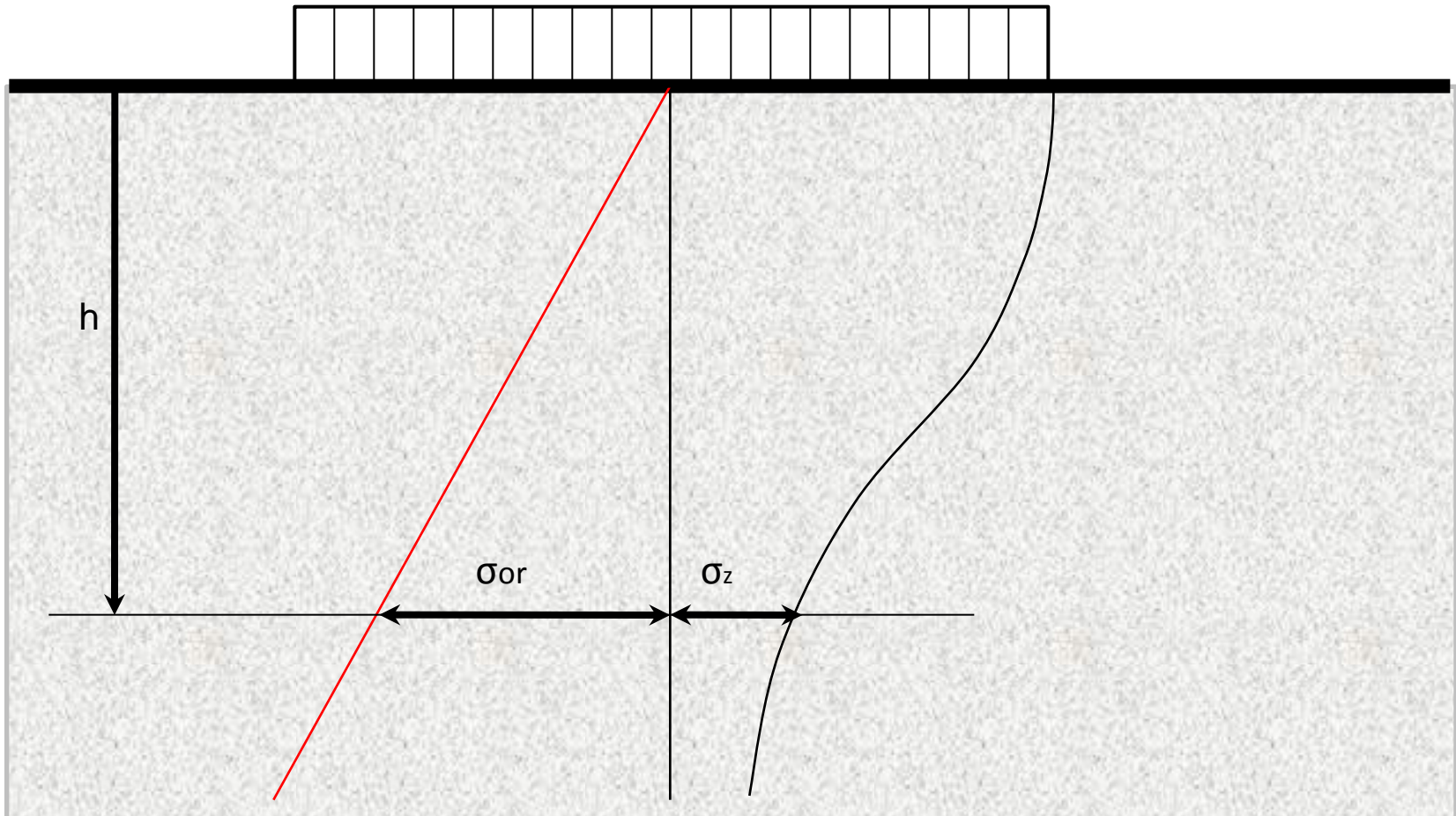


# 5. Cvičení

## **Napětí v základové půdě**

# Napětí v základové půdě

- geostatické (původní) napětí -  $\sigma_{or}$
- napětí od zatížení (od základu) -  $\sigma_z$



# Průběh napětí v zemině

- Na svislé ose:

$$\sigma_z = \gamma \cdot h \quad [Pa]$$

Objemová tíha zemin  
Mocnost vrstvy zemin

- Na vodorovné ose (v neporušené zemině):

$$\sigma_y = \sigma_x = \sigma_z \cdot K_b \quad [Pa]$$

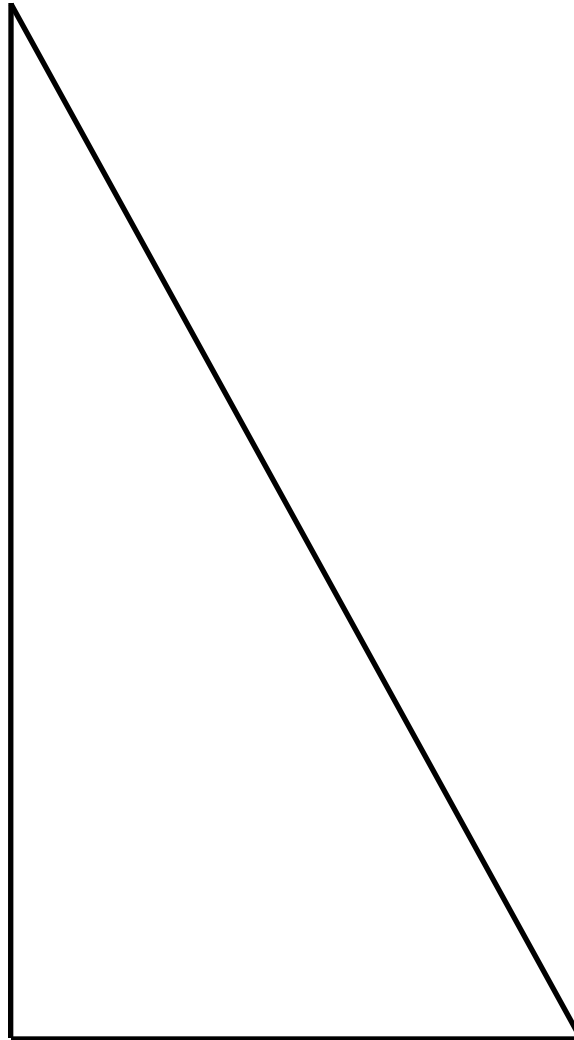
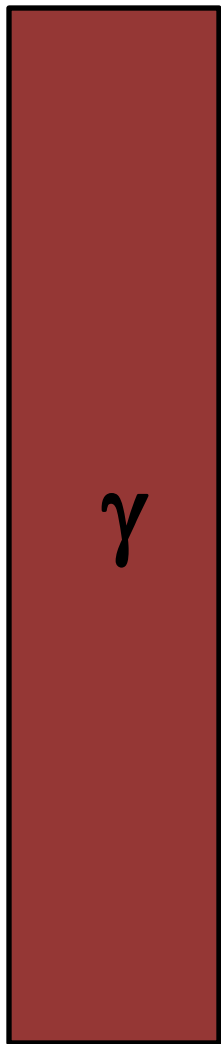
Koeficient bočního tlaku

$$K_b = \frac{\nu}{1-\nu} [Pa] \quad \dots \text{ pro skalní a poloskalní horniny}$$

$$K_b = 1 - \sin \varphi [Pa] \quad \dots \text{ nesoudržné zemin}$$

$$K_b = 0,95 - \sin \varphi [Pa] \quad \dots \text{ soudržné zemin}$$

# Průběh napětí v zemině



$$\sigma_z = \gamma \cdot h \text{ [Pa]}$$

# Napětí v zeminové vrstvě

- Totální napětí:

$$\sigma_{TOT} = \sigma_{EF} + u \text{ [Pa]}$$

Efektivní napětí

$$\sigma_{TOT} = \gamma_{sat} \cdot h \text{ [Pa]}$$

Pórový tlak

- Pórový tlak:

$$u = \gamma_w \cdot h \text{ [Pa]}$$

Objemová tíha vody

- Efektivní napětí:

- Nad HPV

$$\sigma_{EF} = \gamma \cdot h \text{ [Pa]}$$

Objemová tíha přirozeně vlhké zeminy

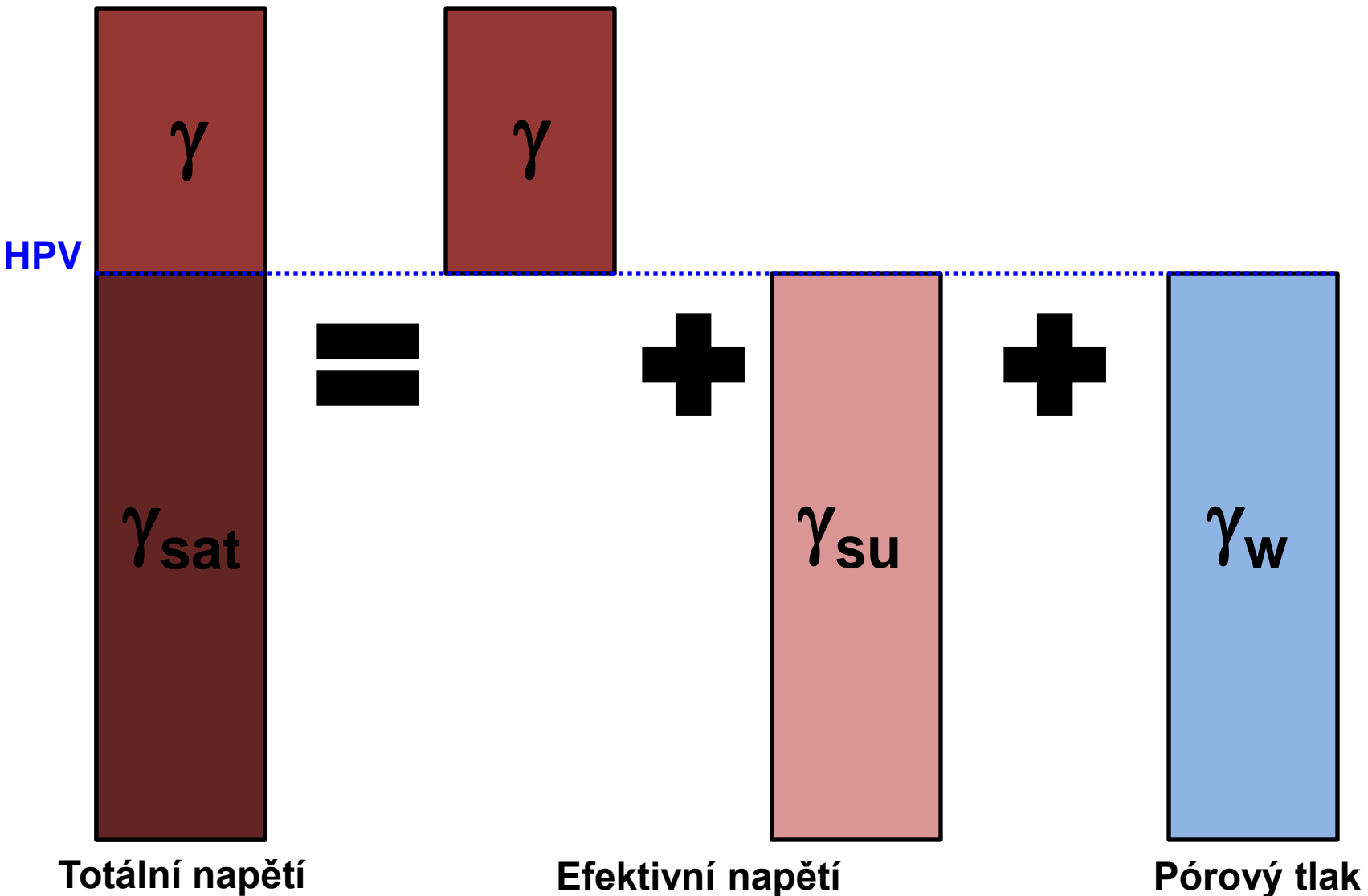
- Pod HPV

$$\sigma_{EF} = \gamma_{su} \cdot h \text{ [Pa]}$$

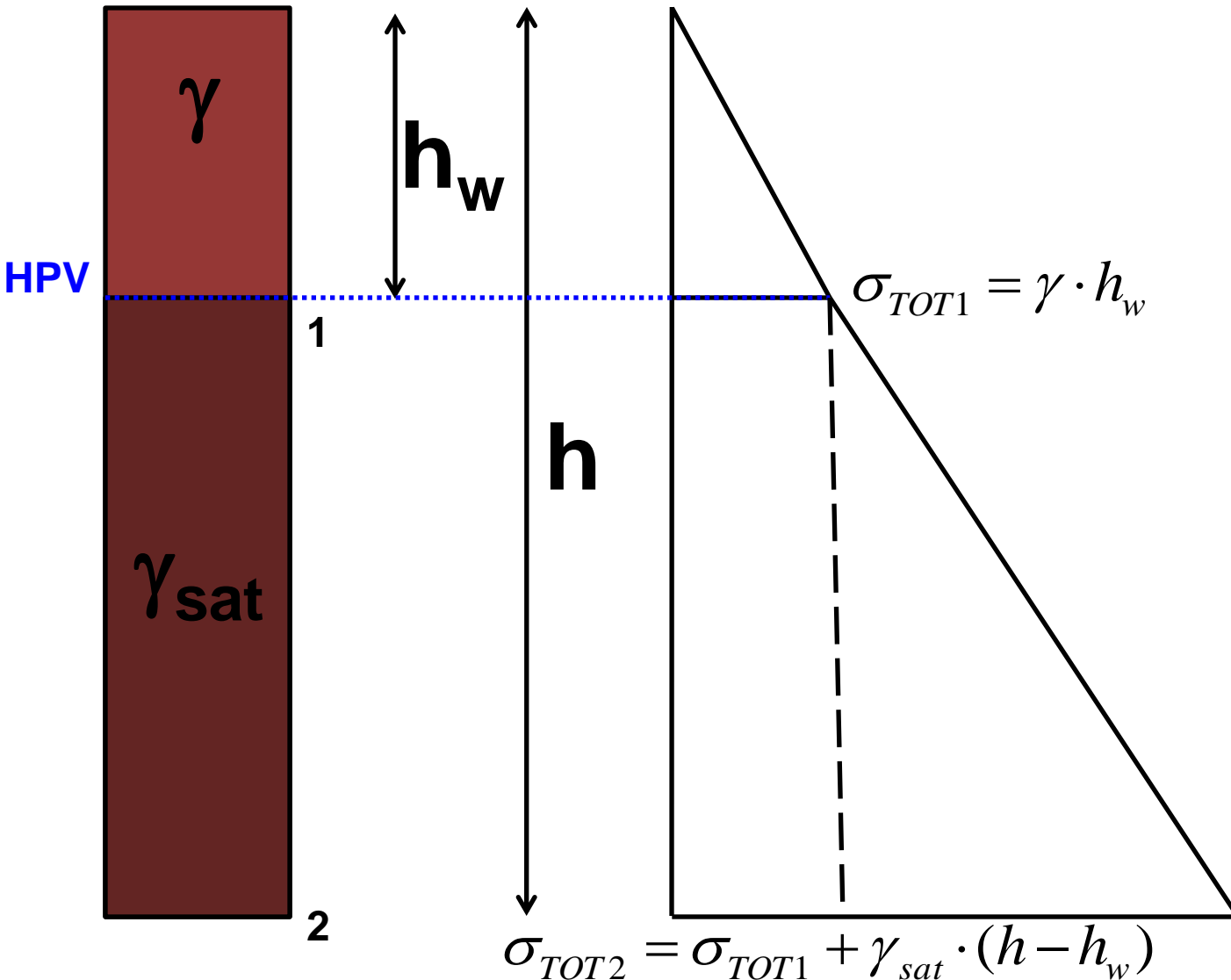
Objemová tíha zeminy pod HPV

$$\gamma_{sat} = \gamma_{su} + \gamma_w \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

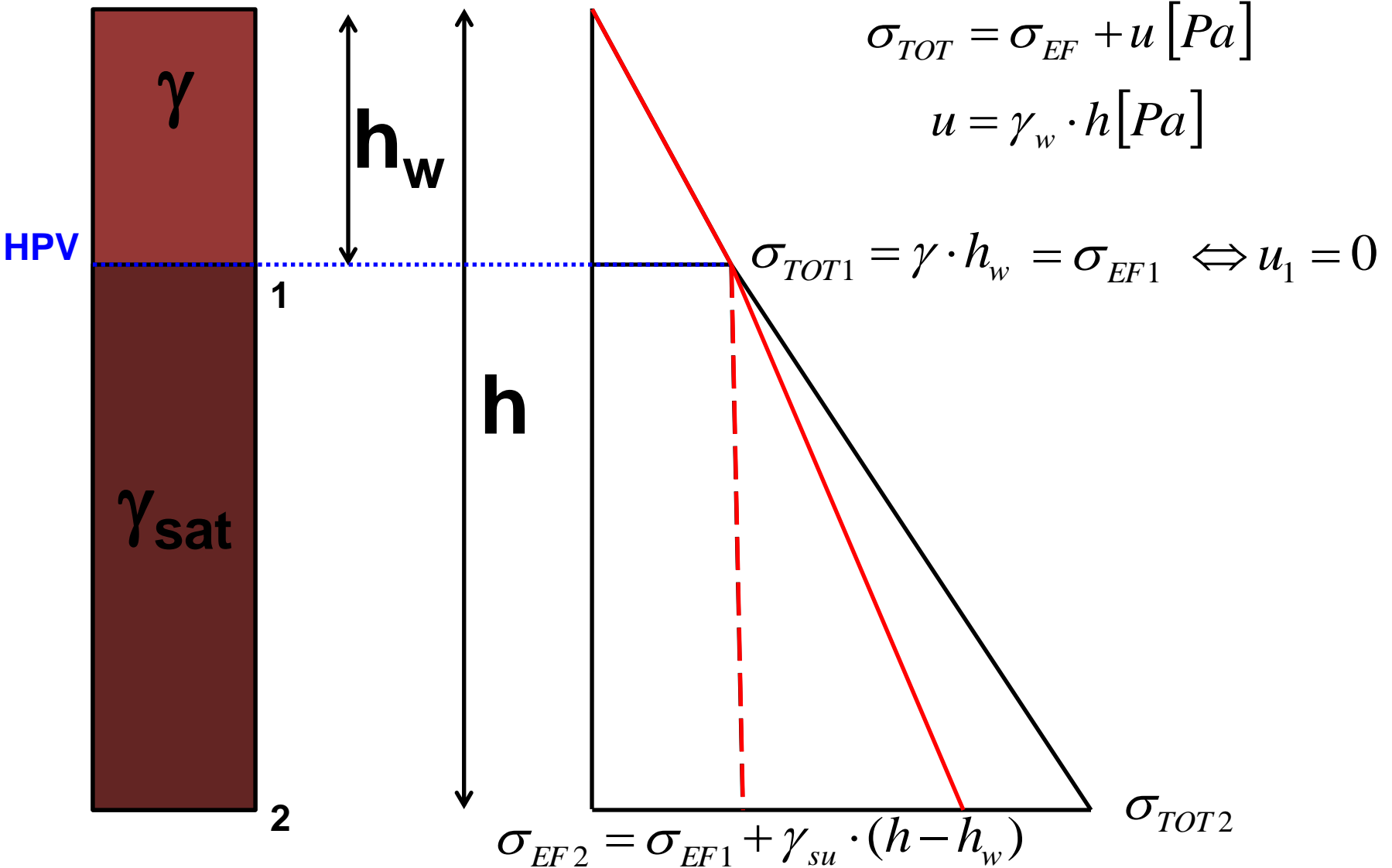
# Průběh napětí v zemině



# Průběh totálního napětí v zemině

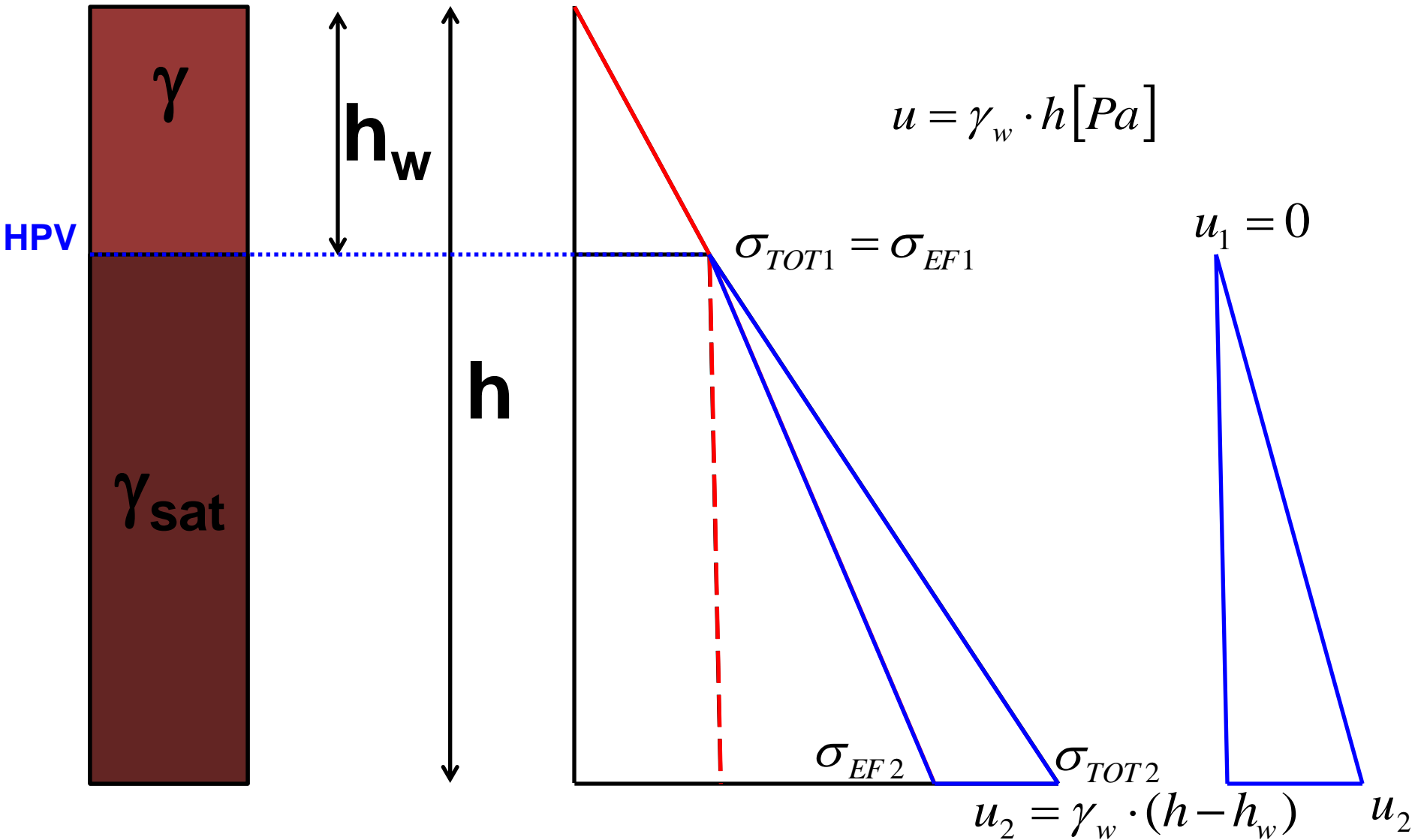


# Průběh efektivního napětí v zemině

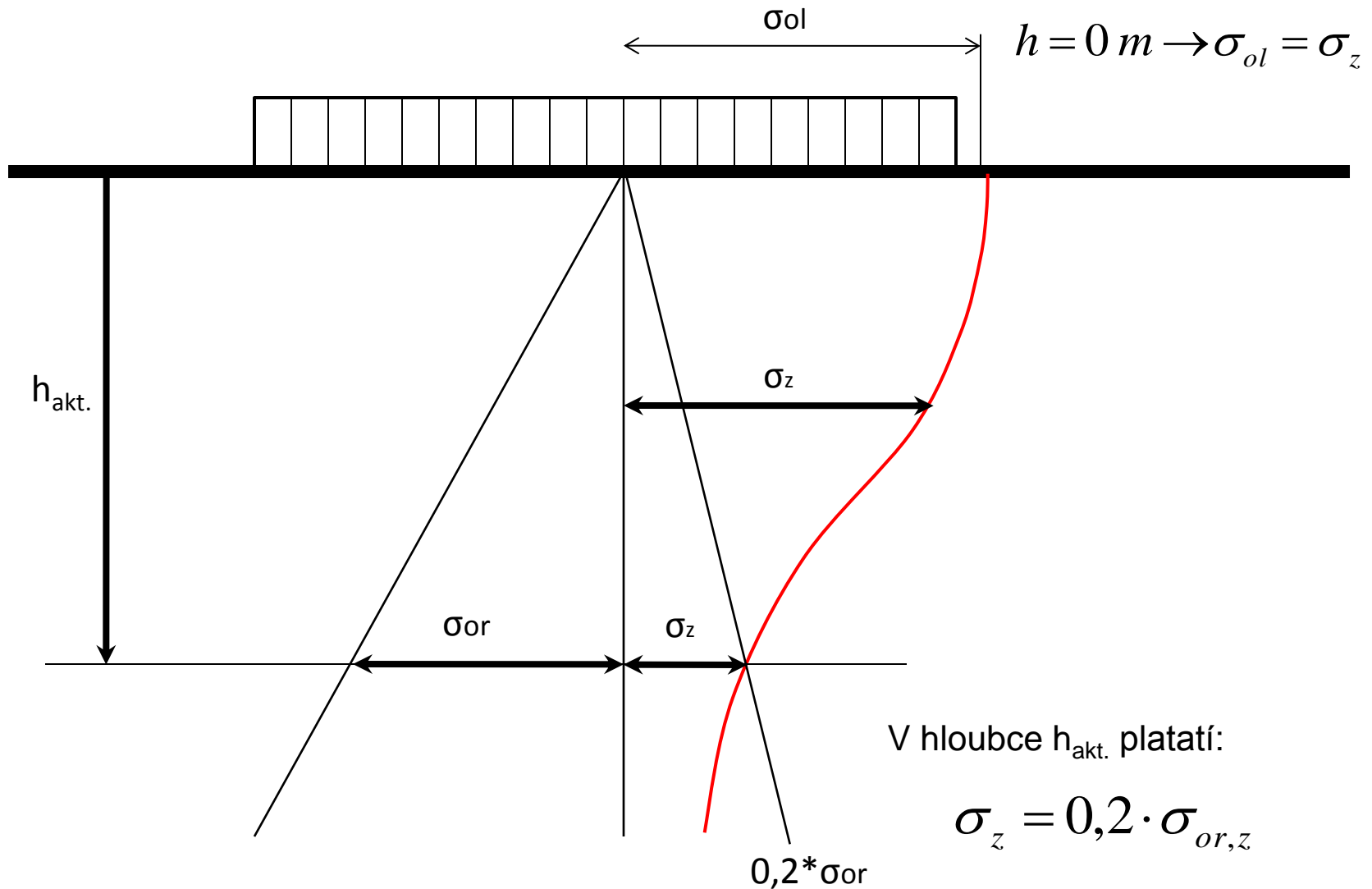




# Průběh pórového tlaku v zemině



# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)



# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)

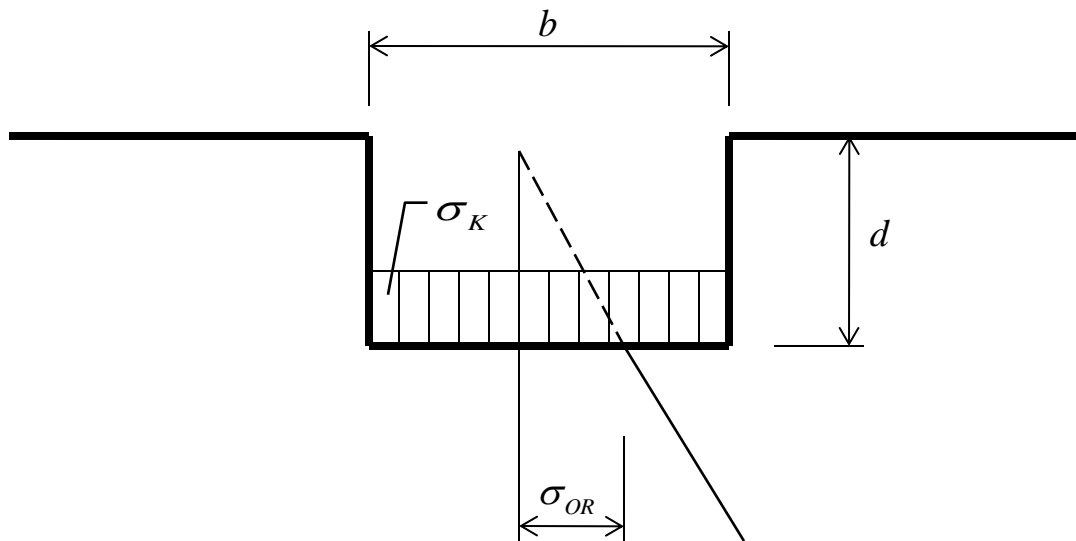
Kontaktní napětí:

$$\sigma_k = \frac{V}{A_{ef}} = \frac{V_{de}}{b \cdot l}$$

Orig. napětí v zákl. spáře:

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

Skutečné napětí na zákl. spáře:  $\sigma_{Ol} = \sigma_k - \sigma_{OR}$



# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)

Napětí pod rohem základu R:

$$\sigma_{zR} = \sigma_{Ol} \cdot I_R$$

**-početně**

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

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

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

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

$l$  ... **vždy delší** strana základu

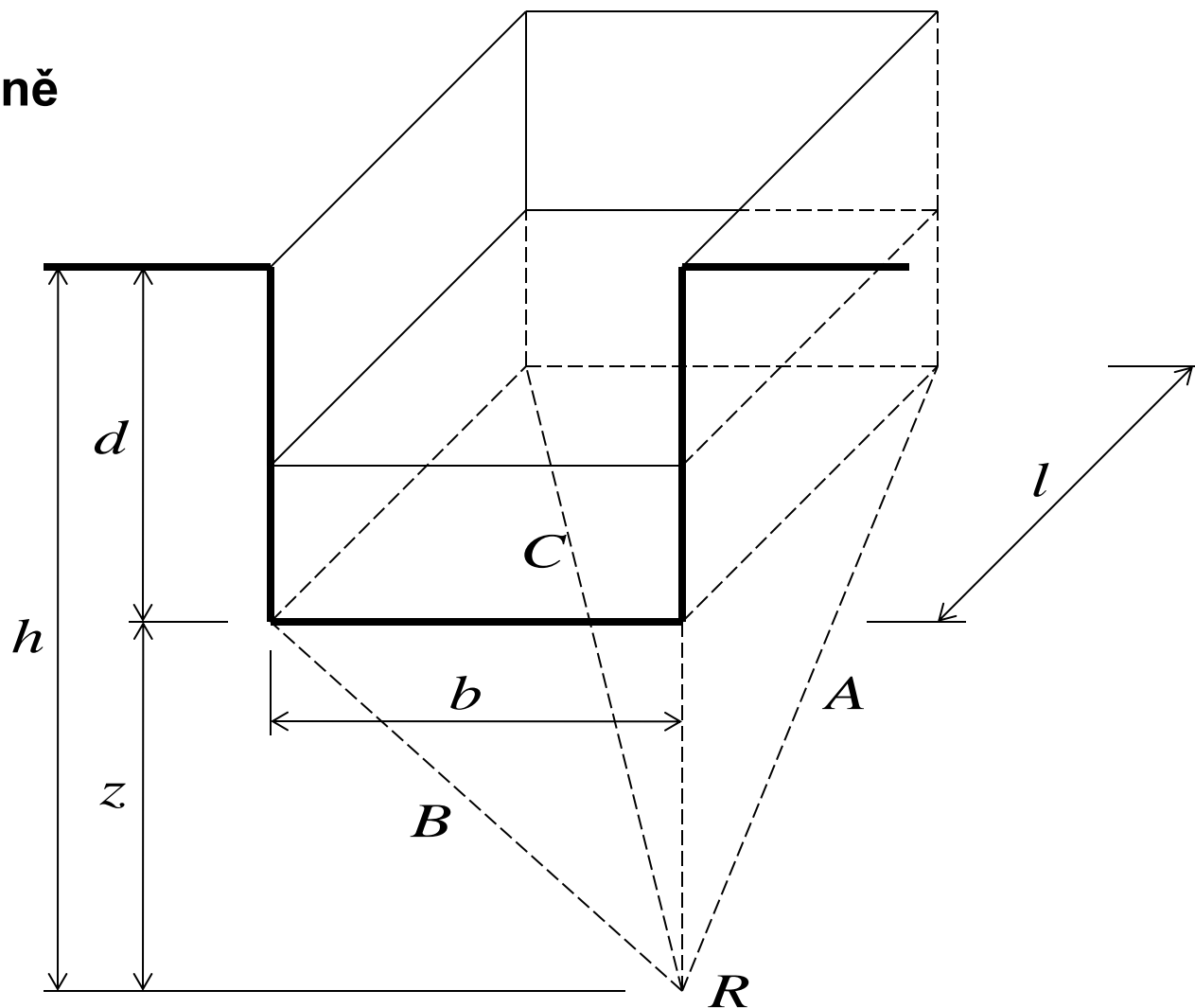
$b$  ... **vždy kratší** strana základu

$z$  ... hloubka počítaná **od základové spáry**

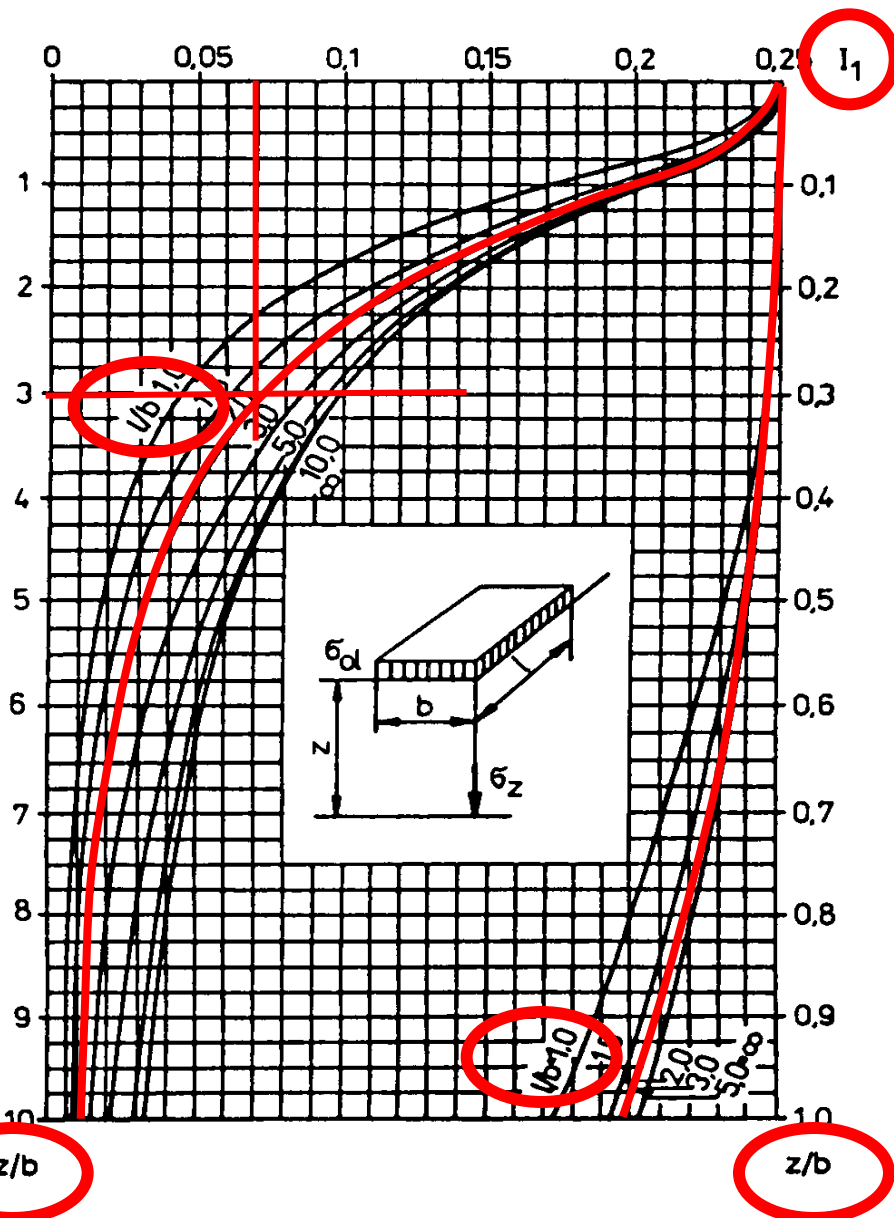
# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)

Napětí pod rohem základu R:

- početně



# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)



Napětí pod rohem základu  $R$ :

- z diagramu

$\frac{z}{b}; \frac{l}{b}$   $l$  ... vždy delší  
 $b$  ... vždy kratší  
 $z$  ... od základové spáry

Př:

$$l = 4m$$

$$b = 2m$$

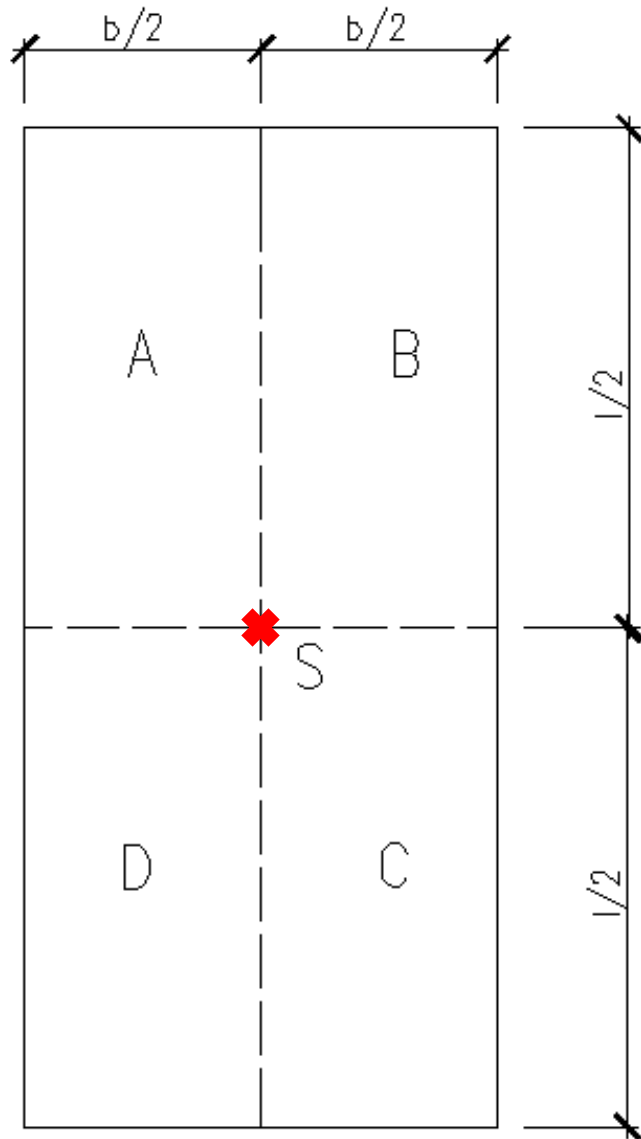
$$z = 6m$$

$$\frac{z}{b} = \frac{6}{2} = 3,0$$

$$\frac{l}{b} = \frac{4}{2} = 2,0$$

$$\underline{\underline{I_R = 0,07}}$$

# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)

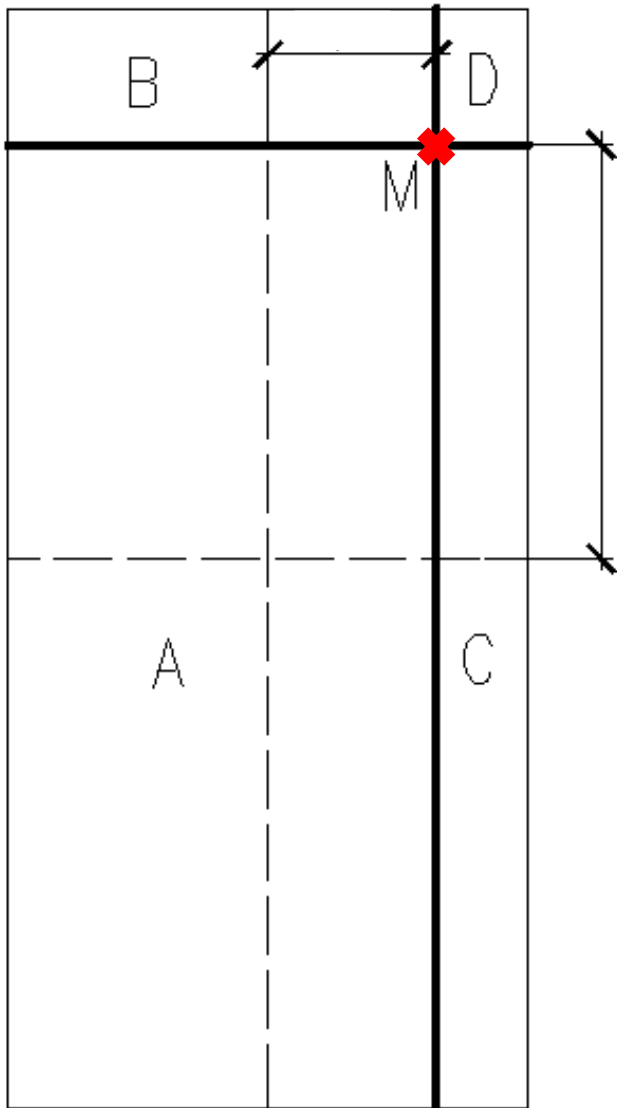


Napětí pod středem S:

$$\sigma_{zS} = \sigma_{Ol} \cdot (I_{RA} + I_{RB} + I_{RC} + I_{RD})$$

$$\sigma_{zS} = 4 \cdot \sigma_{Ol} \cdot I_{RA}$$

# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)

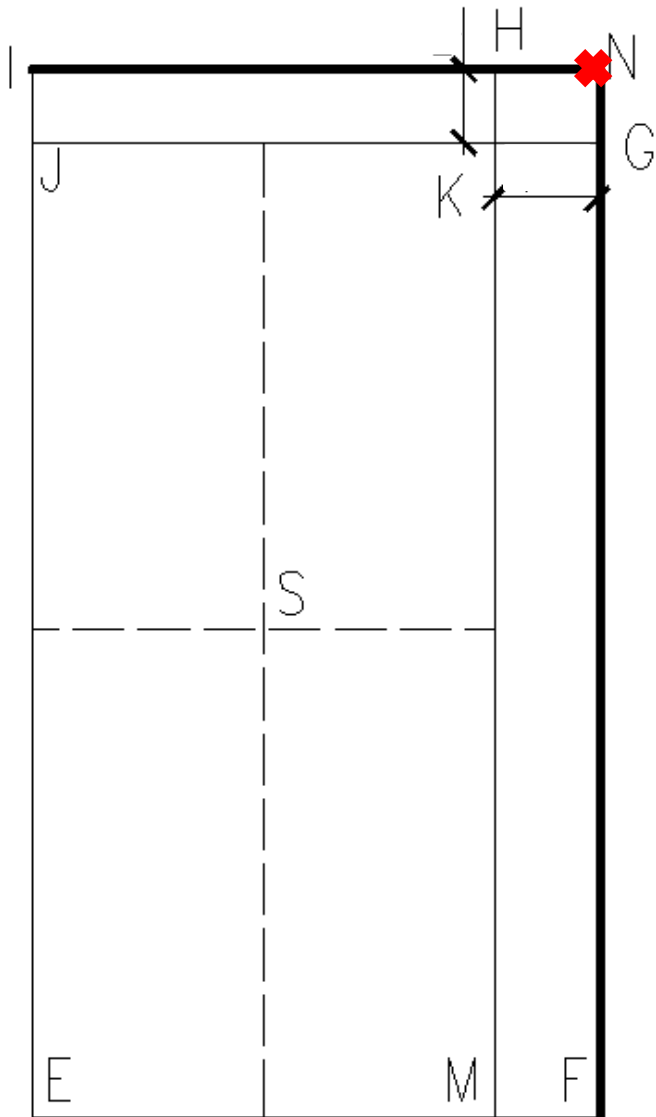


Napětí pod obecným bodem základu  $M$ :

$$\sigma_{zM} = \sigma_{Ol} \cdot (I_{RA} + I_{RB} + I_{RC} + I_{RD})$$



# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)



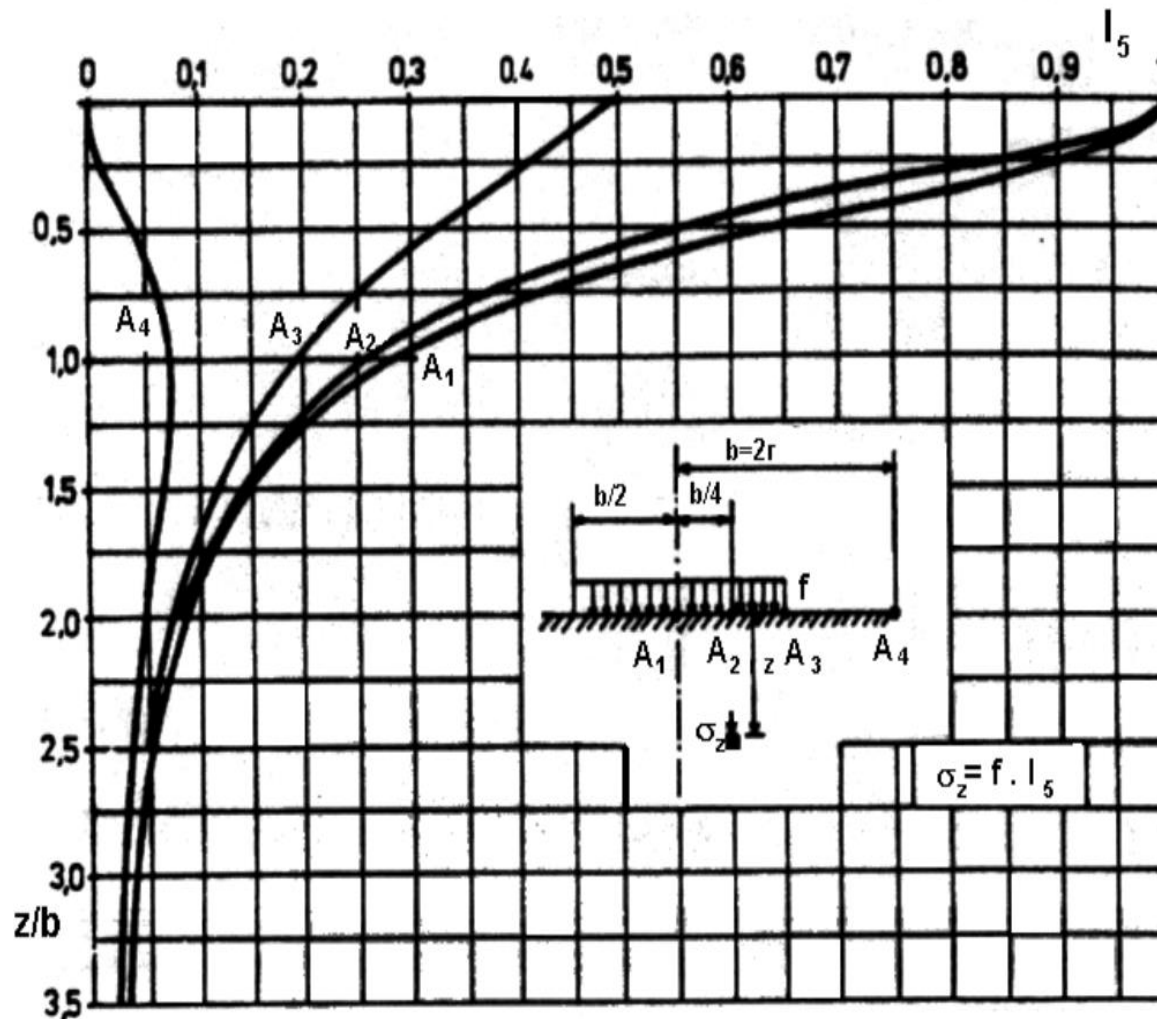
Napětí pod obecným bodem mimo základ N:

$$\sigma_{zN} = \sigma_{Ol} \cdot (I_{REFNI} - I_{RIJGN} - I_{RMFNH} + I_{RKGNH})$$

# NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ (OD ZÁKLADU)

Napětí pod kruhovým základem:

Průběh napětí pod kruhovým základem



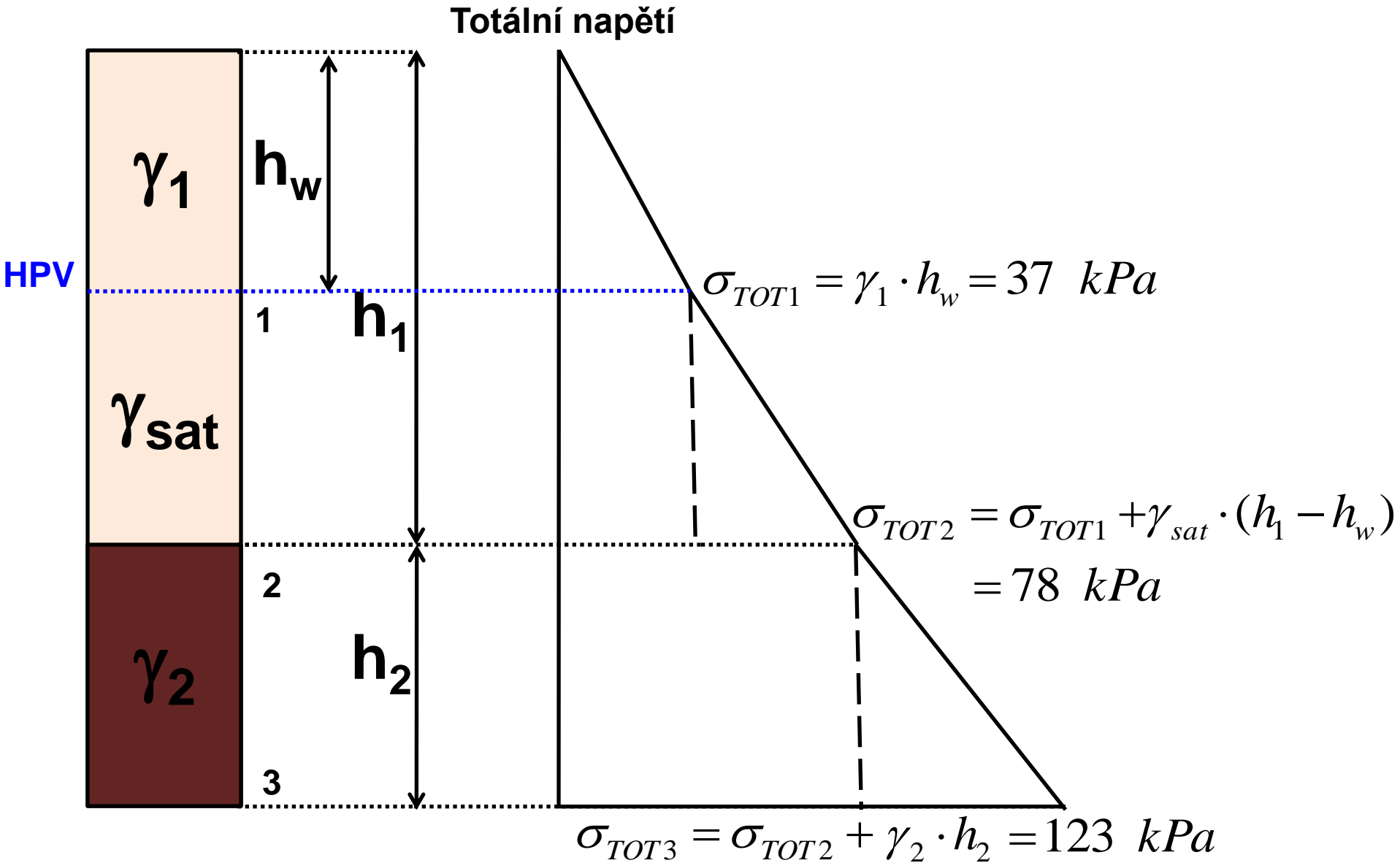
# Příklady

# Příklad 1

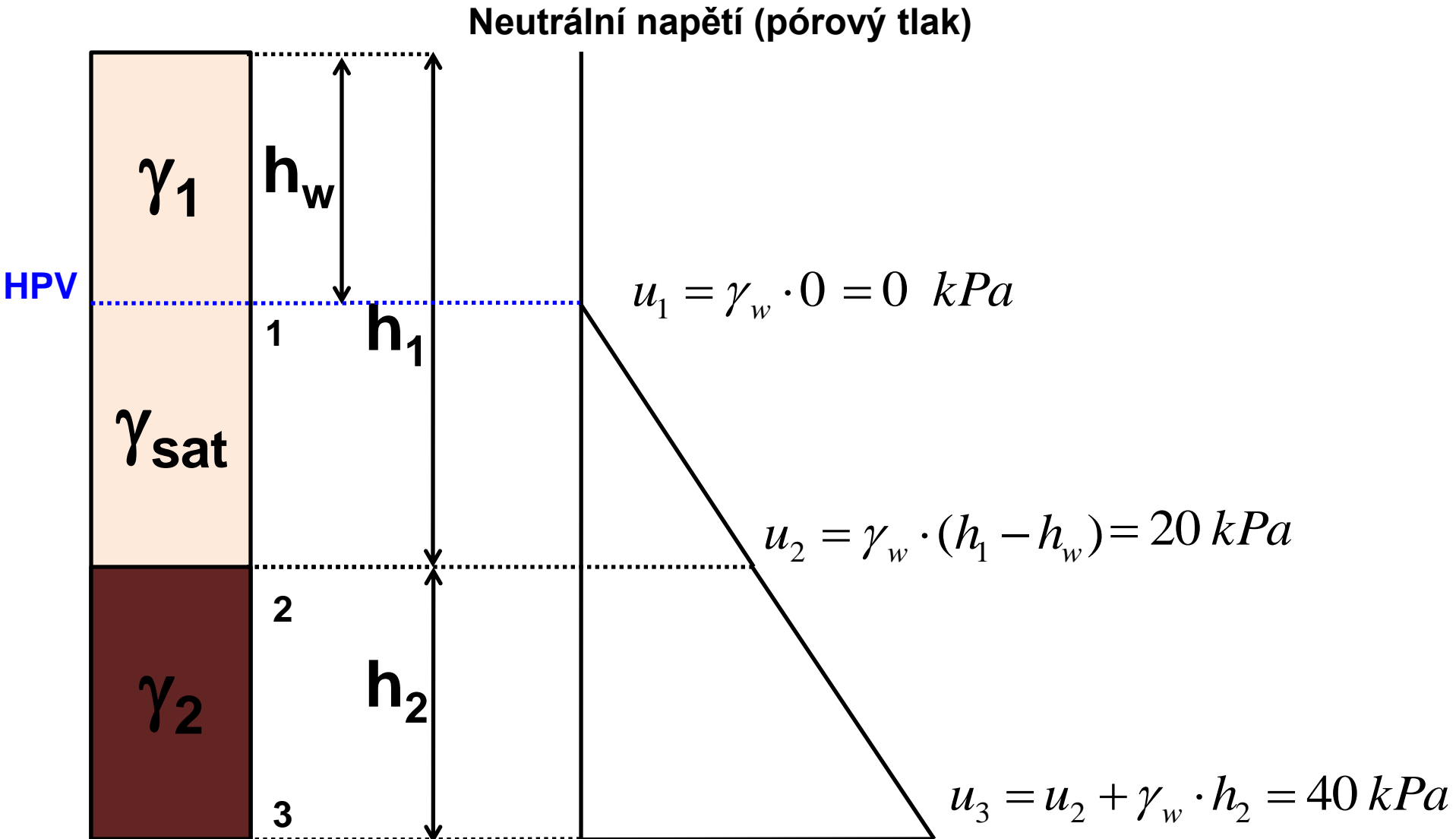
Vypočítejte a graficky vynesete průběh svislého napětí v zemině. Hladina podzemní vody se nachází v hloubce 2 m. Skladba zeminy je následující:

1. vrstva písku mocnosti 4 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_1 = 18,5 \text{ kN/m}^3$  a  $\gamma_{\text{SAT}} = 20,5 \text{ kN/m}^3$
2. vrstva štěrku mocnosti 2 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_2 = 21 \text{ kN/m}^3$  a  $\gamma_{\text{SAT}} = 22,5 \text{ kN/m}^3$

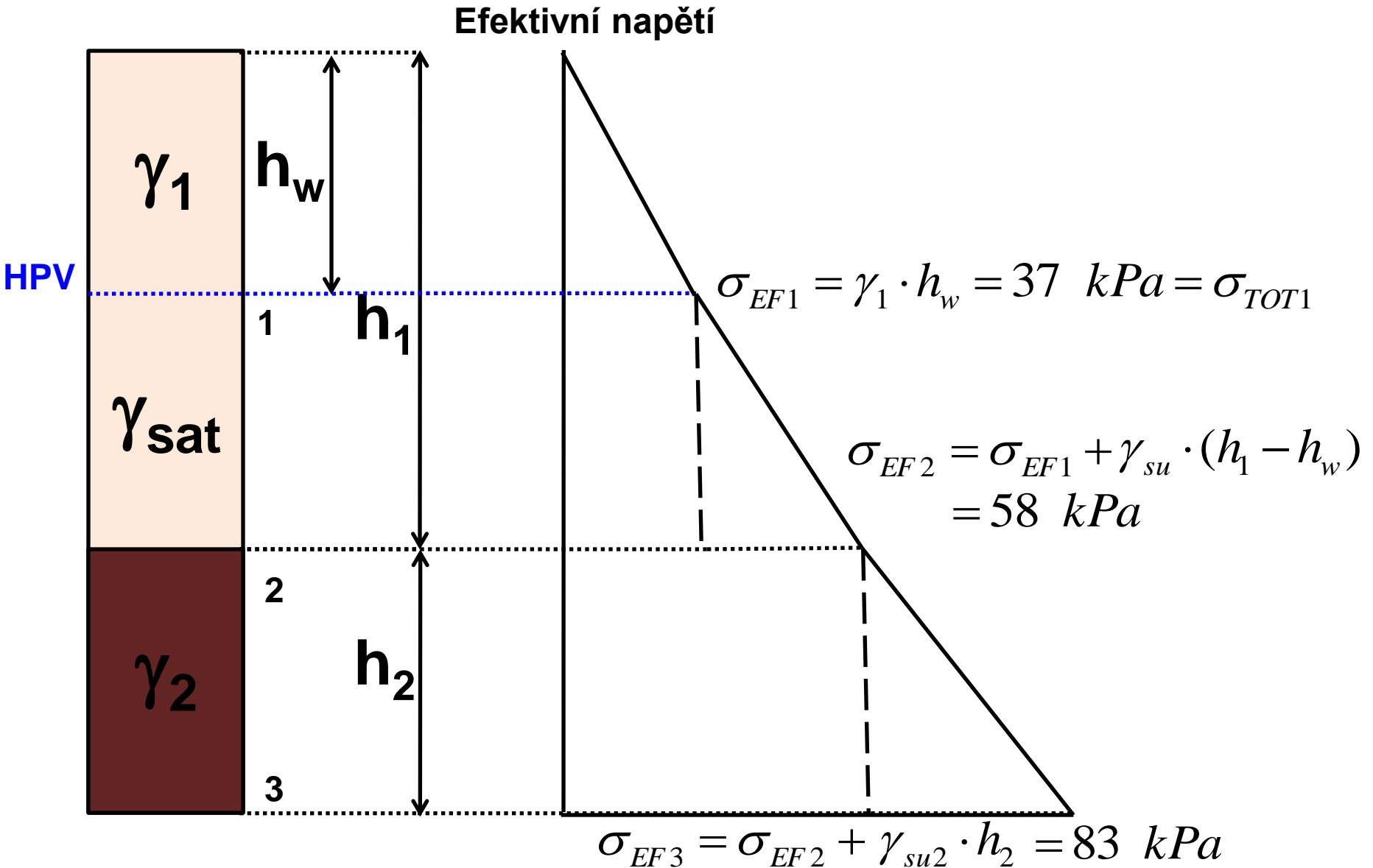
# Příklad 1



# Příklad 1



# Příklad 1



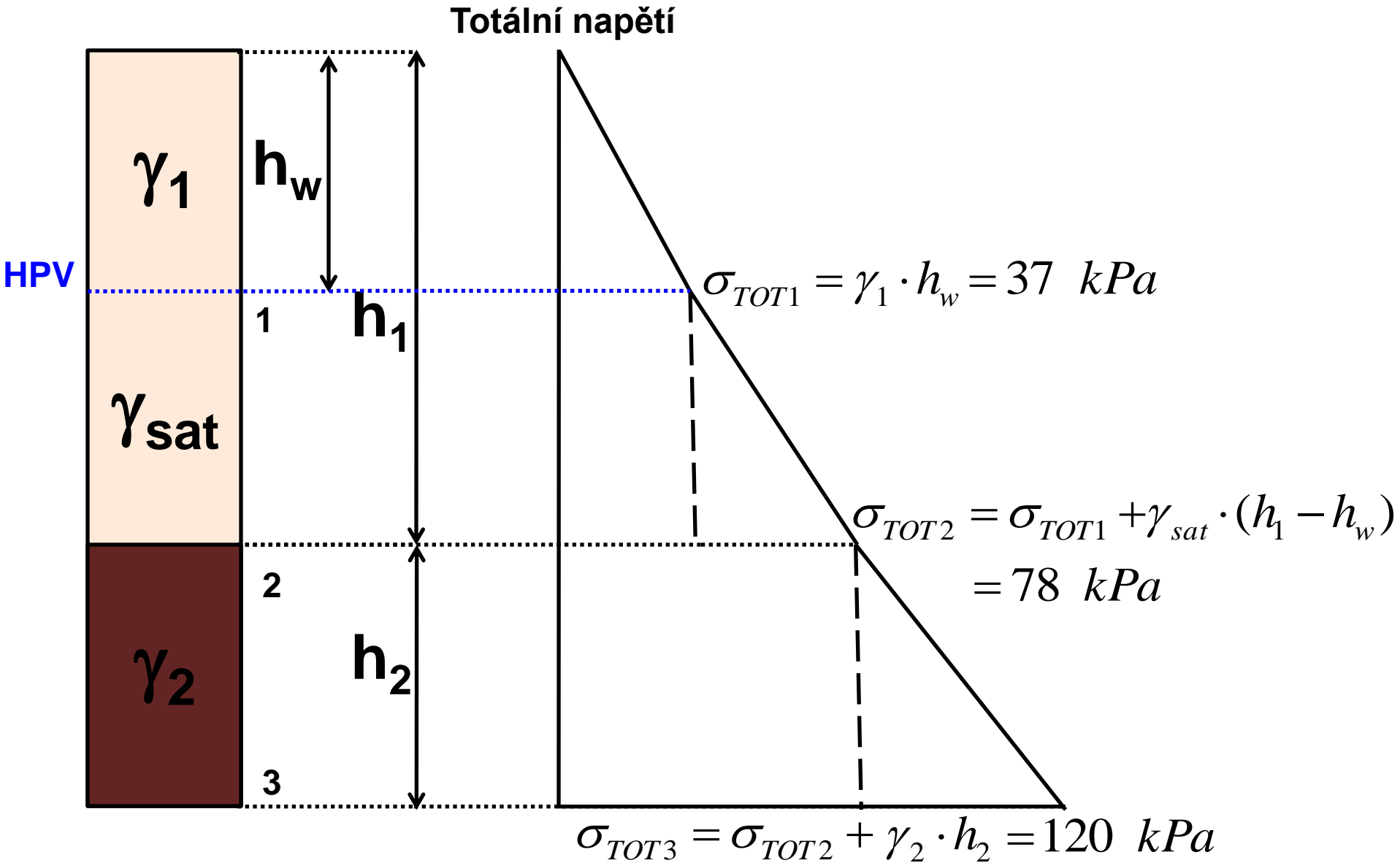
## Příklad 2

Vypočítejte a graficky vynesete průběh svislého napětí v zemině. Hladina podzemní vody se nachází v hloubce 2 m. Skladba zeminy je následující:

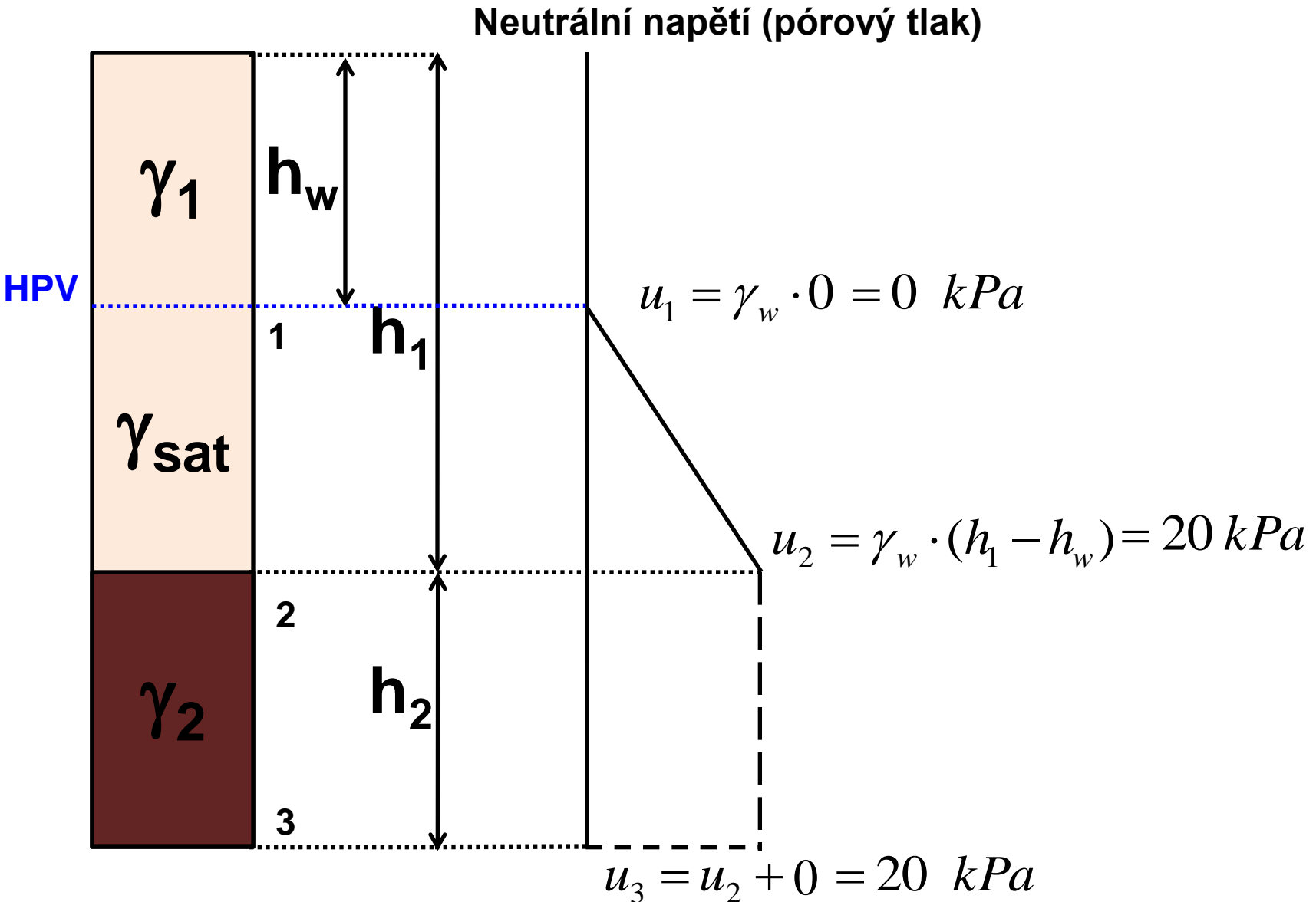
1. vrstva písku mocnosti 4 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_1 = 18,5 \text{ kN/m}^3$  a  $\gamma_{\text{SAT}} = 20,5 \text{ kN/m}^3$
2. vrstva jílu mocnosti 2 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_2 = 21 \text{ kN/m}^3$



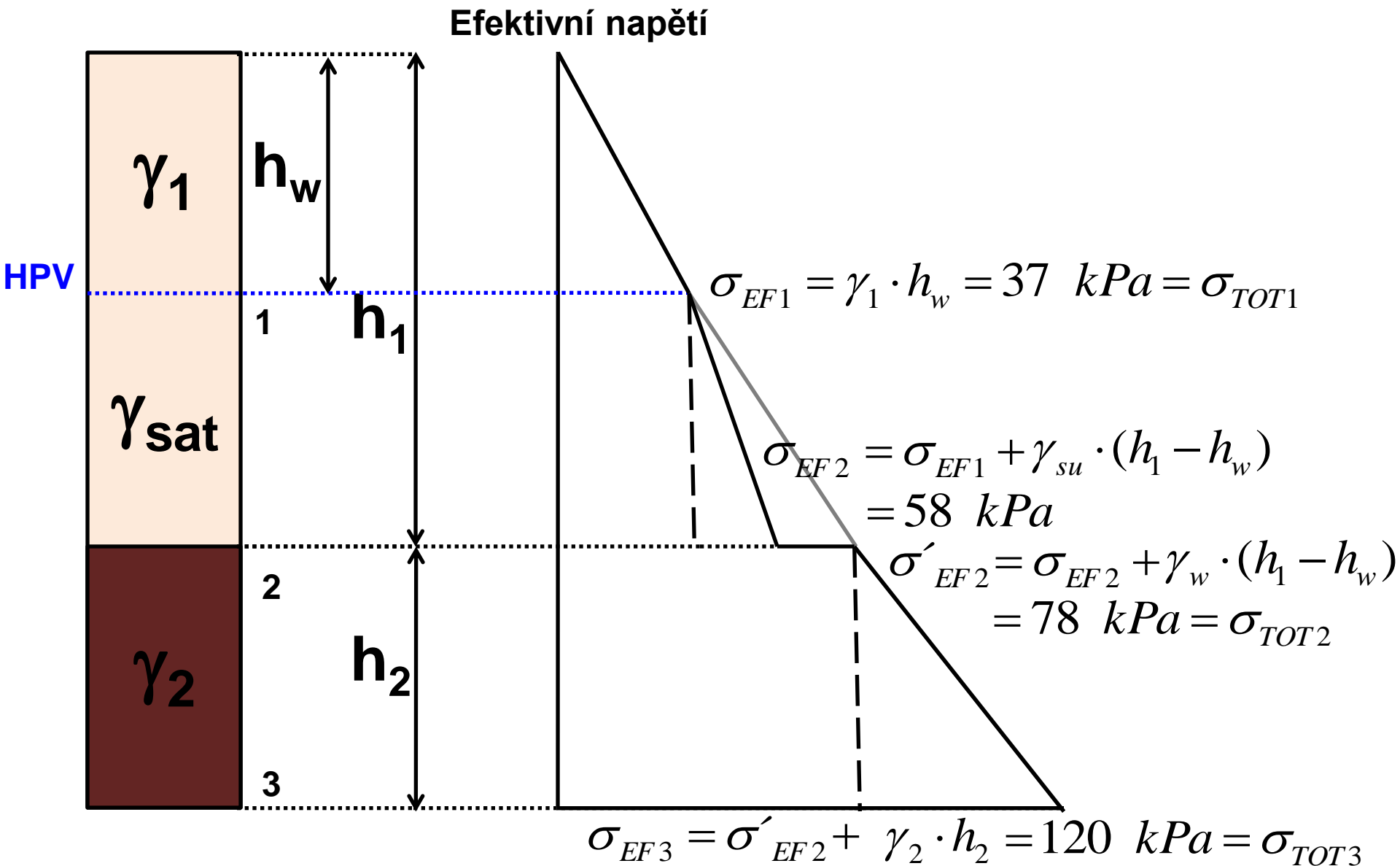
# Příklad 2



# Příklad 2



# Příklad 2

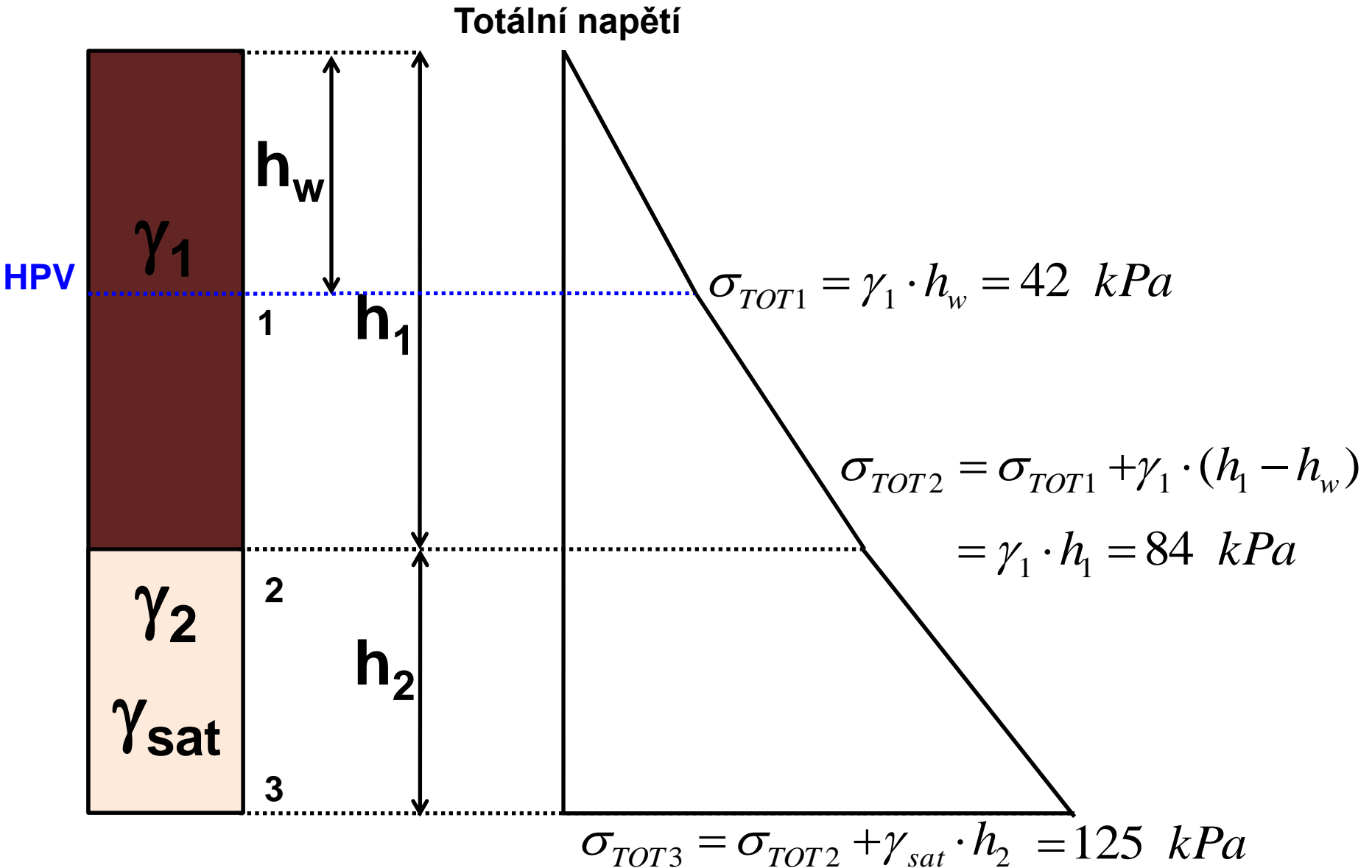


# Příklad 3

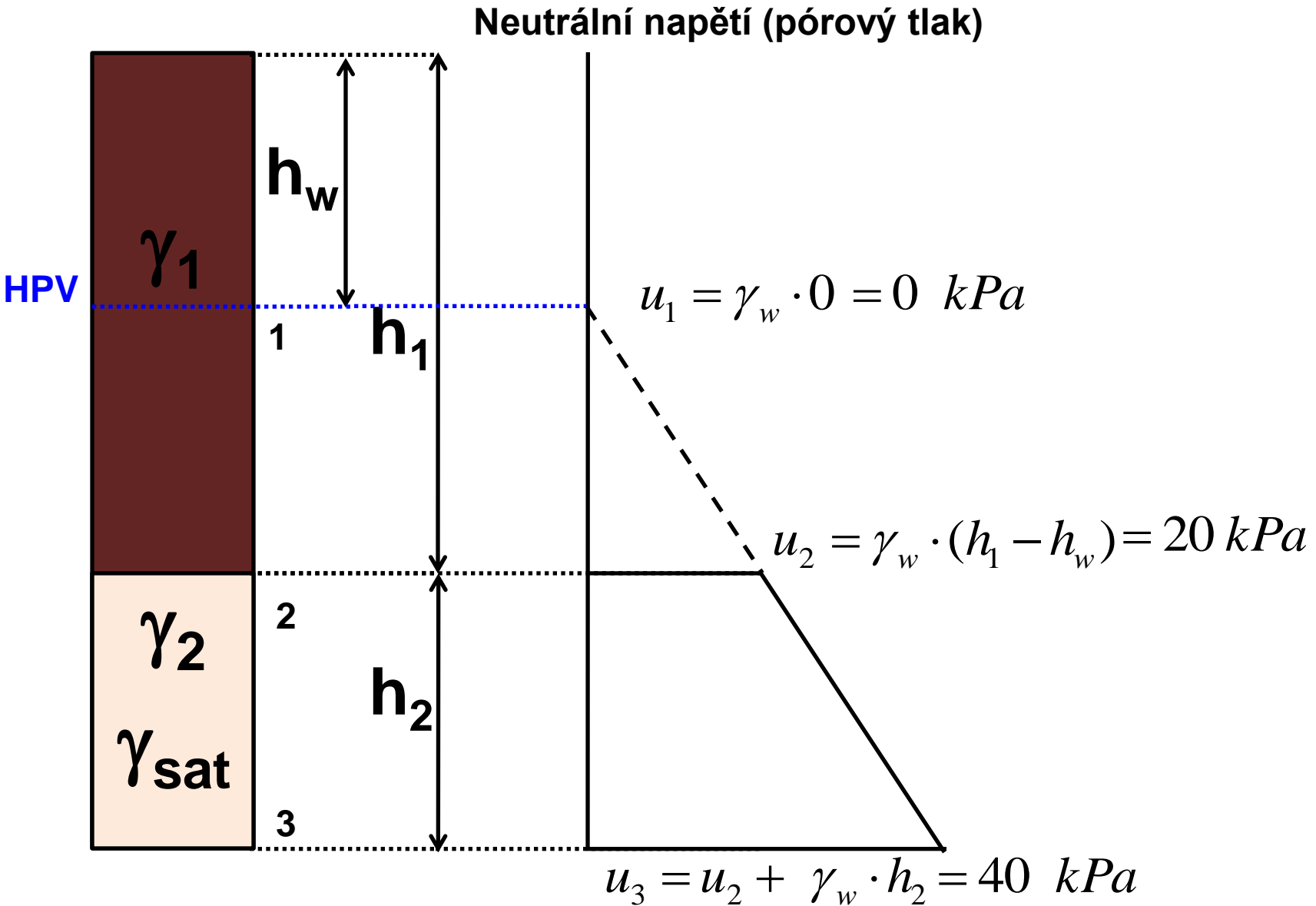
Vypočítejte a graficky vynesete průběh svislého napětí v zemině. Nastoupaná hladina podzemní vody se nachází v hloubce 2 m. Skladba zeminy je následující:

1. vrstva jílu mocnosti 4 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_1 = 21 \text{ kN/m}^3$
2. vrstva písku mocnosti 2 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_2 = 18,5 \text{ kN/m}^3$  a  $\gamma_{\text{SAT}} = 20,5 \text{ kN/m}^3$

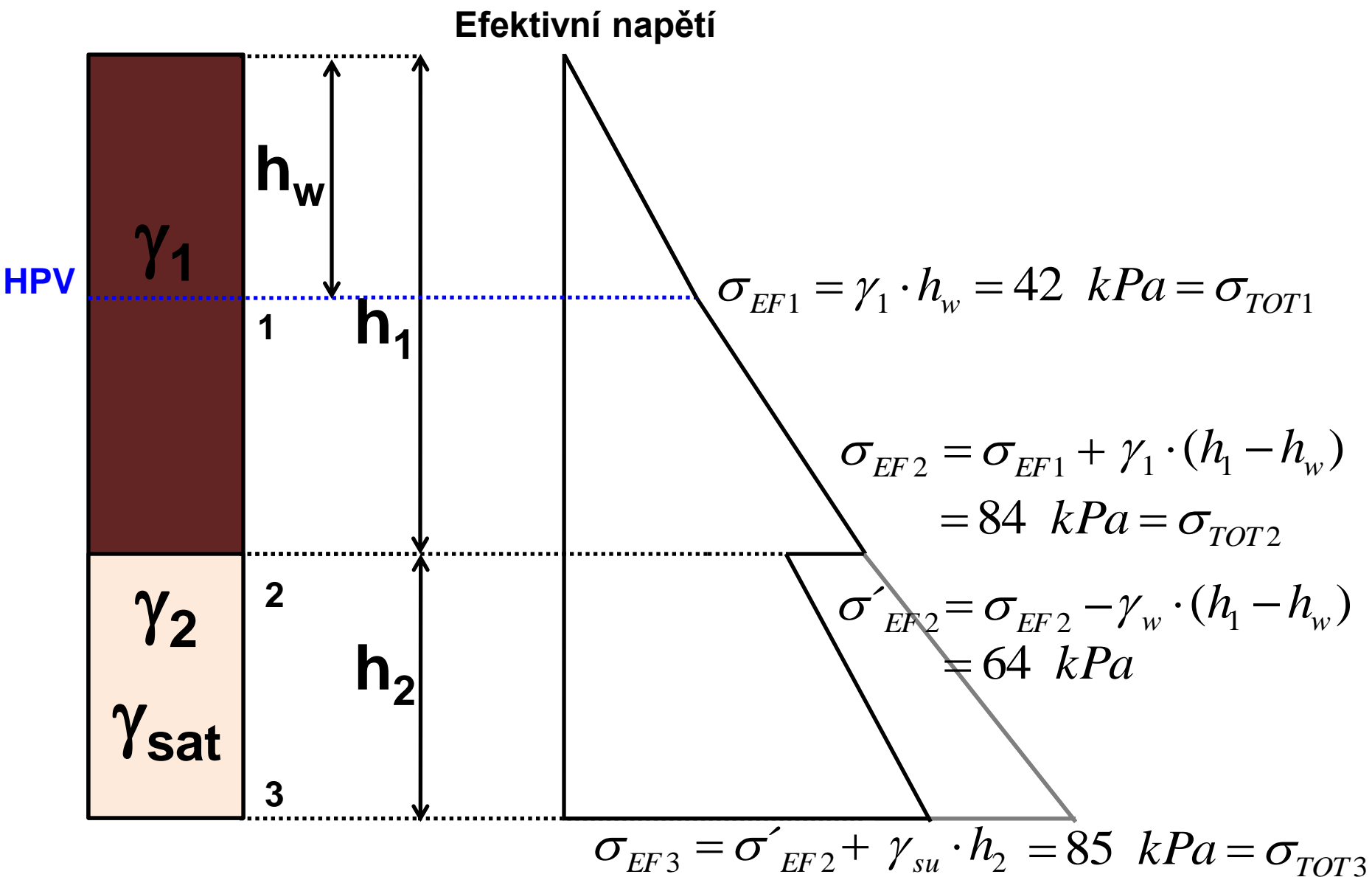
# Příklad 3



# Příklad 3



# Příklad 3



## Příklad 4

Vypočtete napětí pod základem v hloubce 6 m od původního povrchu a to pro bod ležící svisle pod rohem základu. Obdélníkový základ je založen v hloubce 2 m o rozměrech 10x5 m a je zatížen centrickou silou 50 MN. Zemina se skládá z:

1. vrstva jílu mocnosti 1 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_1 = 21 \text{ kN/m}^3$
2. vrstva písku mocnosti 2 m a objemové tíže v přirozeném uložení  $\gamma_2 = 18 \text{ kN/m}^3$  a  $\gamma_{\text{SAT}} = 20 \text{ kN/m}^3$ .

Hladina podzemní vody je v 1,5 m.



# Příklad 4

$$\sigma_{OR} = \sum \gamma \cdot d \quad \mathbf{35 \text{ kPa}}$$

$$\sigma_k = \frac{V}{A_{ef}} = \frac{V_{de}}{b \cdot l} \quad \mathbf{1000 \text{ kPa}}$$

$$\sigma_{Ol} = \sigma_k - \sigma_{OR} \quad \mathbf{965 \text{ kPa}}$$

$$A = \sqrt{z^2 + l^2} \quad \mathbf{10,8 \text{ m}} \quad \mathbf{A^2 = 116}$$

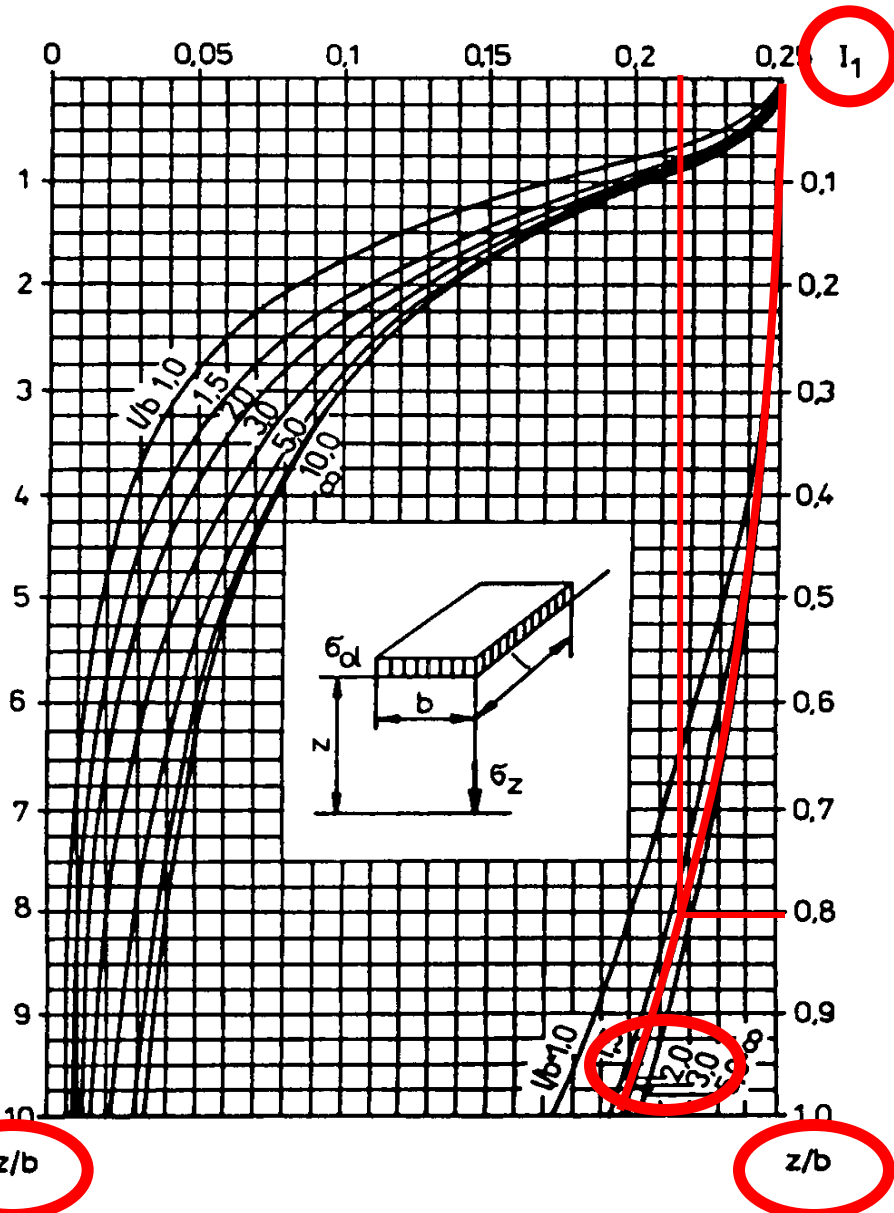
$$B = \sqrt{z^2 + b^2} \quad \mathbf{6,4 \text{ m}} \quad \mathbf{B^2 = 41}$$

$$C = \sqrt{z^2 + l^2 + b^2} \quad \mathbf{11,9 \text{ m}}$$

$$I_R = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \operatorname{arctg} \cdot \frac{b \cdot l}{z \cdot C} + \frac{b \cdot l \cdot z}{C} \cdot \left( \frac{1}{A^2} + \frac{1}{B^2} \right) \right] \quad \mathbf{0,218}$$

$$\sigma_{zR} = \sigma_{Ol} \cdot I_R \quad \mathbf{210,37 \text{ kPa}}$$

# Příklad 4



$$l = 10m$$

$$b = 5m$$

$$z = 4m$$

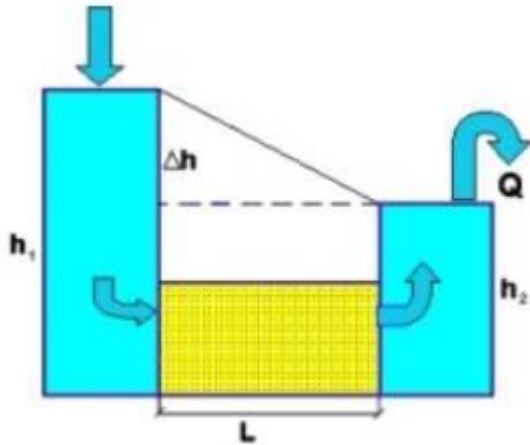
$$\frac{z}{b} = \frac{4}{5} = 0,8$$

$$\frac{l}{b} = \frac{10}{5} = 2$$

$$\underline{\underline{I_R = 0,215}}$$

# Voda v zemině

# Darcyho zákon



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

Q... průtočné množství [m<sup>3</sup>/s] (vydatnost)

F... průtočná plocha [m<sup>2</sup>]

v<sub>f</sub>... fiktivní rychlost proudění [m/s] = k.i

k... součinitel filtrace [m/s]

i... hydraulický spád (sklon) ...[%]

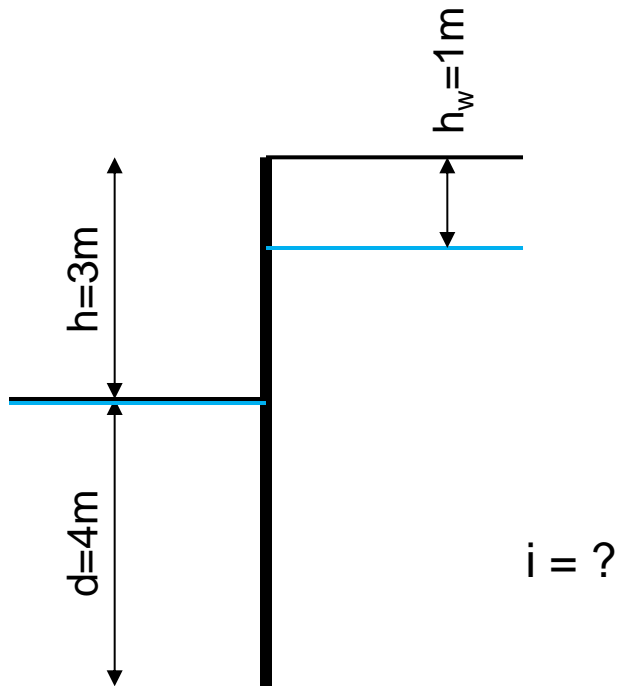
**Hydraulický spád** je dán poměrem rozdílu výšek vtokové (h<sub>1</sub>) a výtokové (h<sub>2</sub>) oblasti ku vzdálenosti těchto oblastí (L).

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

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

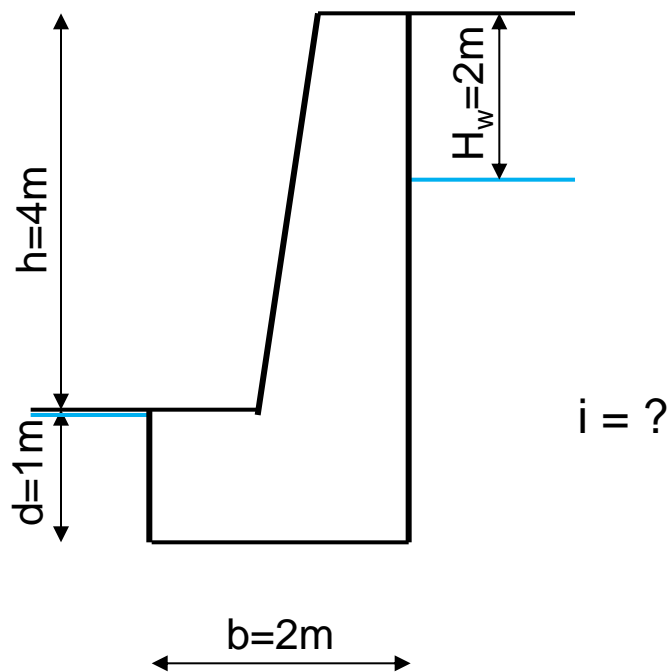
- 1) existence otevřené efektivní pórovitosti horniny (v nadkapilární velikosti pórů),
- 2) existence tak velkého hydraulického spádu, který překoná odporové síly filtrace.

# Hydraulický spád:



$$i = \Delta h / L$$

# Hydraulický spád:



$$i = \Delta h / L$$

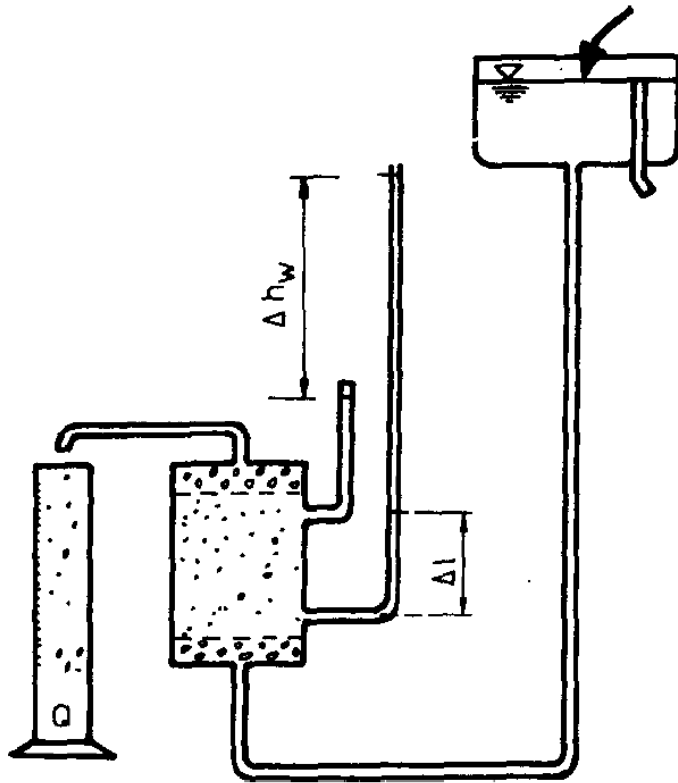
# Součinitel filtrace

Druh zeminy	Součinitel filtrace ( $m \cdot s^{-1}$ )
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  $i = \text{konst.}$



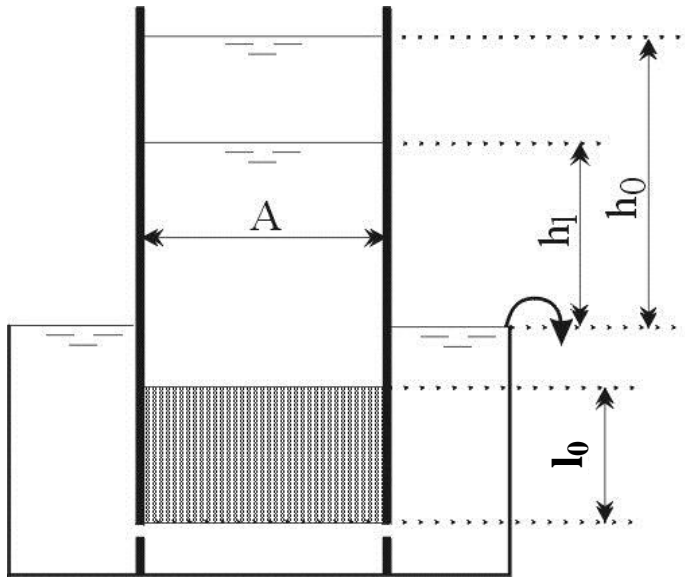
$$k = \frac{Q}{\Delta t \cdot A} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta h_w}$$

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 -  $\Delta l$  činí 80 mm a rozdíl mezi jejich piezometrickými úrovněmi -  $\Delta h_w$  činí 120 mm. Po 30 minutách bylo změřeno množství vody 6,1 litrů.



# Součinitel filtrace

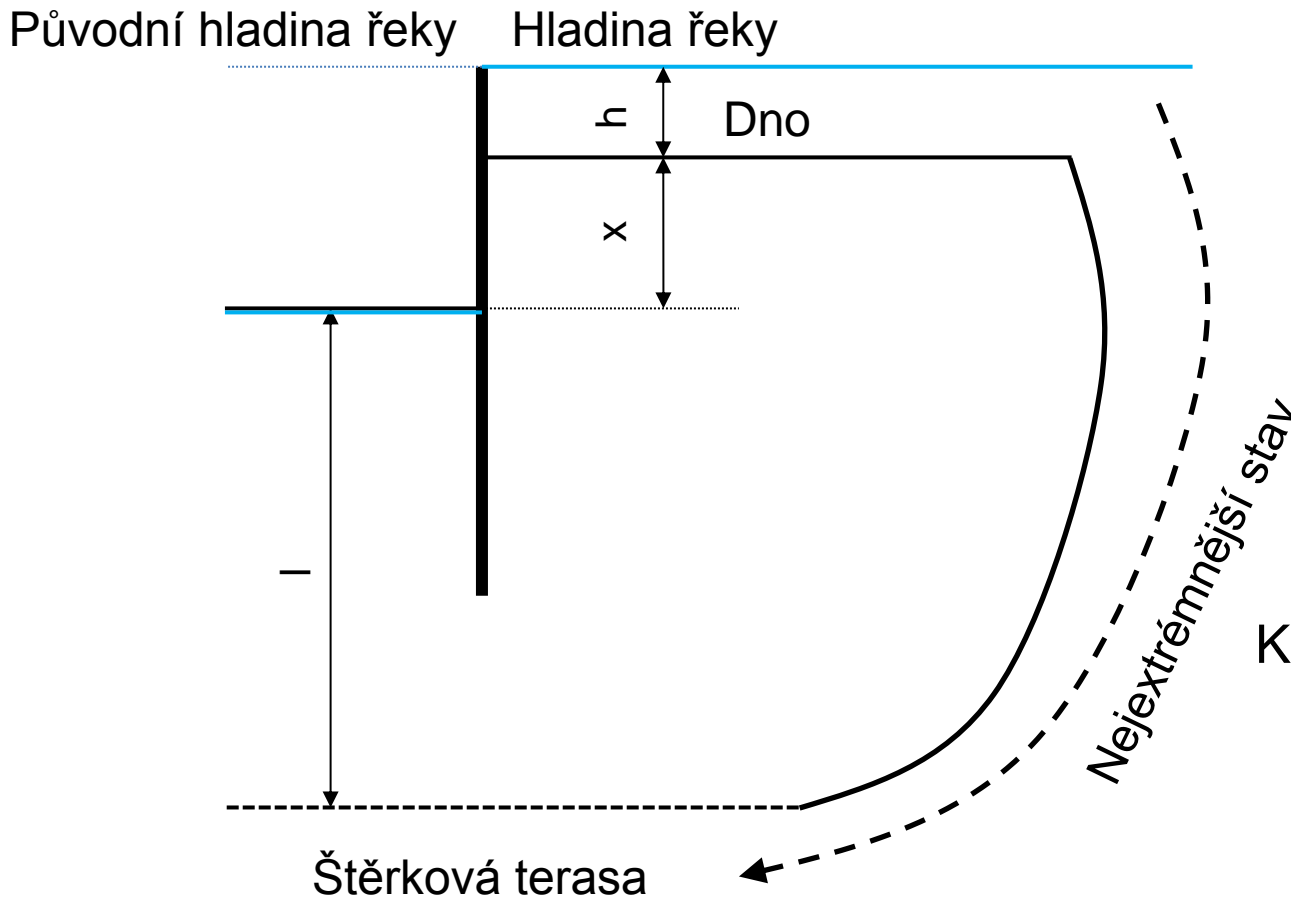
Proměnný gradient  $i \neq \text{konst.}$



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

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:

$$\gamma_n \geq \gamma_t$$