

Marta Łapuszek, Hanna Witkowska

METODY SPOWALNIANIA ODPLYWU ZE ZLEWNI GÓRSKIEJ

Streszczenie

Powodzie występujące w ostatnich latach, zwłaszcza na terenie dorzecza górnej Wisły, są powodem powstawania ogromnych strat spowodowanych wylewami niewielkich potoków i rzek górskich. W związku z tym coraz częściej za celowe uważa się podejmowanie prób prowadzących do zahamowania znacznego odpływu już na początku jego tworzenia, czyli przez odpowiednie zagospodarowanie całego obszaru zlewni.

W ostatnich latach dużą uwagę przywiązuje się do proekologicznej regulacji rzek, między innymi do zachowania ich ciągłości, którą przerywają zapory i zbiorniki. W związku z tym zwraca się uwagę na zwiększenie retencji w zlewniach i w korycie rzeki. W latach 90. rozpoczęto we Francji prace nad tzw. „Opóźnianiem Dynamicznym”.

W artykule przedstawiono zastosowanie metody OD do wybranej zlewni potoku Isepnica, który jest dopływem rzeki Soły, w dorzeczu górnej Wisły. Zastosowanie metody dotyczy zagospodarowania zlewni potoku poprzez zaprojektowanie jednoczesnego zagospodarowania stoków oraz koryta wielkiej wody w taki sposób, aby spowolnić odpływ wód i okresowo rozprowadzić nadmiar wody do małych zbiorników (zbiorniki suche) oraz na obszary o małym zagrożeniu. Przedstawiono też wyniki symulacji pracy trzech suchych zbiorników, powstałych w wyniku adaptacji istniejących zniszczonych zapór przeciwrumowiskowych do celu spowolnienia odpływu. Obliczenia zostały przeprowadzone jednowymiarowym modelem matematycznym. Wyniki obliczeń wykazały znaczne spowolnienie odpływu ze zlewni oraz dużą efektywność suchych zbiorników.

Słowa kluczowe: powódź, spowalnianie odpływu, mała retencja, suchy zbiornik przeciwpowodziowy, potoki górskie

WPROWADZENIE

Powodzie występujące w ostatnich latach, zwłaszcza na terenie dorzecza górnej Wisły, wskazały na powstawanie ogromnych strat spowodowanych wylewami niewielkich potoków i rzek górskich. Podczas wezbrań na skutek zmian erozyjnych i uruchamiających się obszarów osuwiskowych znaczne straty powstają również na terenach poza korytami rzek. W związku z tym za celowe uważa się podejmowanie prób prowadzących do zahamowania znacznego odpływu już na początku jego tworzenia, czyli przez odpowiednie zagospodarowanie całego obszaru zlewni.

Oczywiście głównym powodem powodzi są intensywne opady, ale aktywność ludzka w zlewni może pogorszyć sytuację powodziową. Zagospodarowanie zlewni – budowa różnego typu obiektów, dróg może spowodować skrócenie czasu odpływu, a zawężenie koryta wielkiej wody zwiększa koncentrację spływu i w rezultacie wyższe, o krótszej podstawie czasowej fale.

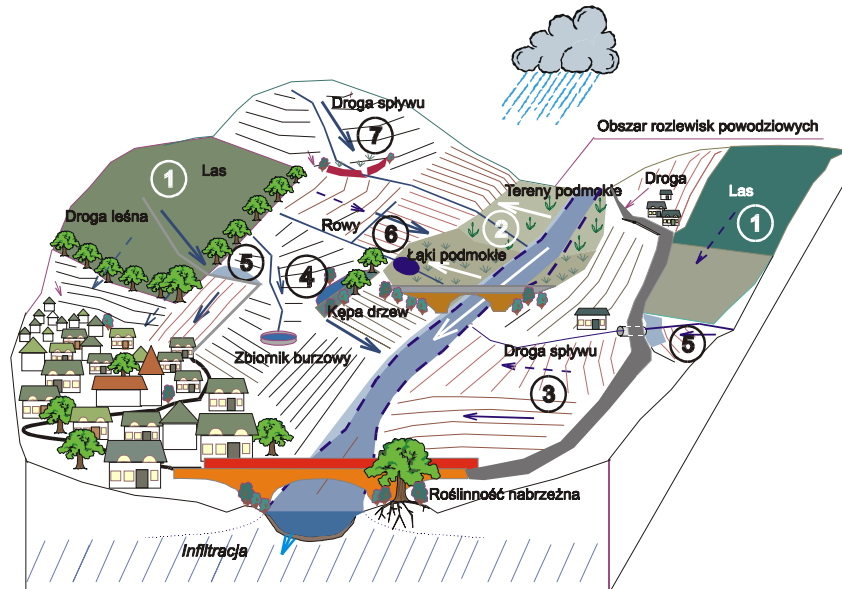
W ostatnich latach dużą uwagę przywiązuje się do proekologicznej regulacji rzek, między innymi do zachowania ich ciągłości, którą przerywają zapory i zbiorniki. W związku z tym zwraca się uwagę na zwiększenie retencji w zlewniach i w korycie rzeki. W latach 90. rozpoczęto we Francji prace nad tzw. „Opóźnianiem Dynamicznym”. Od 1999 roku wspólnie z Instytutem francuskim Cemagref pracujemy w IiGW PK nad rozwinięciem tej metody zwłaszcza dla zlewni górskich [Poulard, Witkowska 2002].

W artykule przedstawiono zastosowanie metody OD do wybranej zlewni potoku Isepnica, który jest dopływem rzeki Soły, w dorzeczu górnej Wisły. Wybrany potok wraz z dopływami jest charakterystyczny dla tego regionu.

OPIS TECHNIKI SPOWALNIANIA DYNAMICZNEGO (OD) OPRACOWANEJ PRZEZ CEMAGREF

Głównym sposobem ochrony jest zaprojektowanie jednoczesnego zagospodarowania stoków oraz koryta wielkiej wody w taki sposób, aby spowolnić odpływ wód i okresowo rozprowadzić nadmiar wody do małych zbiorników (zbiorniki suche) oraz na obszary o małym zagrożeniu. Schematycznie pokazane jest to na rysunku 3.

Obiekty występujące w zlewni, takie jak ścieżki, drogi lokalne, gęste żywopłoty, rowy, groble, czyli elementy przebiegające w sposób liniowy, mają ogromny wpływ na kształtowanie odpływu ze zlewni. Na przykład rów lub droga może zostać zaadaptowana do retencjonowania wody przez spowolnienie odpływu (5), (6) (rys. 1). Oczywiście należy liczyć się z chwilowym ich zalaniem, o czym powinni być poinformowani właściciele tych obiektów. Bardzo istotnym czynnikiem spowalniającym odpływ jest również odpowiednie zagospodarowanie stoków na obszarze zlewni. Sposoby takiego zagospodarowania przedstawiono na rysunku 1 [Le Ralentiement Dynamique... 2004].



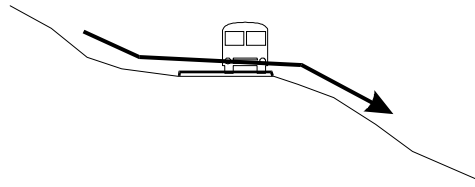
Rysunek 1. Sposoby spowalniania odpływu oraz retencjonowania wody w zlewni: 1. drogi leśne, 2. teren przeznaczony na rozlewisko, 3. łapaczki, 4. małe zbiorniki burzowe, 5. bezpieczne odprowadzenie wody, 6. rowy, 7. suchy zbiornik

Figure 1. Opportunities for slowing down (OD) or temporary retention in a catchment: 1. forest-path, 2. meadows, 3. sediment-trap, 4, 5. outflows, 6. ditch, 7. dry reservoir

Należy podkreślić istotną rolę odpowiedniego zaprojektowania dróg leśnych oraz odprowadzania wody z rowów na obszary niezagrożone osuwiskami. Małe zbiorniczki „łapaczki” wykorzystują naturalne zagłębienia terenu i odsunięcie spływu z debr.

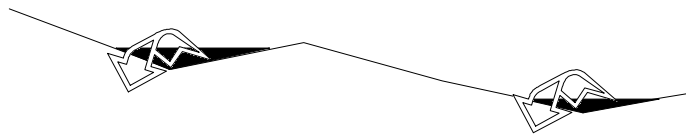
Przekrój poprzeczny

pozwała na spływ powierzchniowy



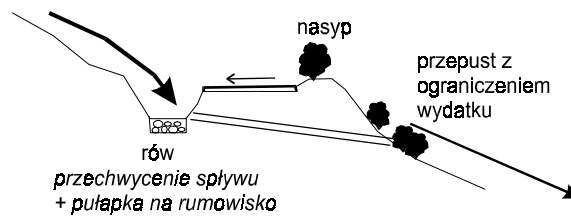
Profil podłużny:

koncentruje przepływ



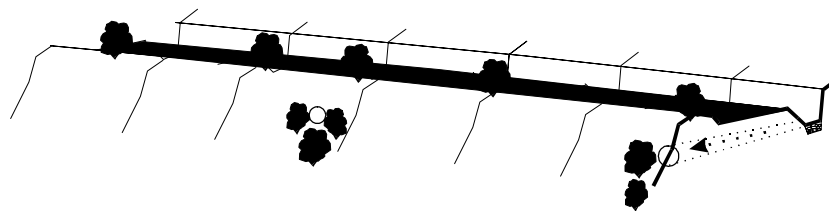
a) *Bez zagospodarowania: droga może przejąć część spływu*

profil poprzeczny:



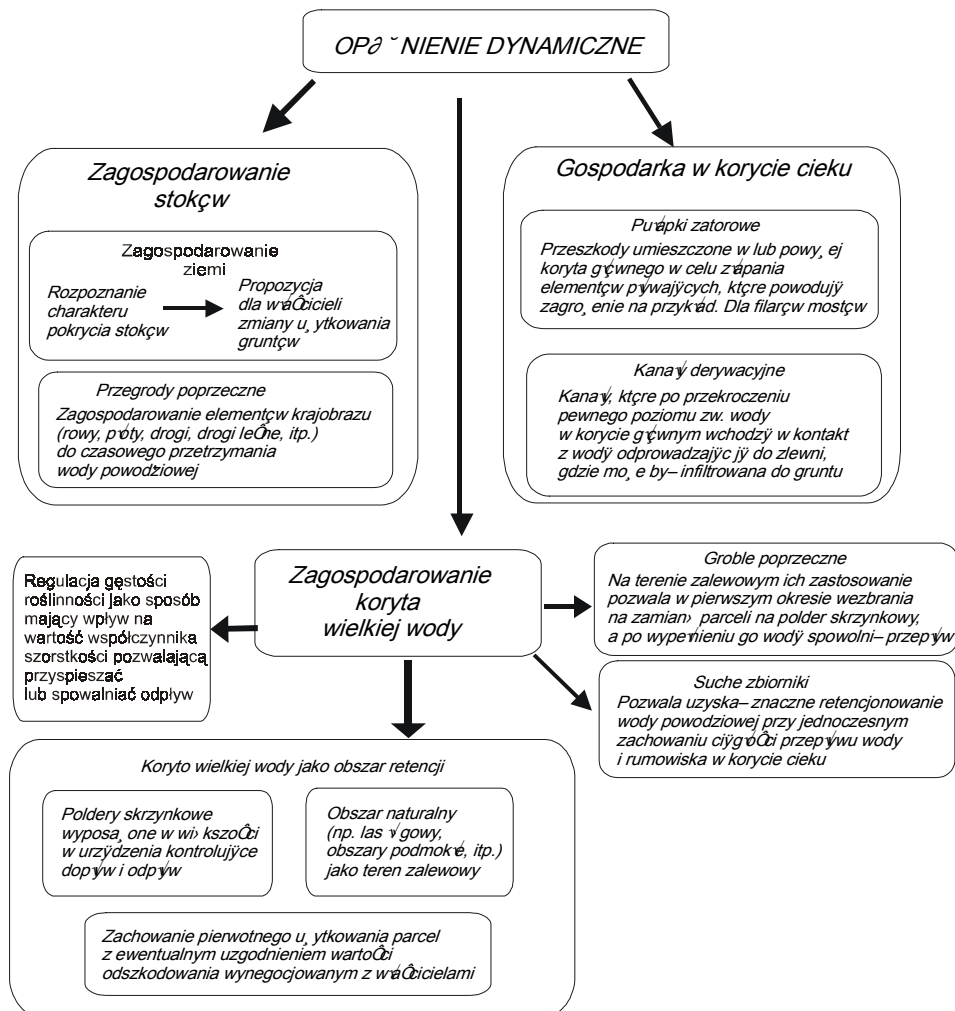
profil podłużny:

nadwyżki są odprowadzone przez przelewy na powierzchnię z narzutem skalnym (pokrytym roślinnością)



b) *Modyfikacje zaproponowane w celu spowolnienia i rozprowadzenia spływu*

Rysunek 2. Metody ograniczenia spływu powierzchniowego
Figure 2. The methods of runoff slowingdown



Rysunek 3. Schemat metody
Figure 3. The diagram of the OD method

OPISY ZLEWNI I EKSPERYMENTALNEGO ODCINKA POTOKU ISPENICA

Zlewnia potoku Isepnica stanowi prawostronny dopływ rzeki Soły, leży w obszarze gminy Czernichów (woj. śląskie) zlokalizowanej na brzegach sztucznych jezior - Międzybrodzkiego i Żywieckiego (rys. 4).



Rysunek 4. Lokalizacja potoku Isepnica
Figure 4. The Isepnica Stream location

Potok Isepnica wraz z jego dopływami charakteryzują typowe cechy potoków górskich (duże spadki terenu, nieprzepuszczalność podłoża, niżówki podczas okresów suchych, gwałtowne wezbrania podczas intensywnych opadów).

Analizowany odcinek potoku Isepnica zlokalizowany jest w km od 1+318 do 2+890. Szczegółowe informacje dotyczące obiektów hydrotechnicznych znajdujących w korycie analizowanego odcinka ciekłu, zestawiono w tabeli (tab. 1).

Tabela 1. Parametry istniejących obiektów hydrotechnicznych
Table 1. Parameters of the hydraulic structures

Km	Typ obiektu	Parametry obiektu [m]			Stan techniczny obiektu
		spad	dł. niecki	dł. czaszy zbiornika	
2+498	zapora przeciwrumowiskowa	7,0	20,0	150,0	zbiornik całkowicie wypełniony rumowiskiem, obiekt w bardzo złym stanie technicznym
2+320	zapora przeciwrumowiskowa	8,0	20,0	160,0	zbiornik całkowicie wypełniony rumowiskiem, obiekt w złym stanie technicznym
1+389	zapora przeciwrumowiskowa	około 4,0		około 40,0	obiekt bardzo zniszczony – pęknięcia betonu wywołane silną erozją w stanowisku dolnym, co grozi awarią zapory

Zlewnia potoku Isepnica jest niekontrolowana, dlatego brak jest wieloletnich pomiarów stanów i przepływów. W związku z przewidywanym zagospodarowaniem typu OD koniecznym było zbudowanie specjalnego modelu hydrologicznego opad-odpływ (model One-Second) [Witkowska i in. 2003]. Jako założenie do modelu przyjęto najniekorzystniejszy przypadek zlewni nasyconej.

ZABUDOWA TYPU OD W ZLEWNI POTOKU ISPINICA

Zaproponowano zagospodarowanie oparte na koncepcji OD – spowolnienie, wydłużenie czasu przebiegu fali, przy zachowaniu ciągłości cieków. Zagospodarowanie zlewni wybrano ze względu na charakterystykę terenu, to jest jednocześnie wykorzystanie możliwości topograficznych (terasy), jak też wykorzystanie struktur wybudowanych przez ludzi (drogi).

Na stokach, zaproponowano wykorzystanie istniejących lub przyszytych dróg leśnych (rys. 2) tak, aby nie tylko ograniczyć ich rolę przyspieszającą odpływ, ale przystosować do spowolnienia odpływu przez rozproszenie [Le Ralentissement Dynamique... 2004].

Dla cieków drugorzędnych, a zwłaszcza okresowych są przewidywane dwa typy zagospodarowania:

1. Zagospodarowanie zlewni (rys. 5):

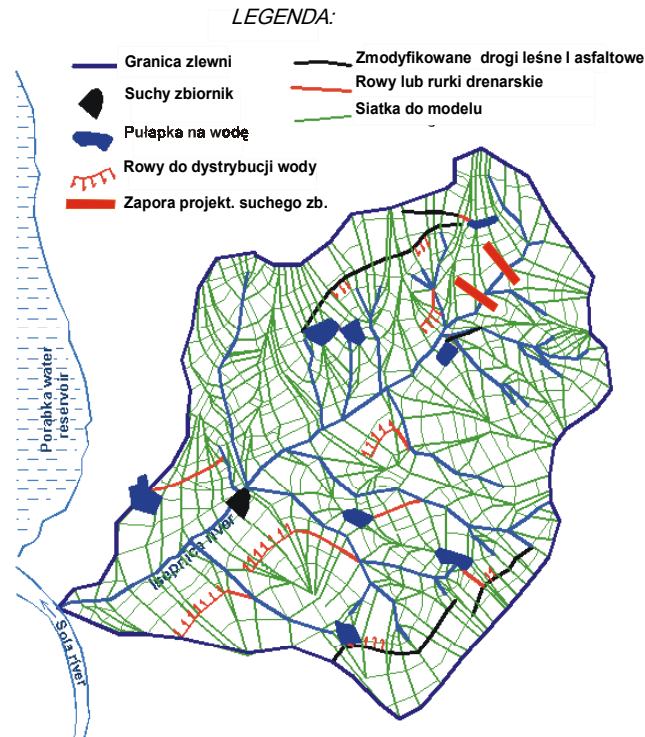
– w celu opóźnienia i rozprowadzenia wód wezbraniowych odprowadzające kanały poprzeczne w celu wydłużenia drogi przepływów powodziowych,

– zagospodarowanie obniżen terenu (terasy stokowe), które mogą stanowić, po odpowiednim przystosowaniu, rodzaje zbiorników suchych (łapaczki) wypełnianych w czasie powodzi. Jeżeli te obniżenia terenu nie są usytuowane na drodze cieków, należy wprowadzić system odprowadzania do nich wody ponadwymiarowej z cieków lub ze spływu powierzchniowego (rys. 7).

2. Zagospodarowanie w korycie potoku:

– wykorzystanie istniejących zniszczonych budowli hydrotechnicznych jako suchych zbiorników przeciwpowodziowych.

Dwie zapory przeciwrumowiskowe, zlokalizowane w km 2+320 oraz km 2+498, po wybraniu rumowiska z czasz zostaną zmodernizowane jako suche zbiorniki przeciwpowodziowe. Mocno uszkodzona zapora suchego zbiornika (lub zapory) istniejącego (km 1+389) zostanie poddana remontowi, aby ponownie mogła spełniać w pełni swoją funkcję.



Rysunek 5. Zastosowanie metody OD w zlewni Isepnicy
Figure 5. The OD method application to the Isepnica catchment

Zadaniem suchego zbiornika jest utrzymanie znacznej retencji przy jednoczesnym spełnieniu podstawowego zadania OD, czyli nieprzerwywania ciągłości płynięcia wody i rumowiska. Aby zbiornik nie zaburzał równowagi cieku, nie przegradza się koryta głównego, zapora przegradzająca koryto wielkiej wody wyposażona jest w upust zawsze otwarty.

Upust denny jest wymiarowany na przepływ nienaruszalny (p10%). Jest to ilość wody, która podczas gromadzenia się wód powodziowych w zbiorniku powinna stale zasilać koryto poniżej. W celu sprawdzenia oczekiwanego funkcjonowania zaproponowanych zbiorników w miejsce zniszczonych zapór przeprowadzono symulację ich współpracy.

Symulacja została przeprowadzona jednowymiarowym modelem RubarBE dla 31 przekrojów poprzecznych dolinowych, będących w stanie po opróżnieniu czasz istniejących zbiorników z zalegającego

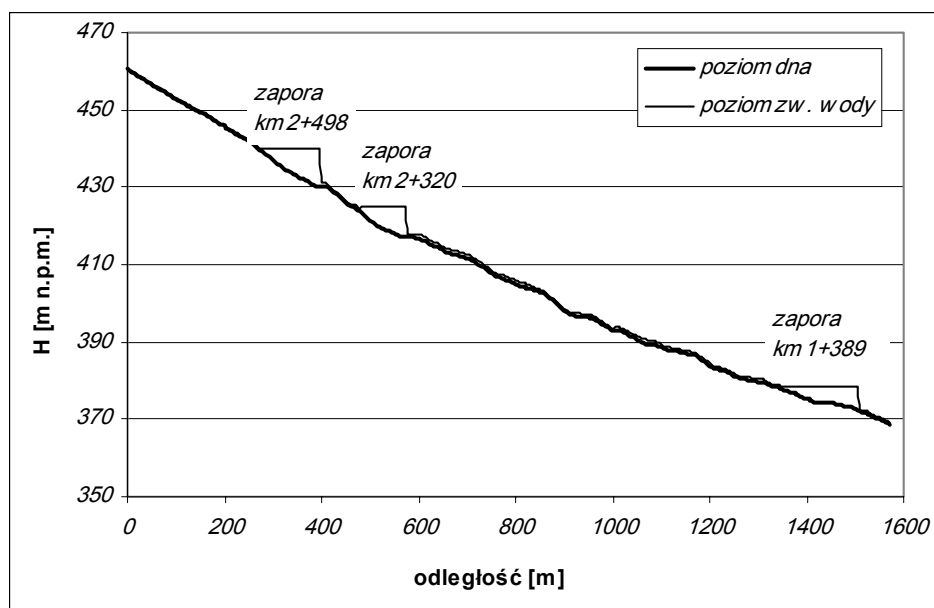
w nich rumowiska. Dla celów obliczeniowych został zmieniony kilometr odcinka na: km 0+000 – 1+572. Obliczenia przeprowadzono dla fali o kulminacji $Q=41 \text{ m}^3/\text{s}$, dla koryta o dnie stabilnym, tzn. bez uwzględnienia transportu rumowiska.

Obliczenia przeprowadzono dla następujących scenariuszy (rys. 7):

1. Działanie wyremontowanego suchego zbiornika (zniszczonej zapory) istniejącego w km 1+389, brak zapór powyżej.

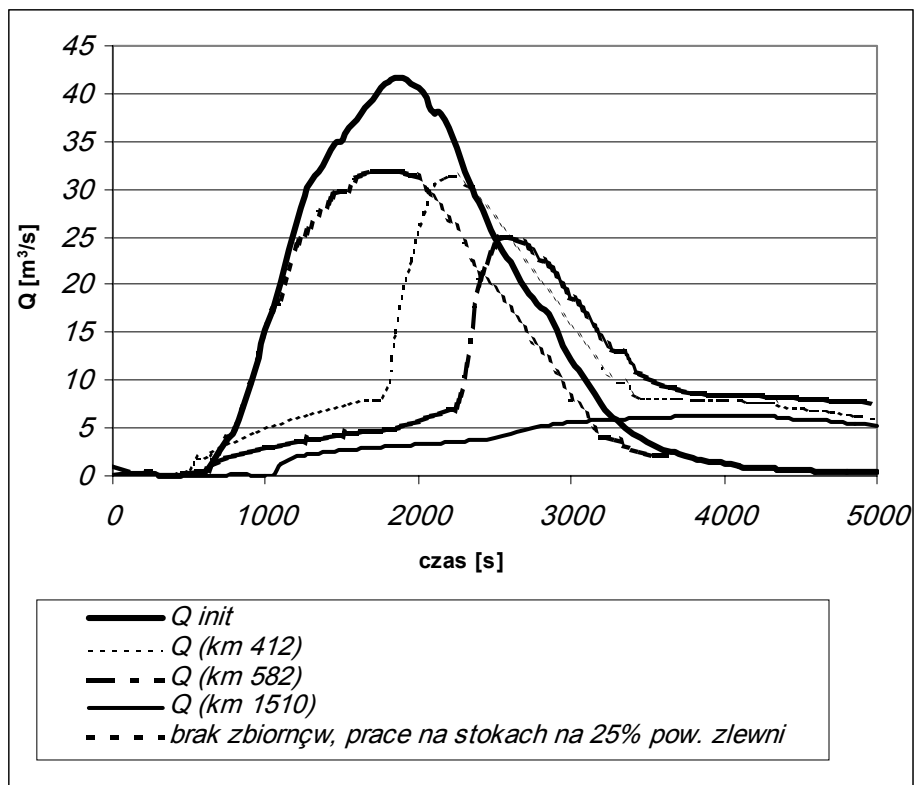
2. Współdziałanie istniejącego suchego zbiornika (km 1+389) z jedną z zapór wyremontowanych i działającą jako zbiornik w km 2+498.

3. Współdziałanie istniejącego suchego zbiornika (km 1+389) z obiema zaparami działającymi jako suche zbiorniki (km 2+320 oraz km 2+498).



Rysunek 6. Wyniki symulacji współpracy suchych zbiorników na potoku Isepnica

Figure 6. The results of simulation of the dry reservoirs cooperation on the Isepnica Stream



Rysunek 7. Hydrogramy fal
Figure 7. The flood waves hydrograms

W wyniku pracy istniejącego suchego zbiornika w dolnym biegu odcinka (km 1+389) fala została zmniejszona do kulminacji $Q = 21,38 \text{ m}^3/\text{s}$, wypełniając jednocześnie cały zbiornik, którego pojemność wynosi 12,76 tys. m^3 .

Druga symulacja została przeprowadzona dla współdziałania istniejącego suchego zbiornika (km 1+389) z jedną z zapór wyremontowanych i działającej jako zbiornik w km 2+498. Zapora pierwszego suchego zbiornika zmniejsza kulminację fali do wartości $Q = 31,35 \text{ m}^3/\text{s}$, która została przechwycona przez drugi zbiornik, wypuszczając przepływ o wartości $Q = 6,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Wartość przepływu Q 10% dla eksperymentalnego odcinka wynosi $7,15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Przeprowadzono też symulację dla przypadku, gdy działają dwie zapory jako suche zbiorniki z istniejącym zbiornikiem. Zapora pierw-

szego suchego zbiornika zmniejsza kulminację fali do wartości $Q = 31,35 \text{ m}^3/\text{s}$, zapora druga zmniejsza przejętą falę do kulminacji wynoszącej $Q = 24,55 \text{ m}^3/\text{s}$. Suchy zbiornik zlokalizowany na końcu odcinka przejmuje pozostałą część fali, wypuszczając ze zbiornika przepływ zbliżony do wartości przepływu nienaruszalnego $Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$.

OPIS METODY OBLICZENIOWEJ

Obliczenia dotyczące ustalenia parametrów hydraulicznych suchych zbiorników zastosowanych na odcinku potoku Isepnica zostały wykonane jednowymiarowym modelem matematycznym RubarBE [Paquier 2003]. Model ten opracowano we francuskim Instytucie Naukowym Cemagref w Lyonie. Model rozwiązuje zagadnienie związane z ruchem zmiennym wody z uwzględnieniem transportu rumowiska w korycie ciekłu. Ponadto uwzględnia on pracę pod kątem hydraulicznym obiektów hydrotechnicznych (zapory), określa też hydrogramy końcowe w wybranych interpolowanych przekrojach poprzecznych koryta, co umożliwi nam uzyskanie informacji na temat pracy zbiorników pod kątem zmniejszenia kulminacji fali.

Model rozwiązuje układ równań Saint Venant'a dla przepływu wody:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z}{\partial x} = -g \frac{Q^2}{K^2 A R^{4/3}} + kq \frac{Q}{A} \quad (2)$$

gdzie:

- t – czas (s),
- x – kierunek przepływu wody (m),
- A – pow. przekroju (m^2),
- Q – przepływ (m^3/s),
- q – dopływ boczny (m^2/s),
- R – promień hydrauliczny (m),
- z – poziom wody (m),
- g – przyspieszenie ziemskie (m/s^2),
- K – współ. Manninga ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$),
- β – współ. Boussinesqa.

oraz równanie ciągłości:

$$(1-p) \frac{\partial A_s}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = q_s \quad (3)$$

gdzie:

A – pow. przekroju (m^2),

Q_s – przepływ rumowiska (m^3/s),

q_s – dopływ rumowiska (m^2/s).

Model rozwiązuje klasyczną formułę transportu rumowiska

$$C_s = \frac{8La\sqrt{g}}{(\rho_s - \rho)\sqrt{\rho}} (\rho_s J R - 0.047 D_{50} (\rho_s - \rho))^{3/2} \quad (4)$$

gdzie:

C_s – współ. transportu rumowiska (m^3/s),

D_{50} – średnica miarodajna rumowiska (m),

J – spadek, La – szerokość aktywna (m),

ρ_s – gęstość rumowiska (kg/m^3),

ρ – gęstość wody (kg/m^3).

Formuła ta w zależności od zastosowania może być modyfikowana pod kątem zmiany współczynników i może być dostosowana do konkretnego przypadku obliczeniowego. Materiał tworzący dno koryta jest reprezentowany przez średnicę D_{50} .

WNIOSKI

1. Zabudowa zlewni typu OD umożliwia, stosunkowo niedużymi zabiegami, zwiększenie retencji zlewni, przeprowadzenie wody poza tereny osuwisk i usunięcie negatywnych wpływów dróg i debr. Jednak poza drogami wymaga utrzymywania zabudowy, co może stanowić problem.

2. Suche zbiorniki są bardziej efektywne, ale też kosztowniejsze i nie rozwiązują problemów na stokach. Należy podkreślić, że na potokach górskich muszą działać samoczynnie.

3. Zgodnie z ERD powinniśmy dążyć do bardziej naturalnego stanu rzek i potoków, zastosowanie OD w górnych odcinkach potoków umożliwi zabudowę poniżej bez konieczności budowy żłobów.

4. Duża część zapór przeciwrumowiskowych jest całkowicie zalądowana i zniszczona, zamiana ich na suche zbiorniki może być efektywną metodą ich remontowania wraz z zamianą funkcji.

5. Proponuje się wykonanie obliczeń z uwzględnieniem usuwania etapowego rumowiska odłożonego w zaporach przeciwrumowiskowych.

BIBLIOGRAFIA

- Le Ralentissement Dynamique pour la prevention des inondations*, Guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écretement dans de petit ouvrages, CEMAGREF, septembre 2004.
- Paquier A. *What are the problems to be solved by a 1 – D river sediment transport model? Example of RubarBE software*, Selected Problems of Water Engineering, Politechnika Krakowska – Cemagref – results of cooperation, 9–11 october 2003, seminary, Cemagref Editions, BP 44, 92163 Antony, France.
- Poulard C., Witkowska H. *Ralentissement Dynamique des crues par des aménagements repartis tete de Bassins*, programme »Polonium », Lyon-Kraków 2002.
- Witkowska H., Szczęsny J., Radzicki K., Wątroba R., Poulard C. *Dimensioning of dynamic slowdown hydraulic structures located in a catchment*, Conference EcoFlood, Warsaw 6–13 September 2003.

dr inż. Marta Łapuszek
dr inż. Hanna Witkowska
Politechnika Krakowska
Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
mlapusz@smok.wis.pk.edu.pl
hwitkows@smok.wis.pk.edu.pl

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Tadeusz Bednarczyk

Marta Lapuszek, Hanna Witkowska

DYNAMIC SLOW DOWN IN THE MOUNTAINOUS CATCHMENT

SUMMARY

The last years' floods, in particular in the Upper Vistula Catchment, caused serious damages by inundations by small torrents and mountainous rivers. It was proved that hydraulic works and land-use changes usually induce an acceleration of runoff throughout the catchment, which can locally enhance erosion, damage river ecosystems and worsen floods. The "Dynamic Slow Down" concept therefore promotes slowing down, using transverse obstacles or small retention works. In accordance with sustainable development, DSD claims that hydraulic projects must be planned at catchment-scale and must take all the stakes into account, including ecological issues.

Cemagref and Cracow Institute of Water Engineering worked on from 1999 a DSD feasibility study in the Polish Isepnica catchment. In the present paper we continue the work including the simulation of the change of three sediment check in dams dry reservoirs. To deal with flood and erosion problems, they proposed small works in hillslopes and a dry reservoirs.

In the paper the DSD methods were applied to Isepnica Torrent (Soła River Tributary). Implementation consists on simultaneous management of the hillslopes and the river bed in order to slow down the runoff, to store temporally water in small reservoirs and in the areas of small risk.

The results of the simulation for three dry reservoirs (transformed sediment check dams) used are presented. The computations were done by one dimension numerical model of Saint-Venant equations. The computation results showed the significant slowing down of the runoff from the catchment and the effectiveness of the dry reservoirs

Key words: flood, dynamic slow down, small storage, dry reservoir, mountain torrents