



Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Základní vlastnosti zemin a klasifikace zemin – **cvičení**

doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



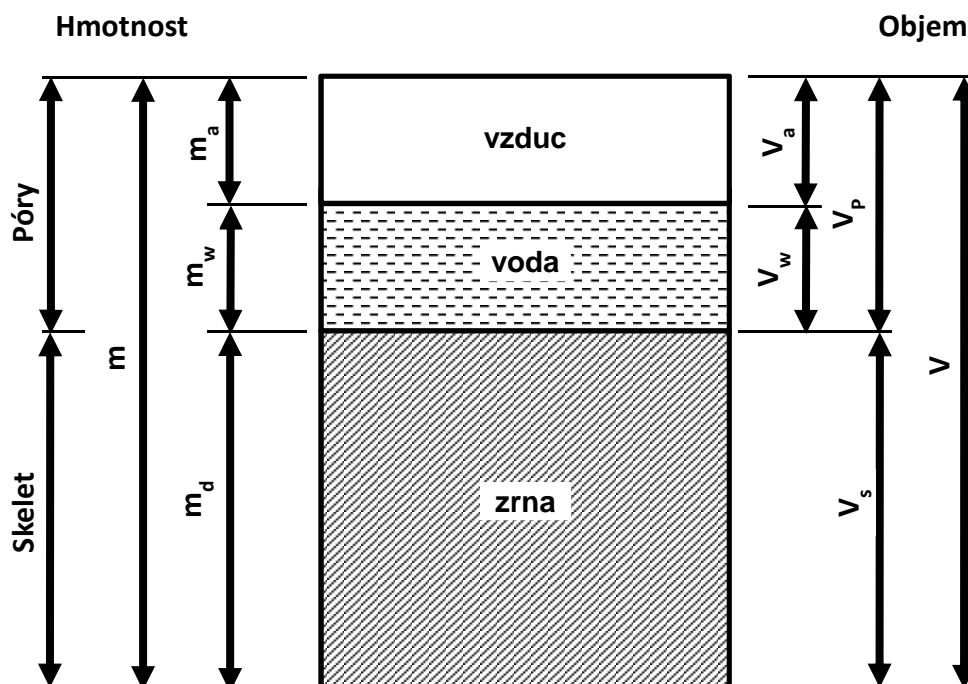
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Inovace studijního oboru Geotechnika CZ.1.07/2.2.00/28.0009.
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Vlastnosti zemin

- Fyzikální a indexové vlastnosti (Vlhkost, Objemová hmotnost, Zrnitost, ...)
- Mechanické vlastnosti (Pevnostní vlastnosti, Přetvárné vlastnosti, ...)
- Chemické vlastnosti, složení (Obsah vápna, Barva, zápach, ...)
- Pro zvláštní účely (Proctorova zkouška zhutnění, CBR, ...)



Vlhkost w

- poměr hmotnosti vody v zemině k hmotnosti vysušené zemině

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100[\%]$$

Objemová hmotnost zemin ρ

- je hmotnost jednotkového objemu zemin i s póry, které mohou být vyplněny částečně nebo úplně vodou, případně vzduchem.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

m – hmotnost vzorku ve vlhkém stavu

V – objem vzorku (vnitřní rozměr kroužku).

Rozeznáváme:

- Objemovou hmotnost v přirozeném uložení ρ

- všeobecný případ, trojfázový systém

$$\rho = (1 - n) \cdot \rho_s + n \cdot S_r \cdot \rho_w \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

ρ_s – zdánlivá hustota pevných částic

ρ_w – hustota vody

n – pórovitost

S_r – stupeň nasycení

- Objemovou hmotnost suché zeminy ρ_d

- jednofázový systém

$$\rho_d = (1 - n) \cdot \rho_s = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot w} \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

- Objemová hmotnost nasycené zeminy ρ_{sat}

- dvojfázový systém

$$\rho_{sat} = (1 - n) \cdot \rho_s + n \cdot \rho_w = \rho_d + n \cdot \rho_w \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

- Objemovou hmotnost pod hladinou vody ρ_{su}

$$\rho_{su} = (1 - n) \cdot (\rho_s - \rho_w) = \rho_{sat} - \rho_w \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

Zdánlivá hustota pevných částic (měrná hmotnost) ρ_s

- poměr hmotnosti pevných částic zeminy (zrn) k jejich objemu

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_s} \quad [kg \cdot m^{-3}]$$

Objemová tíha γ

V půdně-mechanických výpočtech dosazujeme objemovou tíhu zeminy (γ_d , γ_{sat} , γ_{su}) vázanou s objemovou tíhou vztahem:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad [kN \cdot m^{-3}]$$

g – tíhové zrychlení [ms^{-2}]

Charakteristiky vzájemného poměru fází v zemině

Pórovitost – n

$$n = \frac{V_p}{V} \cdot 100 = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Číslo pórovitosti - e

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

Platí: $e = \frac{n}{100-n}$ nebo $n = \frac{e}{1+e} \cdot 100 \text{ [%]}$

Stav ulehlosti pro písky a štěrky

Ukazatelem stavu sypkých (nesoudržných) zemin je:

Index relativní ulehlosti (hutnosti) – I_D

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

e_{max} – číslo pórovitosti při nejnakypřenějším uložení zrn

e_{min} – číslo pórovitosti při nejhutnějším uložení zrn

e – číslo pórovitosti v přirozeném uložení.

Kritéria ulehlosti dle ČSN 73 1001:

Stav	relativní ulehlost I _D [%]
kyprý (nevhodné pro zakládání)	< 0,33
středně ulehlý	0,33 až 0,67
ulehlý	> 0,67

dle EN:

Stav	relativní ulehlost I _D [%]
velmi kyprý	0 až 15
kyprý	15 až 35
středně ulehlý	35 až 65
ulehlý	65 až 85
velmi ulehlý	85 až 100

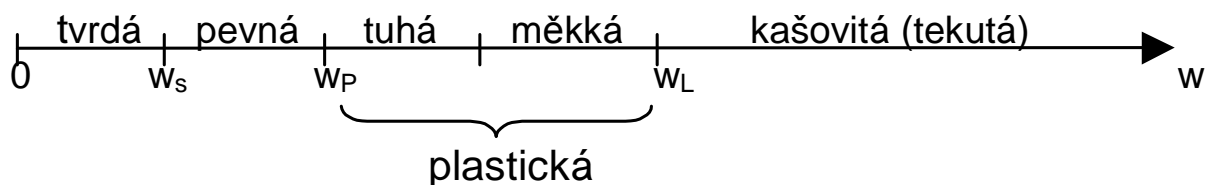
Stav sypkých zemin je rozhodující pro stanovení pevnostních a deformačních charakteristik

Konzistence zemín

- vliv kapalné fáze na vlastnosti soudržných zemín

Konzistenční meze (též Atterbergovy meze)

Mezi jednotlivými konzistenčními stavy jsou smluvní meze tzv. konzistenční meze,



Pro určitou zeminu nastává přechod z jednoho stavu vždy při stejných vlhkostech – **konzistenční meze**

- Mezi stavem tekutým a plastickým – mez tekutosti w_L
- Mezi stavem plastickým a pevným – mez plasticity w_p
- Mezi stavem pevným a tvrdým – mez smrštění w_s

Index plasticity

$$I_p = w_L - w_p$$

Vyjadřuje rozsah vlhkosti, ve kterém je zemina plastická.

Stupeň konzistence I_c

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w}{I_p}$$

w – původní vlhkost zeminy

podle hodnot I_c určíme orientačně konzistenci zeminy:

Konzistence zeminy dle ČSN

konzistence	index konzistence
kašovitá	$\ll 0,05$
měkká	$0,05 - 0,50$
tuhá	$0,5 - 1,0$
pevná	$\gg 1,0$
tvrdá	-

Konzistence zeminy dle EN

konzistence hlín a jílu	index konzistence
velmi měkké	$< 0,25$
měkké	$0,25$ až $0,50$
tuhé	$0,50$ až $0,75$
pevné	$0,75$ až $1,0$
velmi pevné	$> 1,00$

Zrnitost

Udává podíl určitých velikostních skupin zrn na celkovém složení zeminy. Určujeme:

- Síťovým rozbořem pro nesoudržné zeminy
- Areometrickou (hustoměrnou) zkouška pro zeminy soudržné
- Kombinace obou metod

Velikost zrn frakcí

Skupina zemin	Frakce		Velikost zrn [mm]
Jemnozrnné částice	Jíl	Clay	< 0,002
	Hlína, prach	Mould, silt	0,002 – 0,063
		Jemnozrnný	0,002 – 0,0063
		Střednězrnný	0,0063 – 0,02
		Hrubozrnný	0,02 – 0,063
Hrubozrnné částice	Písek	Sand	0,063 – 2
		Jemnozrnný	0,063 – 0,2
		Střednězrnný	0,2 – 0,63
		Hrubozrnný	0,63 – 2
	Stěrk	Gravel	2 – 63
	Jemnozrnný	2 – 6,3	
	Střednězrnný	6,3 – 20	
	Hrubozrnný	20 – 63	
Velmi hrubozrnné částice	Kameny, valouny	Cobbles	63 – 200
	Balvany	Boulders	> 200

Charakteristiky křivky zrnitosti

Číslo nestejnozrnitosti C_u :

- charakterizuje sklon středních částic křivky zrnitosti.

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

d_{10} – velikost zrn při 10% propadu

d_{60} – velikost zrn při 60% propadu

Stav	C_u
stejnozrnný	< 5
středně nestejnozrnný	5 až 15
nestejnozrnný	> 15

Číslo křivosti C_c :

- charakterizuje přibližně tvar křivky zrnitosti

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

d_{30} - velikost zrn při 30% propadu

podle hodnoty C_c označujeme zeminu jako:

1 až 3 – zeminy dobře zrněné, plynulé křivky zrnitosti

< 1 nebo > 3 – zeminy s chybějícími frakcemi, mohou mít nepříznivé vlastnosti

Stav	C_u
zeminy dobře zrněné, plynulé křivky zrnitosti	1 < nebo > 3
zeminy s chybějícími frakcemi, mohou mít nepříznivé vlastnosti	5 až 15

podle ČSN 73 1001:

- Dobře zrněné (symbol W) – $C_c = 1$ až 3, $C_u > 4$ pro štěrky, $C_u > 6$ pro písky
- Špatně zrněné (symbol P) – obě podmínky nejsou splněny

Charakteristiky křivek zrnitosti dle EN

tvar křivky zrnitosti	C_u	C_c
dobře zrněná	>15	$1 < C_c < 3$
středně zrněná	6 až 15	< 1
stejnozrná	< 6	< 1
přerušovaně zrněná	většinou vysoký	blízký nule (většinou < 0,5)

Zatřídění zemin dle ČSN 73 1001 (již neplatná)

3 základní skupiny:

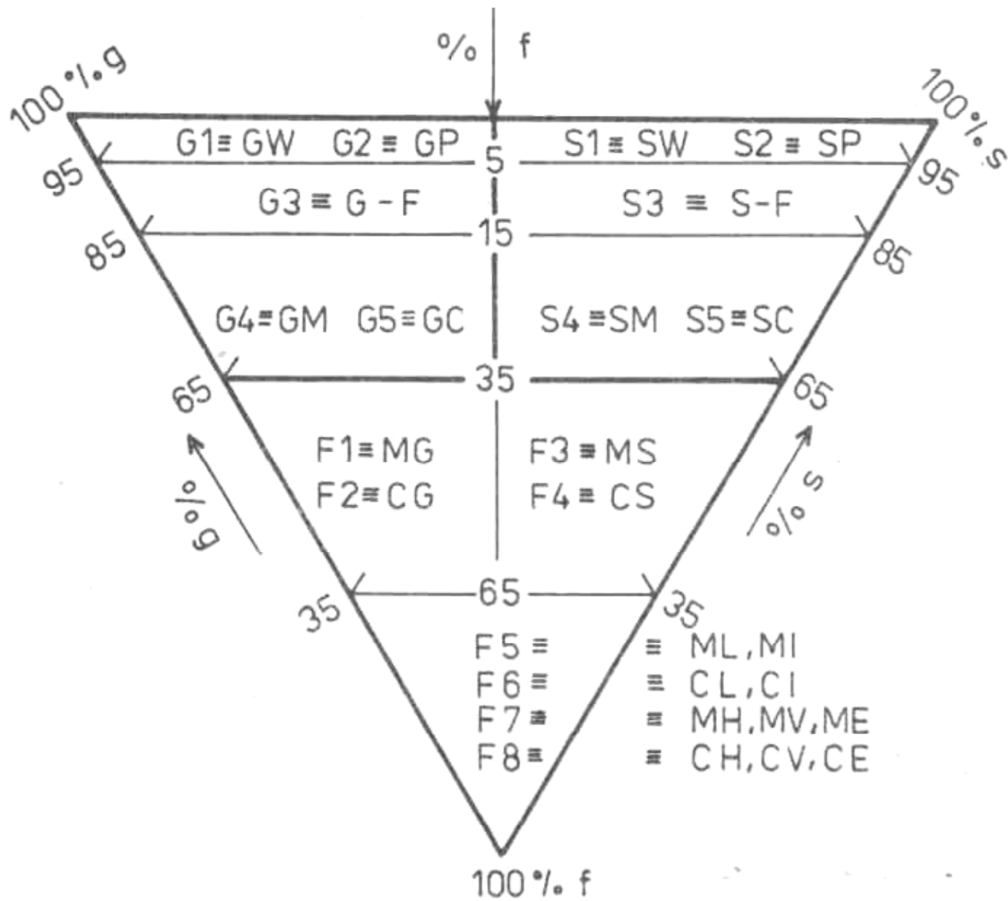
- Velmi hrubozrnné zemin – balvany (B) a kameny (Cb)
- Hrubozrnné zemin – zemin šterkovité (G1 až G5) a písčité (S1 až S5)
- Jemnozrnné zemin (F1 až F8) – hlíny (M) a jíly (C)

Dále tzv. **zvláštní zemin** (organické zemin, prosedavé zemin a jiné zvláštní zemin)

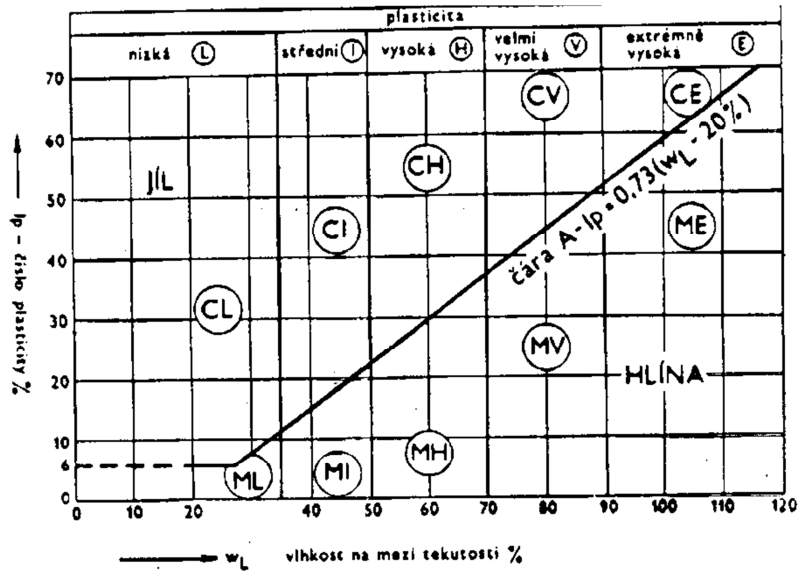
Zatřídění zemin < 63 mm

Základním rozlišujícím znakem je zrnitostní složení, dále pak plasticita (u zemin s víc jak 15% zastoupením jemnozrnné zemin), číslo křivosti a číslo nestejnozrnnosti (u zemin s menším jak 5% zastoupením jemnozrnné zemin).

Skupina zemin	Obsah jemnozrnné frakce [%]	Název	Pozn.	
S1, S2, G1, G2	0 – 5	Hrubozrnná složka (podstatné jméno) + zrnitost (dobře vs. špatně zrněny)	Určujeme na základě č. křivosti c_c a č. nestejnozrnnosti c_u . Doplňkové kritérium index relativní ulehlosti I_d .	
			Dobře zrněný (W) $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} d_{10}} \dots <1-3>$ $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \dots > 6 \text{ pro písky}$ $\dots > 4 \text{ pro šterky}$	
			Špatně zrněný (P) Nejsou splněny podmínky pro dobře zrněný (W)	
S3, G3	5 – 15	Hrubozrnná složka (podstatné jméno) + příměs jemnozrnné zemin		
S4, S5, G4, G5	15 – 35	Hrubozrnná složka (podstatné jméno) + jemnozrnná složka (přídavné jméno)	O typu jemnozrnné složky rozhoduje plasticita (čára A v diagramu plasticity)	
			Hlína M – pod čarou A	
			Jíl C – nad čarou A	
F1 – F4	35 – 65	Jemnozrnná složka (podstatné jméno) + hrubozrnná složka (přídavné jméno)	O typu jemnozrnné složky rozhoduje plasticita (M vs. C)	
F5 – F8	65 - 100	Podstatné jméno (jemnozrnná složka) + příslušná plasticita	O typu jemnozrnné složky rozhoduje plasticita, o příslušné plasticitě rozhoduje vlhkost na mezi tekutosti w_L	
			Nízká L	$w_L \leq 35$
			Střední M	$w_L = 35-50$
			Vysoká H	$w_L = 50-70$
			Velmi vysoký V	$w_L = 70-90$
Extrémně vysoká E	$w_L \geq 90$			



Obr. - Trojúhelníkový diagram s označením 18 tříd zemin dle ČSN 73 1001



Obr. - Diagram plasticity (pro částice < 0,50 mm)

Zatřídění velmi hrubozrnné zeminy (balvany (B) a kameny (Cb))

V případě přítomnosti velmi hrubozrnných částic postupujeme následovně:

1/ Analyzujeme původní křivku

2/ Vytvoříme tzv. **REDUKOVANOU KŘIVKU ZRNITOSTI**

- vyloučíme Cb a B

- vytvoříme tabulku pro redukovanou křivku pomocí $\frac{N_{60}}{100} = X \Rightarrow \Rightarrow \frac{N_n}{X} = N_{red}$

- analyzujeme redukovanou křivku a název ošetříme dle následující tabulky

velikost zrn		
< 60 mm	> 60 mm	
> 50 %	< 5 %	Obsah velmi hrubých částic se neuvažuje
	< 20 %	Název zeminy < 60 mm s příměsí kamenů (cb > b) nebo balvanů (cb < b) – např. GM – Cb
	< 50 %	Název zeminy < 60 mm s kameny (cb > b) nebo balvany (cb < b) – např. GM + B
> 20 %	≥ 50 %	Kameny (cb > b) nebo balvany (cb < b) se zeminou < 60 mm – např. Cb + SC
> 5 %		Kameny (cb > b) nebo balvany (cb < b) s příměsí zeminy < 60 mm – např. Cb + SC
< 5 %		Kameny (cb > b) nebo balvany (cb < b) bez udání výplňové zeminy

Zvláštní zeminy podle ČSN 73 1001

Chovají se odlišně v porovnání se zeminami podle zásad klasifikačního systému. Značí se doplňkovým písmenem:

- O – pro organické zeminy
- T – pro prosedavé zeminy (např. spraše)
 K prosedání může docházet u jemnozrnných zemin, vykytují se některá z těchto podmínek:
 - a) zemina je eolického původu,
 - b) obsah prachové složky > 60 % hmotnosti suché zeminy
 - c) obsah jílové složky < 15 % hmotnosti suché zeminy
 - d) stupeň nasycení $S_r < 0,7$; mez tekutosti $w_L < 32$ %
- U – pro jiné zvláštní zeminy
 - zeminy uhličitě
 - zeminy evaporitické
 - zeminy s výrazně metastabilní strukturou.

Zatřídění zemin dle EN ISO 14688

Zatřídění zemin do příslušných skupin probíhá na základě složení zemin. Na zatřídění nemá vliv vlhkost ani ulehlost. V úvahu pro zatřídění se bere zrnitost (granulometrické složení zeminy), plasticita, obsah organických látek a geneze.

Norma umožňuje předběžné pojmenování v terénu na základě blokového diagramu nebo přesnější pojmenování na základě laboratorních zkoušek (především zrnitosti).

Pojmenování a zatřídění na základě zrnitosti

Název	Označení	Velikost zrn
Velký balvan	LBo	> 630
Balvan	Bo	200 – 630
Kamen	Co	63 – 200
Štěrk	Gr	20 – 63
- hrubozrný	CGr	2 – 63
- střednězrný	MGr	6,3 – 20
- jemnozrný	FGr	2 – 6,3
Písek	Sa	0,063 – 2
- hrubozrný	CSa	0,63 – 2
- střednězrný	MSa	0,2 – 0,63
- jemnozrný	FSa	0,063 – 0,2
Prach	Si	0,002 – 0,063
- hrubozrný	CSi	0,02 – 0,063
- střednězrný	MSi	0,0063 – 0,02
- jemnozrný	FSi	0,002 – 0,0063
Jíl	Cl	< 0,002

Hlavní frakce

- převládající frakce v zemině
- umístíme na konec značení
- značíme prvním velkým písmenem
- např.: **Sa** nebo **siGr**

Druhotná frakce

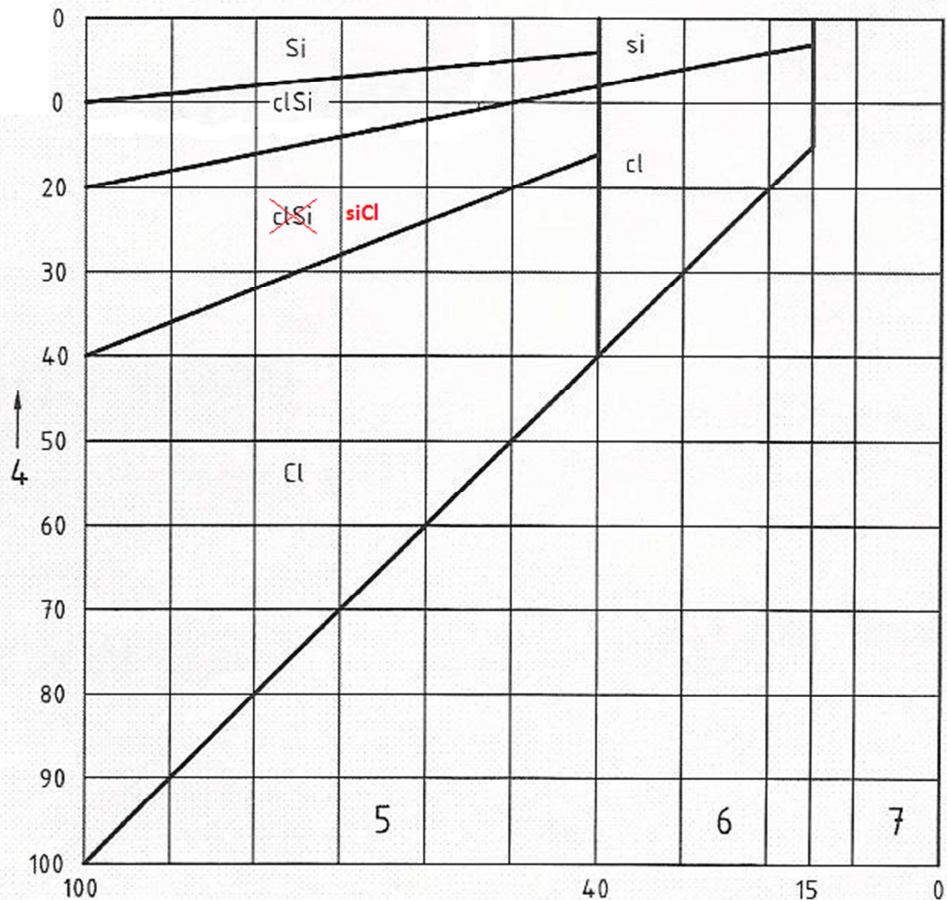
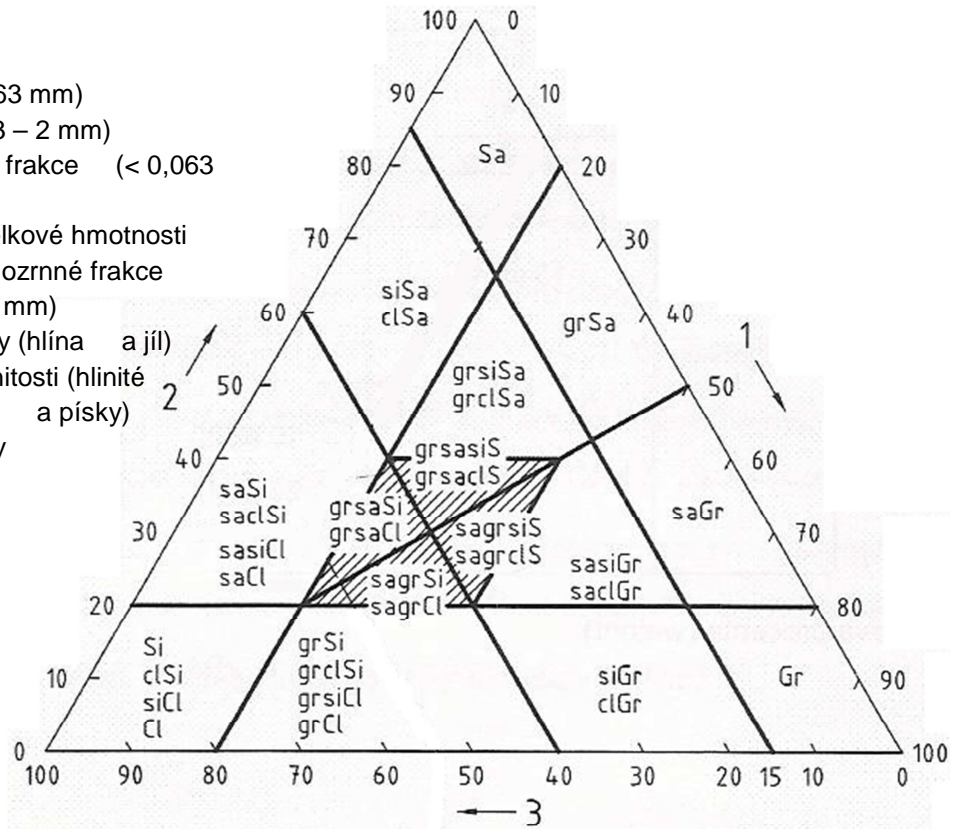
- není určující, ale ovlivňují inženýrské vlastnosti zemin
- značíme malými písmeny
- mohou být i dvě druhotné frakce, převládající pak blíže konci
- např.: **siGr**, **saciSi** (převládající z druhotných frakcí je jíl (cl))

Speciální skupina

- zeminy bez převládající frakce
- značí se velkým písmenem S na konci
- např.: **sagrsiS**

Legenda

- 1 obsah štěrku (2 – 63 mm)
- 2 obsah písku (0,063 – 2 mm)
- 3 obsah jemnozrnné frakce (< 0,063 mm)
- 4 obsah jílu v % z celkové hmotnosti hrubozrnné a jemnozrnné frakce (velikost zrna < 63 mm)
- 5 jemnozrnné zeminy (hlína a jíly)
- 6 zeminy o různé zrnitosti (hlinité nebo jílovité štěrky a písky)
- 7 hrubozrnné zeminy
- S zemina



Obr. - Diagram pro zatřídění zemín pouze na základě zrnitosti

Pomocné hodnoty pro dělení minerálních zemín na základě obsahu rozdílných frakcí

frakce	obsah frakce ve wt % materiálu ≤ 63 mm	obsah frakce ve wt % materiálu $\leq 0,063$ mm	jméno zeminy	
			upravený název	hlavní název
štěrk	20 až 40 > 40		štěrkové	štěrk
písek	20 až 40 > 40		píscité	písek
hlína + jíl (jemnozrnné zeminy)	5 až 15	< 20	mírně hlinité	hlína hlína jíl jíl
	15 až 40	≥ 20	mírně jílovité	
		< 20	hlinité	
	> 40	≥ 20	jílovité	
		< 10	jílovité	
10 až 20		hlinité		
	20 až 40			
	> 40			

Zatřídění velmi hrubozrnné zeminy

Frakce	Procento hmotnosti z celkové navážky	Název zeminy
Balvany	< 5	s nízkým obsahem balvanů
	5 až 20	se středním obsahem balvanů
	> 20	s vysokým obsahem balvanů
Kameny	< 10	s nízkým obsahem kamenů
	10 až 20	se středním obsahem kamenů
	> 20	s vysokým obsahem kamenů

Klasifikace poloskalních a skalních hornin

Rozdělení především dle **stupeň pevnosti** do skupin R0 až R6 (viz. tab.)

Tab. – Zatřídění hornin podle pevnosti

Symbol	Stupeň pevnosti	Pevnost σ_c (MPa)	Znaky pro terénní hodnocení pevnosti	Příklady hornin
R0	Extrémně vysoký	> 250	Téměř nejde otloukat geologickým kladívkem	Zdravé: bazalty, eklogity, kvarcity, amfibolity
R1	Velmi vysoký	150 – 250	Lze těžce otloukat kladívkem	Zdravé: granitoidy, diority, gabra, migmatity, granulity, prokřemenělé ruly, silicity
R2	Vysoký	50 – 150	Lze kladívkem těžce rozbít	Zdravé: vápence, dolomity, slepence, pískovce, droby, pevné prachovce, pararuly, svory, fylity Navětralé horniny velmi vysoké pevnosti
R3	Střední	15 – 50	Lze kladívkem lehce rozbít	Zdravé: jílovce, slínovce Navětralé: horniny velké pevnosti Mírně navětralé: horniny velké až velmi vysoké pevnosti
R4	Nízký	5 – 15	Lze rýpat nožem	Zdravé: slabě zpevněné jílovce, prachovce, pískovce, chlorotické a grafitické břidlice, ultramylonity Navětralé: horniny střední pevnosti Zvětralé: horniny velké až velmi velké pevnosti
R5	Velmi nízký	1,5 – 15	Lze rozbít rukou	Zdravé: velmi slabě zpevněné jílovce, prachovce, pískovce Navětralé a mírně zvětralé: horniny nízké pevnosti Silně zvětralé: horniny střední pevnosti Zcela zvětralé: horniny velké až velmi velké pevnosti
R6	Extrémně nízký	0,5 – 1,5	Lze rýpat nehtem	Silně zvětralé jílovce a prachovce

- Dále se zatřídují:
- Podle vzniku (magmatické, sedimentární a metamorfované)
 - Barva
 - Strukturně texturní charakteristiky
 - Stupeň zvětrávání a jiné alterace
 - Charakter diskontinuit