

*Anna Lenar-Matyas, Christine Poulard, Jerzy Ratomski, Paul Royet*

**KONSTRUKCJA I DZIAŁANIE  
SUCHYCH ZBIORNIKÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH  
O RÓŻNEJ CHARAKTERYSTYCE I LOKALIZACJI**

---

***THE CONSTRUCTION AND ACTION OF DRY DAMS WITH  
THE DIFFERENT CHARACTERISTICS AND LOCATION***

**Streszczenie**

Tematem artykułu jest podzielenie się doświadczeniami dotyczącymi pracy i konstrukcji suchych zbiorników. Suche zbiorniki skutecznie zmniejszają falę powodziową, a jednocześnie zachowują naturalny przepływ w korycie w okresach pozapowodziowych. W artykule zaprezentowano wybrane suche zbiorniki przedstawiające różne typy konstrukcji i działania. Na początku omówiono najstarsze zapory zbudowane na początku XX w. w Polsce i w Stanach Zjednoczonych, które działają do dnia dzisiejszego. Następnie opisano najnowsze konstrukcje zrealizowane we Francji w Departamencie Gard i mieście Nîmes wraz z analizą ich działania w czasie dużych powodzi. Na końcu przedstawiono małe zbiorniki w departamencie Seine-Maritime, których ocena skuteczności w skali zlewni jest utrudniona z powodu na ich rozproszenia w terenie.

**Słowa kluczowe:** suchy zbiornik, ochrona przeciwpowodziowa

***Summary***

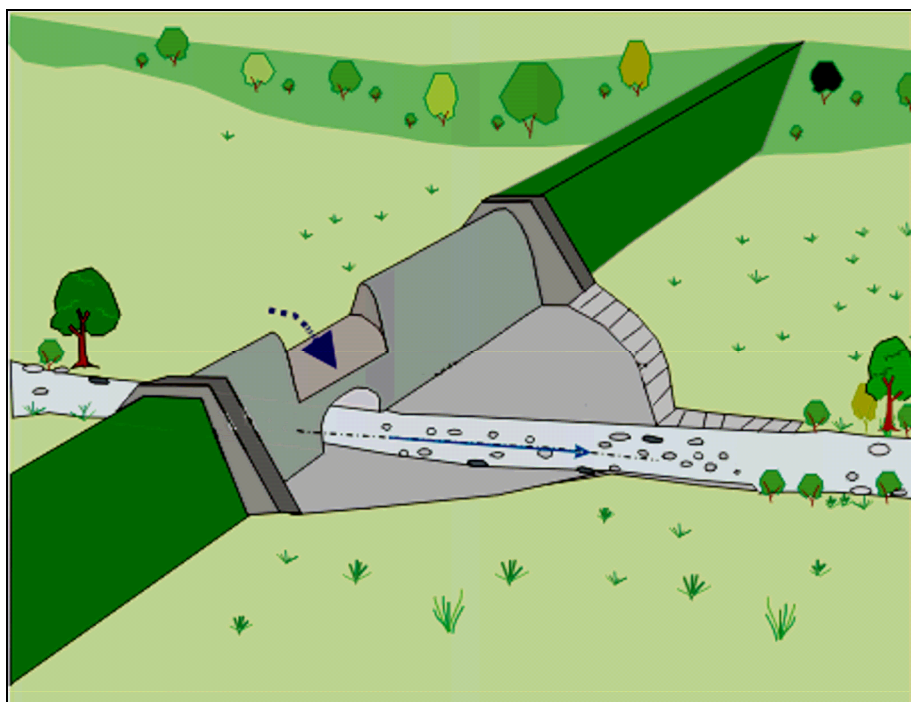
*This paper aims at sharing feedback about dry dams. These structures are efficient to mitigate floods, while little disruption of the continuity of the main channel and its flows outside the flood periods. Five sets of dams are presented here. They were selected so as encompass the diversity of the structures and of the problems. The oldest structures are presented first. These are dams built in the beginning of the twentieth century in Poland and in the USA, which are still in operation today. Then, recent realisations in France are presented. Large dams in Gard catchment and small dams upstream the nearby town of Nîmes are described, with analyses of behaviour during intense floods. Finally, small dams in*

*Seine-Maritime allow to address the issue of an efficiency diagnostic at catchment's scale, when both dams and stakes are spread out. This article gives key references for further information about structures design.*

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

## WPROWADZENIE

Zasada działania suchych zbiorników przeciwpowodziowych polega na przechwyceniu w czaszy zapory znaczących objętości fali powodziowej o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia oraz umożliwieniu ciągłego odpływu wody w ilości nieprzekraczającej określonego przepływu bezpiecznego. Jego wielkość określana jest indywidualnie w zależności od stopnia i lokalizacji zabudowy oraz konfiguracji (morfologii) terenu. Odpływ wód odbywa się przez odpowiednio usytuowane i wymiarowane upusty, z czego przynajmniej jeden jest upustem dennym. Zapora ma też przelew awaryjny. Koryto doprowadzające pozostaje w stanie naturalnym, a czasza zbiornika tworzy dogodne warunki bytowania dla fauny i flory, napelniając się okresowo, w czasie wezbrań (rys. 1).



**Rysunek 1.** Zasada działania zapory suchego zbiornika (z przelewem centralnym)  
**Figure 1.** The way of dry dam functioning

W artykule przedstawiono grupy takich obiektów, zlokalizowanych w Polsce, Francji i Stanach Zjednoczonych, o różnych parametrach hydrologicznych i konstrukcyjnych (tab. 1). Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że obiekty tego typu występują również w dużej liczbie na terenie Niemiec i Austrii, co może świadczyć o skuteczności ich działania.

**Tabela 1.** Charakterystyka wybranych obiektów  
**Table 1.** Characteristics of selected dams

Zlewnia	Rok budowy	Ilość zapór	Powierzchnia zlewni (km)	Wysokość zapory (m)	Pojemność zbiornika (w milionach m <sup>3</sup> )
Sudety (Polska)	od 1905 do 1929	6 + 5	18 do 120	3 do 20	0,5 do 16,74
Miami River (USA)	od 1918 do 1922	5	660 do 2850	19,8 do 33,50	86,4 do 385
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
Seine-Maritime, • Austreberthe, • Lézarde	od 1999 do 2004 od 1978 do 2003	11 40 (+32 projekt.)	zróżnicowana	poniżej 5m	< 0,04 < 0,03

Z wyjątkiem zapór Miami Rivers, autorzy artykułu zwiedzili prawie wszystkie zbiorniki, cytowane w tabeli 1 oraz zapoznali się z opiniami kierowników budów i projektantów. Kontakty te pozwoliły na analizę dokumentacji i identyfikację występujących trudności. Duży zbiór danych dotyczących innych obiektów znajduje się w posiadaniu Cemagref [Poulard et al., 2005]. Przedstawiona praca jest wynikiem wieloletniej współpracy Cemagref (Lyon) i Instytutu Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej.

### SUCHE ZBIORNIKI W POLSCE

Znakomita większość istniejących obiektów jest zlokalizowanych w Sudetach na obszarze województwa opolskiego i dolnośląskiego. Budowane były w latach 1905–1929 na dopływach rzeki Odry.

### ZARYS HISTORYCZNY

Po wielkiej powodzi w 1897 roku, podjęto prace związane z zagospodarowaniem rzek i potoków w Sudetach, które w tym czasie należały do Prus. Projekt zawierał budowę zapór przeciw rumowiskowych, regulację stopniową potoków i budowę różnych zbiorników wodnych (wielofunkcyjnych i przeciwpowodziowych) oraz suchych zbiorników. Prace rozpoczęły się w 1901 roku. W tabeli 2 przedstawiona jest charakterystyka wybranych suchych zbiorników.

**Tabela 2.** Charakterystyki dolnośląskich suchych zbiorników  
**Table 2.** Characteristics of Silesian dry dams

Nazwa (* wizytowane)	Rok budowy	Zlewnia (km <sup>2</sup> )	Wysokość zapory (m)	Czasza		Upust
				powierzchnia max (ha)	Objętość max (hm <sup>3</sup> )	Wydatek max (m <sup>3</sup> /s)
Międzygórze	1905–09	25,0	29,20	6	0,83	10,0
Stronie Śląskie	1906–08	51,5	16,58	24,5	1,38	37,1
* Bolków	1908–12	19,0	13,6	23,1	0,87	4,0
Kaczorów	1929	18,0	15,1	20,8	1,08	6,0
* Krzeszów I	1905–06	43,0	3,39	29,1	0,61	–
* Krzeszów II	1905–06		4,8	30,0	0,52	20,0
* Cieplice	1906–09	69,0				
* Sobieszów	1906–09	118,6	11,0	200,0	6,74	60,0
* Mysłakowice	1910–13	49,6	9,8	101,0	3,56	50,0
Mirsk	1908–10	62,6	12,3	99,6	3,92	32,0
Świerzawa	1907–11	37,0	19,3	30,6	1,90	12,0
Jamołtówek	1907					9,5

#### ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE I CHARAKTERYSTYKA DZIAŁANIA OBIEKTÓW

Większość omawianych obiektów jest usytuowana w środkowych lub dolnych częściach zlewni, a ich czasza zamyka często całą dolinę ciekłu. W początku XX wieku było łatwiej znaleźć i zarezerwować tereny na budowę zbiorników. Od tego czasu miasto Jelenia Góra rozszerzyło granice bezpośredniego sąsiedztwa zbiorników Cieplice i Sobieszów. Gdyby zbiorniki nie istniały dawno te tereny zostałyby zurbanizowane. Obszary zajęte pod zalanie często pozostawione są w stanie naturalnym i przedstawiają interesującą mozaikę habitatów. W przypadku zapory Sobieszów, ten obszar zalewowy przechodzi w park miejski. Inne suche zbiorniki usytuowane są na terenach rolniczych, wykorzystywanych jako pastwiska.

Zapory zbiorników są zazwyczaj zaporami ziemnymi z wydzieloną betonową częścią przelewową. Zamykają one szerokie doliny, a długość ich dochodzi nawet do 3 km (zaporą Sobieszów). Ponieważ czaszą zapory przecinają inne ciekły, wymagało to budowy dodatkowych przepustów wałowych.

Część hydrotechniczna składa się z upustów oraz przelewu awaryjnego. Jeden z upustów zawsze zakładany jest na rzędnej równej poziomowi dna koryta dopływowego ciekłu. Umożliwia to odprowadzenie niskich przepływów i swobodną migrację ichtiofauny w górę i w dół ciekłu. Jeśli jego wydatek przy maksymalnym piętrzeniu nie jest wystarczający, w korpusie na wyższych poziomach umieszcza się dodatkowe przelewy o określonych parametrach [Lenar-Matyas i in. 2004].



**Fotografia 1.** Zapora w Sobieszowie od strony wody dolnej, część centralna z okładziną kamienną i niecka wypadowa

**Photo 1.** Sobieszowice Dam: downstream, with the basin made of concrete with stones



**Fotografia 2.** Widok zapory Krzeszów od strony wody dolnej; upust denny i przelew boczny

**Photo 2.** Krzeszów Dam: downstream, spillway and Lateran overspill

W pierwszych latach eksploatacji zbiorniki działały samoczynnie. Później zaopatrzone zostały w zasuwę, dzięki czemu mogły być sterowane zgodnie z zaleceniami instrukcji. Retencja wody rozpoczyna się w momencie, gdy dopływ przekracza przepustowość upustu dennego. Przy wzroście poziomu piętrzenia do współpracy włączają się upusty leżące wyżej. Umożliwia to dłuższe przetrzymywanie wód w czaszy i regulację odpływu, dostosowując ich pracę do aktualnej sytuacji w niżej położonych częściach zlewni.

Dla zabezpieczenia urządzeń przed zalaniem przez obiekty pływające (krzaki, drzewa, deski) wloty do upustu dennego są chronione kratami.

W Sobieszowie (fot. 3a), dwie kraty są umieszczone jedna za drugą. Krata przy zaporze chroni upust przed dostaniem się obiektów pływających górą, np. przy opadaniu wód. W Bolkowie (fot. 3b) istnieje jedna niska krata blisko upustu. Inne zapory, jak na przykład Krzeszów nie mają krat.



**Fotografia 3.** Dwa przykłady upustów w zapórach suchych zbiorników w Sudetach  
(a) Sobieszów, widok od strony wody górnej, upust denny zabezpieczony kratą i przelew awaryjny (b) Bolków, widok od strony wody górnej, wejście do upustu zabezpieczone kratą

**Photo 3.** Two examples of spillways construction of the dry dams In Sudety:  
(a) Sobieszów Dam: upstream, spillway protected by the grate Bolków Dam: upstream, spillway protected by the grate

Rozwiązanie przelewów jest różnorakie. Zazwyczaj są to przelewy czolowe (Cieplice, Sobieszów), a woda przelewa się do niżej położonej niecki wypadowej. W zapórach Krzeszów I i Krzeszów II zaprojektowano przelewy boczne,

odprowadzające wody powodziowe do uregulowanego i ubezpieczonego koryta poniżej obiektu. Jedynie zaporą w Bolkowie nie ma żadnego przelewu awaryjnego przy jednym upuszczeniu dennym o niewielkiej średnicy. Prawdopodobnie obliczona maksymalna kubatura fal tej zalesionej zlewni nie przekracza objętości czaszy.

### **PODSUMOWANIE CZĘŚCI POLSKIEJ**

Suche zbiorniki wodne w Sudetach istnieją od ponad stu lat i stanowią obecnie element krajobrazu. Znajdują się w doskonałym stanie i doskonale spełniają swoje zadanie. Zbudowane zostały jako ochrona przed wyjątkowymi wezbraniami i stanowiły element większego systemu. W czasie ich budowy możliwe było wydzielenie potrzebnych powierzchni, tak więc ich pojemność retencyjna zapewnia duże ograniczenie przepływu poniżej. Niektóre z nich wykorzystywane są w celach rekreacyjnych.

W czasach, gdy powstawały omawiane zapory nie zwracano uwagi na czynniki środowiskowe, teraz stwierdzono, że zaburzenia środowiska naturalnego spowodowane działaniem tych obiektów są minimalne, nawet biorąc pod uwagę kryteria obecne.

Pomimo, że zadania zapór są takie same, to konstrukcja każdej z nich jest inna i oryginalna. Ta różnorodność pozwala na porównanie rozwiązań technicznych, efektów hydrologicznych, a także wpływu na środowisko.

Z wyjątkiem Bolkowa upusty denne, umieszczone w przedłużeniu naturalnego koryta, mają wymiary zbliżone do koryta głównego i nie stanowią przeszkody dla ryb i innych organizmów. Część betonowa zazwyczaj jest krótka i nie przedstawia prawie żadnego problemu dla ichtiofauny.

Czasze umieszczone w dolinie cieków są obszarami naturalnymi, można tam znaleźć różnorodne biotopy, jak łąki, zarośla i lasy łęgowe [Breil et al. 2008]. Miejsca te cechuje duża różnorodność flory i fauny.

Na terenach mokradeł żyją bociany i kaczki, w zagajnikach mają siedliska zajęce, dziki i sarny. W ciekach głównych jest dużo ryb i płazów. Świadczy to o małej szkodliwości obiektu, a nawet o stworzeniu warunków do rozwoju wielu gatunków roślin i zwierząt.

Przykłady te posłużyły jako baza prowadzonego studium, które poświęcone jest regułom dobrego funkcjonowania w zgodzie ze środowiskiem naturalnym koniecznych budowli inżynierskich. Celem jest stworzenie podejścia ułatwiającego dialog interdyscyplinarny, aby zrealizować konstrukcje możliwie minimalnie ingerujące w środowisko [Ratomski 2004].

W tym miejscu autorzy pragną podziękować Panu J. Sadowskiemu, który umożliwił zwiedzenie obiektów na Dolnym Śląsku, a także pomógł w opracowaniu przedstawionego materiału.

### SUCHE ZBIORNIKI W ZLEWNI MIAMI RIVER (USA)

W celu uzupełnienia przeglądu suchych zbiorników z początku XX wieku, podajemy opis pięciu dużych zapór wybudowanych w latach 1918–1922 na rzece Miami i jej dopływach (Ohio, USA). Zrealizowano je w konsekwencji katastrofalnej powodzi z 1913 roku. Zapory te działają po dzień dzisiejszy, zarządzane są przez Miami Conservancy District (MCD). Podane poniżej informacje pochodzą z dokumentów znajdujących się na stronie internetowej MCD<sup>1</sup> biblioteki miejskiej w Dayton jak też z innych publikacji<sup>2,3</sup>. Pojemności tych zbiorników wynoszą od 86 do 385 hm<sup>3</sup>, całkowita powierzchnia zalewu to 144 km<sup>2</sup>, a całkowita retencja ponad miliard m<sup>3</sup>.

**Tabela 3.** Charakterystyki suchych zbiorników i zapór Miami River<sup>5</sup>  
**Table 3:** Characteristics of dry dams and dams of Miami River

Nazwa zbiornika	Germantown	Englewood	Lockingtown	Taylorville	Huffman
Ciek	Twin Creek	Stillwater River	Loramie Creek	Great Miami River	Mad River
Powierzchnia zlewni [km <sup>2</sup> ]	700	1685	660	2840	1700
Rodzaj zapory	Ziemna	Ziemna	Ziemna	Ziemna + betonowa część przelewowa	Ziemna + betonowa część przelewowa
Wysokość (m)	30,5	33,7	21	20,4	19,8
Powierzchnia (km)	14,2	32,1	16,3	44,5	37,1
Pojemność (hm <sup>3</sup> )	131	385	86,4	230	206

### CHARAKTERYSTYKA ZAPÓR

Zasada budowy tych zapór jest podobna do tych z Dolnego Śląska, ale ich rozmiary są dużo większe. W przestudiowanej dokumentacji nie znaleziono żadnej wzmianki o ograniczeniach środowiskowych.

Trzy z pięciu zapór zostały wykonane jako zapory ziemne z bocznym przelewem betonowym. Dwie pozostałe, podobnie jak Sobieszów, mają część centralną betonową z upustem i przelewem przedłużoną po obu stronach nasypem ziemnym,

Długości zapór wynoszą od 500 m do prawie 2 km; a w korpusie zapory znajduje się od dwóch do czterech betonowych przepustów, niewyposażonych w zasuwę. Wielkość tych przepustów zależy od określonego bezpiecznego wydatku w dolnym korycie.

1. [www.miamiconservancy.org/flood/dams.asp](http://www.miamiconservancy.org/flood/dams.asp)
2. <http://home.dayton.lib.oh.us/Archives/Flood1913/FloodHistorSketch.html>
3. <http://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge301/Dayton%20Flood-Updated.pdf>



Wysokość zapór wynosi od 19,8 do 33,7 m. Najmniejsza z pięciu, Lockington, ma pojemność retencyjną 86,4 hm<sup>3</sup> i przejmuje wody ze zlewni 660 km<sup>2</sup>. Najwyższa Engelwood, z zaporą de 33,7 metrową ma największą pojemność 385 hm<sup>3</sup>. Opróżnianie dla przepływu projektowego *OPF* trwa 28 dni. Czas opróżniania pozostałych wynosi od 4 do 8 dni.

### **ZARZĄDZANIE ZAPORAMI I ZBIORNIKAMI**

Miami Conservancy District zarządza i utrzymuje zapory i zbiorniki, co jest poważnym zadaniem, choć nie ma urządzeń ruchomych, stan betonu zwłaszcza w upustach wymaga stałej kontroli.

MCD nadzoruje użytkowanie terenów w czaszy zbiorników, wydając pozwolenia eksploatacyjne, takie jak użytkowanie rolnicze, eksploatacje kruszywa, pompowanie.

### **ASPEKTY EKONOMICZNE**

Od czasu budowy zbiorniki zapelniały się około tysiąca razy (napelnienie maksymalne wynosiło 60% całkowitego). Uniknięto większych powodzi w latach 1937, 1959, 1982 i 1991, a niektóre z nich były podobne do tej z 1913 roku.

Koszty utrzymania pokrywane są z podatku nałożonego na chronione tereny i budynki, podatek obliczony jest jako funkcja wartości danego obiektu i stopnia ochrony.

### **PODSUMOWANIE**

Przedstawiliśmy przykład suchych zbiorników Miami River ze względu na możliwość dotarcia do informacji oraz z powodu, że ich innowacyjność posłużyła jako przykład następnym. W początkowym okresie po ich budowie suche zbiorniki nie były popularne. Obecnie okazało się, że są dobrze dostosowane do lokalnych warunków i przedstawiają wiele korzyści. Oryginalność tego rozwiązania polega na wielkości budowli. Często idea zarządzania powodzią w górnej części zlewni powiązana jest z koniecznością budowy małych konstrukcji wodnych, ze względu na poszanowanie środowiska. Wydaje się, że powinno się ponownie poddać dyskusji przekonanie, że małe budowle są mniej szkodliwe dla środowiska niż duże dobrze dostosowane do danego miejsca.

## ZBIORNIKI PRZECIWPOWODZIOWE WE FRANCJI

**Departament Gard.** Na południowo-wschodniej fasadzie Masywu Centralnego jesienią często występują gwałtowne wezbrania. Po katastrofalnej powodzi w 1958 roku departament Gard postanowił wybudować pięć dużych zapór chroniących dolinę przed zalaniem. Zostały one wybudowane pomiędzy 1967 a 1982 rokiem, poniżej w tabeli 4 zamieszczamy ich charakterystyki.

**Tabela 4.** Charakterystyki zbiorników przeciwpowodziowych w Gard  
**Table 4.** Characteristics of dry dams of Gard

Nazwa zbiornika	La Rouvière	Ceyrac	Conqueyrac	Ste Cécile	Sénéchas
Ciek	Crieulon	Rieumasse	Vidourle	Gardon d'Alès	Cèze
powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	94 km <sup>2</sup>	44 km <sup>2</sup>	83 km <sup>2</sup>	109 km <sup>2</sup>	113 km <sup>2</sup>
Rodzaj zapory	Betonowa ciężka	Betonowa ciężka	Mieszana	Narzutowa	Łukowa
Rok ukończenia	1970	1968	1982	1967	1977
Wysokość	18 m	16 m	17 m	41 m	58 m
Objętość stała	0,6 hm <sup>3</sup>		0,15 hm <sup>3</sup>	1,65 hm <sup>3</sup>	3 hm <sup>3</sup>
Rezerwa powodziowa	8,3 hm <sup>3</sup>	4,5 hm <sup>3</sup>	9,1 hm <sup>3</sup>	9,9 hm <sup>3</sup>	9,6 hm <sup>3</sup>

Cechą charakterystyczną tych zbiorników jest współpraca dwóch obiektów. Górny, zwany zaporą wstępną (ochraniającą), ma za zadanie stałe piętrzenie wody lub piętrzenie jej do zadanej wysokości wyznaczonej przez poziom upustu. Spiętrzona woda służy latem do zasilania niżówek. Zapora ta również ma za zadanie przechwycenie obiektów pływających.

Zapora główna tworzy właściwy suchy zbiornik przeciwpowodziowy, z upustami dennymi. Niektóre z nich (zapora Senechas) wyposażone są w zasuwę, używane w okresie niżówkowym i umożliwiające regulację odpływu. Przy przejściu fali powodziowej wydatek upustu pozwala na redukcję odpływu do wartości bezpiecznych dla niżej leżącego terenu. W czasie wezbrań katastrofalnych zaczyna działać przelew powierzchniowy, który w różnych zaporach został różnie skonstruowany. W zaporach Ceyrac i Conqueyrac zastosowano przelew o jednej sekcji. W zaporach La Rouvière i Sénéchas przelew ze względu na jego dużą szerokość jest wielosekcyjny, a filary działowe umożliwiają przeprowadzenie kładki. Zapora Sainte Cécile wyróżnia się przelewem szybowym typu tulipan.

Przypadki zbiorników w departamencie Gard wyraźnie wskazują, że suche zbiorniki powinny być wymiarowane na objętość fali powodziowej, a nie na przepływ maksymalny. Jeżeli chodzi o ich efektywność redukcji fali okazało się,

że szybko maleje w dół rzeki, kiedy dochodzą następne nie zagospodarowane dopływy [Fouchier et al. 2004].

Analizując rozwiązania techniczne, można stwierdzić, że przy dużych przepływach istnieje konieczność stosowania dużych, mocnych krat celem uniknięcia zablokowania otworów spustowych. Chociaż wszystkie zapory są sterowalne.



**Fotografia 4.** Zapora la Rouvière: zapora wstępna stwarzająca stały zbiornik oraz kraty betonowe

**Photo 4.** La Rouvière Dam: out set dam forming the reservoir and the concrete grate

Przypadek Sainte-Cécile wykazał, że przelew szybowy nie miał wystarczającej przepustowości (szybko dochodzi do maksymalnego wydatku, który potem pozostaje stały) przy długo trwającym przepływie maksymalnym. Z tego powodu lepiej jest stosować przelewy powierzchniowe, w których wydatek szybko rośnie wraz z wysokością warstwy przelewowej.

Z punktu widzenia ekologii zapory w Gard stanowią przeszkodę nie do przebycia dla organizmów żyjących w wodzie. Natomiast stałe piętrzenie w części zbiornika jest cenne dla uzupełniania nizin, szczególnie w tym regionie.

**Miasto Nimes.** Miasto Nimes leży u stóp płaskowyżu Costières, oś jego skierowana jest z północnego wschodu na południowy zachód, zabudowa rozwija się, z jednej strony w kierunku południowo-wschodnim (nizina Vistre), a z drugiej w kierunku wzgórz na północny zachód. Gęsta siatka suchych koryt potoków (lokalna nazwa „cadereaux”) drenuje stoki Costières i przecina miasto w kierunku południowo-wschodnim (najczęściej pod ziemią), dochodząc do rzeki Vistre, która płynie w kierunku południowo-zachodnim, równoległe do granicy płaskowyżu. Siatka szczelin krasowych komplikuje hydrologię, zwłaszcza z możliwością przebiecia wód podziemnych w centrum miasta.

Po katastrofalnej powodzi w 1988 roku opracowano plan przeciwpowodziowy przewidujący trzy typy zagospodarowania:

- zbiorniki przeciwpowodziowe (ok. 20) w górze zlewni suchych potoków poza obszarem miasta,
- zwiększenie przepustowości kanałów, przecinających centrum miasta, (podziemnych i na powierzchni),
- zbiorniki przeciwpowodziowe powyżej centrum miasta i przed ujściem suchych koryt do Vistre.

**Opis wybudowanych zapór.** Wszystkie zapory są tego samego typu:

- upust denny z sekcją kontrolną na wejściu zabezpieczonym kratą,
- korpus zapory wysokości od 4 do 7 m (nasyp ze strefami o różnej granulacji) z systemem drenów,
- przelew powierzchniowy z progiem betonowym i bystrotokiem,
- niecka wypadowa ubezpieczona narzutem kamiennym.

Upusty nie mają zasuw, z wyjątkiem zbiornika zlokalizowanego przy lotnisku, gdzie wielkość upustów (2 metry średnicy) spowodowała zainstalowanie zasuw umożliwiających stały wydatek poniżej, niezależnie od napełnienia zbiornika.

Od czasu budowy, skuteczność zbiorników została pozytywnie sprawdzona w czasie dwóch zjawisk ekstremalnych (powódź 2002 i 2005). Jeden ze współautorów niniejszego artykułu kierował inspekcją popowodziową [Royet et al. 2005].

Z obserwacji działania systemu zbiorników przeciwpowodziowych chroniących miasto Nimes, można wyciągnąć dwa podstawowe wnioski.

Opady z września 2005 r. wykazały, że zachowanie się zlewni 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.



**Fotografia 5.** zbiornik Terrain de l'Armée ; krata chroniąca wlot w kształcie tunelu  
**Photo 5.** Terrain de l'Armée Reservoir: grate protecting inlet of the tunnel

W mieście Nimes przetestowano różne typy krat wlotowych w celu zabezpieczenia przed przedostaniem się do upustu ludzi. Wszystkie rodzaje sprawdziły się w praktyce. Kraty mają duże rozmiary, część prętów jest umieszczona poziomo, a część pionowo, a ich grubość przewiduje duże obciążenie warstwą zanieczyszczeń odłożoną w czasie opróżniania. Kraty te nie powodują zmniejszenia się przepustowości upustów pod warunkiem czyszczenia po każdej powodzi.

**Małe zbiorniki w Seine-Maritime.** Na 214 km<sup>2</sup> zlewni l'Austreberthe znajduje się około sto niedużych suchych i retencyjnych zbiorników przeciwpowodziowych, a w zlewni la Lézarde co najmniej tyle samo.

Ich pojemność jest zróżnicowana, ale często wynosi kilkaset m<sup>3</sup>. Konstrukcja upustów dennych może budzić wątpliwości, ponieważ otwory mają bardzo małą średnicę. Powoduje to szybkie zamulanie zbiornika, a także stanowi zagrożenie dla konstrukcji zapory, ponieważ nie ma przelewu awaryjnego i nadmiar wody może przelać się przez koronę zapory.

Takie duże zagęszczenie wybudowanych obiektów związane jest z ryzykiem powodziowym występującym na terenie zlewni. W ostatnich latach zmieniło się zagospodarowanie tych terenów, łąki stały się terenami ornymi, a także buduje się wiele wolno stojących domów, zwłaszcza w zlewni la Lézarde w pobliżu Hawru. Zagrożenie związane jest z wylaniem cieków, a także z przyspieszonym spływem powierzchniowym. W górnej części zlewni znajduje się lessowy płaskowyż porożciniany korytami okresowo płynących cieków, w czasie opadów prędkość spływu powierzchniowego osiąga od 1 do 2 m/s. Spływ i przepływy w tych korytach stanowią zagrożenie dla dróg i terenów zabudowanych.

W zlewni Lézarde budowlę przegląda się co miesiąc, zgodnie z zarządzeniem prefekta oraz po każdym większym opadzie. Zlecane są również takie prace jak koszenie i oczyszczanie czaszy zbiorników.

Podsumowując rozwiązanie ochrony przed powodzią w zlewniach Lézarde i l'Austreberthe, można stwierdzić, że liczba budowli powoduje wysoki koszt ich utrzymania, zwiększany przez szybkie zamulanie. Rozdrobnione zagospodarowanie zlewni komplikuje ocenę ich skuteczności, a mała pojemność nie gwarantuje bezpieczeństwa.

Autorzy pragną podziękować kierownictwu obiektów oraz przedstawicielom różnych instytucji za pomoc przy opracowaniu tej pracy. W szczególności podziękowania należą się panom: Gérardowi Degoutte i Michelowi Lafont za ich cenne uwagi merytoryczne.

## PODSUMOWANIE

Ten krótki przegląd i analiza rozwiązań konstrukcyjnych i działania suchych zbiorników przeciwpowodziowych pozwala na przedstawienie poniżej zamieszczonych uwag:

1. Lokalizacja i gabaryty zbiornika powinny być zależne od celu budowy, wymaganej gwarancji bezpieczeństwa oraz charakteru i hydrologii zlewni.

2. Decyzja o budowie powinna być poprzedzona badaniami interdyscyplinarnymi, dotyczącymi zarówno zlewni cieków, jak i obszaru zbiornika przy akceptacji społeczeństwa i władz lokalnych.

3. Rentowność inwestycji, czyli zestawienie poniesionych nakładów, eksploatacja i ich amortyzacja w czasie (ochrona dóbr, bezpieczeństwo ludzi i terenu, ograniczenie strat) jest ważnym ale nie jedynym kryterium. Wyliczenia powinny uwzględniać też zyski i straty w perspektywie czasu (np. możliwość uzyskania terenu pod zabudowę czy rolnictwo).

4. Pod względem ekologicznym, zbiorniki tego typu są najlepsze ze wszystkich typów zapór, zapewniając ciągłość korytarza ekologicznego. Należy pamiętać też o tym, że bezkręgowce i mikroorganizmy stanowią znaczną część biomasy, a zapewnienie im dobrych warunków życia jest istotne dla metabolizmu. Przed powstaniem obiektu ważne jest przeprowadzenie konsultacji i badań interdyscyplinarnych, które mogą doprowadzić do rozwiązań kompromisowych zarówno pod kątem hydrotechnicznym jak i biologicznym.

5. Konstrukcja i idea działania obiektu powinny uwzględniać wszystkie warunki eksploatacji. Najważniejsze wskazówki to:

- należy stosować kilka upustów, rozmieszczonych na różnych poziomach,
- zalecane jest stosowanie przelewów powierzchniowych, które mają większą wydajność,
- konieczne jest zastosowanie zabezpieczenia wlotów do upustów za pomocą krat,
- słuszne jest zastosowanie zapór wstępnych, gdyż umożliwiają one wykorzystanie wody w okresach niżówkowych, ograniczają załadowanie zbiornika głównego, a także przechwytywają obiekty pływające.

6. Suche zbiorniki są skutecznym sposobem zabezpieczenia przed powodzią, chociaż ich oddziaływanie często nie obejmuje dłuższych odcinków cieków.

## BIBLIOGRAFIA

- Breil P. et al. *Aquatic ecosystems* [in :] *Data Requirements for Integrated Urban Water Management*, Chapter 20, Fletcher T.D & Deletić A. (Eds), Taylor and Francis group, London, 2008, pp. 262–274.
- 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.
- Lafont, M., Vivier A. *Hyporheic zone, coarse surface sediments and oligochaete assemblages: importance for the understanding of the watercourse functioning*. *Hydrobiologia*, 564. 2006, s. 171–181.
- Lang M., Lavabre J. et al. *Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations*, Editions QUÆ, 2007.

- Lenar-Matyas A., Łapuszek M. *The Studies on dry reservoirs on Uszwica river in order of flood mitigation for Brzesko town*, XII International Conference : Hydrological extremes in small basins, Kraków 2008.
- Lenar-Matyas A., Poulard C., Witkowska H., Szczęsny J. - *The choice of an outlet for Isepnica Dry Reservoir*, Selected Problems of Water Engineering, Politechnika Krakowska – Cemagref – results of cooperation, Cemagref Editions 2004, BP 44, 92163 Antony, France
- Ostroumov S.A. *On the multifunctional role of the biota in the self-purification of aquatic ecosystems*. Russian Journal of Ecology, 36, 2005, s. 414–420.
- Perrin J.F., Lafont M., Péry A. *Outils de diagnose fonctionnelle pour l'ingénierie écologique en rivière*. Ingénieries EAT, N°Spécial 2004, s. 57–67.
- 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., Witkowska H. *Simulation de l'effet de barrages secs sur la régulation des crues d'un bassin versant*, Projet EcoNet, Rapport final 2004-2005, 2005, s. 6.
- Poulard, C., Leblois E., Narbais D., Chennu S. *Towards objective design of dry dams at watershed scale: how to take into account the spatial structure of the rainfall and its variability*. 12th Biennial Conference of Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB), Hydrological Extremes in Small Basins, 18-20 Septembre 2008, Cracovie (Pologne), Technical Docs in Hydrology, 2009.
- Poulard, C., Lafont, M., Lenar-Matyas, A., Łapuszek, M.: *Flood mitigation designs with respect to river ecosystem functions—A problem oriented conceptual approach* (artykuł przyjęty do druku). Ecological Engineering.
- Ratomski J. *Mała retencja i suche zbiorniki przeciwpowodziowe jako system ochrony małych zlewni górskich*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. Wyd. Komisji Technicznej Infrastruktury Wsi PAN 2/2004 Kraków
- Ratomski J. *Proekologiczna zabudowa rzek i potoków górskich*. Materiały XII Szkoły Hydrauliki IBW PAN 1992.
- 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, s. 48.
- [www.miamiconservancy.org/flood/dams.asp](http://www.miamiconservancy.org/flood/dams.asp)
- <http://home.dayton.lib.oh.us/Archives/Flood1913/FloodHistorSketch.html>
- <http://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge301/Dayton%20Flood-Updated.pdf>

Jerzy Ratomski  
Anna Lenar Matyas  
Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tel. 012 628 28 89  
e-mail: alenar@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-Provence  
paul.royet@cemagref.fr

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