

dr hab. **BOGUSŁAW PAWŁOWSKI**^{a)} ORCID 0000-0002-0271-2779dr hab. inż. **TOMASZ KOLERSKI**^{b)} ORCID 0000-0002-6235-6817

Zator na Wiśle w rejonie Płocka w lutym 2021 r.

Ice jam on the Vistula River in Płock in February 2021

DOI: 10.15199/22.2022.5.1

Otrzymano/Received 2.02.2022. Przyjęto/Accepted 13.03.2022

Powodzie zimowe, związane z zatorami lodowymi, są coraz częściej traktowane jako zjawisko rzadkie lub całkowicie wyeliminowane. Opisana w artykule sytuacja pokazała, że zator nadal może prowadzić do poważnego zagrożenia powodziowego, bardzo trudnego do zneutralizowania. Omówiono sytuację hydrologiczną zimą 2021 r. oraz przyczyny gwałtownego wzrostu ilości lodu w rejonie Płocka. Przedstawiono również wyniki pomiaru wypełniania koryta rzeki lodem. Prześledzono proces formowania się zatoru, jego konsekwencje oraz akcję lodołamania. Zwrócono uwagę na postępujące wypływanie się zbiornika.

Słowa kluczowe: zjawiska lodowe, zator, powódź, zbiornik włocławski

Winter floods related to ice jams are increasingly often treated as rare or definitely eliminated phenomena. Situation described in the article indicates that jams may still constitute a serious flood threat, which is very difficult to neutralise. The article discusses the hydrological situation in winter 2021 and the reasons behind sudden accumulation of ice in the Płock region. It also presents the results of measurement of the riverbed filling with ice. The authors described the jam forming process, its consequences and the ice-breaking action. They also pointed out to the progressing reservoir shallowing.

Key words: ice phenomena, ice jam, flood, Włocławek reservoir

WSTĘP

W strefie klimatu umiarkowanego w półroczu zimowym w wodach powierzchniowych pojawiają się zjawiska lodowe. Mimo globalnego ocieplenia odgrywają one nadal istotną rolę w reżimie hydrologicznym jezior i rzek Polski. W przypadku tych ostatnich czas trwania zjawisk waha się zwykle w granicach od 20 do 60 dni (Pawłowski i in., 2017). Wezbrania i powodzie zatorowe pojawiają się na Wiśle najczęściej w szczególnych sytuacjach związanych z rozbudową pokrywy lodowej lub jej rozpadem. W literaturze polskiej brak do tej pory precyzyjnej definicji zatoru. Zwykle w ten sposób określa się zdarzenia, gdy wzrost poziomu wody wywołany zjawiskami lodowymi powoduje wezbranie i/lub zagrożenie powodzią. W literaturze światowej zwykle przytaczana jest definicja podawana przez International Association for Hydraulic Research, gdzie zatorem określa się nagromadzenie lodu skutkujące ograniczeniem przepływu rzeki. Ze względu na mechanizm powstania wyróżnia się dwa typy zatorów (Shen, Wang, 1995):

- zatory utworzone przez nagromadzenie lodu powierzchniowego; w przypadku rozbudowy pokrywy lodowej są to głównie krążki śryżowe, które były transportowane przez rzekę na powierzchni wody, natomiast w przypadku rozpadu pokrywy lodowej jest to kra,
- zatory utworzone przez duże nagromadzenie cząstek śryżu pod powstałą wcześniej pokrywą lodową, zwykle w wyniku jego powolnego doptywu i akumulacji (np. na zakolach rzeki); w tych przypadkach poziom wody podnosi się stopniowo, wraz ze wzrostem miąższości podbitek oraz długości zatoru.

W momencie gdy przybór wody powyżej zatoru osiągnie takie rozmiary, że siła naporu wody będzie większa od siły tarcia mas nagromadzonego lodu, dochodzi do ruszenia zatoru.

Górny odcinek zbiornika włocławskiego w rejonie Płocka jest najbardziej zagrożonym zatorami odcinkiem w kraju. Wynika to z kilku przyczyn. Na rzekach nizinnych o małym spadku podłużnym zasięg cofki piętrzenia jest znaczny, co powoduje zagrożenie na długim odcinku doliny. Pokrywa lodowa tworzy się na całej długości zbiornika prawie każdej zimy, a częstość jej pojawiania się w profilu Płock jest wyższa niż na pozostałych posterunkach IMGW-PIB na dolnej Wiśle. Wielokrotnie notowano tu także sytuacje kilkukrotnego rozbudowania się pokrywy lodowej, a przeciętny czas jej występowania w sezonie zimowym po napełnieniu zbiornika wynosi w Płocku ok. 45 dni. Górna część zbiornika stanowi przejście z warunków rzeki swobodnie płynącej w warunki typowo limniczne (jeziorne). Odcinek ten cechuje spadek prędkości przepływu, co wiąże się z akumulacją materiału transportowanego przez rzekę. Zapora we Włocławku stanowi także barierę dla tranzytu lodu na dolnej Wiśle. Dolna część zbiornika zamarza jak typowe jezioro (gładki lód bez podbitek śryżowych), natomiast powyżej tej strefy zasięg lodu zbiornikowego uzależniony jest od wielkości przepływu rzeki: im większy, tym krótsza (Grześ, 1991). Powyżej, rozbudowuje się frontalnie w górę rzeki pokrywa lodowa zbudowana z form lodu mobilnego (krążki śryżowe). Zmiany wielkości przepływu w czasie rozbudowy pokrywy powodują sptyw pokrywy i „wpychanie” lodu, zwykle w rejon Płocka – Popłacina, przy większym przepływie jeszcze dalej, w rejon Duninowa czy nawet Dobięgniewa (Grześ, 1991; Pawłowski, Sobota, 2012). Wypłnienie

^{a)} Katedra Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, UMK Toruń, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń, Polska

^{b)} Katedra Geotechniki i Inżynierii Wodnej, Wydział Inżynierii Łądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Polska

Autor do korespondencji/Corresponding author: dr hab. Bogusław Pawłowski, e-mail: bogus@umk.pl

koryta lodem na odcinku w rejonie Płocka wynosiło w latach ubiegłych nawet 70–80%. Szczególnie duże zagrożenie powodzią notowane było podczas długich i mroźnych zim (grubość lodu) oraz zim śnieżnych, gdy ruszeniu lodu towarzyszyło wezbranie roztopowe o przepływie znacznie przekraczającym przepływ średni roczny (dla przekroju Kępa Polska wartość ta wynosi ok. 933 m³/s – wg danych IMGW-PIB). Sytuacje zatorowe występowały tu także jako wynik lokalnego ruchu lodu w fazie zalegania pokrywy lodowej i były najczęściej związane ze zmianami przepływu rzeki lub innymi warunkami rozbudowy pokrywy lodowej powodującymi jej niestabilność. Dokumentowane na analizowanym odcinku zatory były zwykle zatorami typu powierzchniowego (Pawłowski, 2017).

Na lewym brzegu zbiornika znajdują się obszary depresyjne chronione zaporą boczną. Podstawowym środkiem ochrony była i jest tu akcja lodołamania. Stosowane są także tzw. przegrody lodowe (śryżowe) – konstrukcje ograniczające dopływ do zbiornika lodu mobilnego (śryżu), powodujące jednak podpiętrzenie wody na odcinku powyżej przegrody (Grześ i in., 2006). Poniżej nich rzeka zwykle była wolna od lodu, a dalej tworzyła się pokrywa lodowa typu zbiornikowego bez podbitek śryżowych (Polak, 1990). W tym miejscu należy przypomnieć, iż powyżej zbiornika znajduje się nieuregulowany odcinek rzeki, gdzie ze względu na morfologię koryta oraz dużą zmienność jego parametrów hydraulicznych zagrożenie zatorami jest również wyjątkowo wysokie (Grześ, 1991; Pawłowski, 2017).

PRZEBIEG ZJAWISK LODOWYCH I UFORMOWANIE SIĘ ZATORU

Pierwszy cykl zlodzenia na zbiorniku rozpoczął się 16 stycznia 2021 r. W wyniku gwałtownego ochłodzenia pokrywa lodowa w ciągu 5 dni rozbudowała się na odcinku od zapory we Włocławku do wysokości Wysogrodu. Po 23 stycznia, ze względu na ocieplenie, zasięg pokrywy lodowej był coraz krótszy, a 27 stycznia uruchomiono akcję lodołamania (wg danych Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie). Ze względu na grubość lodu, nieznacznie przekraczającą 10–15 cm, oraz małą miąższość podbitek śryżowych (szybka rozbudowa pokrywy, bez zagęszczenia lodu) akcja ta przebiegła sprawnie. Zakończono ją 2 lutego. W czasie tego cyklu stan wody na posterunkach w rejonie Płocka nie przekroczył poziomu stanu ostrzegawczego.

5 lutego rozpoczął się kolejny cykl zlodzenia. Warunki hydrometeorologiczne rozbudowy pokrywy lodowej na Wiśle były wówczas inne. Ze względu na wzrost mętności wody (materiał niesiony w czasie wezbrania stanowiący tzw. jądra kondensacji dla lodu prądowego) rzeka transportowała większą ilość lodu. Mimo mrozu pokrywa lodowa nie rozbudowywała się bardzo szybko, a co odpowiadały zachmurzenie (brak wypromieniowania ciepła z powierzchni wody) i duża wilgotność powietrza. Podczas odpływania pakietów lodu mobilnego na skraj rozbudowanej pokrywy lodowej miało miejsce ich zatopienie, spiętrzenie mechaniczne zagęszczenie podbitek śryżowych. Dochodziło też o lokalnego ruchu fragmentów już utworzonej pokrywy i wzrostu

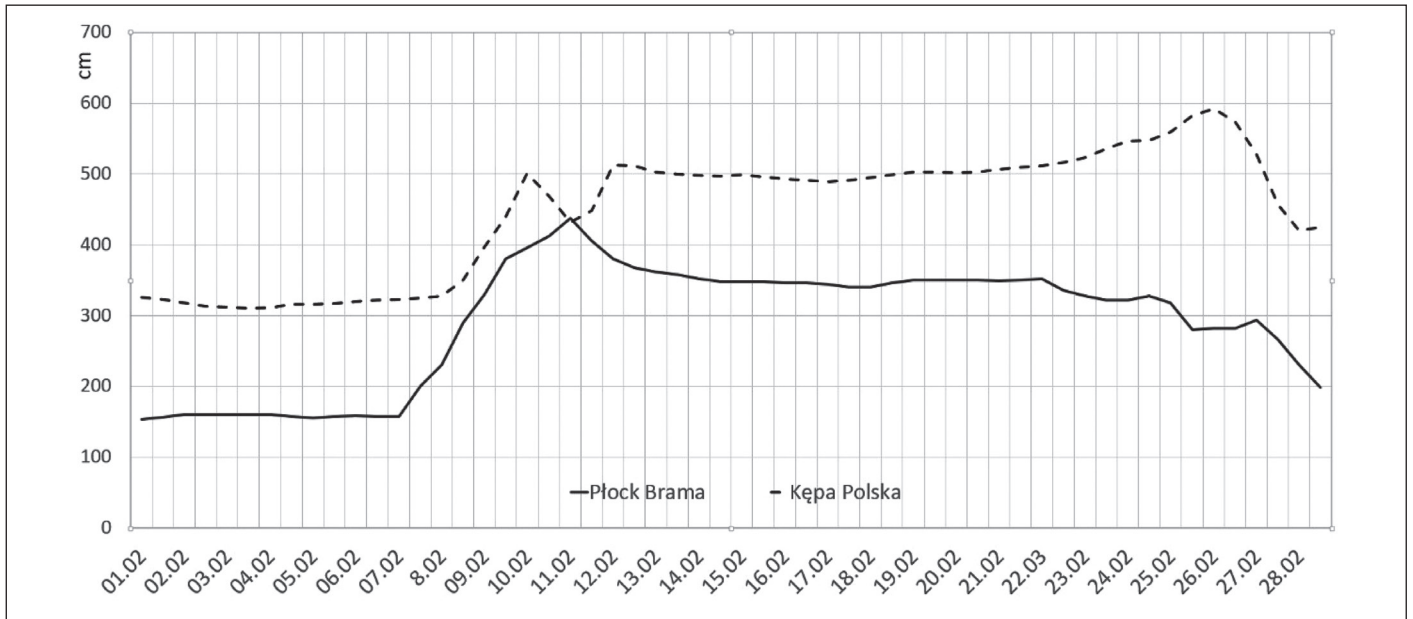


Fot. 1. Uformowanie się zatoru w rejonie Poptacin – Wola Brwileńska: A – ruszenie lodu 10 lutego, B – morfologia czoła zatoru 11 lutego (fot. B. Pawłowski)

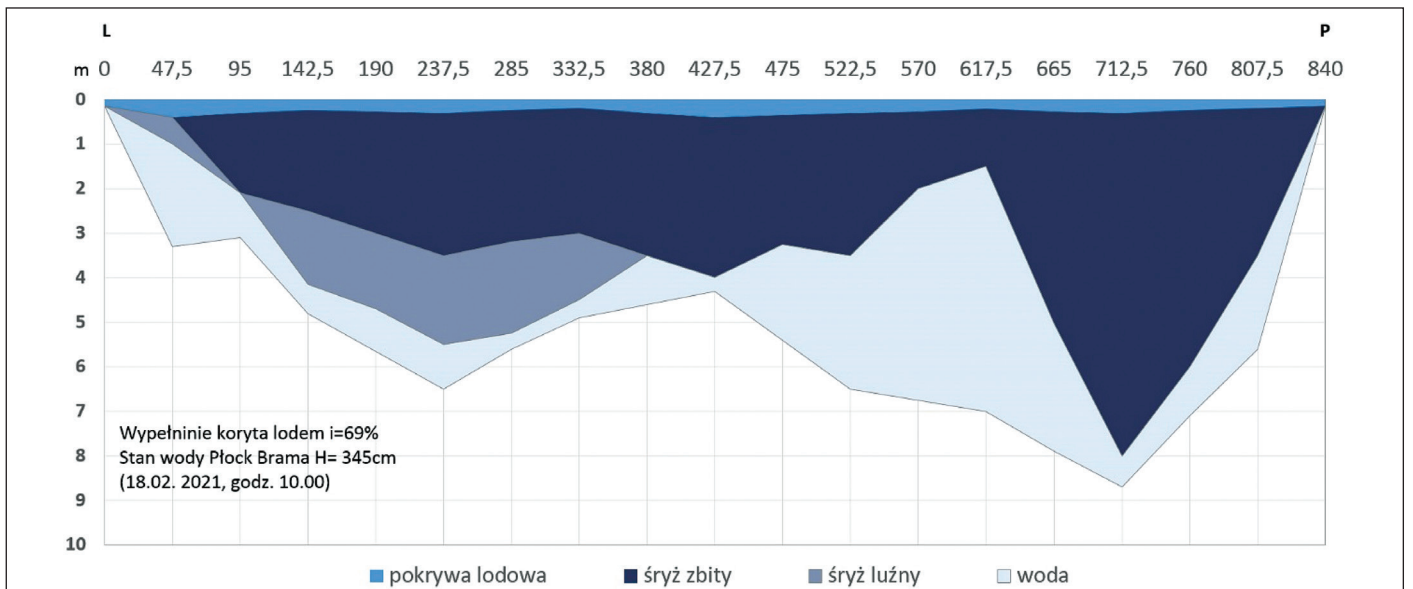
lodowego wypełnienia koryta. Procesowi temu sprzyjała także wielkość przepływu rzeki (i prędkość) – większa, niż podczas pierwszego cyklu zlodzenia.

8 lutego doszło do spłynięcia dużej części lodu znajdującego się w rejonie miasta Płocka na odcinek poniżej, skutkiem czego skraj pokrywy lodowej przesunął się o kilka kilometrów w dół rzeki. Poniżej Płocka nastąpił znaczny wzrost wypełnienia koryta lodem, czego wynikiem był przyrost stanu wody do wartości przekraczającej o ok. 1,5 m poziom alarmowy, wynoszący na wodowskazie Płock Brama Stoczni 237 cm.

Dnia 10 lutego po godzinie 14 doszło do ruszenia tego zatoru w rejonie miasta (fot. 1A) i kolejnego przyrostu wypełnienia koryta rzeki lodem poniżej. Lód zatrzymał się na odcinku Poptacin – Wola Brwileńska (fot. 1B). Ruszenie lodu mogło być stymulowane przez zwiększenie odpływu ze stopnia wodnego Włocławek. Według danych operacyjnych IMGW-PIB przepływ na posterunku Włocławek zwiększył się z wartości 920 m³/s o godz. 21:00 w dniu 9 lutego do 1200 m³/s o godz. 14:00 w dniu 10 lutego. Przepływ osiągnął maksymalną wartość 1800 m³/s o godz. 20:00. Siła przekazywana na lód przez poruszającą się pod pokrywą wodę jest wprost proporcjonalna do kwadratu różnicy prędkości wody i lodu (Kolerski, 2017). W przypadku stabilnej pokrywy lodowej (prędkość lodu równa zero) siła będzie proporcjonalna do kwadratu prędkości wody. W okresie poprzedzającym ruszenie zatoru prędkość przepływu wody poniżej Płocka wynosiła ok. 0,3 m³/s, natomiast dla warunków z dnia 10 lutego przekraczała 0,5 m³/s. Zwiększenie prędkości wody mogło być bezpośrednią przyczyną ruszenia lodu, jego upakowania i uformowania się czoła zatoru w rejonie Woli Brwileńskiej. Zjawiskom tym towarzyszyło powstanie blizn lodowych na drzewach wzdłuż brzegu zbiornika oraz proces tzw. zwalowania lodu i, lokalnie, jego wejście na drogę krajową nr 62. Tego dnia ruch pokrywy lodowej notowano także na odcinku rzeki powyżej Płocka. Bezpośrednio po tym zdarzeniu stan wody w rejonie bulwaru w Płocku wzrósł do maksymalnej wartości 446 cm (2,09 m powyżej stanu alarmowego, Płock Brama Stoczni) – najwyższej od czasu katastrofalnego zatoru w styczniu 1982 r. W kolejnych dniach, w związku ze spadkiem szorstkości spągu warstwy podbitek śryżowych, nieco się obniżał (rys. 1).



Rys. 1. Przebieg stanu wody w Płocku i Kępie Polskiej w lutym 2021 r. (źródło: opracowanie na podstawie danych IMGW-PIB i UM w Płocku)



Rys. 2. Wypełnienie koryta lodem w przekroju Poptacin – Ujęcie Orlen (źródło: opracowanie własne)

Morfologia pokrywy lodowej informuje o procesach towarzyszących zarówno jej powstaniu, jak i stopniu wypełnienia koryta lodem (Pawłowski, 2013). Z tego względu w dniu 16 lutego dokonano zwiadu lotniczego na odcinku Płock – Wyszogród samolotem Cesna 152 z Aeroklubu Ziemi Mazowieckiej w Płocku. Wielokrotnie wykorzystywano też dron DJI Mavic 2 Pro. Stwierdzono, iż sytuacja a tym odcinku nie była tak groźna, jak w rejonie Płocka. Spięzienia lodu obserwowano jedynie lokalnie.

TRUKTURA I WYPEŁNIENIE KORYTA LODEM

Dnia 18 lutego 2021 r. przeprowadzono, na zlecenie Urzędu miasta w Płocku, badania stopnia wypełnienia lodem koryta /listy w granicach administracyjnych miasta. Podczas terenowych

badań stopnia lodowego wypełnienia koryta rzeki i struktury lodu wykorzystano metodę pomiaru bezpośredniego przy pomocy sondy udarowej. Umożliwiła ona wyróżnienie kilku typów podbitki śryżowej o różnej gęstości (Grześ, 1991). Największe wypełnienie koryta lodem stwierdzono w przekroju Poptacin (km 635,5). Wyniosło ono $i = 69\%$ (rys. 2). Wartość ta w znacznym stopniu odpowiadała za podpiętrzenie wody i przekroczenie stanów alarmowych na wodowskazach w granicach miasta Płocka. Czoło zatoru o większym wypełnieniu (rzędu $i = 80\%$) było prawdopodobnie zlokalizowane poniżej, w rejonie Woli Brwileńskiej. Sugerowały to także przedstawione wcześniej zdjęcia wykonane z powietrza (fot. 1B).

Stwierdzono również, iż w wyniku dodatniego bilansu depozycji osadów w zbiorniku, w tym przekroju, w stosunku do zimy 2010 r. (uwzględniono różnicę rzędnej zwierciadła wody terminów

badan), dno zbiornika położone było średnio na rzędnej wyższej o ok. 0,3 m. Wskazuje to na zmniejszenie się powierzchni tego przekroju poprzecznego koryta. Morfologia pokrywy lodowej była bardzo urozmaicona, a wysokość elewacji lodu ponad zwierciadło wody wynosiła do 0,8 m (fot. 2). Występowanie wysokich spiętrzeń lodu na powierzchni przekroju świadczy zwykle o procesie jego upakowania. Napotkano tu także wyraźnie widoczne tzw. linie i ściany ścięcia, świadczące o przemieszczaniu się względem siebie sąsiadujących mas lodu. W przekroju Popłacin dominowały podbitki śryżowe zbudowane ze śryżu zbitego o miąższości od 2 do 8 m (średnio 3,5 m). Sytuacja taka potwierdzała uformowanie się w tym rejonie nowej pokrywy lodowej, której towarzyszył proces mechanicznego zagęszczenia śryżu bezpośrednio po ruszeniu zatoru w dniu 10 lutego. Wyniki badań przeprowadzonych w tym przekroju przekazano Państwowemu Gospodarstwu Wodnemu Wody Polskie w celu ewentualnej optymalizacji efektywności akcji lodołamania na tym odcinku rzeki.

Powyżej mostu drogowo-kolejowego wypełnienie koryta lodem było znacznie niższe. W obu wykonanych tam przekrojach wyniosło ono jedynie $i = 23\text{--}25\%$.

Szczególnie trudna sytuacja, również dla lodołamaczy, miała miejsce na odcinku Wola Brwileńska – Brwilno, gdzie zlokalizowane było czoło zatoru (fot. 3):

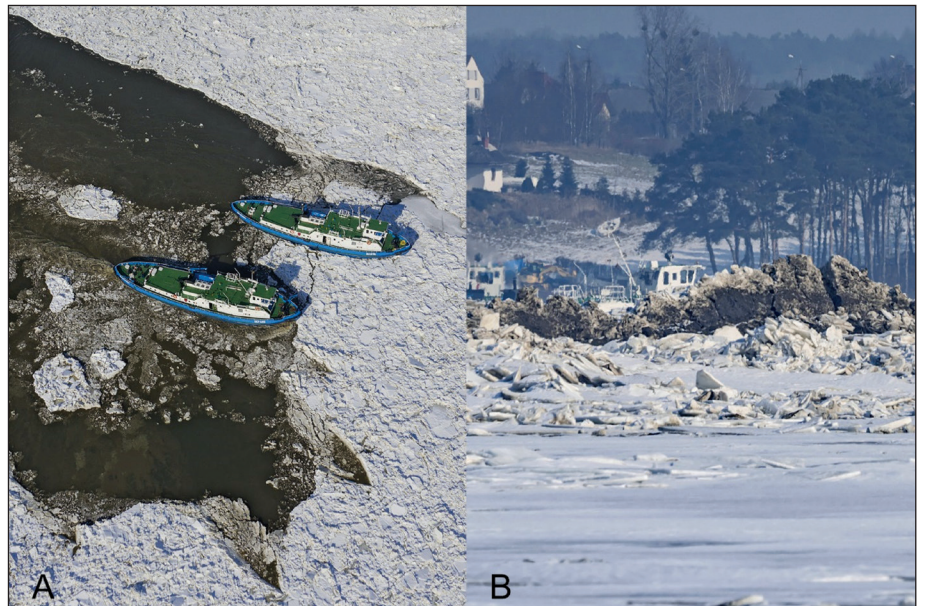
- koryto wypełnione było zagęszczonym, zbitym z krami lodowymi śryżem, podbitki te w wielu miejscach sięgały dna zbiornika. Szacuje się, iż wypełnienie koryta lodem w tym rejonie (nie wykonano bezpośrednich pomiarów) mogło przekraczać $i = 80\%$, byłyby więc to wartości rekordowe dla całego odcinka Wisły poniżej ujścia Narwi od 1982 r. Wielokrotnie obserwowano sytuacje, gdy lodołamacz czołowy wpywał na skraj ściany lodu, nie wywołując jego pęknięć i odpływu, po czym miał problem z wycofaniem się (fot. 3A),
- spiętrzenia lodu sięgały wysokości kilku metrów ponad poziom rzeki i oparte były o jej dno, w wielu miejscach lód był przed „wypiętrzeniem” wleczony po dnie, o czym świadczyła jego barwa i wzbogacenie materiałem mineralnym (fot. 3B). Tempo akcji lodołamania na tym odcinku w dniach 20-22 lutego wyniosło jedynie 1-1,4 km/dobę.

AZA POCHODU LODU

Utrzymujący się w Płocku przez prawie 3 tygodnie bardzo wysoki stan wody wskazywał na możliwość dodatkowego podpięzenia i powodzi w fazie pochodzenia lodu. Wystąpiło wówczas wyjątkowo gwałtowne ocieplenie, szczególnie w leżącej w centralnej dolinie części dorzecza Wisły. Jednak miąższość pokrywy śnieżnej



Fot. 2. Morfologia pokrywy lodowej i lokalizacja linii przekroju Popłacin – Ujęcie Orleń (fot. B. Pawłowski, 18.02.2021 r.)



Fot. 3. Sytuacja w rejonie czoła zatoru 21-22.02.2021 r. (fot. B. Pawłowski)

nie była duża. Znaczna część wód roztopowych infiltrowała, nie można też wykluczyć istotnej roli zarówno procesu parowania, jak i sublimacji. Czynniki te spowodowały, iż wzrost przepływu rzeki w czasie zalegania lodu i przed ukończeniem akcji lodołamania następował bardzo powoli. Dodatkowo nietypowe jak na okres lutego temperatury w znaczny sposób osłabiły tafle lodu, czyniąc je bardziej podatnymi na pęknięcia.

Przy wzroście przepływu do wartości ok. 1200 m³/s w okolicy Kępy Polskiej w dniu 25 lutego po godz. 13 zaobserwowano pierwsze ruchy pokrywy lodowej. Towarzyszył im proces zwałowania lodu na brzegach rzeki i brzegach kęp w korycie. W ciągu kolejnych dwóch dni, przy przepływie rzędu 1300 m³/s, większość bardzo słabego już mechanicznie lodu z odcinka nieuregulowanego znalazła się w zbiorniku Włocławskim. Jego tranzyt kontrolowały lodołamacze. Od popołudnia dnia 27 lutego nurt rzeki powyżej zbiornika był praktycznie wolny od lodu. Odpływ lodu z rejonu Płocka spowodował obniżenie się poziomu wody

w zbiorniku poniżej stanów alarmowych. Były one przekroczone przez 20 kolejnych dni. Dnia 28 lutego nie było już praktycznie żadnego zagrożenia utworzenia się zatoru w rejonie miasta Płocka.

Decydującym o przebiegu i kulminacji wezbrania zatorowego czynnikiem, w stopniu większym niż wypełnienie koryta lodem, jest wielkość przepływu rzeki. W czasie zlodzenia był on bliski wartości średniego rocznego (Kępa Polska $Q_{sr} = 933 \text{ m}^3/\text{s}$). Jego wzrost związany z roztopami był powolny, jednostajny, i zarówno w czasie zalegania pokrywy lodowej, jak i pochodu lodu nie przekroczył $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ (dane IMGW-PIB). Powolne zmiany wielkości przepływu w ostatnich dniach lutego sprawiły, że pochód „sparciałego” już lodu (S. Fidelis, informacja ustna) przebiegł w sposób bezzatorowy. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, iż natężenie przepływu bezpośrednio po zejściu lodu wzrosło w ciągu doby o $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (do wartości prawie $2000 \text{ m}^3/\text{s}$), a w dniach kolejnych – do wartości $2500 \text{ m}^3/\text{s}$ (dane IMGW-PIB). Gdyby stało się to kilka dni wcześniej, sytuacja byłaby o wiele bardziej poważna.

PODSUMOWANIE

Powstaniu pokrywy lodowej rozbudowującej się frontalnie z form lodu mobilnego zawsze towarzyszy wzrost poziomu wody. Powoduje to zmianę warunków hydraulicznych przepływu wynikająca z pojawienia się w przekroju koryta podbitek śryżowych i szorstkości spągu tej warstwy. Stwierdzono, iż na swobodnie płynącym odcinku dolnej Wisły, w przypadku rozbudowy pokrywy lodowej bez udziału procesu mechanicznego zagęszczenia lodu i przy przepływie poniżej średniego rocznego, wzrost stanu wody wynosi zwykle 1–1,3 m.

Zaistniała w rejonie Płocka zimą 2021 r. sytuację odpowiadały zarówno czynniki hydro-meteorologiczne, jak i antropogeniczne. W grupie pierwszej rolę odegrały w największym stopniu (oprócz mrozu, odpowiadającego za wielkość tranzytu lodu):

- natężenie (prędkość) przepływu rzeki, które w czasie drugiego cyklu zlodzenia było większe niż zwykle zimą, co wynikało z przejścia niewielkiego wezbrania roztopowego po pierwszym cyklu zlodzenia,
- opady śniegu, a także pochmurne noce i duża wilgotność powietrza podczas rozbudowy pokrywy lodowej w rejonie Płocka i bezpośrednio powyżej.

W tych warunkach płynące pakiety lodu były dość miękkie i plastyczne, co przy dużej prędkości przepływu powodowało niestabilność i spływanie w dół rzeki fragmentów nowo powstałej pokrywy lodowej, jej napływanie na pokrywę powstałą wcześniej oraz zagęszczenie i wzrost ilości lodu w korycie. Częściowo właśnie dlatego, przy średnim przepływie rzeki, wystąpił wysoki/alarmowy stan wody na wodowskazach w rejonie Płocka.

Sytuacja lodowa na odcinku zbiornika bezpośrednio poniżej Płocka w drugiej połowie lutego była bardzo trudna. Potwierzyły to wyniki pomiarów wykonanych w przekroju Popłacin Ujęcie Orlen. Nagromadzenie lodu było problemem również dla lodołamaczy. Wynikiem tego były skrajnie niskie wartości obowego postępu lodołamania w czasie przejścia przez odcinek, gdzie zlokalizowane było czoło zatoru, wynoszące jedynie k. 1 km/dobę. Należy podkreślić, iż akcja lodołamania w lutym

2021 r. była jedną z najtrudniejszych w całej 50-letniej historii istnienia zbiornika włocławskiego.

Przyczyną tak wysokiego poziomu wody i zagrożenia powodziowego zimą 2021 r. w rejonie Płocka była z pewnością także wyższa rzędna położenia dna górnej części zbiornika w stosunku do lat ubiegłych. Porównanie wyników prezentowanych tu badań z wynikami pomiarów przeprowadzonych w podobnych warunkach zimą 2010 r. wskazuje na wyptyczenie tej części zbiornika. Najprawdopodobniej na odcinku w rejonie Woli Brwileńskiej jest ono znacznie większe niż w przekroju przedstawionym na rys. 2. Oprócz zagrożenia zatorowego, wynikającego z braku możliwości tranzytu pakietów lodu o dużej miąższości, sytuacja taka generuje znacznie szerszy problem. Przy tej samej wielkości przepływu rzeki poziom Wisły i stany wody w rejonie Płocka są coraz wyższe. Skutkiem tego coraz mniejsza ilość wody potrzebna jest, by rzędna jej zwierciadła osiągnęła korony wałów czy zapory bocznej. Niespotykane wcześniej nasilenie się procesu sedymentacji w czaszy zbiornika po 2009 r. (średnio $4 \text{ mln m}^3/\text{rok}$) stwierdzają Mroziński i Pawuła (2018). Było ono w znacznej mierze związane z dostawą materiału w czasie wezbrań opadowych w 2010 r. i 2014 r. Sugeruje się systematyczne prowadzenie prac bagrowniczych na poziomie zbliżonym do wielkości depozycji w czaszy zbiornika.

Dowodem istotnego wpływu procesów akumulacji osadów na zagrożenie powodziowe w górnej części zbiornika włocławskiego jest fakt, iż 3 marca 2010 r., również w wyniku piętrzenia zatorowego, bulwar i przystań w Płocku zostały zalane przy przepływie Wisły wynoszącym ok. $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pawłowski, 2011). W lutym 2021 r. odbyło się to przy przepływie poniżej $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Przy niewielkiej intensywności prac bagrowniczych poziom alarmowy dla wodowskazu Płock Brama Stoczni ($58,37 \text{ m n.p.m.}$) będzie częściej przekraczany niż stan alarmowy na posterunku Kępa Polska czy Wyszogród przy tej samej wielkości dopływu do zbiornika.

LITERATURA

- [1] Grześ M. 1991. *Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle. Mechanizmy i warunki*. Warszawa: IGiPZ PAN.
- [2] Grześ M., Pawłowski B., Sobota I., Król M., Lach L. 2006. *Badania grubości pokrywy lodowej i podbitek śryżowych celu oceny skuteczności działania zapór przeciwszyżowych w Popłacinie i Płocku* (ekspertyza). Opracowanie Hydroprojekt Sp. z o. o. Warszawa dla RZWG Warszawa, maszynopis WNoZiGP UMK Toruń.
- [3] Grześ M., Pawłowski B. 2012. *Hydromorfologiczne uwarunkowania lodołamania na Wiśle od Stopnia Wodnego we Włocławku do ujścia, z uwzględnieniem sezonu zimowego 2011/2012*. Gdańsk: Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gdańsku.
- [4] Kolarski T. 2016. *Modelowanie matematyczne zjawisk lodowych na wodach śródlądowych*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [5] Mroziński J., Pawuła J. 2018. „Przebieg procesu sedymentacji w czaszy zbiornika włocławskiego w latach 1970–2015”. *Gospodarka Wodna* (3): 81–86.
- [6] Pawłowski B. 2011. „Lodowe wypełnienie koryta Dolnej Wisły zimą 2010”. *Gospodarka Wodna* (4): 149–153.
- [7] Pawłowski B., Sobota I. 2012. „Zlodzenie dolnej Wisły powyżej zapory we Włocławku zimą 2011 r.”. *Gospodarka Wodna* (2): 74–77.
- [8] Pawłowski B. 2013. „Wykorzystanie zwiadu lotniczego na potrzeby ochrony przed powodzią zatorowymi w dolinie dolnej Wisły”. *Gospodarka Wodna* (9): 345–350.
- [9] Pawłowski B., Gorączko M., Szczerbińska A. 2017. *Zjawiska lodowe w rzekach Polski*. W *Hydrologia Polski*, 195–200. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [10] Pawłowski B. 2017. *Przebieg zjawisk lodowych dolnej Wisły w latach 1960–2014*. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- [11] Polak K. 1990. „Przegrody śryżowe na Wiśle”. *Gospodarka Wodna* (4): 91–92.
- [12] Shen H. T., Wang D. S. 1995. „Under cover transport and accumulation of frazil granules”. *Journal of Hydraulic Engineering* 212(2): 184–195.