

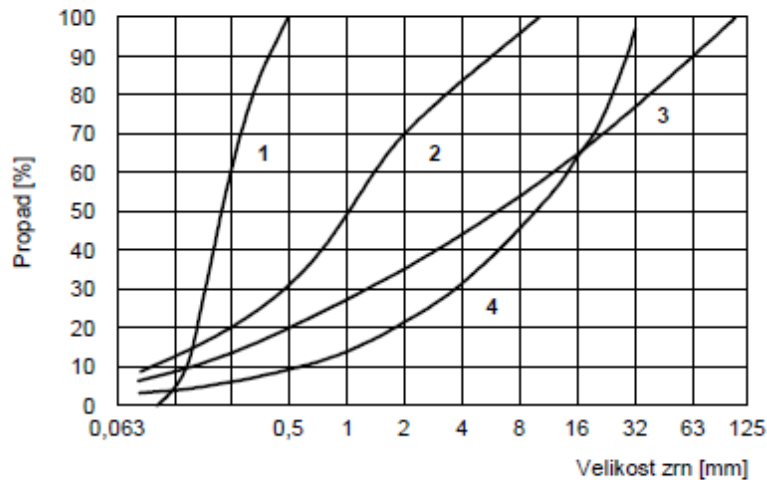
Vlastnosti zemin a jejich uplatňování při stavbě aktivní zóny

Ing. Jan Zajíček

SENS 10

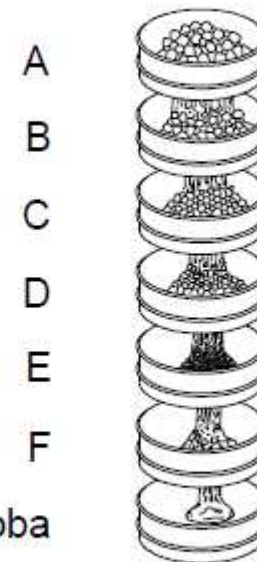
Zrnitost

Představuje vzájemné zastoupení velikosti jednotlivých zrn v zemině.



- | | | | | | |
|---|--------|---------------------------|---|--------|----------------------------|
| 1 | N = 2 | stejnozrně (písek) | 2 | N = 10 | nestejnozrně (štěrkopísek) |
| 3 | N = 70 | nestejnozrně (skalní suť) | 4 | N = 30 | nestejnozrně (MZK) |

Velikost síta



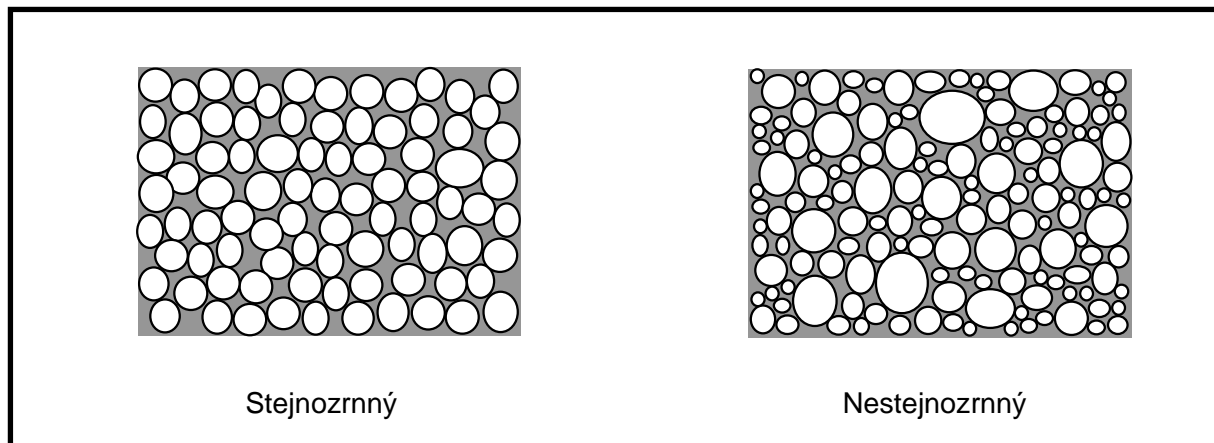
Nádoba

A > B > C > D > E > F

Zrnitost

Materiály obsahující převážně zrna stejné velikosti, se nazývají stejnozrné.

Naopak pokud jsou zrna o různé velikosti rovnoměrně zastoupena a žádná velikost není dominantní, nazývají se nestejnozrné.



Zrnitost

Rozlišení se provádí pomocí čísla nestejnozrnnosti

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

d_{60} velikost zrna, odpovídající propadu 60 % odečtenému z čáry zrnitosti

d_{10} velikost zrna, odpovídající propadu 10 % odečtenému z čáry zrnitosti

Objemová hmotnost

je hmotnost objemové jednotky zeminy

- Zjišťuje se jako podíl hmotnosti zeminy včetně obsažené vody a jejího celkového objemu.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- Někdy je zapotřebí znát objemovou hmotnost suché zeminy, aby se získaly porovnatelné výsledky, neovlivněné vlhkostí zkušebního vzorku.

$$\rho_d = \frac{m_s}{V}$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{w+1}$$

Konzistenční meze a plasticita

Konzistence

- ▶ je stav zeminy, který v závislosti na jejím typu a vlhkosti vyjadřuje její odolnost proti deformaci.

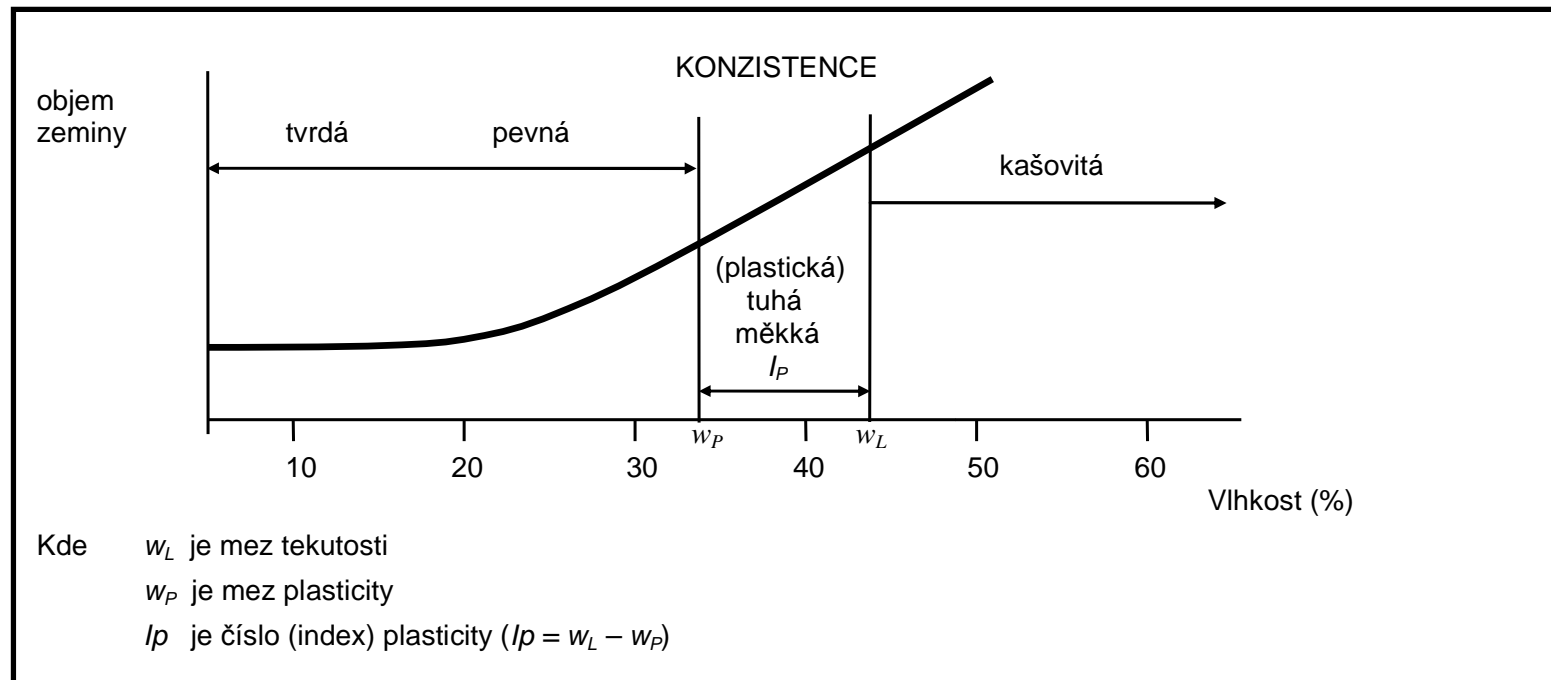
Plasticitu

- ▶ si lze představit jako schopnost materiálu, vystaveného vnějšímu silovému působení, stále měnit svůj tvar a přitom klást stále stejný odpor;
- ▶ jinak řečeno, takovýto materiál se chová jako plastelína;
- ▶ plastické vlastnosti mají některé jemnozrnné zeminy, které v závislosti na vlhkosti mění svůj objem a konzistenci.

Konzistenční meze a plasticita

Zemina se podle vlhkosti nachází ve stavu tvrdém, pevném, tuhém, měkkém nebo kašovitém.

► Mez tekutosti, mez plasticity, číslo (index) plasticity



Konzistenční meze a plasticita

Číslo (index) plasticity je numerický rozdíl meze tekutosti a meze plasticity $I_P = W_L - W_P$

Význam

- ▶ Mez plasticity je citlivá spíše na množství jílovitých částic, mez tekutosti jak na množství, tak i na druh jílovitých částic.
- ▶ Čím je mez tekutosti a číslo plasticity vyšší, tím jsou plastické vlastnosti výraznější.

Stupeň konzistence

určuje stav, v jakém se zemina právě nachází.

- ▶ Je to rozdíl meze tekutosti a přirozené vlhkosti zeminy v poměru k jejímu indexu plasticity.

Kde
$$I_c = \frac{w_l - w}{w_l - w_p} = \frac{w_l - w}{I_p}$$

w_p mez plasticity

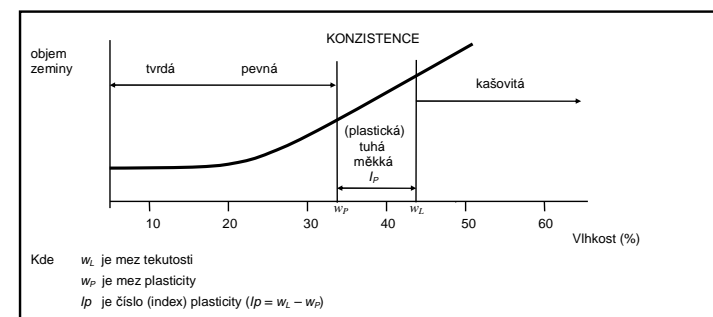
w vlhkost zeminy

- ▶ Čím je stupeň konzistence vyšší, tím je zemina pevnější a naopak.

Stupeň konzistence

Rozlišení konzistenčních mezí

Konzistence	Stupeň konzistence I_c	Chování zeminy
kašovitá	$< 0,05$	při sevření se protlačuje mezi prsty
měkká	0,05 až 0,50	dá se lehce hníst v prstech
tuhá	0,50 až 1,00	hněte se obtížně v prstech
pevná	$> 1,00$	lze do ní vtisknout nehet
tvrdá	–	vyschlá, při úderu kladiva se drolí

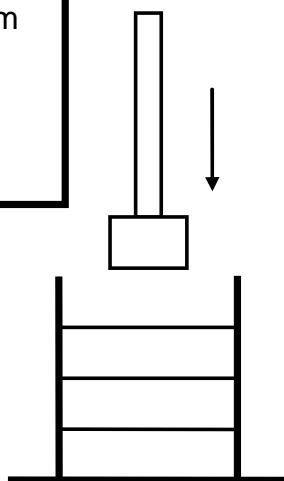


Zhutnitelnost

Proctorova zkouška

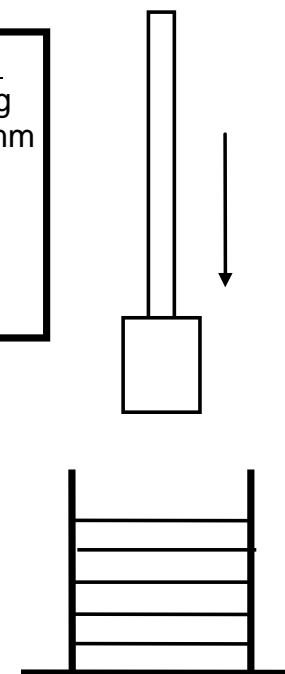
Standardní zkouška:

váha pěchu 2,50 kg
výška pádu 305 mm
počet vrstev 3
počet úderů
na každou vrstvu 25



Modifikovaná zkouška:

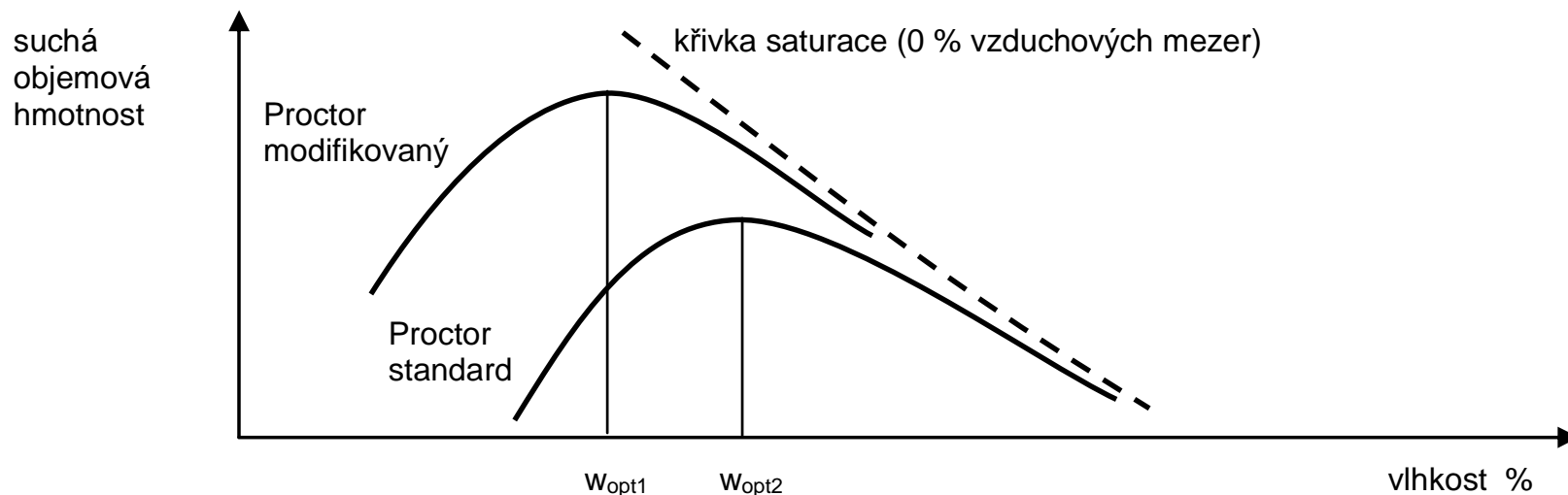
váha pěchu 4,50 kg
výška pádu 457 mm
počet vrstev 5
počet úderů
na každou vrstvu 25



Zhutnitelnost

Proctorova zkouška

Závislost suché objemové hmotnosti na vlhkosti při hutnění



Malé množství vody ve směsi hutnění usnadňuje, příliš velké množství naopak hutnění brání. Hrubé směsi a malé množství jemných částic citlivost na vlhkost snižují. **Optimální vlhkost s rostoucí hutnicí energií klesá.**

Zhutitelnost

Proctorova zkouška

- ▶ se používá pro nestejnozrnné materiály do velikosti maximálního zrna 31,5 mm.
- ▶ Pokud je materiál natolik stejnouzrnný, že jej metodou Proctorovy zkoušky nelze hutnit, používá se zkouška relativní ulehlosti - vztah ulehlosti zeminy vzhledem k minimální a maximální ulehlosti dosažené v laboratoři, vyjádřený z poměru rozdílů čísel pórovitosti.

$$I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

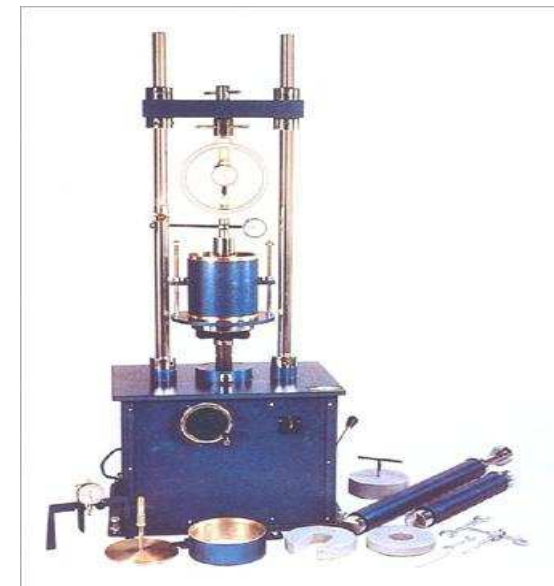
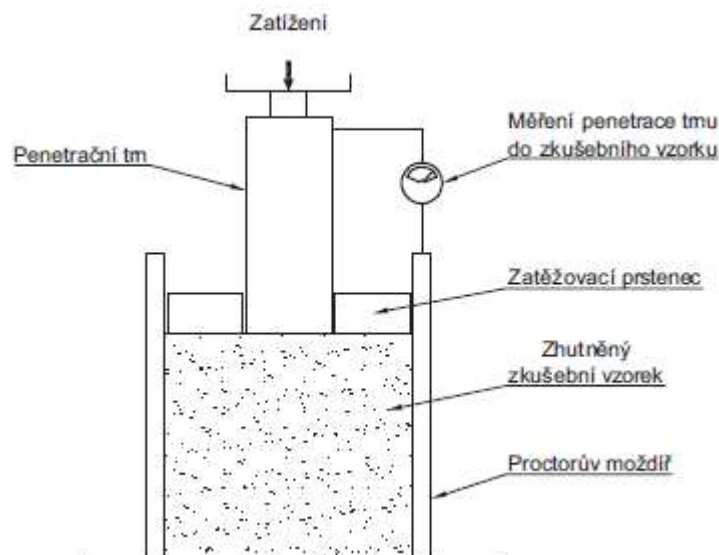
- ▶ Z praktických důvodů se počítá z objemových hmotností

$$I_d = \frac{\rho_{d,\max} (\rho_d - \rho_{d,\min})}{\rho_d (\rho_{d,\max} - \rho_{d,\min})}$$

Přetvárné charakteristiky - únosnost

Používají se nepřímé empirické metody jako Kalifornský poměr únosnosti (CBR).

- ▶ Měří se síla odporu při vnikání ocelového trnu do zeminy
- ▶ Zkušební vzorek se před tím obvykle sytí 96 hod. ve vodě



Přetvárné charakteristiky - únosnost

Kalifornský poměr únosnosti (CBR) - příklady

Materiál	CBR [%]	
	při optimální vlhkosti CBR_{opt}	po uložení ve vodě CBR_{sat}
jíl (CL, CI, CH, CV)	3 – 15	0 – 7
hlína (ML, MI, MH, MV)	5 – 20	0 – 7
šterkovitá hlína nebo jíl (MG, CG)	5 – 25	3 – 15
písečtá hlína nebo jíl (MS, CS)	5 – 25	5 – 15
písek hlinitý nebo jílovitý (SM, SC)	5 – 30	5 – 15
šterk hlinitý nebo jílovitý (GM, GC)	5 – 40	3 – 30
písek s příměsí jemnozrnné zeminy (S-F)	7 – 30	5 – 25
šterk s příměsí jemnozrnné zeminy (G-F)	10 – 60	5 – 30
písek dobře nebo špatně zrněný (SW, SP)	10 – 40	10 – 30
šterk dobře nebo špatně zrněný (GW, GP)	50 – 120	40 – 100
mechanicky zpevněné kamenivo (MZK)	nestanovuje se	100 – 180

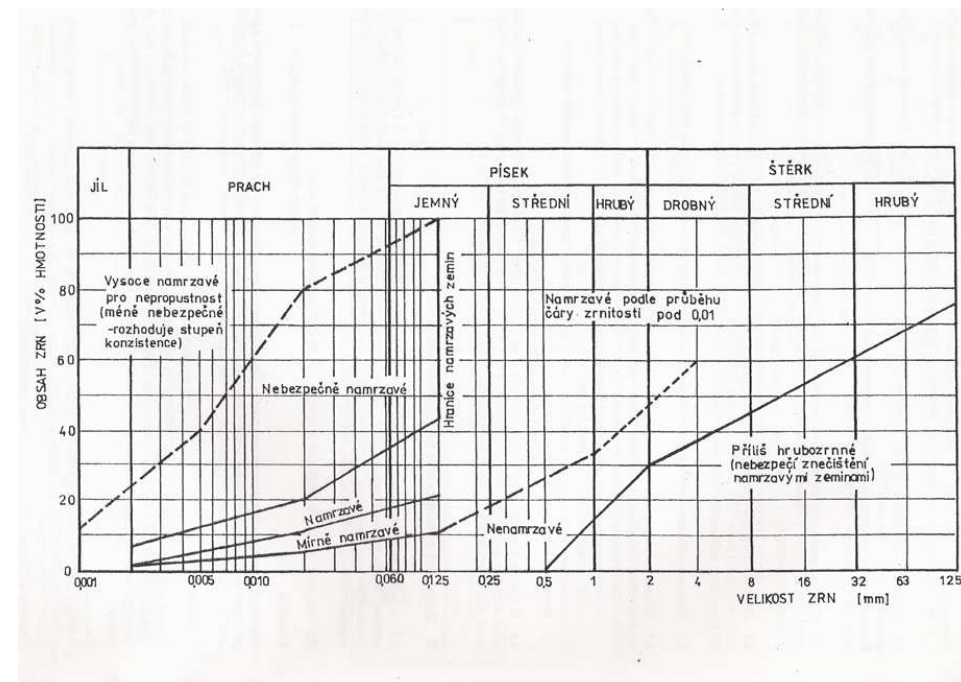
Přetvárné charakteristiky - únosnost

Z CBR je odvozena další zkouška, která se nazývá okamžitý index únosnosti (IBI – Immediate Bearing Index).

- ▶ **Od CBR se liší tím, že se provádí okamžitě na čerstvě zhutněném zkušebním vzorku bez sycení vodou a bez použití přitěžovacích prstenců.**
- ▶ **Mezi *CBR* a *IBI* neexistuje žádný obecný korelační vztah**
 - ▶ vzájemné porovnávání je možné jen v konkrétních podmínkách dané stavby.

Namrzavost zemin

je vlastnost zeminy, projevující se postupným zvětšováním objemu při teplotách pod bodem mrazu a stálém přísunu vody kapilárním vzlínáním.



Filtrační vlastnosti

Rozhraní dvou přilehlých vrstev o různé zrnitosti musí být stabilní a materiály vrstev se nesmí navzájem mísit.

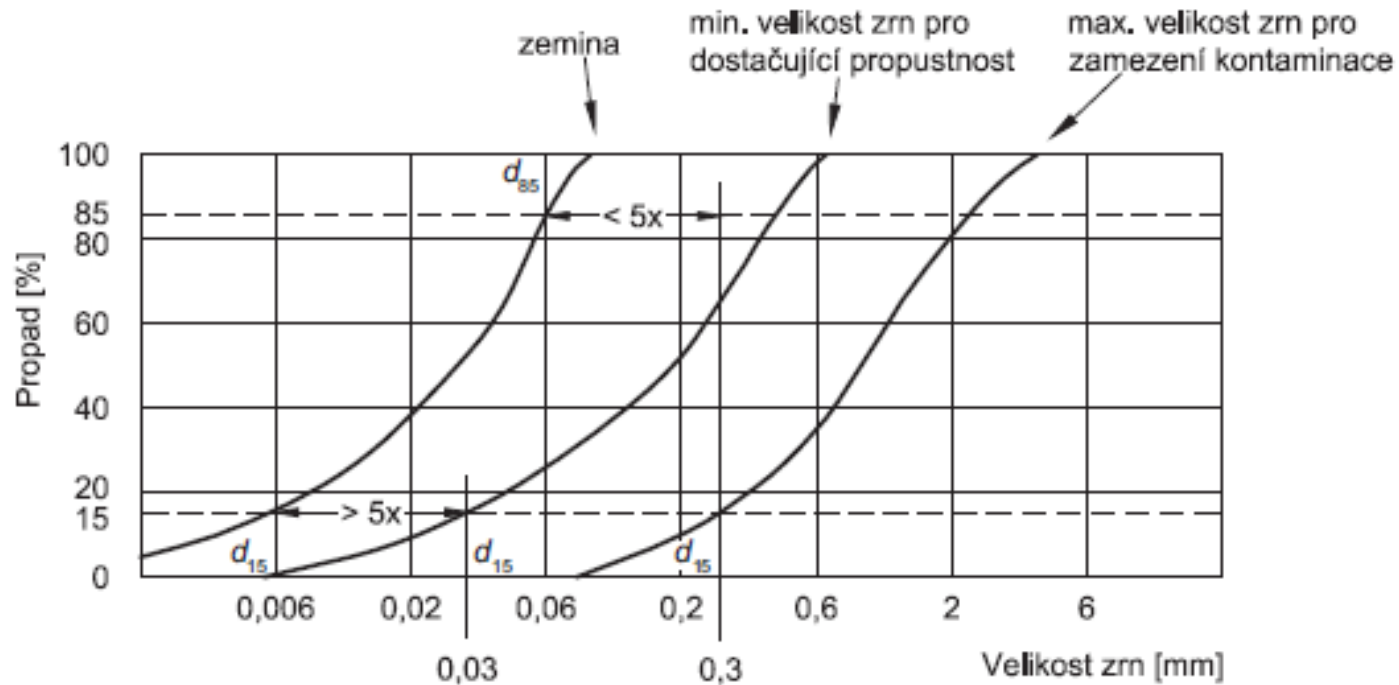
Pokud má přes rozhraní vrstev proudit voda, filtrační vrstva musí mít dostatečnou propustnost.

- ▶ Stabilita rozhraní se posuzuje pomocí filtračních kritérií.
- ▶ d_{15} nestmelené vrstvy $\leq 5 \cdot d_{85}$ zeminy (filtrace)
- ▶ d_{50} nestmelené vrstvy $\leq 25 \cdot d_{50}$ zeminy (nestejnozrnnost)
- ▶ d_{15} propustné vrstvy $\geq 5 \cdot d_{15}$ zeminy (propustnost)

Kde d_{15} , d_{50} , d_{85} je velikost zrna odpovídající na čáře zrnitosti propadu 15 %, 50 %, 85 %.

Filtrační vlastnosti

Princip fungování filtračních kritérií



Přímé metody kontroly hutnění

Rozeznáváme metody přímé a nepřímé.

Přímé metody

- ▶ jsou založeny na užití vztahu mezi dosaženým a za smluvních podmínek maximálním zhutněním.
- ▶ **Nejrozšířenější přímé metody**
 - ▶ **míra zhutnění** - zpravidla se určuje jako poměr suché objemové hmotnosti vzorku odebraného z hotové úpravy a srovnávací laboratorní suché objemové hmotnosti, vyjádřený v %
 - ▶ **relativní ulehlost** je založená na porovnání vztahů mezi čísly pórovitosti

Přímé metody kontroly hutnění

Přímé metody

- ▶ Srovnávací laboratorní suchá objemová hmotnost se stanovuje pomocí Proctorovy zkoušky.
- ▶ Objemová hmotnost vzorku odebraného z hotové úpravy se nejčastěji stanovuje jamkovou metodou.



Nepřímé metody kontroly hutnění

Nepřímé metody

- ▶ jsou založeny na měření takových veličin, které jsou na kvalitě hutnění závislé, a pokud existuje jejich porovnání s výsledky získanými přímou metodou, lze z nich kvalitu hutnění odvodit.
 - ▶ geodetická kontrolní metoda (nivelace)
 - ▶ statická zatěžovací zkouška
 - ▶ radiometrické měření objemové hmotnosti (radiosonda)
 - ▶ rázová zatěžovací zkouška (lehká dynamická deska)
 - ▶ dynamická kontrolní metoda (kompaktometr)
 - ▶ penetrační zkoušky (statické a dynamické)
 - ▶ orientační pojezdová kontrola

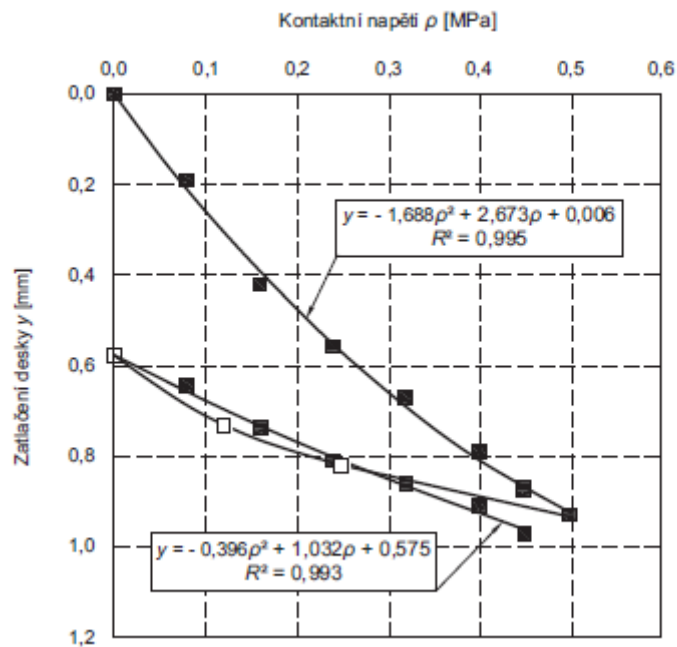
Nepřímé metody kontroly hutnění

Použití nepřímých metod je většinou podmíněno porovnáním s jinými již ověřenými výsledky a to podle předem stanoveného postupu, který se nazývá zhuťňovací zkouška.

- ▶ **Provádí se obvykle na zkušebním poli.**
- ▶ **Metodami, které je potřeba porovnat se provádějí příslušné zkoušky hutnění.**
- ▶ **Jsou popsány v technických předpisech.**
 - ▶ Kromě kalibrace nepřímých metod hutnění se zhuťňovací zkouška používá k ověření funkčnosti zvolené technologie hutnění v podmínkách dané stavby. Ověřuje se typ použitého hutnícího prostředku, rychlost a počet pojezdů, nastavená amplituda a frekvence vibrace.

Nepřímé metody kontroly hutnění

Statická zatěžovací zkouška



Nepřímé metody kontroly hutnění

Radiometrické měření



Nepřímé metody kontroly hutnění

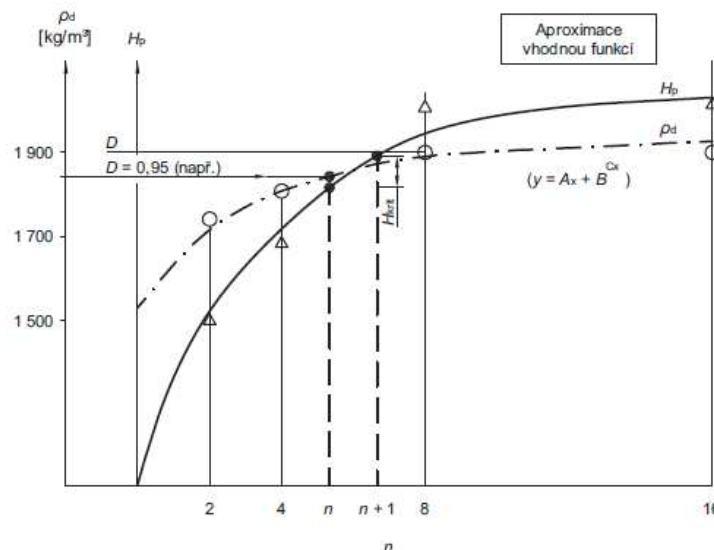
Rázová zatěžovací zkouška



Nepřímé metody kontroly hutnění

Kompaktometr

- ▶ je namontován na vibračním válci, kde měří silové rázy vibrujícího bubnu, které se mění v závislosti na stabilitě a tedy míře zhutnění vrstvy – výsledek je bezrozměrné číslo.
- ▶ Korelační vztah vázaný na přímé měření je nutný.



Nepřímé metody kontroly hutnění

Penetrační zkoušky

- ▶ Dochází k pronikání kuželovitého hrotu upevněného na tyči do zeminy a sleduje se odpor zeminy proti tomuto pronikání.
- ▶ Požadovaný parametr musí vždy vycházet z výsledků zhutňovací zkoušky – nelze aplikovat samostatné měření.

Orientační pojezdová kontrola

- ▶ Doporučuje se všimnout si chování materiálu, vystaveného přejezdu naložených těžkých nákladních automobilů.
- ▶ Pokud je při přejezdu pod koly patrný i nepatrný vizuálně zjistitelný průhyb, podloží je neúnosné.
- ▶ Toto ale neplatí opačně.

Klasifikace zemin

Různé zeminy se od sebe liší svými vlastnostmi.

- ▶ Proto je účelné najít takové vlastnosti, podle kterých lze zeminy roztrdit do přehledných skupin a chování zemin určité skupiny pak do jisté míry předvídat.
- ▶ Úkolem klasifikace zemin je najít takové vlastnosti a skupiny.

Klasifikace zemin

První pokusy o klasifikaci zemin byly založeny na rozlišování podle zrnitosti.

- ▶ Později se ukázalo, že chování zemin s převládající jemnou frakcí nezávisí jen na velikosti zrn ale též na jejich povaze dané mineralogickým složením.
- ▶ Na základě zrnitosti se tedy klasifikují hrubozrnné zeminy, kde se rozlišuje písek, štěrk a kamenitá nebo balvanitá složka.
- ▶ U jemnozrnných zemin není až tak rozhodující velikost jemných částic, ale jejich povaha, ovlivněná obsahem jílovitých minerálů, které způsobují plastické vlastnosti.

Klasifikace zemin

Hrubozrnná zemina

- ▶ je zemina obsahující zrna menší než 0,063 mm v množství menším než 35 %; převažující písčité nebo štěrkovité frakce určuje hlavní název zeminy.
 - ▶ Příklad: písek, štěrk, písek hlinitý, štěrk jílovitý

Jemnozrnná zemina

- ▶ je zemina obsahující zrna menší než 0,063 mm v množství větším než 35 %; při větším obsahu jílovitých částic (< 0,002 mm) má plastické chování.
 - ▶ Příklad: hlína s nízkou plasticitou, štěrkovitá hlína, písčité jíly

Klasifikace zemin

Podle velikostí částic se rozlišují jednotlivé složky

Částice	Popis	Označení	Rozsah
Velmi hrubé	balvanitá složka	b	> 200 mm
	kamenitá složka	cb	60 mm – 200 mm
Hrubé	šterková složka	g	2 mm – 60 mm
	písčitá složka	s	0,06 mm – 2 mm
Jemné (f)	hlinitá složka	m	0,002 mm – 0,06 mm
	jílová složka	c	< 0,002 mm

Velmi hrubé částice se při zatřídování vyjmou, zaznamená se jejich hmotnostní podíl. Zbytek zeminy se klasifikuje podle dalších hledisek.

- Protože většina zemin je tvořena směsí různých složek, rozlišují se výchozí skupiny.

Klasifikace zemin

Výchozí skupiny zemin podle velikosti částic:

Výchozí skupina	Základní název	Symbol	Kvalitativní znaky
Jemnozrnná	Jemnozrnná zemina	F (jíl – C, hlína – M)	$f > 35 \% (g + s + f)$
Píščitá	Písek	S	$f < 35 \% (g + s + f) \wedge s > g$
Štěrkovitá	Štěrk	G	$f < 35 \% (g + s + f) \wedge g > s$

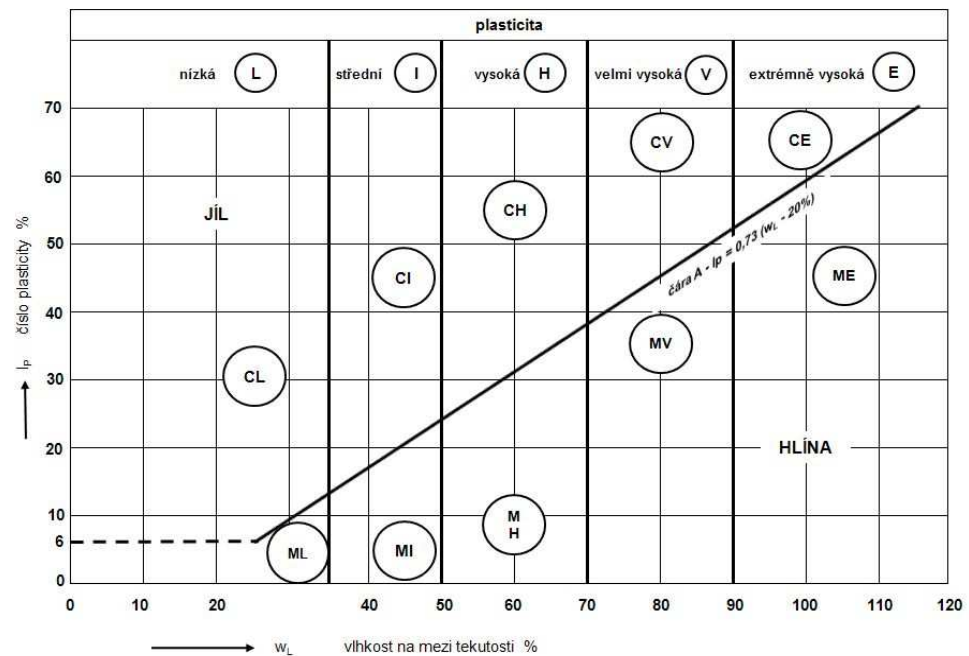
Klasifikace zemin

Pomocí meze tekutosti a čísla plasticity lze identifikovat jemnou frakci z diagramu plasticity.

Nad čarou A – JÍL (C)

Pod čarou A – HLÍNA (M)

Vysvětlení symbolů CL,
CI, CH atd. viz dále



Klasifikace zemin

Dále se používá rozlišení plasticity v závislosti na mezi tekutosti (w_L).

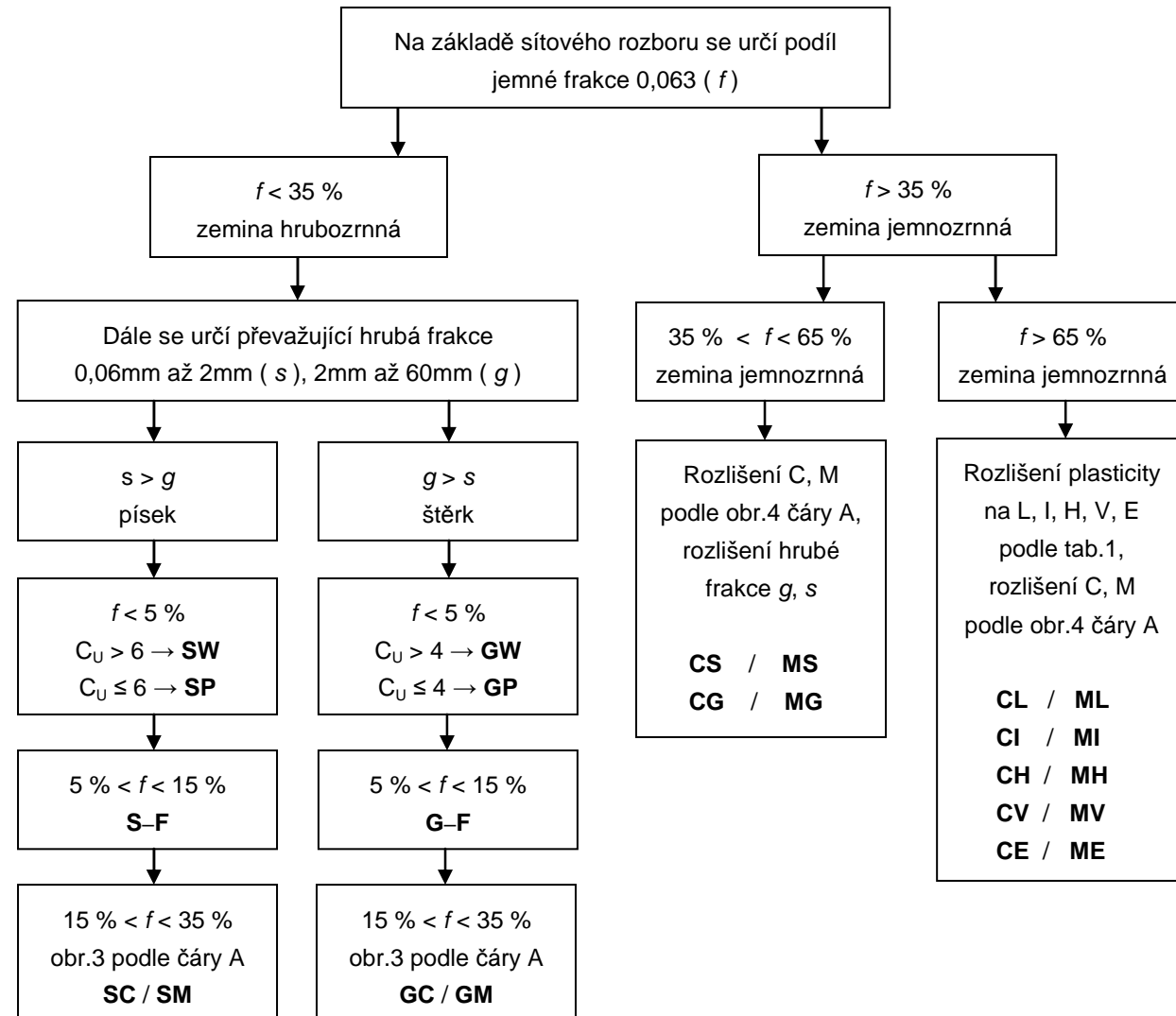
Plasticita	Symbol	Mez tekutosti w_L (%)
nízká	L	< 35
střední	I	35 – 50
vysoká	H	50 – 70
velmi vysoká	V	70 – 90
extrémně vysoká	E	> 90

Klasifikace zemin

Základem klasifikace zemin

- ▶ je systém, který publikoval již v 50. letech minulého století A. Casagrande (USA) původně pro účely letištních a přehradních organizací.
- ▶ Systém se stal mezinárodně uznávaný pod názvem Unified Soil Classification System (USCS).
- ▶ U nás se objevuje v předpisech pro sypané hráze (ČSN 75 2310) a s mírnou úpravou v ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy (zrušená).
- ▶ V současné době je uveden v ČSN 73 6133, příloha A.

Postup



Poř. číslo	Název zeminy	Třída a symbol	Specifické vlastnosti			Vhodnost do násypu			Vhodnost pro podloží vozovky (pro aktivní zónu)		
			Obsah jemných částic f (%)	Mez tekutosti w_L (%)	Postavení v diagramu (Casagrande)	nevhodná	podmínečně vhodná	vhodná	nevhodná	podmínečně vhodná	vhodná
1	Štěrkovitá hlína	F1 MG	35 až 65		pod čarou A		X			X	
2	Štěrkovitý jíl	F2 CG	35 až 65		nad čarou A		X			X	
3	Písčítá hlína	F3 MS	35 až 65		pod čarou A		X			X	
4	Písčitý jíl	F4 CS	35 až 65		nad čarou A		X			X	
5	Hlína s nízkou plasticitou	F5 ML	>65	<50	pod čarou A		X		X		
6	Hlína se střední plasticitou	F5 MI	>65	<50	pod čarou A		X		X		
7	Jíl s nízkou plasticitou	F6 CL	>65	<50	nad čarou A		X		X		
8	Jíl se střední plasticitou	F6 CI	>65	<50	nad čarou A		X		X		
9	Hlína s vysokou plasticitou	F7 MH	>65	>50	pod čarou A	X			X		
10	Hlína s velmi vysokou plasticitou	F7 MV	>65	>50	pod čarou A	X			X		
11	Hlína s extrémně vysokou plasticitou	F7 ME	>65	>50	pod čarou A	nelze ani upravit			nelze ani upravit		
12	Jíl s vysokou plasticitou	F8 CH	>65	>50	nad čarou A	X			X		
13	Jíl s velmi vysokou plasticitou	F8 CV	>65	>50	nad čarou A	X			X		
14	Jíl s extrémně vysokou plasticitou	F8 CE	>65	>50	nad čarou A	nelze ani upravit			nelze ani upravit		
			$f\%(s+g+f)$	Současně další podm.:							
15	Písek dobře zrněný	S1 SW	<5	$C_u > 6$	$C_c = 1$ až 3			X			X
16	Písek špatně zrněný	S2 SP	<5	Non SW	–		X			X	
17	Písek s příměsí jemnozrné zeminy	S3 S-F	5 až 15	–	–			X		X	
18	Písek hlinitý	S4 SM	15 až 35		pod čarou A		X			X	
19	Písek jílovitý	S5 SC	15 až 35		nad čarou A		X			X	
20	Štěrk dobře zrněný	G1 GW	<5	$C_u > 4$	$C_c = 1$ až 3			X			X
21	Štěrk špatně zrněný	G2 GP	<5	Non GW			X			X	
22	Štěrk s příměsí jemnozrné zeminy	G3 G-F	5 až 15	–	–			X			X
23	Štěrk hlinitý	G4 GM	15 až 35	–	pod čarou A		X			X	
24	Štěrk jílovitý	G5 GC	15 až 35	–	nad čarou A		X			X	

$C_u = d_{60}/d_{10}$, $C_c = (d_{30})^2/d_{10} \cdot d_{60}$, kde: d_{10} je průměr zrna odpovídající na křivce zrnitosti 10 % propadu, d_{30} dtto na 30 % propadu, d_{60} dtto na 60 % propadu

DĚKUJI ZA POZORNOST

**Ing. Jan Zajíček
jzajicek@volny.cz
tel. 602 515 105**