

FUNKCJE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO WISŁA-CZARNE W REDUKCJI FALI POWODZIOWEJ

Marek Madzia¹

¹ Zakład Zrównoważonego Rozwoju Obszarów Górskich, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: mmadzia@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

W redukcji przepływów powodziowych decyduje nie tylko odpowiednio dobrana pojemność powodziowa zbiornika retencyjnego, ale również możliwości sterowania urządzeniami przelewowo-spustowymi. Analizę pracy zbiornika retencyjnego Wisła-Czarne oparto na wyznaczonym hydrogramie dopływu do zbiornika, którego przepływ kulminacyjny jest równy przepływowi maksymalnemu rocznemu o prawdopodobieństwie przewyższenia 1%. Przepływ ten został wyznaczony z formuły opadowej. W celu wyznaczenia hydrogramu dopływu do zbiornika zastosowano model hydrogramu jednostkowego Snydera oraz model SCS (Soil Conservation Service) do wyznaczenia opadu efektywnego. Opad dobowy o prawdopodobieństwie pojawienia się 1% rozłożono w ciągu doby (rozkład gamma) w taki sposób, aby uzyskać oczekiwaną wartość przepływu kulminacyjnego. W analizie przeprowadzono szereg symulacji pracy zbiornika w zależności od stanu początkowego napełnienia zbiornika oraz pracy poszczególnych urządzeń przelewowo-spustowych. Efektem końcowym jest przedstawienie hydrogramów odpływu ze zbiornika w odniesieniu do poszczególnych wariantów.

Słowa kluczowe: zbiornik retencyjny, redukcja fali powodziowej.

CAPABILITIES OF RETENTION RESERVOIR WISŁA-CZARNE IN REDUCTION OF FLOOD WAVE

ABSTRACT

The reduction of flood flow is not only dependent on proper capacity of retention reservoir but also possibilities of control of hydrotechnic devices. The analysis of work of retention reservoir Wisła-Czarne was based on a hydrograph of water flow to the reservoir whose culmination is equal to the maximal annual flow with probability of superiority 1%. This flow was determined on the basis of precipitation formula. In order to make hydrograph of flow to reservoir Snyder unit hydrograph was applied and model SCS (Soil Conservation Service) for determination of effective precipitation. The daily precipitation with 1% probability was showed in such a way (gamma distribution) to gain the expected value of culmination flow. In the analysis several simulations of reservoir work dependently on the initial state of filling the tank and work of overflow-drain devices was carried out. The final effect was to depict hydrographs of outflows from the reservoir in relation to particular variants.

Keywords: retention reservoir, reduction of flood wave.

WSTĘP

Budowę zbiorników retencyjnych uważa się jako jeden ze środków walki z powodzią, czyli gwałtownymi wezbrzeniami rzek spowodowanymi głównie w terenach górskich przez ulewne deszcze. Powódzie powodują poważne straty materialne w gospodarce narodowej poprzez niszczenie urządzeń wodnych, brzegów rzek, dróg, kolei, mostów, wszelkiego rodzaju zabudowań

oraz użytków rolnych. Tylko w dorzeczu Górnej Wisły straty spowodowane powodzią w latach 1997 i 2001 wyniosły około trzech mld złotych [Winter i in. 2010].

Wisła jako typowa góraska miejscowość w przeszłości była wielokrotnie nękana powodzią. Z przekazów historycznych wynika, że nie rzadziej niż co kilka lat w tej małej miejscowości występowały gwałtowne wezbrania niszczące nie tylko brzegi potoków, ale również mosty, dro-

gi, a nawet zabudowania [Cienciąła i in. 2007]. Największe miały miejsce w latach 1813, 1882, 1894, 1915, 1925, 1949, 1958, 1959, 1970, 1980 i 1997 [Grela i in. 1997].

Zbiornik Wisła-Czarne wybudowany w latach 1967–1973 stanowi bardzo ważną budowlę hydrotechniczną dla regionu Śląska Cieszyńskiego, która z jednej strony spełnia rolę przeciwpowodziową – szczególnie miasta Wisły, a z drugiej stanowi zapas wody do spożycia dla całego regionu.

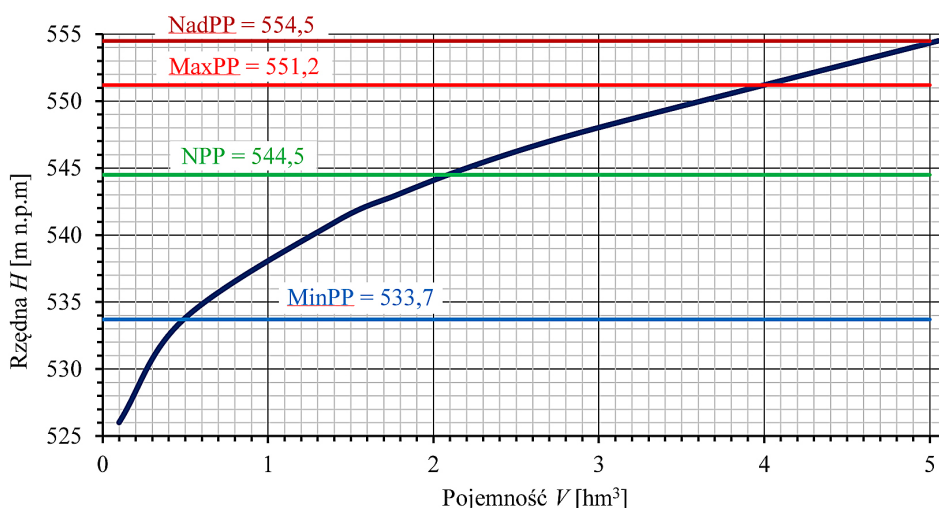
Trzykrotna zmiana generalnego wykonawcy, niedostateczny nadzór techniczny, trudne warunki klimatyczne i geologiczne spowodowały wystąpienie wielu nieprawidłowości w czasie realizacji budowy. Wszystkie te uwarunkowania zmusiły użytkownika już w początkowym okresie eksploatacji do przeprowadzenia licznych robót zabezpieczających i remontowych [Olszamowski i in. 1988].

CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKA

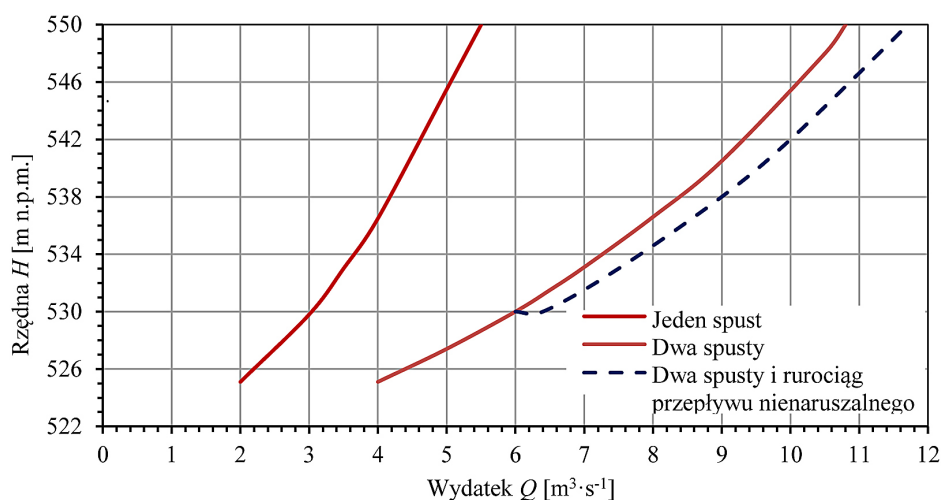
Zbiornik Wisła-Czarne znajduje się na terenie miasta Wisły w dzielnicy Czarne. Powstał poniżej połączenia potoków Białej i Czarnej Wisielki. Za zbiornikiem potok ma nazwę Wisielka, a po połączeniu z potokiem Malinka przyjmuje nazwę Wisła.

Zapora typu ziemnego usypana została z materiałów miejscowych, a uszczelnienie stanowi rdzeń i ekran żelbetowy. Wśród najważniejszych parametrów zbiornika można wyróżnić:

- pojemność całkowita – 5,06 hm³,
- pojemność powodziowa – 3,9 hm³,
- pojemność użytkowa – 2,11 hm³,
- pojemność martwa – 0,5 hm³,
- maksymalna powierzchnia zalewu – 40 ha,
- wysokość zapory – 36 m.



Rys. 1. Krzywa pojemności zbiornika
Fig. 1. The curve of reservoir capacity



Rys. 2. Wydatek spustów dennych
Fig. 2. The efficiency of bottom drain

Prawidłową pracę zapory w normalnych warunkach użytkowania zapewniają spusty denne, a w szczególnych (powodziowych) przelew stokowy. Spust dennny stanowiła pierwotnie konstrukcja żelbetowa z dwoma przewodami spustowymi o wymiarach 1,2×1,2 m, natomiast po przebudowie w 1975 r. spust dennny stanowią dwie rury stalowe o średnicy 0,8 m każda. Całkowita długość spustu dennnego wynosi 160 m. Przepływ regulowany jest dwiema zasuwami klinowymi (zasuwą roboczą i zasuwą awaryjną). Wydatek maksymalny spustu dennnego do przebudowy wynosił $26,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a obecnie wynosi $11,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 2), [Olszamowski i in. 1988].

Przelew stokowy wbudowany jest w prawą część korpusu zapory i obejmuje jaz stały oraz odprowadzające wodę do niecki wypadowej żelbetowe koryto bystrotoku. Pierwotnie jaz stały miał konstrukcję dwupoziomową i zbudowany był z jazu czołowego o długości korony przelewu 10 m i rzędnej posadowienia 551,9 m n.p.m. oraz jazu bocznego o długości 29 m i rzędnej posadowienia korony 553,0 m n.p.m.

Po przebudowie w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, przelew boczny to jaz jednopoziomowy o długości korony 39 m i rzędnej posadowienia 551,2 m n.p.m. a maksymalny wydatek wynosi $139 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ [Olszamowski i in. 1988].

METODYKA BADAŃ

Pracę zbiornika w warunkach powodzi przeanalizowano na podstawie wygenerowanego hydrogramu dopływu do zbiornika, przyjmując, że

wartość kulminacji będzie równa przepływowi maksymalnemu o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$.

W modelach matematycznych transformacji opadu w odpływ, przepływem maksymalnym rocznym o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w małych zlewniach jest maksymalny przepływ kulminacyjny fali, jako reakcja zlewni na opad o tym samym prawdopodobieństwie przewyższenia i różnym czasie trwania [Banasik 2009].

Przepływy maksymalne roczne o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia wyznaczono za pomocą formuły opadowej [Stachy i in. 1998]. Ponieważ zlewnia do przekroju zapory ($30,29 \text{ km}^2$) jest wyraźnie podzielona na dwie odrębne doliny Białej i Czarnej Wisłki oraz niewielką zlewnię różnicową, postanowiono przeprowadzić obliczenia oddzielnie w tych zlewniach (tabela 1).

W celu otrzymania hydrogramu dopływu do zbiornika z oczekiwaną wartością przepływu kulminacyjnego należało odpowiednio dopasować rozkład opadu dobowego $H_{1\%}$.

Wartość opadu dobowego o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 1\%$ można odczytać z map opracowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Dla badanej zlewni wynosi 170 mm. Opad ten w ciągu doby został rozłożony na podstawie współczynników rozdziału rozkładu beta dla przedziałów $\Delta t = 1 \text{ h}$ w taki sposób, aby było możliwe osiągnięcie wartości przepływu kulminacyjnego równego $107,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Tabela 1. Wartości przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w zlewni do przekroju zapory

Table 1. The values of maximal annual flows of a given exceedance probability in catchment over the section of dam

Prawdopodobieństwo p [%]	Przepływ Q_p [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]			
	Biała Wisłka	Czarna Wisłka	Zlewnia różnicowa	Przekrój zapory (suma)
0,1	97,2	63,8	4,2	165,2
0,2	86,5	56,8	3,7	147,0
0,5	73,2	48,1	3,2	124,4
1	63,1	41,4	2,7	107,3
2	53,2	34,9	2,3	90,4
3	47,0	30,9	2,0	79,9
5	40,1	26,4	1,7	68,2
10	30,4	20,0	1,3	51,7
20	21,1	13,8	0,9	35,8
30	15,7	10,3	0,7	26,6
50	9,2	6,0	0,4	15,6

[Więzik 2010]. Opad efektywny (rys. 3) obliczono modelem SCS, który uzależnia otrzymane wartości od średniego w zlewni opadu całkowitego oraz rodzaju gleb, sposobu użytkowania terenu zlewni i wilgotności gleby [Ignar 1993].

W celu wyznaczenia hydrogramu dopływu do zbiornika posłużono się metodą syntetycznego hydrogramu jednostkowego Snydera [Viessman i in. 1977]. Następnie na podstawie otrzymanych wartości opadu efektywnego i hydrogramu jednostkowego otrzymano hydrogramy elementarne. Korzystając z superpozycji hydrogramów elementarnych skonstruowano hydrogram dopływu do zbiornika (rys. 4).

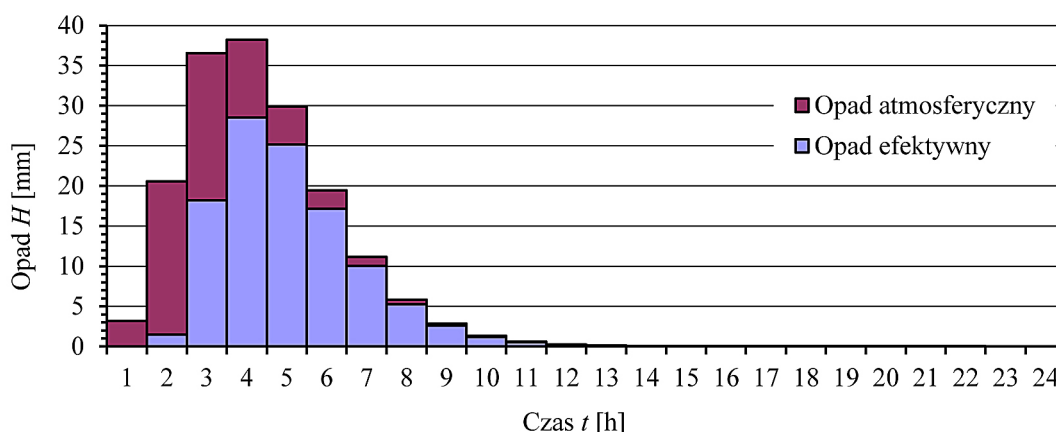
WYNIKI I DISKUSJA

Pracę zbiornika przeanalizowano biorąc pod uwagę różne warianty pracy spustów dennych

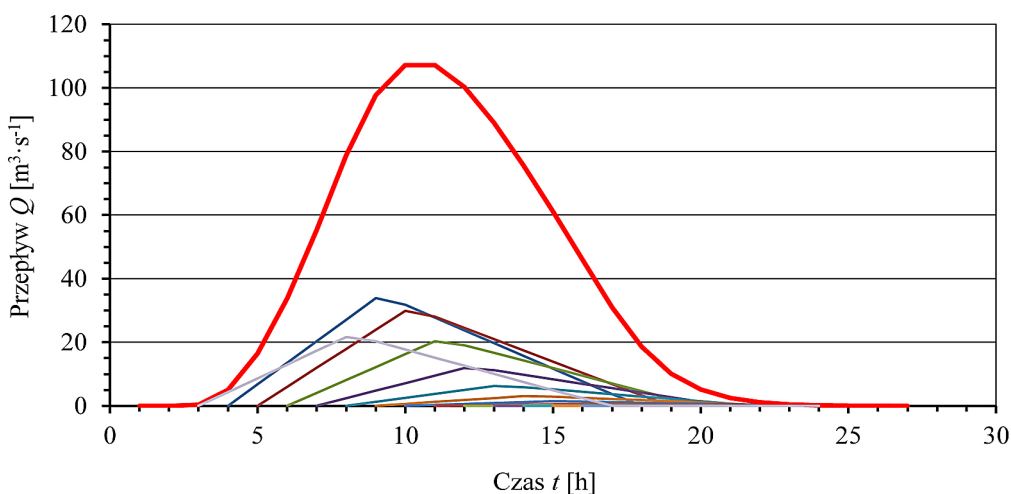
(otwarte dwa, jeden, zamknięte – np. na wypadek awarii) i różne początkowe napełnienia zbiornika: minimalny poziom piętrzenia (533,7m n.p.m.), normalny poziom piętrzenia (544,5m n.p.m.), maksymalny poziom piętrzenia (554,5m n.p.m.).

Obliczenia przeprowadzono w oparciu o arkusz kalkulacyjny *Excel*. Na podstawie charakterystyk urządzeń przelewowo-spustowych wyznaczono równania opisujące wydatek spustów, przelewu oraz równanie krzywej pojemności zbiornika.

Minimalny poziom piętrzenia zbiornika (MinPP) jest to najniższa rzędna położenia zwierciadła wody w normalnych warunkach eksploatacji zbiornika. Przy tym początkowym poziomie piętrzenia nie ma zagrożenia powodziowego. Przy otwartym jednym spuszcie dennym poziom piętrzenia osiągnie wartość maksymalną 550,2 m n.p.m. Zakładając nawet awarię obu spustów dennych zbiornik wypełni się całkowicie przy-



Rys. 3. Hietogram opadu atmosferycznego i efektywnego dla zlewni do przekroju zapory
Fig. 3. Hietogram of atmospheric and effective precipitation for catchment in relation to dam



Rys. 4. Hydrogramy elementarne i hydrogram dopływu do zbiornika Wisła-Czarne
Fig. 4. Elementary hydrographs and hydrograph of inflow to reservoir of Wisła-Czarne

Tabela 2. Wpływ zbiornika na redukcję przepływu maksymalnego w zależności od poziomu piętrzenia w zbiorniku i pracy spustów dennych**Table 2.** The influence of reservoir on reduction of maximal flow dependently on level of damming in reservoir and work of bottom drains

Początkowy poziom piętrzenia	Parametr	Otwarte dwa spusty	Otwarty jeden spust	Spusty zamknięte
Minimalny Poziom Piętrzenia MinPP = 533,7 m n.p.m.	Przepływ za zbiornikiem Q_{max} [$m^3 \cdot s^{-1}$]	10,8	5,5	0,3
	Redukcja za zbiornikiem Q_{max} [%]	90,0	94,8	99,7
	Najwyższa rzędna zwierciadła H [m n.p.m.]	549,4	550,2	551,2
Normalny Poziom Piętrzenia NPP = 544,5 m n.p.m.	Przepływ za zbiornikiem Q_{max} [$m^3 \cdot s^{-1}$]	54,9	62,8	67,4
	Redukcja za zbiornikiem Q_{max} [%]	48,9	41,5	37,2
	Najwyższa rzędna zwierciadła H [m n.p.m.]	552,4	552,7	553,0
Maksymalny Poziom Piętrzenia MaxPP = 551,2 m n.p.m.	Przepływ za zbiornikiem Q_{max} [$m^3 \cdot s^{-1}$]	97,3	98,1	98,4
	Redukcja za zbiornikiem Q_{max} [%]	9,3	8,6	8,3
	Najwyższa rzędna zwierciadła H [m n.p.m.]	553,4	553,5	553,6

mując praktycznie całą objętość fali powodziowej osiągając rzędną 551,22 m n.p.m., co spowoduje krótkotrwałe uruchomienie przelewu bocznego z wydatkiem maksymalnym zaledwie $0,3 m^3 \cdot s^{-1}$ (rys. 5). Zatem z analizy wynika, że objętość fali powodziowej wywołanej opadem o prawdopodobieństwie pojawienia się $p = 1\%$ jest praktycznie równa pojemności użytkowej i powodziowej zbiornika.

Normalny poziom piętrzenia zbiornika (NPP) jest to najwyższa rzędna położenia zwierciadła wody w normalnych warunkach eksploatacji zbiornika. Fala powodziowa wpływając do zbiornika przy NPP w pierwszym okresie (około 15 h) spowoduje, że rezerwa powodziowa dość szybko się wypełni i uruchomiony zostanie przelew boczny. W rezultacie przy otwartym jednym spuszczeniu dennym zbiornik napełni się do rzędnej 552,7 m n.p.m., a za zbiornikiem wystąpi przepływ $62,8 m^3 \cdot s^{-1}$ (rys. 7). W przypadku, gdy będą pracować dwa spusty denne sytuacja niewiele się poprawi. Przepływ maksymalny za zbiornikiem wyniesie prawie $55 m^3 \cdot s^{-1}$ (rys. 6). Zakładając awarię obu spustów dennych (rys. 8) przepływ za zbiornikiem wyniesie $67,4 m^3 \cdot s^{-1}$ i osiągnie maksymalną rzędną 553 m n.p.m. Redukcja przepływu kulminacyjnego w zależności od otwarcia spustów dennych wyniesie od 37,2% do 48,9%. Natomiast przepływ nieszkodliwy ($20 m^3 \cdot s^{-1}$) zostanie przekroczony przy otwartych spustach dennych 2,5 raza. Nie wielka różnica w redukcji przepływu kulminacyjnego w zależności od pracy spustów dennych świadczy o zbyt małym wydatku tych urządzeń. Powinny one mieć łączny wydatek równy co najmniej wartości przepływu nieszkodliwego.

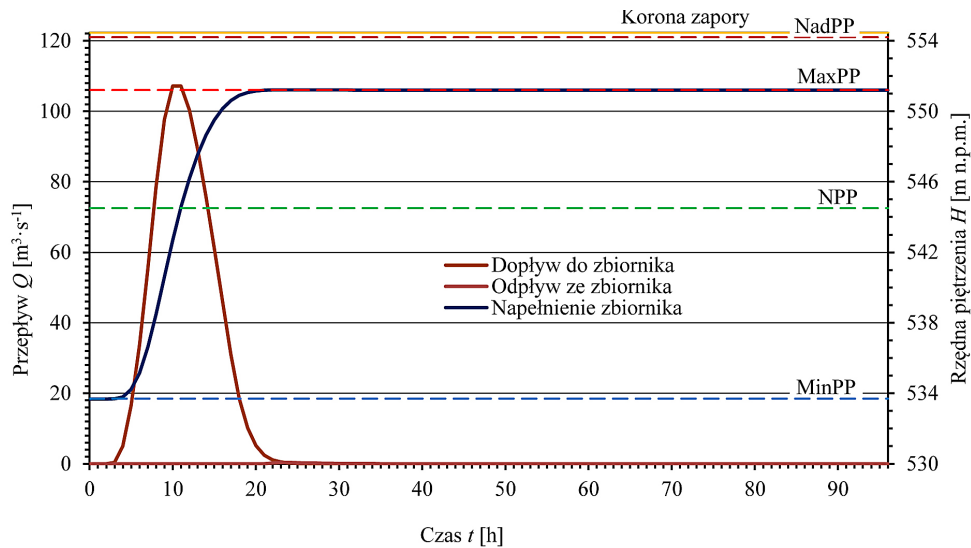
Innym możliwym rozwiązaniem tego problemu mogłoby być zainstalowanie przynajmniej w części przelewu bocznego ruchomych klap zmieniających rzędne przelewu.

Maksymalny poziom piętrzenia (MaxPP) osiągany jest po wypełnieniu pojemności powodziowej zbiornika i występuje w szczególnych warunkach pracy zapory. Analizowane sytuacje mogłyby się zdarzyć w warunkach bardzo obfitych opadów deszczu utrzymujących się więcej niż jedną dobę. Fala powodziowa wpływając do zbiornika, w którym poziom lustra wody znajduje się na wysokości 551,2 m n.p.m., praktycznie nie zostanie zredukowana. Przepływ wody przez przelew boczny będzie trwał około 15 h. W przypadku nieczynnych spustów dennych przelew boczny będzie pracował ponad 20 h osiągając maksymalną rzędną 553,6 m n.p.m.

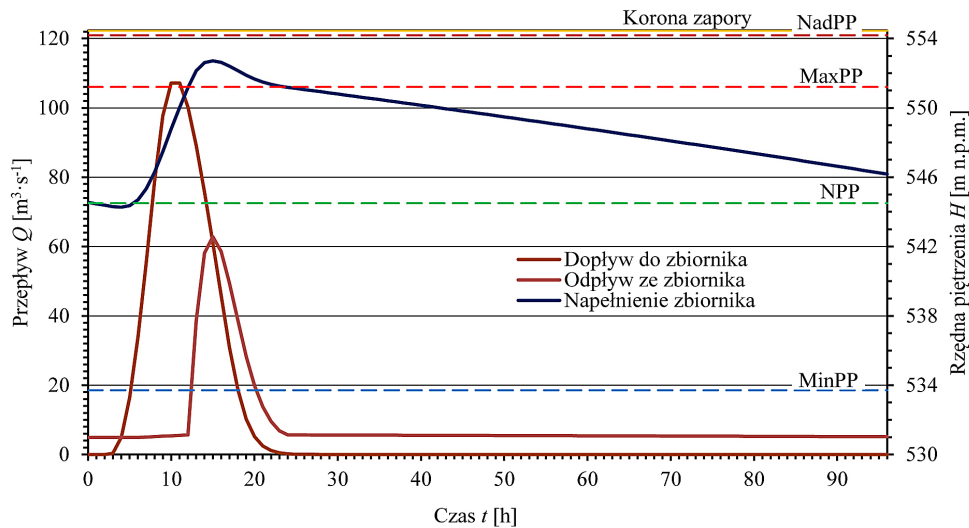
Analizie poddano również sytuacje, w których zbiornik w normalnych warunkach użytkowania mógłby zredukować przepływ maksymalny do wartości przepływu nieszkodliwego ($20 m^3 \cdot s^{-1}$). W tym zakresie możliwe są dwa rozwiązania zmierzające do zwiększenia dodatkowo pojemności powodziowej zbiornika:

- określenie rezerwy przypadkowej,
- określenie rezerwy wymuszonej (określenie czasu opróżniania zbiornika aby uzyskać pożądaną dodatkową objętość).

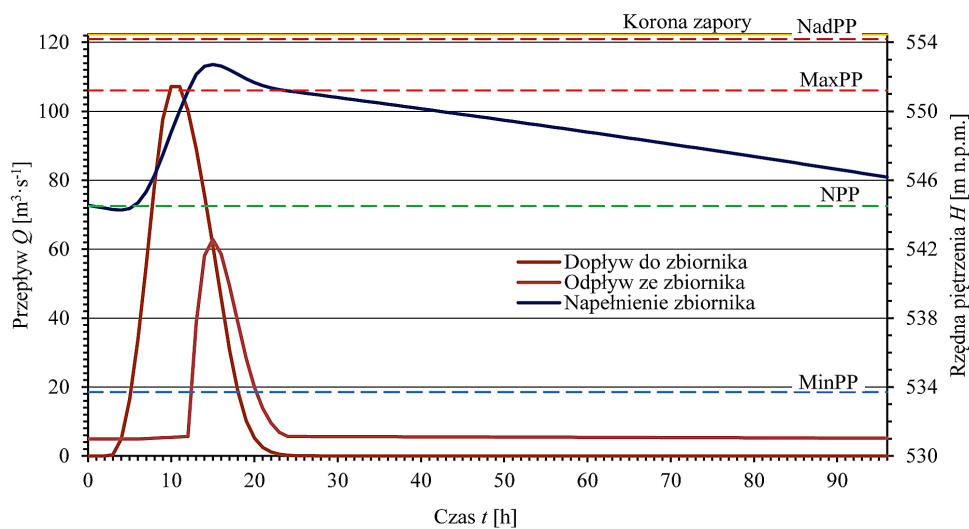
W pierwszym rozwiązaniu określono rzędną poziomu piętrzenia w zbiorniku pomiędzy MinPP a NPP, która mogłaby być osiągnięta przypadkowo podczas normalnej eksploatacji zbiornika. Rzędna piętrzenia 540,55 m n.p.m. daje rezerwę przypadkową równą $0,76 hm^3$. Uzyskana dodatko-



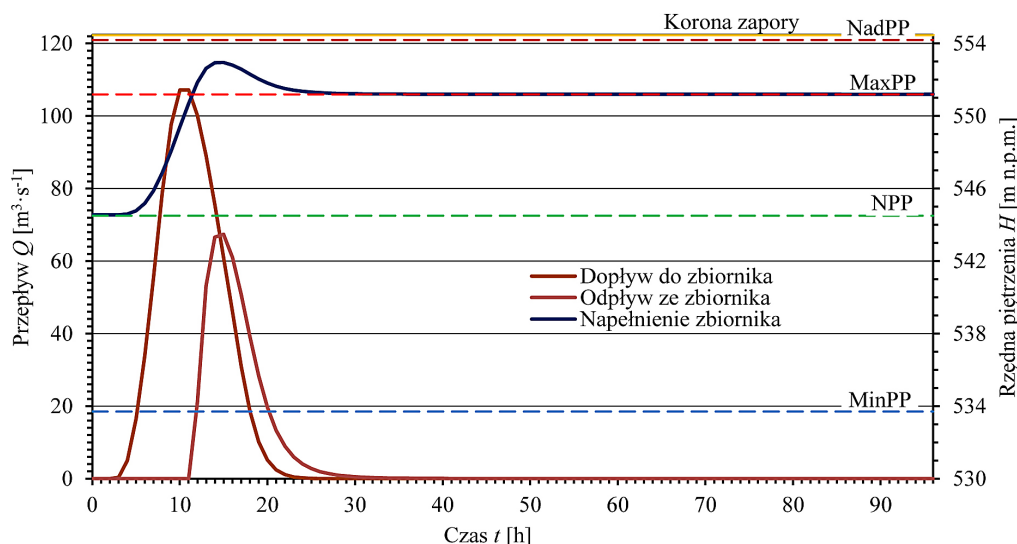
Rys. 5. Praca zbiornika przy zamkniętych spustach dennych (rzędna początkowa MinPP)
Fig. 5. The work of reservoir with closed two bottom drains (initial ordinate MinPP)



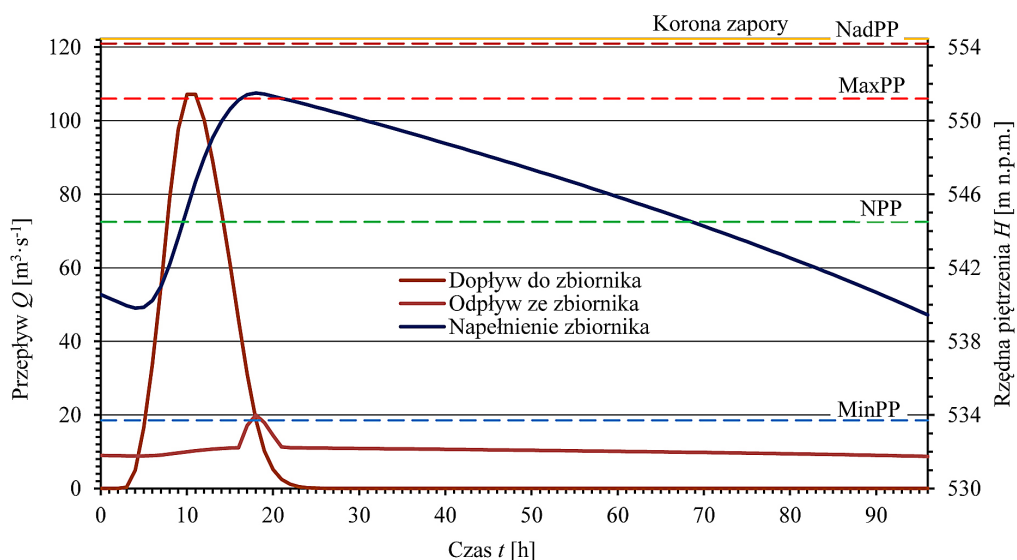
Rys. 6. Praca zbiornika przy otwartych dwóch spustach dennych (rzędna początkowa NPP)
Fig. 6. The work of reservoir with open two bottom drains (initial ordinate NPP)



Rys. 7. Praca zbiornika przy otwartym jednym spuście dennym (rzędna początkowa NPP)
Fig. 7. The work of reservoir with open one bottom drain (initial ordinate NPP)



Rys. 8. Praca zbiornika przy zamkniętych spustach dennych (rzędna początkowa NPP)
Fig. 8. The work of reservoir with closed two bottom drains (initial ordinate NPP)



Rys. 9. Praca zbiornika przy otwartych spustach dennych rozpoczęta od poziomu piętrzenia 540,55 m n.p.m. (rezerwa przypadkowa)

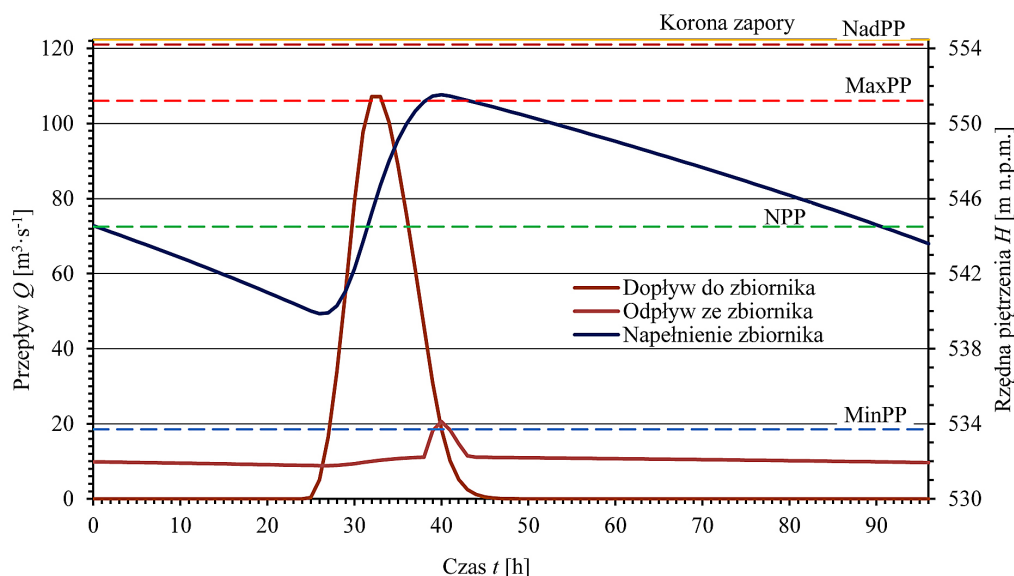
Fig. 9. The work of reservoir with open bottom drains started from level 540.55 m a.s.l. (random reserve)

wo pojemność zapewni przy otwartych spustach nieprzekroczenie przepływu nieszkodliwego i tym samym redukcję przepływu maksymalnego o 81,4% (rys. 9).

W drugim rozwiązaniu określono okres czasu przed wystąpieniem opadu potrzebny do opróżnienia zbiornika przy otwartych spustach dennych od NPP. Uzyskana w ten sposób dodatkowa rezerwa zwiększająca pojemność powodziową zbiornika nosi nazwę wymuszonej. Aby uzyskać pożądaną wartość rezerwy wymuszonej potrzebne są 22 h ciągłej pracy dwóch spustów dennych przed wystąpieniem opadu (rys. 10).

WNIOSKI

1. Zbiornik spełnia istotną rolę w ochronie przeciwpowodziowej.
2. Przy początkowym napełnieniu zbiornika równym MinPP (533,7 m n.p.m.) zbiornik całkowicie przyjmie falę powodziową nawet przy zamkniętych spustach dennych.
3. Przy początkowym napełnieniu zbiornika równym NPP (544,5 m n.p.m.) zbiornik redukuje przepływ maksymalny w stopniu niewystarczającym, powodując poważne zagrożenie powodziowe.



Rys. 10. Praca zbiornika przy otwartych spustach dennych rozpoczęta 22 h przed wystąpieniem opadu od NPP (rezerwa wymuszona)

Fig. 10. The work of reservoir with open bottom drains started 22 h before precipitation from NPP (constrained reserve)

4. Wydatek spustów dennych jest zbyt mały aby zapewnić odpowiednie sterowanie pracą zbiornika w warunkach powodzi. Sytuację mogłyby poprawić ruchome zamknięcia regulujące wysokość rzędnej przelewu bocznego.

LITERATURA

1. Banasik K. 2009. Wyznaczanie wezbrań powodziowych w małych zlewniach zurbanizowanych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
2. Cienciąła Z., Drewniak F., Kruczała A., Ośródką L., 2007, Środowisko przyrodnicze Wisły. Urząd Miasta w Wiśle, Wisła.
3. Ignar S., 1993, Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych.

Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

4. Olszamowski Z., Rożnowska L., 1988, Monografia zbiornika wodnego Wisła-Czarne. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
5. Stachy J., Fal B., Czarnecka H., 1998. Obliczanie przepływów maksymalnych rocznych o określonym prawdopodobieństwie. Wydawnictwo IMGW, Warszawa.
6. Viessman W., Knapp J.W., Lewis G.L., Harbaugh T.E., 1977, Introduction to hydrology IEP, New York.
7. Więzik B., 2010, Przepływy maksymalne roczne o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia w małych zlewniach niekontrolowanych, [w:] Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej, Tom 1, B. Więzik (red.), Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 68.