

Zakládání staveb – 5 cvičení

Únosnost základové půdy

Mezní stavy

Mezní stav použitelnosti (2.MS)

Stlačitelnost

Voda v zeminách

MEZNÍ STAVY

- I. Skupina – mezní stav únosnosti

(zhroucení konstrukce, nepřípustné zaboření, naklonění)

- II. Skupina – m. s. použitelnosti (přetvoření)

(celkové sednutí, nerovnoměrné sednutí, časový průběh sedání)

SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup výpočtu:

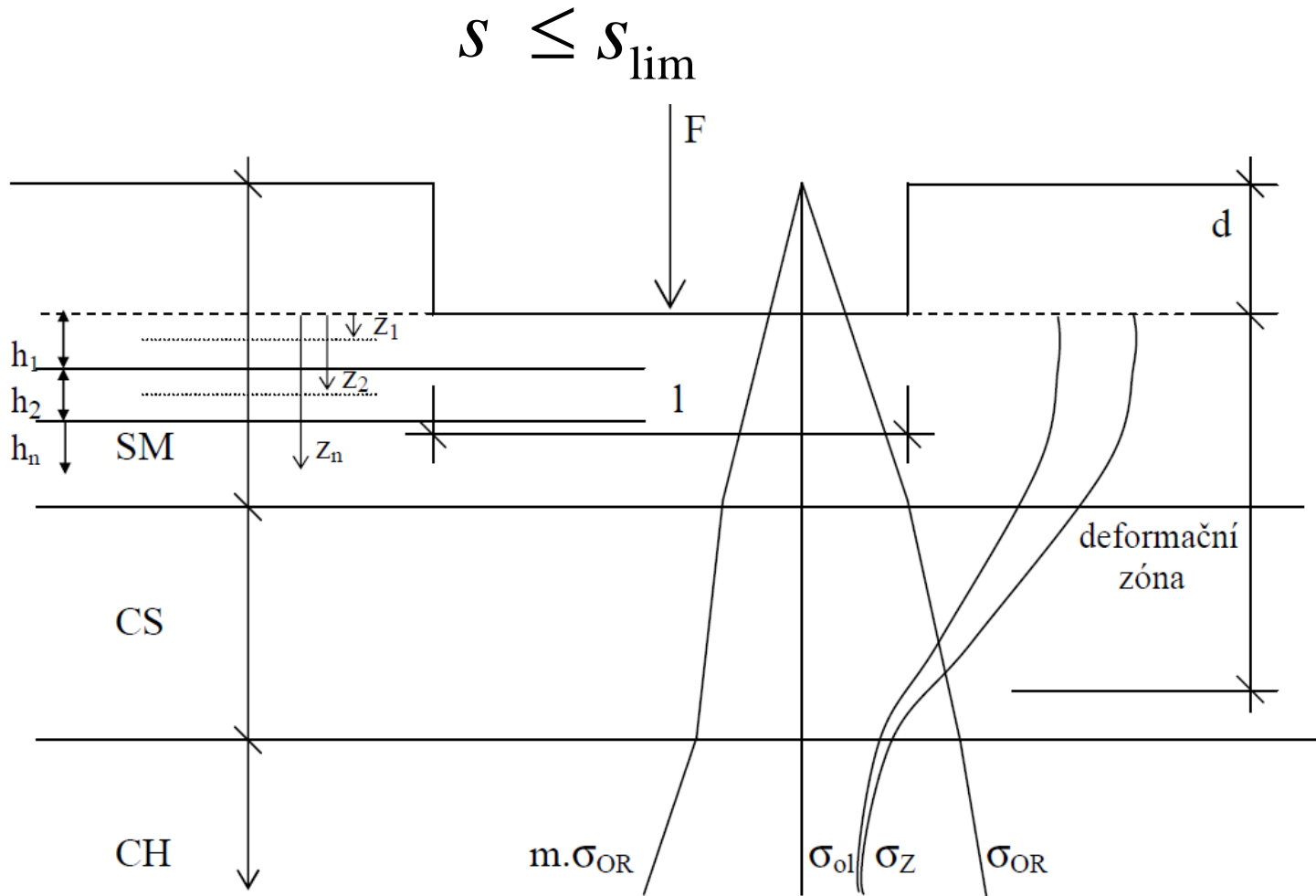
1GK – mezní stav přetvoření se neposuzuje

2GK – použití tabulkových hodnot SNCh přetvárných vlastností
(počítá se s σ_{ds} - provozní zatížení)

3GK – obdobně jako u 2.GK, rozdíl: použití místních hodnot přetvárných vlastností zjištěných pomocí průkazných zkoušek.

SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní podmínka:



SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní vztah:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{Zi} - m_i \cdot \sigma_{ORi}}{E_{oed}} \cdot h_i$$

S

Sednutí základu [m]

SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní vztah:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{Zi} - m_i \cdot \sigma_{ORi}}{E_{oed}} \cdot h_i$$

σ_{Zi} Napětí pod základem v z_i [kPa]

$$\sigma_{zi} = \sigma_{ol} \cdot I_{Ri}$$

Skutečné napětí na zákl. spáře:

$$\sigma_{ol} = \sigma_k - \sigma_{OR,zs}$$

SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní vztah:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{Zi} - m_i \cdot \sigma_{ORi}}{E_{oed}} \cdot h_i$$

σ_{ORi} Originální (geostatické) napětí v zemině [m]

$$\sigma_{OR} = \sum \gamma \cdot d$$

SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní vztah:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{Zi} - m_i \cdot \sigma_{ORi}}{E_{oed}} \cdot h_i$$

m_i

Součinitel strukturního oslabení [-]

Druh základové půdy	m
Silně stlačitelné jemnozrné zeminy třídy F1 až F8 - s modulem přetvoření $E < 4$ MPa - nepřekonsolidované - konzistence měkké nebo tuhé <u>Všechny tři znaky musí být splněny</u>	0,1
Násypy a jiné sypaniny, základové půdy dodatečně zatížené a dosud nezkonsolidované. Horniny tříd R1, R2; Zdravé druhohorní a třetihorní sedimenty tříd R4, R5.	0,1
Jemnozrné zeminy tříd F1 až F8, jimž nenáleží součinitel $m = 0,1$ ani $0,4$ ani $0,5$ Písky a štěrky tříd S1, S2, G1, G2 pod hladinou podzemní vody Horniny třídy R3	0,2
Písky a štěrky tříd S1, S2, G1, G2 nad hladinou podzemní vody Písky a štěrky hlinité, jílovité či s příměsí jemnozrné zeminy, tříd S3, S4, G3, G4, G5 Horniny tříd R4, R5 - kromě zdravých druhohorních a třetihorních sedimentů	0,3
Horniny tříd R6 (eluvia)	0,4
Spraše a sprašové hlíny nad hladinou podzemní vody, lze-li vyloučit jejich nasycení vodou	0,5

Tab. 1. Hodnoty součinitele strukturního oslabení m

SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní vztah:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{Zi} - m_i \cdot \sigma_{ORi}}{E_{oed}} \cdot h_i$$

E_{oed} Oedometrický modul [kPa]

SEDNUTÍ ZÁKLADU (2.MS)

Základní vztah:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{Zi} - m_i \cdot \sigma_{ORi}}{E_{oed}} \cdot h_i$$

h_i Mocnost počítané vrstvy [m]

z_i Hloubka od základové spáry po střed počítané vrstvy [m]

PRŮHYB ZÁKLADU (2.MS)

Základní podmínka:

$$p \leq p_{\text{lim}}$$

Základní vztah:

$$p = \frac{\Delta s}{l}$$

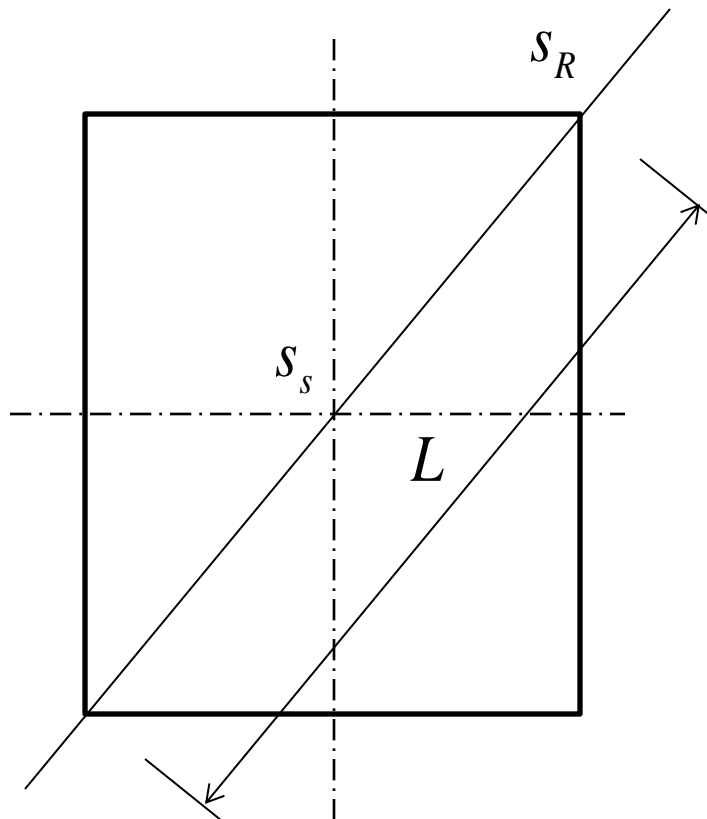
Δs Rozdíl sednutí 2 bodů základu

l Vzdálenost mezi 2 body základu

SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

II. Skupina – mezní stav přetvoření – 2.GK

Sednutí a průhyb základové desky (nerovnoměrné sednutí):



Posouzení:

$$s \leq s_{\text{lim}}$$

$$\frac{\Delta s}{L} \leq \left(\frac{\Delta s}{L} \right)_{\text{lim}}$$

SEDNUTÍ A PRŮHYB ZÁKLADU (2.MS)

Limitní hodnoty pro sednutí a průhyb

Druh stavby	Limitní hodnoty		
	konečného celkového průměrného sednutí S_{lim} [mm]	nerovnoměrného sednutí	
		druh $(\Delta s/l, L, b)_{lim}$	hodnota
Budovy a konstrukce, ve kterých nevznikají vlivem nerovnoměrného sedání nebezpečné porušení	120	$\Delta s/l$ $\Delta s/L$	0,003 0,006
Konstrukce staticky určité	100	$\Delta s/L$	0,005
-neurčité železobetonové	60	$\Delta s/L$	0,002
-neurčité ocelové	80	$\Delta s/L$	0,003
Vícepodlažní skeletové kce.			
-železobetonové	60	$\Delta s/L$	0,0015
-ocelové	70	$\Delta s/L$	0,0025
Vícepodlažní budovy s nosnými stěnami			
-z cihel a bloků se zpevňujícími věnci	80	$\Delta s/l$	0,0015
-z velkorozměrových panelů a monolitního betonu	60	$\Delta s/L$	0,0015
Tuhé železobetonové konstrukce	200	$\Delta s/b$	0,003
Komíny do výšky 100m	200	$\Delta s/b$	0,005
Komíny vyšší jak 100m	100	$\Delta s/b$	0,002
Portálové dráhy	50	$\Delta s/L$	0,0015

Tab. 2. Limitní hodnoty sedání základů

SEDNUTÍ A PRŮHYB ZÁKLADU (2.MS)

Doporučení

z	h	E _{oed}	z/b*	l _r	σ _{zS}	m	γ	σ _{or,i} **	m×σ _{or,i}	σ _{zS} - m×σ _{or,i}	Δh
m	m	MPa			kPa		kN/m ³	kPa	kPa	kPa	mm

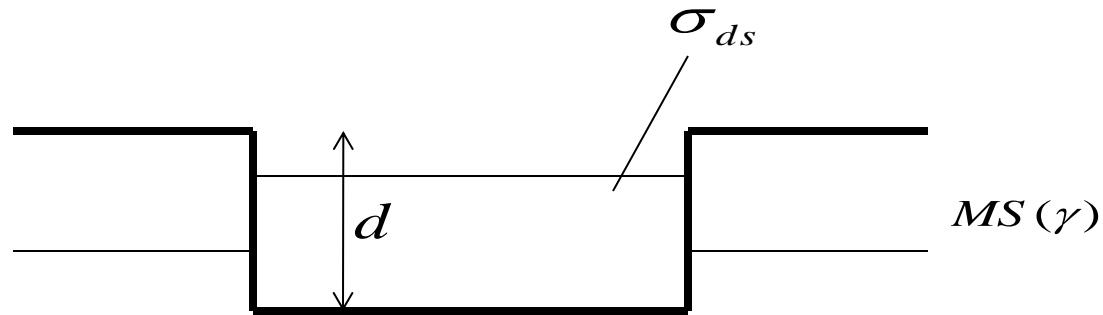
* pokud se počítá l_r podle vzorce, není tato hodnota třeba

** pozor pokud přelom vrstev zemin je mezi hodnoty h v dané vrstvě, musí se počítat s oběma vrstvami

$$\sigma_{or,i} = \sigma_{or,i-1} + \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2$$

SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:

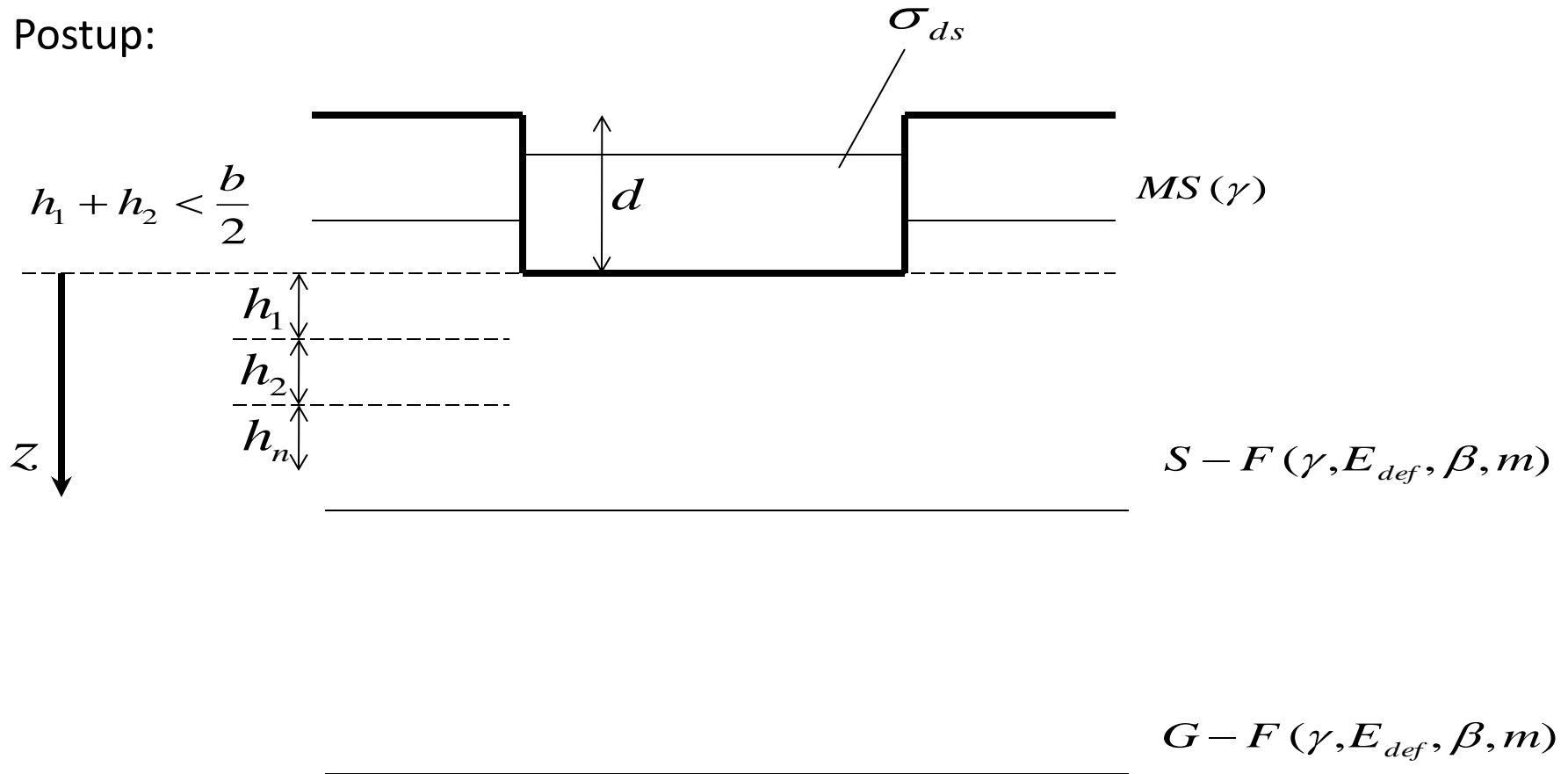


$$S - F(\gamma, E_{def}, \beta, m)$$

$$G - F(\gamma, E_{def}, \beta, m)$$

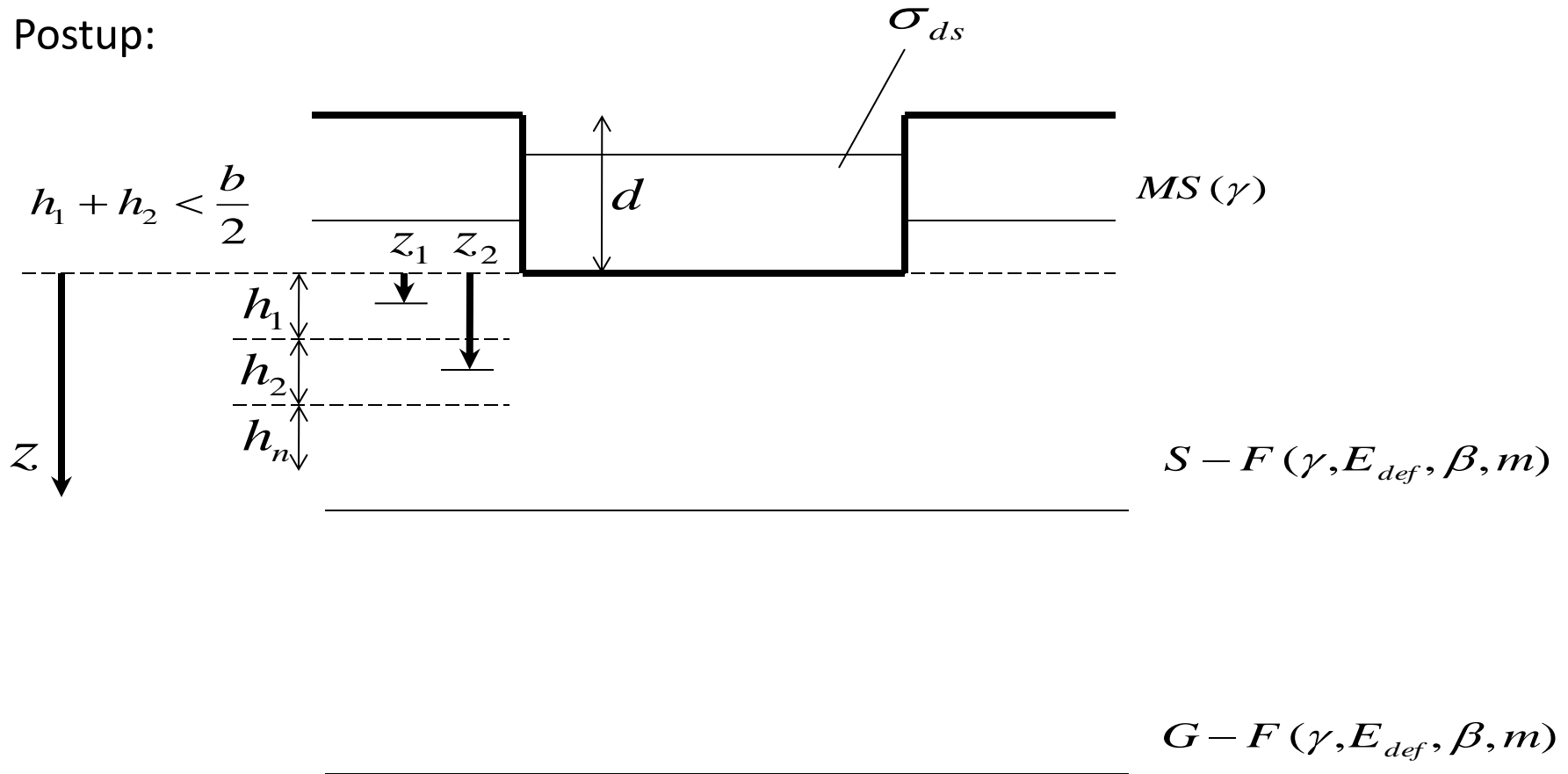
SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:



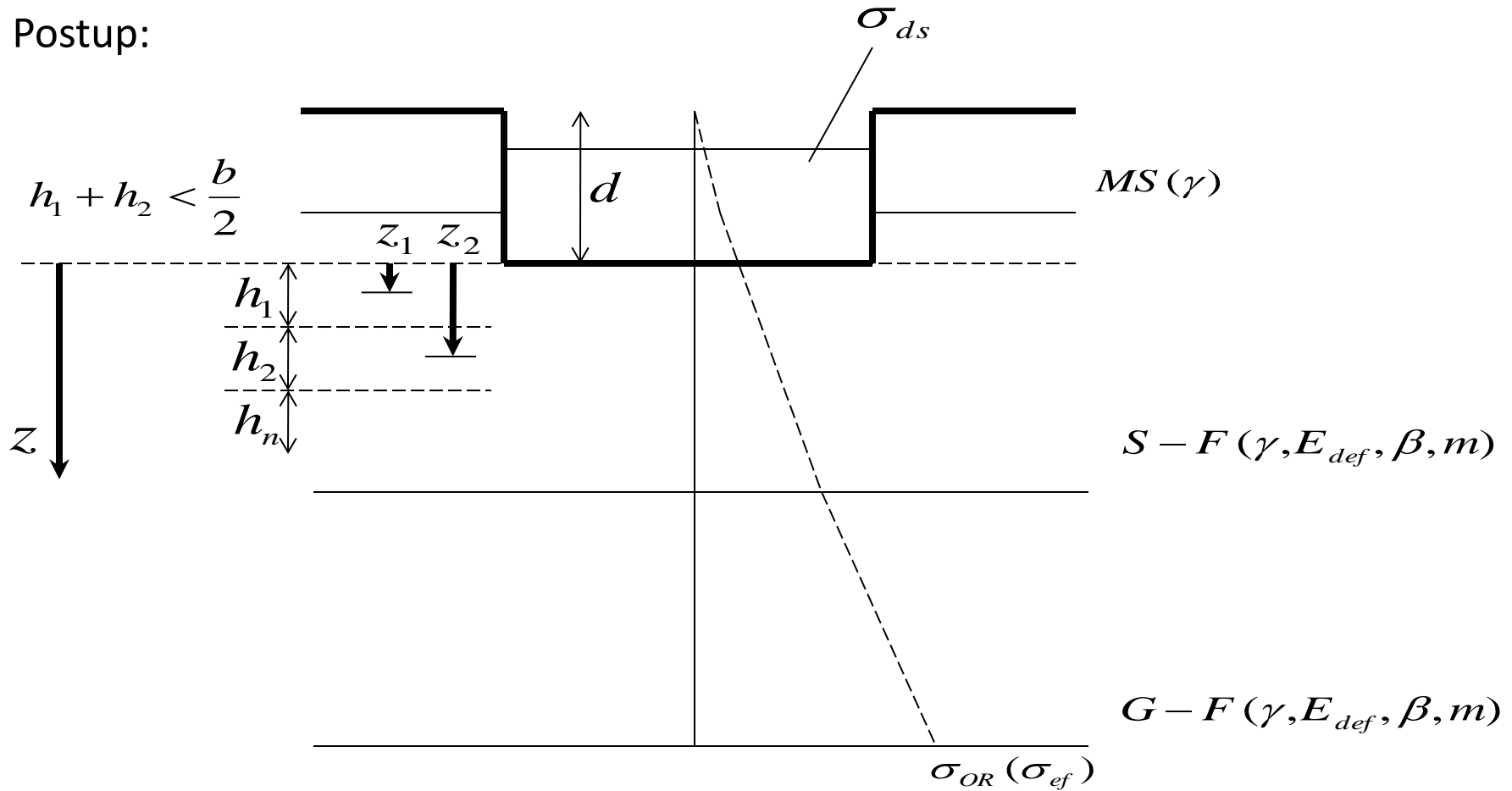
SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:



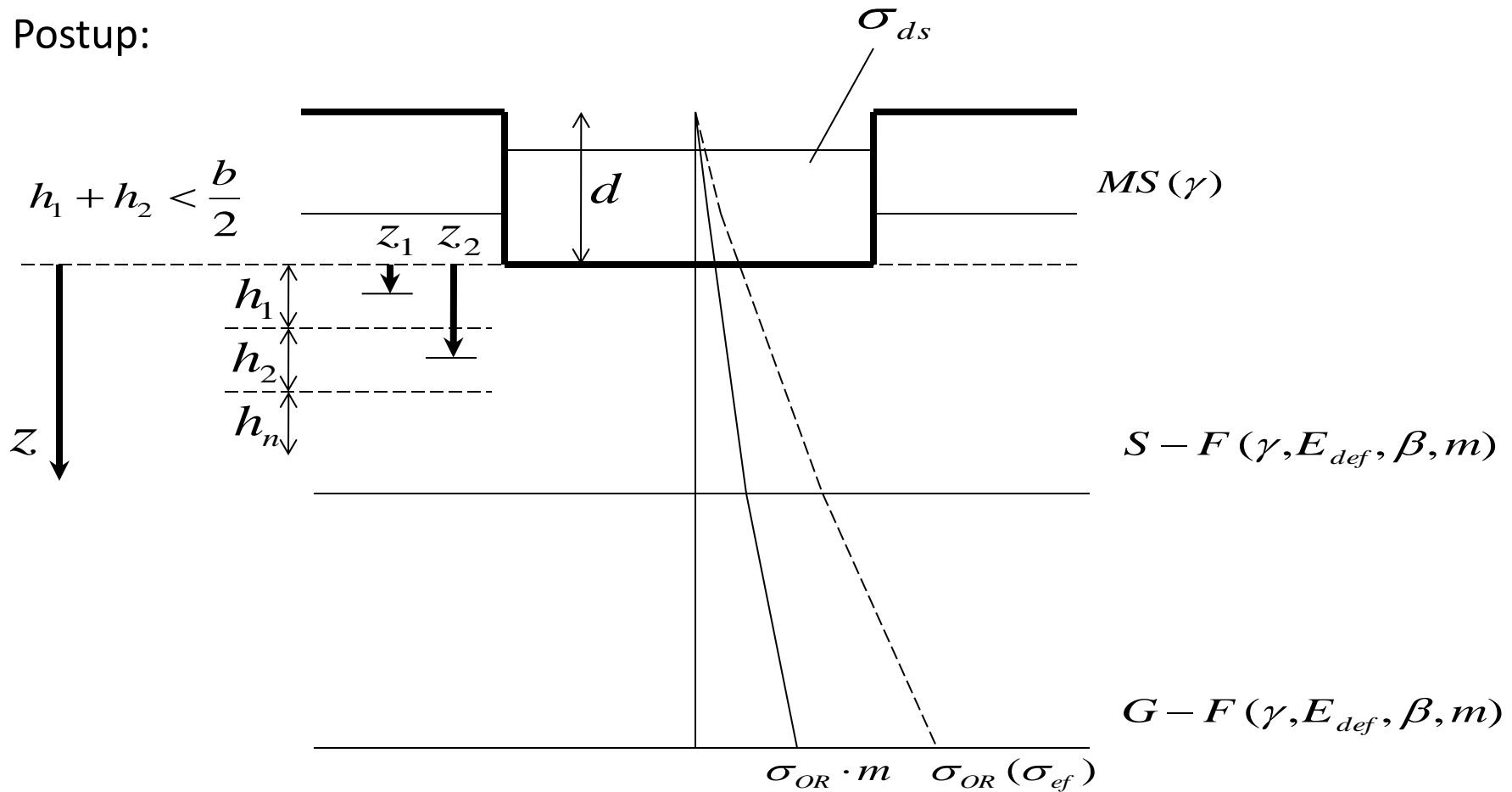
SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:



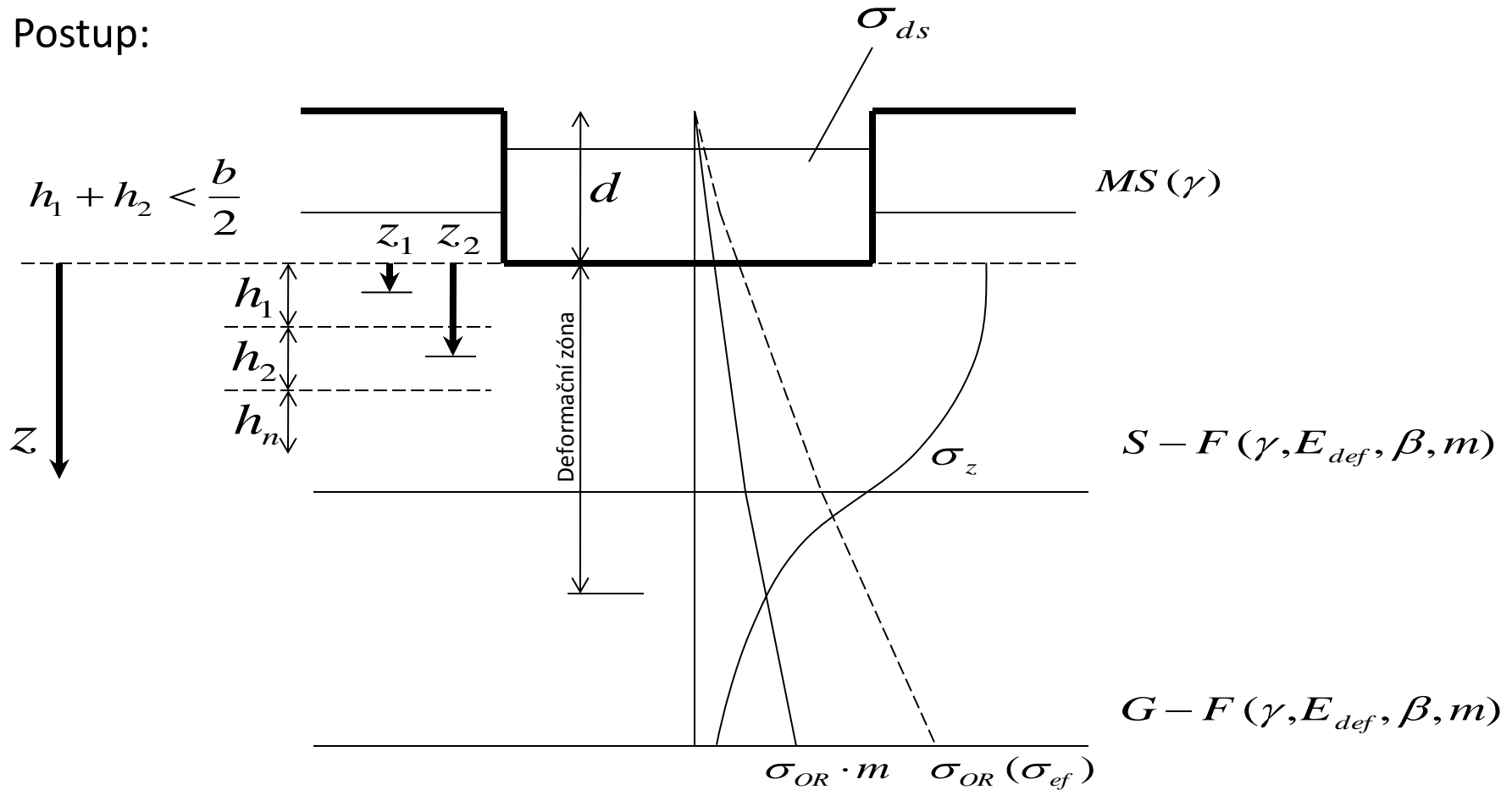
SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:



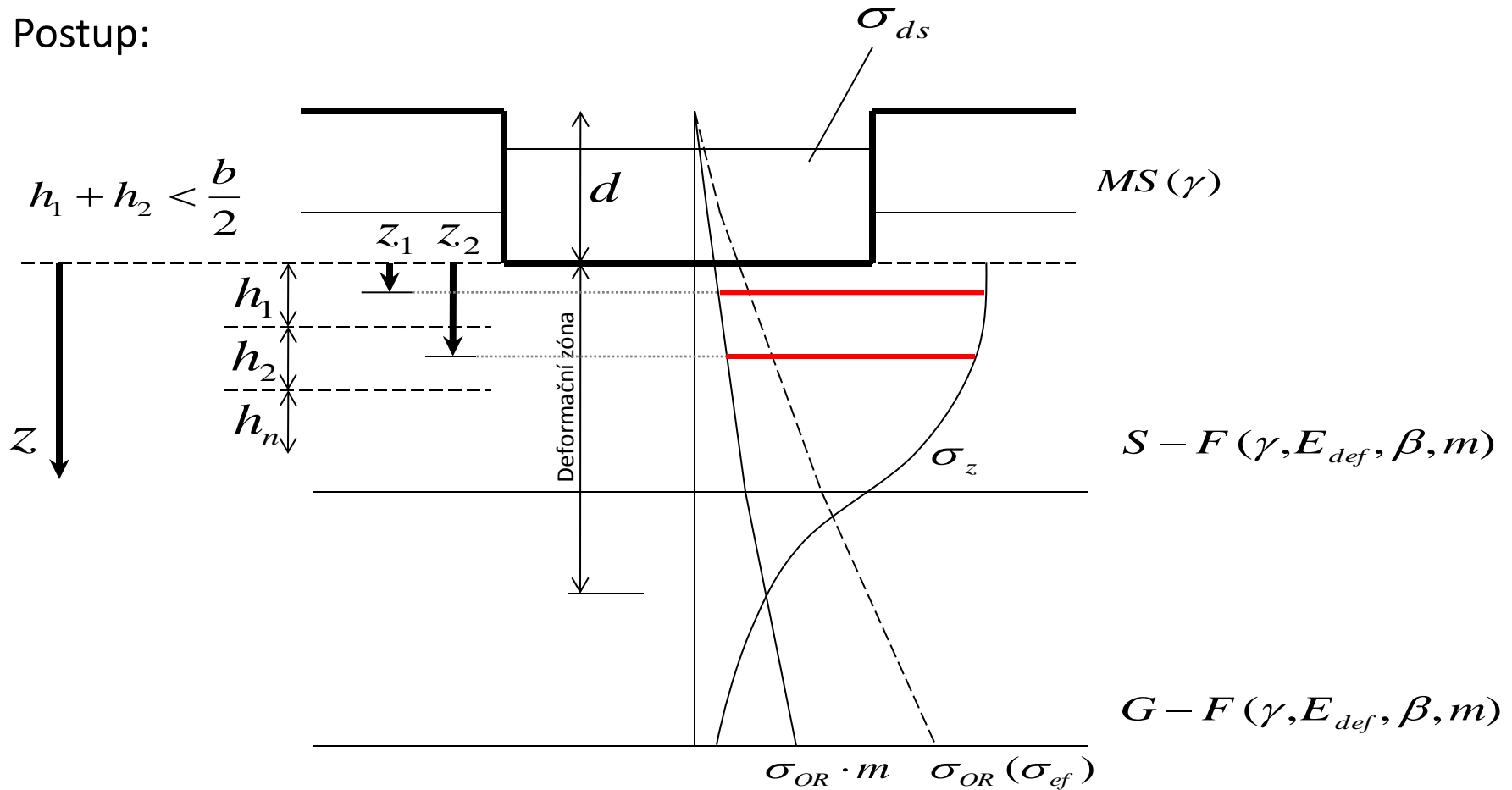
SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:



SEDÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

Postup:



PŘÍKLAD

Zadání:

Je třeba stanovit sedání a průhyb v podélném směru poddajného základu 2,2x3,2 m, založeného v hloubce $d=1,6$ m a zatíženého centrickou silou $F=1520$ kN. Složení základové půdy je následující:
do 0-3,1m tuhý jílovitý písek SC,
3,1-4,6m pevný písčitý jíl CS ($S_r < 0,8$),
od 4,6-9,0 m nepřekonsolidovaný tuhý jíl s vysokou plasticitou CH.

zemina	γ [kNm ⁻³]	E_{def} [MPa]	m	β
SC	18,5	8	0,3	0,62
CS	18,5	10	0,2	0,62
CH	20,5	3	0,1	0,37

PŘÍKLAD

$$\sigma = \frac{V_{de}}{b \cdot l} = \frac{1520}{2,2 \cdot 3,2} = 215,9 [kNm^{-2}]$$

$$\sigma_{OR} = \gamma_{u,S} \cdot d$$

$$\sigma_{OI} = \sigma - \sigma_{OR}$$

$$I_R = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\operatorname{arctg} \frac{b \cdot l}{z \cdot C} + \frac{b \cdot l \cdot z}{C} \cdot \left(\frac{1}{A^2} + \frac{1}{B^2} \right) \right]$$

$$A = \sqrt{z^2 + l^2}$$

$$B = \sqrt{z^2 + b^2}$$

$$C = \sqrt{z^2 + l^2 + b^2}$$

$$S = \sum \frac{\sigma_{zi} - m_i \cdot \sigma_{or}}{E_{oedi}} \cdot h_i$$

$$E_{def} = E_{oed} \cdot \beta \Rightarrow E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta}$$

PŘÍKLAD

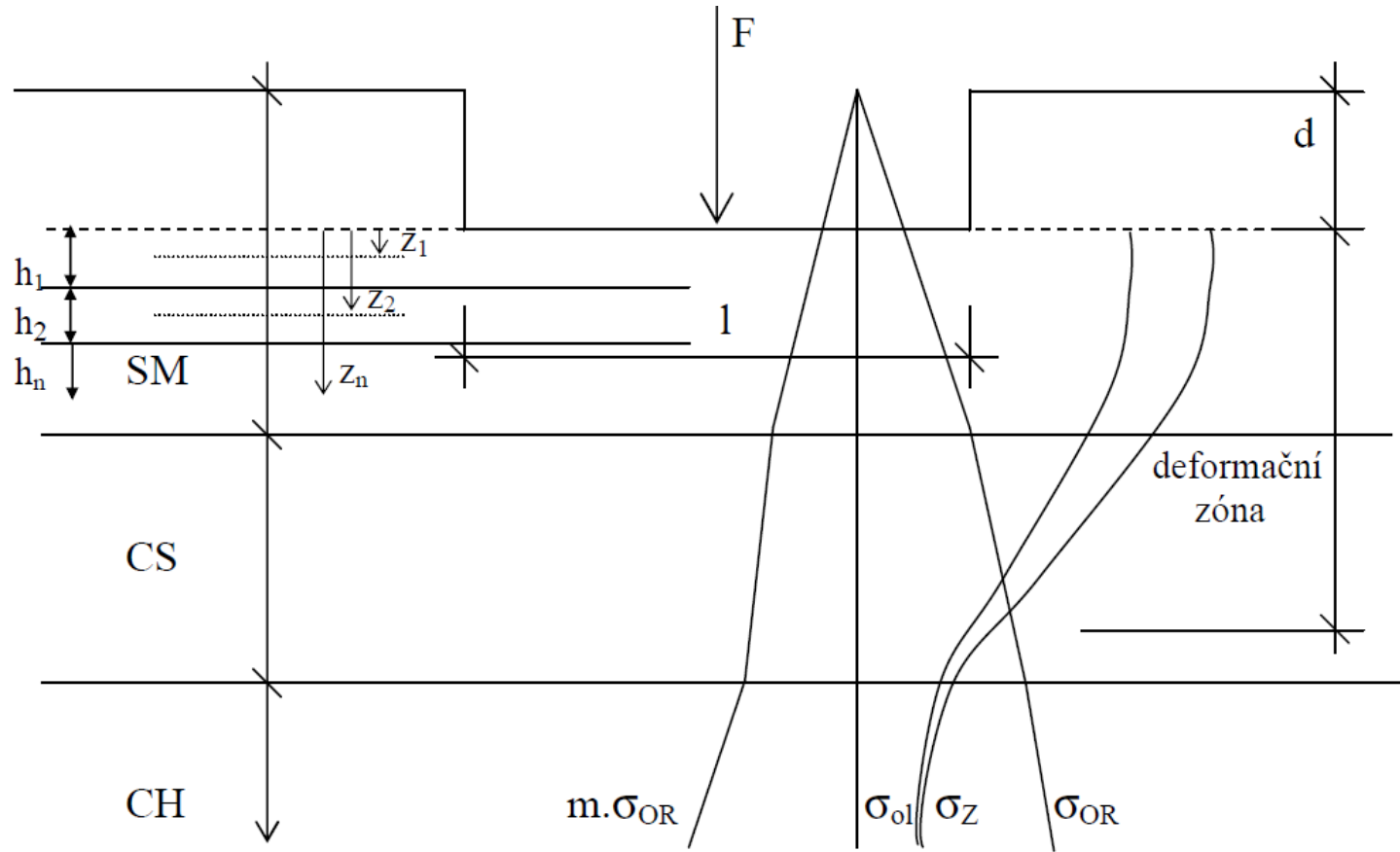
Sednutí bodu S

č.vrstvy	z	n	E_{sed}	z/b	l_R	σ_z	m	γ	σ_{OR}	$m \cdot \sigma_{OR}$	$\sigma_z - m \cdot \sigma_{OR}$	Δh
1	0,25	0,5	12,9032	0,114	0,2486	185,2537	0,3	18,5	34,225	10,2675	174,9862	6,7807
2	0,75	0,5	12,9032	0,341	0,2238	166,7742	0,3	18,5	43,475	13,0425	153,7317	5,9571
3	1,25	0,5	12,9032	0,568	0,1786	133,1099	0,3	18,5	52,725	15,8175	117,2924	4,5451
4	1,75	0,5	16,1290	0,795	0,1357	101,1320	0,2	18,5	61,975	12,395	88,7370	2,7508
5	2,25	0,5	16,1290	1,023	0,1026	76,4546	0,2	18,5	71,225	14,245	62,2096	1,9285
6	2,75	0,5	16,1290	1,25	0,0786	58,5687	0,2	18,5	80,475	16,095	42,4737	1,3167
7	3,25	0,5	8,1081	1,477	0,0614	45,7304	0,1	20,5	90,225	9,0225	36,7079	2,2637
8	3,75	0,5	8,1081	1,705	0,0489	36,4183	0,1	20,5	100,475	10,0475	26,3708	1,6262
9	4,25	0,5	8,1081	1,932	0,0396	29,5438	0,1	20,5	110,725	11,0725	18,4713	1,1391
10	4,75	0,5	8,1081	2,159	0,0327	24,3692	0,1	20,5	120,975	12,0975	12,2717	0,7568
11	5,25	0,5	8,1081	2,386	0,0274	20,3995	0,1	20,5	131,225	13,1225	7,2770	0,4487
12	5,75	0,5	8,1081	2,614	0,0232	17,2997	0,1	20,5	141,475	14,1475	3,1522	0,1944
13	6,25	0,5	8,1081	2,841	0,0199	14,8399	0,1	20,5	151,725	15,1725	-0,3326	-0,0205
14	6,75	0,5	8,1081	3,068	0,0173	12,8591	0,1	20,5	161,975	16,1975	-3,3384	-0,2059
15	7,25	0,5	8,1081	3,295	0,0151	11,2430	0,1	20,5	172,225	17,2225	-5,9795	-0,3687

součet:

29,7077

PŘÍKLAD



PŘÍKLAD

Sednutí bodu S'

č.vrstvy	z	n	E_{oed}	z/b	I_R	σ_z	m	γ	σ_{OR}	$m \cdot \sigma_{OR}$	$\sigma_z \cdot m \cdot \sigma_{OR}$	Δh
1	0,25	0,5	12,9032	0,114	0,2488	92,7109	0,3	18,5	34,225	10,2675	82,4434	3,1947
2	0,75	0,5	12,9032	0,341	0,2284	85,0989	0,3	18,5	43,475	13,0425	72,0564	2,7922
3	1,25	0,5	12,9032	0,568	0,1920	71,5278	0,3	18,5	52,725	15,8175	55,7103	2,1588
4	1,75	0,5	16,1290	0,795	0,1569	58,4630	0,2	18,5	61,975	12,395	46,0680	1,4281
5	2,25	0,5	16,1290	1,023	0,1282	47,7751	0,2	18,5	71,225	14,245	33,5301	1,0394
6	2,75	0,5	16,1290	1,25	0,1056	39,3365	0,2	18,5	80,475	16,095	23,2415	0,7205
7	3,25	0,5	8,1081	1,477	0,0877	32,6887	0,1	20,5	90,225	9,0225	23,6662	1,4594
8	3,75	0,5	8,1081	1,705	0,0736	27,4216	0,1	20,5	100,475	10,0475	17,3741	1,0714
9	4,25	0,5	8,1081	1,932	0,0623	23,2162	0,1	20,5	110,725	11,0725	12,1437	0,7489
10	4,75	0,5	8,1081	2,159	0,0532	19,8305	0,1	20,5	120,975	12,0975	7,7330	0,4769
11	5,25	0,5	8,1081	2,386	0,0458	17,0815	0,1	20,5	131,225	13,1225	3,9590	0,2441
12	5,75	0,5	8,1081	2,614	0,0398	14,8304	0,1	20,5	141,475	14,1475	0,6829	0,0421
13	6,25	0,5	8,1081	2,841	0,0348	12,9713	0,1	20,5	151,725	15,1725	-2,2012	-0,1357
14	6,75	0,5	8,1081	3,068	0,0307	11,4233	0,1	20,5	161,975	16,1975	-4,7742	-0,2944
15	7,25	0,5	8,1081	3,295	0,0272	10,1242	0,1	20,5	172,225	17,2225	-7,0983	-0,4377

součet: 15,3765

PŘÍKLAD

Podélný průhyb: $y = \Delta S/l$

$$y = (29,7077 - 15,3765)/1600 = \mathbf{0,008957m}$$

Stlačitelnost

STLAČITELNOST

Přírůstkem napětí v zemině (např. od základu) se změní původní (originální) stav napjatosti, začne dochází k přeskupování částic a poklesu pórovitosti, tedy ke stlačování zeminy, přičemž vzrůstají odpory proti posunutí mezi částicemi.

Stlačování zeminy ustane, když odpory mezi částicemi budou v rovnováze s působícím napětím.

STLAČITELNOST

Z Hookova zákona:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\sigma}{E_{oed}}$$

ε přetvoření [-]

$\Delta\sigma$ přírůstek napětí [kPa]

E_{oed} oed. modul přetvárnosti [kPa]

Kde přetvoření a oedometrický modul přetvárnosti je:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$$

Δh Stlačení [mm]

h Původní výška [mm]

β Redukční součinitel [-] $\beta = 1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{1 - \mu}$

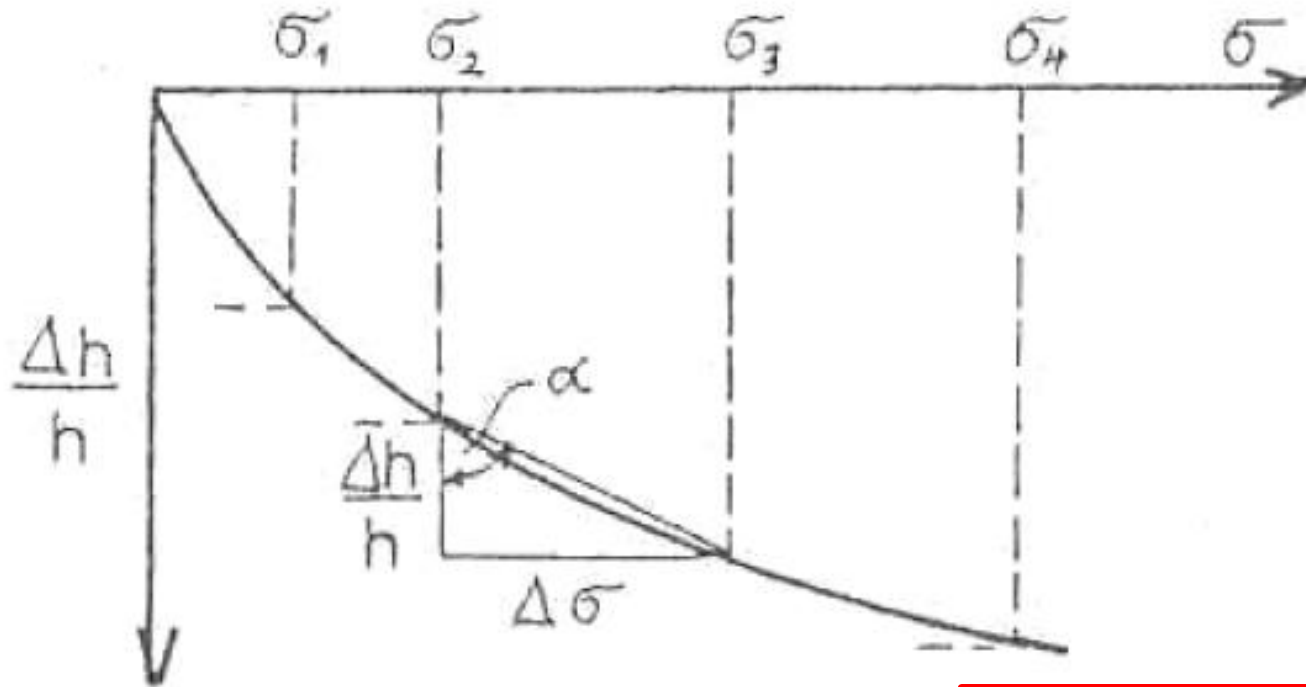
$$E_{OED} = \frac{E_{def}}{\beta} [MPa]$$

E_{def} Deformační modul pružnosti [MPa]

μ Poissonovo číslo [-]

STLAČITELNOST

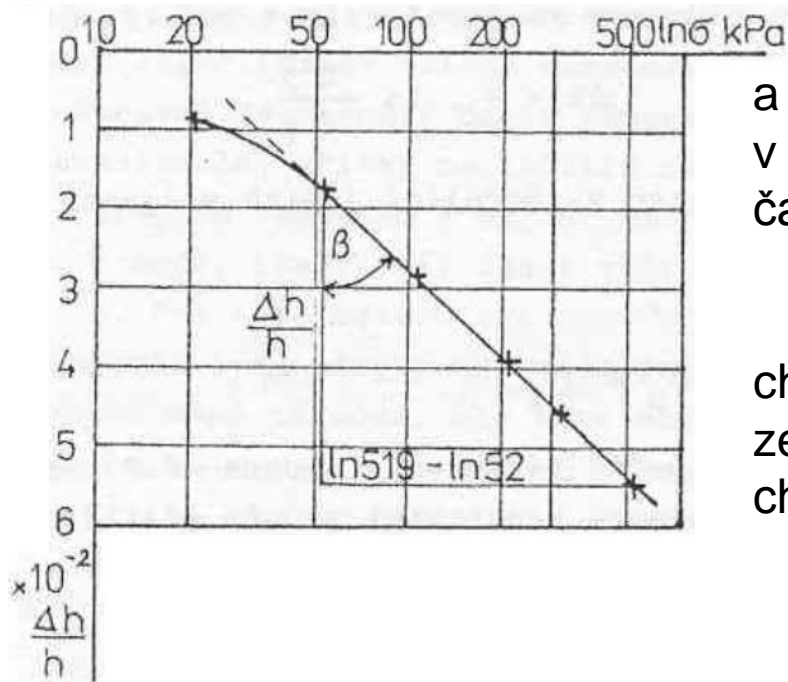
1/ Vyhodnocení oedometrické zkoušky (E_{oed}):



$$E_{oed} = \frac{\Delta \sigma}{\varepsilon} \quad [mm]$$

STLAČITELNOST

2/ Vyhodnocení oedometrické zkoušky (C):



Pokud vztah mezi efektivním napětím a poměrným stlačením zeminy znázorníme v semilogaritmickém měřítku, má tento vztah často podobu přímky.

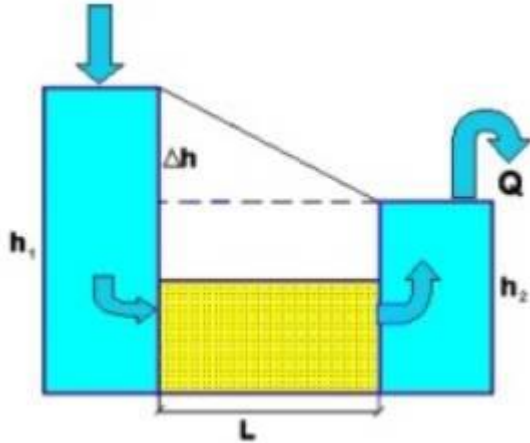
Sklon této přímky se považuje za charakteristiku deformačních vlastností zeminy při jednoosé deformaci a je charakterizován jako součinitel stlačitelnosti C :

$$C = \operatorname{tg} \beta = \frac{h}{\Delta h} \cdot \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} [-]$$

$$\Delta h = \frac{h}{C} \cdot \ln \frac{\sigma_2}{\sigma_1} [-]$$

Voda v zemině

Darcyho zákon



$$Q = F \cdot v_f = F \cdot k \cdot i$$

Q... průtočné množství [m³/s] (vydatnost)

F... průtočná plocha [m²]

v_f... fiktivní rychlost proudění [m/s] = k.i

k... součinitel filtrace [m/s]

i... hydraulický spád (sklon) ...[%]

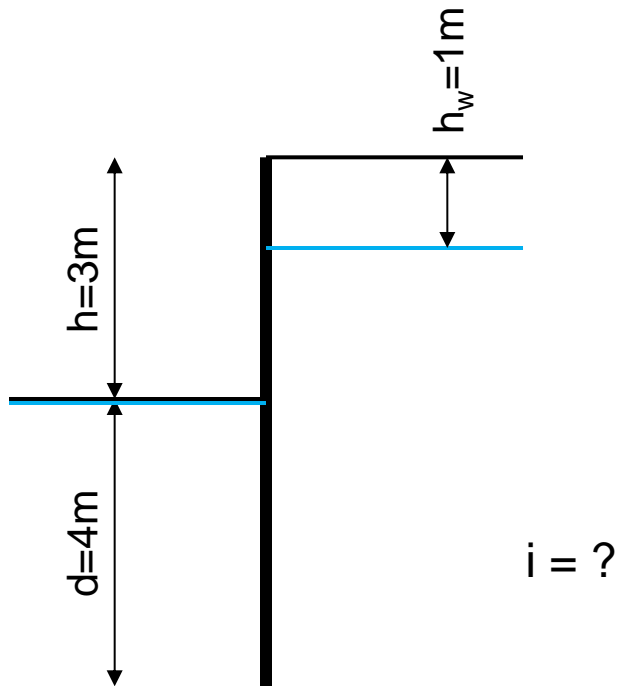
Hydraulický spád je dán poměrem rozdílu výšek vtokové (h₁) a výtokové (h₂) oblasti ku vzdálenosti těchto oblastí (L).

$$i = (h_1 - h_2) / L = \Delta h / L$$

Pozn.: K tomu, aby došlo k proudění podzemní vody horninami jsou nutné dvě základní podmínky:

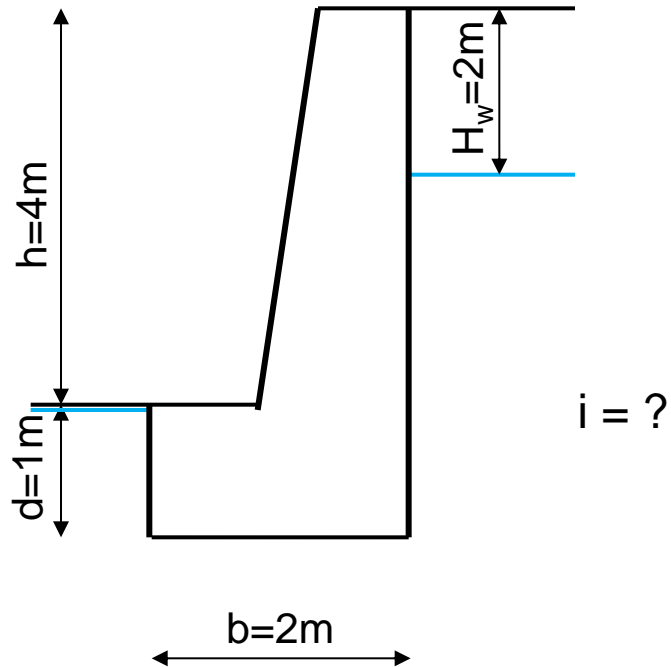
- 1) existence otevřené efektivní pórovitosti horniny (v nadkapilární velikosti pórů),
- 2) existence tak velkého hydraulického spádu, který překoná odporové síly filtrace.

Hydraulický spád:



$$i = \Delta h / L$$

Hydraulický spád:



$$i = \Delta h / L$$

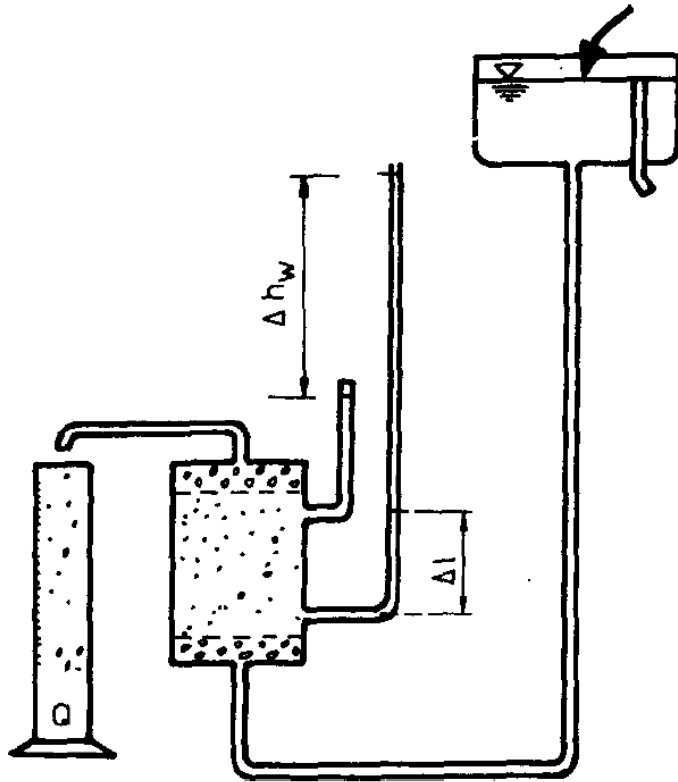
Součinitel filtrace

Druh zeminy	Součinitel filtrace ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Kamenitá suť	$10^{-1} \div 10^{-5}$
Hrubý štěrk	$10^{-2} \div 10^{-5}$
Střední štěrk	$10^{-3} \div 10^{-2}$
Jemný štěrk	$10^{-2} \div 10^{-4}$
Hrubý písek	$10^{-2} \div 10^{-5}$
Střední písek	$10^{-3} \div 10^{-6}$
Jemný písek	$10^{-3} \div 10^{-6}$
Zahliněný písek	$10^{-4} \div 10^{-7}$
Jílovitý písek	$10^{-5} \div 10^{-8}$
Spraš	$10^{-5} \div 10^{-10}$
Hlína	$10^{-6} \div 10^{-10}$
Jíl	$10^{-8} \div 10^{-12}$

Tab. 1. Orientační velikosti součinitele filtrace

Součinitel filtrace

Konstantní gradient $i = \text{konst.}$

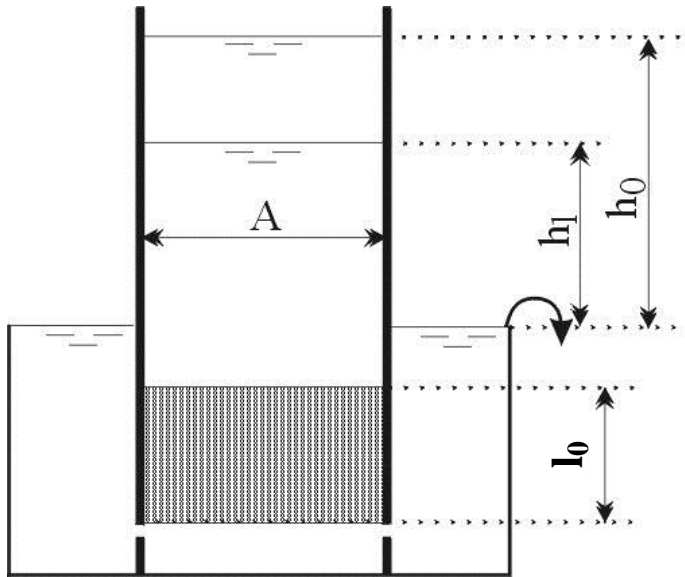


$$k = \frac{Q}{\Delta t \cdot A} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta h_w}$$

Př. 1 Určete součinitel filtrace zeminy. V laboratoři byla provedena zkouška s **konstantním hydraulickým gradientem**. Písek byl zhutněn v rouře průměru 80 mm na výšku 10 cm. Vzdálenost mezi horizonty měření pórového tlaku - Δl činí 80 mm a rozdíl mezi jejich piezometrickými úrovněmi - Δh_w činí 120 mm. Po 30 minutách bylo změřeno množství vody 6,1 litrů.

Součinitel filtrace

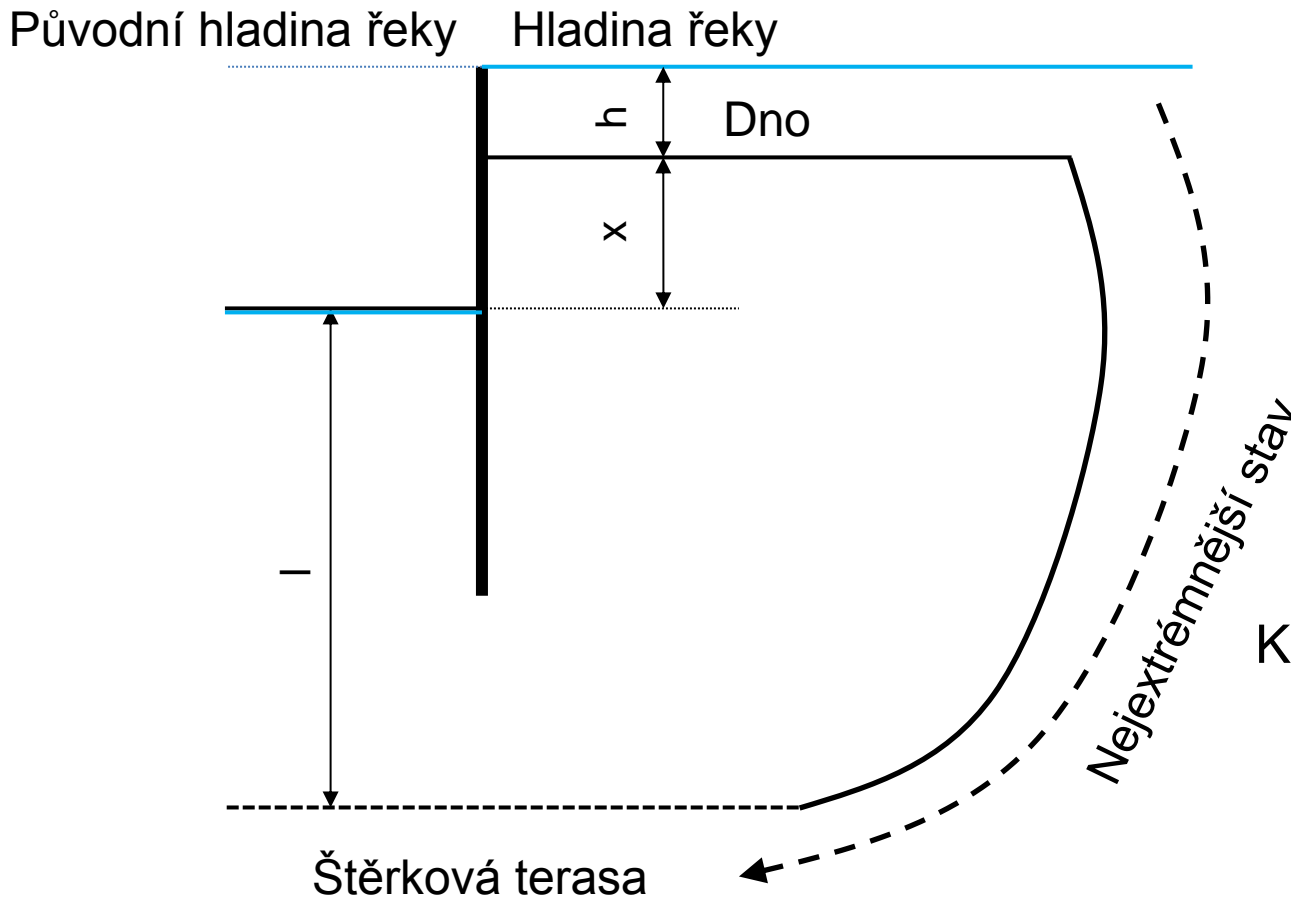
Proměnný gradient $i \neq \text{konst.}$



$$k = \frac{l_0}{t} \ln \frac{h_0}{h_1}$$

Př. 2 Určete součinitel filtrace u slabě zahliněného písku. V laboratoři byla provedena zkouška s **proměnným hydraulickým gradientem**. Písek byl zhutněn v rouře průměru 120 mm na výšku 10 cm. Na začátku byla do roury nalita voda do výšky 1 m, po 30 minutách klesla na 0,45m.

Prolomení dna jámy:



Tlak ve štěrkové terase
(napjatá zvodeň)

$$\gamma_t = (h + x + l) \cdot \gamma_w \text{ [kPa]}$$

Proti působí tlak nadloží

$$\gamma_n = \gamma_{sat} \cdot l \text{ [kPa]}$$

K prolomení nedojde když:

$$\gamma_n \geq \gamma_t$$