

Rybníky a stavby na drobných vodních tocích (RSDT)

Václav DAVID

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, K143

e-mail: vaclav.david@fsv.cvut.cz

Konzultační hodiny: dle dohody

Obsah

- Typy hrází MVN
- Konstrukce hrází MVN
- Průsaky tělesem hráze

Typy hrází MVN

- Většina hrází MVN jsou **zemní sypané**
- Jiné typy hrází (zděné, betonové apod.) se u MVN vyskytují pouze výjimečně, jsou doménou především velkých přehrad



Nádrž Břehoryje (okr. Litoměřice)



Nádrž Castelo de Bode (Portugalsko)

Půdorysný tvar hráze

a)



b)



c)



d)



e)



- Přímé
- Vypouklé
- Vyduté
- Lomené
- Nepravidelné

a)

b)

c)

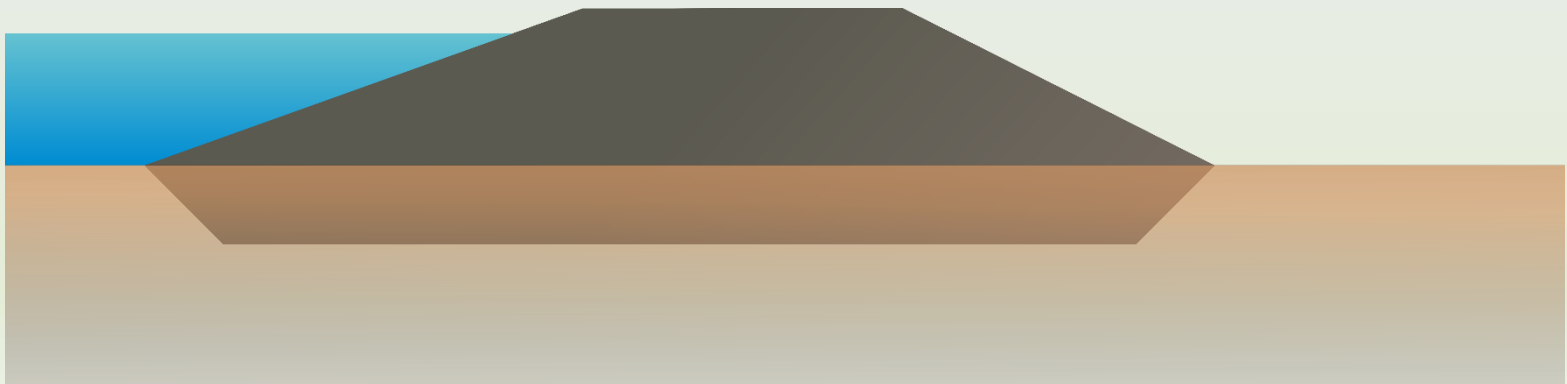
d)

e)



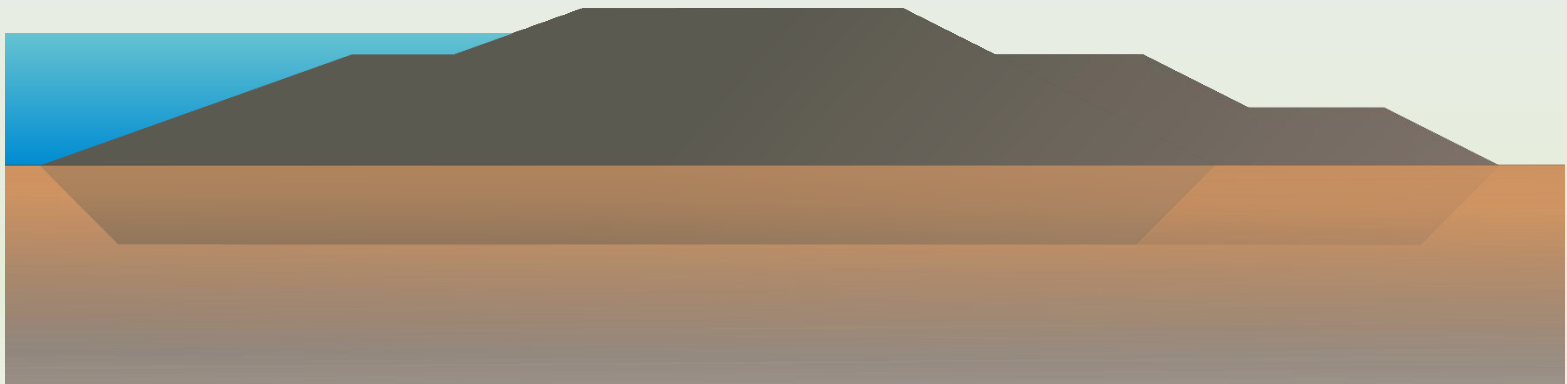
Profil (zemní) hráze

- Tvar obvykle jednoduchý lichoběžníkový (u sypané zemní)
- Sklon vzdušního líce u homogenních hrází větší (1:2,0-2,2) než sklon návodního líce (1:3,0-3,7) vzhledem k tomu, že na návodním líci je hráz zpravidla nasycena vodou



Profil (zemní) hráze

- Svahy lze doplnit lavicemi
 - snížení celkového sklonu
 - zvýšení stability
 - možnost výsadby stromů
 - vedení komunikace
 - rampa ke kádišti



Profil (zemní) hráze

- Sklony svahů by měly být nejlépe stanoveny na základě posouzení stability zemního tělesa na základě zjištění geotechnických vlastností zvolené konstrukční zeminy (z IG průzkumu)
- Doporučené sklony svahů pro jednotlivé zrnitostní kategorie zemin uvádí spolu s dalšími orientačními geotechnickými parametry norma (ČSN 75 2410)

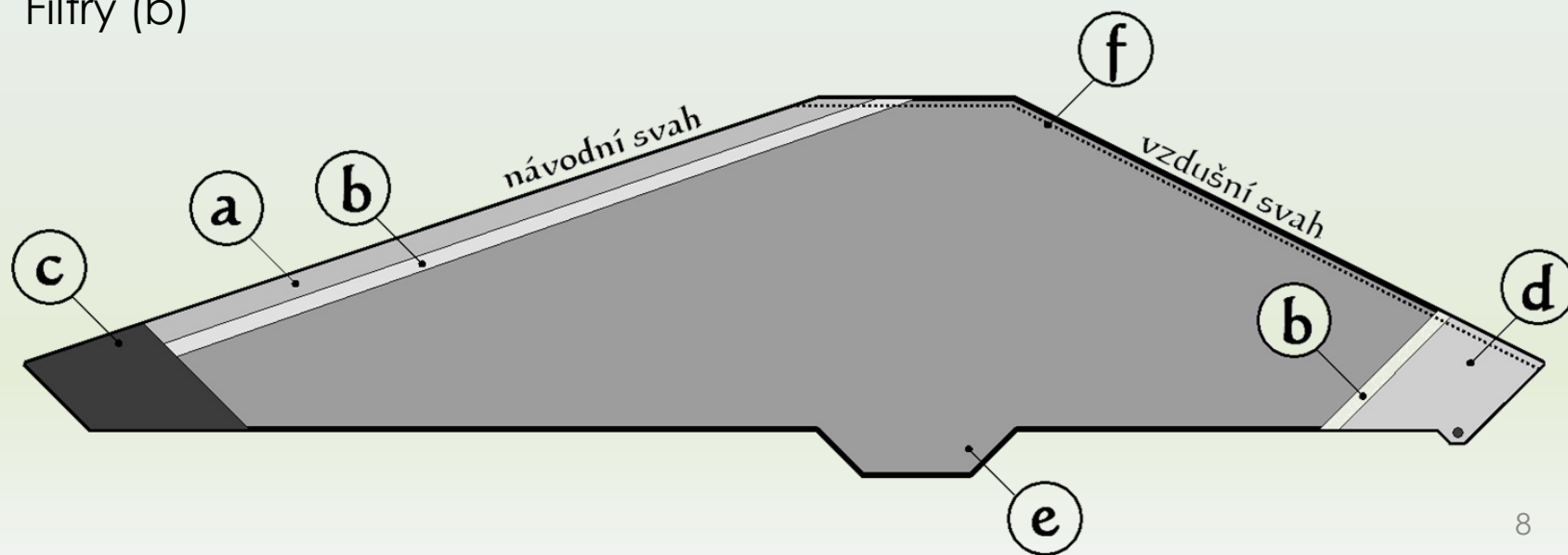
Zemina	Doporučený sklon návodního líce homogenní hráze	Doporučený sklon vzdušního líce homogenní hráze
GM, SM	1:3,0	1:2,0
GC, SC	1:3,4	1:2,0
MG, CG, MS, CS	1:3,3	1:2,0
ML-MI, CL-CI	1:3,7	1:2,2

U hrází do 4 m lze sklon snížit o 0.5

GM – štěrk hlinitý, SM – písek hlinitý, GC – štěrk jílovitý, SC – písek jílovitý, MG – hlína štěrkovitá, CG – jíl štěrkovitý, MS – hlína písčitá, CS – jíl písčitý, ML-MI – hlína s nízkou až střední plasticitou, CL-CI – jíl s nízkou až střední plasticitou

Konstrukční prvky hráze

- Materiál hráze nebo těsnící jádro a stabilizační část(i)
- Ohumusování a osetí tělesa hráze (f)
- Opevnění návodního líce (a)
- Opěrná patka opevnění návodního líce (c)
- Patní drén (d)
- Zavazovací ostruha (e)
- Koruna (s komunikací)
- Filtry (b)



Těleso hráze

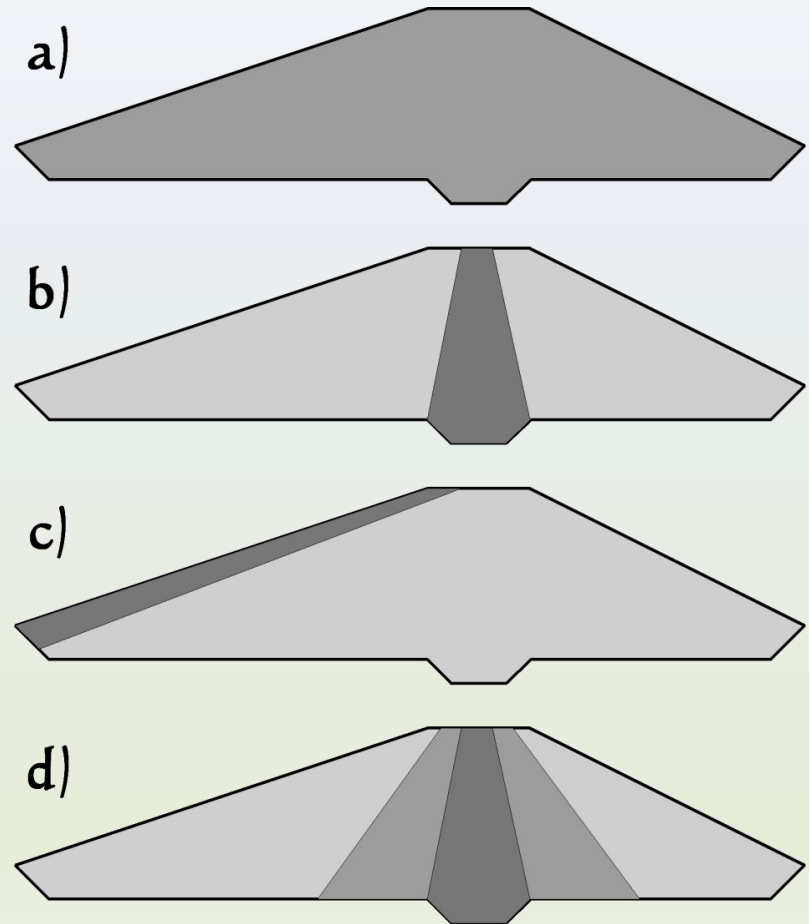
- Homogenní hráze (a)
- Nehomogenní hráze
 - Se středním zemním těsněním (b)
 - S návodním těsněním (c)
 - Zonální (d)

Homogenní hráze

- Jeden materiál pro celé těleso hráze
- Vhodné materiály s relativně nízkou propustností (jíly nejsou vhodné vzhledem k bobtnavosti, namrzavosti apod.)

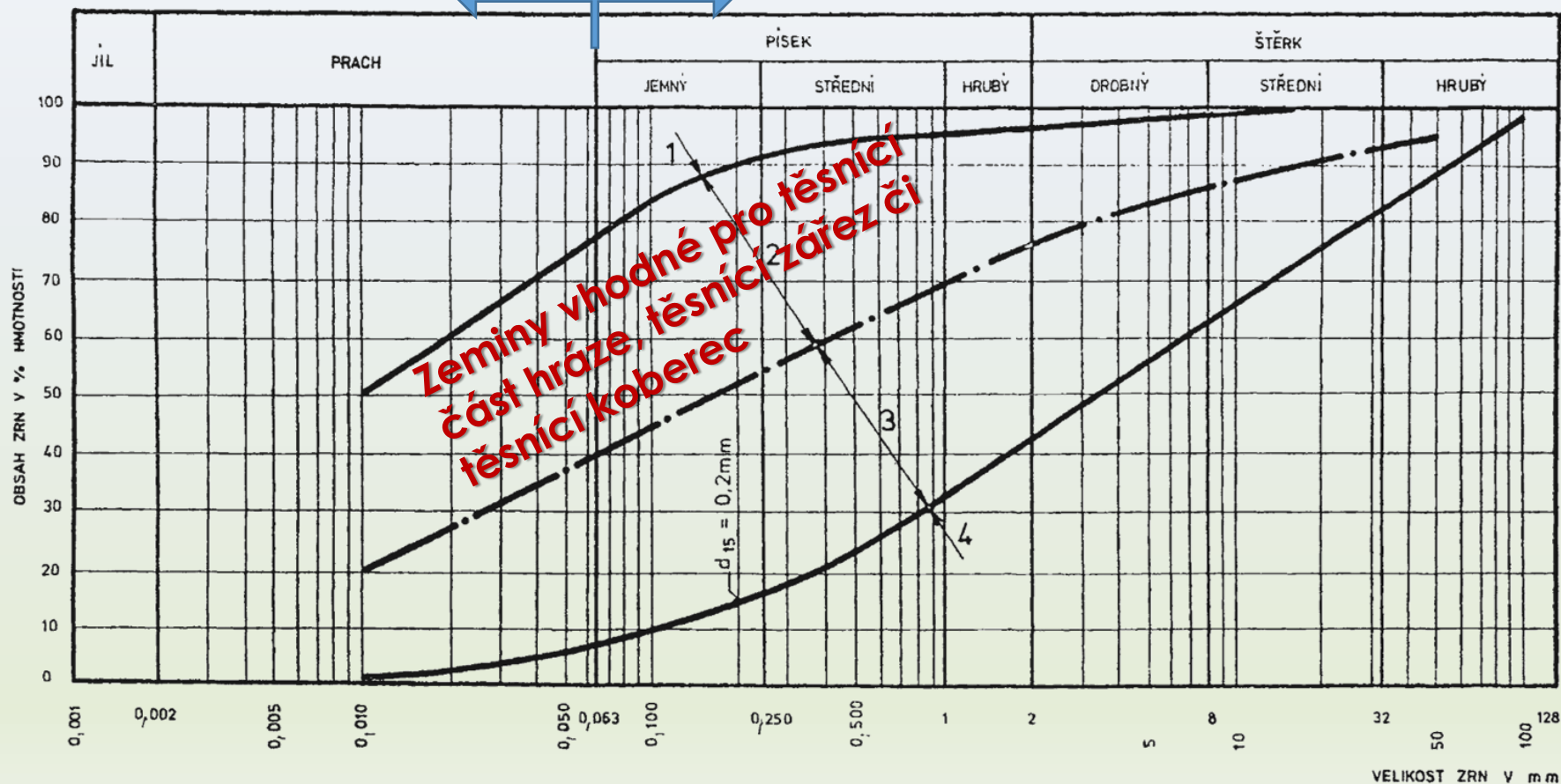
Nehomogenní hráze

- Těsnicí materiál s nízkou propustností + (přechodové) + stabilizační části
- Zeminy se při stavbě ukládají odděleně

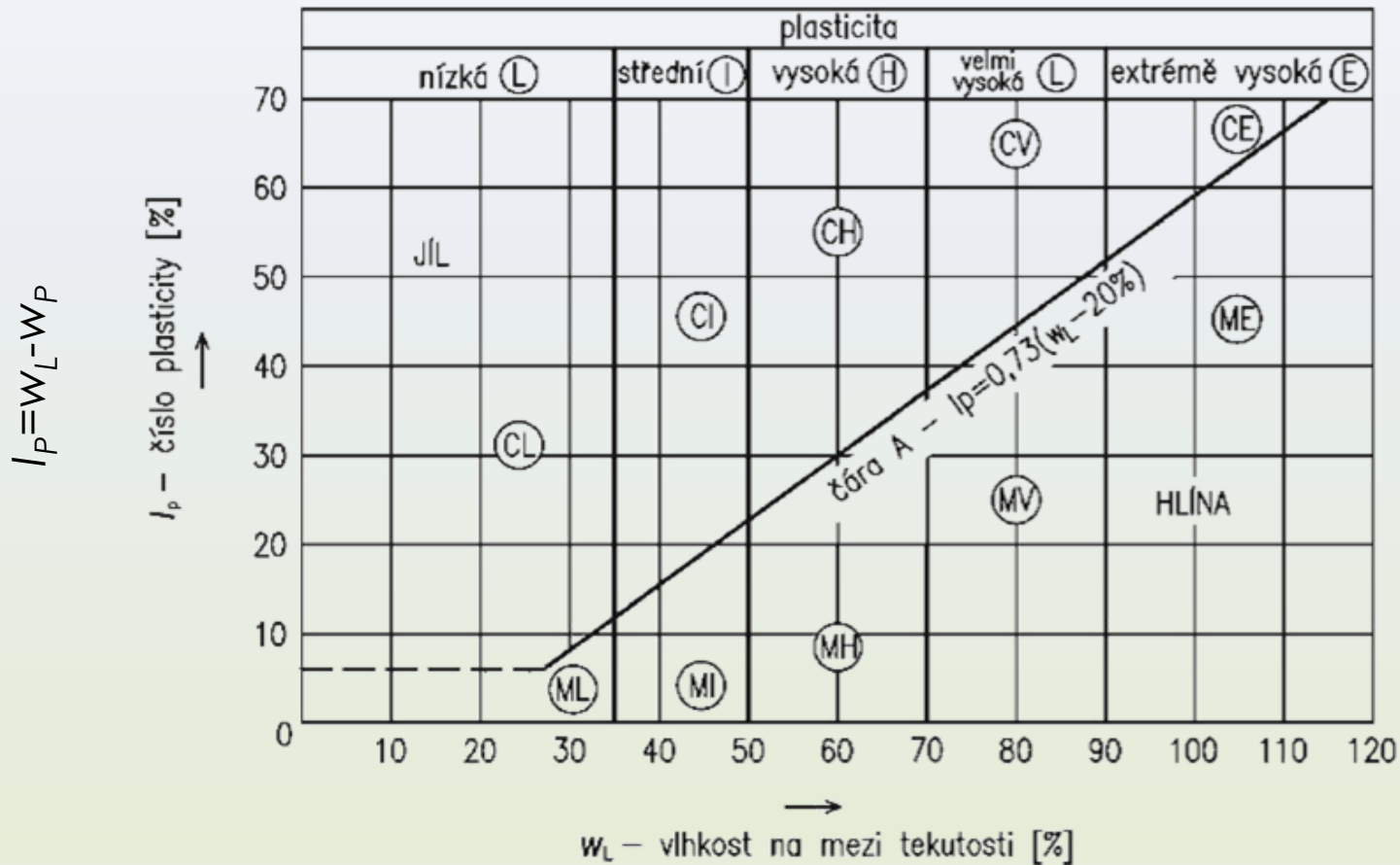


Zeminy - zrnitost

hustoměrná zkouška | prosévací zkouška



Zeminy - plasticita



Zeminy - zatřídění

a) Klasifikace štěrkovitých zemin ($g > s$)

Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrné frakce ($< 0,06 \text{ mm}$) v %	c_u	c_c	Diagram plasticity
Štěr dobře zrněný	GW	G1	< 5	> 4	1 až 3	—
Štěr špatně zrněný	GP	G2	< 5	< 4	< 1 nebo > 3	—
Štěr s příměsí jemnozrné zeminy	G-F	G3	5 až 15	—	—	—
Štěr hlinitý	GM	G4	15 až 35	—	—	pod čarou A
Štěr jílovitý	GC	G5	15 až 35	—	—	nad čarou A

b) Klasifikace písčitych zemin ($s > g$)

Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrné frakce ($< 0,06 \text{ mm}$) v %	c_u	c_c	Diagram plasticity
Písek dobře zrněný	SW	S1	< 5	> 6	1 až 3	—
Písek špatně zrněný	SP	S2	< 5	< 6	< 1 nebo > 3	—
Písek s příměsí jemnozrné zeminy	S-F	S3	5 až 15	—	—	—
Písek hlinitý	SM	S4	15 až 35	—	—	pod čarou A
Písek jílovitý	SC	S5	15 až 35	—	—	nad čarou A

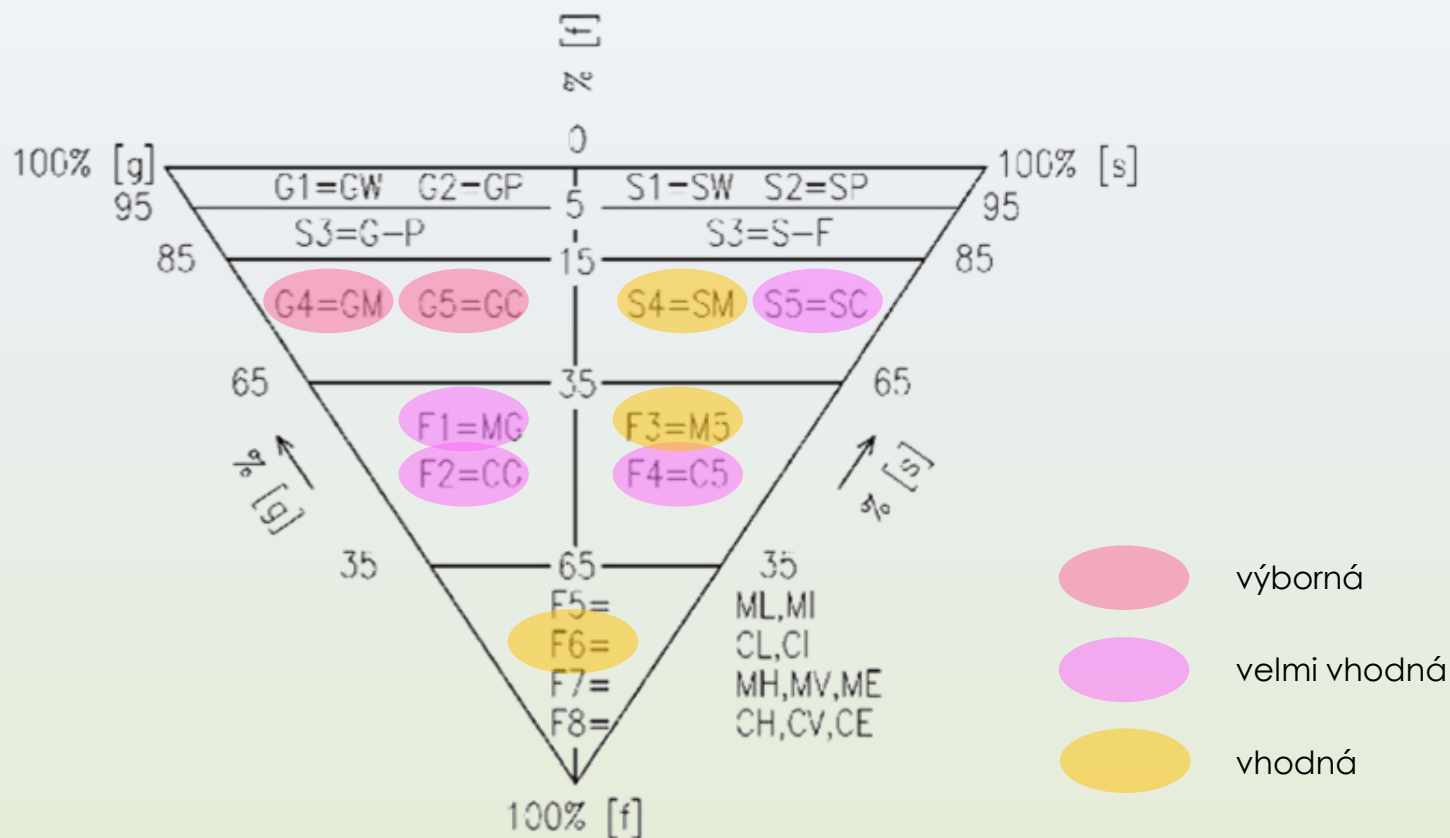
c) Klasifikace jemnozrných zemin

Název zeminy	Symbol	Třída	Obsah jemnozrné frakce ($< 0,06 \text{ mm}$) v %	Poměr štěrkové (g) a písčité (s) frakce	Diagram plasticity (čára A)	w_L %
Hlína štěrkovitá	MG	F1	35 až 65	$g > s$	pod A	—
Jíl štěrkovitý	CG	F2	35 až 65	$g > s$	nad A	—
Hlína písčita	MS	F3	35 až 65	$s > g$	pod A	—
Jíl písčitý	CS	F4	35 až 65	$s > g$	nad A	—
Hlína s nízkou plasticitou	ML	F5	> 65	—	pod A	< 35
Hlína se střední plasticitou	MI	F5	> 65	—	pod A	35 až 50
Jíl s nízkou plasticitou	CL	F6	> 65	—	nad A	< 35
Jíl se střední plasticitou	CI	F6	> 65	—	nad A	35 až 50
Hlína s vysokou plasticitou	MH	F7	> 65	—	pod A	50 až 70
Hlína s velmi vysokou plasticitou	MV	F7	> 65	—	pod A	70 až 90
Hlína s extrémně vysokou plasticitou	ME	F7	> 65	—	pod A	> 90
Jíl s vysokou plasticitou	CH	F8	> 65	—	nad A	50 až 70
Jíl s velmi vysokou plasticitou	CV	F8	> 65	—	nad A	70 až 90
Jíl s extrémně vysokou plasticitou	CE	F8	> 65	—	nad A	> 90

Konstrukční materiál

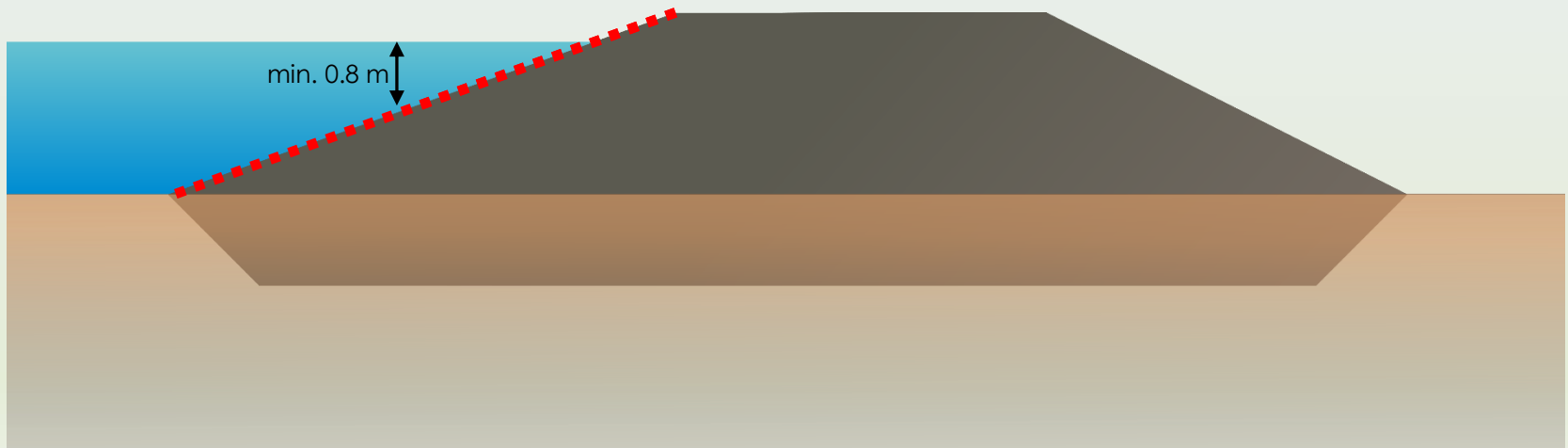
Označení zeminy	Symbol	Homogenní hráz	Nehomogenní hráz	
			Těsnící část	Stabilizační část
Štěrk dobře zrněný	GW	Nevhodná	Nevhodná	Výborná
Štěrk špatně zrněný	GP	Nevhodná	Nevhodná	Výborná
Štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy	G-F	Málo vhodná	Nevhodná	Velmi vhodná
Štěrk hlinitý	GM	Výborná	Velmi vhodná	Málo vhodná
Štěrk jílovitý	GC	Výborná	Velmi vhodná	Málo vhodná
Písek dobře zrněný	SW	Nevhodná	Nevhodná	Vhodná
Písek špatně zrněný	SP	Nevhodná	Nevhodná	Vhodná
Písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S-F	Nevhodná	Nevhodná	Vhodná
Písek hlinitý	SM	Vhodná	Vhodná	Málo vhodná
Písek jílovitý	SC	Velmi vhodná	Výborná	Nevhodná
Hlína štěrkovitá	MG	Velmi vhodná	Velmi vhodná	Nevhodná
Jíl štěrkovitý	CG	Velmi vhodná	Výborná	Nevhodná
Hlína písčitá	MS	Vhodná	Vhodná	Nevhodná
Jíl písčitý	CS	Velmi vhodná	Velmi vhodná	Nevhodná
Hlína s nízkou/střední plasticitou	ML/MI	Málo vhodná	Vhodná	Nevhodná
Jíl s nízkou/střední plasticitou	CL/CI	Vhodná	Velmi vhodná	Nevhodná
Hlína s velmi vysokou/velmi vysokou/extrémně vysokou plasticitou	MH/MV/ME	Málo vhodná	Málo vhodná	Nevhodná
Jíl s velmi vysokou/velmi vysokou/extrémně vysokou plasticitou	CH/CV/CE	Málo vhodná	Málo vhodná	Nevhodná

Konstrukční materiál



Opevnění návodního líce

- Slouží k ochraně tělesa hráze proti:
 - nepříznivému účinku vln
 - dešti
 - působení ledu a ledových ker
 - aktivitě zvířat (bobr, nutrie apod.)
- Může být umístěno stejné po celé délce návodního svahu nebo zpevněno v okolí styku tělesa hráze s hladinou vody v nádrži, lze též provést opevnění od koruny hráze alespoň 0,8 pod hladinu stálého nadržení



Opevnění návodního líce

- Pružné nebo tvrdé opevnění
 - „pružné“ opevnění – kamenný pohoz
 - „tvrdé“ opevnění – tvárnice, betonové desky, kamenná dlažba (do betonu či na sucho)



Opevnění návodního líce



Opevnění návodního líce



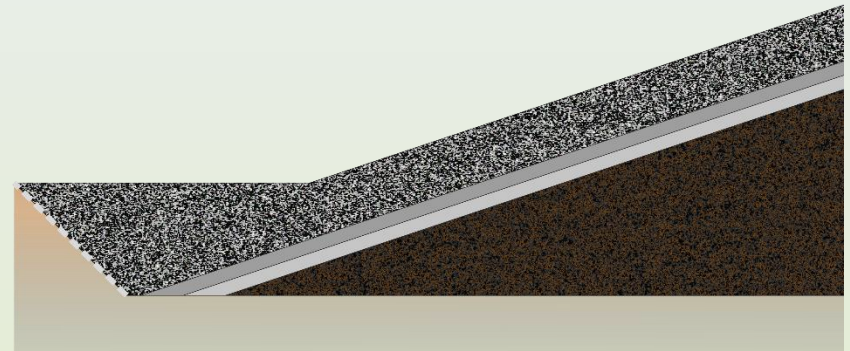
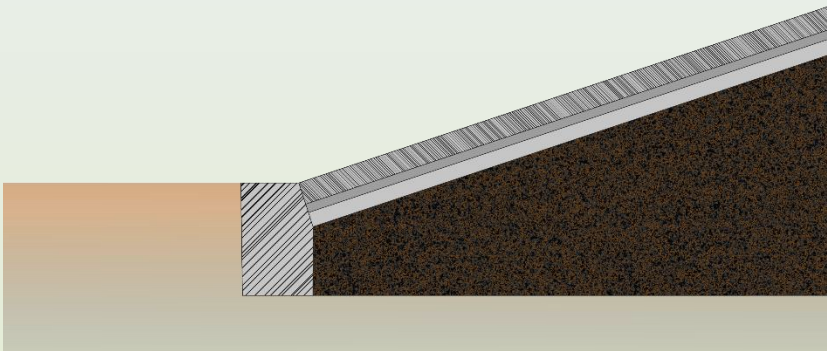
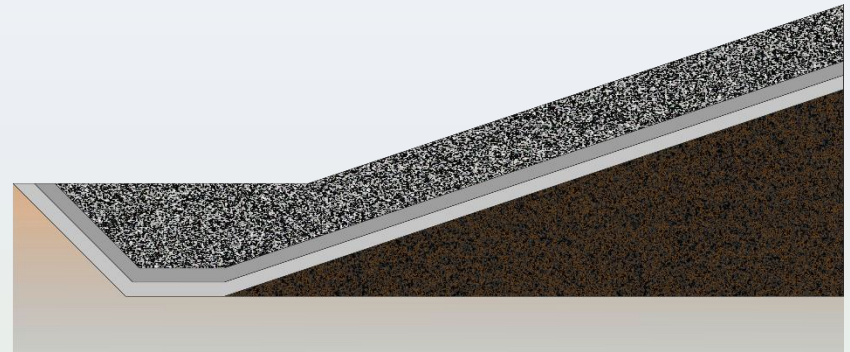
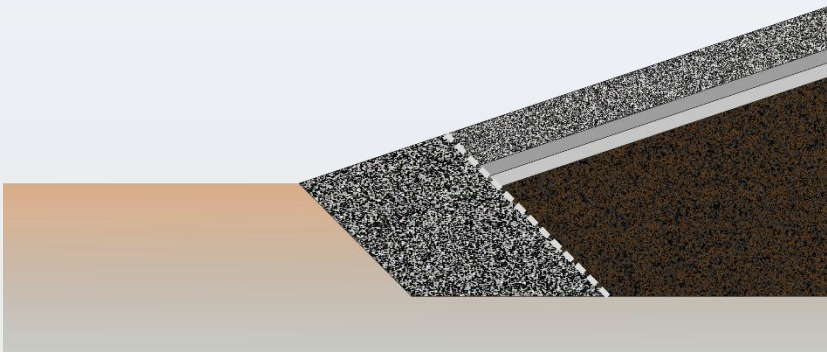
Opevnění návodního líce



Zdroj: <https://zatecky.denik.cz/galerie/voda-hladina-prehrada-nechranice-20221223.html?back=1407181156-534-12&photo=28>

Opěrná patka

- Zajišťuje stabilitu návodního svahu, fixuje spodní hranu opevnění návodního líce



Filtry

- Slouží k ochraně tělesa hráze před vyplavováním jemných částic na styku s vodou
- Umisťují se jak pod kamenný pohoz (případně jiné opevnění), tak mezi materiál samotné hráze a patní drén
- Nejčastěji se používají tříděné i netříděné písky a štěrkopísky nebo drcené kamenivo (materiál by neměl obsahovat více než 5% částic pod 0,063 mm)
- Křivky zrnitosti filtru a chráněné zeminy by měly být přibližně rovnoběžné zejména v oblasti jemnějších částic; maximální zrno filtru do 63 mm

Stejnozrnné materiály

$$5 \leq \frac{d_{50}^f}{d_{50}^z} \leq 10$$

Materiály, pro které
platí

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 5$$

Nestejnozrnné materiály (zaoblené částice)

$$12 \leq \frac{d_{15}^f}{d_{15}^z} \leq 40$$

$$12 \leq \frac{d_{50}^f}{d_{50}^z} \leq 60$$

Nestejnozrnné materiály (ostrohranné částice)

$$6 \leq \frac{d_{15}^f}{d_{15}^z} \leq 18$$

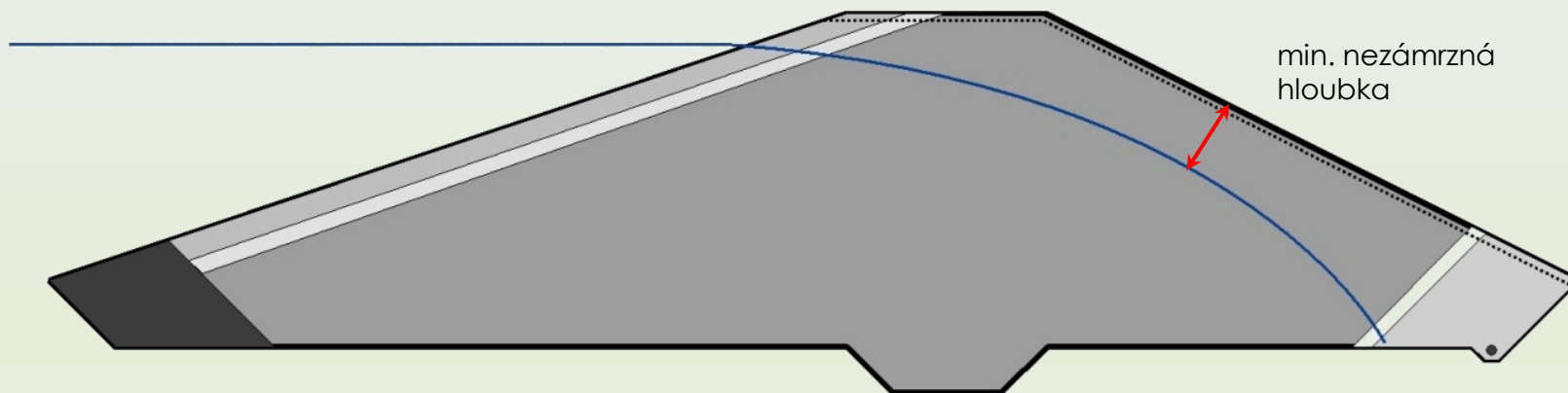
$$9 \leq \frac{d_{50}^f}{d_{50}^z} \leq 30$$

Obsypy perforovaných trub nebo jiných otvorů

$$\frac{d_{85}^f}{d_{otvor}} \geq 2$$

Patní drén

- Slouží k odvedení vody prosakující tělesem hráze a k oddálení depresní křivky od vzdušného líce tělesa hráze
- Drén je nutno navrhnout tak, aby depresní křivka byla od vzdušného líce vzdálena v každém bodě nejméně na hloubku promrznání pro daný materiál
- Funkce drenážní soustavy nesmí být narušena mrazem nebo vzdutím dolní vody
- Voda je z patního drénu nejčastěji odváděna plastovým perforovaným drenážním potrubím; doporučuje se minimálně DN200 pro zabránění ucpání

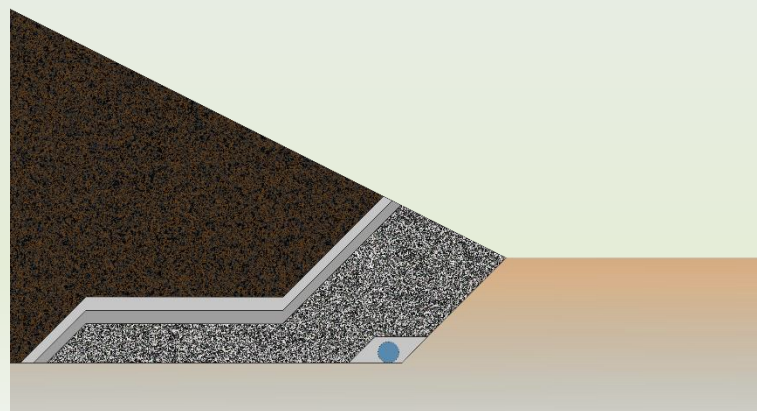
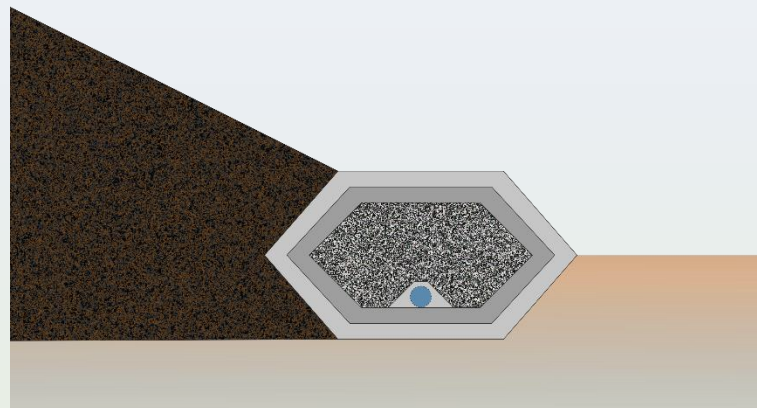
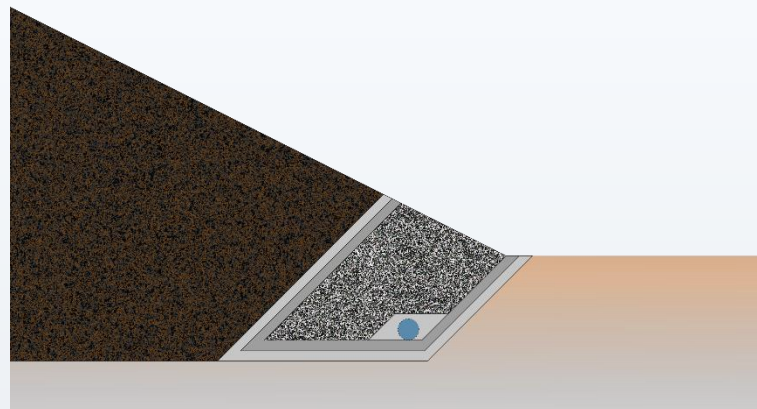
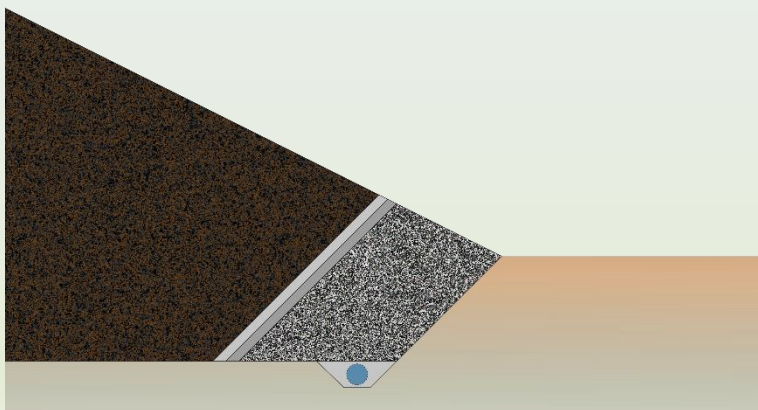
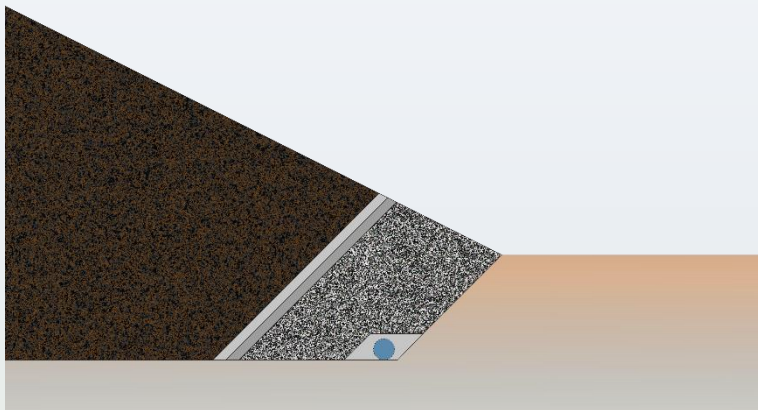


Patní drén

- Paní drén zaústíme do toku pod hrází
- Výtok nesmí být zatopen
- Vyústění drénu je třeba uzpůsobit tak, aby bylo možno měřit množství prosakující vody a odebírat vzorky

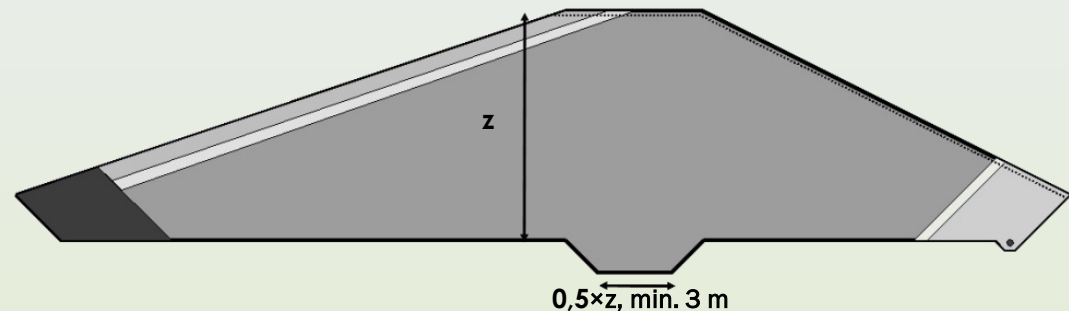
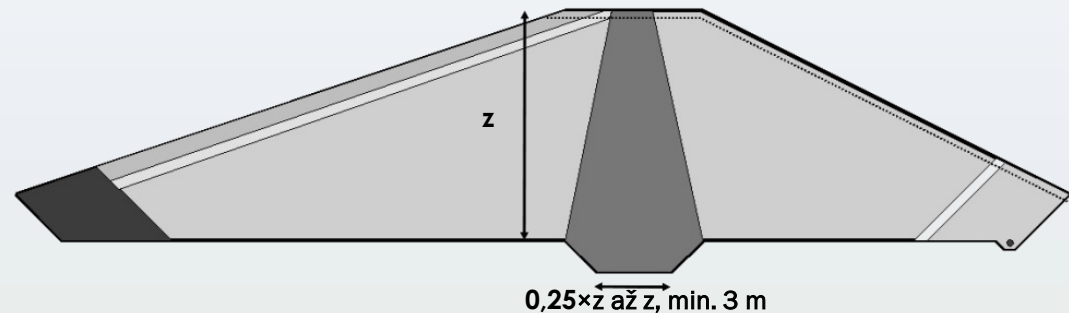


Patní drén



Zavazovací ostruha

- Používá se především u hrází s těsnícím jádrem pro jeho zapuštění pod základovou spáru a snížení průsaku pod tělesem hráze; šířku v úrovni základové spáry navrhujeme v rozmezí 0,25 až 1,0 výšky hráze, minimálně však 3 m s ohledem na provádění
- U homogenních hrází na nepropustném podloží ji lze u nižších hrází vypustit; šířku navrhujeme jako polovinu výšky hráze, minimálně však 3 m



Koruna hráze a vzdušný líc

- Je-li po koruně vedena komunikace, je nutno korunu hráze této komunikaci přizpůsobit
- V případě potřeby pojezdu techniky musí být minimální průjezdná šířka 3.5 m
- Hráze vyšší než 5 m nesmí mít korunu užší než 3 m
- Pokud je možné vyloučit častý pojezd techniky, je možné korunu upravit pouze ohumusováním a osetím
- Vzdušný líc je zpravidla možné upravit pouze ohumusováním a osetím (tl. 100-150 mm)



Vegetace na hrázích

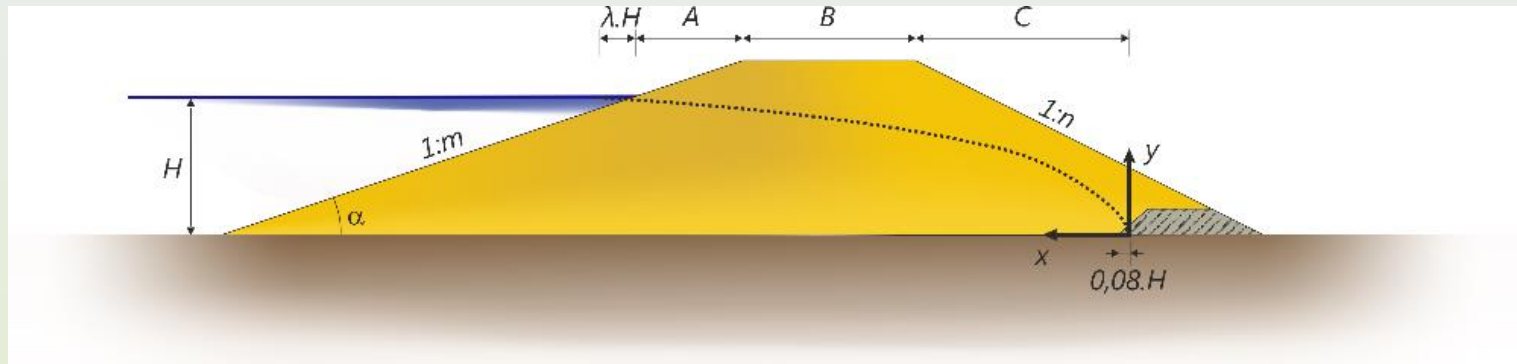
- Pokud k tomu není důvod, je z technického hlediska vhodnější na hráze neumisťovat křovinnou a stromovou vegetaci
- Pokud má být na hrázi osazena vegetace, mělo by se jednat o stromy osazované v horní třetině vzdušního líce hráze, v případě nových nádrží je možno navrhnout pro potřeby umístění vegetace lavici
- Křovinnou vegetaci není vhodné osazovat s ohledem na přehlednost hráze
- V případě výskytu vegetace na hrázi je zapotřebí jí věnovat náležitou péči (kontrola, údržba ...)



Průsak tělesem hráze

- Průsak počítáme především s ohledem na bilanci nádrže (ztráta vody průsakem tělesem hráze)
- Průsak je nutno počítat v jednotlivých profilech, neboť po délce hráze se mění hydraulický spád (rozdíl výšek hladin)
- V případě nehomogenních hrází je výpočet komplikovanější

$$q = K_s \cdot \frac{H^2}{2 \cdot L} \quad L = \lambda \cdot H + A + B + C \quad \lambda = \frac{m}{1 + 2 \cdot m} \quad y^2 = x \cdot \frac{H^2}{L}$$



Pozor, je nutno dodržovat konzistentní jednotky!!!

Průsak tělesem hráze

Skupina	Standardní Proctorova zkouška		Objemová hmotnost suché zeminy		Smyková pevnost		Filtrační součinitel k
	$\rho_d^{\max}$ $t \cdot m^{-3}$	W_{opt} %	maximální $t \cdot m^{-3}$	minimální $t \cdot m^{-3}$	c_{ef} kPa kPa	ϕ_{ef} °	$m \cdot s^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8
GW	> 1,91	< 13	1,97 až 2,3	1,58 až 1,9	0	44	$5 \cdot 10^{-4}$ až $7 \cdot 10^{-5}$
GP	> 1,76	< 13	2,1 až 2,3	1,67 až 1,93	0	41	$5 \cdot 10^{-4}$ až $6 \cdot 10^{-5}$
G-F	> 1,74	< 13,5	–	–	0	38	$1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-8}$
GM	> 1,8	< 20,5	2,06 až 2,16	1,7 až 1,76	5	34	$8 \cdot 10^{-5}$ až $8 \cdot 10^{-10}$
GC	> 1,84	< 17,7	–	–	5	27	$1 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-9}$
SW	1,92 až 2,11	7,4 až 10,8	1,9 až 2,1	1,48 až 1,71	0	41	$5 \cdot 10^{-5}$ až $4 \cdot 10^{-6}$
SP	1,7 až 2,00	8,8 až 12,8	1,73 až 1,96	1,35 až 1,64	0	37	$2 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-6}$
S-F	1,74 až 1,83	11,8 až 14,2	–	–	0	33	$1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-7}$
SM	1,72 až 2,01	9,1 až 15,9	1,62 až 1,9	1,23 až 1,48	5	34	$1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
SC	1,81 až 2,00	10 až 14,7	–	–	6	34	$1 \cdot 10^{-7}$ až $5 \cdot 10^{-10}$
ML	1,49 až 1,82	14 až 25	–	–	5	34	$5 \cdot 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
CL	1,66 až 1,84	14 až 19	–	–	5	25	$1 \cdot 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
MH	1,33 až 1,4	33 až 35	–	–	5	18	$8 \cdot 10^{-9}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
CH	1,42 až 1,63	19,5 až 30,5	–	–	5	17	$4 \cdot 10^{-7}$ až $2 \cdot 10^{-10}$

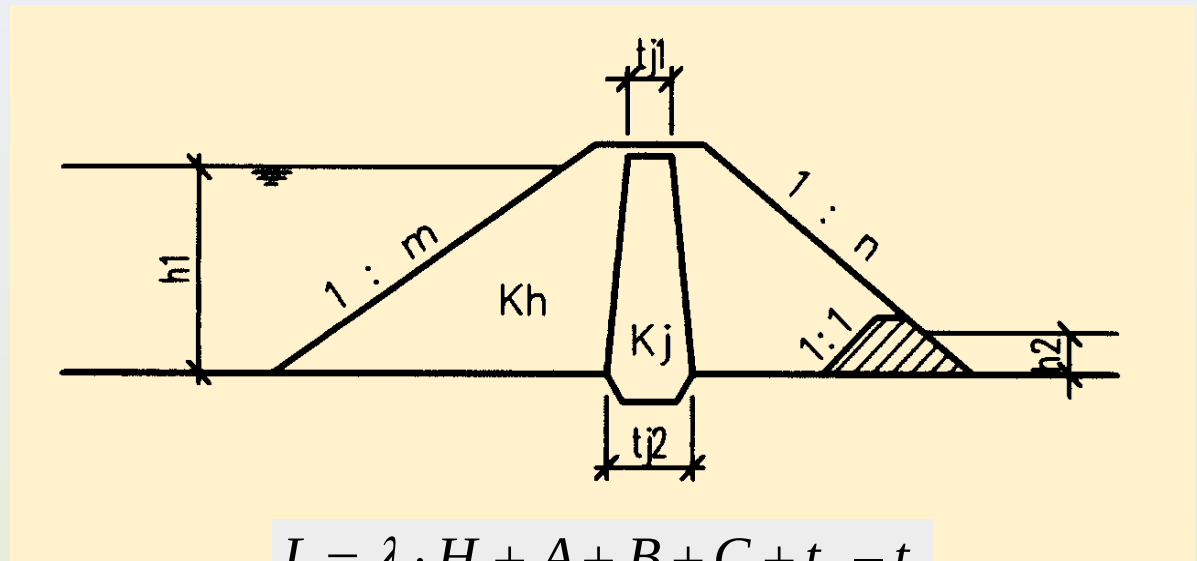
Průsak tělesem hráze

- U nehomogenních hrází provádíme výpočet s ohledem na rozdílné propustnosti těsnící a stabilizační části

$$\frac{K_h}{K_j} \leq 100$$

$$t_n = \frac{K_h}{K_j} \cdot t_s$$

$$t_s = \frac{t_{1j} + t_{2j}}{2}$$



$$L = \lambda \cdot H + A + B + C + t_n - t_s$$

Řešení jako homogenní hráz, pouze s větší šířkou

Průsak tělesem hráze

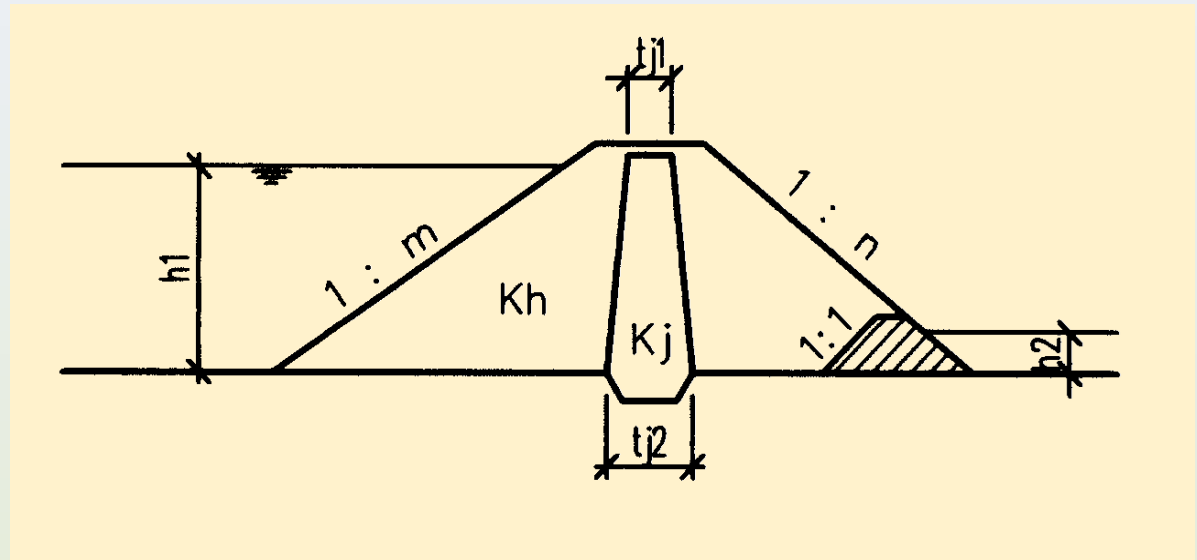
- U nehomogenních hrází provádíme výpočet s ohledem na rozdílné propustnosti těsnící a stabilizační části

$$\frac{K_h}{K_j} \geq 100$$

$$t_s = \frac{t_{1j} + t_{2j}}{2}$$

$$H = h_1 \quad \text{pokud} \quad h_2 = 0$$

$$q = K_j \cdot \frac{H^2}{2 \cdot t_s}$$



Řešení jako průsak pouze těsnícím jádrem (průsak stabilizační částí uvažován jako významně větší a pokles hladiny vody ve stabilizační části minimální)

Děkuji za pozornost....

