrauliczny systemu jezioro Dąbie – zalew Szczeciński, położenie zwierciadła wody w obu tych zbiornikach jest ściśle uzależnione do poziomów wody w morzu i wiatru. Oznacza to, że prowadzenie lodołamania na tym odcinku Odry jest bardzo skomplikowane. Upraszczając sytuację można powiedzieć, że to czy jezioro Dąbie będzie skutecznie zabezpieczało akcje lodołamania na wyżej położonym odcinku Odry jest zależne od temperatury powietrza oraz siły i kierunku wiatru. Instrukcja akcji lodołamania na Dolnej Odrze zacytowana w [14] informuje, że ze względu na niewielką głębokość wody w jeziorze Dąbie, w przypadku mrozu i niekorzystnego kierunku wiatru na akwenie tworzą się zwały lodowe opierające się o dno, które powodują zablokowanie akcji lodołamania. Tor wodny wytyczony obecnie od Regalicy do Babiny stanowi naturalny korytarz do dryfującej ku ujściu kry lodowej. Zmiana układu toru wodnego zgodnie z Wariantem IIIB (Reaglica-Iński Nurt [27]) nie powinna powodować zakłócenia spływu lodu przez jezioro Dąbie. Jest to jedynie spekulacja, która powinna być zweryfikowana poprzez symulacje numeryczne przy różnych warunkach hydraulicznych (natężenie przepływu i stany wody) oraz meteorologicznych (wpływ temperatury i wiatru na ruch lodu). Zapewnienie większej głębokości wody w torze wodnym przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa i zdecydowanie ułatwi operowanie lodołamaczom na tym akwenie. Z drugiej strony większa głębokość wody może nieznacznie przyczynić się do zmniejszenia prędkości wody w jeziorze, co z kolei jest niekorzystne przy spławianiu kry lodowej. Powyższe stwierdzenie jest również jedynie przypuszczeniem, niepopartym obliczeniami. Po przeprowadzeniu obliczeń może okazać się, że zmniejszeniu prędkości przepływu na skutek wykonania pogłębienia toru wodnego jest znikome w porównaniu do innych czynników warunkujących przepływ w jeziorze Dąbie.

Instrukcja lodołamania przewiduje również prowadzenie akcji skokowej (z 1-2 dniowymi przerwami) przy wykorzystaniu zrzutu wody podgrzanej z elektrowni cieplnej w Gryfinie. Wykorzystanie wód podgrzanych jest rozwiązaniem, które usuwa lód z rzeki, lecz ze względu na długi czas trwania jest mało efektywna. Zwykle podczas lodołamania wykorzystuje się metodę połączoną. Polega ona na rozpoczęciu lodołamania przy ujemnej temperaturze powietrza, kiedy kluczowe jest topienie lodu wodą z elektrowni w Gryfinie. Następnie, gdy temperatura powietrza wzrośnie powyżej zera przerzuca się lód do jeziora Dąbie, w którym uprzednio kruszy się pokrywę lodową.

Trzeba wspomnieć o problemie wynikającym z obecnością na jeziorze Dąbie stanowisk sieciowych. Zestawy sieciowe są wystawiane przez zawodowych rybaków zrzeszonych w licznych spółdzielniach rybackich funkcjonujących w obrębie jeziora. Lokalizacje zestawów sieciowych mogą być ustawiane jedynie w lokalizacjach tylko w rejonach uzgodnionych z administratorami wód. Plan lokalizacji stanowisk sieciowych pokazano w [32]. Rybacy mają obowiązek niezwłocznie zdjąć narzędzia połowowe, gdy prognozowane jest pojawienie się zjawisk lodowych na jeziorze. Jednak często na skutek gwałtownej zmiany pogody sieci pozostają uwięzione w lodzie. Tego rodzaju przeszkoda jest bardzo uciążliwa dla lodołamaczy.

Akcja lodołamania na Dolnej Odrze jest warunkowana poprzez zapewnienie odpowiednich głębokości oraz brak przeszkód w nurcie. Reszta pozostaje w rękach załóg lodołamaczy, którzy od wielu lat pokazują, że mimo wszelkich przeciwności potrafią dokonywać rzeczy wręcz niemożliwych. Świadczy o tym praktycznie brak poważniejszych sytuacji wezbraniowych na Dolnej Odrze mimo corocznie prowadzonego lodołamania i wielu zatorów powstających w różnych lokalizacjach. Dolna Odra na odcinku granicznym charakteryzuje się dużymi zmianami szerokości koryta (od 165 do 275 m). Niejednorodna szerokość cieku przyczynia się do zmian koncentracji przepływającego lodu i może prowadzić do powstawania zatorów. Dodatkowo obecnie głębokości na Odrze przy przepływie średnim są bardzo niewielkie. Od ujścia Nysy Łużyckiej do ujścia Warty odnotowuje się głębokość rzędu 0,95 m, do miejscowości Hohenstaaten w granicach 0,8 – 1,2 m, a powyżej Widuchowej nie przekraczają 1,8 m [8]. Zestawiając to z zanurzeniem lodołamaczy, które dla największych jednostek czołowych dochodzi do 1,65 m łatwo zauważyć praktyczny brak możliwości prowadzenia lodołamania powyżej km 670. Mimo to załogi lodołamaczy docierają wielokrotnie do Gozdowic (km 645) lub nawet powyżej ujścia Warty. Stan istniejący jest wynikiem zarówno zaniedbań w odniesieniu do prac pogłębiarskich, jak również ze złego stanu budowli regulacyjnych. Stan większości ostróg, które były wykonane w latach dwudziestych XX wieku, jest zły i wymaga natychmiastowej interwencji.

Kolejnym warunkiem koniecznym dla sprawnego neutralizowania zatorów lodowych na Odrze jest usunięcie wszelkich przeszkód z nurtu rzeki, które uniemożliwiają przejście jednostek pływających. Podstawowym problemem opisywanym wielokrotnie w materiałach źródłowych [26] oraz w czasopiśmie branżowych [25], [32] są obiekty mostowe. Duża część mostów znajdujących się nad drogą wodną Odry ma zdecydowanie zbyt mały prześwit pionowy oraz poziomy. Niskie mosty stwarzają realny problem dla ruchu jednostek pływających przy wysokich stanach wody. Wiele z obiektów mostowych ma na tyle nisko położoną dolną krawędź przęsła, że lodołamacze nie mają możliwości przejścia pod mostem. Przykładem może być most kolejowy na Regalicy w km 733+700, lub most Długi w km 35+950 Odry Zachodniej. Oba wymienione obiekty wielokrotnie utrudniały lub uniemożliwiały prowadzenie akcji lodołamania.

4 Ocena zasadności podejmowanego projektu

Podjęcie dyskusji dotyczącej zasadności przewidywanych do realizacji prac na Dolnej Odrze jest bardzo trudne bez przeprowadzonych obliczeń matematycznych. W pracy odnoszę się do koncepcji udrożnienia toru wodnego na jeziorze Dąbie oraz do prac modernizacyjnych na Odrze granicznej w celu zapewnienia zimowego lodołamania.

Na wstępie muszę zaznaczyć, że w odniesieniu do pogłębienia toru wodnego na jeziorze Dąbie nie dotarłem do żadnych materiałów dotyczących obliczeń dla tego przedsięwzięcia. Jedynym dokumentem jest Studium wykonalności [27], opracowane na zlecenie Hydroprojektu. Mimo dużej objętości studium i wielu istotnych wiadomości brak w nim informacji o rozkładzie prędkości wody w jeziorze Dąbie przed i po wykonaniu inwestycji przy różnych warunkach wiatrowych, różnych stanach morza oraz różnym natężeniu przepływu. Informacja o prędkości przepływu jest niezbędna do oszacowania zasadności podejmowanej inwestycji. Bez tych obliczeń pozostaje jedynie odniesienie się do ogólnie przyjętych

prawideł i obserwacji z lat ubiegłych, co zrobiłem w poprzednich rozdziałach. Na tym etapie pracy nie mogę odpowiedzieć na pytanie czy proponowana inwestycja będzie słuszna z punktu widzenia składowania i przepuszczania lodu przez jezioro Dąbie. Sugeruje zaimplementowanie dwuwymiarowego modelu matematycznego (uśrednienie prędkości w pionie) do obszaru Regalica – jezioro Dąbie – Inski Nurt. Ze względu na potrzebę określenia warunków przepływu lodu w jeziorze idealnym rozwiązaniem wydaje się model DynaRICE [30], który dzięki wykorzystaniu metody SPH umożliwia przeprowadzanie symulacji numerycznych dynamicznego transportu lodu w rzekach i zbiornikach wodnych. Informacja, która jest możliwa do uzyskania ze wspomnianego modelu to zarówno rozkład prędkości i stanów wody w warunkach nieustalonych jak i dynamiczny transport lodu. Ze względu na specyfikę przyjętego modelu możliwe jest modelowanie zatorów lodowych, lecz niewymagane jest początkowe założenie o miejscu i czasie jego powstawanie. Oznacza to, że możliwe jest prześledzenie całej jeziora Dąbie z punktu widzenia potencjalnych miejsc zatorogennych i określenie czy planowana realizacja pogłębienia toru wodnego przyniesie oczekiwany skutek. Dodatkowo, ze względu na możliwość sprawdzenia wpływu wiatru na akumulacje lodu możliwe będzie ustalenie, przy jakich warunkach akcja lodołamania jest możliwa do prowadzenia.

Drugi element proponowanej inwestycji, czyli odbudowa ostróg na Dolnej Odrze wydaje się słuszny z punktu widzenia prowadzonej akcji lodołamania. Jednak ze względu na brak obliczeń matematycznych również nie mogę potwierdzić ani zaprzeczyć czy planowana inwestycja przyniesie pożądany skutek. Chodzi mi tutaj przede wszystkim o gwarancję zapewnienia głębokości 1,8 m z gwarancją minimum 85%. W odniesieniu do tzw. Odry granicznej, poza pracą [8] nie znalazłem żadnych dokumentów Przedstawiających założenia teoretyczne oraz obliczenia dotyczące nowych budowli regulacyjnych na Dolnej Odrze. Wspomniana powyżej praca omawia wpływ przebudowy ostróg na Odrze Dolnej na warunki rozmywania i akumulacji materiału dennego. Posłużono się w tej pracy bardzo uproszczoną metodą bazującą na równaniu Manninga. Na tej podstawie ustalono szerokości regulacyjne dla Odry od km 542+400 do km 695+000, jak również nachylenia skarp. W pracy odniesiono się do składu granulometrycznego dna Odry poprzez bardzo uproszczoną formułę dla tzw. prędkości nierozmywającej. Niestety nie obliczano naprężeń stycznych przy dnie rzeki, które są podstawą do oszacowania stabilności koryta (patrz rozdział 5 w [9]). Dodatkowo, warto nadmienić, że najbardziej intensywne procesy erozyjne i akumulacyjne obserwowane są podczas przejścia fali wezbraniowej, czyli w warunkach nieustalonych. Równanie Manninga daje dobre rezultaty w warunkach ustalonych, natomiast przy przepływie zmiennym w czasie zakres stosowalności równania jest dyskusyjny.

Ważnym elementem dotyczącym projektowania urządzeń hydrotechnicznych będących w bezpośrednim kontakcie z przepływającą wodą jest sprawdzenie ich potencjalnego zniszczenia na wypadek kontaktu z przepływającą krą lodową. Jest to szczególnie istotne podczas ruszenia zatoru lodowego, podczas którego nagromadzona kora lodowa porusza się z dużą prędkością ku ujściu. Warto byłoby przyjrzeć się temu zagadnieniu na przykładzie wyidealizowanej sytuacji, typowej dla całej Dolnej Odry, lub dla najbardziej niekorzystnego z punktu widzenia przepuszczania lodu odcinka uregulowanego kanału.

5 Podsumowanie

Ze względu na brak przeprowadzonych obliczeń matematycznych ekspertyza ma charakter ogólny i nie prowadzi do jasnych wniosków w odniesieniu do proponowanych rozwiązań technicznych. Na podstawie dostępnych materiałów oraz wiedzy ogólnej z tematyki dynamiki lodu można przedstawić następujące uwagi:

1. Pokrywa lodowa na Odrze jest zbudowana z lodu prądowego. Wynika z tego nierównomierna grubość pokrywy lodowej, wysoka szorstkość jej dolnej powierzchni oraz wysokie prawdopodobieństwo powstawania zatorów lodowych na całej rzece.
2. Przyczyny powstawania zatorów lodowych na Dolnej Odrze to zarówno zjawiska naturalne, nad którymi nie możemy panować (wysokie stany morza i wiatr), jak i przyczyny związane z zaniedbaniami w regulacji rzeki (wypłylenia, zwężenia koryta, ostre zakręty). Dodatkowo można wymienić wpływ znajdujących się w nurcie przeszkód (filary mostowe) oraz zasilanie rzeki lodem z lewostronnych dopływów. Należy podjąć wszelkie starania, aby wyeliminować możliwie najwięcej przyczyn zatorów lodowych. W ten sposób nie będziemy dodatkowo zwiększać i tak dużego potencjału zatorowego Odry.
3. Spośród przedstawionych alternatywnych metod przeciwdziałania zatorom lodowym jedynym słusznym rozwiązaniem dla Dolnej Odry jest lodołamanie z wykorzystaniem specjalnie do tego celu przystosowanych jednostek (lodołamaczy). Wykonanie przegród lodowych może być brane pod uwagę, jako środek pomocniczy, lecz absolutnie nieeliminujący zagrożenia powodzią zatorowymi.
4. W celu przeprowadzenia skutecznej akcji lodołamania niezbędne jest zapewnienie odpowiednich głębokości na całym odcinku Odry (minimum 1,8 m) oraz odpowiednich prześwitów pionowych (5,25 m) i poziomych pod obiektami mostowymi.
5. Aby odnieść się do podejmowanego projektu należy przeprowadzić obliczenia numeryczne przy wykorzystaniu modeli matematycznych, które dadzą odpowiedź czy i w jakim stopniu proponowane rozwiązanie rozwiąże problem zatorów lodowych na Dolnej Odrze. Niezbędna będzie aplikacja modelu dwuwymiarowego do jeziora Dąbie oraz modelu jednowymiarowego dla całej Dolnej Odry, jak również modelu dwuwymiarowego do odcinków szczególnie zatorogennych (10 lokalizacji wymienionych w [14]).

Chciałbym w tym miejscu jeszcze raz wyrazić podziw dla prowadzonej corocznie w niezwykle trudnych warunkach akcji lodołamania na Dolnej Odrze. Jestem pewien, że bez codziennej ciężkiej pracy załóg lodołamaczy oraz zarządzających całą operacją wysoce wykwalifikowanych specjalistów mielibyśmy do czynienia z trudnymi do oszacowania tragediami na całym odcinku Dolnej Odry.

6 Literatura

- [1] Alcoa, 2007. Grasse River T6.75 Ice Control Structure, Basis of Design Report, October
- [2] Ashton, G.D., 1986. River and Lake Ice Engineering. Water Resources Publications, Littleton, CO, USA.

- [3] Biuro Koordynacji Projektu Ochrony Przeciwpowodziowej Dorzecza Odry, Dokument koncepcyjny nowego projektu ochrony przeciwpowodziowej, Ochrona przed powodzią zimowymi (Odra Środkowa i Dolna), Warszawa 2013
- [4] Beltaos, S. 1990. Fracture and break-up of a river ice cover. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17: 173-183.
- [5] Beltaos, S., 1988. Configuration and Properties of a breakup jam. *Can. J. Civ. Eng.* 15, 685-697.
- [6] Bień R., 2014. Koncepcja przegrody kierującej lód przed projektowanym stopniem wodnym w Nieszawie, praca magisterska, Politechnika Gdańska
- [7] Bigg, P.H., *Brit. J. Appl. Phys.* 18, 521 (1967).
- [8] Buchholz, 2011, Analiza potrzeb i możliwości uzyskania głębokości 1,80 m na Odrze granicznej przy możliwie największej gwarancji, *Logistyka* 6/2011, 4575-4588
- [9] Chang H.H., 2008, *Fluvial Processes in River Engineering*, Krieger Publishing Co, Florida
- [10] Foltyn E.P., Tuthill A.M.: Design of Ice Booms. „Cold Regions Technical Digest” April 1996, No. 96-1
- [11] Girjatowicz, J. 2014. Ice Thrusting and Hummocking on the Shores of the Southern Baltic Sea's Coastal Lagoons, *Journal of Coastal Research*, vol. 30. 456-464
- [12] Grześ, M., 1991. Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle, *Mechanizmy i warunki*, Polska Akad. Nauk, Inst. Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Warszawa
- [13] Hammar, L., Shen, H.T., Evers, K-U., Kolerski, T., Yuan, Y., Sobczak, L., 2002. A laboratory study of freeze-up ice runs in river channels. 16th IAHR International Symposium on Ice, Dunedin, NZ, vol.3; 22–29.
- [14] Hydro-Eko, 2004. Zestawienie wielkości strat powodziowych spowodowanych powodzią zatorowymi, Poznań
- [15] International Niagara Working Committee, 2000. Report to The International Niagara Board of Control On the 1999-2000 Operation of The Lake Erie-Niagara River Ice Boom.
- [16] Jasek, M. 2003a. Ice jam release surges, ice runs and breaking fronts – field measurements, physical descriptions and research needs. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 30: 113-127.
- [17] Jasek, M. 2003b. Ice jam release and break-up front propagation, *Proceedings of the 12th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers*, Edmonton, AB,
- [18] Kandamby A., Jayasundara N. and Shen H. T. A numerical river ice model for Elbe River. 20th IAHR International Symposium on Ice. Lahti, Finland, 2010.
- [19] Kivisild, H.R., 1959. Hydrodynamic analysis of ice floods. *Proc., 8th IAHR Congress*, Delft, The Netherlands, Paper 23F.
- [20] Kolerski T., Shen H.T., 2009. DynaRICE Modeling to Assess the Performance of an Ice Control Structure on the Lower Grasse River, 19th IAHR International Symposium on Ice, Vancouver, Canada
- [21] Kolerski T., 2011. Numerical Modeling of Ice Jam Formation in The Włocławek Reservoir, *Task Quarterly*, Vol. 15 No 3–4, 283–295.
- [22] Kolerski, T., H.T. Shen, and S. Kioka, 2013. A numerical model study on ice boom in a coastal lake, *J. Coastal Res.* 29, 6a, 177-186,

- [23] Kolerski, T. 2014. Modeling of ice phenomena in the mouth of the Vistula River. *Acta Geophys.* Vol. 62, Issue 1, 11–22,
- [24] Kolerski, T., and H.T. Shen 2010. St. Clair River ice jam dynamics and possible effect on bed changes. In: *Proc. 20th IAHR Int. Symposium on Ice*, 14-18 June 2010, Lahti, Finland.
- [25] Kreft, A. 2011. Przebieg akcji lodołamania na dolnym i granicznym odcinku rzeki Odry w sezonie zimowym 2010/2011, *Logistyka* 6/2011, 4837-4850
- [26] Kreft, A. 2013, Korespondencja z Biurem Koordynacji Projektu Ochrony Przeciwpowodziowej Dorzecza Odry, Szczecin, 11.10.2013 r.
- [27] PROEKO, 2003. Udrożnienie toru wodnego na Jeziorze Dąbie, Studium wykonalności inwestycji,
- [28] Shen, H. T., and Lu, S. 1996. Dynamics of river ice jam release. *Proc., 8th Int. Conf. Cold Regions Engineering*, ASCE, New York, 594–605.
- [29] Shen, H.T., 1996. River Ice processes – State of Research, Invited Lecture, 13th IAHR International Ice Symposium, Beijing, China, 825-833
- [30] Shen H.T. 2010, Mathematical modeling of river ice processes, *Cold Regions Science and Technology* 62, 3–13
- [31] Shen, H.T., Gao, L., Kolerski, T., and Liu, L. 2008. Dynamics of Ice Jam Formation and Release, *Journal of Coastal Research*, Vol. S52, 25-32.
- [32] Woś, K. 2013, Analiza nawigacyjna dolnego odcinka Odry objętego obowiązkiem wdrożenia systemu RIS, *Logistyka* 6/2011, 5101-5116