

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 51, 2011: 52–60  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 51, 2011)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 51, 2011: 52–60  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 51, 2011)

**Grzegorz WIERZBICKI<sup>1</sup>, Michał MAZGAJSKI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Zakład Hydrogeologii SGGW w Warszawie  
Division of Hydrogeology WULS – SGGW

<sup>2</sup>Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Institute of Meteorology and Water Management

## **Wezbranie zatorowe rzeki Wisły w Kotlinie Warszawskiej w lutym i marcu 2010 roku**

### **Ice-jam flood of the Vistula River in the Warszawa Basin during February and March 2010**

**Słowa kluczowe:** zjawiska lodowe, zator lodowy, wezbranie zatorowe, morfodynamika koryta rzecznoego, uszkodzenie wału przeciwpowodziowego

**Key words:** ice phenomena, ice jam, break up ice-jam flood, river bed dynamics, embankment failure

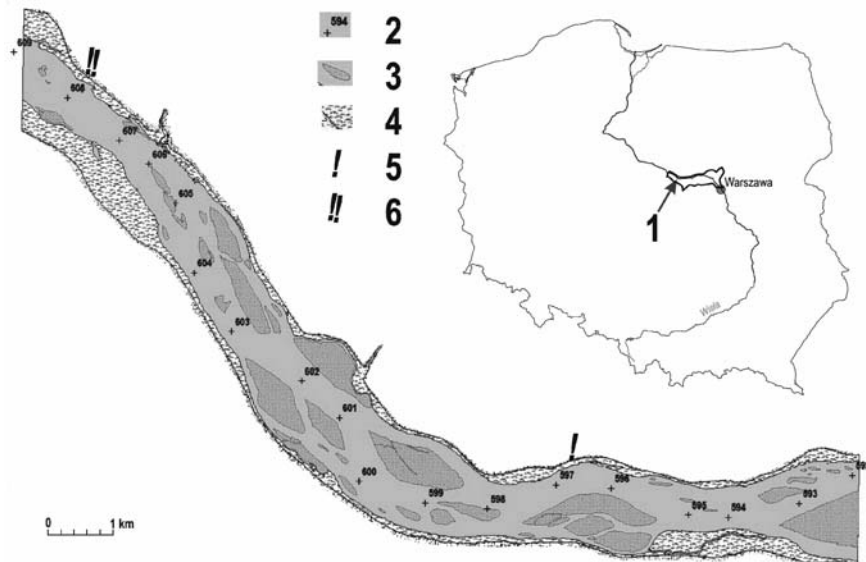
#### **Wprowadzenie**

W Polsce 2010 rok zostanie zapamiętany jako czas ekstremalnych wezbrań opadowych, podobnie jak 1997 rok. Tymczasem rzeka Wisła w dolnym biegu, a szczególnie w Kotlinie Warszawskiej (rys. 1) jest narażona na rozwój zatorów lodowych i śryżowych, które prowadzą do gwałtownych spiętrzeń wody, mogących się przerodzić w katastrofalną powódź. Sytuacja taka prawie zaistniała w marcu 2010 roku, a więc zaledwie

2 miesiące przed wystąpieniem intensywnych opadów deszczu w Karpatach, które wywołały historyczne wezbranie i znaczne straty powodziowe na badanym terenie.

Intencją autorów niniejszego artykułu jest podkreślenie potencjalnego zagrożenia powodziowego, wynikającego z rozwoju zjawisk lodowych w korycie dolnej Wisły. Zagrożenie takie miało miejsce pod koniec zimy 2010 roku w Kotlinie Warszawskiej i może wystąpić w kolejnych sezonach zimowych w tym regionie. Jednocześnie problem ten wydaje się być niedoceniany na tle zaistniałych w maju i czerwcu 2010 roku katastrofalnych powodzi opadowych.

W Kotlinie Warszawskiej w XVIII wieku powódzie zatorowe występowały regularnie co 4–5 lat. Problem niebezpiecznych dla mieszkańców wezbrań



RYSUNEK 1. Koryto Wisły w dolnej części Kotliny Warszawskiej: 1 – lokalizacja badanego odcinka na tle Kotliny Warszawskiej (Kondracki 1978), 2 – kilometraż szlaku żeglownego Wisły według RZGW w Warszawie, 3 – wyspy, 4 – równina zalewowa ograniczona wałem przeciwpowodziowym, 5 – uszkodzenie wału przeciwpowodziowego koło Rakowa, 6 – uszkodzenie wału przeciwpowodziowego koło Kępy Polskiej

FIGURE 1. The Vistula River channel in the lower part of the Warszawa Basin: 1 – localization of studied reach in the Warszawa Basin (Kondracki 1978), 2 – kilometrage of the Vistula waterway according to Regional Water Management Authority in Warsaw, 3 – islands, 4 – flood plain limited by embankment, 5 – embankment failure near Rakowo village, 6 – embankment failure near Kępa Polska village

zatorowych dolnej Wisły wymusił w XIX wieku budowę wałów przeciwpowodziowych (Grześ 1988). W pierwszej połowie XX wieku groźne powodzie zatorowe nawiedzały Kotlinę Warszawską, średnio co 10 lat (Grześ 1985). Spośród 10 najwyższych wezbrań zanotowanych w Wyszogrodzie w końcowych 75 latach minionego wieku aż 8 wystąpiło zimą (Zober i Magnuszewski 2000), wszystkie zaś najwyższe stany wody (maksymalne) Wisły zanotowane na posterunkach wodowskazowych IMGW w Kotlinie Warszawskiej przed 2010 rokiem były związane z zatorami lodowymi lub sryżowymi. Badania i monitoring zjawisk lodowych w ostatnich latach wskazują, że

najbardziej zatorogenną wśród polskich rzek jest Wisła w Kotlinie Warszawskiej, szczególnie w odcinku Wyszogród – Kępa Polska (Grześ i Pawłowski 2006, Kossakowska-Banacka i Walas 2010a)

Celem artykułu jest analiza przebiegu wezbrania Wisły w Kotlinie Warszawskiej (z lutego i marca 2010 roku) oraz wyjaśnienie jego przyczyn, a także ocena skutków wezbrania na tle innych ekstremalnie wysokich stanów wody (zanotowanych w profilu wodowskazowym Kępa Polska w styczniu 1982 roku i maju 2010 roku). Podjęto też próbę wyjaśnienia mechanizmu uszkodzenia wałów przeciwpowodziowych przez pochod kry.

## Material i metody

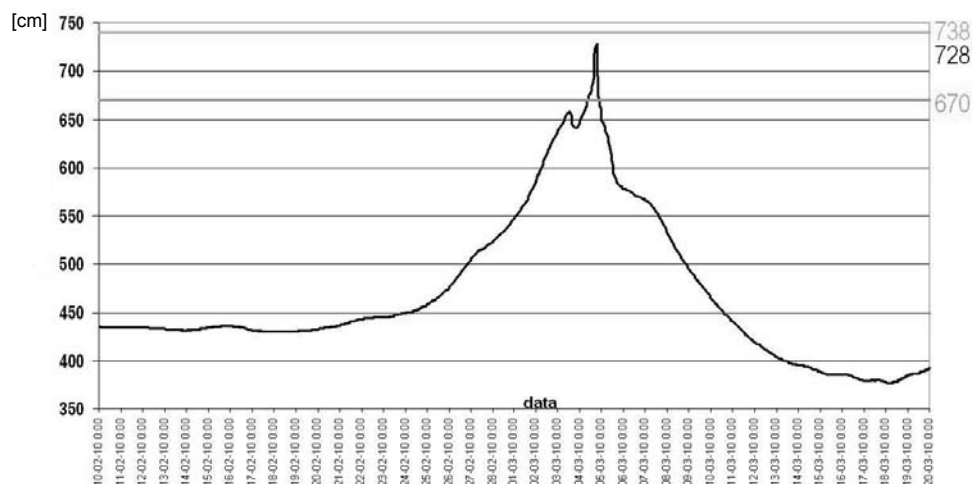
W artykule przeanalizowano: stany wody w profilu wodowskazowym Kępa Polska, rejestrowane co 10 min przez automatyczny czujnik poziomu wody w Systemie Telemetrii Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, przekroje poprzeczne koryta z siatką pól prędkości wody w tym profilu wykonane urządzeniem ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) przed wezbraniem i po wezbraniu oraz przekroje poprzeczne koryta wykonane w trakcie występowania zjawisk lodowych przez Zakład Kriologii i Badań Polarnych Instytutu Geografii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W pracy ponadto poddano analizie: pomiary batymetryczne koryta Wisły wykonane echosondą przed wezbraniem w okolicy wsi Rakowo, kartowanie miejsc, w których kra lodowa uszkodziła wały przeciwpowodziowe oraz dokumentację fotograficzną. Wszystkie badania terenowe przeprowadzono z wyko-

rzystaniem urządzenia GPS, co pozwoliło na umieszczenie ich wyników w bazie danych GIS utworzonej w programie ArcGIS na podkładzie map topograficznych w skali 1 : 10 000 (układ 1942, stan aktualności 1991–1992).

Materiałem dodatkowym, który wykorzystano w artykule, są komunikaty o zjawiskach lodowych na polskich rzekach wydawane przez Ośrodek Koordynacyjno-Informacyjny RZGW w Warszawie oraz dane meteorologiczne publikowane w internetowym serwisie pogodowym IMGW ([www.pogodynka.pl](http://www.pogodynka.pl)).

## Wyniki – przebieg wezbrania na tle rozwoju zjawisk lodowych i jego skutki

Przebieg stanów wody w czasie wezbrania zatorowego analizowanego w niniejszym artykule przedstawia hydrogram (rys. 2). Kulminacja wezbrania przekroczyła stan alarmowy (450 cm) o prawie



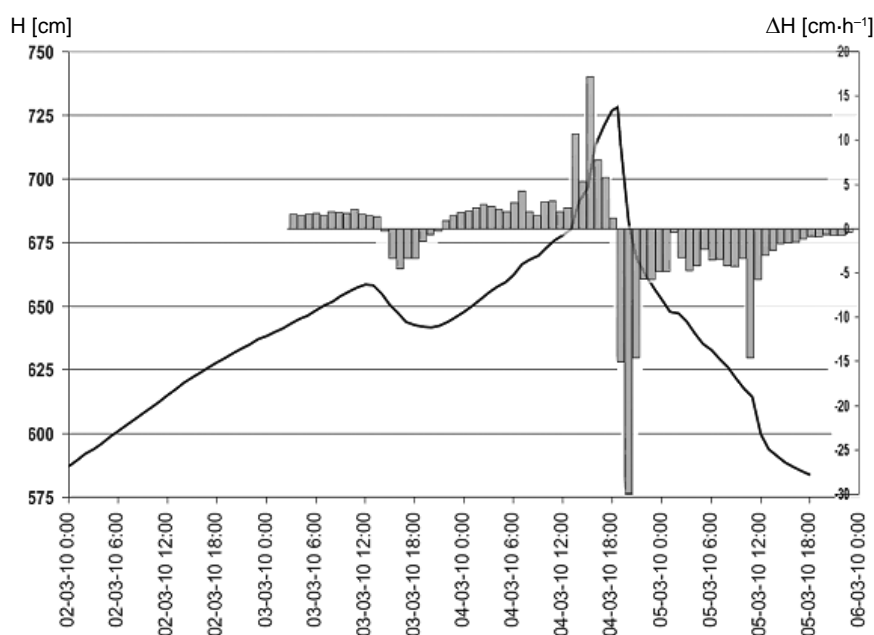
RYSUNEK 2. Stan wody Wisły w Kępie Polskiej w okresie 10.02.2010–20.03.2010

FIGURE 2. Water stage of the Vistula River in the Kępa Polska water gauge during 10.02.2010–20.03.2010

3 m i osiągnęła 728 cm. Aby porównać tę wartość z innymi ekstremalnymi stanami wody zanotowanymi w Kępie Polskiej, na hydrogramie zaznaczono także dotychczasowe maksimum absolutne z powodzi zatorowej sprzed prawie 30 lat (670 cm z dnia 10.01.1982 roku) i nowe maksimum absolutne z powodzi opadowej z maja 2010 roku (738 cm). Należy zauważyć, że wezbranie z lutego/marca 2010 roku osiągnęło kulminację aż o 58 cm wyższą niż katastrofalna powódź zatorowa ze stycznia 1982 roku, w której wyniku w Kotlinie Warszawskiej i Płockiej łącznie zalanych zostało 100,5 km<sup>2</sup> terenów poza wałami przeciwpowodziowymi oraz ewakuowano 14 500 osób i 12 300 sztuk zwierząt hodowlanych (Grześ i Banach 1983). Stan wody był zaledwie o 10 cm niższy niż

w czasie powodzi opadowej z maja 2010 roku. Wówczas obszar zalany w Kotlinie Warszawskiej (około 60 km<sup>2</sup>) był bardzo podobny do zdarzenia z 1982 roku (tzw. Dolina Iłowsko-Dobrzykowska), a straty również osiągnęły zbliżone wartości (ewakuacja objęła 2500 osób i 2300 sztuk zwierząt hodowlanych).

Charakterystycznymi cechami hydrogramu (rys. 2) są następujące w odstępie około 30 godzin dwie kulminacje i wyjątkowa „stromość” drugiej z nich, świadcząca o szybkim wzrastaniu i opadaniu wody. Aby lepiej przedstawić te cechy opracowano kolejny hydrogram, na którym stany wód ( $H$ ) powyżej 600 cm przedstawiono łącznie z godzinnym przyrostem stanu wody ( $\Delta H$ ) dla najbardziej charakterystycznego okresu fali wezbraniowej (rys. 3). Widać na nim,



RYSUNEK 3. Stan wody ( $H$ ) oraz zmiana stanu wody ( $\Delta H$ ) rzeki Wisły w Kępie Polskiej w okresie 2–5.03.2010

FIGURE 3. Water stage ( $H$ ) and water stage change ( $\Delta H$ ) in the Kępa Polska water gauge during 2–5.03.2010

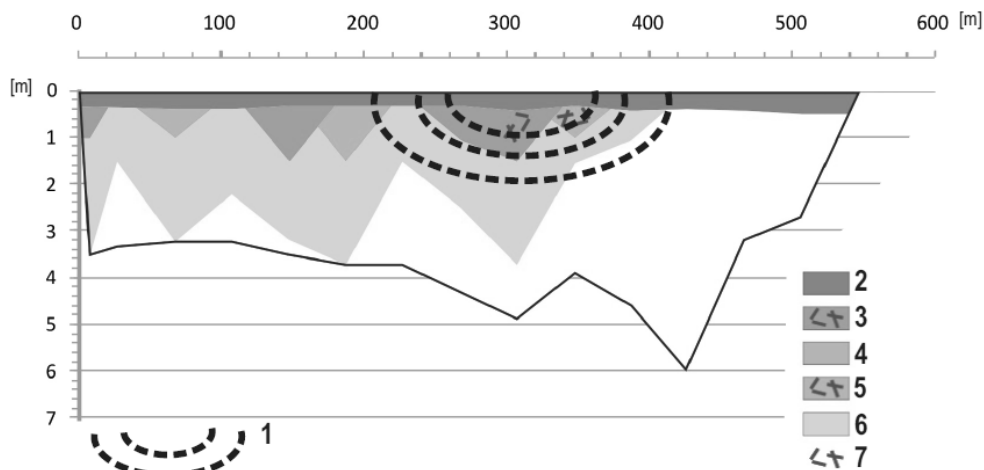
że w pierwszej kulminacji ( $H = 659$  cm w dniu 3.03.2010 roku o godzinie 12:00 UTC) wzrastanie, a potem opadanie stanu wody osiągało nieznaczne wartości (poniżej  $5 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Natomiast druga kulminacja ( $H = 728$  cm w dniu 4.03.2010 roku o godzinie 18:40 UTC) charakteryzowała się gwałtownym przyrostem stanu wody, który dochodził do  $17 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ , oraz jeszcze gwałtowniejszym spadkiem poziomu wody, osiągającym nawet  $30 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Tak gwałtowne zmiany stanu wody są typowym zjawiskiem towarzyszącym zatorom lodowym lub śryżowym. W Kotlinie Warszawskiej przyrosty poziomu wody osiągają nawet 3–4 razy większe wartości niż w omawianym wezbraniu, na przykład  $\Delta H = 100 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$  zanotowany na Wiśle w Modlinie dnia 3.03.1975 roku (Grześ 1985). Szczególnie szybki spadek stanu wody po osiągnięciu maksimum jest właściwy dla tego rodzaju wezbrania. Faza opadania fali wezbrania opadowego jest znacznie dłuższa. Natomiast dwie kulminacje mogą świadczyć o przesunięciu zatoru, co spowodowało chwilowe (kilka godzin) ułatwienie odpływu w korycie i spadek stanu wody.

Zjawiska lodowe w korycie Wisły w Kotlinie Warszawskiej i wyżej położonych odcinkach rzeki zaczęły się rozwijać na początku drugiej połowy grudnia 2009 roku. Pojawił się wówczas śryż i lód brzegowy, który po kilku dniach przekształcił się w pokrywę lodową. Ocieplenie, jakie nastąpiło pod koniec grudnia 2009 roku, doprowadziło do topnienia pokrywy śnieżnej w obszarze całej zlewni i wzrostu stanu wód. Szybkiemu osłabieniu, spękaniu i defragmentacji uległa pokrywa lodowa w kory-

cie rzeczonym Wisły, ale tylko powyżej Zbiornika Włocławskiego. Utrzymująca się na nim pokrywa lodowa wraz z dużą ilością spływającego śryżu spowodowała zator śryżowy. Przy rosnącym przepływie wody doprowadził on do pierwszego groźnego spiętrzenia wody w sezonie 2009/2010 w Kotlinie Warszawskiej, a szczególnie w niżej położonej Kotlinie Płockiej (Kossakowska-Banacka i Walas 2010b).

W styczniu i lutym w Polsce Środkowej i Północnej nieustannie występowała ujemna temperatura (niekiedy bardzo niska, poniżej  $-25^{\circ}\text{C}$ ), dzięki czemu pokrywa lodowa, nieprzerwanie pokrywająca Zbiornik Włocławski, szybko zaczęła przyrastać w górę rzeki. Przy ciągłym dopływie śryżu, kry lodowej i rozwoju lodu brzegowego Wisła w dolnej części Kotliny Warszawskiej ponownie została skuta zwartą pokrywą lodową już 7.01.2010 roku. Po 2 tygodniach sytuacja taka objęła Wisłę w całym opisywanym regionie, a pod koniec stycznia nawet w wyżej położonej dolinie środkowej Wisły. Pokrywa lodowa stawała się coraz bardziej miększa – na początku lutego jej grubość na Zbiorniku Włocławskim przekroczyła 40 cm, a kilka dni później podobne wartości obserwowano w korycie Wisły w Kotlinie Warszawskiej. Jednocześnie ciągle formowanie się i napływ śryżu doprowadziło do powstania podbitek śryżowych, miejscami zwięzłych i zbitych z krą lodową. Rozwój tych zjawisk znacząco zmienił warunki przepływu w korycie Wisły, którego pole przekroju poprzecznego w dniu 4.02.2010 roku było wypełnione lodem w 70% w Wyszogrodzie i w 52% w Kępie Polskiej (rys. 4).



RYSUNEK 4. Przekrój poprzeczny koryta Wisły koło Kępy Polskiej wykonany w dniu 4.02.2010 roku (Grześ i in. 2010 – zmienione): 1 – linie jednakowej prędkości w przekroju poprzecznym koryta bez zjawisk lodowych (na podstawie pomiarów ADCP z 5.11.2009 roku), 2 – pokrywa lodowa, 3 – śryż zbity z krami, 4 – podbitki zwięzłe, 5 – podbitki zwięzłe z krami, 6 – podbitki luźne, 7 – kry lodowe

FIGURE 4. Cross-section of the Vistula River channel near village of Kepa Polska conducted on 4.02.2010: 1 – velocity isolines in cross section of river channel conducted in the condition without ice phenomena (based on ADCP measurement on 5.11.2009), 2 – ice cover, 3 – frazil packed with ice floes, 4 – frazil slush densely packed, 4 – frazil slush densely packed with ice floes, 6 – frazil slush loosely packed, 7 – ice floes

Dnia 18.02.2010 roku w Kotlinie Warszawskiej po raz pierwszy od wielu tygodni odnotowano dodatnią temperaturę – wyraźne oznaki nadchodzącego ocieplenia. Zwarta pokrywa lodowa w środkowym biegu Wisły zaczęła ulegać rozpadowi, co ułatwiało wzrost poziomu wody, wynikający z topnienia pokrywy śnieżnej, której średnia miąższość na obszarze całej zlewni Wisły przekraczała 50–60 cm. W dniu 26.02.2010 roku w dominującej większości stacji wodowskazowych w zlewni górnej i środkowej Wisły, Bugu i Narwi poziom wody układał się w strefie stanów wysokich, a na kilku stacjach notowano stan alarmowy. Pokrywa lodowa w tym dniu skuwiała Wisłę jedynie w Kotlinie Warszawskiej i w niżej położonej Kotlinie Płockiej, gdzie pracowały od kilku dni

lodołamacze. Z początkiem marca ocieplenie się nasiliło i temperatura powietrza w Polsce wyraźnie przekroczyła 5°C, przyspieszając topnienie śniegu, a Wisła środkowa i jej dopływy były zupełnie wolne od zjawisk lodowych. Tymczasem zwarta pokrywa lodowa ciągle utrzymywała się w dolnej części Kotliny Warszawskiej oraz w górnej części Kotliny Płockiej, gdzie była systematycznie łamana przez lodołamacze płynące w górę rzeki. Doprowadziło to na tym odcinku Wisły do sytuacji zatorowej, nakładającej się na wysokie stany wody pochodzącej z roztopów śniegu (rys. 2). W kluczowym dla przebiegu wezbrania dniu 4.03.2010 roku (rys. 3) zwarta pokrywa lodowa funkcjonowała jedynie w krótkim 20–30-kilometrowym odcinku Wisły między km 590 (rys. 1) a górną

granicą Zbiornika Włocławskiego (km 620, według RZGW) i w tymże odcinku musiał utworzyć się zator. W dniu następnym w rzece pozostał tylko lód brzegowy.

Mimo ekstremalnie wysokich stanów wody i gwałtownego spływu kry lodowej straty, będące skutkami wezbrania Wisły w Kotlinie, były wyjątkowo małe w porównaniu z powodzią ze stycznia 1982 roku i maja 2010 roku. Ograniczały się jedynie do mechanicznego uszkodzenia wałów przeciwpowodziowych przez krę w okolicy wsi Rakowo i Kępa Polska (rys. 1). Koszt naprawy urządzeń hydrotechnicznych został wyceniony na około 1,5 mln złotych.

Samo zdarzenie (należy je nazwać wezbraniem zatorowo-roztopowym) nie zasługuje na miano powodzi, bowiem równina zalewowa poza wałami przeciwpowodziowymi nie została zalana wodą, więc nie odnotowano tam strat materialnych. Sytuacja była jednak niezwykle bliska katastrofalnej powodzi.

## Dyskusja i podsumowanie

Najbardziej dyskusyjną kwestią jest odpowiedź na pytania: dlaczego nie doszło do przerwania wałów (i zaistnienia powodzi) mimo ekstremalnie wysokiego stanu wody i jak przebiegał mechanizm ich uszkodzenia przez krę lodową?

Służby odpowiedzialne za utrzymanie urządzeń hydrotechnicznych na szlaku żeglownym Wisły podkreślają, że podwyższone po 1982 roku wały wraz ze sprawnie przeprowadzoną akcją lodolamania na Zbiorniku Włocławskim nie doprowadziły do powtórzenia katastrofalnej powodzi przed blisko 30 lat (Kossakowska-Banacka i Walas 2010b).

Na sytuację tę na pewno miał wpływ także krótki czas piętrzenia zatorowego, który wynosił 8 dni.

Do uszkodzenia wałów przeciwpowodziowych doszło w dwóch miejscach (rys. 1). W okolicy wsi Rakowo kra lodowa wbiła się w korpus wału (km 596,8) i spiętrzyła się do wysokości 2 m ponad koronę wału. Stało się to na zewnętrznym brzegu zakrętu rzeki. Podobną sytuację odnotowano na meandrze Wisły w okolicy Dobrzykowa (km 623) na granicy Kotliny Warszawskiej i Kotliny Płockiej zarówno w czasie omawianego wezbrania, jak i podczas katastrofalnej powodzi zatorowej w 1982 roku (Grześ i Banach 1983, Kossakowska-Banacka i Walas 2010a). W Kępie Polskiej wał został uszkodzony (km 608) w dwóch miejscach odległych od siebie o 50 m. Kra lodowa wtargnęła w korpus wału, który został zdeformowany w całym przekroju poprzecznym, i spiętrzyła się około 3 m powyżej jego korony. Deformacja wału w okolicach Kępy Polskiej nie miała tak wyraźnej koincydencji z kształtem koryta, bowiem odcinek Wisły jest tu stosunkowo prosty (rys. 1). Na podstawie analizy przekroju poprzecznego koryta podczas zlodzenia można wysnuć wnioski o przerzuceniu nurtu bliżej prawego brzegu w wyniku zablokowania przepływu w miejscu dotychczasowego nurtu (rys. 4). To mogło doprowadzić do spiętrzenia kry bezpośrednio przy wale i jego uszkodzenia. Rozwój zjawisk lodowych w badanym odcinku Wisły prowadzi do istotnych zmian hydraulicznych warunków przepływu, w którego wyniku dochodzi do okresowych (niekiedy nawet stałych) zmian położenia linii nurtu w korycie (Pawłowski 2008, Majewski 2009).

Należy wymienić także inny czynnik, który mógł mieć wpływ na zaistniałą sytuację. Istotnym elementem chroniącym wały przeciwpowodziowe przed napierającą krą są drzewa rosnące na równinie zalewowej (Żelazo 2007). W marcu 2010 roku do uszkodzeń doszło w miejscach, gdzie nie było zadrzewionej strefy osłaniającej wał od strony koryta. Drzewa w wielu miejscach stawiały opór krze lodowej, czego świadectwem jest duża liczba świeżych blizn lodowych (tree ice scarp).

Kwestią wymagającą dalszych badań jest oddziaływanie stwierdzonych w analizowanym odcinku Wisły wychodni gliny zwałowej i bruków żwirowo-kamienistych, które zalegają płytko pod aluwiami (Poppek i in. 2009). W wyżej położonych odcinkach Wisły zauważono, że kulminacje odpornych na erozję skał znajdujących się w dnie doliny sprzyjają rozwojowi zatorów lodowych (Falkowski i Poppek 2000) oraz modyfikują linię nurtu, sprzyjając wtargnięciu wód wezbraniowych na równinę zalewową (Falkowski 2007).

## Wnioski

Wezbranie zatorowo-roztopowe, do którego doszło w lutym i marcu 2010 roku, stanowiło duże zagrożenie powodziowe w dolnej części Kotliny Warszawskiej i miało gwałtowny przebieg. Spływające z dorzecza środkowej i górnej Wisły wody roztopowe napotkały barierę w postaci zatoru lodowego. Doszło do 3-metrowego spiętrzenia, które osiągnęło stan wody znacznie wyższy niż podczas powodzi zatorowej w 1982 roku i zbliżony do powodzi opadowej z maja i czerwca 2010 roku. Mimo to

woda nie wylała się poza ograniczoną wałami równinę zalewową. Wały przeciwpowodziowe zostały jednak uszkodzone przez spływającą krę lodową, a mechanizm tego procesu jest trudny do wyjaśnienia na podstawie istniejących danych. Prawdopodobnie newralgiczne odcinki wałów przeciwpowodziowych szczególnie narażone na niszczenie przez krę znajdują się na zewnętrznych brzegach meandrów rzeki oraz w miejscach, gdzie zjawiska lodowe modyfikują przebieg nurtu, wymuszając jego lateralną migrację. Drzewa osłaniające wał od strony koryta rzecznoego stanowią naturalną i skuteczną barierę ochronną przed niszczącą działalnością kry lodowej. Wychodnie odpornych na erozję i zalegających płytko pod aluwiami skał mogą być ważnym czynnikiem modyfikującym morfodynamikę koryta Wisły w Kotlinie Warszawskiej.

## Literatura

- FALKOWSKI T. 2007: The application of geomorphological analysis of the Vistula River, Poland in the evaluation of the safety regulation structures. *Acta Geologica Polonica* 57, 3: 377–390.
- FALKOWSKI T., POPEK Z. 2000: Zones of the ice-jam formation on the Middle Vistula River reach in relation to variable of river valley morphology. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Land Reclamation* 30: 77–90.
- GRZEŚ M. 1985: Problem zatorów i powodzi zatorowych na dolnej Wiśle. *Przegląd Geograficzny*, LVII, 4: 499–525.
- GRZEŚ M. 1988: Zatory i powodzie zatorowe na dolnej Wiśle. W: *Przemiany środowiska geograficznego Polski*. Wszechnica PAN, Ossolineum, Wrocław: 225–246.
- GRZEŚ M., BANACH M. 1983: Powódź zatorowa na Wiśle w styczniu 1982. *Przegląd Geograficzny* LV, 1: 91–113.



- GRZEŚ M., PAWŁOWSKI B. 2006: Metody identyfikacji zatorowych odcinków rzek. *Dokumentacja Geograficzna* 32: 94–98.
- GRZEŚ M., PAWŁOWSKI B., ĆMIELEWSKIM., LACH R., MUSIALIK A. 2010: Monitorowanie zjawisk lodowych na Zbiorniku Włocławskim w km 634–644 oraz rzece Wiśle na odcinkach km 587–590 i 598–613. Opracowanie nr 6707/10. HYDROPROJEKT Sp. z o.o. Warszawa, O/Włocławek. Archiwum RZGW w Warszawie, Warszawa.
- KONDRACKI J. 1978: Geografia fizyczna Polski. PWN, Warszawa.
- KOSSAKOWSKA-BANACKA B., WALAS P. 2010a: Zagrożenie powodziami zatorowymi na obszarze RZGW w Warszawie. W: Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. Red. B. Wiązek. Monografie KIS PAN, Warszawa: 273–283.
- KOSSAKOWSKA-BANACKA B., WALAS P. 2010b: Zagrożenie powodziowe na Wiśle w rejonie Płocka w sezonie zimowym 2009/2010. *Gospodarka Wodna* 8: 333–337.
- MAJEWSKI W. 2009: Przepływ w kanałach otwartych z uwzględnieniem zjawisk lodowych. Monografie IMGW, Warszawa.
- PAWŁOWSKI B. 2008: Zmienność geometrii koryta dolnej Wisły w okresie zlodzenia rzeki. *Gospodarka Wodna* 7: 276–280.
- POPEK Z., FALKOWSKI T., WASILEWICZ M., OSTROWSKI P. 2009: Charakterystyka morfologiczna koryta Wisły na odcinku od km 596 do km 602 oraz ocena czynników wpływających na jego stan w aspekcie utrzymania dobrego stanu przyrodniczego rzeki. Ekspertyza. Archiwum KIWIRŚ SGGW, Warszawa.
- ZOBER S., MAGNUSZEWSKI A. 2000: High flood events of Vistula River near village of Wyszogrod between 1920 and 1995. In: Floodplain pollution control management (Vistula River, Poland). Eds. A. Magnuszewski, Z. Mikulski, W.L.F. Brinkmann. *IHP/OHP-Berichte, Sonderh.* 11: 71–73.
- ŻELAZO J. 2007: Analiza warunków przepływu i możliwości zabezpieczenia przed erozją prawego brzegu Wisły, w rejonie km 599–600. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4: 231–243.

## Summary

**Ice-jam flood of the Vistula River in the Warszawa Basin during February and March 2010.** During thaw in upper Vistula catchment, snowmelt runoff raised the river water stage and reduced ice cover. Ice floes moving downstream encountered ice cover with frazil slush what caused piling them up and the ice jam was formed. It took place in lower part of the Warszawa Basin, near Kepa Polska water gauge, where such a situation happens quite often. The water level increased rapidly, exceeded the alarm stage and reached the highest level even measured. The flooding almost occurred. The paper contains the analysis of the ice jam flood, its consequences and comparison with another extreme flood episodes in lower part of Warszawa Basin. The authors try to explain the reasons of embankment failure in the described case. Because of the limitations of making measurements in ice-covered rivers it is hard to draw certain conclusions about the processes connected with ice jam events.

### Authors' addresses:

Grzegorz Wierzbicki  
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Geoinżynierii  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: grzegorz\_wierzbicki@sggw.pl

Michał Mazgajski  
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
ul. Podleśna 61, 01-673 Warszawa  
Poland  
e-mail: michal.mazgajski@imgw.p