

Lukasz GRADOWSKI, Kazimierz BANASIK

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Department of Water Engineering and Environmental Recultivation WULS

Wpływ zbiornika Staw Berensewicza na redukcję fali wezbraniowej Potoku Służewieckiego

Reduction of the flood flow hydrograph by the Berensewicz Pond reservoir on the Służew Creek

Słowa kluczowe: opad-odpływ, zlewnia miejska, redukcja wezbrań, zbiornik detencyjny
Key words: rainfall-runoff, urban catchment, peak flow reduction, detention pond

Wprowadzenie

Przeływy wezbraniowe są zjawiskiem przyrodniczym, występującym z różną częstotliwością i z różnym nasileniem w zależności od charakterystyki zlewni (m.in. topografii, rodzaju gleb, użytkowania terenu) i od lokalnych warunków klimatycznych. Urbanizacja zlewni, której cechą szczególną jest m.in. wprowadzanie powierzchni nieprzepuszczalnych (jezdnie, parkingi, dachy budynków itp.), przyczynia się znacząco do zwiększenia częstotliwości wezbrań i ich wielkości. Przeływy wezbraniowe wywierają duży wpływ na tereny miejskie, znajdujące się w sąsiedztwie cieków śródmiejskich, wywołując czę-

sto straty gospodarcze poprzez lokalne podtopienie (zalanie domów, garaży, samochodów itp.). Straty te potęgowane są także przez zaniechanie odpowiednich środków zmniejszających zagrożenie powodziowe. Jednym z takich środków jest budowa i właściwa eksploatacja małych zbiorników wodnych, nazywanych zbiornikami detencyjnymi, przechwytyjących część wód w okresie wezbrania, a następnie, po przejściu kulminacji, stopniowo je oddających. Celem pracy jest przedstawienie wpływu małego zbiornika detencyjnego Staw Berensewicza, zlokalizowanego na Potoku Służewieckim, w południowej części Warszawy, na redukcję fali wezbraniowej wywołanej krótkotrwałym opadem o prawdopodobieństwie przekroczenia $p = 1\%$. Problematyka przedstawiona w pracy podjęta została przez pierwszego współautora jako temat magisterskiej pracy dyplomowej na kierunku inżynieria środowiska (Gradowski 2007).

Opis obiektu badań

Zlewnia Potoku Służewieckiego

Jest ona położona w dorzeczu Wisły i znajduje się w południowej części Warszawy na terenie dzielnic: Ochota, Włochy, Ursynów i Wilanów. Potok Służewiecki rozpoczyna swój bieg w dzielnicy Warszawa Ochota przy alei Krakowskiej. Początkowy odcinek potoku przebiega jako kanał zamknięty do zbiegu ulic Hynka i Radarowej, gdzie dalej płynie jako kanał otwarty do terenu lotniska Okęcie. Pod terenem lotniska przebiega jako kolektor długości około 2,5 km. Wylot znajduje się przy ulicy Wirażowej. Od tego miejsca aż do ujścia do rzeki Wilanówki stanowi koryto otwarte, tylko w nielicznych miejscach przekształca się w kanał zamknięty.

Całkowita powierzchnia zlewni Potoku Służewieckiego (do ujścia do Jeziora Wilanowskiego) wynosi 54,8 km². Całkowita długość potoku jest równa 14,9 km (Operat hydrologiczny..., 2002). Głównymi jego dopływami są rowy otwarte (Rów Grabowski, Rów Wyścigi, Kanał Wolica). Pozostałe dopływy to rowy bez nazwy oraz wyloty kanalizacji deszczowej, odprowadzające wody burzowe z terenów zlewni potoku. Zlewnia Potoku Służewieckiego po profil Staw Berensewicza wynosi 26,9 km², a długość głównego cieką 7,2 km.

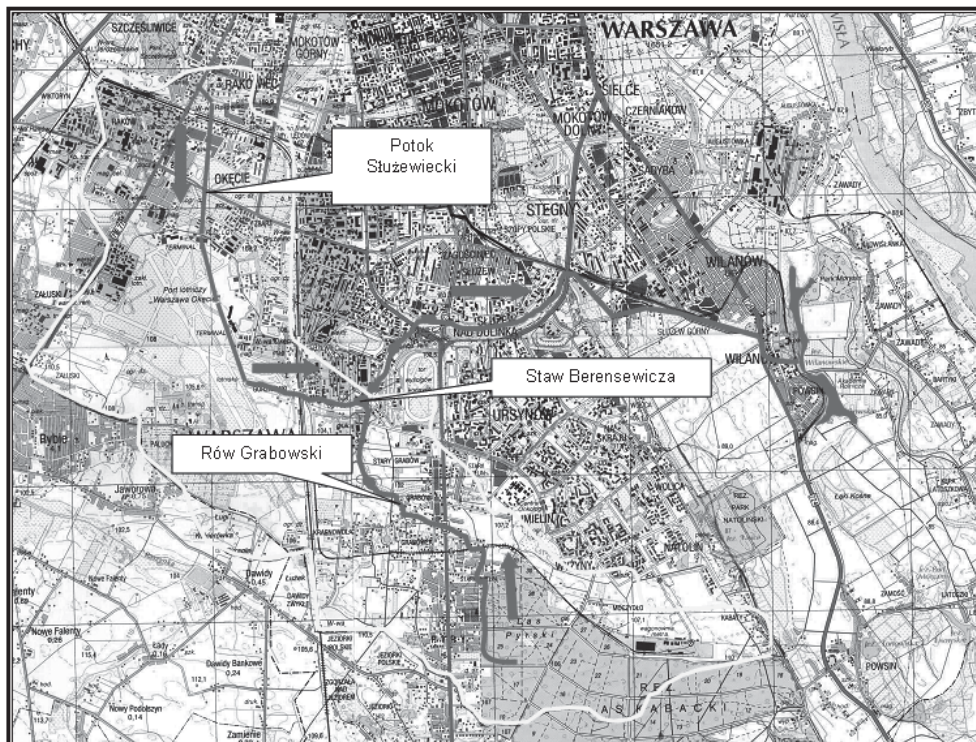
Z terenów dzielnic, na których znajduje się zlewnia Potoku Służewieckiego, wody deszczowe odprowadzane są za pomocą kanalizacji deszczowej lub za pomocą rowów melioracyjnych, pełniących funkcje odbiorników wód burzowych. Pierwotnie tereny zlewni Potoku Służewieckiego były użytkowane rolni-

czo. Również obecnie na terenach Ursynowa, Grabowa i Kabat znajduje się znaczna część obszarów niezabudowanych. Jednakże wzrastająca liczba ludności Warszawy i zapotrzebowanie na nowe mieszkania i usługi wymusza rozbudowę miasta i pozyskiwanie nowych terenów pod zabudowę (Banasik i in. 2007). Obszar zlewni Potoku Służewieckiego wraz z głównym jego dopływem – Rowem Grabowskim i zaznaczoną granicą zlewni po profil Stawu Berensewicza pokazano na rysunku 1.

Staw Berensewicza

Jest on położony w zlewni Potoku Służewieckiego w południowo-wschodniej części zabytkowego zespołu dworsko-ogrodowego „Wyczółki” przy ulicy Łączyny. Znajduje się w ciągu układu Potoku Służewieckiego na trasie między ulicą Kłobucką a ulicą Łączyny. Staw jest zasilany wodami z Potoku Służewieckiego i jego głównego dopływu – Rowu Grabowskiego. Staw ten składa się dwóch akwenów – dolnego, większego, i górnego, mniejszego. Staw dolny zlokalizowany jest bliżej ulicy Łączyny. W środku stawu górnego znajduje się wyspa, która w przeszłości była połączona z lądem za pomocą mostu, usytuowanego od strony północnej, po którym zachowały się tylko kamienne przyczółki. W centrum wyspy usytuowana jest murowana piwnica z wejściem od strony wschodniej.

Staw Berensewicza został odbudowany w 2004 roku w celu retencjonowania wód z Potoku Służewieckiego w okresie przejścia fali wezbraniowej oraz odtworzenia historycznej kompozycji zespołu dworsko-ogrodowego „Wy-



RYSUNEK 1. Lokalizacja zlewni Potoku Służewieckiego do profilu Staw Berensewicza (Banasik i in. 2007)

FIGURE 1. Locality of the upper part of the river catchment of Służew Creek (Banasik et al. 2007)

czółki”. W odbudowę Stawu Berensewicza wchodziły następujące prace: wykop namulów, pogłębienie oraz ukształtowanie skarp i wykonanie urządzeń wodnych dla prawidłowej pracy stawu (ujęcie wody na staw i mnich piętrzący wodę w stawie). Grobla ziemna, otaczająca staw dolny, została wyokrąglona i dostosowana do założeń programowo-przestrzennych rewaloryzacji zabytkowego ogrodu dworsko-ogrodowego „Wyczółki”. Linia brzegowa stawu górnego i wyspy pozostały bez zmian, zagospodarowanie terenu również nie zostanie zmienione. Założeniem projektowym było także przywrócenie funkcji retencjonowania wody przez staw przy przepływie

fali wezbraniowej oraz funkcji krajobrazowych jako stawów parkowych (Sicińska i Wiśniakowski 2002).

Staw Berensewicza został odbudowany przy zachowaniu istniejącej linii brzegowej z wyjątkiem odcinka, gdzie jest grobla oddzielająca staw od Potoku Służewieckiego. Głębokość stawu waha się od 1,5 m przy brzegu do 2,2 m w środkowej części stawu. Doprowadzenie wody do stawu dla utrzymania życia biologicznego odbywa się za pomocą rurociągu o średnicy 0,30 m. Wlot zlokalizowany jest przy progu umieszczonym w Potoku Służewieckim przy stawie górnym. Według założeń projektowych, normalny poziom piętrzenia

w Stawie Berensewicza utrzymywany będzie na rzędnej 18,80 m n.p.o. za pomocą mnicza z leżakiem o średnicy 0,50 m i długości 12 m oraz stojakiem wysokości 2,30 m o piętrzeniu szandorami drewnianymi na wysokość 1,0 m. Wylot mnicza do Potoku Służewieckiego znajduje się na rzędnej 17,90 m n.p.o. Mnicz pozwala na spuszczenie wody ze stawów do rzędnej 17,95 m n.p.o.

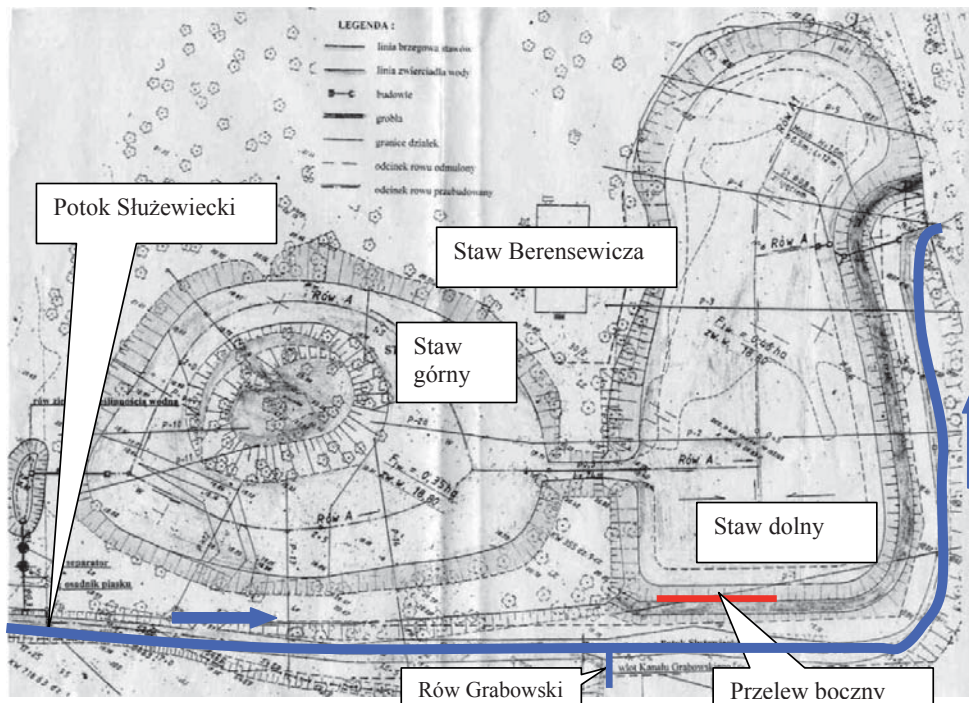
Grobla pomiędzy stawem dolnym, a Potokiem Służewieckim wznosi się na rzędną 19,80 m n.p.o. W północnej części grobli znajduje się obniżenie o 0,30 m i długości 20 m, spełniające rolę przelewu bocznego, przez który woda przelewa się do stawu podczas bardzo dużych wezbrań powodziowych. Grobla ma nachylenie 1 : 3 od strony stawu oraz 1 : 2 od strony potoku i została zlokalizowana w odległości 3–4 m od koryta cieków celem uzyskania pasa terenu do jego konserwacji. Skarpy są umocnione od strony Potoku Służewieckiego materacami siatkowo-kamiennymi o grubości 0,17 m. Korona grobli na pozostałej powierzchni została umocniona obsiewem z traw (Sicińska i Wiśniakowski 2002).

Pojemność stawu dolnego przy NPP (według projektu rzędna NPP = 18,80 m n.p.o.) wynosi 6970 m³, a stawu górnego 4550 m³. Łączna rezerwa powodziowa Stawu Berensewicza do rzędnej korony grobli (tj. od NPP do rzędnej 19,80 m n.p.o.) wynosi 10 180 m³ (tj. 5860 m³ i 4320 m³ odpowiednio stawu dolnego i górnego), natomiast do rzędnej jezdni ulicy Łączyny (20,70 m n.p.o.) wielkość ta wynosi 20 200 m³. Całkowita rezerwa powodziowa w obliczeniach transformacji fali wezbraniowej przez Staw Berensewicza została zwiększona o pojemność samego koryta i pasa przyległego,

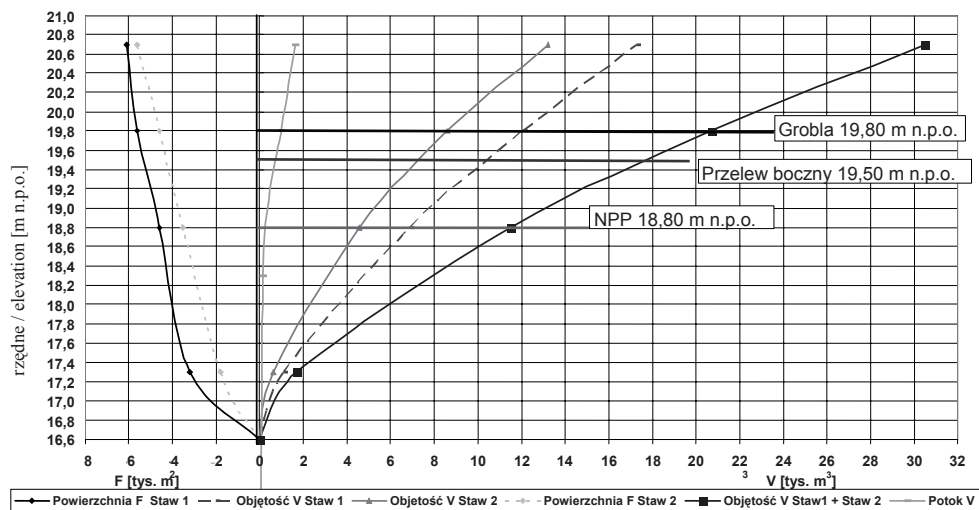
która przy rzędnej 20,70 m n.p.o. wynosi około 2600 m³ (czyli łącznie wzrasta do 22 800 m³).

Schemat sytuacyjny Stawu Berensewicza i Potoku Służewieckiego przedstawiono na rysunku 2, natomiast na rysunku 3 i w tabeli 1 przedstawiono podstawowe charakterystyki Stawu Berensewicza. Działanie redukujące przepływ kulminacyjny przy przechodzeniu fali wezbraniowej rozpoczyna się w zasadzie, kiedy zwierciadło wody w cieku przekroczy rzędną korony przelewu, wynoszącą 19,50 m n.p.o. (tj. przy napełnieniu cieków $h > 1,50$ m). Ta część wody, która wypełni staw do rzędnej przelewu, podlega detencji (zatrzymaniu i powolnemu wypływowi), gdyż wypłynąć może jedynie przez mnicz, a natężenie wypływu uzależnione jest od różnicy poziomów w stawie i korycie cieków oraz parametrów mnicza. Wielkość ta określana będzie jako pojemność detencyjna (V_d), natomiast pozostała objętość wody, znajdująca się w korycie, terenie przyległym (na tarasach zalewowych) i w stawie powyżej rzędnej korony przelewu, nazywana będzie pojemnością retencyjną lub krótko retencją (R). Wielkości te wynoszą odpowiednio: $V_d = 6180$ m³ i $R_{rz20,70} = 16 600$ m³ ($20 200 - 6180 + 2620$).

Z uwagi na obserwacje warunków panujących w Stawie Berensewicza, wskazujące, że piętrzenie na stawie było zwykle niższe niż NPP (z powodu braku szandorów na mniczu rzędna zwierciadła wody w stawie była równa rzędnej w cieku, maj 2007), pojemność detencyjną do obliczeń transformacji fali przez zbiornik przyjęto większą o objętość zawartą między NPP a zaobserwowaną rzędną wynoszącą 18,14 m n.p.o., tj.



RYSUNEK 2. Schemat sytuacyjny Stawu Berensewicza i Potoku Służewieckiego
 FIGURE 2. Locality scheme of the Berensewicz Pond and the Służewek Creek



RYSUNEK 3. Wykres wartości charakterystycznych Stawu Berensewicza
 FIGURE 3. Graph of characteristics the the Berensewicz Pond

TABELA 1. Powierzchnie i pojemności Stawu Berensewicza przy różnych napełnieniach
 TABLE 1. Area and capacity of the Berensewicz Pond for different water stages

Punkty charakterystyczne Characteristics points	Rzędne [m n.p.o.] Elevation	Staw dolny / Lower pond				Staw górny / Upper pond				Razem / Total				Potok / Creek		
		A [m ²]	ΔV [m ³]	V [m ³]	R [m ³]	A [m ²]	ΔV [m ³]	V [m ³]	R [m ³]	A [m ²]	ΔV [m ³]	V [m ³]	R [m ³]	Rzędne [m n.p.o.]	ΔV [m ³]	V [m ³]
Dno stawu Pond bottom	16,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krawędź dna i skarp grobli Lower edge of escarp	17,30	3200	1120	1120	0	1750	612	612	0	4950	1732	1732	0			
Normalny poziom piętrzenia Normal water level	18,80	4600	5850	6970	0	3500	3930	4550	0	8100	9780	11500	0	18,30	37	37
Przelew boczny Lateral outflow	19,50	5290	3470	10400	3470	4267	2710	7260	2710	9560	6181	17700	6180			
Koona grobli Levee level	19,80	5580	2390	12800	5860	4610	1610	8870	4320	10190	4010	21700	10200	19,80	1150	1190
Teren przy ul. Łączyny Level of Łączyny street	20,70	6440	5410	18200	11230	5630	4610	13400	8930	12000	10000	31700	20200	20,70	1420	2620

o 4320 m³. Rezerwa detencyjna stawu przy rzędnej zwierciadła wody równej rzędnej korony przelewu bocznego (odpowiadająca pojemności powodziowej przy tej rzędnej) wzrasta w tej sytuacji z 6180 m³ (tab. 1) do 10 500 m³. Przy wzroście zwierciadła wody do rzędnej 19,80 m n.p.o. rezerwa powodziowa (równa sumie pojemności detencyjnej i retencji) wzrasta do 27 100 m³ ($V_d = 10 500 \text{ m}^3$ i $R_{rz20,70} = 16 600 \text{ m}^3$).

Hydrogramy wezbrań przyjęte do obliczeń i metoda transformacji fali wezbraniowej przez Staw Berensewicza

Hydrogramy wezbrań

Hydrogramy te w profilu Stawu Berensewicza wyznaczono za pomocą modelu opad-odpływ jako reakcje zlewni, odpowiednio z Okęcia i Rowu Grabowskiego, na krótkotrwały opad ($D = 2 \text{ h}$), o prawdopodobieństwie przewyższenia $p = 1\%$. Wysokość takiego opadu, wyznaczona według formuły IMGW (Bogdanowicz i Stachy 1998), wynosi 58,7 mm, natomiast warstwa odpływu (zależna także od rodzaju gleb i użytkowania danej zlewni cząstkowej) – odpowiednio 16,4 mm z Okęcia (Florczak 2007) i 12,7 mm ze zlewni Rowu Grabowskiego (Sikorska 2007). W obydwu przypadkach chwilowe hydrogramy jednostkowe wyznaczone zostały na podstawie cech fizjograficznych zlewni według metody SCS (Banasik i in. 2000). Do oceny redukującego działania Stawu Berensewicza na przepływy kulminacyjne wybrano hydrogram odpływu z części zlewni Potoku Służewieckiego, obejmującej Okęcie,

a następnie hydrogram odpływu z całej zlewni, będący sumą rzędnych odpływu z obydwu zlewni cząstkowych – Okęcia i Rowu Grabowskiego. Hydrogramy te przedstawiono na rysunku 4.

Opis metody transformacji fali wezbraniowej przez Staw Berensewicza

Fala wezbraniowa przy przejściu przez zbiornik retencyjny bądź przez jezioro ulega deformacji polegającej na spłaszczeniu, a więc obniżeniu i opóźnieniu przepływu kulminacyjnego, a także wydłużeniu czasu trwania wezbrania. Wyznaczenie deformacji fali powodziowej opiera się na matematycznym rozwiązaniu związku między dopływem, odpływem oraz magazynowaniem wody w zbiorniku w funkcji czasu. Wszystkie te elementy w czasie przejścia fali wezbraniowej ulegają zmianom, dlatego ich wzajemny związek rozpatrywany jest dla bardzo krótkich przedziałów czasowych (dt). Przy założeniu, że w bilansie wodnym fali wezbraniowej straty na parowanie i filtrację na rozpatrywanym odcinku ciekłu i zbiornika są zanedbywalnie małe, wówczas w dowolnym punkcie czasowym t , różnica między dopływem, $Q_D(t)$, do zbiornika i odpływem, $Q(t)$, ze zbiornika jest równa zmianie retencji, dR/dt (ilości wody w zbiorniku), co zapisać można równaniem:

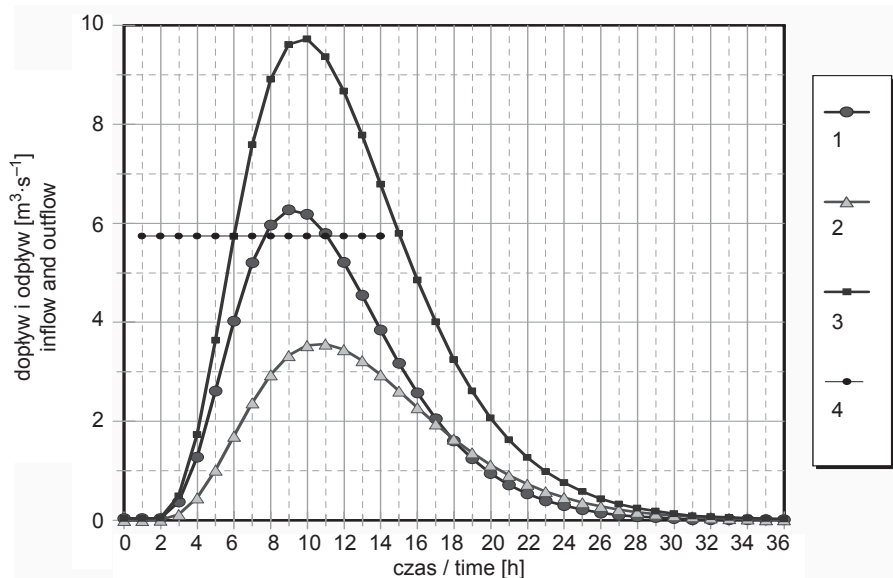
$$Q_D(t) - Q(t) = \frac{dR}{dt} \quad (1)$$

gdzie:

$Q_D(t)$ – dopływ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

$Q(t)$ – odpływ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

R – retencja zbiornika [m^3].



RYSUNEK 4. Hydrogramy dopływu do Stawu Berensewicza, wywołanego deszczem $P_{1\%,2h}$ (o prawdopodobieństwie $p = 1\%$ i czasie trwania $D = 2$ h): 1 – w zlewni Okęcia, 2 – w zlewni Rowu Grabowskiego, 3 – sumaryczny z 1 i 2, 4 – przepływ w potoku, powyżej którego następuje przelewanie się wody przez przewał do Stawu Berensewicza

FIGURA 4. Inflow hydrographs to Berensewicz Pond, caused by rain event $P_{1\%,2h}$: 1 – in the Okęcie subcatchment, 2 – in the Rów Grabowski subcatchment, 3 – summarised of 1 and 2, 4 – discharge in the channel above which lateral outflow starts

Dla przypadku, kiedy zwierciadło wody dopływającej do Stawu Berensewicza przekroczy rzędną korony przelewu bocznego i część dopływu wezbraniowego wypełni wcześniej zdefiniowaną pojemność detencyjną stawu, aby ponownie powrócić do ciekę poprzez mnich dopiero w okresie opadających stanów, zależność bilansową dopływu, odpływu i retencji można przedstawić graficznie (rys. 5) oraz w postaci następujących równań:

$$Q_{Dr}(t) - Q(t) + Q_u = \frac{dR}{dt} \quad (2)$$

gdzie:
 $Q_{Dr}(t)$ – dopływ zredukowany [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 wyznaczony z zależności:

$$Q_{Dr}(t) = Q_D(t) - Q_p \quad (3a)$$

$$\text{dla } h > h_p \text{ i } \int_0^t Q_p dt < V_d,$$

$$Q_{Dr}(t) = Q_D(t) \quad (3b)$$

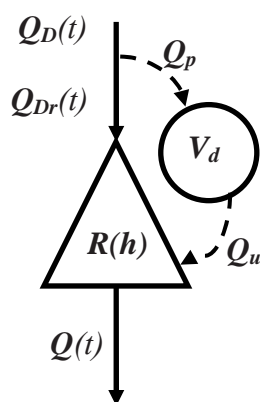
dla pozostałych przypadków,
 Q_p – wydatek przelewu bocznego [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 Q_u – odpływ ze stawu przez mnich [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 wyznaczony z zależności:

$$Q_u = \begin{cases} \mu A \sqrt{2g(h_s - h)} & \text{dla } h_s > h, \\ 0 & \text{dla } h_s \leq h, \end{cases} \quad (4)$$

h – napętnienie ciekę [m],
 h_p – napętnienie ciekę, przy którym następuje zrównanie rzędnej zwierciadła

wody z rzędną korony przelewu boczne-
go ($h_p = 1,50$ m),
 h_s – napelnienie stawu względem dna
cieku [m],
 V_d – pojemność detencji [m^3],
 μ , A – parametry mnicha (odpowiednio
współczynnik wydatku i powierzchnia
przekroju poprzecznego leżaka).

Obliczenia przeprowadzono dla
przedziałów czasowych $\Delta t = 1$ h za po-
mocą arkusza kalkulacyjnego Excel,
wykorzystując zależności $(R/\Delta t + Q/2) =$
 $= f(h)$ oraz $Q = f(h)$, zapisane w formie
tabelarycznej, stosując zmodyfikowaną
metodę Pulsa (Qrłowski 1977). Zależ-
ności $Q = f(h)$, charakteryzującej zwykle
wydatek urządzeń upustowych zbiornika,
w przypadku Stawu Berensewicza
odpowiada zależność opisująca wydatek
przepustu pod ulicą Łączyny.



RYSUNEK 5. Schemat zależności elementów
bilansu wodnego wezbrania w Stawie Berense-
wicza

FIGURE 5. Scheme of the flood period water bal-
ance of the Berensewicz Pond

Wyniki obliczeń i ich analiza

Obliczone hydrogramy wypływu ze
Stawu Berensewicza wraz z hydrogramami
dopływu do zbiornika i hydrogramami

mi zredukowanymi o natężenie przelewu
bocznego (tj. ilości wody detencjonowa-
nej w stawie), a także napelnienia koryta
Potoku Służewieckiego i stawu w trakcie
wezbrania przedstawiono na rysunkach
6 i 7. Hydrogramy na rysunku 6 są reak-
cją części zlewni Potoku Służewieckiego
(hydrogram dopływu) i Stawu Berense-
wicza (hydrogram dopływu – zreduko-
wany i hydrogram odpływu), obejmują-
cej Okęcie, na opad o prawdopodobień-
stwie przewyższenia 1% i czasie trwania
2 godziny. Hydrogramy na rysunku 7 są
odpowiednią reakcją na taki sam opad,
lecz występujący w całej zlewni Poto-
ku (obejmującej zarówno Okęcie, jak
i zlewnię Rowu Grabowskiego) powyżej
Stawu Berensewicza.

Dla ilościowej oceny działania Sta-
wu Berensewicza, redukującego hydro-
gramy wezbraniowe, zastosowano dwie
miary:

- redukcję bezwzględną przepływu
kulminacyjnego
- redukcję względną przepływu kul-
minacyjnego:

$$\Delta Q = Q_{D\max} - Q_{\max} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (5)$$

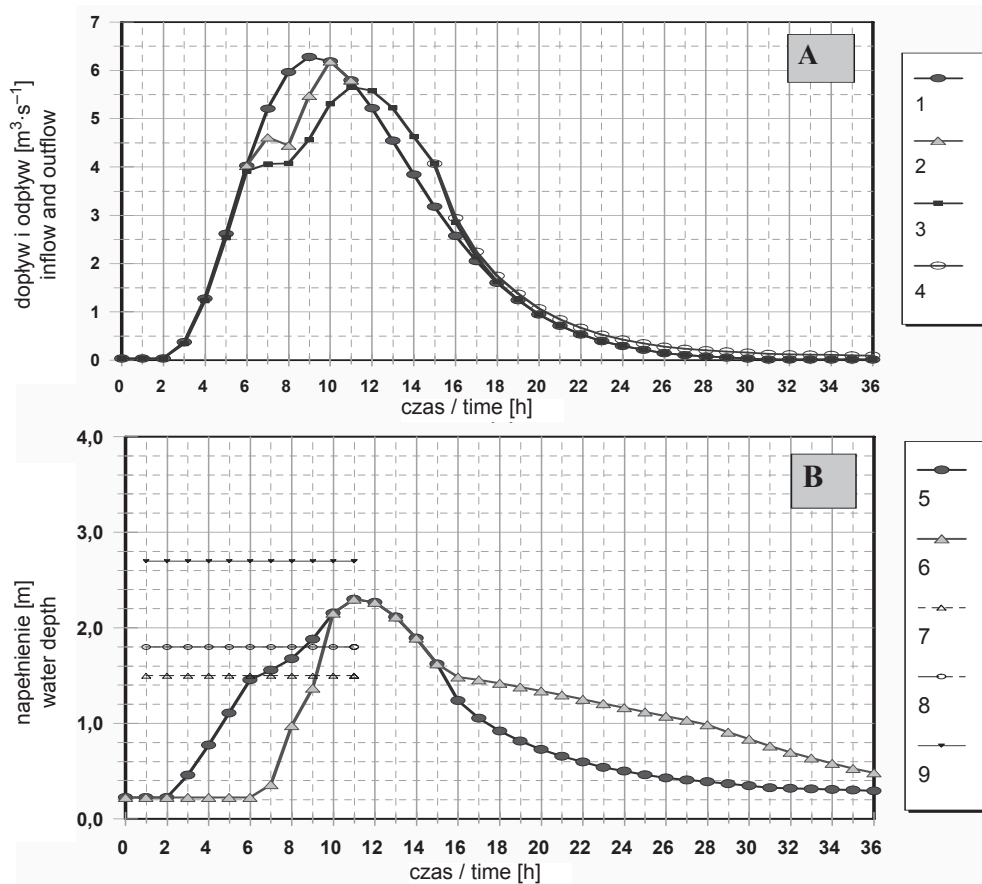
$$\delta Q = \frac{\Delta Q}{Q_{D\max}} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (5)$$

gdzie:

$Q_{D\max}$ – przepływ kulminacyjny hydro-
gramu dopływu [$m^3 \cdot s^{-1}$],

Q_{\max} – przepływ kulminacyjny hydro-
gramu odpływu [$m^3 \cdot s^{-1}$].

W przypadku hydrogramu dopływu
z części zlewni obejmującej Okęcie (rys.
6) uzyskano bezwzględną redukcję prze-
pływu kulminacyjnego o $0,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tj.
z $6,28$ do $5,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), co stanowi 10,0%
redukcji przepływu kulminacyjnego.



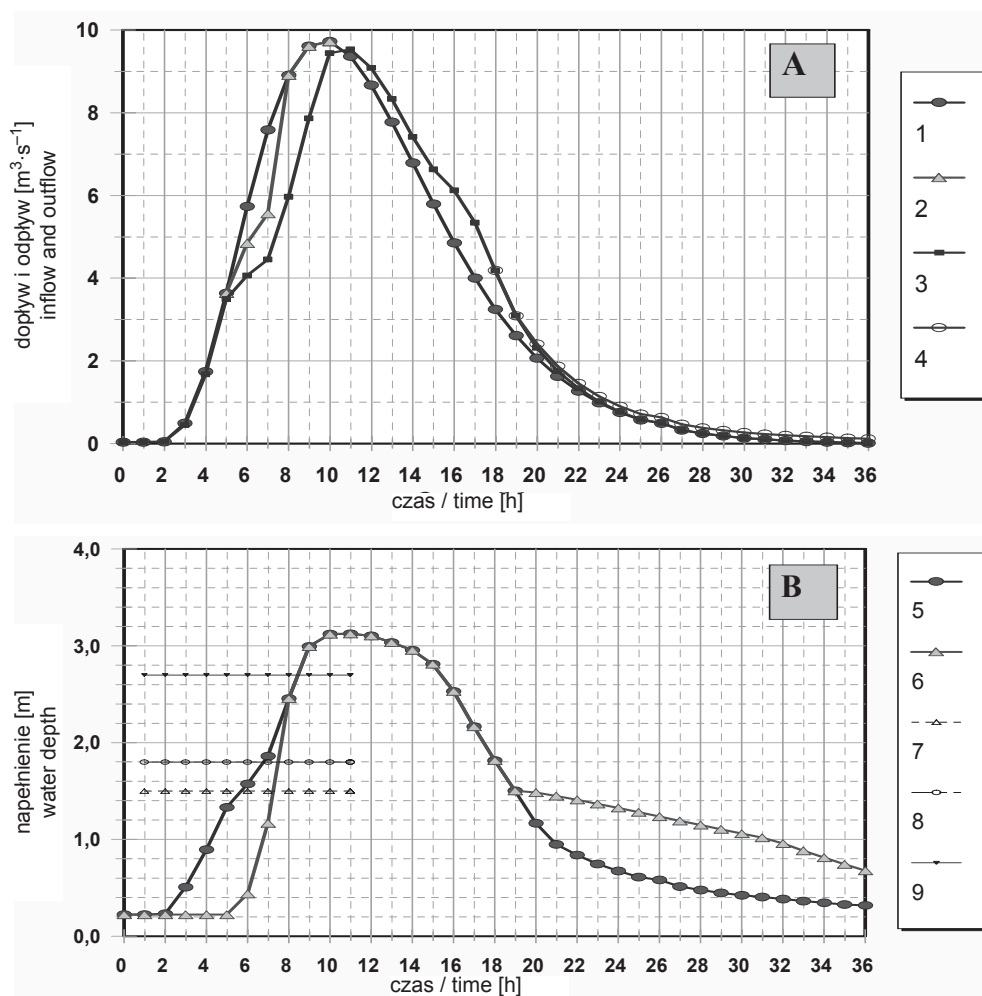
RYSUNEK 6. Hydrogramy dopływu i odpływu (A) oraz napężenia w Potoku Służewieckim i Stawie Berensewicza (B) w wyniku opadu $P_{1\%,2h}$ (o prawdopodobieństwie 1% i czasie trwania 2 h) w części zlewni obejmującej Okęcie (bez zlewni Rowu Grabowskiego): 1 – hydrogram dopływu, 2 – hydrogram dopływu po uwzględnieniu części wody przelewającej się do Stawu Berensewicza (do rzędnej korony przewału), 3 – hydrogram odpływu (bez detencji Stawu Berensewicza do rzędnej korony przewału), 4 – odpływ łączny z wypływem ze Stawu Berensewicza przez mnich, 5 – napężenie w Potoku Służewieckim powyżej przepustu pod ulicą Łączyny, 6 – napężenie w Stawie Berensewicza (przy otwartym mniku), 7 – położenie wysokościowe rzędnej przewału, 8 – położenie rzędnej grobli przy Stawie Berensewicza, 9 – położenie rzędnej ulicy Łączyny.

FIGURE 6. Inflow and outflow hydrographs (A) and water depth in Służew Creek and Berensewicz Pond, caused by rain event $P_{1\%,2h}$ in the Okęcie part of the catchment (without Rów Grabowski sub-catchment): 1 – inflow, 2 – inflow reduced by lateral outflow, 3 – outflow without detention outflow, 4 – total outflow, 5 – water depth in the channel, 6 – water depth in the pond, 7 – level of the lateral overflow, 8 – levee level, 9 – level of Łączyny street

W przypadku hydrogramu dopływu z całej zlewni, a więc znacznie większego (rys. 7), bezwzględna redukcja wynosi $0,26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tj. z $9,73$ do $9,47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), co odpowiada 2,7% redukcji względnej.

Znacznie mniejsza redukcja względna przepływu kulminacyjnego w drugim

z rozpatrywanych przypadków wynika zarówno z całkowitego wypełnienia pojemności detencyjnej stawu przed wystąpieniem kulminacji dopływu, jak i z uwagi na dużą objętość wezbrania i przelania się wody przez jezdnię ulicy Łączyny.



RYSUNEK 7. Hydrogramy dopływu i odpływu (A) oraz napężenia w Potoku Służewieckim i Stawie Berensewicza (B) w wyniku opadu $P_{1\%,2h}$ (o prawdopodobieństwie 1% i czasie trwania 2 h) w zlewni Potoku Służewieckiego do profilu Staw Berensewicza (obejmującej zarówno Okęcie oraz zlewnię Rowu Grabowskiego); oznaczenia jak na rysunku 1

FIGURE 7. Inflow and outflow hydrographs (A) and water depth in Służew Creek and Berensewicz Pond, caused by rain event $P_{1\%,2h}$ in the whole catchment of Służew Creek; notations as in Figure 6

Podsumowanie

W pracy przeprowadzono analizę transformacji dwóch hydrogramów wezbraniowych wywołanych opadem o małym prawdopodobieństwie przewyższenia ($p = 1\%$) i krótkim czasie trwania ($D = 2$ h), występującym w części zlewni Potoku Służewieckiego, obejmującym Okęcie, a następnie w całej zlewni powyżej rozpatrywanego profilu, przez Staw Berensewicza. Wyniki obliczeń wskazują na zróżnicowane wartości uzyskanych redukcji względnych, około 10,0% dla pierwszego (mniejszego, o $Q_{Dmax} = 6,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) z analizowanych hydrogramów oraz niecałe 3,0% dla drugiego (większego, o $Q_{Dmax} = 9,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) hydrogramu dopływu do Stawu Berensewicza. Można z tego wysnuć wnioski, iż wezbrania większe (w tym wywołane opadem o $p = 1\%$ i krytycznym czasie trwania deszczu $D > 2$ h) redukować będą w jeszcze mniejszym stopniu. Przepustowość koryta potoku, przy napełnieniu $h = 1,5$ m (odpowiadającego rzędnej korony przelewu bocznego), wynosi około $5,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jednakże z uwagi na mniejszy wydatek przepustu pod ulicą Łączyny, przy tym samym napełnieniu, i w związku z tym występujące podpiętrzenie poziomu wody w korycie, przelewanie się wody do stawu występuje już przy mniejszych dopływach. Wartości ich zależą od kształtu hydrogramu dopływu i określone być mogą w drodze indywidualnych analiz. W przypadku pierwszego z rozpatrywanych hydrogramów przelew wystąpił w siódmej godzinie, kiedy natężenie dopływu miało wartość $5,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Pomimo znikomego oddziaływania redukującego na bardzo duże wezbra-

nia ($> 9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) oraz na małe wezbrania ($< 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ważne jest oddziaływanie rozpatrywanego obiektu na wezbrania średniej wielkości. Poza oddziaływaniem redukującym przepływy kulminacyjne ważną funkcją Stawu Berensewicza jest także redukcja ładunków zanieczyszczeń w wezbraniach średniej wielkości.

Wiele zastosowanych założeń upraszczających i przyjętych formuł empirycznych w przeprowadzonej analizie każą traktować uzyskane wyniki jako wskaźnikowe. Dla uszczegółowienia analiz wskazane są badania obejmujące m.in.: zweryfikowanie chwilowych hydrogramów jednostkowych i parametrów metody wyznaczania opadu efektywnego na podstawie rejestracji danych opad-odpływ w zlewni, przeprowadzenie obliczeń dla deszczu o różnym czasie trwania (w tym $D > 2$ h) oraz uściślenie zależności hydraulicznych na wydatek przepustu pod ulicą Łączyny, przelewu bocznego oraz mnicha.

Literatura

- BANASIK K., GÓRSKI D., IGNAR S. 2000: Modelowanie wezbrań opadowych i jakości odpływu z małych nieobserwowanych zlewni rolniczych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- BANASIK K., BARSZCZ M., HEJDUK L. 2007: Current and perspective flood flow consequences of land use changes in Sluzew Creek (suburb of Warsaw). In: Special Aspects of Urban Flood Management, Hamburger Wasserbau-Schriften, THH Hamburg 3–16.
- BOGDANOWICZ E., STACHY J. 1998: Maksymalne opady deszczu w Polsce, charakterystyki projektowe. *Materiały Badawcze IMGW* 23, Seria: *Hydrologia i Oceanologia* 85.
- FLORCZAK A. 2007: Przepływy wezbraniowe Potoku Służewieckiego w profilu Stawu Berensewicza. Praca inżynierska. Wydział

- Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.
- GRADOWSKI Ł. 2007. Wpływ zbiornika wodnego Staw Berensewicza na redukcję fali powodziowej. Praca magisterska. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.
- Operat hydrologiczny Potoku Służewieckiego w przekroju ul. Przyczółkowej, 2002. KIWIRŚ SGGW, Warszawa.
- ORŁOWSKI W. 1977: Analiza hydraulicznej retencji fali powodziowej na zbiornikach i w dolinach rzecznych. *Informator Projektanta* 4: 1–22.
- SICIŃSKA B., WIŚNIAKOWSKI M. 2002: Projekt budowlano-wykonawczy. Rekultywacja Stawów Berensewicza. Biuro Projektowo-Uslugowe Wodnych Melioracji, Wodociągów i Kanalizacji MELWODPROJEKT Spółka z o.o., Warszawa.
- SIERADZ T., 2003: Koncepcja programowo-przestrzenna odprowadzania wód ze zlewni Potoku Służewieckiego w Warszawie przy uwzględnieniu obecnego i perspektywicznego zagospodarowania zlewni. War-Mel-Projekt, Warszawa.
- SIKORSKA A. 2007: Wpływ urbanizacji na zmiany przepływów wezbraniowych w zlewni rzecznej Rowu Grabowskiego. Praca inżynierska. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.

drographs generated by rain events of probability of occurrence of 1% and duration 2 hours in a small ($A = 26,9 \text{ km}^2$) urban catchment of Służew Creek (south part of Warsaw) have been routed by detention pond of total flood storage of $27,100 \text{ m}^3$. The IUH, and CN SCS methods were used to estimate the hydrographs. The inflow to the system has been reduced by the lateral outflow to detention part of the pond, when the water level in the channel was over the crest of the side overflow, and when there was free volume in the detention space. Level pool routing (modified Puls) procedure has been used for calculating the outflow hydrograph from the reservoir of known storage-outflow invariable relationship and given inflow hydrograph. Estimated reduction of the peak flow has been about 10% for the smaller flood hydrograph ($Q_{D\max} = 6,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, generated by rainfall on part of the catchment), and below 3% for the larger flood hydrograph ($Q_{D\max} = 9,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, generated by rainfall on the whole catchment).

Summary

Reduction of the flood flow hydrograph by the Berensewic Pond reservoir on the Służew Creek. Two flood flow hy-

Authors' address:

Łukasz Gradowski, Kazimierz Banasik
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacja Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland