

WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII, *Instytut Geodezji i Budownictwa,*
Katedra Inżynierii Budowlanej, Zespół Geotechniki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

Budowle hydrotechniczne

Wykład 10

Wały przeciwpowodziowe

dr inż. Ireneusz Dyka – pok. 3.32 [ul. Heweliusza 4]

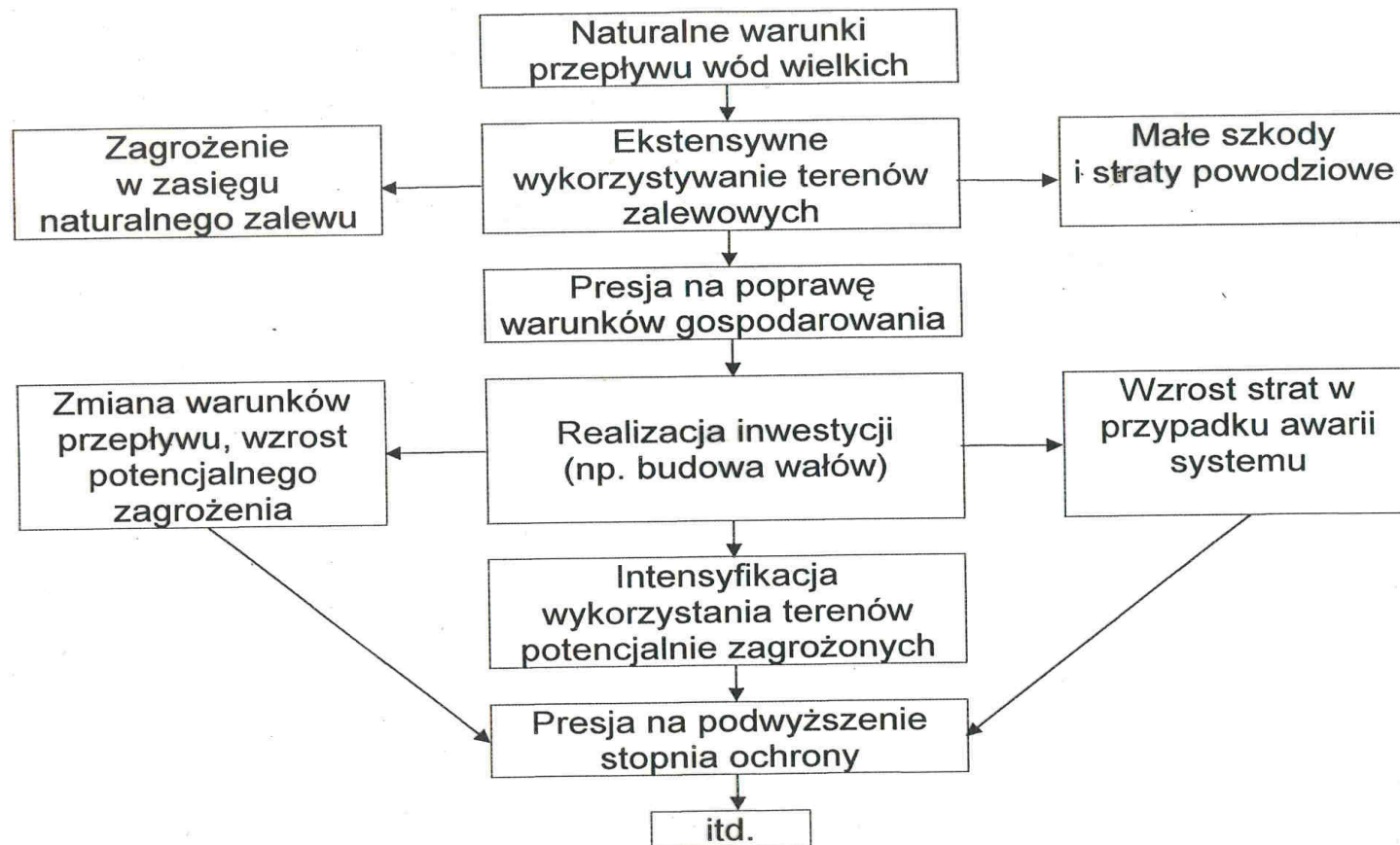
<http://pracownicy.uwm.edu.pl/i.dyka>

e-mail: i.dyka@uwm.edu.pl

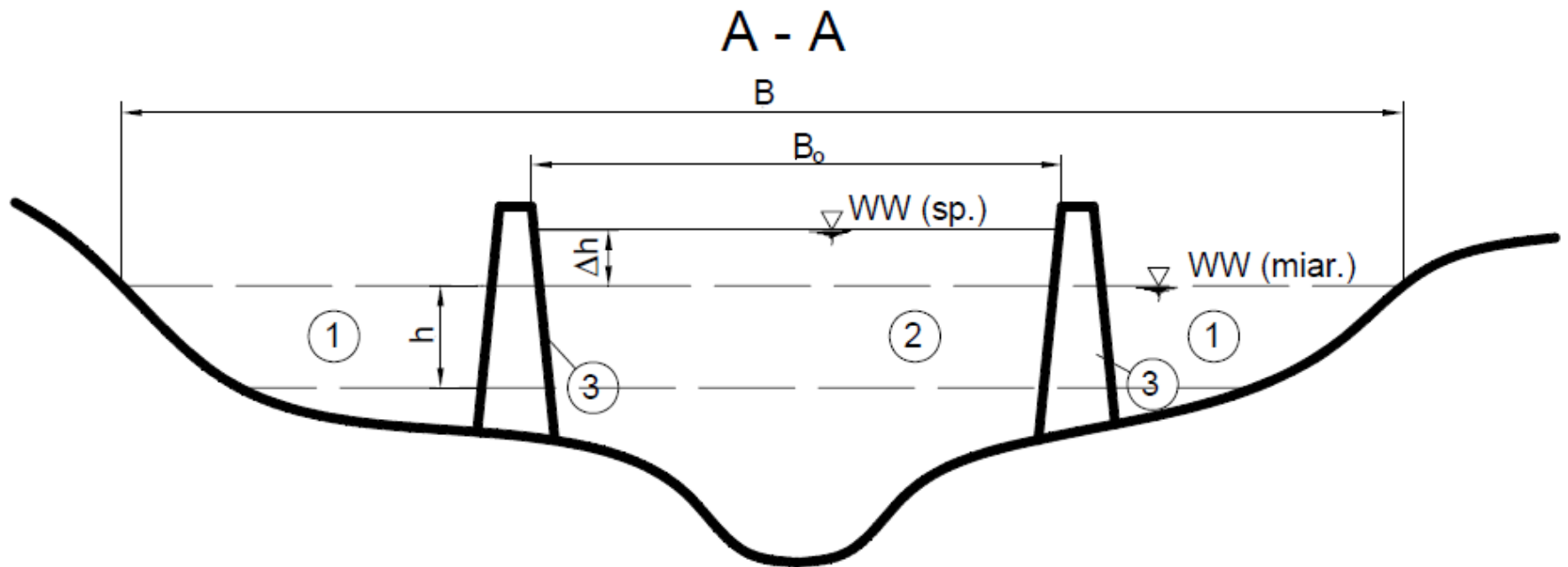
Ochrona przed powodzią - zagrożenia – straty



W państwach najbogatszych straty gospodarcze w wyniku powodzi są proporcjonalnie większe niż w państwach biednych – pozbawionych systemów ochrony przed powodzią lub z niepełnym systemem



Wały przeciwpowodziowe



Spiętrzenie wody w miedzywale:

1 - zawale, 2 - miedzywale, 3-wały

Aktualne problemy ochrony przed powodzią



- Zmiany w środowisku naturalnym mają istotny wpływ na ryzyko i podatność na powodzie.
- istotnym czynnikiem zmian jest wzrost liczby ludności, zmiany klimatyczne, powodujący migracje, rozwój osadnictwa i gospodarki oraz zmiany użytkowania terenu zlewni.
- Tereny zagrożone, obecnie intensywnie zagospodarowane wymagają coraz skuteczniejszej ochrony.
- Programy rozwoju gospodarczego i użytkowania terenu powinny być dostosowane do potencjalnego zagrożenia powodziowego:
 - konieczne jest wyznaczanie granic obszarów zagrożenia w dolinach rzecznych,
 - w planach zagospodarowania przestrzennego należy uwzględniać ograniczenia w użytkowaniu i zabudowie terenów zalewowych.
- Ochrona przed powodzią wymaga kompleksowych rozwiązań i powinna obejmować zespół różnorodnych i wzajemnie powiązanych działań technicznych, ekonomicznych i administracyjnych, z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska i rozwoju zrównoważonego.
- Jako priorytetowe należy uznać działania wpływające na wzrost retencji w zlewni:
 - **renaturyzacja rzek i dolin,**
 - **budowa polderów, suchych zbiorników oraz obiektów małej retencji,**
 - **retencyjne przysposobienie zlewni.**
- Istniejące obiekty wymagają racjonalnej modernizacji w celu poprawy ich funkcjonowania

Retencja

Własności retencyjne zlewni mają decydujące znaczenie na wielkość wezbrania.

Pod pojęciem retencji lub zdolności retencyjnej rozumie się zdolność gromadzenia wody i przetrzymywania jej przez określony czas w środowisku.

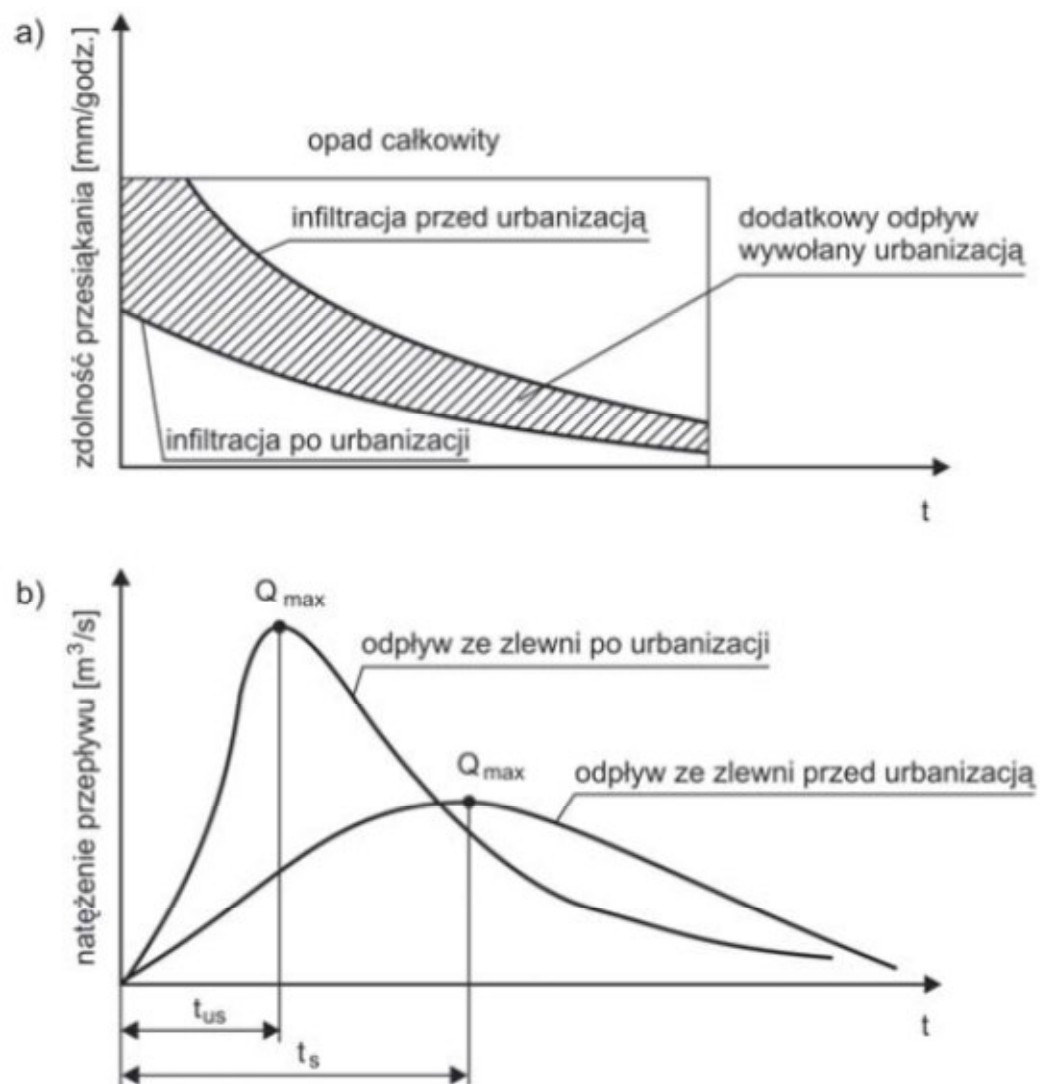
Z punktu widzenia sposobu uzyskiwania retencji w zlewni wyróżnia się retencję:

- naturalną;
- sztuczną (sterowana i niesterowana).

Retencja naturalna występuje w wielu formach (Mioduszewski, 1997):

- retencja krajobrazowa (siedliskowa), do której zalicza się lasy, torfowiska i mokradła,
- retencja glebowa,
- retencja wód gruntowych i podziemnych,
- retencja wód powierzchniowych (koryt i dolin rzecznych),
- retencja śnieżną i lodowcową.

Retencyjne przysposobienie zlewni



Wpływ zabudowy miejskiej na kształt fali powodziowej

Środki ochrony przed powodzią

Środki techniczne

Środki ochrony czynnej

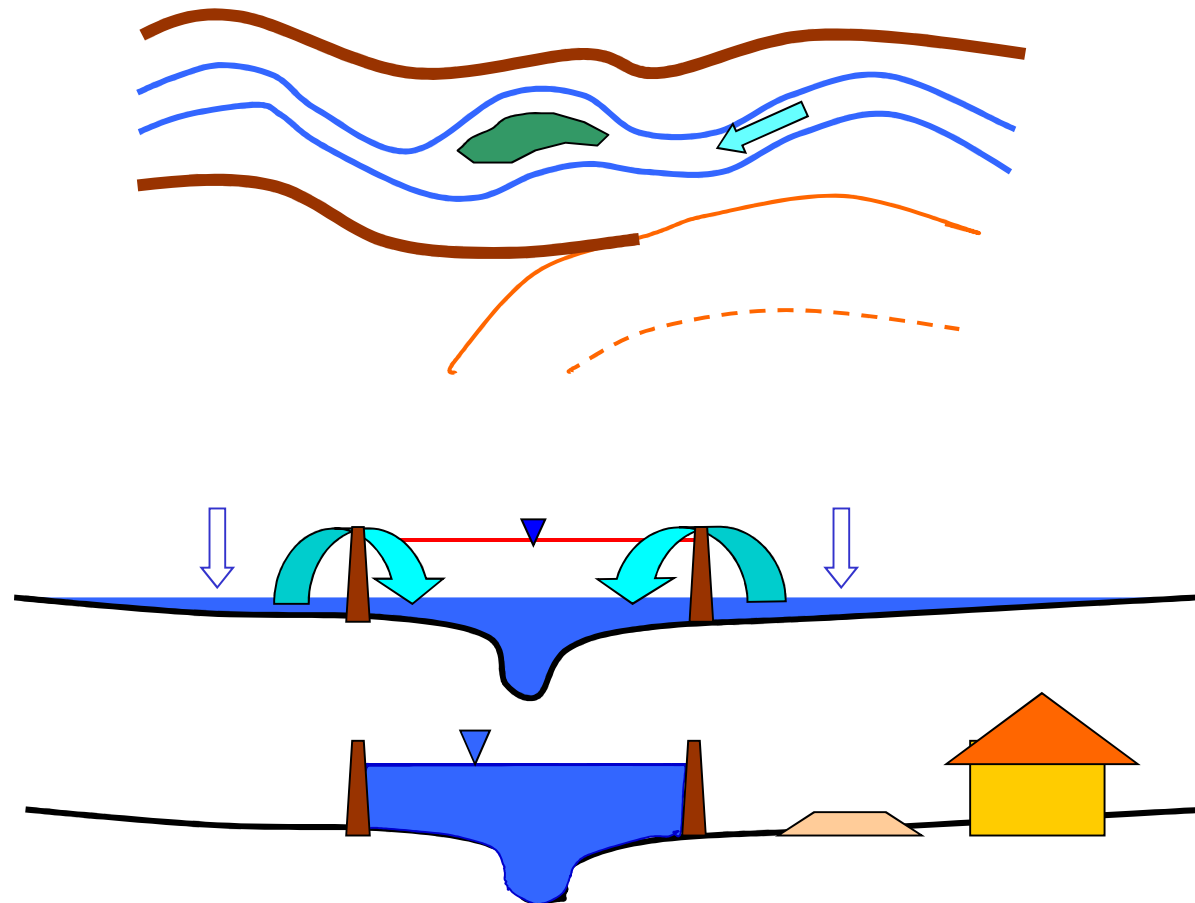
- Zmniejszają wysokość fali wezbraniowej i redukują wielkość przepływów:
- Poldery z zamknięciami
 - Suche zbiorniki z zamknięciami
 - Wielozadaniowe zbiorniki retencyjne
 - Obiekty małej retencji
 - Retencyjne przysposobienie zlewni

Środki ochrony biernej

- Wpływają na bezpieczne odprowadzenie wód wielkich:
- Wały przeciwpowodziowe
 - Regulacja rzek
 - Kanały ulgi
 - Poldery i suche zbiorniki bez zamknięć

Środki techniczne ochrony biernej

Wały przeciwpowodziowe - budowle ziemne, które ograniczają zasięg zalania terenów nadrzecznych płaskich o dużej powierzchni, gdy poziom wezbrania jest znacznie wyższy od brzegów głównego koryta rzeki



Wały przeciwpowodziowe

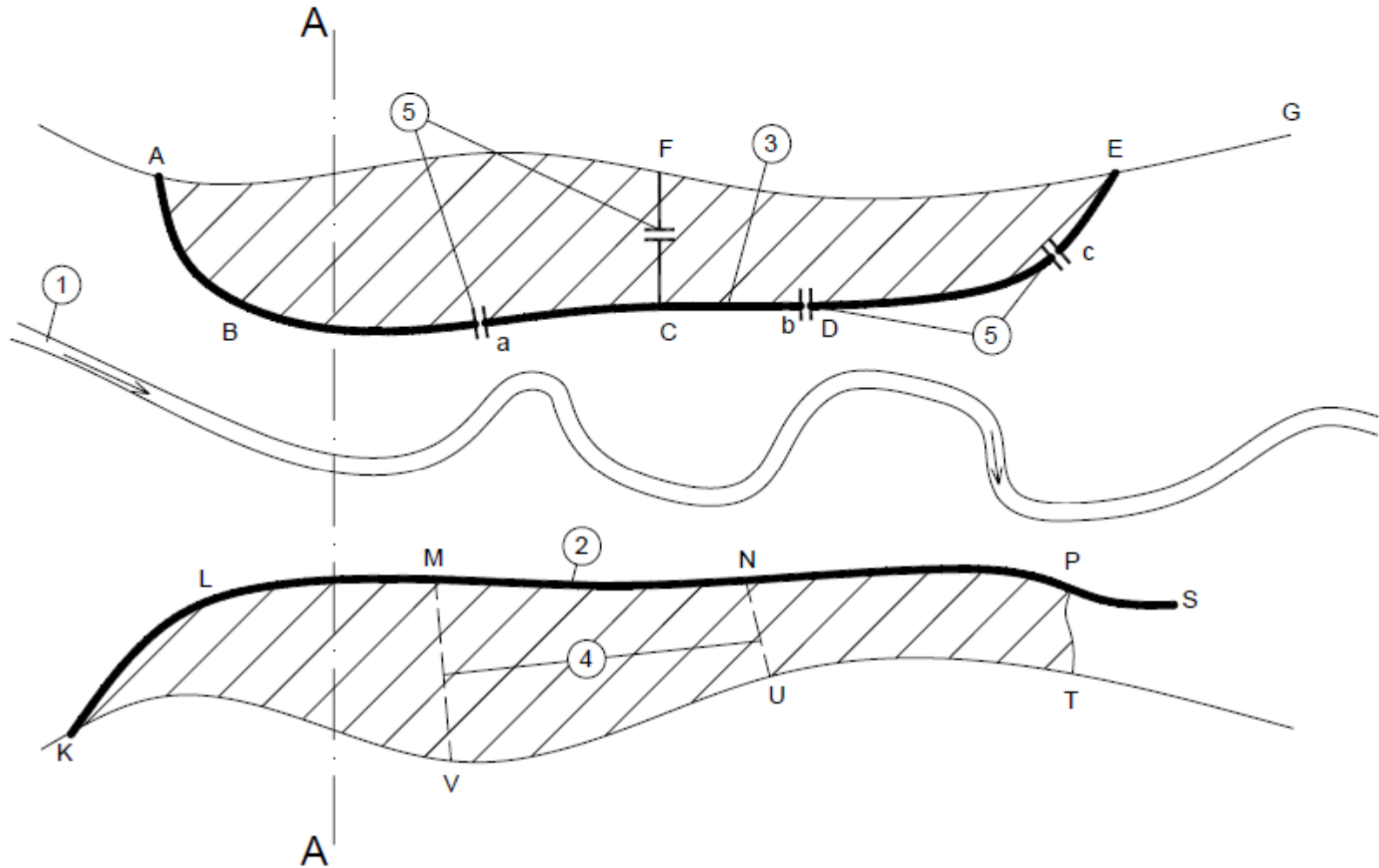
- chroniące np. nisko położone osiedla w dolinie rzecznej, gdzie wybudowane wały ochraniają znajdujące się blisko zakola rzeki nizinnej osiedle przed okresowo powtarzającymi się zalewami



Obwałowanie lokalne na zakolu rzeki:

1-rzeka, 2-wały przeciwpowodziowe, 3-zabudowania, 4-drogi

Wały przeciwpowodziowe

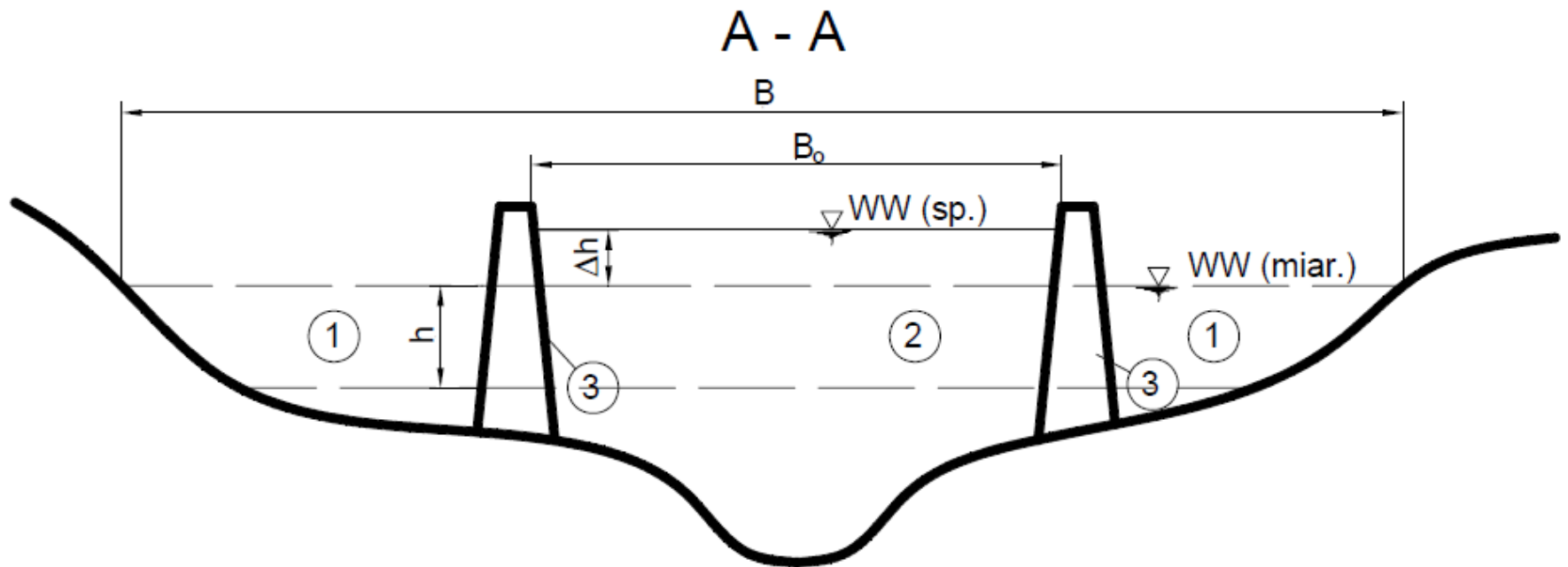


Schemat obwałowań doliny rzecznej:

1-rzeka, 2-wał otwarty, 3-wał zamknięty,

4-wały poprzeczne (działowe), 5-przepusty

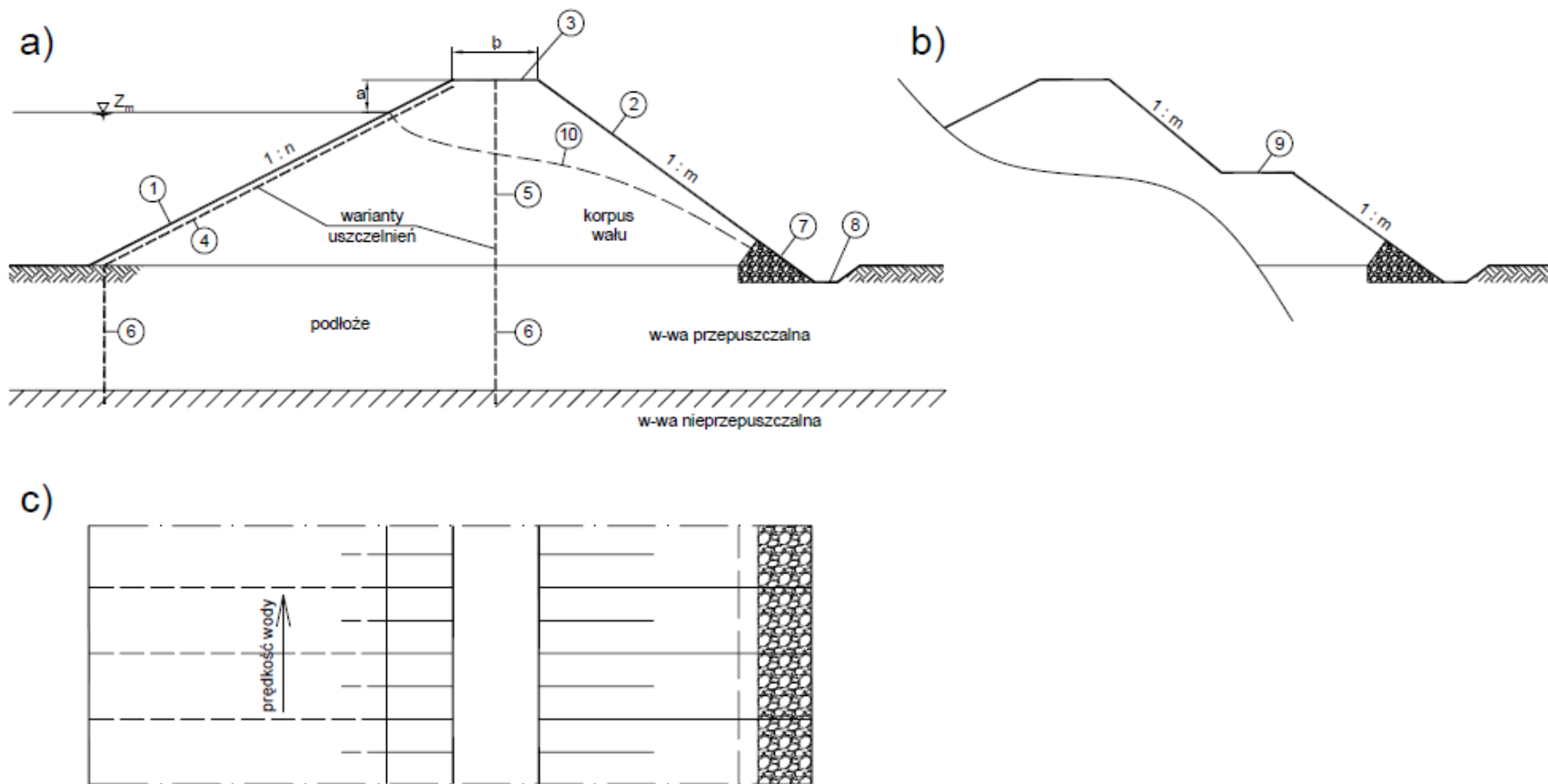
Wały przeciwpowodziowe



Spiętrzenie wody w międzywale:

1 - zawale, 2 - międzywale, 3-wały

Wały przeciwpowodziowe

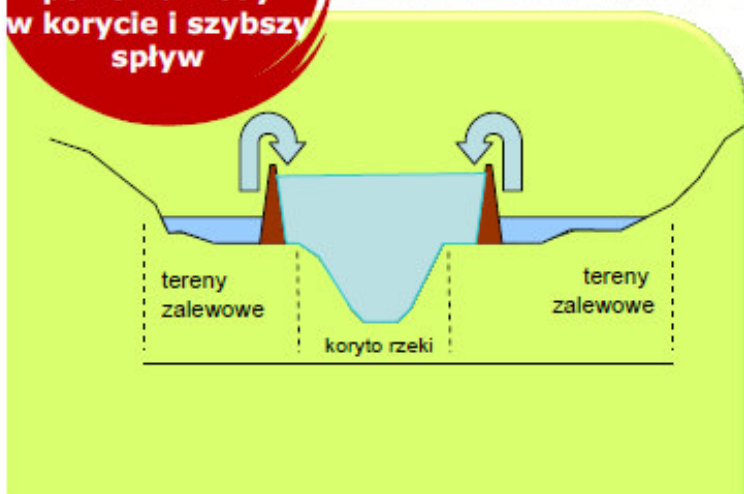


Schemat ideowy przekroju poprzecznego wału przeciwpowodziowego:

a) przekrój poprzeczny z głównymi elementami; b) wariant skarpy odpowietrznej z ławą; c) plan;
1-skarpa odwodna, 2-skarpa odpowietrzna, 3-korona wału, 4-ekran szczelny, 5-rdzeń szczelny, 6-
uszczelnienie podłoża, 7-drenaż, 8-rów odwadniający, 9-ława, 10-krzywa depresji w przypadku
wału jednorodnego (bez uszczelnień).

Wały powodziowe

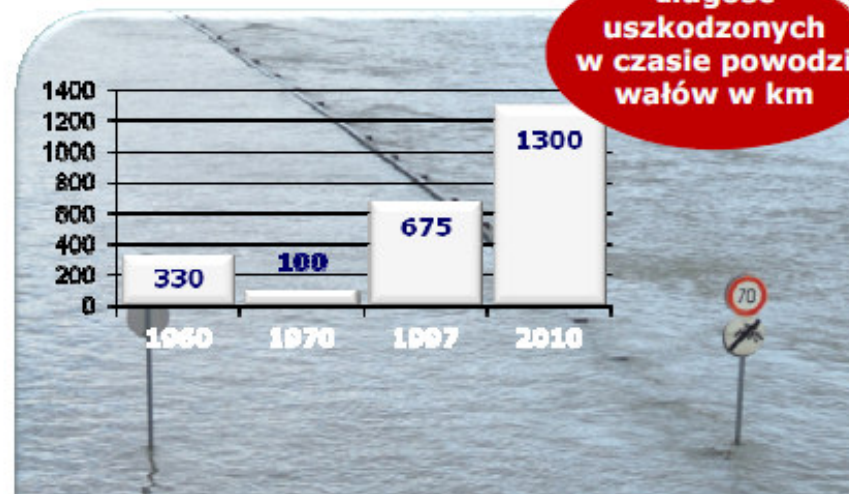
Wały służą do ochrony przed zalaniem mieszkających za nimi ludzi, ich dobytku oraz majątku publicznego. W Polsce jest około 8500 km wałów.



Rozpowszechniony mit

Wały gwarantują bezpieczeństwo ludzi i inwestycji poza wałami.

To nieprawda! Wały dają dużą gwarancję bezpieczeństwa przy małych i średnich powodziach, przy dużych dają nam tylko więcej czasu na ewakuację.



Wały przeciwpowodziowe

Zalety:

- ***stosunkowo prosta konstrukcja i niskie koszty wykonania (?)***
- ***bezpośrednia skuteczność (?)***
- ***łatwość włączenia do kompleksu urządzeń wodno – gospodarczych***

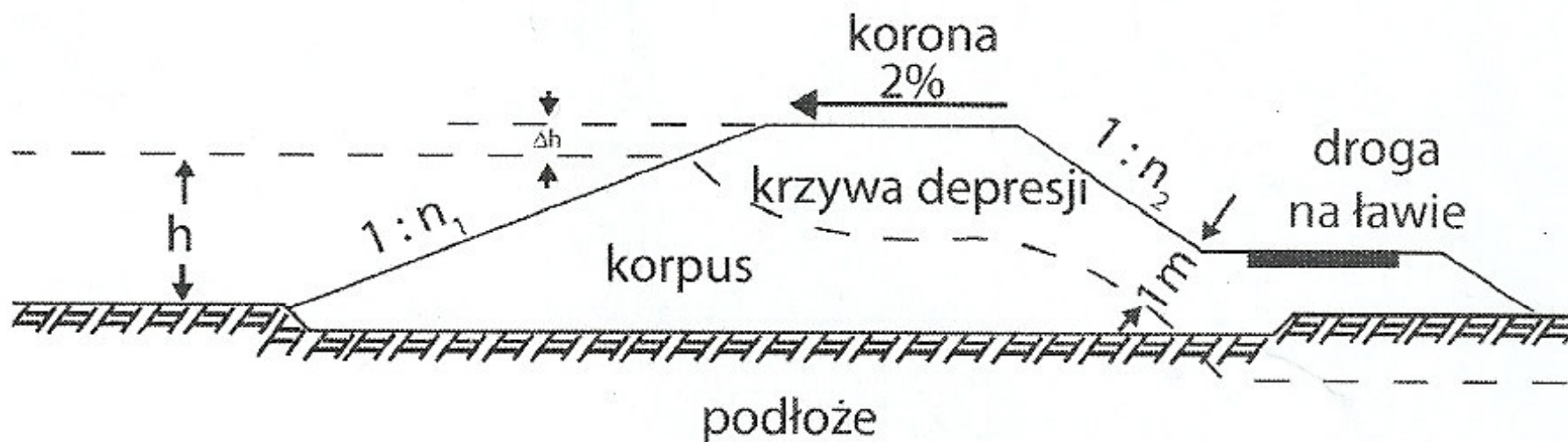
Wady:

- ***utrudniona regulacja stosunków wodnych na obszarze doliny odciętych wałami,***
- ***zweżenie koryta wód wielkich,***
- ***podniesienie poziomu wody,***
- ***wzrost prędkości,***
- ***erozja koryta głównego,***
- ***przy zarośniętym międzywał: akumulacja rumowiska unoszonego, zmniejszenie powierzchni przekroju, zmniejszenie przepustowości międzywala,***
- ***odcięta retencja dolinowa: wzrost prędkości przemieszczania się fali wezbraniowej, wzrost zagrożenia dla niżej leżących terenów,***
- ***odcięcie siedlisk dolinowych od rzeki: zanikanie mokradeł, zarastanie starorzeczy i oczek wodnych,***
- ***zmiana użytkowania doliny poza wałami: użytki zielone, grunty orne, urbanizacja doliny,***
- ***wzbudzanie fałszywego poczucia bezpieczeństwa.***

Klasy budowli hydrotechnicznych

Lp.	Nazwa, charakter lub funkcja budowli	Opis i miano wskaźnika		Wartość wskaźnika dla klasy				Uwagi
				I	II	III	IV	
1	2	3		4	5	6	7	8
1	Budowle stale piętrzące wodę, których awaria powoduje utratę pojemności zbiornika lub może spowodować zatopienie falą wypływającą przez zniszczoną lub uszkodzoną budowlę	Wysokość piętrzenia H [m]	a) na podłożu skalnym	$H > 30$	$15 < H \leq 30$	$5 < H \leq 15 \text{ m}$	$2 < H \leq 5$	Wysokość piętrzenia określona w § 3 pkt 4
			b) na podłożu nieskalnym	$H > 20$	$10 < H \leq 20$	$5 < H \leq 10$	$2 < H \leq 5$	
		c) Pojemność zbiornika V [mln m ³]		$V > 50$	$20 < V \leq 50$	$5 < V \leq 20$	$0,2 < V \leq 5$	Pojemność przy maksymalnym poziomie piętrzenia (Max PP)
		d) Obszar zatopiony przez falę powstałą przy normalnym poziomie piętrzenia F [km ²]		$F > 50$	$10 < F \leq 50$	$1 < F \leq 10$	$F \leq 1$	Obszar zatopiony jest to obszar, na którym głębokość wody przekracza 0,5 m
		e) Liczba ludności na obszarze zatopionym w wyniku zniszczenia budowli L [osób]		$L > 300$	$80 < L \leq 300$	$10 < L \leq 80$	$L \leq 10$	Poza stałymi mieszkańcami do liczby ludności wlicza się również załogi fabryk, biur, urzędów itp. oraz osoby przebywające w ośrodkach zakwaterowania zbiorowego (hotele, domy czasowe itp.)
2	Budowle do nawodnień lub odwodnień	Obszar nawadniany lub odwadniany F [km ²]		$F > 200$	$20 < F \leq 200$	$4 < F \leq 20$	$F \leq 4$	
3	Budowle przeznaczone do ochrony przeciwpowodziowej	Obszar chroniony F [km ²]		$F > 300$	$150 < F \leq 300$	$10 < F \leq 150$	$F \leq 10$	Obszar, który przed obwałowaniem ulegał zatopieniu wodami o prawdopodobieństwie $p = 1 \%$

Projektowanie wału przeciwpowodziowego w przekroju poprzecznym



$1:n_1$ – nachylenie skarpy odwodnej, $1:n_2$ – nachylenie skarpy odpowietrznej,
 h – stan wody obliczeniowej, Δh – bezpieczne wzniesienie korony wału

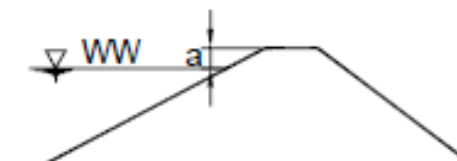
Ustalenie maksymalnych rzędnych

Rzędna zwierciadła wody dla Q_m : ? m npm.

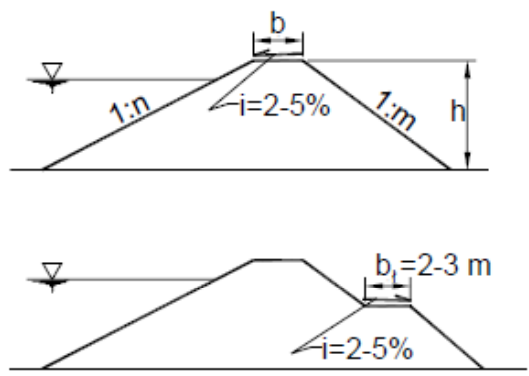
Rzędna korony wału = rzędna zwierciadła wody dla $Q_m + a$

Wzniesienie korony wału

Warunki eksploatacji	Bezpieczne wzniesienie korony wału (a) w (m) dla klasy ważności			
	I	II	III	IV
Miarodajny przepływ wezbraniowy	1,3	1,0	0,7	0,5
Wyjątkowe warunki eksploatacji (Kontrolny przepływ wezbraniowy)	0,3	0,3	0,3	0,3



Dobór wymiarów wału przeciwpowodziowego w przekroju poprzecznym

Szerokość korony wału (b) i łąwy (b _l)				
Wysokość wału (h) (m)	Min. szerokość korony (b) (m)	Wg starych przepisów CUGW		Schematy przekroju
		(h) (m)	(b) (m)	
h < 2	2,0	0,5	1,0	
h > 2	3,0	1,0	1,5	
		2,0	2,0	
		4,0	3,0	

Wymiary przyjmujemy zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w „Vademecum ochrony przeciwpowodziowej”, rozdział 9.3.1

Wały przeciwpowodziowe

Zalety:

- ***stosunkowo prosta konstrukcja i niskie koszty wykonania (?)***
- ***bezpośrednia skuteczność (?)***
- ***łatwość włączenia do kompleksu urządzeń wodno – gospodarczych***

Wady:

- ***utrudniona regulacja stosunków wodnych na obszarze doliny odciętych wałami,***
- ***zweżenie koryta wód wielkich,***
- ***podniesienie poziomu wody,***
- ***wzrost prędkości,***
- ***erozja koryta głównego,***
- ***przy zarośniętym międzywał: akumulacja rumowiska unoszonego, zmniejszenie powierzchni przekroju, zmniejszenie przepustowości międzywala,***
- ***odcięta retencja dolinowa: wzrost prędkości przemieszczania się fali wezbraniowej, wzrost zagrożenia dla niżej leżących terenów,***
- ***odcięcie siedlisk dolinowych od rzeki: zanikanie mokradeł, zarastanie starorzeczy i oczek wodnych,***
- ***zmiana użytkowania doliny poza wałami: użytki zielone, grunty orne, urbanizacja doliny,***
- ***wzbudzanie fałszywego poczucia bezpieczeństwa.***

Ocena stateczności wału przeciwpowodziowego

Według:

„Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”

- § 29. Obliczanie stateczności i nośności budowli hydrotechnicznych wykonuje się według metod określonych w Polskich Normach dotyczących tych obliczeń.
- § 32. Ziemne budowle piętrzące sprawdza się w zakresie:
- 1) stateczności skarp wraz z podłożem;
 - 2) gradientów ciśnień filtracyjnych i możliwości przebicia lub sufozji;
 - 3) chłonności, wydajności drenaży;
 - 4) wartości osiadań korpusu i odkształceń podłoża budowli hydrotechnicznej;
 - 5) niebezpieczeństwa wystąpienia poślizgu po podłożu i w podłożu;
 - 6) niebezpieczeństwa wyparcia słabego gruntu spod budowli hydrotechnicznej.

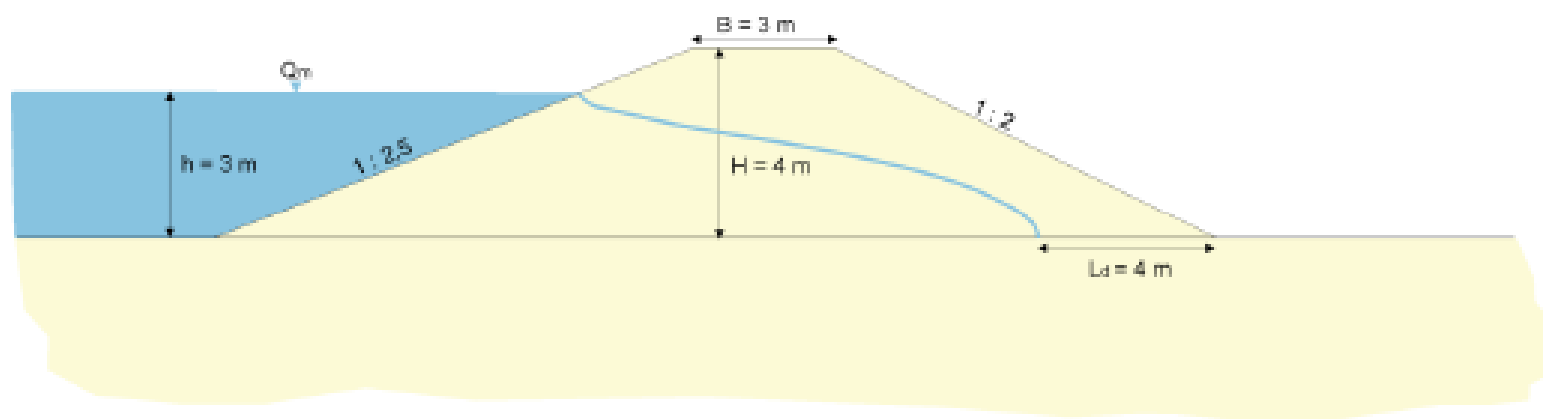
Ocena stateczności wału przeciwpowodziowego

- Stateczność wału przeciwpowodziowego należy sprawdzać w następujących schematach obliczeniowych:
 - budowlanym, gdy obwałowanie nie jest obciążone spiętrzoną wodą
 - eksploatacyjnym, przy wysokości piętrzenia dla miarodajnego przepływu wezbraniowego, przyjmując położenie krzywej depresji z obliczeń filtracji.
- W przypadku występowania w korpusie lub bezpośrednio pod nim gruntów spoistych warunki stateczności budowli hydrotechnicznej należy sprawdzać zarówno w efektywnych jak i w całkowitych parametrach geotechnicznych.

5.2 Ocena stateczności ogólnej wału

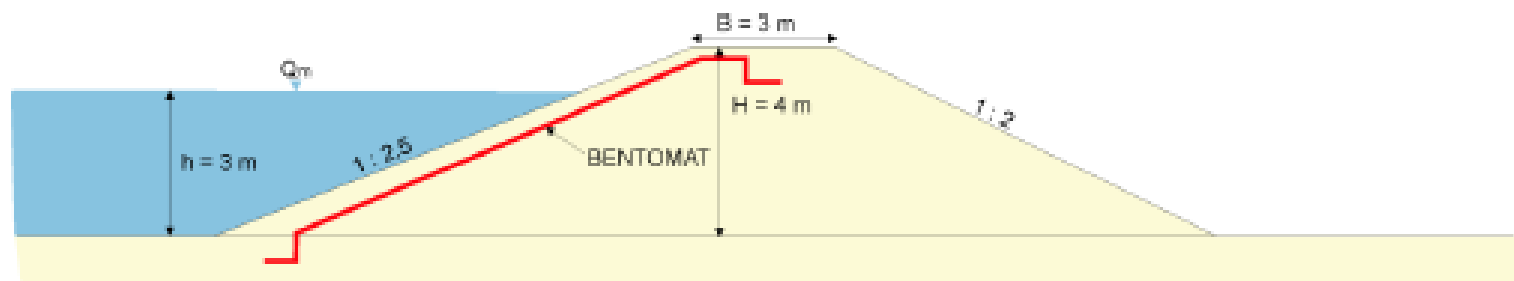
Najważniejszym parametrem konstrukcji wału jest jego stateczność. Musi być ona zachowana szczególnie podczas piętrzenia wody wezbraniowej. Warto zatem wiedzieć jak zmienia się współczynnik stateczności pod wpływem działania wody. Poniżej zostanie przedstawione porównanie zachowania stateczności wału uszczelnionego BENTOMATEm oraz wału o konstrukcji przepuszczalnej, posadowionym na podłożu przepuszczalnym.

Wał nieuszczelniony:



Do obliczeń położenia krzywej depresji przyjęto długość drenażu $L_d = 4 \text{ m}$. Wynikiem tych obliczeń jest linia zwierciadła wrysowana w korpus wału na powyższym schemacie.

Wał uszczelniony BENTOMATEm:



Materiał wału przeciwpowodziowego

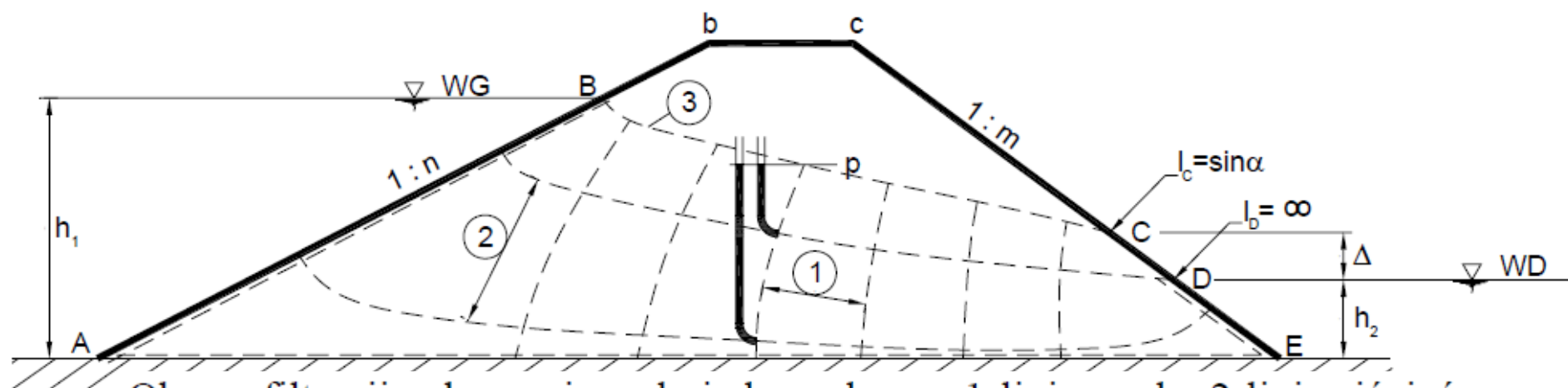
Nasypy wykonywane są poziomymi warstwami o określonej grubości.

Jeżeli projekt wału przeciwpowodziowego zakłada, że ma on być zbudowany z różnych materiałów, należy pamiętać o następujących warunkach:

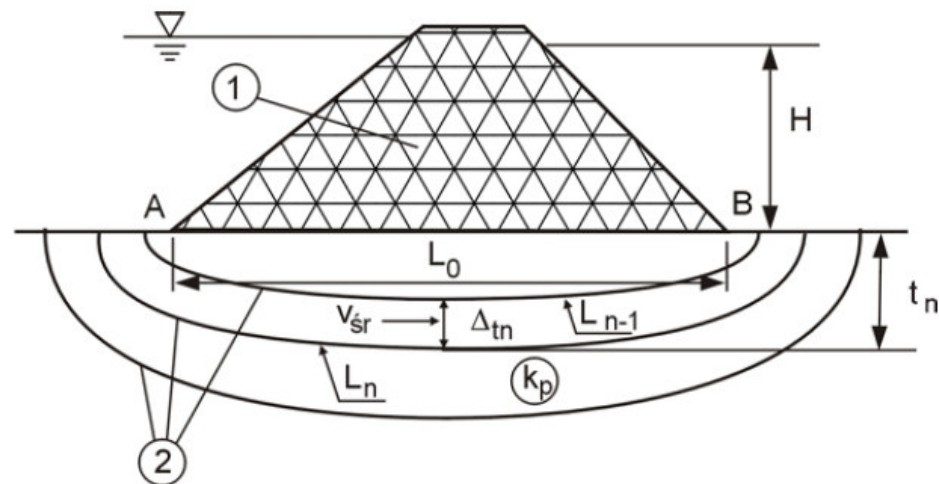
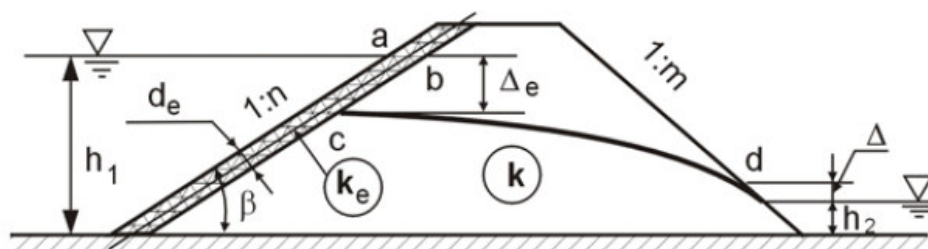
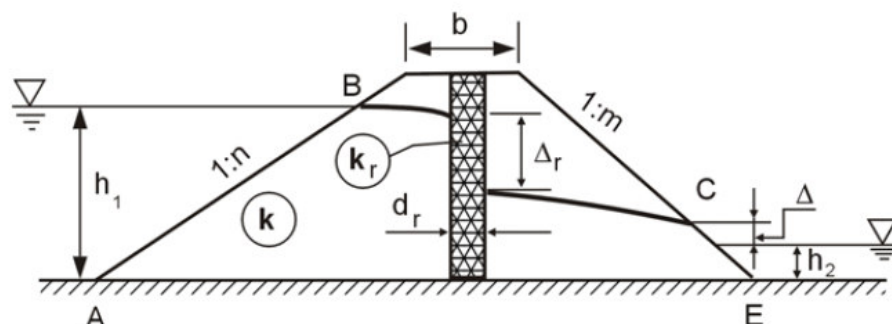
- grunty bardziej przepuszczalne powinny być wbudowane bliżej skarpy odpowietrznej, natomiast grunty mniej przepuszczalne – w środku nasypu bądź w pobliżu skarpy odwodnej;
- materiały tworzące nasyp nie mogą tworzyć soczewek ani warstw sprzyjających filtracji lub poślizgowi;
- grunty w sąsiednich częściach nasypu powinny posiadać uziarnienie, które pod wpływem działania wody zapobiegnie odkształceniom, takim jak kawerny czy sufozja.

Materiały występujące w warstwie do zagęszczania muszą mieć odpowiednią wilgotność, która dla gruntów spoistych powinna zawierać się w granicach $0,95-1,15 W_{\text{opt}}$, zaś w przypadku gruntów niespoistych nie może być wyższa niż $0,7 W_{\text{opt}}$, gdzie W_{opt} oznacza wartość wilgotności optymalnej.

Sprawdzenie gradientów ciśnień filtracyjnych – siatka hydrodynamiczna



Obszar filtracji w korpusie wału jednorodnego; 1-linie prądu, 2-linie ciśnień, 3-krzywa depresji, I_c , I_D -gradienty ciśnienia w punktach C i D



Sprawdzenie gradientów ciśnień filtracyjnych wewnątrz grobli budowli ziemnej

według:

„Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”

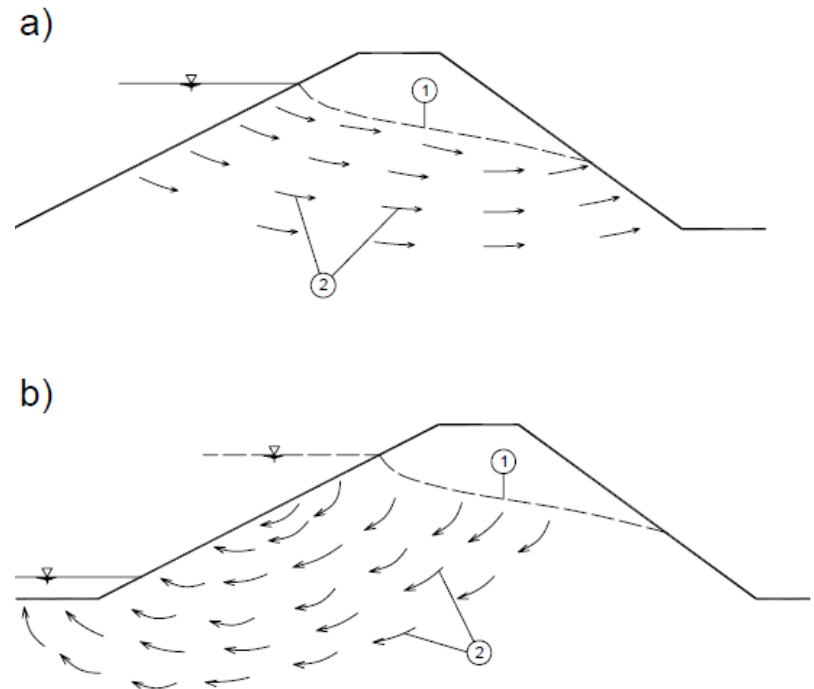
§ 37. 1. Gradienty ciśnień filtracyjnych występujące w podłożu wszystkich budowli hydrotechnicznych oraz w korpusie zapór ziemnych powinny spełniać zależność:

$$\gamma_i \cdot i \leq i_{kr}$$

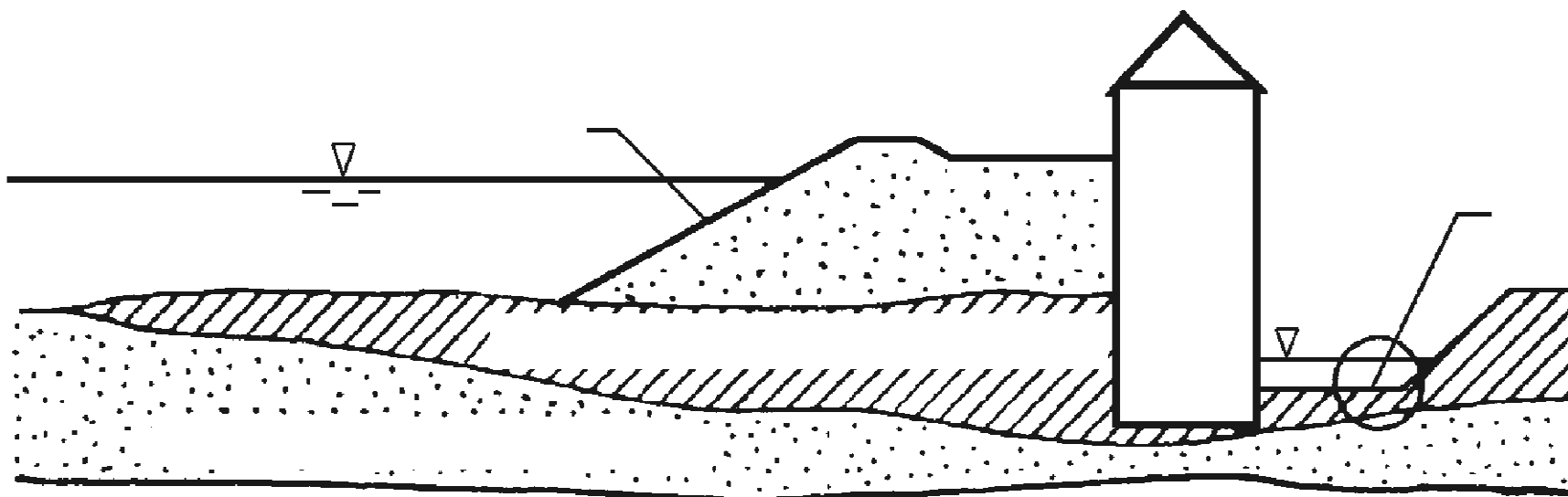
gdzie:

- i — oznacza gradient ciśnień filtracyjnych,
- i_{kr} — oznacza wartości krytyczne gradientu dla danego gruntu,
- γ_i — oznacza współczynnik pewności, który niezależnie od klasy budowli wynosi:
 - $\gamma_i = 1,5$ dla podstawowego układu obciążeń,
 - $\gamma_i = 1,3$ dla wyjątkowego układu obciążeń.

2. Wartości gradientu ciśnienia filtracyjnego należy wyznaczyć dla warunków filtracji ustalonej i nieustalonej, wywoływanej wahaniem stanów wody oraz procesami konsolidacji w gruntach spoistych.



- ✓ **Przebicciem (wyparciem) hydraulicznym** nazywa się zjawisko tworzenia się kanału (przewodu) w masie gruntowej, wypełnionego gruntem o naruszonej strukturze (w końcowej fazie zjawiska – zawiesiną), łączącego miejsca o wyższym i niższym ciśnieniu wody w porach.
- ✓ Na powierzchni terenu przebicie hydrauliczne jest widoczne w postaci źródła.
- ✓ Zjawisko przebicia występuje przeważnie w gruntach mało spoistych podścielonych gruntami przepuszczalnymi.



Przykład warunków geologicznych, w których może nastąpić przebicie:
1 – miejsce zagrożenia przebicciem.

- ✓ **Sufozja** to zjawisko polegające na wynoszeniu przez filtrującą wodę drobnych cząstek gruntu (przesunięcie ich na inne miejsce lub wyniesione poza obręb gruntu).
- ✓ W rezultacie sufozji powiększają się pory, wzrasta współczynnik filtracji i prędkość wody.
- ✓ Woda o większej prędkości może poruszać coraz większe ziarna gruntu i powodować dalszy rozwój procesu sufozji aż do utworzenia się kawern lub kanałów w gruncie. Zjawisko przybiera wtedy cechy przebicia hydraulicznego.

Sufozja występuje wtedy, gdy zostanie przekroczony i_{kr} lub prędkość krytyczna v_{kr} .

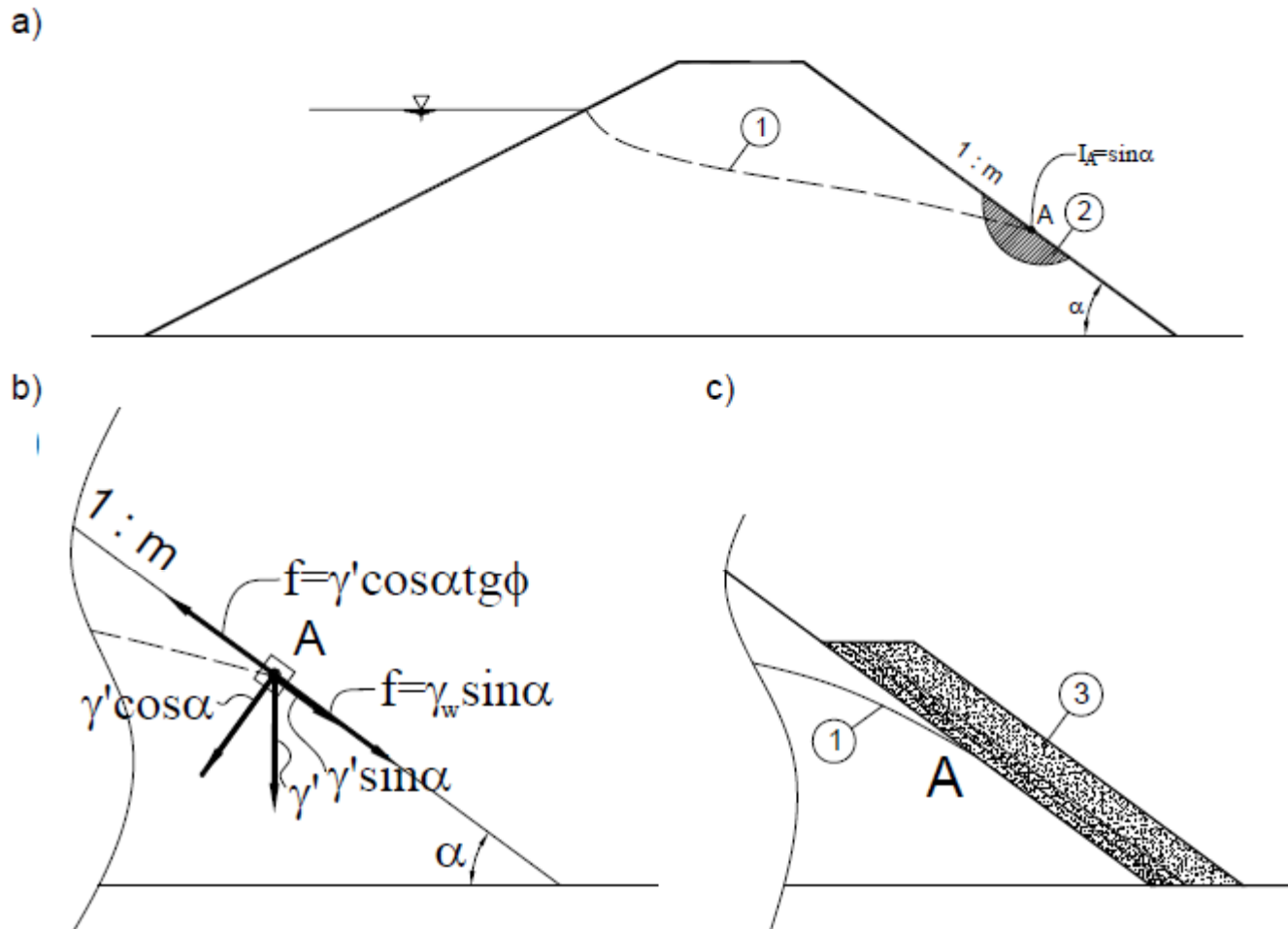
gdzie: k - współczynnik filtracji [m/s].

$$v_{kr} = \frac{\sqrt{k}}{15}$$

Sufozja występuje w gruntach sypkich, (przede wszystkim różnoziarnistych). W zależności od miejsca występowania sufozji w budowli ziemnej rozróżnia się:

- **sufozję wewnętrzną** (występuje wewnątrz danego rodzaju gruntu)
- **zewnątrzną i kontaktową** (w strefie przypowierzchniowej zapory lub podłoża a także na styku różnych warstw gruntu, gdy kierunek ruchu wody jest prostopadły do styku).

Wyparcie hydrauliczne gruntu na skarpie odpowietrznej wału



Wyparcie hydrauliczne gruntu na skarpie odpowietrznej:

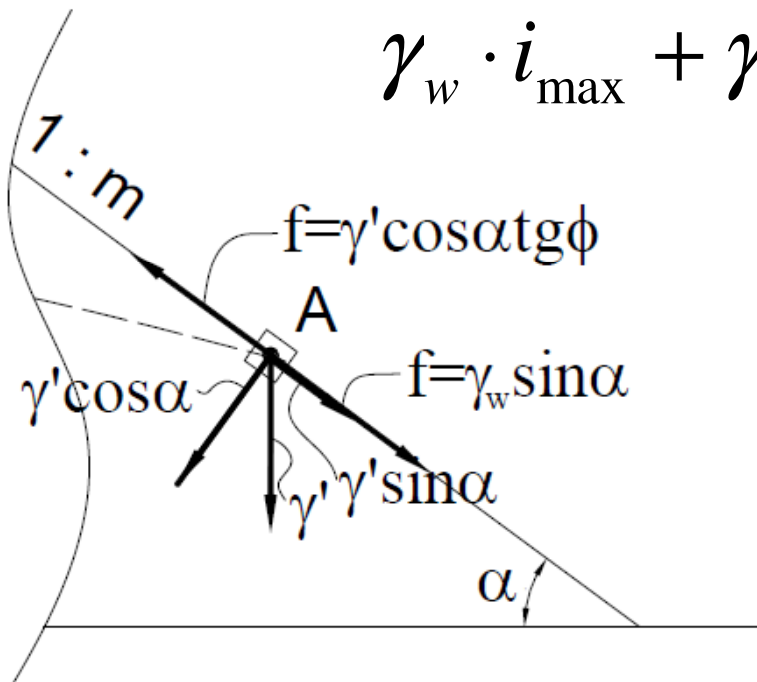
- a) położenie krzywej depresji (brak uszczelnienia i drenażu),
 - b) układ sił działających na jednostkę objętości gruntu w obszarze pkt. A,
 - c) wariant zabezpieczenia – obciążenie gruntem gruboziarnistym
- 1-krzywa depresji, 2-obszar ewentualnego wyparcia, 3-warstwy obciążające

Wyparcie hydrauliczne gruntu na skarpie odpowietrznej wału

Siła filtracji f jest to siła na jednostkę objętości gruntu wywierana na szkielet gruntowy przez przepływającą wodę:

$$f = i \cdot \gamma_w$$

$$\gamma_w \cdot i_{\max} + \gamma' \cdot \sin \alpha \leq \gamma' \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi'$$



$$i_{\max} = I_A = \sin \alpha$$

$$(\gamma_w + \gamma') \cdot \sin \alpha \leq \gamma' \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi'$$

$$\cot \alpha = m \geq \frac{(\gamma_w + \gamma')}{\gamma' \cdot \tan \phi'}$$

Zasady zabezpieczania podłoża gruntowego przed szkodliwym działaniem filtracji

Środki, którymi zabezpiecza się grunty przed szkodliwym działaniem filtracji można podzielić na dwie grupy.

- 1. Sposoby zabezpieczeń zmniejszających spadek hydrauliczny** (wydłużenie drogi filtracji),
- 2. Konstrukcje gruntowe zwane filtrami odwrotnymi.**

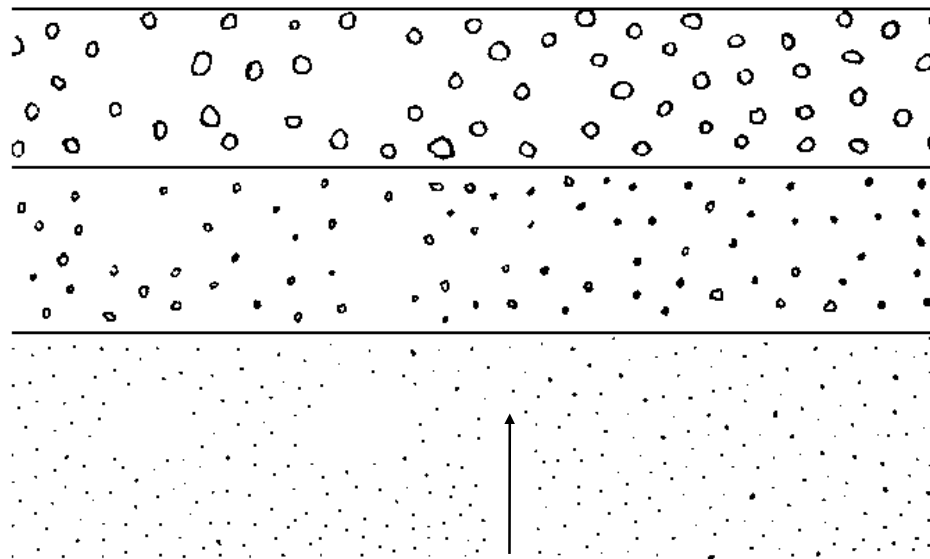
12-12-2019

Filtr odwrotny

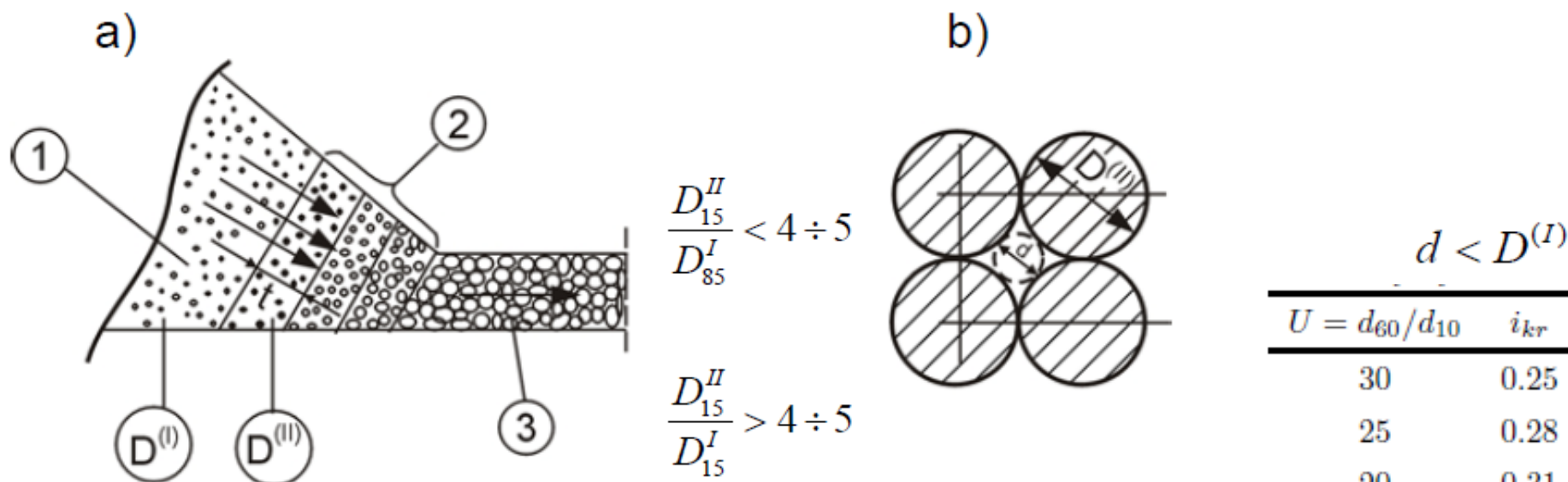
- jeśli woda przepływa kolejno przez np. trzy warstwy gruntu o coraz większym współczynniku filtracji, to przy założeniu ciągłości przepływu można napisać zależność:

$$v = k_1 i_1 = k_2 i_2 = k_3 i_3$$

gdzie: v - prędkość [m/s],
 k_1, k_2, k_3 - współczynnik filtracji w poszczególnych warstwach [m/s],
 i_1, i_2, i_3 - spadki hydrauliczne w poszczególnych warstwach



Wały przeciwpowodziowe – drenaż skarpy odpowietrznej



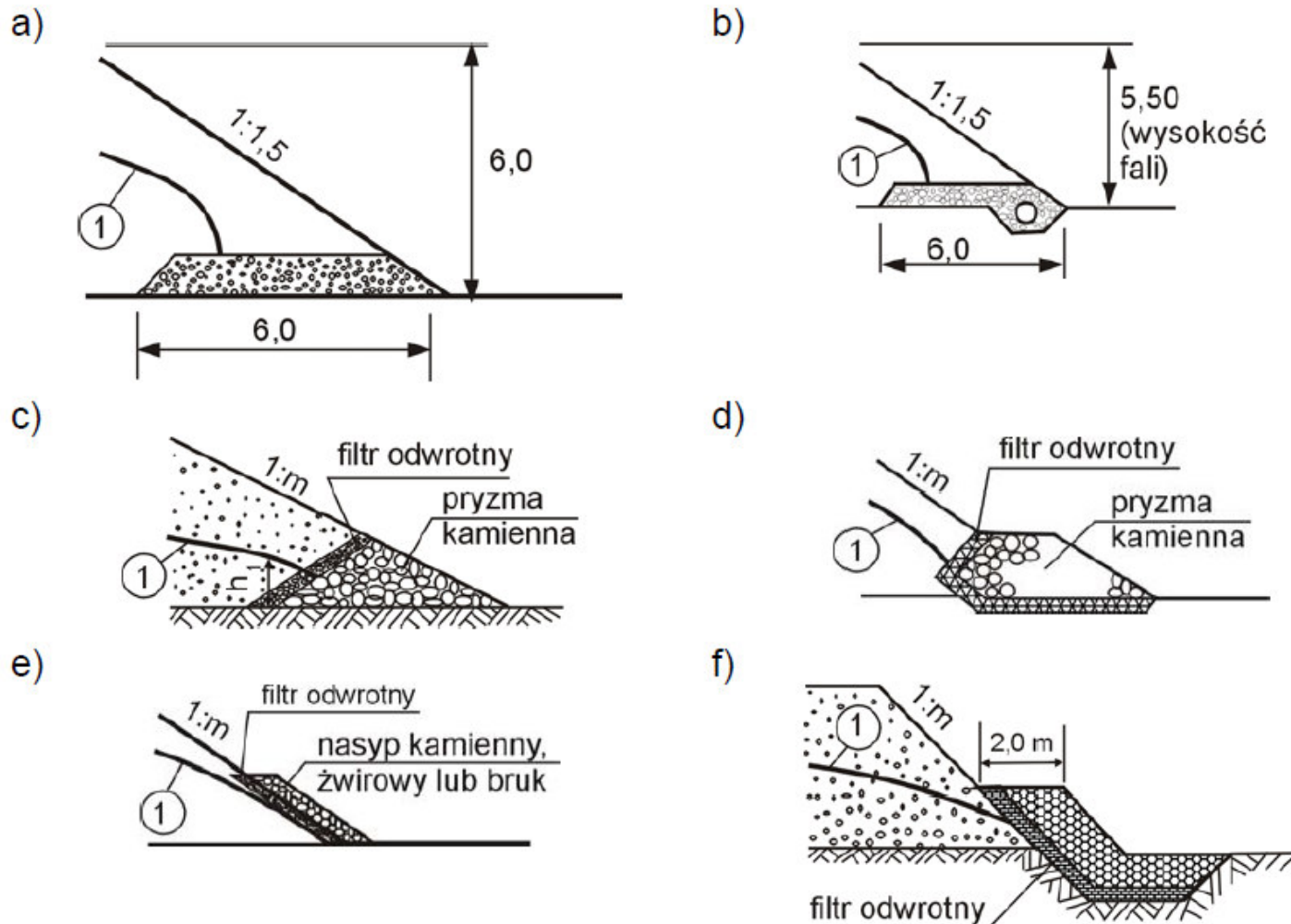
Zasady działania filtru odwrotnego

a) schemat działania, b) układ ziaren ($D^{(II)}$) w pierwszej warstwie filtru odwrotnego;
 1-grunt chroniony o średnicy ziaren ($D^{(I)}$), 2-warstwy filtru odwrotnego, 3-drenaż, d-średnica porów w pierwszej warstwie filtru, t - grubość warstwy filtru

- 1) cząstki gruntu chronionego nie przenikają do porów pierwszej warstwy filtru,
- 2) ziarna warstwy filtru nie mogą przechodzić przez pory następnej warstwy filtru,
- 3) ziarna ostatniej warstwy filtru nie powinny dostawać się do drenażu.

W projekcie filtru odwrotnego należy określić ilość warstw, ich grubości i wielkości (średnice) ziaren w poszczególnych warstwach.

Wały przeciwpowodziowe – drenaż skarpy odpowietrznej



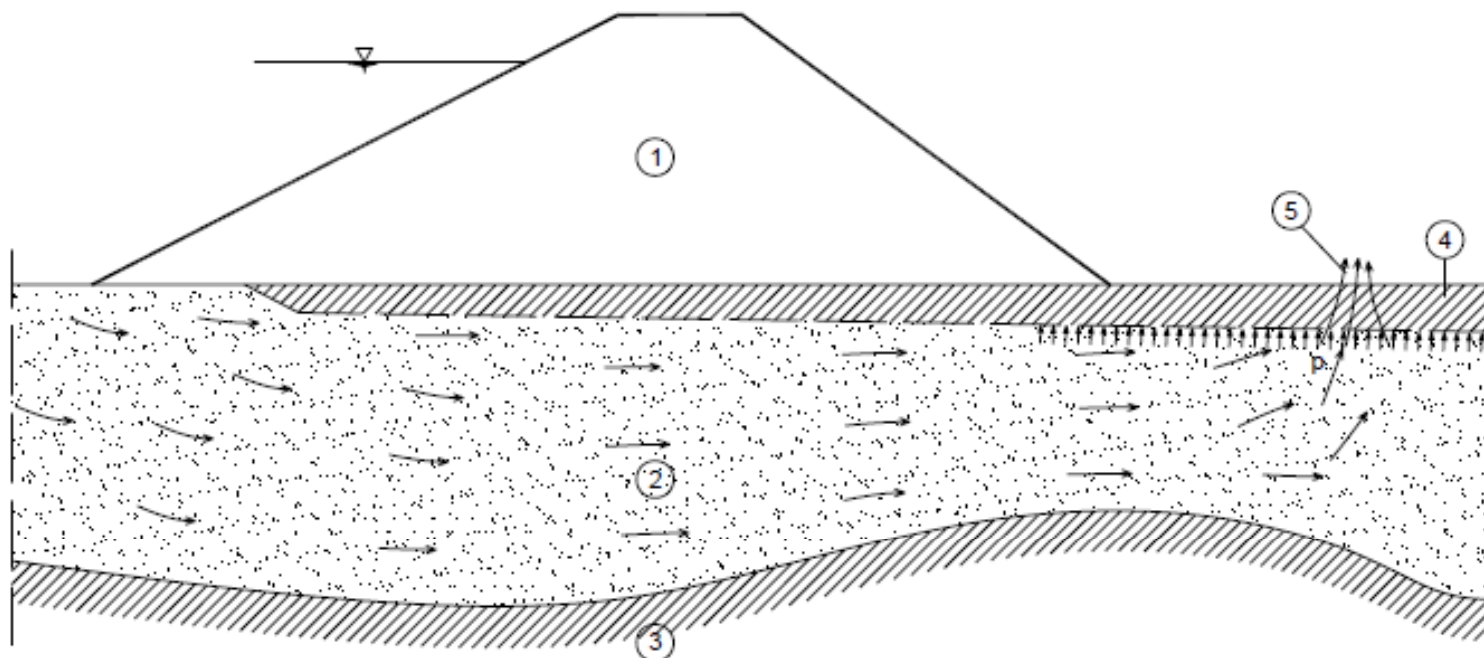
Rodzaje drenaży wału przeciwpowodziowego:

a) płaski (pasmowy), b) połączenie drenażu płaskiego z rurowym, c) drenaż pryzmowy trójkątny, d) drenaż pryzmowy z ławeczką, e) drenaż skarpowy, f) odmiana drenażu skarpowego; 1-krzywa drepresji.

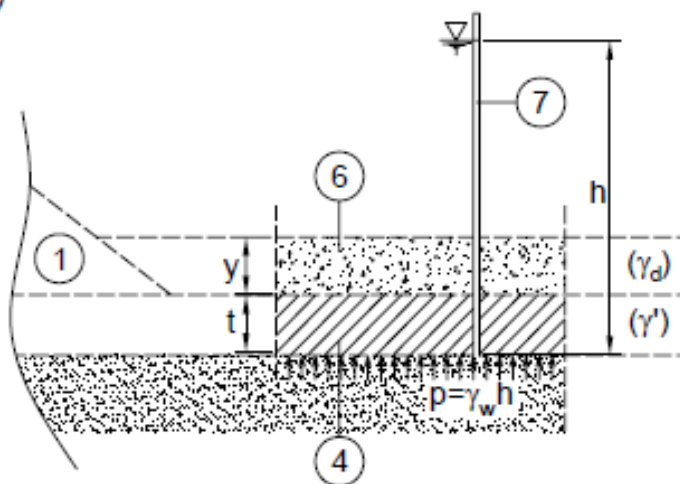
Uwaga! Podane wymiary na rys. a) i b) odnoszą się do konkretnych wałów o wys. 6,0 m i 5,5 m.

Wyparcie filtracyjne podłoża od strony zawala

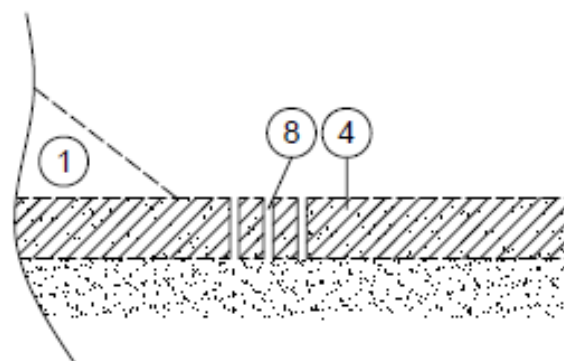
a)



b)



c)



Długość obwałowań, powierzchnia chronionych obszarów, długość rzek wg danych
WZMiUW – stan z 31.12.2002 [BORYS 2002]

Województwo	Całkowita pow. (ha)	Rzeki i strumienie (km)	Długość obwałowań (km)	Stosunek dł. wałów do dł. rzek	Obszar chroniony przez obwałowania (ha)	Stosunek pow. obszaru chronionego do całkowitej (%)	Obwałowania wymagające modernizacji	
							km	%
Dolnośląskie	1 994 776	4 848	1 339	27,6	143 545	7,2	487	36,4
Kujawsko-pomorskie	1 796 972	3 037	181	6,0	40 658	2,3	3	1,7
Lubelskie	2 511 448	4 510	196	4,3	27 222	1,1	88	44,9
Lubuskie	1 398 444	1 940	815	42,0	129 863	9,3	376	46,1
Łódzkie	1 821 911	3 526	163	4,6	10 655	0,6	74	45,4
Małopolskie	1 514 410	3 401	1 009	29,7	108 370	7,2	307	30,4
Mazowieckie	3 559 780	7 242	679	9,4	116 255	3,3	165	24,3
Opolskie	941 247	2 791	369	13,2	43 797	4,7	55	14,9
Podkarpackie	1 792 628	3 728	611	16,4	71 170	4,0	271	44,4
Podlaskie	2 017 958	3 816	32	0,8	4 818	0,2	0	0,0
Pomorskie	1 829 288	3 684	650	17,6	140 992	7,7	185	28,5
Śląskie	1 229 404	2 436	326	13,4	18 391	1,5	148	45,4
Świętokrzyskie	1 167 234	2 688	347	12,9	50 057	4,3	96	27,7
Warmińsko-mazurskie	2 420 295	6 163	438	7,1	37 596	1,6	171	39,0
Wielkopolskie	2 982 559	6 271	764	12,2	70 858	2,4	307	40,2
Zachodniopomorskie	2 290 148	4 475	544	12,2	50 507	2,2	102	18,8
Polska	31268 502	64 556	8 463	13,1	1 064 754	3,4	2835	33,5

Stan techniczny wałów przeciwpowodziowych:

*do I klasy - 6%,
do klasy II – 30%,
do III klasy – 25%,
do IV klasy – 36%,
do pozaklasowych – 3%.*

Czas eksploatacji wałów

L.p.	Okres eksploatacji (lata)	Udział w stosunku do łącznej długości wałów (%)	Uwagi
1	do 20	19	
2	21-40	22	
3	ponad 40	59	w tym ponad 80 lat – 21% i ponad 100 lat 13%



Sposoby modernizacji wałów przeciwpowodziowych:

- 1) zmiana wymiarów lub kształtu istniejącego korpusu (podwyższenie lub poszerzenie z jednoczesnym dogęszczeniem gruntu),*
- 2) wprowadzenie nowych elementów do korpusu lub podłoża (uszczelnienie, drenaż, umocnienie skarp),*
- 3) wymiana istniejących elementów wału lub podłoża niespełniających swojej roli (drenaż, umocnienie skarp, wymiana gruntu).*

Sposoby modernizacji wałów przeciwpowodziowych:

1) zmiana wymiarów lub kształtu istniejącego korpusu przez jego podwyższenie

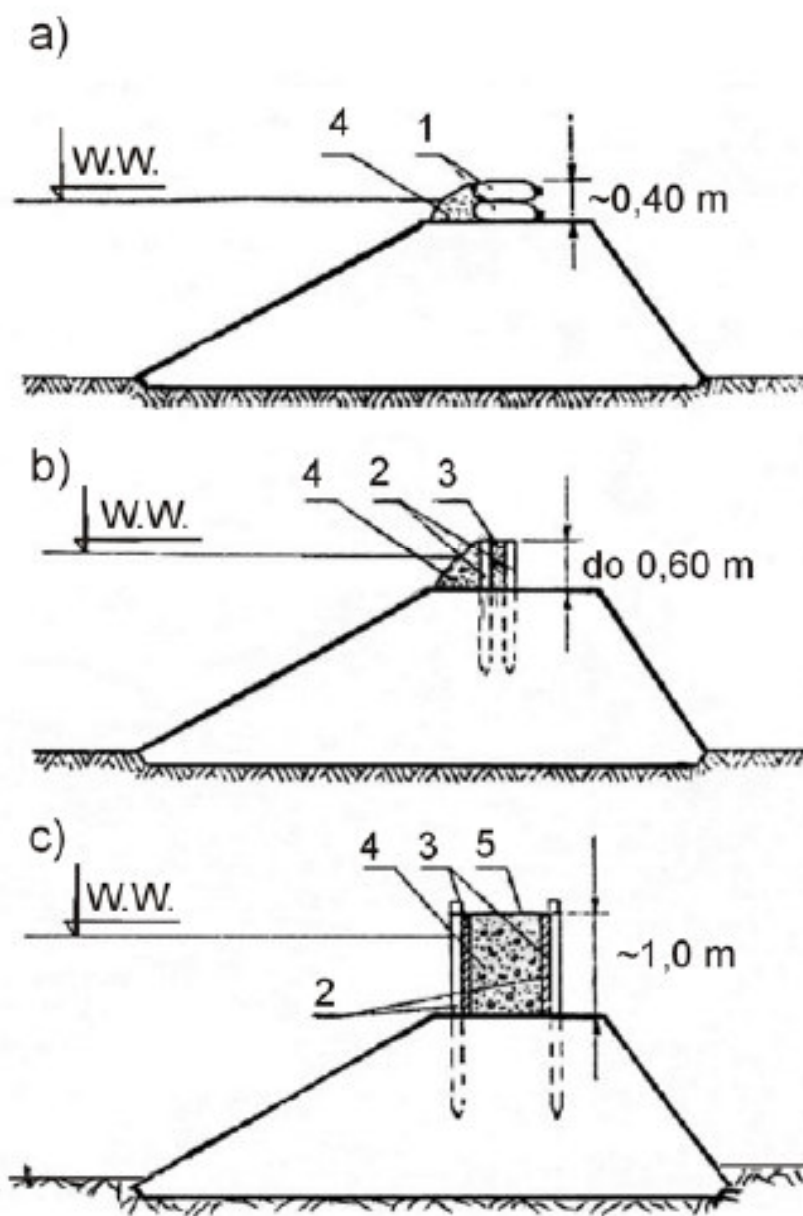
a) workami z piaskiem,

b) ścianką pojedynczą,

c) ścianką podwójną:

1 – worki z piaskiem, 2 – pale, 3-deski,

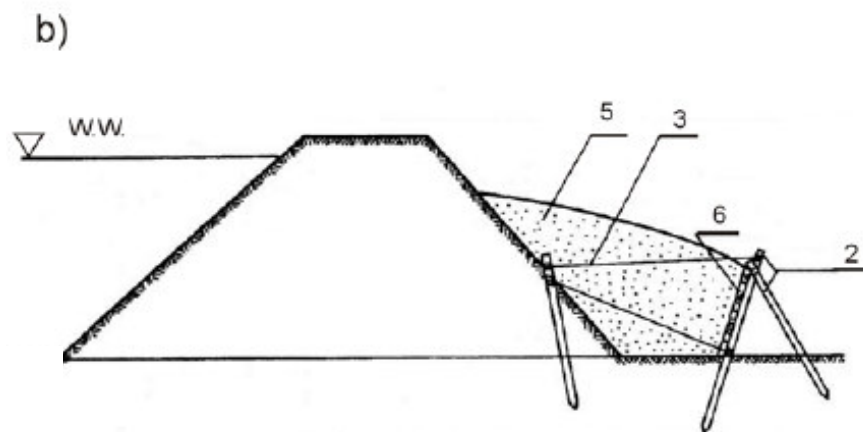
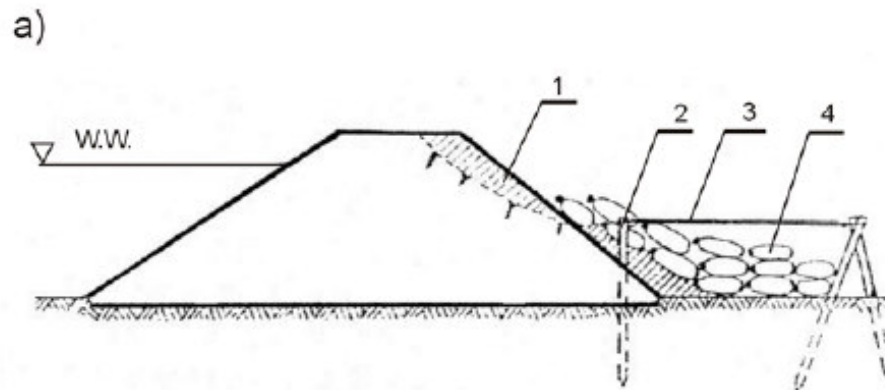
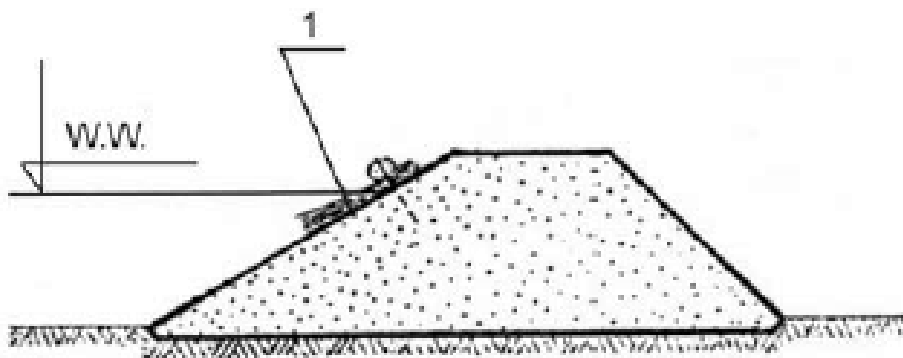
4 - uszczelnienie (głina), 5 - drut łączący pale



Sposoby modernizacji wałów przeciwpowodziowych:

Wzmocnienie skarpy odpowietrznej poprzez dociążenie:

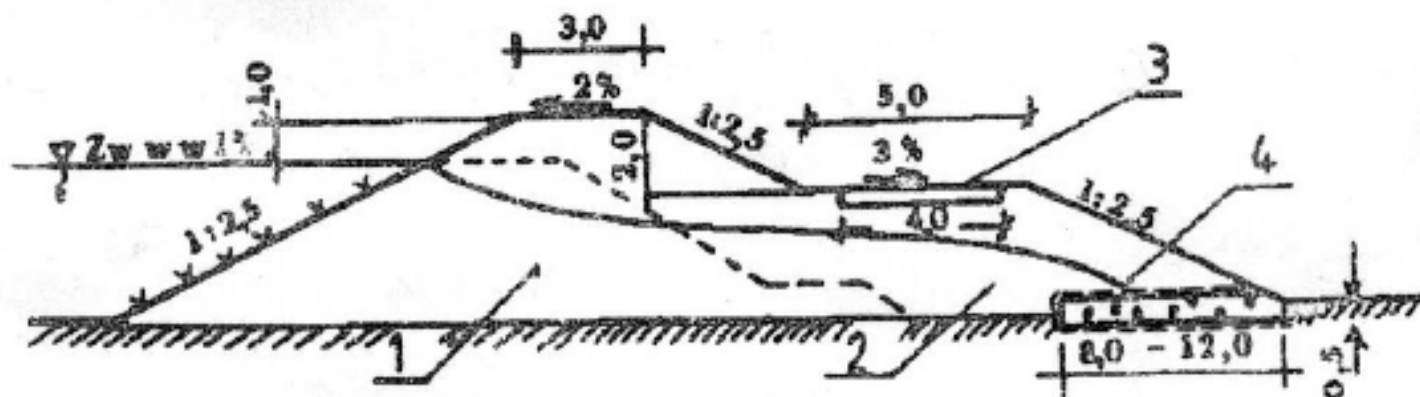
- a) workami z piaskiem,
 - b) piaskiem i żwirem,
- 1 – osuwający się grunt, 2 – pale, 3 – drut,
4 – worki z piaskiem, 5 – piasek, żwir,
6 – deski.



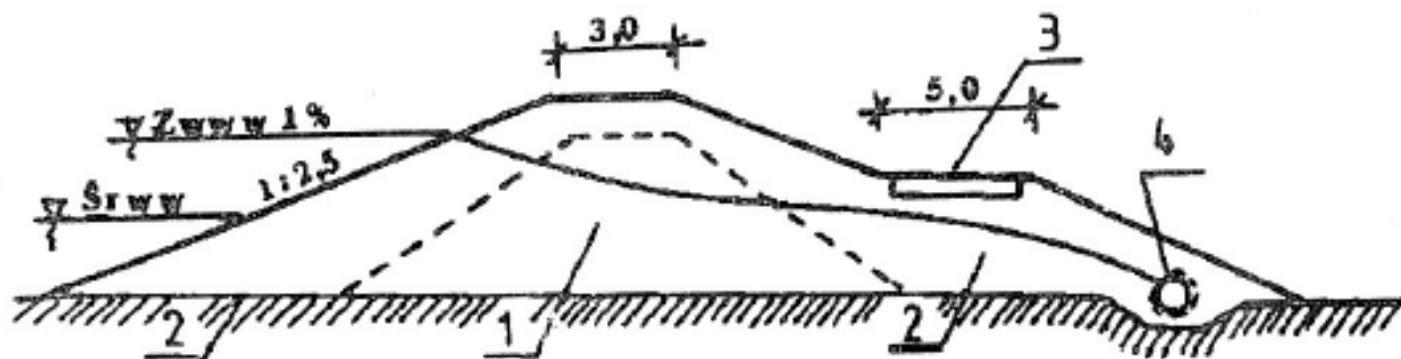
Zabezpieczenie skarpy odwodnej przed działaniem płynącej kry:

- 1 – wiązka faszyny przybita palikami

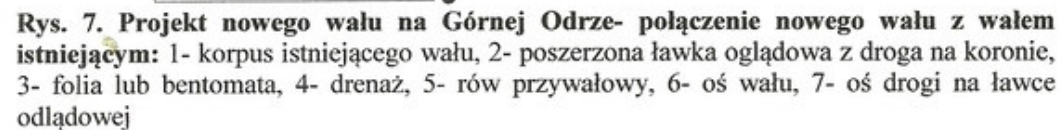
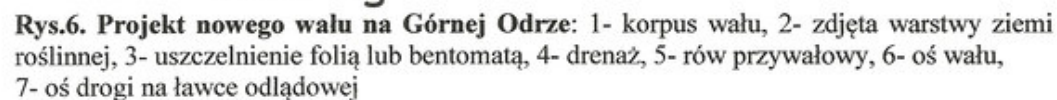
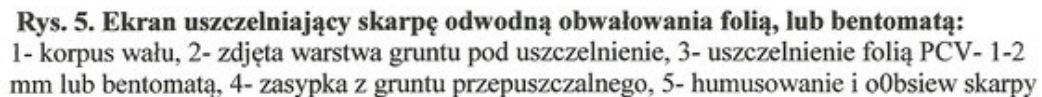
Przykłady przebudowy wałów przeciwpowodziowych Wisły w okolicach Płocka:



1 – wał istniejący, 2 – dobudowana część korpusu, 3-droga na ławie,
4 – filtr pasmowy na włókninie.



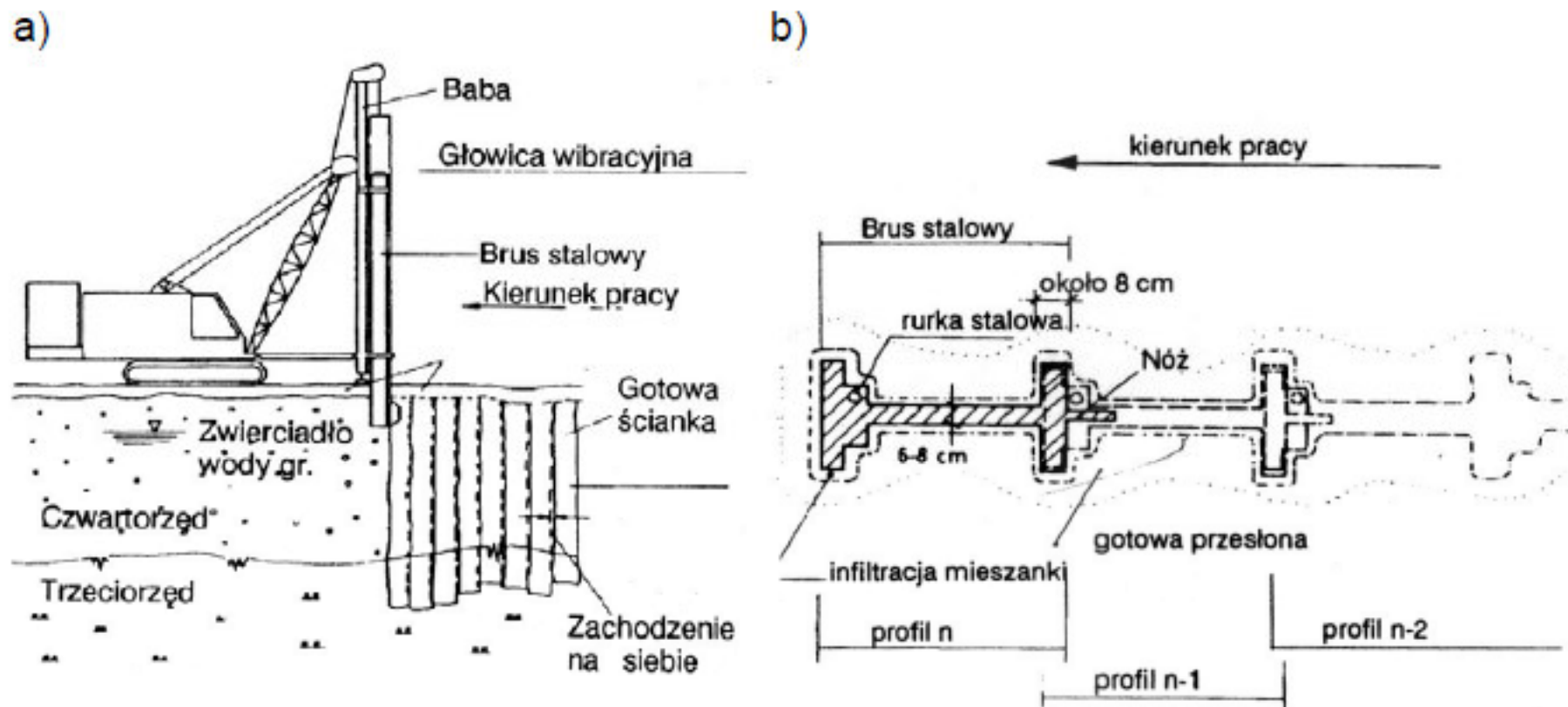
1 – wał istniejący, 2 – dobudowana część korpusu, 3-droga na ławie,
4 – drenaż rurowy owinięty włókniną filtracyjną.



***Nowoczesne metody modernizacji wałów
przeciwpowodziowych:***

- 1) pale piaskowe,***
- 2) wąska ścianka szczelinowa (WIPS),***
- 3) przesłona cementogrunтова w technologii DSM
(Deep Soil Mixing),***
- 4) przesłona „jet grouting”,***
- 5) kolumny cementowo-wapienne.***

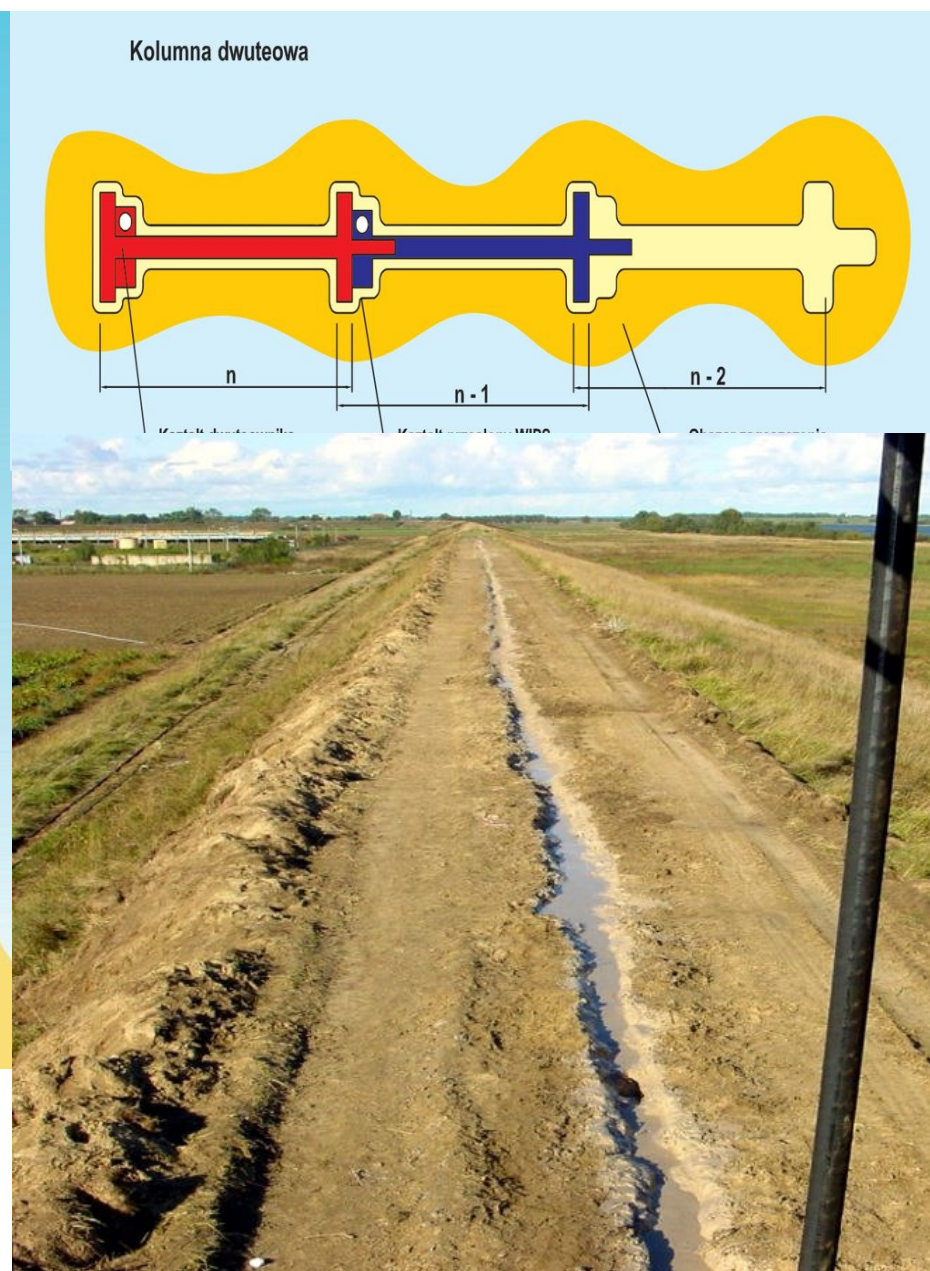
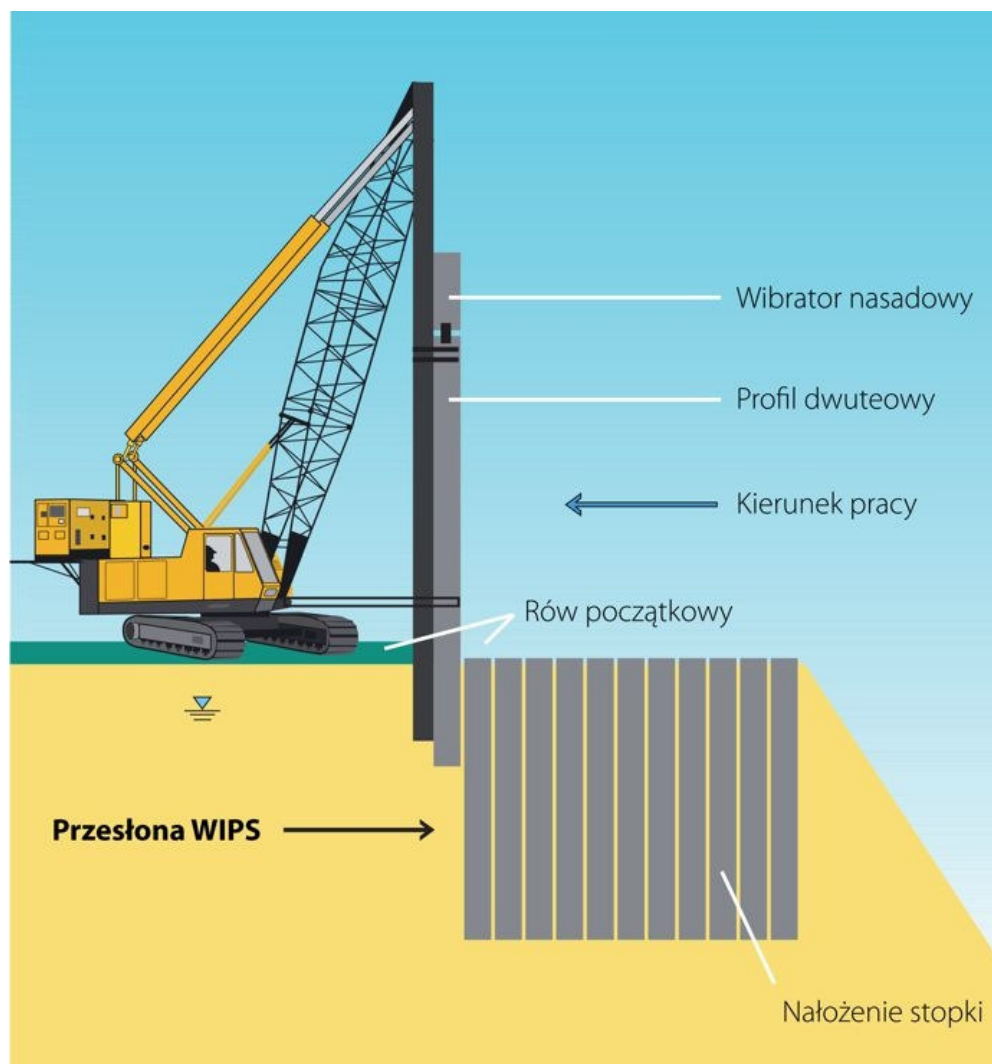
Nowoczesne metody modernizacji wałów przeciwpowodziowych:



Wykonanie przeciwfiltracyjnej wąskiej ścianki szczelinowej (WIPS)

a) schemat postępu robót, b) rzut poziomy wykonanej ścianki

Nowoczesne metody modernizacji wałów przeciwpowodziowych:



Wykonanie przeciwfiltacyjnej wąskiej ścianki szczelinowej (WIPS)

Nowoczesne metody modernizacji wałów przeciwpowodziowych:



Wykonanie przesłony przeciwfiltracyjnej w technologii DSM wet

