

## Wykład II

### Znaczenie retencji w środowisku naturalnym

W celu racjonalnego zagospodarowania zasobów wodnych należałoby zminimalizować ich zmienność w czasie i przestrzeni (okresy suszy i powodzi). Powoduje to konieczność aktywnego rozwijania retencji w obszarze zlewni.

Przez zdolność retencyjną rozumie się zdolność gromadzenia i przetrzymywania wody przez określony czas. Zdolność retencyjną posiada las, gleba, a przede wszystkim zbiorniki naturalne i sztuczne. Zadaniem retencji jest nie tylko magazynowanie wody dla celów bezpośredniego zużycia, lecz w pierwszym rzędzie regulacja i kontrola obiegu wody w środowisku. Stwarza to lepszą możliwość ochrony i odnowy zasobów wodnych oraz racjonalną gospodarkę nimi bez naruszania równowagi środowiska.

Ilość wody jaka spłynie do sieci rzecznej zależy od natężenia deszczu mierzonego ilością litrów wody na metr kwadratowy powierzchni zlewni lub wprost wielkością opadu podanego w milimetrach. Równie istotne jest zagospodarowanie i formy użytkowania powierzchni zlewni oraz rzeźba i spadki terenu. Na rysunku 1 przedstawiono schematyczny wpływ różnych form użytkowania terenu na wielkość odpływu rzecznej przy różnym natężeniu opadów. Charakterystyczna jest duża zdolność retencyjna naturalnych, gęstych lasów sięgająca 100% przy niewielkich opadach ( $20 \text{ l/m}^2$ ), a w przypadku opadów bardziej intensywnych ( $100 \text{ l/m}^2$ ) wynosząca 67%. Powierzchnie nieprzeziąkliwe (nieprzepuszczalne) – skalne, betonowe, asfaltowe – posiadają zdolność retencyjną bliską zeru.

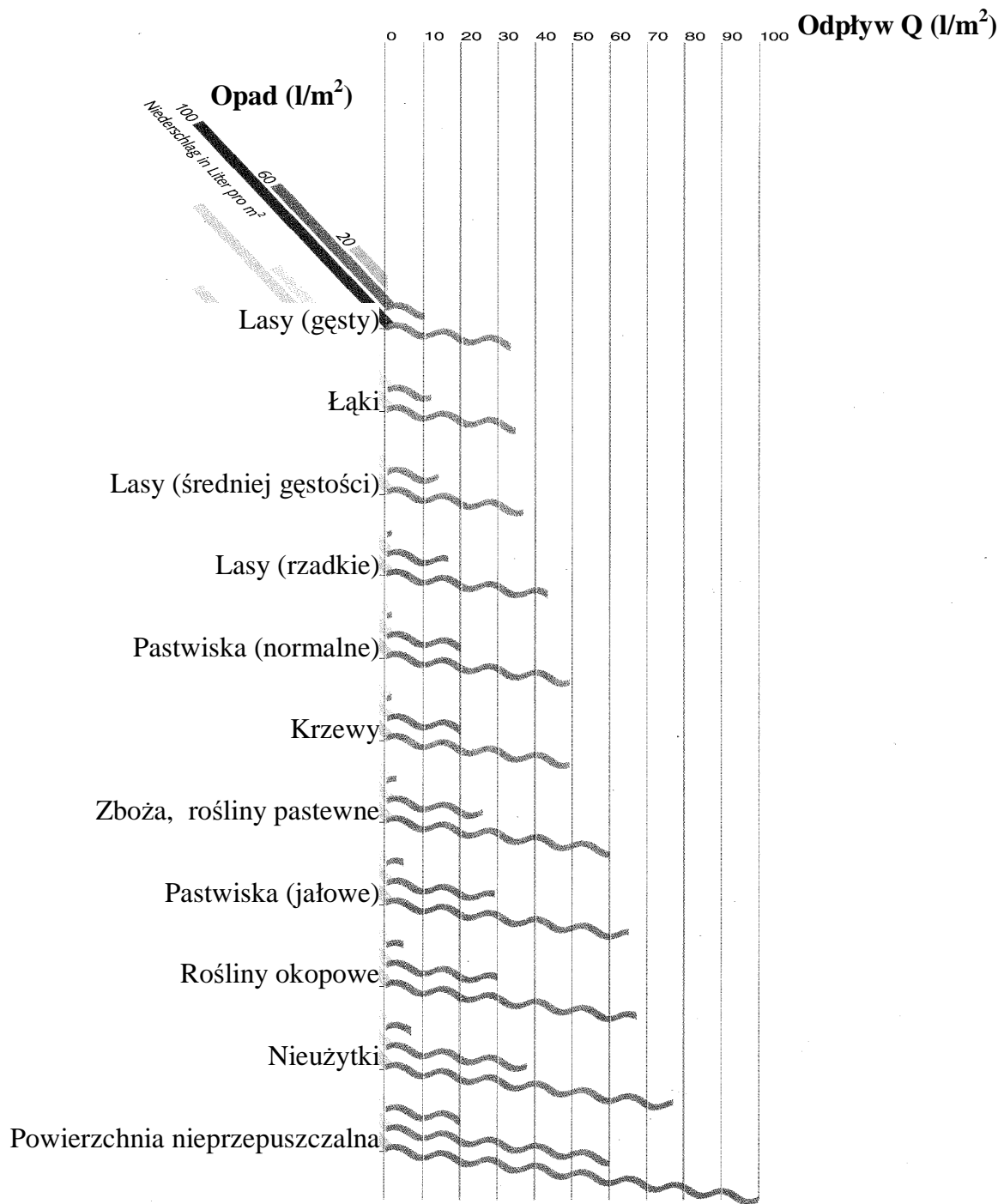
Wyróżnić można następujące formy retencji:

#### a) retencję naturalną:

- leśna,
- glebowo – gruntowa,
- retencję koryt i dolin rzecznych,
- retencję śnieżną i lodowcową.

#### b) retencję sztuczną:

- sztuczne zbiorniki wodne,
- podpiętrzone jeziora,
- stawy rybne.



**Rys. 1.** Wpływ różnych form zagospodarowania terenu na wielkość odpływu i zdolność retencyjną terenu (Bayerisches Landesamt fuer Wasserwirtschaft, Spektrum Wasser 1, Hochwasser 1998)

Ze względu na możliwość dowolnego dysponowania retencyjnymi zasobami wodnymi wyróżnia się:

- a) retencję niesterowaną,
- b) retencję sterowaną.

### **Retencja niesterowana**

Do retencji niesterowanej zalicza się retencję naturalną oraz retencję zbiorników i akwenów naturalnych oraz tzw. zbiorniki suche. Największe znaczenie wśród retencji niesterowanej przypada retencji leśnej. Las akumuluje wodę (również w postaci śniegu) do momentu wypełnienia intercepcji i nasycenia podszytu, runa oraz ściółki po czym jego działanie wyrównania odpływu zanika i następuje swobodny odpływ nadmiaru wody. Z punktu widzenia gospodarki wodnej mamy zatem do czynienia z niekontrolowaną, automatycznie działającą retencją, której pojemność jest przy tym nieznana. Działanie retencyjne lasu jest silniejsze w przypadku naturalnych leśnych formacji ekologicznych (las mieszany, wielopiętrowy, z dobrze rozwiniętym podszytem). Natomiast może być znikome w monolitycznych kulturach leśnych – plantacje leśne.

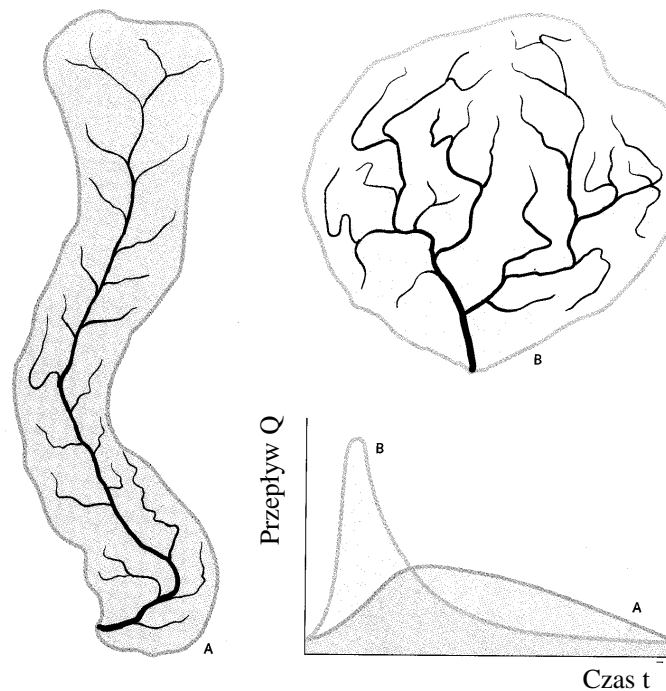
Najkorzystniej na stosunki wodne w zlewni oddziałują obszary leśne występujące w górnych partiach zlewni (teren o dużych spadkach, bogatej rzeźbie terenu). Łagodzą wówczas wahania przepływów i zmniejszają erozję terenową. Lasy w dolnych częściach zlewni mogą czasami powodować nadmierną koncentrację przepływu i sprzyjać formowaniu się dużych fal powodziowych. Inną istotną cechą lasu jest zdolność podwyższania stopnia wilgotności w otoczeniu, a przez to zmniejszenie amplitudy wahań temperatury co jest szczególnie ważne w przypadku wezbrań roztopowych. Podobne zjawiska dotyczą retencji glebowej, choć jest ona na ogół mniejsza od retencji leśnej.

Retencję nie sterowaną można scharakteryzować w następujący sposób:

- umożliwia tylko krótkookresowe, nieregularne i nie dające się określić ilościowo wyrównanie przepływu,
- wyrównuje częściowo odpływ w ciekach
- ułatwia bezpośrednio wykorzystanie opadów przez roślinność, wskutek czego wzrasta produkcja rolna względnie leśna,

- przy odpowiedniej gospodarce leśnej i rolnej maleje niszcząca erozyjna działalność wody,
- rozbudowa retencji biologicznej w postaci roślinności w otoczeniu małych akwenów naturalnych i sztucznych stwarza odpowiednie warunki środowiska dla różnych organizmów zwierzęcych, przy zachowaniu właściwej równowagi środowiska naturalnego.

Na kształtowanie się fal powodziowych wpływ posiada również kształt zlewni oraz układ sieci rzecznej (**rys. 2.**). W przypadku rynnowego kształtu zlewni i układu jednego odbiornika do którego bezpośrednio wpadają cieki niższego rzędu fala zostaje spłaszczona i wydłuża się w czasie (**rys. 2.A**). Natomiast centralnie ukształtowana zlewnia o rozbudowanej sieci rzecznej gdzie główne dopływy są sobie równorzędne i łączą się w pobliżu przekroju zamykającego zlewnię sprzyja nakładaniu się kulminacji przepływów - a zatem wzrostowi przepływu oraz przechodzeniu fal w bardzo krótkim czasie.

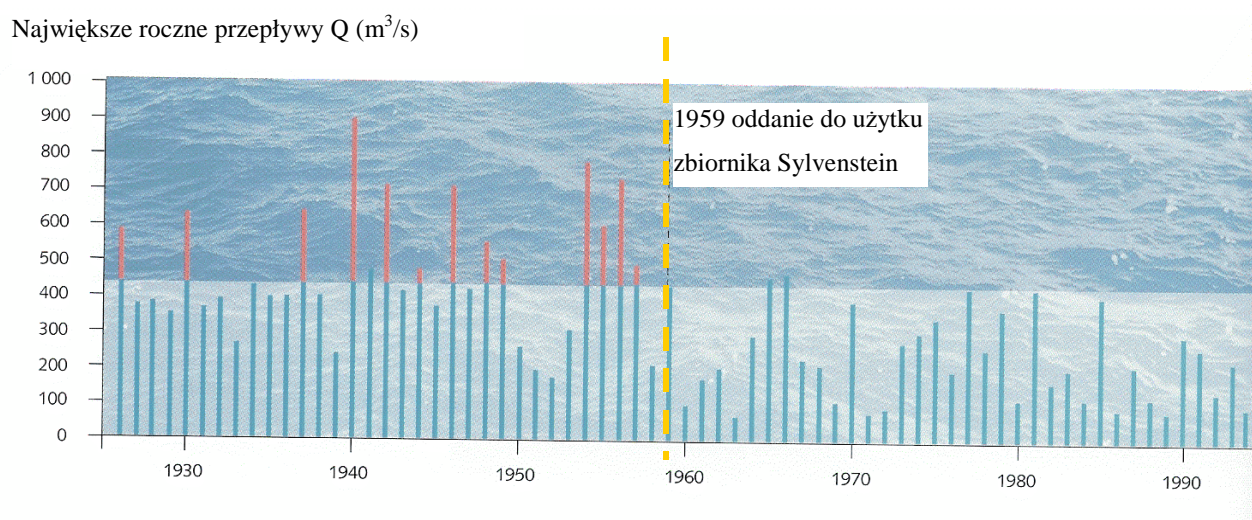


**Rys. 2.** Wpływ kształtu zlewni na formowanie się fal powodziowych

### Retencja sterowana

Retencja sterowana umożliwia kontrolę obiegu wody. Od źródeł w kierunku ujścia maleje ilość zbiorników wodnych, a wzrasta ich pojemność. Duża ilość małych zbiorników wodnych na obszarach źródliskowych, tj. w pobliżu wododziałów, z zespołami różnorodnej roślinności stanowi skuteczny element zachowania równowagi środowiska i utrzymania w fizjocenozie odpowiednich warunków dla normalnego rozwoju flory i fauny. Rola poszczególnych małych zbiorników w ochronie przed powodzią jest mała, zaś funkcje gospodarcze sprowadzają się np. do nawodnień małych obszarów, zaopatrzenia w wodę poszczególnych zakładów przemysłowych lub miast. Jednakże w dużej masie, te małe zbiorniki, zwane także zbiornikami wiejskimi, mogą w znacznym stopniu stymulować stosunki wodne na tych obszarach.

Położone poniżej zbiorniki średniej wielkości, zamykają małe zlewnie, mają duże znaczenie w zakresie ochrony przeciwpowodziowej i w zakresie melioracji rolnych i leśnych. Stąd często nazywane są zbiornikami melioracyjnymi. Sieć tych zbiorników stanowi właściwą bazę ochrony przeciwpowodziowej (**Rys.3**). Z drugiej strony zbiorniki te mogą chronić przed suszą. Małe zbiorniki wiejskie i zbiorniki melioracyjne spełniają funkcję zbiorników ekologicznych. Duże zbiorniki na większych rzekach są z reguły zbiornikami wielozadaniowymi wykorzystywanymi do celów żeglugowych, energetycznych, przeciwpowodziowych.



**Rys.3** . Wpływ zbiornika Sylvenstein na kształtowanie się przepływów ekstremalnych rocznych (wg. Bayerisches Landesamt fuer Wasserwirtschaft, Spektrum Wasser 1, Hochwasser 1998)

Wpływ retencji zbiornikowej zaprezentowano na przykładzie zbiornika Sylvenstein na rzece Isar gdzie po wybudowaniu w 1959 roku dużego zbiornika retencyjnego znacząco spadła wielkość rocznych ekstremów przepływów.

### **Magazynowanie zasobów wodnych w zbiornikach retencyjnych**

Zbiorniki wodne (retencyjne) umożliwiają wyrównanie odpływu rzeczno-ego przez magazynowanie (retencjonowanie) wody w okresach jej nadmiaru (wezbrań) i korzystanie w okresach niedoboru (susza). Zadaniem zbiorników jest zatrzymanie lub częściowej transformacja fal wezbraniowych. Skuteczność zbiornika jest funkcją jego pojemności, która zależy od wielkości odpływu rzeczno-ego, kształtu i wielkości doliny rzeczno-ego tworzącej czasę zbiornika. Zdolność wyrównania odpływu rzeczno-ego n mierzy się stosunkiem ogólnej pojemności zbiornika  $V_{zb}$  do wielkości rocznego odpływu rzeczno-ego  $V_r$ :

$$n = \frac{V_{zb}}{V_r} 100\%$$

Zbiornik wodny powstaje przez przegrodzenie doliny rzeczno-ego zaporą zaopatrzoną w specjalne urządzenia służące do zrzutu wody na dolne stanowisko (jazy, przelewy powierzchniowe, spusty, turbiny, śluzy). W zależności od przeznaczenia wyróżnia się zbiorniki:

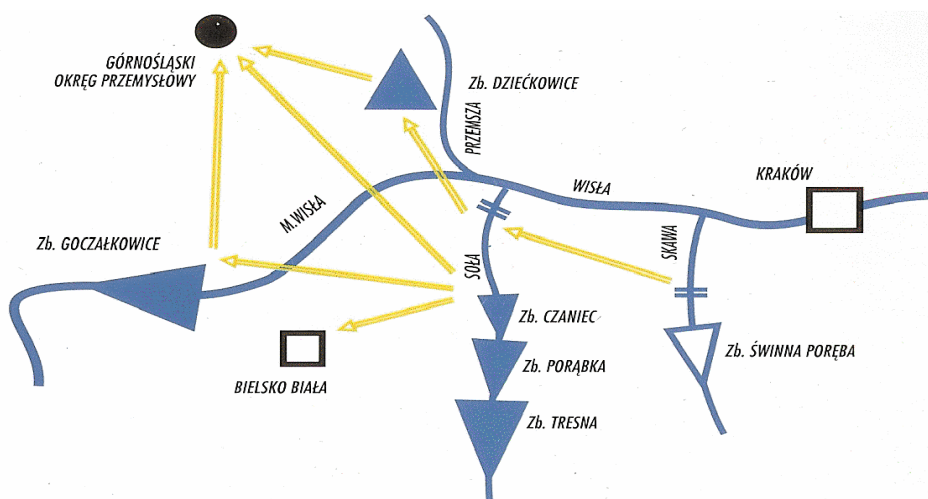
- przeciwpowodziowe, zatrzymujące wielkie wody i opóźniające ich odpływ, zmniejszające przez to niebezpieczeństwo powodzi,
- żeglugowe, zapewniające ciągłość żeglugi w okresie niskich stanów wody,
- energetyczne, wykorzystujące nagromadzoną w zbiorniku wodę do produkcji energii elektrycznej,
- wyrównawcze, budowane poniżej zbiorników głównych, w celu wyrównania przepływu poniżej,
- komunalne, gromadzące wodę do celów zaopatrzenia w wodę zakładów komunalnych,
- przemysłowe, gromadzące wodę do celów zaopatrzenia w wodę zakładów przemysłowych,
- rolnicze, gromadzące wodę do nawodnień

- suche (okresowe), budowane na potokach górskich, napełniają się wodą w okresach wezbrań i stopniowo opróżniają się po przejściu wezbrania,
- przeciwrumowiskowe, budowane na potokach górskich i gromadzące rumosz skalny.

Obecnie najczęściej buduje się zbiorniki wielozadaniowe, jednak dominuje w ich gospodarce jedna z wymienionych funkcji i jej podporządkowane są inne zadania. Najczęściej spotyka się zbiorniki spełniające dwa lub trzy podstawowe zadania gospodarcze jednocześnie.

Zależnie od przeznaczenia zbiornika i systemu jego pracy przepływ rzeczny poniżej zbiornika oznacza się różną zmiennością. Ma to niekorzystny wpływ na stabilność koryta rzecznej, a także na życie organiczne w rzece. W celu przeciwdziałania temu często buduje się poniżej zbiornika głównego mniejszy zbiornik wyrównawczy, umożliwiający czasowe zatrzymanie wody i wyrównanie odpływu rzecznej poniżej. Dotyczy to głównie zbiorników energetycznych gdzie często spotyka się zespoły lub systemy zbiorników np.: Solina i Myczkowce na Sanie, Koronowo i Trzyczyn na Brdzie, Czorsztyn i Sromowce Wyżne na Dunajcu.

W pewnych przypadkach korzystne jest tworzenie całej kaskady zbiorników z których każdy może spełniać inne zadanie, a cała kaskada jest zwykle wykorzystywana energetycznie w tzw. systemie przewalowym np. kaskada rzeki Soły: Tresna – Porąbka – Czaniec.



**Rys. 4.** Kaskada rzeki Soły na tle gospodarki wodnej w obrębie górnośląskiego okręgu przemysłowego

Naturalnymi zbiornikami magazynującymi wody są jeziora, powodujące wyrównanie przepływu rzek jeziornych. W celu zwiększenia pojemności jeziora podnosi się jego poziom przez tzw. podpiętrzenie jeziora, dokonywane zwykle przez ustawienie budowli piętrzącej (np. jazu) na odpływie z jeziora. Podpiętrzenie może być zastosowane także w przypadku wykorzystania jeziora do nawodnień przez umożliwienie grawitacyjnego odpływu wody z jeziora na teren nawadniany.

W zależności od przeznaczenia zbiornika następuje podział jego pojemności na określone cele. Jednak przy dnie zbiornika pozostaje zawsze tzw. część martwa, przeznaczona na akumulację rumowiska rzecznoego, dostającego się wraz z wodą do zbiornika. W trakcie eksploatacji w zbiornikach wodnych następuje akumulacja rumowiska rzecznoego oraz materiału powstałego z erozji dna i brzegów, a także występowania osuwisk (proces ten nazywamy **zamulaniem zbiorników**). W wyniku procesu zamulania zmniejsza się pojemność zbiornika. Wielkość akumulacji w niektórych zbiornikach polskich wynosi rocznie ok. 1% pojemności zbiornika (Rożnów na Dunajcu, Myczkowce na Sanie). Na ogół są to wartości znacznie niższe, a stosowane obecnie środki techniczne pozwalają na zahamowanie procesu (bagrowanie osadów dennych, przepłukiwanie zbiornika, budowa zapór przeciwrumowiskowych powyżej zbiorników i in.). Największe zapory świata przedstawiono w tabeli 1.

W Polsce nie istnieją sprzyjające warunki naturalne do budowy dużych zbiorników wodnych. Rzeki nie są zbyt zasobne w wodę, niekorzystne do posadowienia większych zapór i utworzenia dużych zbiorników retencyjnych są także warunki geomorfologiczne w dolinach rzecznych oraz warunki geologiczne. Już w pierwszej połowie lat pięćdziesiątych mówiono o konieczności zwiększenia do 9 mld m<sup>3</sup> rezerwy zbiornikowej na górskich dopływach Wisły.

W połowie lat osiemdziesiątych oddano do użytku kilka większych zbiorników wodnych: Jeziorsko na Warcie, Dobczyce na Rabie, Chańcza na Czarnej Staszowskiej, Mietków na Bystrzycy i in. W 1997 r. oddano duży zbiornik w Czorsztynie na Dunajcu o pojemności ponad 230 milionów m<sup>3</sup>, który przyczynił się istotnie do zmniejszenia fali wezbraniowej poniżej Czorsztyna. Ocenia się, że pojemność wodna naszych zbiorników wynosi obecnie ok. 3,6 mld m<sup>3</sup>, a więc przy odpływie średnim rocznym ok. 60 mld m<sup>3</sup> umożliwia wyrównanie odpływu zaledwie ok. 6%. Przy tak skromnym wyrównaniu trudno mówić o racjonalnej gospodarce zasobami i wodnymi.



Tabela 1

## Najwyższe zapory betonowe świata

Liczba rankingowa	Nazwa	Rok ukończenia	Kraj	Typ	Wysokość (m)
1	Grande Dixence	1961	Szwajcaria	BC	285
2	Inguryjska	1980	Gruzja	A	272
3	Vajont	1961	Włochy	A	262
—	Ertan	w budowie	Chiny	A	245
—	Sajańsko-Szuszeńska	1985	Rosja	A/BC	245
4	Mauvoisin	1957	Szwajcaria	A	237
5	El Cajon	1985	Honduras	A	234
6	Czirkicjska	1978	Dagestan	A	233
7	Bhakra	1963	Indie	BC	226
8	Hoover	1936	Stany Zjedn.	A/BC	221
9	Mrantinje	1976	Jugosławia	A	220
10	Contra	1965	Szwajcaria	A	220
11	Dworshak	1973	Stany Zjedn.	BC	219
12	Glen Canyon	1966	Stany Zjedn.	A	216
13	Toktogul	1978	Kirgistan	BC	215
14	Daniel Johnson	1968	Kanada	WA	214
15	Dez	1962	Iran	A	213
16	Luzzone	1963	Szwajcaria	A	208
17	Almendra	1970	Hiszpania	A	202
—	Chudońska	(1990)	Gruzja	A	201
18	Kölnbrein	1977	Austria	A	200
19	Karun	1975	Iran	A	200
20	Itaipú	1982	Brazylia/Paragwaj	Z/BC/N	196
21	New Bullards Bar	1970	Stany Zjedn.	A	194
—	Lakhwar	(1991)	Indie	BC	192
22	Kurobe	1964	Japonia	A	186
23	Zilligründl	1987	Austria	A	186
24	Mossyrock	1968	Stany Zjedn.	A	185
25	Oymapinar	1984	Turcja	A	185

Oznaczenia: bez liczby rankingowej — zapora, która wkrótce ma zająć miejsce przypisane jej w liście, przewidywany rok ukończenia zapory bez liczby rankingowej podano w nawiasie; A — zapora łukowa, BC — zapora betonowa ciężka, N — zapora narzutowa, WA — zapora wielolukowa, Z — zapora ziemna.

Dużą wagę przywiązuje się do oddziaływania zbiorników wodnych na rzekę i jej dolinę. Poza oczywistym pozytywnym wpływem zbiorników wodnych na wyrównanie odpływu rzecznoego, istotna jest także:

- poprawa warunków klimatu lokalnego przez zmniejszenie amplitudy temperatury powietrza, jednak w stosunkowo niewielkim jego zasięgu (maksymalnie do kilku kilometrów), częściowe zwiększenie wilgotności powietrza (głównie w wyniku podpiętrzenia wód gruntowych w otoczeniu zbiornika), zwłaszcza przy wyższej temperaturze powietrza (Lenart, 1983; Lewińska, 1984; Marzec, 1971);
- zmiana warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych wody zatrzymywanej w zbiorniku. Zbiorniki zbudowane na słabo zanieczyszczonych rzekach spełniają rolę ośrodka

kumulacji i redukcji mineralnych związków chemicznych, przyczyniając się tym samym do wzmożonego samooczyszczania wód rzecznych, a w przypadku znacznego zanieczyszczenia rzek, zwłaszcza w zbiorniku głębokim, występują warunki niekorzystne (Pasternak, 1984; Woyciechowska, Dojlido, 1982);

- kształtowanie się nowego ustroju termicznego i lodowego w zbiorniku i oddziaływanie na ustrój poniżej. Zmiany te mogą być zarówno korzystne, jak i niekorzystne, w zależności od sposobu wykorzystania zbiornika oraz celów, którym ma służyć rzeka (Cyberska, 1975, 1984; Tomik, 1969);
- zmiana dna i brzegów zbiornika w wyniku osadzania się rumowiska rzecznoego, erozji brzegów zbiornika, powstawanie osuwisk (Banach, 1977, 1994; Cyberski, 1984; Łajczak, 1995);
- oddziaływanie na stanowisko dolne i erozję dna poniżej zapory, na dość znacznym nieraz odcinku rzeki (do kilkunastu kilometrów) (Babiński, 1992);
- podtapianie terenów wokół zbiornika w wyniku spiętrzenia wód gruntowych (Głazik, 1978).

W każdym przypadku wpływ zbiornika może być różny, dlatego w jego projektowaniu powinno się uwzględniać przewidywane zmiany w celu opracowania prognoz zmian i przedsięwzięć zmierzających do przeciwdziałania niekorzystnemu oddziaływaniu zbiornika (Ambrożewski, 1993).

Wymagania dotyczące ochrony środowiska w znacznym stopniu spełniają małe zbiorniki wodne, czyli zapewniające tzw. małą retencję wodną. Pojęcie to nie jest jednoznaczne; według porozumienia ministrów Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej oraz Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (21 XII 1995 r.) do zapewniających małą retencję zaliczono zbiorniki o pojemności mniejszej od 5 mln m<sup>3</sup>. Wyróżnia się przy tym (Mioduszewski, 1997) „zbiorniki najmniejsze”, czyli mikrozbiorniki o piętrzeniu do 1,5 m (przy wysokości budowli piętrzącej do 2 m i przepływie średnim cieką mniejszej od 2 m<sup>3</sup>/s), oraz „zbiorniki małe” o piętrzeniu ponad 1,5 m i pojemności poniżej 5 mln m<sup>3</sup>. Mioduszewski podaje, że rola i zadania małych zbiorników są bardzo zróżnicowane. Różne mogą być cele budowy zbiornika, a jego funkcje uzależnione od typu, wielkości, usytuowania w krajobrazie, jakości gromadzonej wody

itp. Rozróżnia przy tym podstawowe funkcje zbiorników: magazynujące wodę do celów gospodarczych, wykorzystywane do rekreacji ostoje fauny i flory oraz enklawy wodne, wreszcie wykorzystywane w oczyszczaniu wody (biofiltry) i ochrony przeciw-erozyjnej. Niewątpliwie małe zbiorniki wodne stanowią istotne uzupełnienia zbiorników dużych tworzonych w określonych celach wodno-gospodarczych.