

HISTORYCZNE NIŻÓWKI NA WIŚLE W WARSZAWIE NA TLE AKTUALNYCH STANÓW I PRZEPIWÓW NISKICH

Ewa Kaznowska✉, Michał Wasilewicz

Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

ABSTRAKT

Cel pracy

Celem pracy było zbadanie rozmiaru współcześnie występujących niżówek w poszukiwaniu odpowiedzi, czy niepokojące obserwowane ekstremalne niskie stany wody przekładają się na ekstremalne niskie przepływy i wykazują tendencje do zmian ich wielkości.

Materiał i metody

W pracy wykorzystano dane hydrologiczne dla wodowskazów na Wiśle w Warszawie: Warszawa, Warszawa-Bulwary, Warszawa-Nadwilanówka. W poszukiwaniu trendów w przebiegu charakterystyk niżówek zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i wnioski

W ciągu 20 ostatnich lat niżówki głębokie wystąpiły w następujących latach: w 2003, 2007, 2012, 2015, 2019 i 2020 roku. Do roku hydrologicznego 2019 najniższe absolutne minimum z 2015 dla wodowskazu Warszawa-Bulwary nie zostało przekroczone. Jednakże po porównaniu stanów wody na wodowskazu Warszawa-Nadwilanówka we wrześniu 2020 zanotowano przekroczenie absolutnego minimum o 9 cm (stan 102 cm). Przepływy minimalne roczne (NQ) oscylują wokół wartości średniej (SNQ), a nawet wykazują nieistotną statystycznie tendencję do wzrostu. Natomiast minimalne stany wody (NW) wyraźnie opadają i jest to zmiana statystycznie istotna ($\alpha = 0,05$) wywołana pogłębieniem się koryta na odcinku warszawskim, a nie zmniejszaniem zasilania. W okresie 1951–2019 nie zaobserwowano wzrostu czasu trwania ani pogłębienia deficytów niżówek. Obserwowane w ostatniej dekadzie niżówki letnie z 2019, 2012 nie osiągają rozmiarów zbliżonych pod względem czasu trwania i objętości deficytu do średniej niżówki wyznaczonej z wielolecia 1951–2000. W wieloletnim przebiegu czasów trwania i objętości deficytów niżówek letnich nie notuje się istotnych trendów, co świadczy o stabilnym ustroju przepływów niżówkowych półroczu letniego. A dotychczasowy rekordowy najniższy przepływ historycznej niżówki letnio-jesiennej z 1921 roku dla Wisły w Warszawie nadal nie został przekroczony.

Słowa kluczowe: wodowskaz, Wisła warszawska, stany ekstremalne, okres niżówkowy, gorset warszawski

WSTĘP

Notowane w ostatnich latach bardzo niskie stany wody na Wiśle w Warszawie skupiły uwagę, szczególnie medialną, na zjawisku niżówki wód powierzch-

niowych. W Biuletynach IMGW-PIB (2015, 2020) opublikowano informacje o rekordowych, dotychczas nienotowanych stanach wody na wodowskazu Warszawa (42 cm w dniu 29 sierpnia 2015) i Warszawa-Nadwilanówka (102 cm w dniu 26 września 2020),

✉ e-mail: ewa_kaznowska@sggw.edu.pl

a media alarmowały również o niespotykanych wcześniej bardzo niskich stanach wody wiosną 2018, 2019 i 2020 roku, które miały być efektem mało śnieżnych zim i sytuacji hydrologicznej z poprzednich lat. Jednak już w 2004 roku Fal, komentując doniesienia o ekstremalnych zjawiskach hydrologicznych o wyjątkowym natężeniu, pisała, że „szeroka dostępność bieżącej informacji sprawia, że aktualne zdarzenia utrwalają się w pamięci, natomiast zjawiska sprzed kilkunastu lat czy kilkudziesięciu lat idą w zapomnienie”.

Dane hydrologiczne dla Wisły w Warszawie są dobrze udokumentowane. Charakterystykę występowania ekstremalnie niskich i wysokich stanów wody bądź ekstremalnych przepływów Wisły w Warszawie znajdziemy w pracach: Łopaty i Gutry-Koryckiej (1997) Gutry-Koryckiej (2007), Magnuszewskiego i Gutry-Koryckiej (2009), Fal i Dąbrowskiego (2001), Fal (2004, 2007). Autorzy oprócz systematycznych pomiarów stacjonarnych przytaczają w nich historyczne źródła wiedzy (szczególnie o katastrofalnych powodziach), czyli stare kroniki klęsk elementarnych na ziemiach polskich, diariusze, zapiski zakonne i parafialne czy znaki wielkiej wody upamiętniające w mieście wysokość wielkich powodzi. Ciekawe opisy susz i niżówek na Wiśle można znaleźć w pracy Girguś i Strupczewskiego (1965), z której Fal (2004) wybrała wszystkie wzmianki na temat susz i niskich stanów wody i zestawiała je w postaci kalendarium ich występowania na ziemiach polskich – od roku 998 do roku 2003. Część z wybranych fragmentów bezpośrednio dotyczy Wisły i można za Fal (2004) przytoczyć kilka z nich dla wybranych lat. W roku 1332: „rzeka Wisła wskutek wielkiej suszy tak bardzo zmniejszyła się, że w wielu miejscach stała się łatwa do przechodzenia w bród dla dziesięcio- i dwunastoletnich chłopców”. Natomiast w roku 1376 zanotowano: „Tego lata było tak gnuśno, że Wisła przed Toruniem była tak mała i płytka, że można ją było przejechać w wielu miejscach”. Interesujące opisy podawane przez Fal (2004) dotyczą także 1473 roku, w którym notowano: „Rok ten pamiętny był dla całej Europy i dla Królestwa Polskiego nadzwyczajnymi słońca upały i suszą nieprzerwaną (...) tak, że źródła wszystkie powysychały i największe rzeki w Polsce można było w bród przebywać. Nie tylko pod Krakowem, Sandomierzem, Płockiem, ale i pod Toruniem Wisła była tak płytka”; „U Torunia także Wisłę y pieszki przechodzono”. A dla roku 1580

można przeczytać, że: „można było iść suchą nogą przez Wisłę aż na Żuławy”. Jednakże wybrane opisy bez obserwacji wodowskazowych trudno porównywać z bieżącą sytuacją hydrologiczną, pokazują jedynie skalę zjawiska.

W niniejszej pracy charakterystyką objęto głębokie niżówki letnie i zimowe na Wiśle w Warszawie notowane począwszy od roku hydrologicznego 1921, opierano się na stanach wody oraz charakterystyce przepływów niżówkowych w okresie od 1951 do 2019 roku. Zasadniczym celem pracy było badanie rozmiaru współcześnie występujących niżówek w poszukiwaniu odpowiedzi, czy niepokojące obserwowane ekstremalnie niskie stany wody przekładają się na ekstremalnie niskie przepływy, zwiększone czasy trwania i objętości deficytów niżówek i wykazują tendencje do ich zmian. Jest też próbą odpowiedzi na pytanie, czy dotychczas obserwowana w okresie 1951–2010 duża odporność reżimu odpływów niżówkowych dolnej Wisły (Tomaszewski, 2016) na wieloletnie zmiany wywołane fluktuacjami klimatycznymi charakteryzująca się brakiem trendów linowych dotyczy także Wisły środkowej, czy jednak ostatnia dekada XXI wieku przyniosła nowe spostrzeżenia, zwłaszcza dotyczące okresu wiosennego. Praca jest kontynuacją rozważań rozpoczętych w artykule Kaznowskiej i in. (2018).

OBSZAR BADAŃ

Niemal do końca XIX wieku warszawski odcinek Wisły pozostawał nieuregulowany, w stanie typowym dla rzeki roztokowej (Magnuszewski, Gutry-Korycka 2009). Według Żelazińskiego (2015) Wisła warszawska to fragment rzeki od km 488 (miejscowości Karczew na prawym i Gassy na lewym brzegu) do km 539 (odpowiednio Skierdy i Łomna), w którym wyróżnia się trzy odcinki (lokalizacja wg starego, nieobowiązującego już kilometrażu). Pierwszy z nich, o charakterze zbliżonym do naturalnego (elementem sztucznym są obwałowania), jest położony pomiędzy Karczewem (km 488) a Zawadami (km 501). Na tym odcinku Wisła rozlewa się szeroko, na jej brzegach występują plaże, a w korycie – wyspy. Ponieważ są one siedliskami lęgowymi rzadkich gatunków ptaków, ustanowiono tu rezerwat przyrody pod nazwą „Wyspy Świderskie” i „Wyspy Zawadowskie”. Drugi odcinek Wisły (ryc. 1a–1c) położony jest pomiędzy

Zawadami (km 501) a mostem Marii Skłodowskiej-Curie (km 523), koryto Wisły jest tam znacznie przekształcone przez człowieka (obustronna regulacja oraz pobór ogromnych ilości piasku na potrzeby budownictwa). Na tym odcinku nie występują typowe dla wcześniejszego wyspy, a obecne plaże są niewielkie i w większości sztucznie usypane. Lewy brzeg to bulwary w centrum miasta i nasypy kamienne, a na prawym brzegu znajdują się budowle regulacyjne w formie tam poprzecznych. Zwężone koryto tworzy na tym odcinku tzw. gorset warszawski. Żelaziński (2015) wydziela ostatni odcinek poniżej mostu Marii Skłodowskiej-Curie (km 523), na którym to koryto Wisły ponownie się rozszerza, pojawiają się plaże i wyspy, a w okolicach Kiełpina leży rezerwat „Ławice Kiełpińskie”. Natomiast w granicach Warszawy według Bogdanowicz i in. (2000) leży 28-kilometrowy odcinek Wisły: od km 498 do 526. Tak zwana Wisła warszawska jest bardziej pojęciem umownym niż hydrograficznym. Cechą koryta Wisły w Warszawie jest jego ekstremalne przewężenie (z ponad 1000 m do około 350 m) w rejonie mostu Śląsko-Dąbrowskiego, uwarunkowane budową geologiczną (pryzczółek prański) oraz nasypem dawnego mostu Kierbedzia i wałami przeciwpowodziowymi. Najwęższa część gorsetu warszawskiego obejmuje 9-kilometrowy odcinek od km 507 do 516, w obrębie którego nasilają się procesy erozji dennej i następuje obniżenie dna Wisły tworzą-

ce tzw. wybój warszawski (Bogdanowicz i in. 2000). Pomimo występowania naturalnych elementów stabilizujących erozję wgłębną (występowanie gruntów o większej odporności na erozję – gruntów trudno rozmywanych: ilów plioceńskich, glin zwałowych, utworów zastoiskowych, a także plejstoceńskich osadów rzecznych) od końca lat czterdziestych ubiegłego wieku koryto Wisły na odcinku warszawskim ulega stalemu obniżaniu. Zjawisko to było analizowane przez wielu badaczy. Przyczyną mogła być intensyfikacja poboru kruszywa z koryta na potrzeby budownictwa, która spowodowała wzrost energii strumienia, a także eksploatacja otoczków wydobywanych ze stropowej, rezydualnej części progu – kulminacji podłoża współczesnych aluwii. Jednakże obserwowane w dłuższym okresie zmiany poziomu dna koryta dotyczą tylko serii współczesnych osadów korytowych (luźnych aluwii) (Falkowski i Ostrowski 2009). Ocenia się, jak podaje Kowalski i in. (2015), że pogłębienie dna Wisły w Warszawie na wysokości Portu Praskiego w latach 1919–2015 wyniosło aż 225 cm.

Środkowa Wisła jest odcinkiem o deszczowośnieźnym reżimie odpływu skutkującym wczesnowiosennymi wezbrzeniami wód oraz jesiennymi niskimi stanami wód – niżówkami (Bogdanowicz i in. 2000). Typowe wezbrania roztopowe pojawiają się w marcu i kwietniu, a letnie opadowe w czerwcu, lipcu i sierpniu. Okres niskich przepływów przypada na miesią-



Ryc. 1a. *Widok Warszawy od Strony Pragi* Bellotto, Bernardo 1770 (Źródło: ZKW/438) i czasy współczesne: Wisła w Warszawie 2 maja 2017 roku

Fig. 1a. *View of Warsaw from the side of Praga* by the painter Bellotto, Bernardo 1770 (Source: ZKW / 438) and the present time: the Vistula River in Warsaw, May 2, 2017



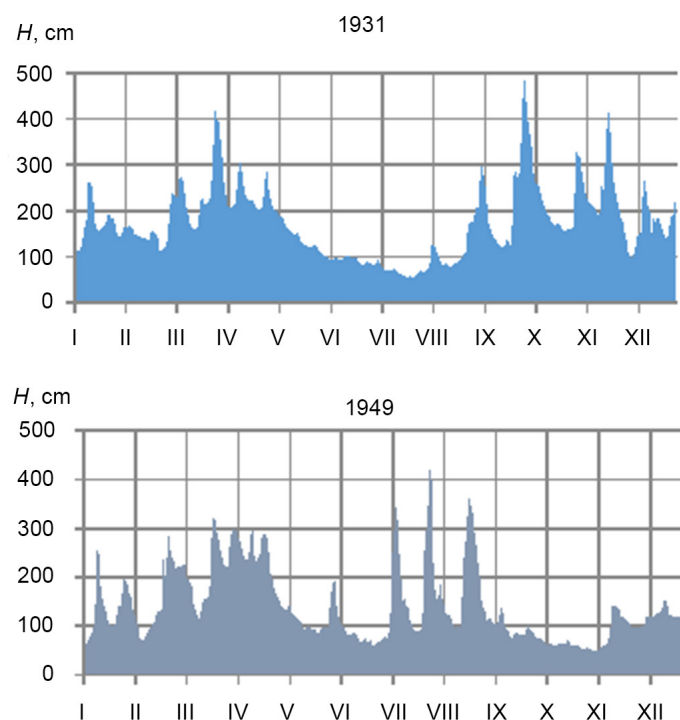
Ryc. 1b. Wisła w Warszawie, 26 kwietnia 2020, stan wody 51 cm na wodowskaziu Warszawa-Bułwary (fot. E. Kaznowska)
Fig. 1b. The Vistula River in Warsaw, April 26, 2020, the water state 51 cm at the Warszawa-Bułwary gauging station (phot. by E. Kaznowska)



Ryc. 1c. Wisła w Warszawie 19 kwietnia 2006 (z lewej) i 26 kwietnia 2020 (z prawej) (fot. E. Kaznowska)
Fig. 1c. The Vistula River in Warsaw on April 19, 2006 and April 26, 2020 (phot. by E. Kaznowska)

ce od września do grudnia (Fal, Dąbrowski 2001b). Początek pojawiania się niżówek letnich na Wiśle w Warszawie przypada najczęściej na wrzesień, aczkolwiek notuje się także początek niżówki w lipcu i w sierpniu (Kaznowska i in. 2018). Jednakże Dębski (1961) podkreśla, że nie ma pory roku wolnej od możliwości uformowania się wysokich wezbrań, jak i pory roku, w której nie mogłyby się uformować głębokie niżówki na Wiśle w Warszawie.

Według Dębskiego (1961) przebieg stanów wody dla tego odcinka rzeki cechuje się dużą nieregularnością. Dla przykładu w *Charakterystyce hydrologicznej Polski* Dębski porównuje stany wody z lat 1949 i 1931 (ryc. 2). W roku 1931 w miesiącach od czerwca do sierpnia widnieje głębsza niżówka, natomiast w roku 1949 pojawiają się w tych samych miesiącach trzy wysokie wezbrania. Wykresy te świadczą, że przepływy w Wiśle w tych samych okresach wyka-



Ryc. 2. Hydrogram stanów wody Wisły w Warszawie w roku kalendarzowym 1931 i 1949 (Źródło: za Dębskim 1961)
Fig. 2. Hydrogram of the Vistula water states in Warsaw in the calendar years 1931 and 1949 (Source: after Dębski 1961)

zują dużą nieregularność, a o stopniu tej nieregularności świadczą wykresy codziennych stanów wody (ryc. 2, 9, 10, 11). Wisła warszawska, podobnie jak i cała rzeka, charakteryzuje się dużą zmiennością stanów i przepływów wody, a maksymalne pionowe wahania zwierciadła wody dla Wisły w Warszawie wynoszą około 8 m (Bogdanowicz i in. 2000). Wielkość ta pochodzi, jak podaje Fal i Dąbrowski (2001a), z różnicy między stanem wody podczas powodzi w dniu 27 VII 1844 wynoszącym 863 cm (odpowiednio przeliczony), a najniższym stanem wody 68 cm, który wystąpił podczas suszy w 1992 roku. Jednakże przez obniżanie się dna Wisły wielkość ta jest wyższa niż wynikałoby z naturalnej zmienności stanów wody. Zatem według Fal i Dąbrowskiego (2001a) bardziej miarodajna jest amplituda roczna i tu okazuje się, że największe amplitudy wahań stanów wody w XX wieku były większe o metr niż największe amplitudy w wieku XIX.

Na obszarze dorzecza Wisły występuje klimat umiarkowany o charakterze przejściowym pomiędzy

klimatem lądowym i morskim, będący efektem ścieśniania się mas wilgotnego powietrza znad Atlantyku z suchym powietrzem z głębi kontynentu euroazjatyckiego, co wpływa na znaczne wahania przebiegu pór roku w następujących po sobie latach (KZGW, 2011). Wisła jest dużą rzeką allochtoniczną o charakterze przejściowym, której zlewnia zasilana jest opadami w różnym czasie. Wisła odwadnia zróżnicowane pod względem hydrograficznym obszary – począwszy od gór po niziny środkowopolskie. Dla przykładu, w trzydziestoleciu 1971–2000 uśredniona roczna suma opadów atmosferycznych na obszarze dorzecza Wisły wynosiła 582 mm. Najniższe średnie opady zanotowano w lutym, a najwyższe w lipcu (KZGW, 2011). Warunki formowania się odpływu w dorzeczu środkowej Wisły w rozpatrywanym okresie ostatnich 100 lat były zależne od występowania zarówno lat suchych, jak i mokrych. Do szczególnie katastrofalnych należały lata 20. XX wieku (rok: 1920, 1921, 1922) ze względu na występowanie posuch i upałów skutkujących klęską głodu i mi-

gracją ludności nim wywołaną (Semkowicz, 1922; Eberhardt, 2005). W lipcu 1921 roku fala panujących wówczas w Europie rekordowych upałów dotarła również do Polski. Termometry wskazały niespotykane wysokie – najwyższe od lipca 1833 roku – temperatury, m.in. w Poznaniu zanotowano aż $+38,7^{\circ}\text{C}$ (Żukow-Karczewski, ekologia.pl), która nadal jest dotychczas najwyższą zaobserwowaną temperaturą powietrza w historii tego regionu.

HISTORIA WODOWSKAZÓW NA WIŚLE W WARSZAWIE

Od momentu rozpoczęcia obserwacji wodowskazowych na Wiśle w Warszawie w XVIII wieku lokalizacja wodowskazów, ich rodzaj, zero wodowskazu i poziom odniesienia ulegały zmianom. W tabeli 1 zestawiono najważniejsze informacje dotyczące warszawskich wodowskazów. **Pierwszy wodowskaz w Warszawie** został zainstalowany na lewym brzegu Wisły, w pobliżu mostu łyżwowego nazywanego od nazwiska fundatora, podskarbiego wielkiego koronnego Adama Ponińskiego, mostem Ponińskiego. Most był zlokalizowany na przedłużeniu ulicy Bednarskiej na Mariensztacie i ul. Kłopotowskiego na Pradze w km 421+600 według aktualnego kilometrażu (ryc. 3, ryc. 4a). Jak podaje Fal i Dąbrowski (2001a za Wolskim 1849) obserwacje stanów wody rozpoczęto od roku 1789, jednak nie zachowały się zapisy z pierwszych dziesięciu lat, dlatego w aktualnych opracowaniach jako rok założenia wodowskazu warszawskiego wskazuje się najczęściej 1799. Fal i Dąbrowski (2001a) podają, iż podziałka **wodowskazu przy moście Ponińskiego (wodowskaz Warszawa)** w trakcie jego funkcjonowania miała różne miary w zależności od okresu, natomiast pierwotnie była podzielona na łokcie i cale miary warszawskiej, czyli polskiej koronnej. Początkowo wodowskaz nie miał określonego zera wodowskazu względem jakiegokolwiek punktu odniesienia. Dopiero w 1834 roku ustalono zero podziałki wodowskazu względem znaku wielkiej wody z 1813 roku (zaznaczonym trwale na jednym z domów przy ul. Mariensztat), tak aby znak ten znajdował się na wysokości 21 stóp według odczytu z wodowskazu. W 1848 roku zero wodowskazu odniesiono do istniejącej już niwelacji państwowej. Rzędną zera ustalono

na wysokości 76,991 m względem poziomu Morza Bałtyckiego pod Połęgą (Fal, Dąbrowski, 2001 za Witkowskim, 1907).

Po wybudowaniu pierwszego stałego mostu Kierbedzia w 1865 roku **wodowskaz Warszawa** przeniesiono na zachodni filar nowej przeprawy, na kilometr Wisły 421+300. Zero wodowskazu obniżono do wartości 76,876 m nad poziom Morza Bałtyckiego pod Połęgą, z konieczności uwzględnienia spadku zwierciadła wody. Fal i Dąbrowski (2001a) podają również, że w 1886 roku dokonano nieznacznej korekty zera wodowskazu (obniżenie o 8,5 cm) – w związku z długotrwałą niżówką – do rzędnej 76,791 m nad poziom Morza Bałtyckiego pod Połęgą. Po nawiązaniu do nowej niwelacji państwowej i wynikającej z niej zmiany poziomu odniesienia na poziom Bałtyku w Nowym Porcie zero znalazło się na rzędnej 78,71 m. Kolejna zmiana poziomu odniesienia miała miejsce w 1926 roku (do tzw. Normal-Null, czyli poziomu Morza Północnego w Amsterdamie) i spowodowała zmianę wartości zera wodowskazu na 78,129 m (Fal i Dąbrowski 2001a).

W 1937 roku wodowskaz przeniesiono około 90 metrów w górę rzeki w stosunku do poprzedniej lokalizacji (km 421+400), bez zmiany położenia zera wodowskazu. Wodowskaz wykonano w formie czterech metalowych łat. Pierwsza z nich zamontowana przy palu miała podziałkę od 10 do 160 cm. Druga, z podziałką 160–420 cm, znajdowała się na skarpie w betonowej wnęce. Trzecia łąta była przytwierdzona do betonowego filaru z podziałem 420–470 cm, a ostatnia zamontowana przy budce limnigrafu posiadała zakres 470–670 cm (Rocznik...1945). Wraz z przeniesieniem wodowskazu wybudowano wspomniany limnigraf, który do lat 70. XX w. wskazywał aktualny stan wody Wisły z wykorzystaniem mechanizmu pływakowego i zegarowego systemu prezentacji wartości stanu wody (ryc. 4b).

Taki stan rzeczy przetrwał do roku 1959, kiedy to w wyniku stwierdzonego osiadania skarpy i niestabilności jednej z czterech łat zdecydowano o przeniesieniu wodowskazu Warszawa na prawy brzeg w okolicy Portu Praskiego (km 421+900). Początkowo była to zachodnia ściana południowego filaru mostu nad kanałem prowadzącym do Portu Praskiego. W późniejszym okresie zainstalowano łątę wodowskazową przy pomoście Portu Praskiego (ryc. 5). Rzędna zera wo-

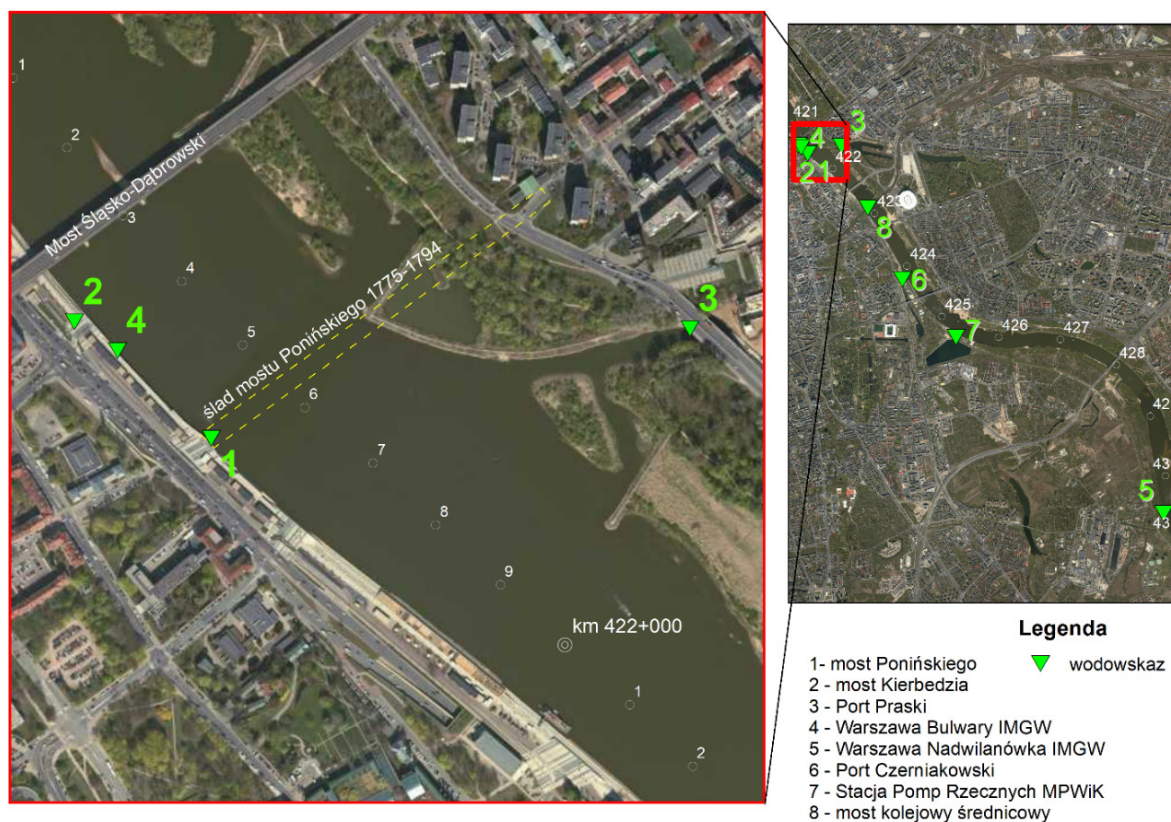
Tabela 1. Wykaz wodowskazów na Wiśle w Warszawie
Table 1. The list of gauging stations on the Vistula River in Warsaw

nr na Ryc.2 No at Fig.2	Nazwa Name	lokalizacja (kilometraż) Location (river kilometers)	lokalizacja (dawny kilometraż) location (former river kilometers)	położenie brzeg location river bank	zero wodowskazu zero level of the gauge	poziom odniesienia reference level	okres obserwacji observation period
1	most Ponińskiego	421+600	513+600	lewy	76,991	M. Bałtyckie pod Połęgą	1779–1865
–	most Kierbedzia	421+300	513+900	lewy	76,876	M. Bałtyckie pod Połęgą	1866–1937
2	Warszawa, most Kierbedzia (limnigraf)	421+400	513+800	lewy	78,129	Normal-Null Amsterdam	1937–1959
3	Warszawa IMGW (Port Praski)	421+900	513+300	prawy	76,076	Kronsztad 60	X 1959–X 2017
4	Warszawa-Bulwary IMGW	421+400	513+800	lewy	76,076	Kronsztad 60	XI 2017–obecnie
5	Warszawa Nadwilanówka IMGW	430+600	504+100	lewy	76,68	Kronsztad 60	III 196–obecnie
6	Port Czerniakowski	424+200	511+000	lewy	77,87	Kronsztad 86	nieobserwowany
7	Stacja Pomp Rzecznych MPWiK	425+400	509+800	lewy	brak danych	brak danych	brak danych
8	most kolejowy średnicowy	422+900	512+300	filary mostu przy lewym brzegu	brak danych	brak danych	brak danych
–	Żerań	415+600	–	Śluza kanału Żerańskiego	brak danych	brak danych	brak danych

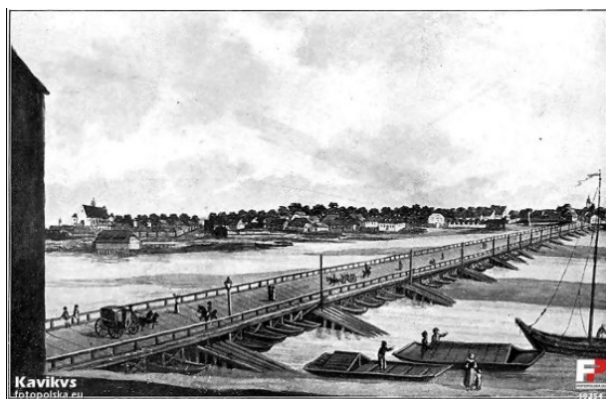
dowskazu została obniżona z uwzględnieniem spadku zwierciadła wody, tak aby odczyty zwiększyły się o 200 cm w związku ze stwierdzonym już od lat 40. XX w. procesem obniżania dna Wisły na odcinku warszawskim. W 1966 dowiązano się do aktualnego systemu odniesienia Kronsztad 60 i w efekcie rzędna zera wynosiła 76,076 m.

Od początku roku hydrologicznego 2018 pomiary stanów wody przywrócono w rejon pierwszych obserwacji hydrologicznych z XIX w. Po wybudowaniu Bulwarów na lewym brzegu Wisły na km 421+400 za-

montowano nową łatę wodowskazową (ryc. 6) wraz z elektronicznym wyświetlaczem aktualnego stanu wody, nadając nazwę posterunkowi Warszawa-Bulwary. Poziom zera wodowskazu nie uległ zmianie (76,076 m wg Kronsztad 60), ale z uwagi na spadek zwierciadła wody odczyty na wodowskazie są niższe o 14 cm od tych rejestrowanych w Porcie Praskim. W chodniku, obok wyświetlacza nowego wodowskazu, umieszczono także tablice informacyjne podające m.in. historycznie najniższe i najwyższe stany rzeki Wisły w obecnym oraz XIX i XX stuleciu.



Ryc. 3. Historyczna i współczesna lokalizacja wodowskazów na Wiśle w Warszawie (Źródło: opracowanie własne)
Fig. 3. The historical and present location of gauging stations on the Vistula River in Warsaw (Source: own study)



Ryc. 4a. Most łyżwowy Ponńskiego łączący ul. Bednarską z ul. Kłopotowskiego na Pradze, przy którym zlokalizowana była pierwsza łata wodowskazowa w Warszawie (Źródło: <https://fotopolska.eu>)



Ryc. 4b. Wodowskaz pływakowy w pobliżu mostu Kierbedzia funkcjonujący w latach 30.–70. XX w. (Źródło: <https://fotopolska.eu>)

Fig. 4a. The Poninski boat bridge, connecting Bednarska Street with Kłopotowskiego Street in Praga, next to which the first gauging station in Warsaw was located (Source: <https://fotopolska.eu>)

Fig. 4b. The gauging station near the Kierbedzia Bridge, functioning in the 30–70s of the 20th century (Source: <https://fotopolska.eu>)



Ryc. 5. Wodowskaz Warszawa (Port Praski) w dniu 29 sierpnia 2015 roku (brak wody w porcie). Odczyt na wodowskazie w korycie Wisły – stan wody 42 cm, 29 sierpnia 2015 (fot. E. Kaznowska)

Fig. 5. The gauging station Warszawa (Port Praski) on August 29, 2015 (no water in the port). The water state of 42 cm observed on August 29, 2015, at the bottom water state staff gauges located in the Vistula river bed (phot. by E. Kaznowska)



Ryc. 6. Wodowskaz Warszawa-Bulwary: lata wodowskazowa oraz elektroniczny wyświetlacz aktualnego stanu wody; tablica pamiątkowa z wysokościami stanów wody (fot. M. Wasilewicz)

Fig. 6. The Warszawa-Bulwary gauging station: water gauge staff, electronic display of the current water state and commemorative plaque with water state heights (phot. by M. Wasilewicz)

Wodowskaz Warszawa-Nadwilanówka to drugi z wodowskazów, poza posterunkiem Warszawa-Bulwary, z którego IMGW gromadzi dane pomiarowe o stanach i przepływach w Wiśle. Został założony u wlotu kanału doprowadzającego wodę do EC Siekierki, (km 430+600) na lewym brzegu rzeki. Obserwacje rozpoczęto 5 marca 1967 roku. Wodowskaz składający się z dwóch łat zainstalowano na murach oporowych kanału wlotowego (ryc. 7). Postępujący proces obniżania się dna spowodował konieczność zainstalowania dodatkowej łaty do odczytu stanów niskich bliżej osi koryta. Dwie dodatkowe łaty zainstalowano 180 m poniżej istniejącego profilu wodowskazowego, na budynku pomp EC Siekierki. Zero wodowskazu ustalono na rzędnej 76,68 m w odniesieniu do systemu Kronsztad 60. Z tego wodowskazu, a także z posterunku Warszawa-Bulwary, informacje o stanach są przekazywane telemetrycznie do systemu gromadzenia danych IMGW-PIB. Bieżące dane udostępniane są w portalu: <https://hydro.imgw.pl>.

Kolejny posterunek obserwacyjny to Warszawa Port Czerniakowski. Jest położony we wrotach bramy przeciwpowodziowej portu na lewym brzegu Wisły (km 424+200). Znajdują się tam dwie łaty (ryc. 8a) o różnym położeniu zera wodowskazu. Łata na zachodniej ścianie bramy posiada zero wodowskazu na rzędnej 76,22 m według poziomu odniesienia Kronsztad 86. Druga łata na ścianie wschodniej została zainstalowana z zerem na poziomie 77,87 m według poziomu odniesienia Kronsztad 86. Jest to jednocześnie zero lokalnego układu odniesienia, tzw. „zero Wisły”. Wodowskaz służy głównie jako dodatkowy do pomiarów stanów wody i przepływów podczas przejścia wezbrań przez warszawski odcinek Wisły.

Istnieją jeszcze trzy miejsca w Warszawie, w których prowadzi się lub prowadziło w przeszłości obserwacje stanów wody na Wiśle. Pierwsze z nich to Stacja Pomp Rzecznych MPWiK zlokalizowana na lewym brzegu w km 425+400. Znajduje się na terenie



Ryc. 7. Wodowskaz Warszawa-Nadwilanówka, 19 września 2020, dolne łaty na budynku stacji pomp EC Siekierki oraz łaty górne na murze oporowym przy wlocie kanału czernego wody dla EC Siekierki. Stan wody 106 cm (fot. M. Wasilewicz)
Fig. 7. The Warszawa-Nadwilanówka gauging station, September 19, 2020, Bottom water state staff gauges on the pumping station building of Siekierki power heat plant and top water state staff gauges on the retaining wall at the inlet to the water intake canal for the Siekierki power heat plant. Water state 106 cm (phot. by M. Wasilewicz)



Ryc. 8. a) Wodowskaz Port Czerniakowski. Widoczne dwie łaty z zerami wodowskazu na różnych poziomach; b) Pozostałości łaty wodowskazowej na filarze kolejowego mostu średnicowego (fot. M. Wasilewicz)

Fig. 8. a) The Czerniakowski Port gauging station. Visible two water state staff gauges with the different zero levels; b) Remains of the water state staff gauge on the pillar of the Średnicowy railway bridge (phot. by. M. Wasilewicz)

o ograniczonej dostępności i służy do określenia stanów wody w rzece dla prawidłowej pracy zamknięć wrót łączących Wisłę ze zbiornikiem osadnikowym Stacji Pomp Rzecznych Czerniakowska. Drugie to pozostałości drewnianej łaty wodowskazowej (ryc. 8b) zamontowanej na zachodnim filarze mostu kolejowego średnicowego (km 422+900). Prawdopodobnie został uszkodzony przez spływający rzeką lód i służył w przeszłości do kontroli stanów wody podczas pomiarów hydrometrycznych. Trzeci zlokalizowany przy wlocie do Kanału Żerańskiego na km 415+600 służy do obsługi znajdującej się w pobliżu śluzy.

METODYKA BADAWCZA

Materiał źródłowy

W pracy wykorzystano dane hydrologiczne dla wodowskazów na Wiśle w Warszawie: Warszawa, Warszawa-Bułwary, Warszawa-Nadwilanówka zawarte

w archiwalnych rocznikach hydrograficznych oraz w cyfrowych bazach danych. Dane dla lat kalendarzowych 1920–1921 wykorzystano z publikacji „Rocznik Hydrograficzny. Dorzecze Wisły” wydanych przez Służbę hydrograficzną w Polsce. Dane z 1947 roku oraz z okresu 1950–1980 wykorzystano na podstawie roczników hydrologicznych publikowanych w układzie lat kalendarzowych, a później lat hydrologicznych (od roku hydrologicznego 1956) wydanych przez Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny („Rocznik Hydrologiczny Wód Powierzchniowych. Dorzecze Wisły i rzeki przymorza na wschód od Wisły”). Wykorzystano również dane pomiarowo-obszaryjne dla lat 1981–2019 dostępne w domenie publicznej <https://danepubliczne.imgw.pl/>, oraz dane operacyjne dostępne uprzednio w domenie <https://pogodynka.pl/>, a obecnie pod adresem <https://hydro.imgw.pl/>.

Analiza stanów i przepływów

Analizę stanów wody na Wiśle w Warszawie przeprowadzono w profilu Warszawa, Warszawa-Nadwilanówka oraz Warszawa-Bulwary, natomiast przepływy w profilu Warszawa-Nadwilanówka oraz Warszawa. Obserwacje historyczne dotyczące hydrogramów stanów wody z występującymi głębokimi niżówkami obejmowały wybrane lata kalendarzowe, a także hydrologiczne z okresu 1921–1950. Natomiast dla porównania przebiegu stanów minimalnych (NW) na wodowskazie Warszawa-Bulwary w stosunku do przebiegu przepływów charakterystycznych (NQ, SQ) na wodowskazie Warszawa-Nadwilanówka wybrano wspólny okres 1951–2019, sugerując się dostępnością danych o wielkościach przepływów dobowych. Jednakże obserwacje z nowego wodowskazu Warszawa-Bulwary są prowadzone od 2018 roku, dlatego dla potrzeb uzyskania ciągu stanów wody (NW) dla nowo założonego wodowskazu Warszawa-Bulwary dla rozpatrywanego okresu 1951–2019 posłużono się stanami wody z okresu 1951–2017 z wodowskazu Warszawa (w Porcie Praskim). Podczas odnoszenia stanów wody ze starego wodowskazu do obecnie użytkowanego na Bulwarach warszawskich uwzględniono zarówno zmianę zera wodowskazu w 1959 o 2 m, jak i spadek zwierciadła wody (14 cm) na odcinku około 500 m pomiędzy lokalizacją wodowskazu Warszawa (Port Praski), a położeniem wodowskazu Warszawa-Bulwary. Porównanie przebiegu stanów charakterystycznych NW z przebiegiem przepływów, zwłaszcza NQ, miało wykazać ich podobny bądź odmienny charakter, co świadczyłoby o pogłębieniu się dna koryta Wisły w Warszawie.

Oddzielną analizę wykonano dla wiosennych stanów wody na wodowskazie Warszawa-Bulwary w latach 1951–2020, poszukiwano zmian w wieloletnim przebiegu stanów wody każdego miesiąca kwietnia oraz jednego dnia 30 kwietnia jako końca półrocza zimowego. Na potrzeby zobrazowania przebiegu historycznych niżówek na hydrogramach stanów wody z roku 1921, 1947, 1951–1952 posłużono się stanami charakterystycznymi SNW pozyskanymi dla poszczególnych lat z obliczeń Kornackiego (1960) określającymi intensywność obniżania się dna Wisły w Warszawie, na podstawie pomiarów hydrometrycznych wykonanych w okresie 1919–1959 przez PIHM (zmiany dolnej części krzywej natężenia przepływu).

Według Kornackiego stan dla przepływu $223 \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$, odpowiadający średniej niskiej wodzie dla przekroju wodowskazowego w Warszawie z okresu 1926–1957, w 1921 roku wyniósł: +86 cm (wg starego wodowskazu), zaś w 1959 roku – 18 cm. Przeciętne roczne obniżanie się średniej niskiej wody według obliczeń Kornackiego (1960) w okresie 1921–1953 wynosiło około 1,5 cm, zaś w okresie 1953–1959 aż 9 cm. Posiłkując się podanymi wskazaniem, dla roku 1947 przyjęto stan SNW wynoszący 45 cm (ryc. 10), a w roku 1951 stan SNW wynoszący 39 cm (ryc. 11).

Ocena przepływów dobowych dotyczyła profilu Warszawa w okresie 1951–1966 oraz Warszawa-Nadwilanówka od roku 1967 do 2019. Dane z obu wodowskazów są traktowane jako jeden ciąg przepływów dobowych, gdyż niewielki (0,4%) przyrost powierzchni zlewni Wisły między wodowskazami pozwala przyjmować oceny przepływów z wodowskazu Warszawa-Nadwilanówka za miarodajne dla wodowskazu Warszawa (Fal i Dąbrowski, 2001b). Charakterystyka zjawiska niżówki i ocena jej parametrów została oparta na metodyce przedstawionej w pracy Kaznowskiej i in. (2018), w celu kontynuowania badań rozpoczętych w poprzednim opracowaniu. Na potrzeby badań za niżówkę uznano okres, w którym przepływy są równe i niższe od założonego przepływu granicznego. W literaturze tematu spotyka się szereg wartości przepływów charakterystycznych stosowanych do wyznaczania niżówek (Ozga-Zielińska i Brzeziński, 1994), a przeprowadzane badania często nie poprzestają tylko na jednym, lecz na kilku wybranych poziomach odcięcia (Tallaksen i in., 1997). W pracy zastosowano kryterium przepływu SNQ (średni z najniższych przepływów rocznych). Dodatkowym kryterium w wyodrębnieniu niżówek na hydrogramach dobowych przepływów było kryterium minimalnego czasu trwania przepływu poniżej wartości progowej wynoszące 20 dni. Zdecydowano się na tak długi minimalny czas trwania zjawiska, posilując się możliwością porównywania wyników badań z już podanymi w literaturze charakterystykami niżówek na Wiśle, dla których przyjęto dwudziestodniowy minimalny czas trwania oraz potrzebę kontynuowania badań z 2018 roku (Kaznowska i in. 2018) dotyczących przyczyn i rozmiarów niżówek przepływów na Wiśle w Warszawie w okresie 1951–2016. Z hydrogramów dobowych przepływów w profilu Warszawa i Warszawa-Nadwilanówka okresu 1951–2019 wy-

odrębiono niżówki odcięte przepływem SNQ równym $215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ określonym z wielolecia 1951–2000. Uzyskane niżówki letnie i zimowe opisano parametrami ilościowymi: przepływem minimalnym ($Q_{\min,n}$), czasem trwania (T_n) i objętością deficytu wody (V_n) przy pomocy programu NIZOWKA2003 (Jakubowski i Radczuk, 2004). Zsumowane czasy trwania i objętości deficytów niżówek letnich w poszczególnych latach okresu 1951–2019 przedstawiono w procentach średniego czasu trwania niżówki ($T_{\text{sr},n} = 46$ dni z okresu 1951–2000) i w procentach średniej objętości niżówki ($V_{\text{sr},n} = 101\,423$ tys. m^3), uzyskując charakterystyki względne. Oceny surowości niżówek letnich dokonano również, opierając się na charakterystyce intensywności niżówek (I_n) obliczanej jako iloraz wielkości deficytu niżówki do czasu jej trwania. Charakterystyka ta informuje, jaka wielkość deficytu niżówki przypada na jeden dzień niżówki (Kaznowska i Banasik, 2009). Wielkość tę przeliczono na procent średniego odpływu rocznego ($V = 18\,007\,179$ tys. m^3) z okresu 1951–2000, w profilu Warszawa-Nadwilanówka, przypadającego na jeden dzień niżówki.

W poszukiwaniu trendów w przebiegu charakterystycznych stanów wody (NW), przepływów charakterystycznych (SQ, NQ), liczby dni z przepływem niżówkowym w półroczu letnim i zimowym ($Q_n \leq \text{SNQ} = 215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), intensywności niżówek letnich ($Q_n \leq \text{SNQ} = 215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $T_n \geq 20$ dni), przepływów minimalnych niżówek letnich, objętości deficytów niżówek letnich zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ (Banasik i in. 2011).

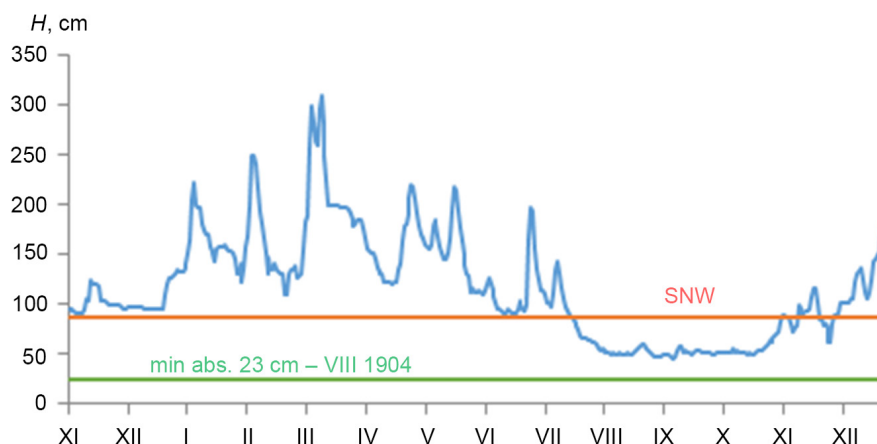
Analiza wyników

Okresy niżówkowe na hydrogramach stanów wody w XX w. i XXI w.

Na podstawie studium literatury przedmiotu można stwierdzić, że w pierwszej połowie XX wieku, jak podaje Dębski (1961), głębokie niżówki letnie pojawiły się w latach kalendarzowych 1920, 1921, 1922 prawie na całym obszarze Polski, a w roku 1925 głównie w dorzeczu Odry i na Pomorzu Zachodnim, natomiast w latach 1930, 1934 i 1946 głównie w dorzeczu górnej i środkowej Wisły, a w roku 1947 oraz 1950–1953 na dużym obszarze Polski. Do ekstremalnych niżówek notowanych w tamtym okresie należała ta z 1921 roku.

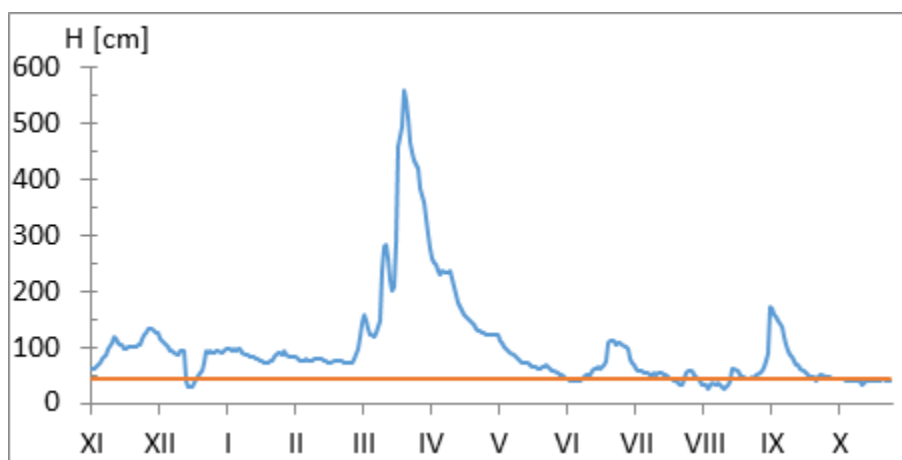
Dębski (1961) pisze, że: „Była to niżówka tak głęboka, długotrwała i rozległa, że po czas później zdarzających się okresów posusznych nie była ani razu prześcigniona, ani tak powszechnie osiągnięta”. Fal (2007) określa czas trwania niżówki z 1921 na 124 dni, przyjmując współczesny poziom odcięcia zjawiska – przepływ graniczny $\text{SNQ} = 215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wyznaczony z okresu 1951–2000. Omawiana niżówka rozpoczęła się na Wiśle w Warszawie w dniu 21 lipca 1921 roku, a zakończyła 21 listopada 1921 (rok hydrologiczny 1922). Najniższy stan zanotowany podczas tej niżówki wyniósł 45 cm w dniu 11 września 1921 roku, przy dotychczasowym absolutnym minimum w XX wieku wynoszącym 23 cm w sierpniu 1904 roku (ryc. 9). Niżówka letnia z 1921 roku ze względu na swoje rozmiary nazywana jest niżówką historyczną.

Na podstawie zgromadzonego materiału źródłowego przedstawiono hydrogramy stanów wody, na których zaprezentowano przebieg największych niżówek w okresie 1921–2019. Okresy niżówkowe na Wiśle w Warszawie notowane są nie tylko w okresach letnich, które przesuwają się często na miesiące jesienne, ale także w okresach zimowych, jednakże ich geneza jest inna niż niżówek letnich. W pierwszej połowie XX wieku miała miejsce jedna z najgłębszych niżówek zimowych, która według badań Fal i Dąbrowskiego (2001) trwała od połowy grudnia 1946 do połowy marca 1947, a ukształtowała się w czasie trwania pokrywy lodowej, głębokiego przemarznięcia rzeki i dużych oporów ruchu pod lodem. Według analizowanych w pracy danych z Roczników Hydrologicznych (Rocznik...1946, 1947), pokrywa lodowa utrzymywała się od 21 grudnia 1946 do 19 marca 1947, a najniższy stan NW wynoszący 28 cm zanotowano 16 grudnia 1946 (ryc. 10). Grubości lodu w grudniu 1946 nie zmierzono, natomiast 1 stycznia 1947 wynosiła: 39 cm (stan na wodowskazie 97 cm); 11 stycznia: 48 cm (stan na wodowskazie 87 cm); 2 lutego: 50 cm (stan na wodowskazie 81 cm); 21 lutego: 58 cm (stan na wodowskazie 75 cm); 4 marca: 60 cm (stan na wodowskazie 144 cm); 17 marca: 57 cm (stan na wodowskazie 220 cm). Od 20 do 22 marca 1947 pojawiła się kora, a od 23 marca rzeka Wisła w Warszawie była wolna od lodu (Rocznik...1946, 1947). Należy zaznaczyć, że niżówka zimowa była już poprzedzona niżówką letnio-jesienną w 1946 roku.



Ryc. 9. Hydrogram stanów wody w roku hydrologicznym 1921 (1 XI – 31 X 1921) i początku roku hydrologicznego 1922 (1 XI – 31 XII 1922) na Wiśle w Warszawie, na wykresie kolorem czerwonym zaznaczono stan SNW = 86 cm, kolorem zielonym zaznaczono absolutne minimum wynoszące 23 cm z sierpnia 1904 roku

Fig. 9. Hydrogram of water states in the hydrological year 1921 (November 1 – October 31, 1921) and the beginning of the hydrological year 1922 (November 1 – December 31, 1922) on the Vistula River in Warsaw, the Mean Low Water = 86 cm is marked in red, the absolute minimum of 23 cm in August 1904 is marked in green



Ryc. 10. Hydrogram stanów wody w roku hydrologicznym 1947 na Wiśle w Warszawie, kolorem czerwonym zaznaczono stan SNW = 45 cm

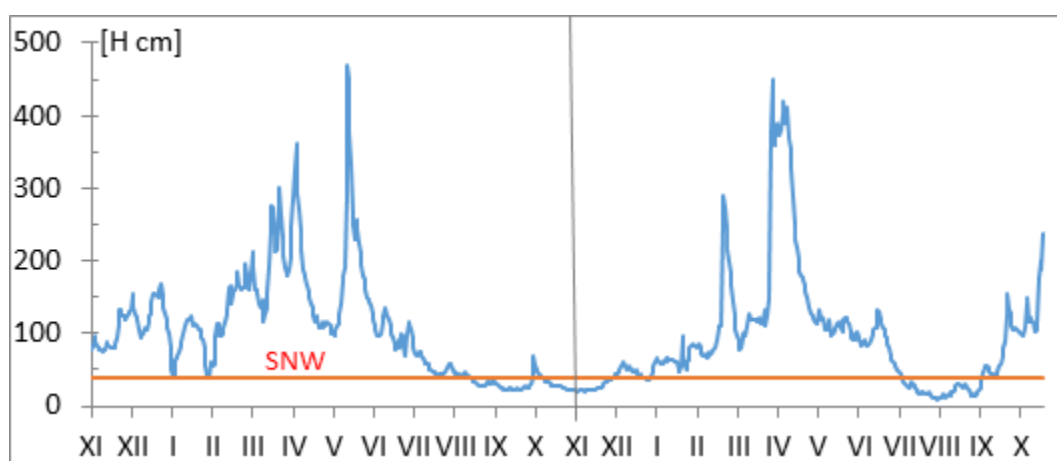
Fig. 10. Hydrogram of water states in the hydrological year 1947 on the Vistula River in Warsaw, the Mean Low Water = 45 cm is marked in red

Początek drugiej połowy XX wieku na Wiśle w Warszawie przynosi kolejne zjawisko niżówki o ekstremalnych rozmiarach. Niżówka letnio-jesienna wystąpiła od pierwszej dekady sierpnia 1951 roku i trwała do pierwszych dni grudnia 1951 roku

(rok hydrologiczny 1952) przez 121 dni (Kaznowska i in. 2018), jej czas trwania był podobny do niżówki z 1921 roku. Podczas jej trwania w dniu 8 i 9 listopada 1951 roku (rok hydrologiczny 1952) zanotowano rekordowo niski stan NW = 20 cm (ryc. 11). Jednak-

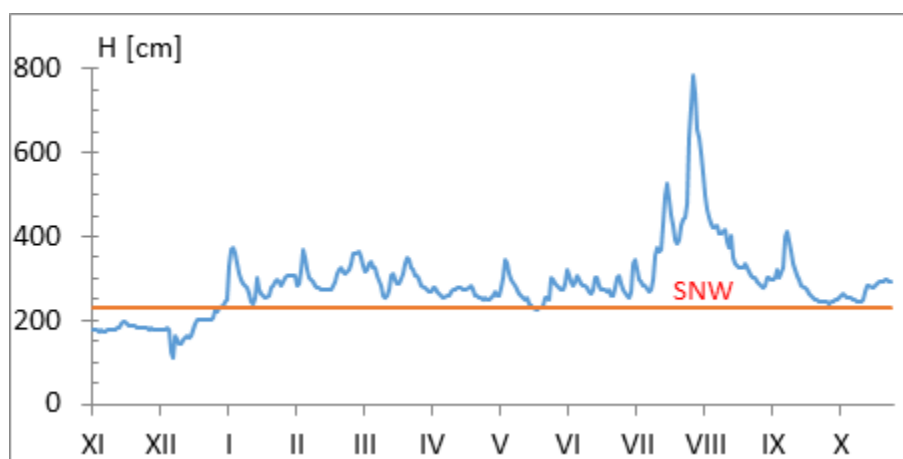
że nie był on dotychczas najniższy, gdyż już ponad rok wcześniej, 2 sierpnia 1950 roku, zanotowano na wodowskazie tylko 5 cm jako najnowsze w tamtym okresie absolutne minimum. Głębsze niżówki, ale nie tak długotrwałe jak ta z 1951 roku, wystąpiły również w kolejnym roku 1952, a także podczas niżówek zi-

mowych w latach hydrologicznych 1960, 1965 i 1985 (Kaznowska i in. 2018). Podczas niżówki zimowej w roku hydrologicznym 1960 najniższy stan NW wyniósł 106 cm w dniu 8 grudnia o godz. 12, przy wystąpieniu pochodu śryżu i występowaniu lodu brzegowego w korycie Wisły (ryc. 12).



Ryc. 11. Hydrogram stanów wody w roku hydrologicznym 1951 i 1952 na Wiśle w Warszawie, na wykresie kolorem czerwonym zaznaczono stan SNW = 39 cm

Fig. 11. Hydrogram of water states in the hydrological years 1951 and 1952 on the Vistula River in Warsaw, the Mean Low Water = 39 cm is marked in red



Ryc. 12. Hydrogram stanów wody w roku hydrologicznym 1960 na Wiśle w Warszawie, kolorem czerwonym zaznaczono stan SNW (z miesięcznych) = 231 cm z okresu 1956–1960 (zmiana zera wodowskazu o 2 m od 1959 roku)

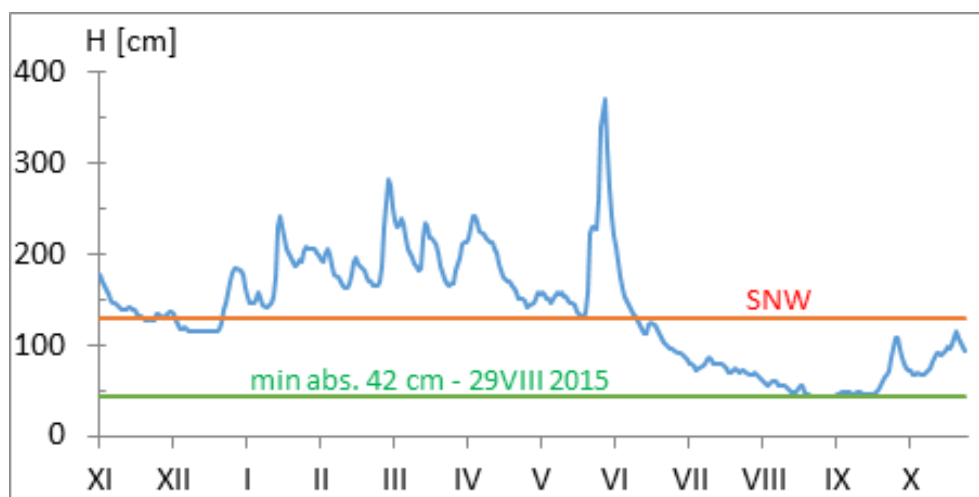
Fig. 12. Hydrogram of water states in the hydrological year 1960 on the Vistula River in Warsaw, the Mean Low Water (calculated from the monthly value) is marked in red = 231 cm for the period 1956–1960 (the zero level of the water gauge lowered by 2 m from 1959)

Koniec XX wieku to również okres występowania głębokich, lecz nie długotrwałych niżówek na Wiśle w Warszawie, w 1992 i 1994 roku. Szczególnie katastrofalna dla gospodarki była susza w 1992 roku, która w sierpniu objęła praktycznie cały kraj. Według Słoty i in. (1992) charakterystyczne dla przyczyn suszy z 1992 roku było utrzymywanie się od 1989 roku znacznego obniżenia wód gruntowych. Na skutek bezśnieżnych zim tylko w niektórych regionach kraju następowała odbudowa poziomu wód gruntowych, a w pozostałych zaś kolejna wiosna zaczynała się od ich niskiego stanu. Znaczne wyczerpywanie się retencji zlewni rzek było konsekwencją bardzo głębokich niżówek w rzekach (Kaznowska i in. 2018). Na Wiśle w Warszawie podczas niżówki z 1992 roku najniższy stan wody NW wystąpił 5 września i wyniósł 68 cm, ustanawiając nowe absolutne minimum przekroczone dopiero 20 lat później we wrześniu 2012 roku.

Od roku 2000, w ciągu 20 ostatnich lat, niżówki głębokie wystąpiły w następujących latach: w 2003, 2007, 2012, 2015, 2019 i 2020 roku. W czasie trwania niżówki w 2012 roku najniższy stan wody wyniósł 56 cm w dniach 17–19 września i był niższy od do-

tychczasowego minimum z 1992 roku (wynoszącego 68 cm) o 12 cm. Kolejny rekord stanu niższego od absolutnego minimum miał miejsce 29 sierpnia 2015 roku i wyniósł 42 cm, odczytany na wodowskazu Warszawa (Port Praski) (ryc. 4, 13, 14, tab. 2). W przypadku dotychczasowego najniższego stanu wody wynoszącego 42 cm dla wodowskazu Warszawa (Port Praski) w mediach pojawiła się pewna nieścisłość, której przyczyną może być pamiątkowa tabliczka zamontowana w chodniku obok nowego wodowskazu Warszawa-Bulwary (ryc. 5), na której to widnieje napis – „44 cm 2015.08.25 najniższy stan wody”, o 2 cm więcej niż rzeczywiste absolutne minimum. Przyczyną nieścisłości w przekazie medialnym może być także pomijanie faktu, że odczyty stanów wody na wodowskazu Warszawa-Bulwary nie są tożsame z odczytami na poprzednim wodowskazu Warszawa (Port Praski) i należy je sprowadzać do jednej miary w celu porównywania.

W 2019 roku na Wiśle w Warszawie ponownie wystąpiło zjawisko niżówki, jednakże absolutne minimum nie zostało przekroczone, stany wody na wodowskazu Warszawa-Bulwary nie były niższe niż 28 cm, czyli nie były niższe od absolutnego minimum



Ryc. 13. Hydrogram stanów wody Wisły w roku hydrologicznym 2015 dla wodowskazu Warszawa (Port Praski), na wykresie kolorem czerwonym zaznaczony stan SNW = 130 cm (Biuletyn PSHM (9/159), 2015), kolorem zielonym zaznaczono absolutne minimum wynoszące 42 cm z 29 sierpnia 2015 roku

Fig. 13. Hydrogram of the Vistula water states in the hydrological year 2015 at the Warszawa (Port Praski) gauging station, the Mean Low Water = 130 cm is marked in red (Biuletyn PSHM (9/159), 2015), the absolute minimum of 42 cm on August 29, 2015 is marked in green

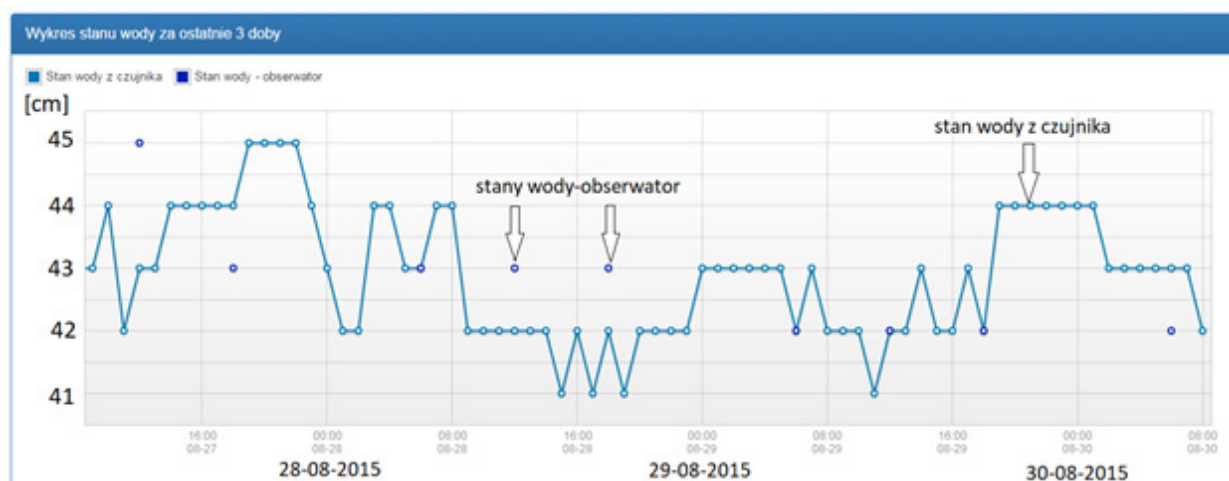
z 2015 roku odczytanego na wodowskaziu Warszawa (Port Praski), a przeliczonego na nowy wodowskaz położony niżej niż stary. Na rysunku 17 zaprezentowano stany wody z 2019 roku odczytane z wodowskazu Warszawa-Bulwary i odpowiadające im stany wody, które wystąpiłyby w tym czasie na wodowskaziu Warszawa (Port Praski), gdyby był obserwowany. Zatem

do roku hydrologicznego 2019 najniższe absolutne minimum z 2015 roku dla wodowskazu Warszawa-Bulwary nie zostało przekroczone. Jednakże jesienią, we wrześniu 2020 (ryc. 6), na wodowskaziu Warszawa-Nadwilanówka położonym w górę rzeki zanotowano przekroczenie absolutnego minimum o 9 cm (stan 102 cm) (tab. 3).

Tabela. 2. Stacje wodowskazowe, na których stan wody we wrześniu 2015 roku był niższy od dotychczas obserwowanych wartości (do roku 2013) (fragment) (Źródło: Biuletyn PSHM 8 (158), 2015)

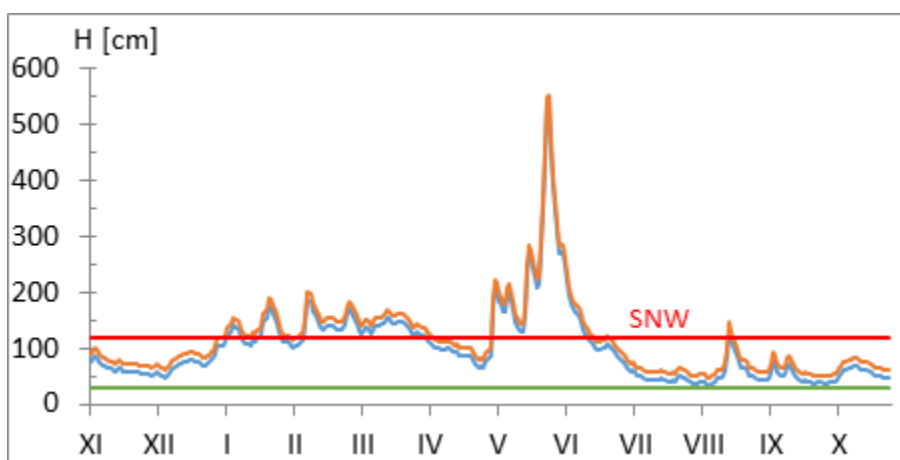
Table. 2. Gauging stations where the water state in September 2015 was lower than the values observed so far (until 2013) (part of the original table) (Source: Biuletyn PSHM 8 (158), 2015)

Lp.	Rzeka	Stacja wodowskazowa	$H_{\min \text{ abs.}}$ [cm]	H_{\min} [cm] sierpień 2015	ΔH^* [cm]	Data wystąpienia H_{\min} (sierpień 2015)
Dorzecze Wisły						
6	Wisła	Warszawa – Nadwilanówka Śl.	139	118	21	29
7	Wisła	Warszawa	52	42	10	29



Ryc. 14. Stany wody na wodowskaziu Warszawa na Wiśle w okresie od 27 sierpnia do 30 sierpnia 2015 roku (Źródło: Pogodynka IMGW-PIB)

Fig. 14. Water states at the Warszawa gauging station on the Vistula River in the period from August 27 to August 30, 2015. (Source: IMWM-PIB weather forecast)



Ryc. 15. Hydrogram stanów wody Wisły w roku hydrologicznym 2019 na wodowskaziu Warszawa-Bulwary (kolor niebieski) i Warszawa (Port Praski) (kolor pomarańczowy), na wykresie kolorem czerwonym zaznaczono stan SNW = 120 cm (Biuletyn PSHM (4/219), 2020), kolorem zielonym zaznaczono absolutne minimum wynoszące 28 cm z 29 sierpnia 2015 roku dla wodowskazu Warszawa-Bulwary

Fig. 15. Hydrogram of the Vistula water states in the hydrological year 2019 at the Warszawa-Bulwary (blue) and Warszawa (Port Praski) (orange) gauging stations, the Mean Low Water = 120 cm is marked in red (Biuletyn PSHM (4/219), 2020), in green the absolute minimum of 28 cm on August 29, 2015 was marked at the Warszawa-Bulwary gauging station

Tabela. 3. Stacja wodowskazowa, na której stan wody we wrześniu 2020 był niższy od dotychczas obserwowanych wartości (do roku 2019) (fragment) (Źródło: Biuletyn PSHM 9 (224), 2020).

Table. 3. The gauging station where the water state in September 2020 was lower than the values observed so far (until 2019) (part of the original table) (Źródło: Biuletyn PSHM 9 (224), 2020)

Lp.	Rzeka	Stacja wodowskazowa	$H_{\min \text{ abs.}}$ [cm]	Wrzesień 2020 H_{\min} [cm]	ΔH^* [cm]	Data wystąpienia H_{\min} (wrzesień 2020)
Dorzecze Wisły						
1	Wisła	Warszawa-Nadwilanówka	111	102	9	26
2	Lepietnica	Ludźmierz	117	114	3	22, 23, 24, 25, 27, 28
3	Kamienica	Łabowa	50	49	1	23
4	Łososina	Jakubkowice	44	44	0	28
5	Biała	Koszyce Wielkie	74	72	2	24
6	Wisłoka	Pustków	106	99	7	16
7	Świślina	Rzepin	99	98	1	14
Dorzecze Odry						
1	Bóbr	Stary Ratuszec	168	166	2	26
Zlewnia Zalewu Wiślanego						
1	Gołdapa	Gołdap 2	71	71	0	27, 28, 29, 30

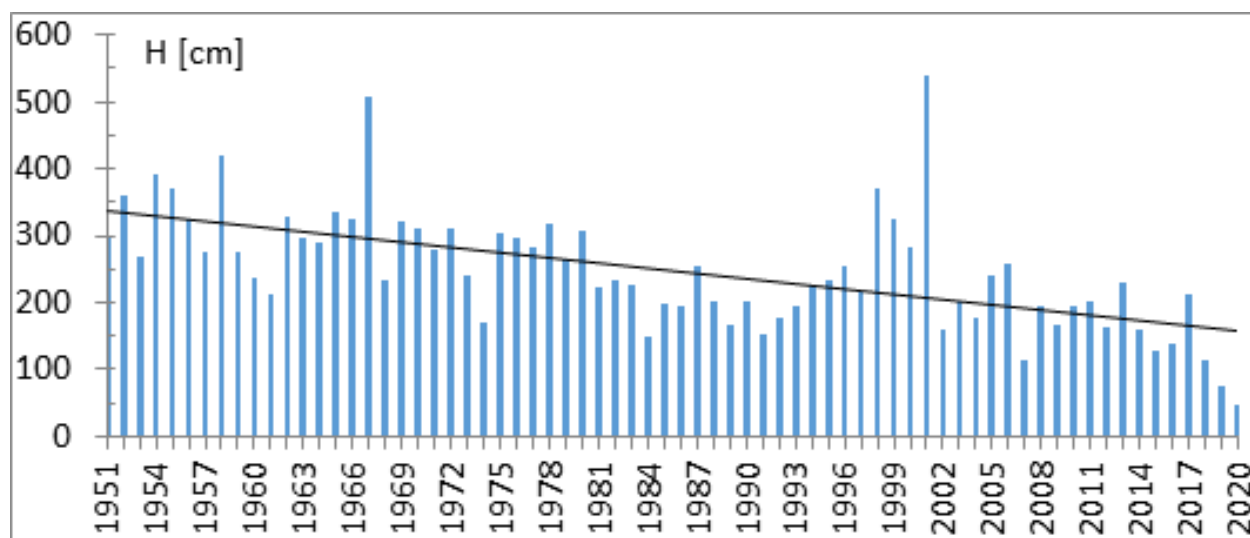
* $\Delta H = H_{\min \text{ abs.}} - H_{\min}$ (wrzesień 2020)

Wieloletnia zmienność wiosennych stanów wody na przełomie XX i XXI w.

Hydrogramy codziennych stanów wody w ujęciu lat hydrologicznych w przypadku Wisły w Warszawie charakteryzują się dużą zmiennością, jednak można zauważyć, że w ostatnich latach (2018, 2019, 2020) na skutek bezśnieżnych zim, ale także braku wiosennych opadów nie występują typowe dla końca hydrologicznego półrocza zimowego wezbrania roztopowe, roztopowo-deszczowe czy deszczowe. Na wiosnę rejestrowane są coraz niższe stany na wodowskazach na Wiśle w Warszawie, szczególnie w kwietniu, który to zwykle charakteryzował się jedną z większych zasobności w wodę (ryc. 1c), podobnie jak marzec i maj. Już w okresie 1951–2000 Fal i Dąbrowski (2001b) zauważyli spadek udziału odpływu z półrocza zimowego w odpływie rocznym Wisły w Warszawie. Również analizy wieloletniej zmienności wiosennego odpływu wybranych rzek polskich nizinnych i pojeziernych przeprowadzone przez Piętkę (2009) wykazały wyraźne lub mniej zaznaczone zmniejszanie przepływu wiosennego w czterech kolejnych dekadach (1967–1976, 1977–1986, 1987–1996, 1997–2006).

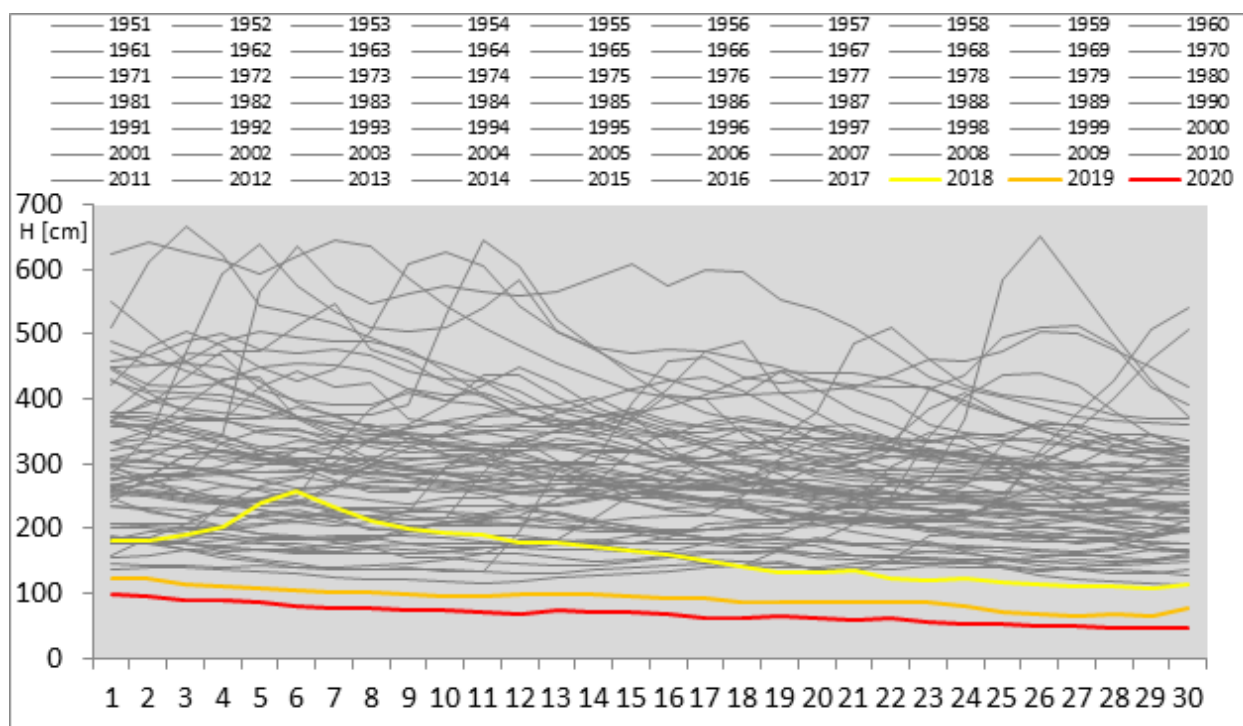
Rozpatrzono przebieg stanów wody dla wodowskazu Warszawa-Bulwary dla ostatniego dnia miesiąca kwietnia (koniec półrocza zimowego) w okresie 1951–2020 (ryc. 16), przeliczając stany z wodowskazu Warszawa (limnigraf) i Warszawa (Port Praski) na stany na wodowskazie Warszawa-Bulwary, uwzględniając także, że w 1959 roku hydrologicznym obniżono zero wodowskazu Warszawa (Port Praski) o 2 metry. Widać wyraźną tendencję do zmniejszania się stanów wody na koniec półrocza zimowego w analizowanym wodowskazie, zauważoną już przez Dziugiel (2020) dla krótszego okresu 1981–2020, która jest efektem bezśnieżnych, ciepłych zim oraz wydłużających się okresów bezopadowych i posusznych w cieplej porze roku, na skutek ocieplania się klimatu Polski (Lorenc 2019).

Podobną malejącą tendencję do opadania hydrogramu stanów wody dla poszczególnych miesięcy kwietnia zauważymy wyraźnie w przypadku trzech ostatnich lat (2018, 2019, 2020), przy czym najniższe stany wody w kwietniu dotyczą 2020 roku (ryc. 17) i były na koniec półrocza zimowego wyjątkowo małe.



Ryc. 16. Stany wody [cm] z dnia 30 kwietnia (koniec półrocza zimowego) na wodowskazie Warszawa-Bulwary w latach 1951–2020

Fig. 16. Water states [cm] of each 30th day of April (end of the winter half of the hydrological year) at the Warszawa-Bulwary gauging station in 1951–2020



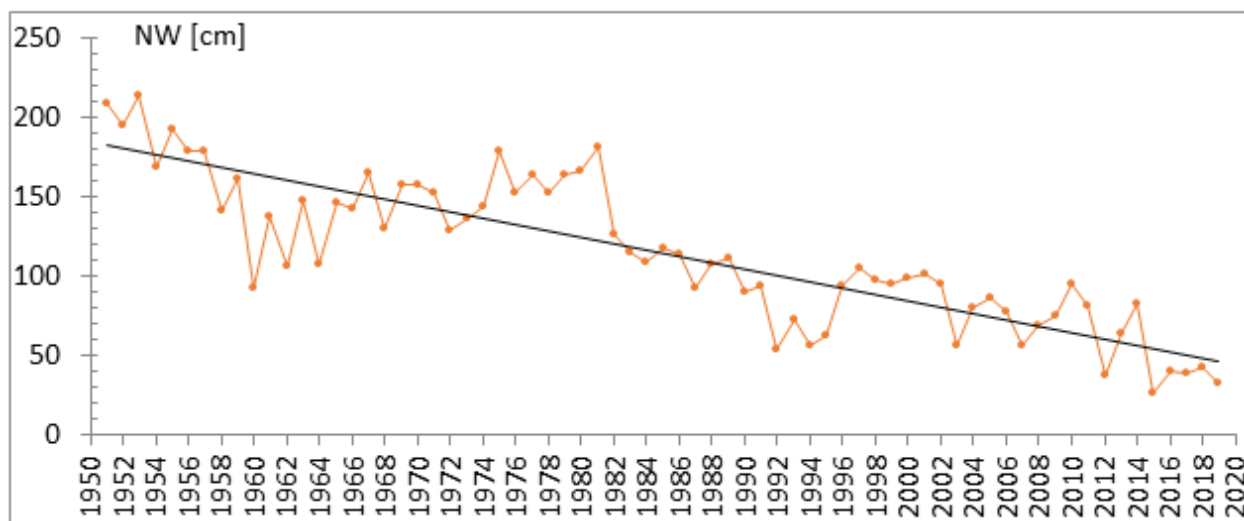
Ryc. 17. Stany wody [cm] dla miesiąca kwietnia w okresie 1951–2020 w wodowskaziu Warszawa-Bulwary
Fig. 17. Water states [cm] of each April in the period 1951–2020 at the Warszawa-Bulwary gauging station

Okresy niżówkowe na hydrogramach dobowych przepływów w II połowie XX w. i początku XXI w. (1951–2019)

Nie należy jednak zapominać, że jak podaje Fal (2007), stany wody nie są najlepszą charakterystyką niżówek, ponieważ koryta rzek, zwłaszcza w strefie niskiej wody, ulegają częstym zmianom naturalnym – procesom denudacji lub akumulacji – i zmianom spowodowanym przez człowieka: obwałowaniem koryt, ich zwężaniem w obrębie miast, regulacją, budową urządzeń piętrzących itp. Zmiany te wpływają na procesy erozyjne wywołujące obniżanie dna, ich intensywność narasta w drugiej połowie XX wieku (Fal 2007). Zatem aby odpowiedzieć na pytanie, czy niepokojące rekordowe coraz niższe stany wody na Wiśle w Warszawie mają odbicie w przebiegu przepływów, należy objąć analizą przepływy minimalne w porównaniu ze stanami minimalnymi (ryc. 18).

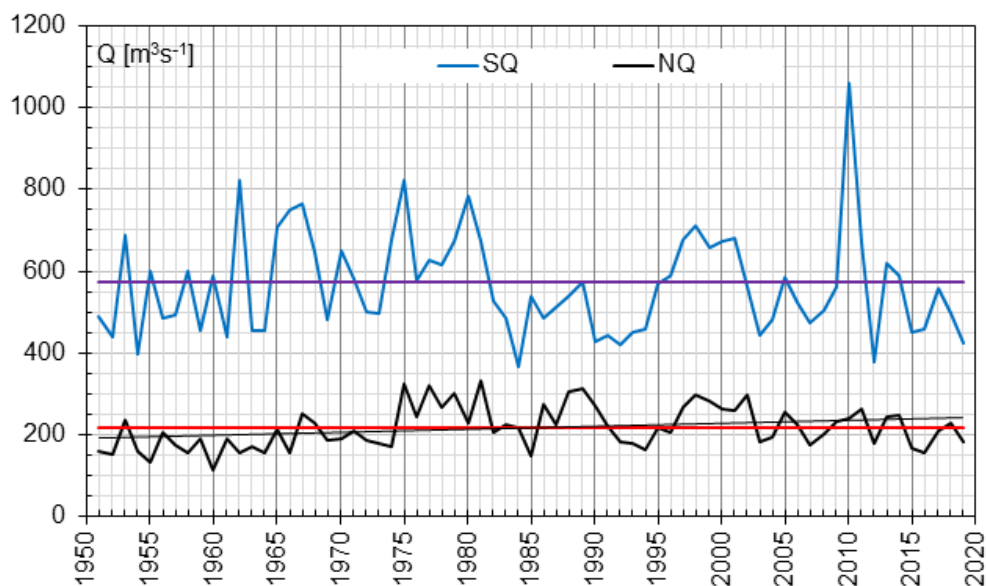
Na rycinie 18 przedstawiono wykres minimalnych rocznych stanów wody (NW), a na rycinie 19 wykres minimalnych rocznych przepływów (NQ) dla współ-

nego okresu 1951–2019. Porównując przebieg obu charakterystyk, można zauważyć, że przepływy minimalne roczne (NQ) oscylują wokół wartości średniej (SNQ), a nawet wykazują nieistotną statystycznie tendencję do wzrostu. Natomiast minimalne stany wody (NW) wyraźnie opadają i jest to zmiana statystycznie istotna ($\alpha = 0,05$). Analiza zmienności charakterystycznych stanów wody (NW, SW, WW) dla Wisły w Warszawie przeprowadzona przez Fal i Dąbrowskiego (2001b) na dwustuletnim ciągu danych (1799–2000) wykazała, że jeszcze w okresie XIX i na początku XX w. zmiany miały charakter losowy, zależny od zmienności klimatu, a dopiero w latach czterdziestych XX w. następuje znaczne obniżenie się stanów minimalnych, a także średnich i wysokich. Obserwowany w niniejszej pracy w okresie 1951–2019 istotny trend spadku wartości minimalnych stanów wody (NW), niemający odbicia w podobnym przebiegu minimalnych przepływów rocznych (NQ), świadczy o pogłębianiu się koryta na odcinku warszawskim, a nie o zmniejszaniu się zasilania. Obniżenie poziomu



Ryc. 18. Przebieg najniższych stanów rocznych NW [cm] w okresie lat hydrologicznych 1951–2019 na wodowskazy Warszawa-Bułwary po wydłużeniu i ujednoczeniu ciągu danych sprzed roku hydrologicznego 2018

Fig. 18. The minimum annual states NW [cm] in the hydrological years 1951–2019 at the Warszawa-Bułwary gauging station after extension and equalizing the data string from before the 2018 hydrological year



Ryc. 19. Przebieg minimalnych NQ i średnich SQ [m^3s^{-1}] przepływów rocznych z okresu lat hydrologicznych 1951–2019 na wodowskazy Warszawa-Nadwilanówka, SSQ = 572 [m^3s^{-1}]; SNQ = 215 [m^3s^{-1}] z okresu 1951–2000

Fig. 19. The minimum (NQ) and the mean (SQ) annual flows [m^3s^{-1}] in the period of 1951–2019 at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station; the average flow of the average annual flows SSQ = 572 [m^3s^{-1}]; the average flow of the minimum annual flows SNQ = 215 [m^3s^{-1}] from period 1951–2000

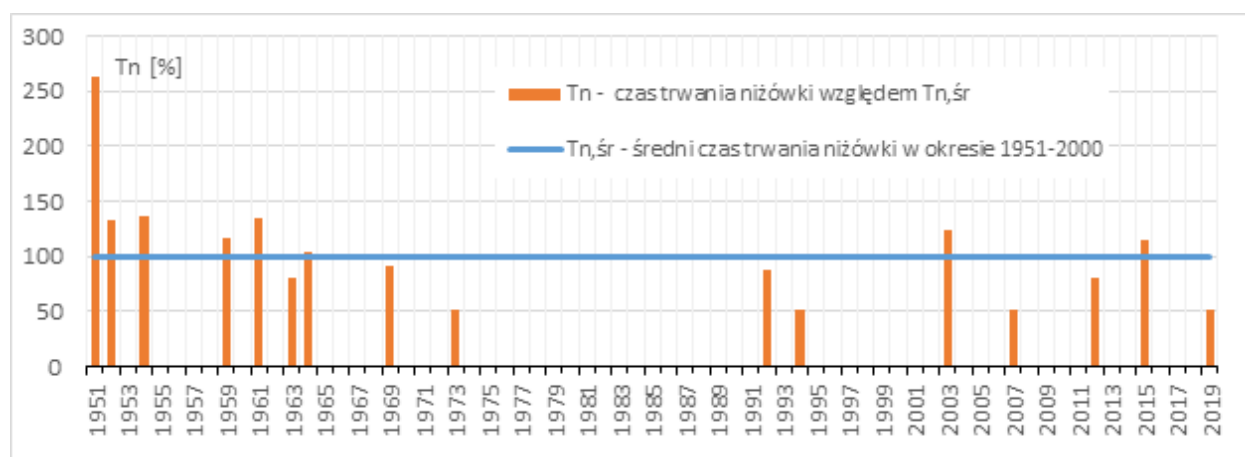
dna jest niebezpieczne dla funkcjonujących w Warszawie ujęć wód powierzchniowych, ujęć poddennych, a także dla urządzeń hydrotechnicznej zabudowy koryta (Falkowski, Ostrowski, 2009). Według Kornackiego (1960) postępujące pogłębianie się dna na odcinku rzeki o największym korycie (km 509–517) początkowo prawdopodobnie nie przekraczało 1 centymetra rocznie. Z czasem jednak zwiększanie się liczby mostów, podwyższanie rzędnej brzegów powiększyło erozję do 1,5–2 cm rocznie. Pewien wpływ na wzrost erozji miała również regulacja rzeki na odcinku warszawskim, a także wybudowanie w środku wąskiego koryta rzeki studni dla wodociągów miejskich. Jednakże zasadniczą przyczyną gwałtownego obniżania się dna (do ogólnej wielkości 9–10 cm rocznie), jak podkreśla Kornacki (1960), było pobieranie piasku z koryta dla celów budowlanych. Falkowski i Ostrowski (2009) precyzują, że niewątpliwą przyczyną zmian położenia dna Wisły warszawskiej była również eksploatacja otoczków wydobywanych ze stropowej, rezydualnej części progu – kulminacji podłoża współczesnych aluwiów. Niszczenie warstwy rezydualnej przez prace ziemne w korycie jest, według Falkowskiego i Ostrowskiego (2009), największym zagrożeniem dla stabilności profilu podłużnego Wisły warszawskiej. Autorzy podają (Falkowski i Ostrowski 2009, za KONCEPCJA... 2000), że intensywna eksploatacja gładów z koryta Wisły przyczyniła się do obniżenia dna koryta w skrajnych przypadkach nawet o blisko 4 m. Stwierdzono również, iż w czasie intensywnego przepływu wielkich wód, jak również w czasie długotrwałych niżówek, dochodzi do zmian morfologii dna w trakcie przemieszczania się rumowiska wlezonego przez rozpatrywany warszawski odcinek koryta (km 508 do km 521). Falkowski i Ostrowski (2009) wnioskuje również – na podstawie badań przeprowadzonych w korycie w 2008 roku i w porównaniu z wynikami wcześniejszych badań, że obserwowane obniżanie się średniego poziomu dna koryta przebiega jedynie w obrębie warstwy współczesnych, luźnych aluwiów. W 2000 roku Biernacki (2000) wyliczył, że w korycie Wisły w rejonie Warszawy znajdowało się 8 wyrobisk piasku: 5 między 499 a 510 km Wisły i 3 między 520 a 529 km Wisły.

Aby uzyskać odpowiedź na kolejne pytanie dotyczące wzrostu zagrożenia zjawiskiem niżówki letniej na Wiśle w Warszawie w ostatnich latach, objęto ana-

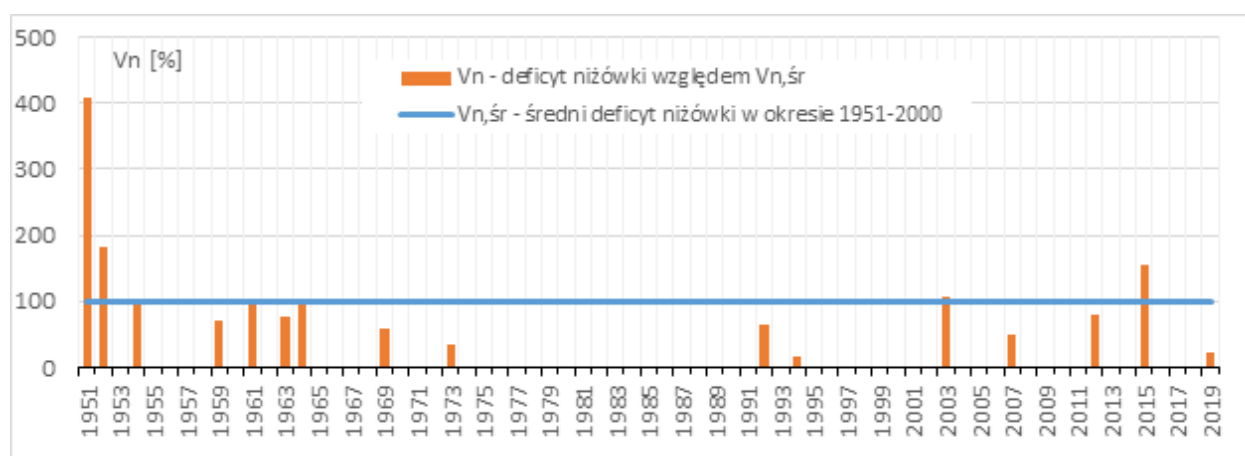
lizą charakterystyki niżówek notowanych w okresie 1951–2019, a wyznaczonych na hydrogramach dobowych przepływów. Nie zaobserwowano wzrostu czasu trwania ani pogłębienia się deficytów niżówek letnich (ryc. 20, 21). Przy rozpatrywaniu w ujęciu chronologicznym wartości względnych charakterystyk (T_n , V_n) w stosunku do średniego czasu trwania i średniej objętości deficytu niżówki nie zauważono niepokojących zmian wskazujących na częstsze występowanie zjawisk o parametrach przekraczających wartości średnie wieloletnie. W czasie ostatniej dekady 2010–2019 niżówka z 2015 roku charakteryzowała się najostrzejszym przebiegiem. Przeprowadzone badania stanowią kontynuację pracy z 2018 roku (Kaznowska i in. 2018), która zawiera obszerną charakterystykę niżówek z okresu 1951–2016 wraz z tłem sytuacji hydrometeorologicznej tego zjawiska. Z bieżących badań wynika (ryc. 20, 21, 23), że obserwowane w ostatniej dekadzie niżówki letnie z 2019, 2012 nie osiągają rozmiarów zbliżonych pod względem czasu trwania i objętości deficytu do średniej niżówki wyznaczonej z wielolecia 1951–2000. Jedynie deficyt niżówki letniej z 2015 roku był 1,5 razy większy od średniej wieloletniej (101 423 tys. m³), a jej rzeczywisty czas trwania (53 dni) był o kilka dni dłuższy od średniego czasu niżówki letniej (46 dni). Na uwagę zasługuje jednak intensywność niżówki w 2015 roku, która była ponad 40% większa od średniej intensywności niżówki z badanego wielolecia. Objętość deficytu niżówki z 2015 (157 248 tys. m³) stanowiła prawie 1% średniego rocznego odpływu Wisły w Warszawie w okresie 1951–2000 (18 007 179 tys. m³). Jednakże w okresie 1951–2019 największa niżówka letnio-jesienna zarówno pod względem czasu trwania, jak i objętości deficytu i przepływu minimalnego niżówki miała miejsce w 1951 roku (ryc. 21b), a trwała (121 dni) od pierwszej dekady sierpnia do pierwszych dni grudnia 1951 roku (roku hydrologicznego 1952) (ryc. 23) z kilkoma dniami, w których przepływ był wyższy od przepływu granicznego SNQ (215 m³ · s⁻¹). Jednakże biorąc pod uwagę wielkości przepływu minimalnego, niżówka z 1951 roku nie była dotychczas najgłębszą niżówką letnią w okresie od rozpoczęcia pomiarów natężenia przepływów na Wiśle w Warszawie do roku 2019. Dotychczas rekordową niżówką letnią (letnio-jesienną) była niżówka z 1921 roku, która według Fal i Dąbrowskiego (2001b) trwała

124 dni (21.07–21.11.1921), jej deficyt wyniósł 791 770 tys. m³, a przepływ minimalny 113 m³·s⁻¹ (ryc. 23). Na jej tle niżówka z 1951 roku była tak samo długotrwała (ryc. 21b), ale miała przepływ minimalny (153 m³s⁻¹) niemal półtora razy większy od przepływu w 1921 roku, a jej deficyt (419 213 tys. m³)

był mniejszy prawie o połowę (ryc. 21b). Natomiast dotychczas najgłębszą niżówką od rozpoczęcia pomiarów przepływów na Wiśle w Warszawie była niżówka zimowa z 1947 roku (ryc.10), podczas której przepływ pomierzony pod lodem wyniósł 15 stycznia 1947 roku 68,2 m³·s⁻¹.

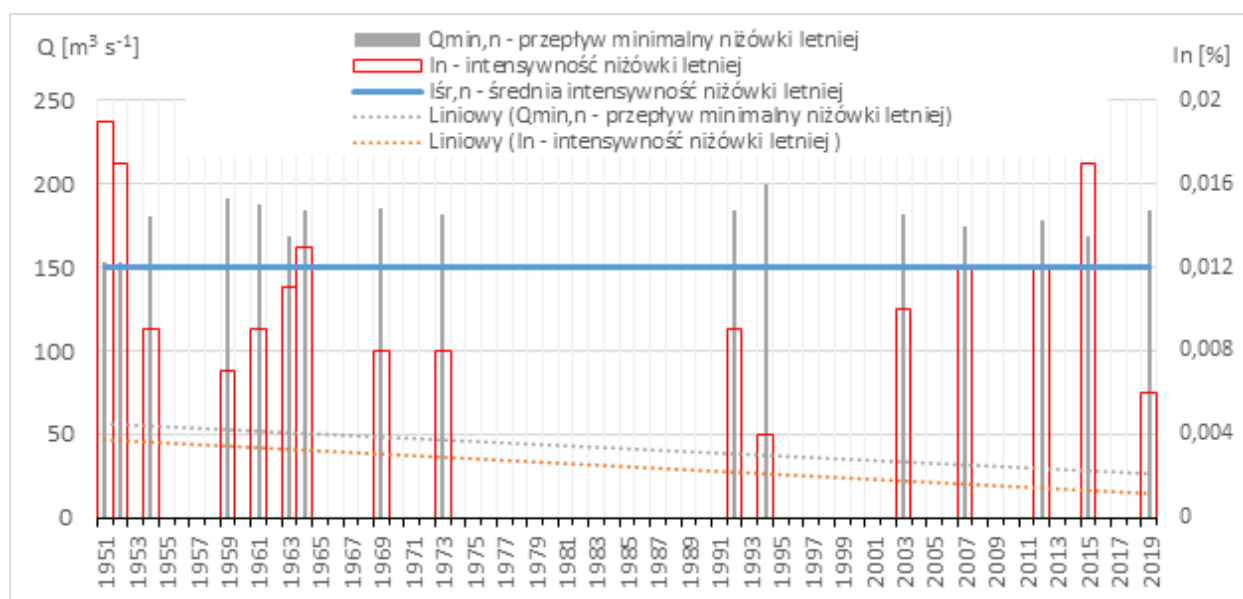


Ryc. 20. Względny czas trwania niżówek letnich w okresie 1951*–2019 w procencie do średniego czasu trwania niżówki ($T_{n,śr} = 46$ dni (100%), z okresu 1951–2000) w profilu Warszawa-Nadwilanówka, *niżówka z 1951 traktowana jako letnia
Fig. 20. Relative duration of summer streamflow droughts in the period 1951*–2019 in percentage to the average duration of the streamflow drought ($T_{n, avg} = 46$ days (100%), from the period 1951–2000, blue line) at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station, *the streamflow drought of 1951 is considered as a summer event



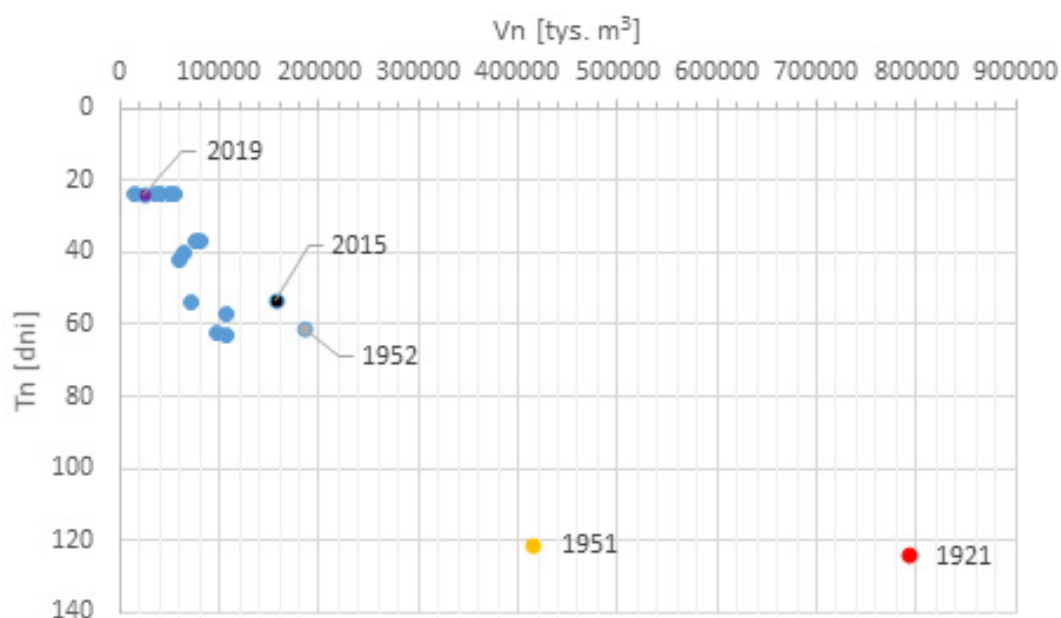
Ryc. 21. Względny deficyt objętości niżówek letnich w okresie 1951*–2019 w procencie do średniego deficytu niżówki ($V_{n,śr} = 101\ 423$ tys. m³ (100%), z okresu 1951–2000) w profilu Warszawa Nadwilanówka; *niżówka z 1951 traktowana jako letnia

Fig. 21. Relative deficits of streamflow droughts in the 1951*–2019 period at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station. The mean annual deficit of streamflow drought is 101 423 000 m³ (100%) for 1951–2000 period. *the streamflow drought of 1951 is considered as a summer event



Ryc. 21a. Intensywność oraz przepływ minimalny niżówek letnich w okresie 1951*–2019 w profilu Warszawa Nadwilanówka; * niżówka z 1951 traktowana jako letnia

Fig. 21a. Intensity and min discharge of streamflow droughts in the 1951*–2019 period at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station; *the streamflow drought of 1951 is considered as a summer event

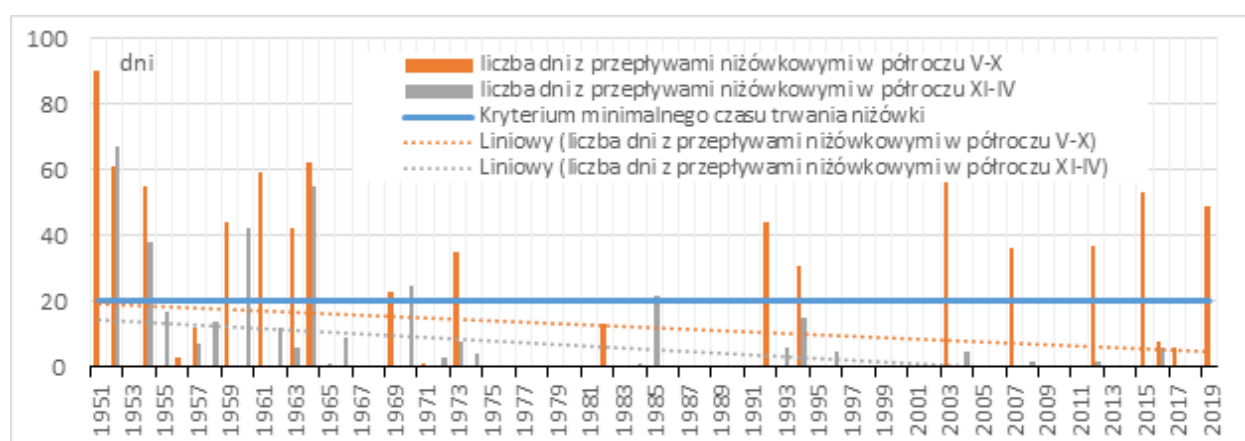


Ryc. 21b. Umiejscowienie niżówki z 1921, na tle niżówek letnich w okresie 1951*–2019 w profilu Warszawa-Nadwilanówka; * niżówka z 1951 traktowana jako letnia

Fig. 21b. Comparison of streamflow drought 1921 to the summer streamflow droughts in the 1951*–2019 period at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station; *the streamflow drought of 1951 is considered as a summer event.

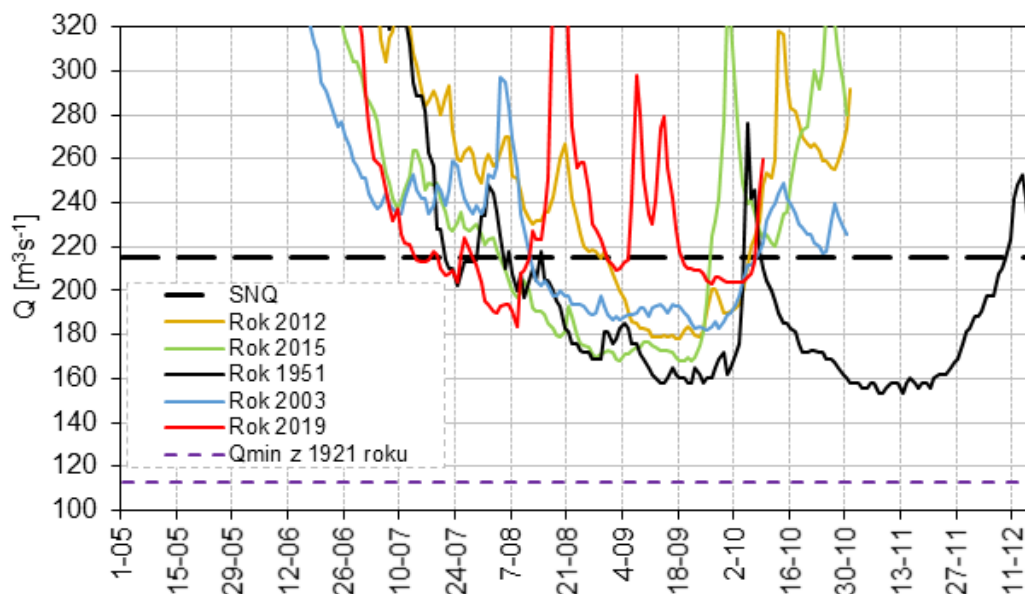
Zjawisko niżówki definiowane przepływem granicznym SNQ i minimalnym czasem trwania równym 20 dni na Wiśle w Warszawie nie jest często notowane. Dlatego w celu zbadania, czy w okresie 1951–2019 zwiększeniu ulega liczba dni z przepływem niżówkowym, rozpatrzono oddzielnie półrocze letnie i zimowe, zliczając wszystkie dni z przepływami mniejszymi lub równymi SNQ (bez uwzględnienia kryterium minimalnego czasu trwania 20 dni). W przypadku półroczy zimowych liczba dni z przepływem niżówkowym (ryc. 22) istotnie statystycznie maleje, co ma związek z obserwowanymi ciepłymi zimami. Natomiast liczba dni z przepływem niżówkowym w półroczu letnim nieistotnie maleje. Analizie trendu poddano również objętości deficytów niżówek letnich ($Q_n \leq \text{SNQ} = 215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $T_n \geq 20$ dni) oraz ich intensywność (I_n) oraz wartości przepływu minimalnego ($Q_{\text{min},n}$) (ryc. 21a) w okresie 1951–2019, stwierdzając nieznaczne zmniejszanie w wieloleciu badanych wartości, ale nieistotnie statystycznie. Podobnie Tomaszewski (2016) w przypadku dolnego odcinka Wisły poniżej Torunia nie wykazał istotnych statystycznie trendów dla czasu trwania niżówek głębokich, ani wieloletniego przebiegu ich deficytów, co świadczy o stabilnym reżimie przepływów niżówkowych.

Charakterystyczne dla Wisły są częste zmiany przepływów codziennych – występowanie kilku wezbrań w ciągu roku, przedzielonych okresami niskich przepływów. Ze względu na dużą zmienność codziennych stanów wody i przepływów długotrwałe niżówki są zjawiskiem rzadkim (Fal i Dąbrowski, 2001b). Dobowe zmiany przepływów na tle hydrogramu średnich przepływów dobowych dla wielolecia 1951–2000 w profilu Warszawa-Nadwilanówka ilustruje rycina 24. Zmienność średnich przepływów dobowych Wisły w Warszawie nie jest duża, podobnie jak średnich rocznych przepływów (ryc. 19), w przeciwieństwie do przepływów dobowych, które charakteryzują się dużą zmiennością. Przepływy w tych samych okresach różnych lat wykazują dużą nieregularność. Obserwując hydrogramy codziennych przepływów z lat hydrologicznych 1951, 1992, 2015 (w których wystąpiły głębokie letnie niżówki) oraz hydrogram z roku 2019 można zauważyć, że niżówka może wystąpić po okresie gwałtownych wzrostów przepływów w Wiśle w Warszawie, jak to miało miejsce w 2019 czy w 1951 roku, lub po okresie, w którym takie gwałtowne zjawiska nie miały miejsca, lecz powolnie wyczerpywały się zasoby wodne zlewni jak w roku 1992 czy 2015. Jak pisał Dębski w 1961 roku, nie ma pory roku, w której nie mogłyby się uformować głębokie niżówki.



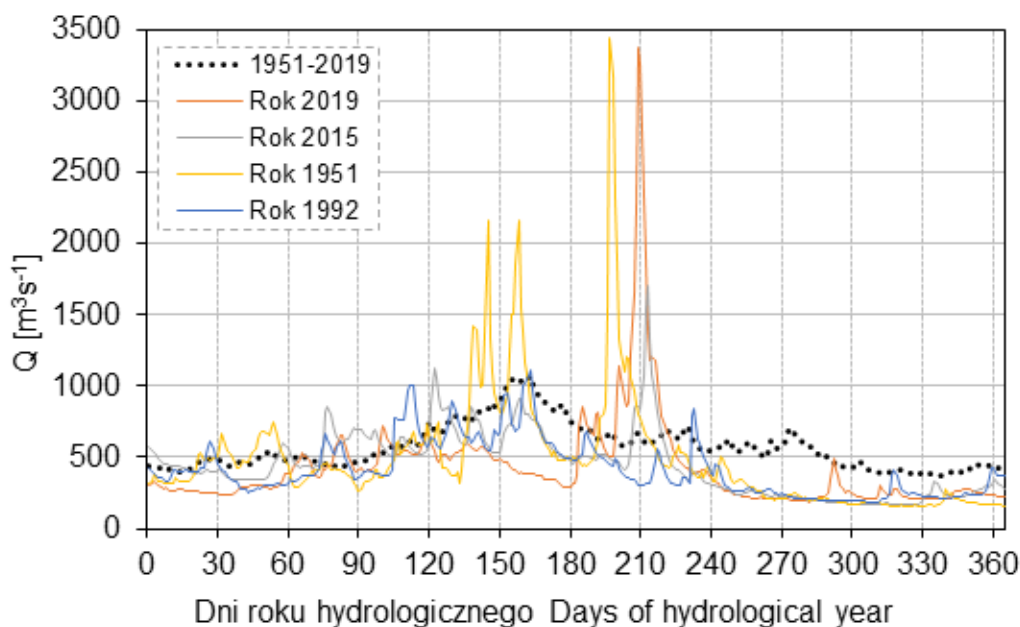
Ryc. 22. Liczba dni z przepływami niżówkowymi w półroczu zimowym (IX–X), półroczu letnim (V–X), ($Q_n \leq \text{SNQ} = 215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z okresu 1951–2000) w profilu Warszawa Nadwilanówka w okresie 1951–2019. Linią niebieską oznaczono kryterium minimalnego czasu trwania niżówki = 20 dni

Fig. 22. The number of days of low flows ($Q_n \leq \text{Mean Low Flow} = 215 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ for 1951–2000 period) in the 1951–2019 period at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station. The blue line marks the criterion of minimal numbers of days (20 days) when the streamflow droughts is defined



Ryc. 23. Wybrane niżówki w profilu Warszawa-Nadwilanówka w wieloleciu 1951–2019 i przepływ minimalny (Q_{\min}) niżówki z 1921 roku

Fig. 23. Selected streamflow droughts in the multi-annual 1951–2019 and minimal flow in 1921 at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station



Ryc. 24. Hydrogramy roku 2019, 2015, 1992 i 1951 na tle hydrogramu średnich przepływów dobowych dla wielolecia 1951–2000 w profilu Warszawa-Nadwilanówka

Fig. 24. Hydrograms of 2019, 2015, 1992 and 1951 compared to daily flows over the period of 1951–2000 in the Vistula at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obserwacje stanów wody na Wiśle w Warszawie należą do najstarszych na ziemiach polskich. Starsze są jedynie pomiary stanów wody na Wiśle w Toruniu (Fal i Dąbrowski 2001a). Dzięki informacjom pochodzącym z wcześniejszych okresów przechowywanym w kronikach i innych źródłach historycznych można śledzić występowanie głębokich niżówek na Wiśle w ubiegłym tysiącleciu. Przytoczona historia wodowskazów w Warszawie jest dowodem na liczne zmiany lokalizacji, poziomów odniesienia, zera wodowskazu, których znajomość jest niezbędna podczas analizowania kolejnych rekordowo niskich stanów wody w kontekście zjawiska niżówki. Rozpatrując współczesne rozmiary niżówek na tle katastrofalnych opisów historycznych susz hydrologicznych, można stwierdzić, że głębokie niżówki na Wiśle występujące w ostatnich dekadach nie są zjawiskiem wyjątkowym. Mimo niepokojących doniesień o przekroczeniach przez Wisłę w Warszawie absolutnych minimach stanów wody w sierpniu 2015 roku dla wodowskazu Warszawa (Port Praski), czy we wrześniu 2020 roku dla wodowskazu Warszawa-Nadwilanówka, to wartości przepływu nie są rekordowo małe. Przebieg minimalnych rocznych przepływów dla Wisły w Warszawie w okresie 1951–2019 nie wykazuje trendu malejącego, a nawet nieznacznie wzrasta, w przeciwieństwie do stanów minimalnych, które istotnie maleją. Zauważona tendencja jest obserwowana przez badaczy od lat 40. XX wieku, kiedy to na skutek wielu przyczyn, a głównie w wyniku pobierania kruszywa z koryta Wisły na potrzeby budownictwa, nastąpiła intensyfikacja procesu obniżania się dna.

Charakterystyczne dla Wisły w Warszawie są częste zmiany codziennych stanów i przepływów, zatem długotrwałe niżówki są zjawiskiem rzadkim i dotyczą głównie okresów letnich i letnio-jesiennych. Występowanie przepływów niżówkowych w półroczu zimowym istotnie maleje w wyniku obserwowanych cieplejszych zim. W wieloletnim przebiegu czasów trwania i objętości deficytów niżówek letnich nie notuje się istotnych trendów, co świadczy o stabilnym reżimie przepływów niżówkowych półroczu letniego. Dotychczasowy rekordowy najniższy przepływ historycznej niżówki letnio-jesiennej z 1921 roku dla Wisły w Warszawie nadal nie został przekroczony. W ostat-

nich latach z powodu bezśnieżnych zim i z braku wiosennych opadów nie występują typowe dla końca półroczu zimowego wezbrania roztopowe, roztopowo-deszczowe czy deszczowe, czego skutkiem są bardzo niskie stany wody obserwowane latem i jesienią.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- analiza zjawiska niżówki na podstawie hydrogramu stanów wody jest obciążona niepewnością wynikającą ze zmian dna koryta, czy występowaniem zjawisk lodowych i nie powinna stanowić kluczowej informacji o jej rozmiarze;
- w wieloletnim przebiegu przepływów minimalnych Wisły w Warszawie nie zaobserwowano istotnych statystycznie zmian, w przeciwieństwie do minimalnych stanów wody;
- liczba dni z przepływem niżówkowym w półroczu letnim, jak również intensywność i objętość deficytu niżówek letnich w Wiśle w Warszawie, nie wskazuje na wzrost zagrożenia zjawiskiem niżówki, co świadczy o stabilnym reżimie przepływów niżówkowych;
- w ostatnich latach w półroczu zimowym nie notuje się występowania niżówek zimowych, co wynika z obserwowanych cieplejszych zim;
- w okresie 1951–2019 największa niżówka charakteryzująca się najdłuższym czasem trwania i największym deficytem wystąpiła w 1951 roku. W ostatnich latach jedynie niżówka z 2015 roku na tle pozostałych wyróżnia się zarówno intensywnością, jak i głębokością. Jednakże dotychczas największa historyczna niżówka na Wiśle w Warszawie miała miejsce w 1921 roku.

LITERATURA

- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (PSHM) sierpień 2015. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej–PIB, 8(58).
- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (PSHM) wrzesień 2020. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej–PIB, 9(224).
- Banasik, K., Hejduk, L., Hejduk, A., Kaznowska, E., Banasik J., Byczkowski, A. (2013). Wieloletnia zmienność odpływu z małej zlewni rzecznej w regionie Puszczy Kozienickiej, *Sylwan*, 157(8), 578–586.
- Biernacki, Z. (2000). Geomorfologia i wody powierzchniowe [w:] *Wisła w Warszawie*. Biuro Zarządu m.st. War-

- szawy, Wydział Planowania Przestrzennego i Architektury. Warszawa, (maszynopis), 22–70.
- Bogdanowicz, E., Fal, B., Dobrzyńska, I. (2000). Charakterystyki hydrologiczne [w:] *Wisła w Warszawie*. Biuro Zarządu m.st. Warszawy, Wydział Planowania Przestrzennego i Architektury. Warszawa, (maszynopis), 9–13.
- Dębski, K. (1961). Charakterystyka hydrologiczna Polski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Łódź–Warszawa, 159.
- Dziugiel, D. (2020). Susza trawi Polskę. Tak wygląda katastrofa klimatyczna. red. J. Artykiewicz, tvnmeteo.tvn24.pl.
- Eberhardt, P. (2005). Klęski głodu na Ukrainie w pierwszej połowie XX wieku na podstawie literatury ukraińskiej. *Studia z Dziejów Rosji i Europy Środkowo-Wschodniej* XL, 269–283.
- Fal, B. (2004). Czy niżówki ostatnich lat są zjawiskiem wyjątkowym? *Gazeta Obserwatora IMGW*, 3, 16–18.
- Fal, B. (2007). Niżówki na górnej i środkowej Wiśle. *Gospodarka Wodna*, 2, 72–81.
- Fal, B., Dąbrowski, P. (2001a). Dwieście lat obserwacji i pomiarów hydrologicznych Wisły w Warszawie. *Gospodarka Wodna*, 11, 461–467.
- Fal, B., Dąbrowski, P. (2001b). Dwieście lat obserwacji i pomiarów hydrologicznych Wisły w Warszawie. *Gospodarka Wodna*, 12, 503–510.
- Falkowski, T., Ostrowski, P. (2009). Budowa geologiczna strefy korytowej Wisły warszawskiej i jej znaczenie dla związanej z korytem infrastruktury. *Nauka Przyr. Technol.* 3, 3, 2–8.
- Gutry-Korycka, M. (2007). Wielkie wody Wisły środkowej w ujęciu historycznym. *Prace i Studia Geograficzne*, 38, 88–103.
- Jakubowski, W., Radczuk, L. (2004). Niżówka 2003. Software. [w:] L.M. Tallaksen, H.A.J. Van Lanen (red.). *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater, Developments in Water Sciences*, 48. Amsterdam: Elsevier.
- KZGW (2011). Plan gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły. Warszawa, https://www.apgw.gov.pl/static/cms/doc/WISLA_1_cykl_planistyczny_%20Plan_gospodarowania_wodami_na_obszarze_dorzecza_Wisly.pdf [dostęp 19.12.2020]
- Kaznowska, E., Banasik, K. (2009). Ocena intensywności niżówek rzecznych w małej zlewni rolniczej Niziny Mazowieckiej w ostatnich 45 latach. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 8(3–4), 5–16.
- Kaznowska, E., Hejduk, A., Kempniński, C. (2018). Przepływy niżówkowe Wisły w Warszawie w XXI wieku. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 17(1), 33–43. DOI: <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/2018.17.1.33>
- Kornacki, Z. (1960). Przyczyny obniżania się dna Wisły w Warszawie. *Gospodarka Wodna*, 7, 305–307.
- Lorenc, I. (2019). Wstęp. [w:] *Współczesne problemy klimatu Polski*. (red) L. Chojnacka-Ożga, H. Lorenc. Seria publikacji naukowo-badawczych IMGW-PIB, 5–6.
- Kowalski, H., Magnuszewski, A., Radecki-Pawlik, A. (2018). The application of two-dimensional hydrodynamic models for underwater archaeological finds from the Vistula River in Warsaw, Poland, *Hydrological Processes*, 32 (18), 2888–2900. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/hyp.13234>
- Łopata, K., Gutry-Korycka, M. (1997). Poszukiwanie cykliczności i tendencji ekstremalnych stanów wody Wisły w ostatnim stuleciu. [w:] *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne. Sympozjum jubileuszowe. 50-lat Polskiego Towarzystwa Geofizycznego*, Warszawa 12–14 listopada 1997, 79–85.
- Magnuszewski, A., Gutry-Korycka M. (2009). Rekonstrukcja przepływu wód Wisły w Warszawie w warunkach naturalnych. *Prace i Studia Geograficzne*, 43, 41–151.
- Piętka, I. (2009). Wieloletnia zmienność wiosennego odpływu rzek polskich. *Prace i Studia Geograficzne*, 43, 81–95.
- Rocznik Hydrograficzny. Dorzecze Wisły. 1920, 1921. Służba hydrograficzna Polski.*
- Rocznik Hydrologiczny Wód Powierzchniowych. Dorzecze Wisły i rzeki przymorza na wschód od Wisły, 1947, 1950–1980, Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny.*
- Semkowicz, W. (1922). Zagadnienie klimatu w czasach historycznych. *Przegląd geograficzny*, 3, 18–42.
- Tallaksen, L.M., Madsen, H., Clausen, B. (1997). On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrol. Sci. J.*, 42(1), 15–33.
- Tomaszewski E. (2016). Wieloletnia zmienność niżówek dolnej Wisły. *Gospodarka Wodna*, 8, 239–243 https://kolekcja.zamek-krolewski.pl/obiekt/kolekcja/Malarstwo/id/ZKW_438
- Ozga-Zielińska, M., Brzeziński, J. (1994). *Hydrologia stosowana*. PWN, 324.
- Żelaziński, J. (2015). *Aspekty hydrologiczne*. <http://wisla-warszawska.pl/wp-content/uploads/2015/12/hydrologia-print>.
- Żukow-Karczewski, M. *Katastrofalne upały i susze w Polsce i na świecie w minionych wiekach*. <https://www.ekologia.pl/srodowisko/ochrona-srodowiska/katastrofalne-upaly-i-susze-w-polsce-i-na-swiecie-w-minionych-wiekach,15502.html>

HISTORICAL STREAMFLOW DROUGHTS ON THE VISTULA RIVER IN WARSAW IN THE CONTEXT OF THE CURRENT ONES

ABSTRACT

Aim of the study

The aim of the study was to investigate the size of the current low flows on the Vistula River in Warsaw in order to find out whether the alarming extreme low water levels observed correspond to extremely low flows and show any tendencies.

Material and methods

The hydrological data starting from 1920 at gauging stations: Warszawa, Warszawa-Bulwary, Warszawa-Nadwilanówka, were analyzed.

The non-parametric Mann-Kendall test at the significance level $\alpha = 0.05$ was used to establish characteristic of the streamflow droughts.

Results and conclusions

Over the last 20 years, deep streamflow droughts occurred in the following years: 2003, 2007, 2012, 2015, 2019 and 2020. Until 2019, the lowest absolute minimum from 2015 at the Warszawa-Bulwary gauging station was not exceeded. However, when considering the water levels at the Warszawa-Nadwilanówka gauging station, the absolute minimum was exceeded by 9 cm (state 102 cm) in September 2020.

Minimum annual flows oscillate around the mean value and even show a statistically insignificant tendency to increase. However, the minimum water states are clearly decreasing and it is a statistically significant change ($\alpha = 0.05$) caused by the deepening of the riverbed in the Warsaw section, and not by reducing the water supply.

In the period 1951-2019, there was not observed the increase in the duration or deepening of the deficit volume of streamflow droughts. The summer streamflow droughts in 2019 and 2012 observed in the last decade did not reach a size similar in terms of duration and deficit volume to the average streamflow drought determined for the 1951-2000 period

Keywords: extreme water levels, Warsaw's Vistula, gauging station, streamflow drought, Warsaw corset