INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 9/2009, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 143–154
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Anna Lenar-Matyas, Marta Łapuszek, Christine Poulard, Paul Royet

SKUTECZNOŚĆ DZIAŁANIA SUCHYCH ZBIORNIKÓW PODCZAS POWODZI: ANALIZA WYBRANYCH ZBIORNIKÓW WE FRANCJI

THE STUDY ON DRY DAMS EFFICIENCY DURING THE FLOOD EVENTS: THE ANALYSIS OF SELECTED DRY DAMS IN FRANCE

Streszczenie

Występowanie gwałtownych opadów atmosferycznych jest obecnie coraz częściej powodem powstawania wielu poważnych zniszczeń. Konieczne jest więc podejmowanie działań związanych z ochroną przeciwpowodziową, przy jednoczesnym staraniu o utrzymanie naturalnej dynamiki przepływu wód, z zachowaniem habitatu korytarza cieku. Efekt zmniejszenia kulminacji fali powodziowej, przy jednoczesnym zachowaniu ciągłości przepływu wody i rumowiska w cieku, można uzyskać przez zastosowanie suchego zbiornika przeciwpowodziowego. W pracy przeanalizowano skuteczności działania wybranych, zlokalizowanych na południu Francji, suchych zbiorników podczas powodzi. Z analiz wynika, że w niektórych przypadkach zbiorniki nie spełniły swojej funkcji, z powodu ich niepoprawnego zwymiarowania.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwpowodziowa, suchy zbiornik przeciwpowodziowy, efektywność działania

Summary

The high precipitations, which appears now very frequently, are the main causes of damages in the infrastructure and the properties. Protection against flood should be still developed, but with the special attention on ecology and keeping the continuity of water and sediment flow throughout the river channel. Dry dam structure is efficient to mitigate floods, while little disruption of the continuity of the main channel and its flows outside the flood periods. In the paper we

analyse the efficiency of selected dry dams during the flood events. We have studied the dry dams located in southern France. In few cases the studies have shown, that dry dams had to be reconstructed in order to protect the area against the flood.

Key words: *flood protection, dry dam, efficiency*

WSTĘP

Obecnie coraz częściej obserwuje się występowanie zjawisk hydrologicznych o charakterze ekstremalnym (powodzie, susze). Szczególnie występowanie gwałtownych opadów atmosferycznych jest powodem powstawania wielu poważnych zniszczeń. Konieczne jest więc prowadzenie działań związanych z ochroną przeciwpowodziową, ale jednocześnie bardzo istotne jest utrzymanie naturalnej dynamiki przepływu wód z zachowaniem habitatu korytarza cieku [Poulard et al. 2009].

Efekt zmniejszenia kulminacji fali powodziowej, przy jednoczesnym zachowaniu ciągłości przepływu wody i rumowiska w cieku, można uzyskać przez zastosowanie suchego zbiornika przeciwpowodziowego. W pracy przedstawiono analizę skuteczności działania suchych zbiorników podczas powodzi. Przeanalizowano pracę zbiorników chroniących wybrane zlewnie departamentu Gard oraz miasta Nimes, na południu Francji. Z analiz wynika, że w niektórych przypadkach zbiorniki nie spełniły swojej funkcji, z powodu ich niepoprawnego zwymiarowania.

RYS HISTORYCZNY BUDOWY SUCHYCH ZBIORNIKÓW NA OBSZARZE FRANCJI

We Francji budowano suche zbiorniki już w XVIII wieku, jednak konstrukcje te nie zachowały się do chwili obecnej. Z literatury znana jest konstrukcja zapory w Pinay na Loarze, którą wybudowano w latach 1711–1712. Składała się ona z dwóch części, które miały konstrukcję kamienną i przegradzały koryto wielkiej wody. Pomiędzy nimi był pozostawiony prześwit. Oszacowano, że ta przegroda spowodowała redukcję szczytu fali powodziowej z 3400 do 2500 m^3/s w czasie powodzi z 1866 r. Niestety konstrukcja ta została zniszczona w 1984 r. podczas budowy zapory Villerest. Zapora Pinay jest, w pewnym sensie, prekursorką projektowanej zapory na Allier i zapory Mouzon niedawno ukończonej na rzece Mozie.

Na obszarze Francji, począwszy od lat sześćdziesiątych wybudowano wiele suchych zbiorników, a kolejne są w fazie projektowej. Realizacje te przedstawiają zróżnicowane rodzaje konstrukcji, zależnie od warunków lokalnych oraz wyboru technologii.

LOKALIZACJA I CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA WYBRANYCH ZAPÓR

W artykule omówiono dwie grupy suchych zbiorników, zlokalizowanych na południu Francji: w Departamencie Gard oraz w okolicy miasta Nimes [Poulard et al. 2005]. W tabeli 1 zestawiono podstawowe charakterystyki hydrologiczne i hydrauliczne analizowanych zapór.

Tabela 1. Charakterystyka dwóch grup suchych zbiorników i ich zapór
Table 1. Characteristics of two groups of dry reservoirs and their dams

Lokalizacja	Rok budowy	Ilość zapór	Powierzchnia zlewni (km)	Wysokość zapory (m)	Pojemność zbiornika (w milionach m^3)
Departament Gard (Francja)	Od 1968 do 1982	5	44 do 113	15 do 58	4,7 do 16,2
Nîmes (Francja)	Od 1991 do 2007	20	2,5 do 6,5	2,5 do 7,5	0,01 do 0,4

ZBIORNIKI PRZECIWPOWODZIOWE W DEPARTAMENCIE GARD

W południowo-wschodniej części Masywu Centralnego występują bardzo często gwałtowne wezbrania o wysokich kulminacjach. Po katastrofalnej powodzi w 1958 roku departament Gard postanowił wybudować pięć dużych zapór chroniących tereny przed zalaniem. Zostały one wybudowane pomiędzy 1967 a 1982 rokiem. W tabeli 2 zamieszczono ich charakterystyki.

Tabela 2. Charakterystyki zbiorników przeciwpowodziowych w Departamencie Gard
Table 2. Characterisctics of the reservoirs in Gard Department

Nazwa zbiornika	Ciek	powierzchnia zlewni [km²]	Rodzaj zapory	Wysokość [m]	Objętość stała	Rezerwa powodziowa
La Rouvière	Crieulon	94 km²	Betonowa ciężka	18	0,6 hm^3	8,3 hm^3
Ceyrac	Rieumassel	44 km²	Betonowa	16	0 hm^3 [x]	4,5 hm^3
Conqueyrac	Vidourle	83 km²	Mieszana	17	0,15 hm^3	9,1 hm^3
Ste Cécile	Gardon d'Alès	109 km²	Narzutowa	41	1,65 hm^3 [y]	9,9 hm^3
Sénéchas	Cèze	113 km²	Łukowa	58	3 hm^3	9,6 hm^3

[x] w zbiorniku Ceyrac, nie wybudowano grobli ze względu na czaszę w terenie krasowym.
[y] 40 lat po ukończeniu, połowa objętości jest zamulona

Charakterystyka hydrauliczna analizowanych zapór:

– zbiornik o stałym napełnieniu stworzony jest przez zaporę wstępną lub przez wprowadzenie otworu na pewnej wysokości; w Ste Cécile i Sénéchas ten zbiornik służy latem do zasilania niżówek;

– chronione przez zaporę wstępną i kraty ochraniające przed obiektami pływającymi[5], w zaporze znajdują się dwa duże upusty denne (o powierzchni całkowitej od 6,3 do 18 m^2, zależnie od zapory); tylko w zaporze Sénéchas, upusty są wyposażone w zasuwy, działające tylko w czasie niżówek letnich, w pozostałym okresie zasuwy są otwarte;

– w czasie średnich wezbrań wydatek upustu pozwala na napełnianie się zbiornika, ograniczając wydatek zrzucany do dolnego stanowiska do wartości od 80 do 300 m^3/s, zależnie od zapory

– w czasie wezbrań wyjątkowych działa przelew powierzchniowy.

Istnieją jedynie różnice w konstrukcji przelewu powierzchniowego. W dwóch zaporach korona przelewu jest swobodna na całej długości przelewu: 156,4 m w Ceyrac et 335,8 m w Conqueyrac. W dwóch zaporach nad swobodnym progiem znajduje się kładka dzieląca szerokość na prześwity o dużych rozmiarach: 19 prześwitów o szerokości 4,0 m i wysokości 2 m w Rouviere i 6 prześwitów o szerokości 12,0 m i wysokości 5 m w Sénéchas. Zapora Sainte Cécile wyróżnia się przelewem szybowym typu tulipan o koronie kolistej długości 45,5 m połączonym szybem z galerią o przekroju 40 m.

ZBIORNIKI PRZECIWPOWODZIOWE CHRONIACE MIASTO NIMES

Miasto Nimes jest zlokalizowane u podnóża płaskowyżu Costiéres. Teren ten charakteryzuje się bardzo gęstą siatką suchych koryt potoków, które drenują stoki Costiéres i przecinając miasto najczęściej pod powierzchnią terenu, łącza się z rzeką Vestre, która płynie równolegle do granicy płaskowyżu. System kanałów oraz licznych szczelin krasowych stwarza zagrożenie przebiciem wód podziemnych w centrum miasta, co w konsekwencji powoduje jego zagrożenie powodziowe.

Wszystkie analizowane w artykule zapory są tego samego typu. Wyposażone są one w upust denny z sekcją kontrolną na wejściu zabezpieczonym kratą. Wysokość korpusu zapory waha się w granicach od 4 do 7 m. Zastosowano przelew powierzchniowy z progiem betonowym i bystrotokiem oraz nieckę spadowa, która jest umocniona narzutem skalnym. Upusty nie mają zasuw, z wyjątkiem zbiornika, gdzie wielkość upustów o średnicy 2 metrów spowodowała zainstalowanie zasuw umożliwiających stały wydatek poniżej, niezależnie od napełnienia.

CHARAKTERYSTYKA NAJWIĘKSZYCH POWODZI W ZLEWNIACH DEPARTAMENTU GARD I OKOLIC NIMES

Zlewnie departamentu Gard. Obliczenia hydrologiczne dla zbiorników zostały wykonane przez M. Ouvrarda w 1959 r., po wystąpieniach zniszczeń powodziowych z dni 30 września i 4 października 1958 roku. Do określenia

opadów posłużono się metodą statystyczną (dopasowanie funkcją wykładniczą). W tym czasie, dysponowano jedynie długookresowymi (z 50 lat i więcej) danymi pluwiometrycznymi z kilku stacji. Na ich podstawie zostały wyprowadzone związki wykładnicze pomiędzy czasem trwania opadu i jego częstością. W tabeli 3 podane są charakterystyki fikcyjnego hietogramu dla zjawiska występującego raz na 1000 lat.

Tabela 3. Hipotetyczny hietogram przyjętego w pierwszych obliczeniach dla zapór w Gard
Table 3. The hypothetical hietogramme used for the first calculation for dams In Gard Department

Czas trwania	Opad skumulowany
1 h	Od 120 do156 mm
12 h	Od 276 do 300 mm
24 h	Od 320 do 420 mm

Określono wydatki przepływów metodą hydrogramu jednostkowego dla stosunkowo krótkiego czasu trwania wezbrania: czas wznoszenia się fali od 2 do 3 godzin, a czas jej opadania od 6 do 12 godzin, w zależności od wielkości zlewni.

Wymiarowanie zapór wykonano na podstawie następujących zasad:

– objętość stałego zbiornika określono jako funkcję podtrzymania niżówek, to zdeterminowało rzędną otworu;

– wezbranie o prawdopodobieństwie 0,1% powinno się zmieścić w zbiorniku bez przelewania się przez przelew powierzchniowy (w przypadku zapory Sénéchas przyjęto prawdopodobieństwo 1%);

– wezbranie o prawdopodobieństwie 0,05% (raz na 5000 lat), przy zbiorniku napełnionym do krawędzi przelewu, powinno zmieścić się w warstwie bezpieczeństwa (warstwa od 0 do 0,6 m dla zapór betonowych i od 0,7 do 1,0 m dla zapór narzutowych).

Do 2001, dwa z pięciu zbiorników tylko dwa razy były poważnie napełnione, a wezbrania, które pojawiły się w okresie istnienia zbiorników, były następujące:

– 22 października 1977 r., w roku oddania do użytkowania, zbiornik Sénéchas napełnił się do rzędnej 266,23, to jest tylko 3 cm poniżej progu przelewu;

– 7 października 2001 r., zbiornik la Rouvičre był prawie całkowicie napełniony woda znajdowała się 0,19 cm poniżej progu przelewu. Zbiornik spełnił swoje zadanie redukując przepływ z 800 m^3/s do 150 m^3/s w dolnym stanowisku. Wezbranie niosło ogromną ilość drewna, które zatrzymało się na pływającej przegrodzie.

Okolice miasta Nimes. Dnia 3 października 1988 roku zarejestrowano na Mont de Ponge silny opad deszczu, którego wielkość wyniosła 420 mm w ciągu 24 godzin, w tym 350 mm w czasie 6 godzin z maksymalnym natężeniem 80 mm/h. Intensywne przepływy, które przeszły przez miasto, spowodowały

9 wypadków śmiertelnych i straty 600 mln euro. Pierwsza ekspertyza oszacowała opad na prawdopodobieństwo od 150 do 250 lat dla opadów o czasie trwania od 2 do 6 godzin, przepływy w różnych punktach zostały oszacowane na podstawie śladów na budynkach i skałach, a następnie obliczone modelami hydraulicznymi. Objętość wody została oszacowana na 14 hm^3, z czego 4 hm^3 retencjonowane w krasie.

Opracowano wówczas plan ochrony przeciwpowodziowej, przewidujący trzy rodzaje działania:

– budowę zbiorników przeciwpowodziowych w górze zlewni suchych potoków poza obszarem miasta;

– zwiększenie przepustowości kanałów przecinających centrum miasta, podziemnych i na powierzchni terenu;

– budowę zbiorników przeciwpowodziowych poniżej centrum miasta i przed ujściem suchych koryt do Vistre.

Określenie przepływów powodziowych dla planowanych konstrukcji było uzależnione od strefy oraz stopnia ochrony, w następujący sposób:

– powyżej centrum miasta zbiorniki przeciwpowodziowe zwymiarowano na wezbrania 40-letnie. Z powodu bezpieczeństwa przyjęto podwójny wydatek od tego z 3 października 1988 roku, co odpowiada przepływowi o prawdopodobieństwie około raz na 1700 lat;

– cieki skanalizowane za pomocą rurociągów oraz kanały w centrum miasta zwymiarowano na przepływy 40-letnie;

– zbiorniki zlokalizowane poniżej centrum miasta zostały zwymiarowane tak, aby nie pogarszały stanu w Vistre sprzed zabudowy, czyli na prawdopodobieństwo 1%.

Do projektu zabudowy przyjęto opad o prawdopodobieństwie 1%, jako opad typu trójkąta, który skumulowany z 4 godzin równy jest 170 mm, z czego 90 mm spada w ciągu 1 godziny. Całość projektu została wyceniona początkowo na 125 mln euro (wartość z 1989 roku), na tę sumę składała się budowa około dwudziestu zbiorników przeciwpowodziowych powyżej miasta (co zostało wykonane kosztem 30 mln euro) o łącznej pojemności 1,2 hm^3.

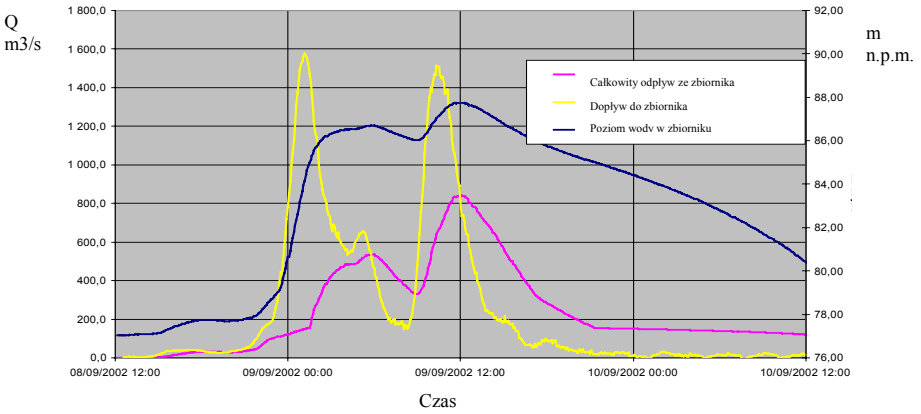
SKUTECZNOŚĆ DZIAŁANIA SUCHYCH ZBIORNIKÓW PODCZAS POWODZI

Departament Gard. Najbardziej spektakularna fala powodziowa wystąpiła 8 i 9 września 2002 roku w całym departamencie Gard i w części departamentów sąsiadujących. Pięć zbiorników przeciwpowodziowych było nią dotknięte w różnym stopniu. Zbiorniki Sénéchas i Sainte Cécile były zapełnione częściowo:

– zbiornik Sénéchas był napełniony do rzędnej 239,98 (rzędna przelewu 266,20); ale poniżej w Ceze wystąpiła powódź historyczna;

– zbiornik Sainte Cécile, napełniony do rzędnej 245,75 (rzędna przelewu 261,20), ale poniżej w Arles oraz w Gardon i w Gard wystąpiły powodzie historyczne.

W pozostałych zbiornikach zlokalizowanych w górnej części zlewni Vidourle napełnione zostały całkowicie, we wszystkich trzech funkcjonowały przelewy powierzchniowe, a w zaporze Rouvičre nastąpiło przelanie się przez koronę zapory. Duża ilość danych umożliwiła przeprowadzenie dokładnej analizy tego zjawiska, pluwiometrii, przepływów i hydrauliki zapór [Fouchier et al. 2004]. Na dwóch trzecich departamentu całkowita wysokość opadu przekroczyła w czasie trwania zjawiska 300 mm, a w zlewni zapory la Rouviére, najbardziej dotkniętej powodzią, stwierdzono opad 500 i 1500-letni (w górnej części zlewni Vidourle były w ciągu 12 godzin dwa opady). Na podstawie tych danych możliwe było zrekonstruowanie hydrogramy fali powodziowej wchodzącej do zbiorników. Poniżej przedstawiono wyniki dla zbiornika la Rouviére.



Rysunek 1. Zbiornik la Rouviere: hydrogramy powodzi z dnia 8 i 9 października 2002 r.
Figure 1. La Rouviere Reservoir: the flood hydrogramme of 8 and 9 October 2002 year

Wyniki dotyczące skuteczności tych trzech zbiorników w czasie tej powodzi podane są w tabeli 4.

Dane podane w tabeli 4 wykazują, że mimo przekroczenia poziomu przelewu powierzchniowego, a nawet korony zapory w la Rouviére, zbiorniki miały duży wpływ na redukcję wydatków szczytowych poniżej zapór. Jednak w dole rzeki Vidourle, zmniejszał się wpływ zbiornika, w miarę dochodziły dopływy wód z cieków okresowych. W Sommiéres, miejscu największych strat powodziowych, przepływ wynosił 2550 m^3/s. Gdyby zbiorniki nie istniały, wielkość tego przepływu wyniosłaby 3140 m^3/s. Zbiorniki zredukowały wysokość fali o 0,5 m. Także w Ceze i w Gardon, zbiorniki Sénéchas i Sainte-Cécile, zlokali-

zowane w górnej części zlewni, wykazały małą efektywność w czasie tej powodzi, która dotknęła środkową część zlewni.

Tabela 4. Skuteczność działania suchych zbiorników podczas powodzi z września 2002 r.
Table 4. The efficiency of dry dams Turing the flood of September 2008 year

Zbiornik	La Rouvière		Conqueyrac		Ceyrac	
Szczyt	1 szczyt	2 szczyt	1 szczyt	2 szczyt	1 szczyt	2 szczyt
Maksymalny wydatek wchodzący (m^3/s)	1575	1470	622	325	296	510
Maksymalny wydatek wychodzący (m^3/s)	535	840	90	230	85	177
Stopień redukcji szczytu	66%	43%	86%	29%	71%	65%
Stopień redukcji fali	47%		63%		65%	

Po powodzi z września 2002 roku przeprowadzono analizę początkowych obliczeń hydrologicznych [Fouchier et al. 2004], co pozwoliło na aktualizację tych obliczeń. Potwierdziły się maksymalne wartości prawdopodobnych przepływów, ale oszacowanie kwantyli opadów o długim czasie trwania, okazało się dużo za niskie, jeszcze niższe okazały się przewidywane objętości i czas trwania wezbrań. Powtórzono więc obliczenia zbiorników i okazało się, że korony przelewów odpowiadają przepływom 30 i 100-letnim, a nie 1000-letnim, jak to było ustalone początkowo przez projektantów. W przypadku zbiornika Sénéchas jest 20 lat zamiast 100. Jeżeli chodzi o fale ekstremalne, przelewy są poprawnie zwymiarowane, za wyjątkiem przelewu szybowego zbiornika Sainte-Cécile, który musi być zwymiarowany ponownie.

Miasto Nimes. Od czasu budowy zbiorników, skuteczność ich działania została sprawdzona w czasie dwóch ekstremalnych powodzi (lata: 2002, 2005). Podczas powodzi z 8 i 9 września 2002 roku [Royet et al. 2005] w ciągu 36 godzin spadło od 160 do 240 mm deszczu (dane z pluwiometrów), a maksymalna intensywność wynosiła 13 mm w ciągu 6 minut, co odpowiada opadom od 15 do 50-letnim. W czasie tych opadów tylko w 5 zbiornikach woda osiągnęła poziom krawędzi przelewu (warstwa przelewająca się od 0,1 do 0,5 m). Żadna z zapór, w tym czasie, nie była wyposażona w wodowskazy (limnigrafy). Ocena maksymalnych napełnień została wykonana na podstawie pozostawionych śladów, z dokładnością do dziesięciu centymetrów. Z tego powodu nie można odtworzyć hydrogramów.

Powódź z 2005 roku dała więcej informacji, ponieważ prawie identyczne intensywne opady wystąpiły z przerwą dwudniową przy całkowicie innej reakcji zlewni. Ponadto wiele zapór było zaopatrzonych już w limnigrafy. Intensywne opady wystąpiły dnia 6 i 8 września. W dniu 7 września nie padało. Opady z 6

i 8 września były do siebie podobne jeżeli chodzi o przebieg (dwa intensywne deszcze oddzielone krótką przerwą), ich intensywność (maksymalny opad dzienny 250 mm) oraz rozmieszczenie były też podobne (dwa razy większy opad na północy niż na wschodzie miasta).

Prawdopodobieństwo tych opadów różni się bardzo w zależności od liczenia czasu ich trwania:

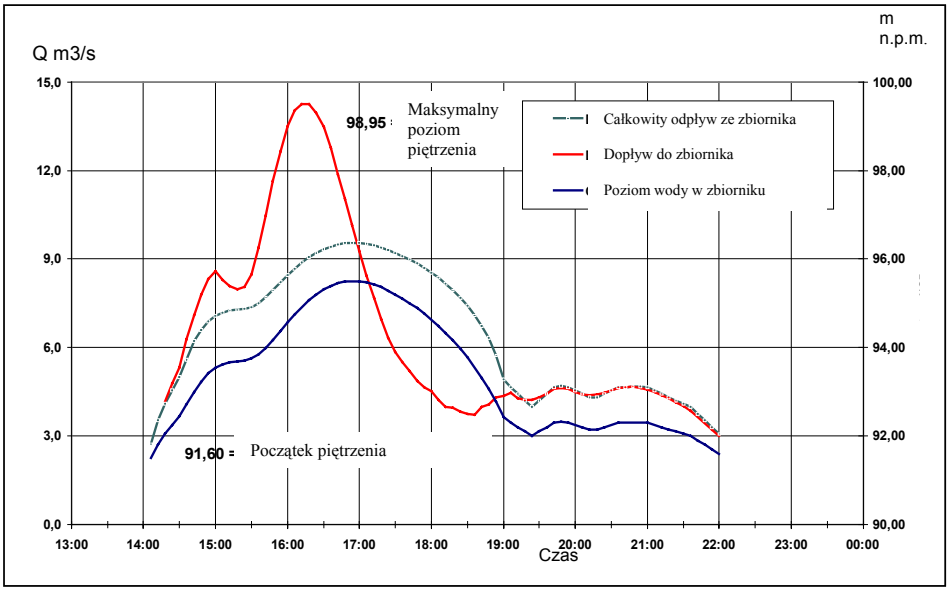
– opady godzinne:10–35-letnie, poza jedną stacją;
– opady 4-godzinne: 100 letnie;
– opady 24-godzinne: od 50 do 20 lat;
– na dwóch stacjach w mieście, licząc czas jako 72 godziny opad wyniósł 500 mm, co jest wartością wyjątkową.

Opad z dnia 6 września 2005 roku w zasadzie nie napełnił zbiorników (częściowe napełnienie dwóch małych), ale wyraźnie wypełnił się kras. Deszcz z dnia 8 września, kiedy jego całkowita ilość była mniejsza od poprzedniego, spadł na ziemię wilgotną i kras częściowo wypełniony; więc ilość płynącej wody była dużo większa niż 6 września. W połowie zapór funkcjonowały przelewy, a reszta zbiorników była napełniana, zgodnie z rozkładem opadu wschód–zachód. Dwie z zapór były zaopatrzone w limnigrafy co pozwoliło na odtworzenie fali dochodzącej do zbiorników (rys. 2, 3).

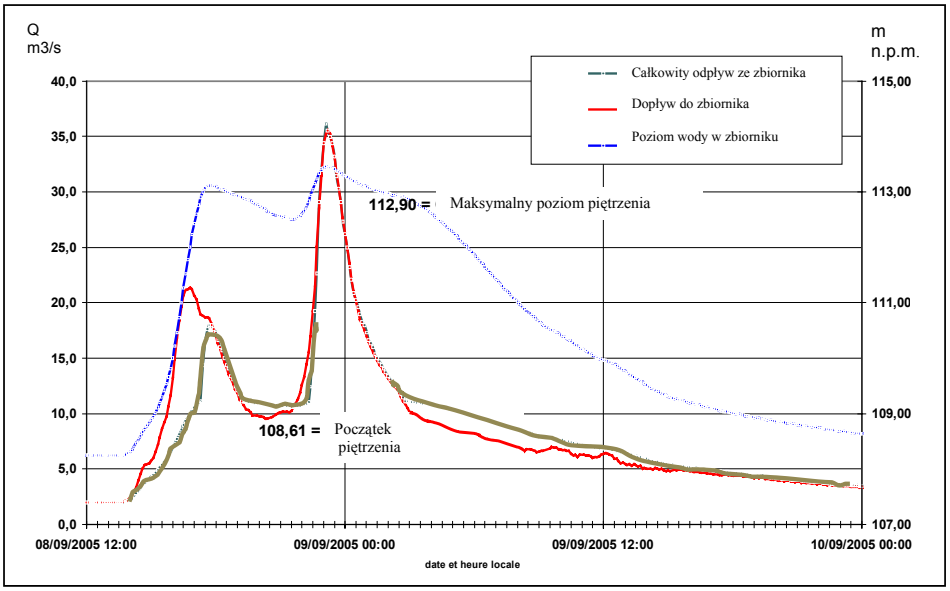
Na rysunkach widać, że zbiornik l'Oliveraie skutecznie zredukował falę, a zbiornik Roquemaillére zapełnił się w czasie pierwszego opadu i w czasie drugiego nie miał rezerw, a więc drugi szczyt nie został zredukowany. W celu osiągnięcia optymalnej efektywności pracy projektowanych zbiorników, autorzy zalecają obliczenie efektu budowli dla wezbrań o różnym prawdopodobieństwie występowania, a nie tylko dla jednego, zwanego „przepływem projektowym" dla danej budowli. Jest on nie tylko niewystarczającym, ale często mylnym. W rzeczywistości zbiornik charakteryzuje się pewnym progiem efektywności, a następnie redukcja fali, dla wielu przepływów, pozostaje stała i z chwilą przelania się przez przelew wpływ zbiornika znika. W celu przedstawienia wpływu całego spektrum przepływów konieczna jest analiza statystyczna danych historycznych [Lang, Lavabre et al. 2007].

WNIOSKI

1. Przypadki zbiorników w zlewniach na terenie departamentu Gard wyraźnie wskazują, że suche zbiorniki powinny być wymiarowane na objętość fali powodziowej, a nie na przepływ maksymalny. Jeżeli chodzi o ich efektywność w redukcji fali okazało się, że szybko maleje w dół rzeki, kiedy dochodzą następne niezagospodarowane dopływy.



Rysunek 2. Zbiornik l'Oliveraie: hydrogram fali z dnia 8 września 2005 r.
Figure 2. l'Oliveraie Reservoir: the flood hydrogramme of 8 September 2005 year



Rysunek 3. Zbiornik Roquemaillére: hydrogram fali z 8–9 września 2005 r.
Figure 3. Roquemaillére Reservoir: the flood hydrogramme of 8–9 September 2005 year

2. Przykład działania zbiornika Sainte-Cécile wykazał, że przelew szybowy nie miał wystarczającej przepustowości (szybko dochodzi do maksymalnego wydatku, który potem pozostaje stały) przy długo trwającym przepływie maksymalnym. Dlatego korzystniej jest stosować przelewy powierzchniowe, w których wydatek szybko rośnie wraz z wysokością warstwy przelewowej, zwłaszcza gdy nie jest się pewnym obliczeń hydrologicznych.

3. Konstrukcje zapór w Gard stanowią przeszkodę niemożliwą do przebycia dla gatunków żyjących w wodzie. W czasie budowy zapór nie zajmowano się aspektami ekologicznymi. Jednak zaletą stałych napełnień części zbiorników jest cenne dla uzupełniania niżówek, co w tym regionie ma bardzo duże znaczenie.

4. Z obserwacji działania systemu zbiorników przeciwpowodziowych chroniących miasto Nimes wynika, że zachowanie się zlewni podczas intensywnych opadów silnie zależy od początkowej wilgotności gleby, a zwłaszcza od stanu wypełnienia krasu. W związku z tym trudno oceniać skuteczność budowli biorąc pod uwagę tylko intensywność opadów. Ogólna ocena jest utrudniona z powodu małej wielkości zlewni i dużego zróżnicowania przestrzennego rozkładu opadów.

5. Opisane budowle i ich zespoły wykazują w zasadzie ich efektywność przy dużej różnorodności realizacji. Studium tych przypadków warte jest przedstawienia społeczności inżynierów, wraz z identyfikacją zagadnień, które wymagają dalszych studiów metodycznych.

BIBLIOGRAFIA

Fouchier C. et al. *Inondations de septembre 2002 dans le Sud de la France – Analyse hydrologique et hydraulique au niveau des barrages écrêteurs du Vidourle*. Ingénieries – E A T, n° 37, 2004, p. 23–35.

Lang M., Lavabre J. *et al*., *Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations*, Editions QUÆ, 2007.

Poulard C. *et al*. *Dynamic Slowdown: A flood mitigation strategy complying with the Integrated Management concept*. Implementation in a small mountainous catchment. *Journal of River Basin Management*, Vol. 3 (2), 2005, p. 75–85.

Poulard C., Lafont M., Lenar-Matyas A., Łapuszek M. *Towards flood mitigation designs respectful of river ecosystem functions; problematic and conceptual approach*, soumis à : Ecological Engineering.

Royet P. et al. *Analyse de l'événement pluviométrique des 6 et 8 septembre 2005 et comportement des barrages du PPCI* ; Rapport pour la Ville de Nîmes, 2005, p. 48.

www.epama.fr/files_fr/epama_projets/mouzon/epama6_mouzon_pcp.php4

Anna Lenar Matyas
Marta Łapuszek
Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 012 628 28 89
alenar@iigw.pl
mlapuszek@iigw.pl

Christine Poulard
Cemagref, UR HHLY, 3 bis quai Chauvea – CP 220, F-69336 Lyon, France
christine.poulard@cemagref.fr

Paul Royet
Cemagref, UR OHAX, 3275 route de Cezanne, CS 40061, 13182 Aix-en-Provance
paul.royet@cemagref.fr

Recenzent: *Prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Gruszczyński*