

**ČVUT V PRAZE**  
FAKULTA STAVEBNÍ  
Katedra geotechniky (K135)



# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

MODELOVÁNÍ MONOLITICKÉ PODZEMNÍ STĚNY

PŘEDMĚT: Geotechnika (135GET)

Tento studijní materiál vznikl za podpory:



**Rozvojové projekty MŠMT**  
**Rozvojové projekty mladých týmů – RPMT 2016**

**MŠMT**  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

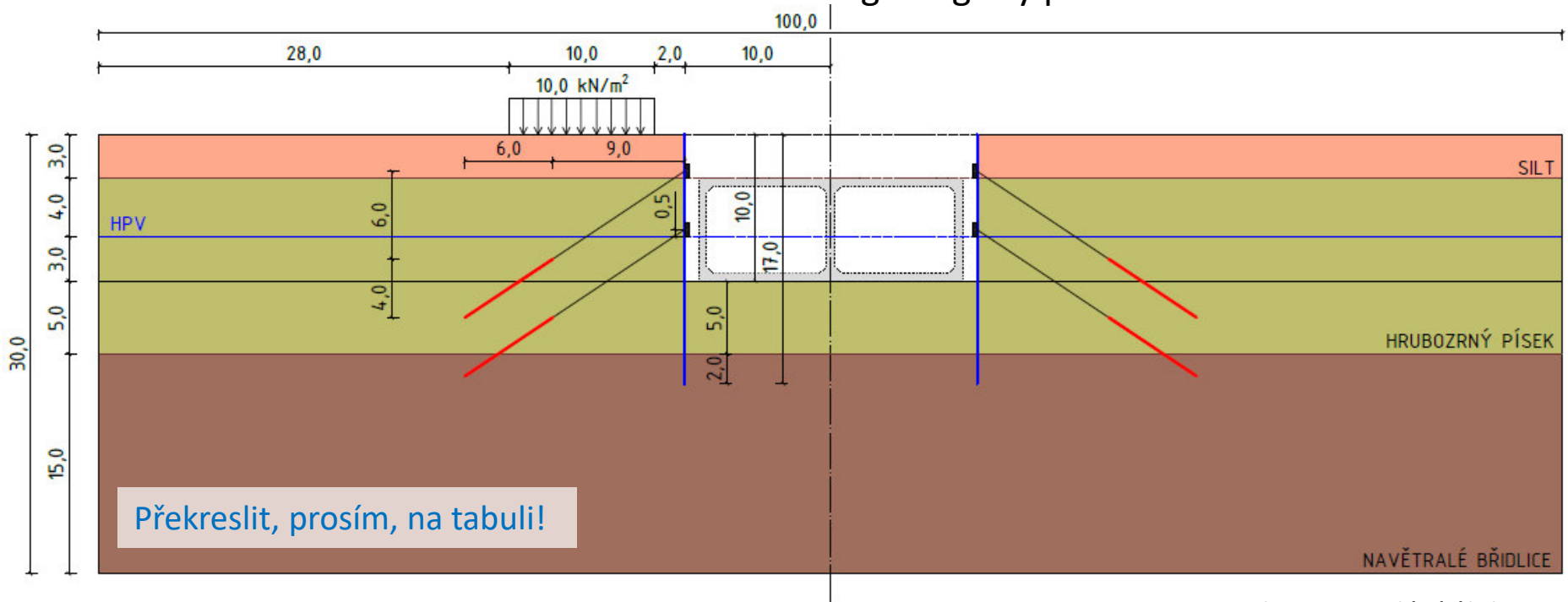
# Program

- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy**
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## V. Zadání úlohy

- Cílem úlohy je výpočet kotvené železobetonové monolitické podzemní stěny určené k zapažení stavební jámy pro budoucí úsek tunelu zhotovený metodou CUT & COVER. Geometrie a geologický profil dle schématu níže.



Obr. 20.: Zadání úlohy

Lze modelovat pouze jednu polovinu úlohy?  
Co na to říká inženýrský cit?

# Program

- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů**
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr



# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Seznámení s PLAXISem

Postupujeme v záložkách postupně zleva doprava...

**ZÁLOŽKY**

Panel příkazů (funkcí), které je možné v rámci dané záložky provést

Pracovní okno

Panel definovaných fází výpočtu

Co vše je možné vybranému prvku zadat a nastavit

Obecné nastavení modelu se všemi vytvořenými prvky

Příkazová řádka

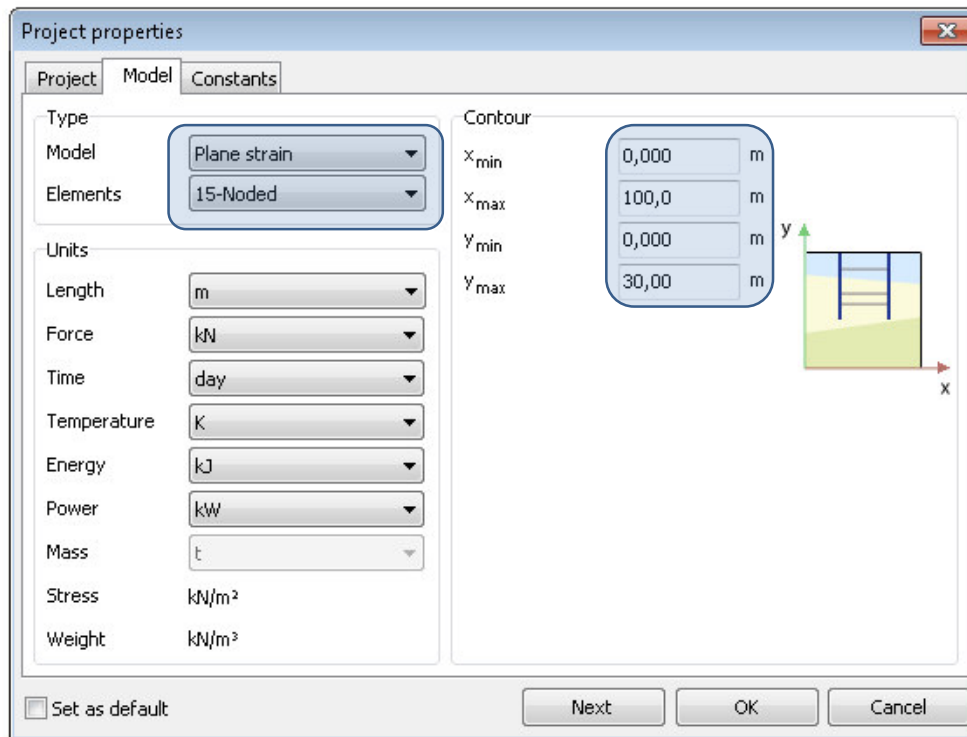
Obr. 21.: Práce s PLAXISem

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 1. definování velikosti úlohy

- po zapnutí úlohy nebo přes „File → Project properties → Model“



Obr. 22.: Zadání úlohy

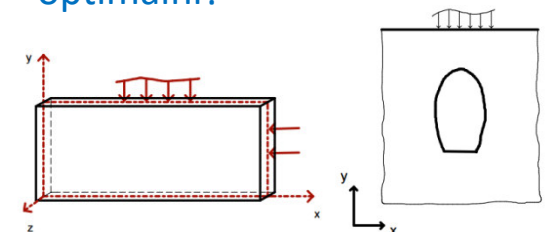
Víte jaký je rozdíl mezi rovinou napjatostí a rovinou deformací?

v této tabulce lze také:

- projekt pojmenovat
- určit v jakých jednotkách bude provedeno zadání a zobrazeny výstupy
- nastavit konstanty výpočtu

Jaký je rozměr modelu ve směru Z?


Je velikost řešené oblasti optimální?

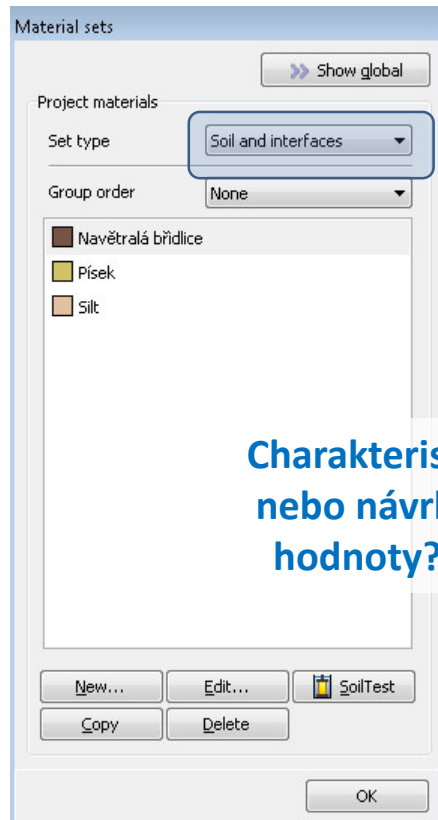


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 2. zadání jednotlivých hornin – záložka **SOIL**

- pomocí funkce „Show materials“  zadat následující parametry hornin (velice užitečná tabulka, která sdružuje všechny zadané materiály, nosníkové elementy, kotvy apod.)



**Charakteristické  
nebo návrhové  
hodnoty?!!!?**

Veličina/Název	Silt	Písek	Nav. břidlice
$\gamma_{unsat} [kN \cdot m^{-3}]$	16,0	17,0	22,0
$\gamma_{sat} [kN \cdot m^{-3}]$	20,0	20,0	23,0
Materiálový model	MC	MC	MC
$E [MPa]$	5,0	30,0	80,0
$\nu [-]$	0,35	0,3	0,25
$c' [kPa]$	2,0	0,0	50,0
$\phi' [^\circ]$	25,0	30,0	35,0
$k_x = k_y [m \cdot den^{-1}]$	0,6	7,0	0,3
Součinitel interaface	0,6	0,6	0,6

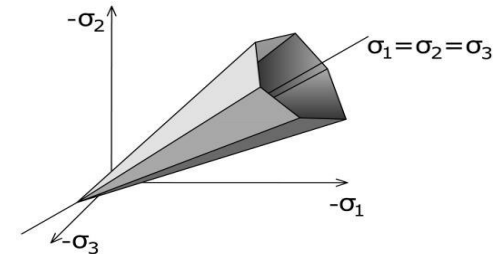
V tabulce materiálů vyplňujeme JEN to, čemu rozumíme!  
Co znamená MC u materiálového modelu?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

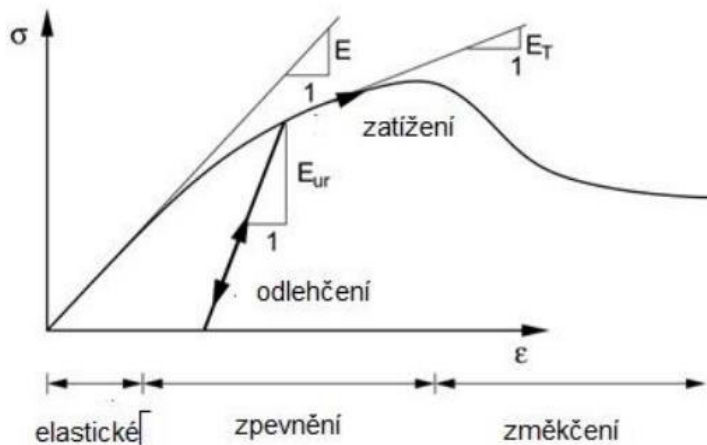
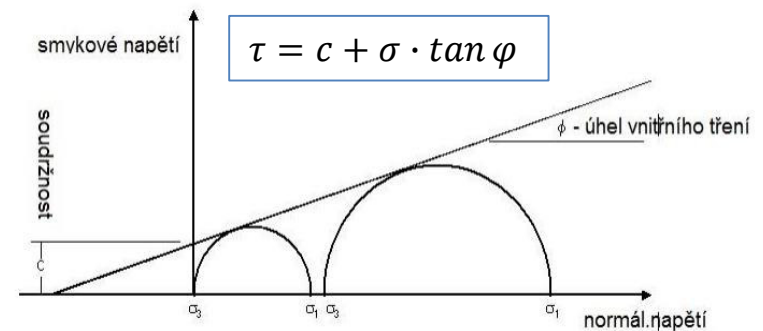
## VSUVKA

### Mohr-Culombova podmínka plasticity

- šestiboký jehlan v prostoru hl. napětí
- ostré vrcholy → komplikace při MKP
- parametry materiálu:  $\gamma, E, \nu, \varphi, c, \psi$   
→ standartní laboratorní výstupy
- tradiční mechanika zemin je na ní založena
- v praxi drtivě převládá

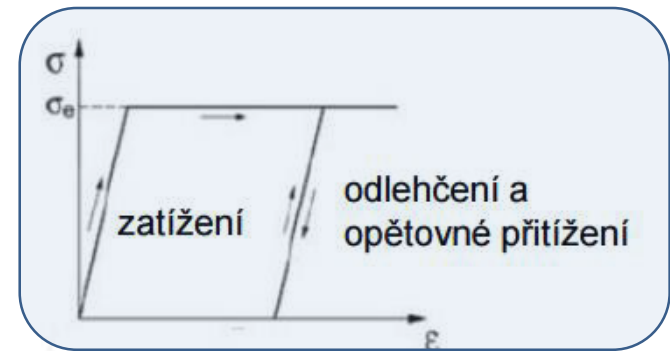


Analogie s kvádrem na nakloněné rovině



Reálný materiál

X




Pružný, ideálně plastický mat.

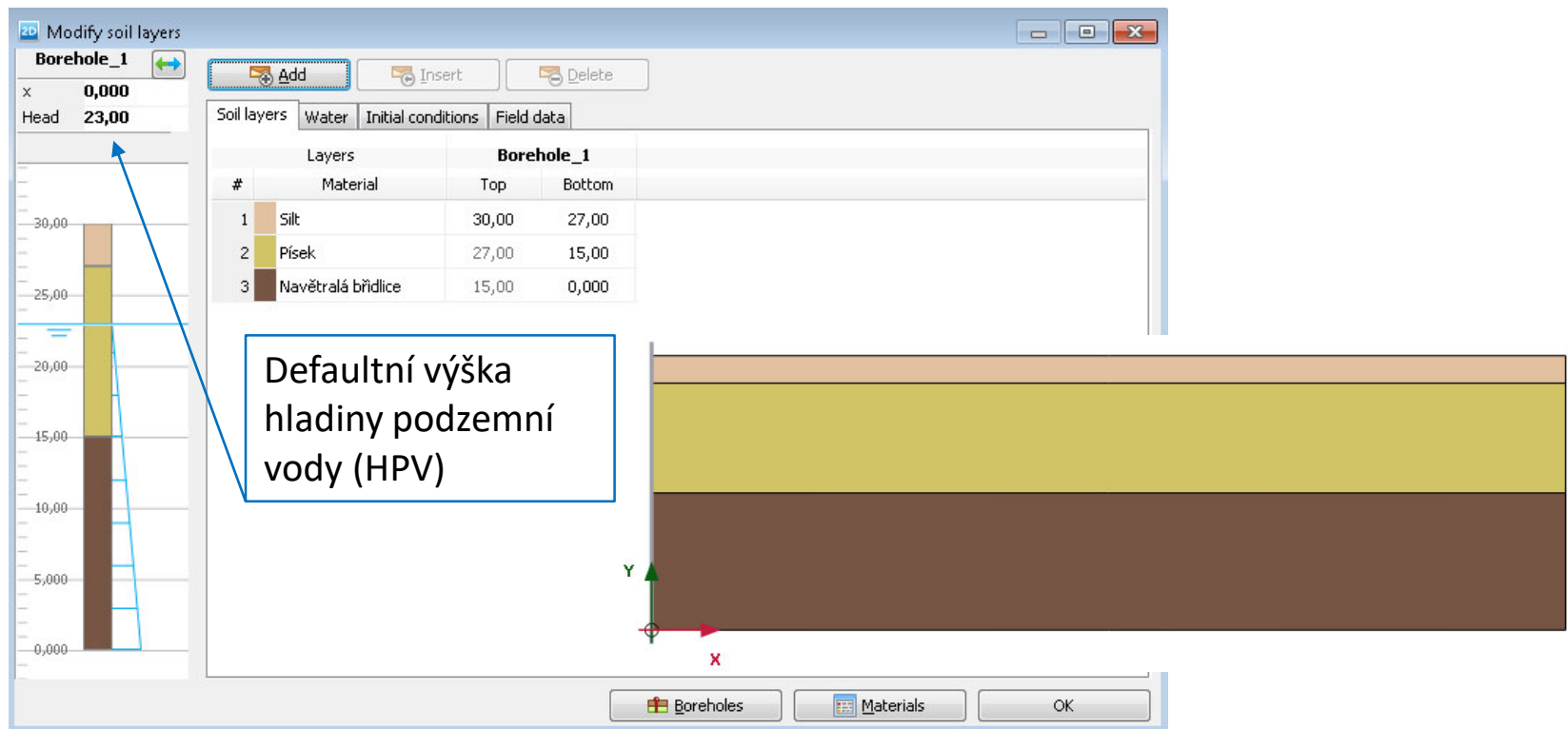
# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 3. definování geologického profilu – záložka **SOIL**

- pomocí funkce „Create borehole“ 

Co to znamená anglicky  
Borehole?



Layers			
Borehole_1			
#	Material	Top	Bottom
1	Silt	30,00	27,00
2	Písek	27,00	15,00
3	Navětralá břidlice	15,00	0,00

Defaultní výška  
hladiny podzemní  
vody (HPV)

Obr. 24.: Zadání horninového prostředí

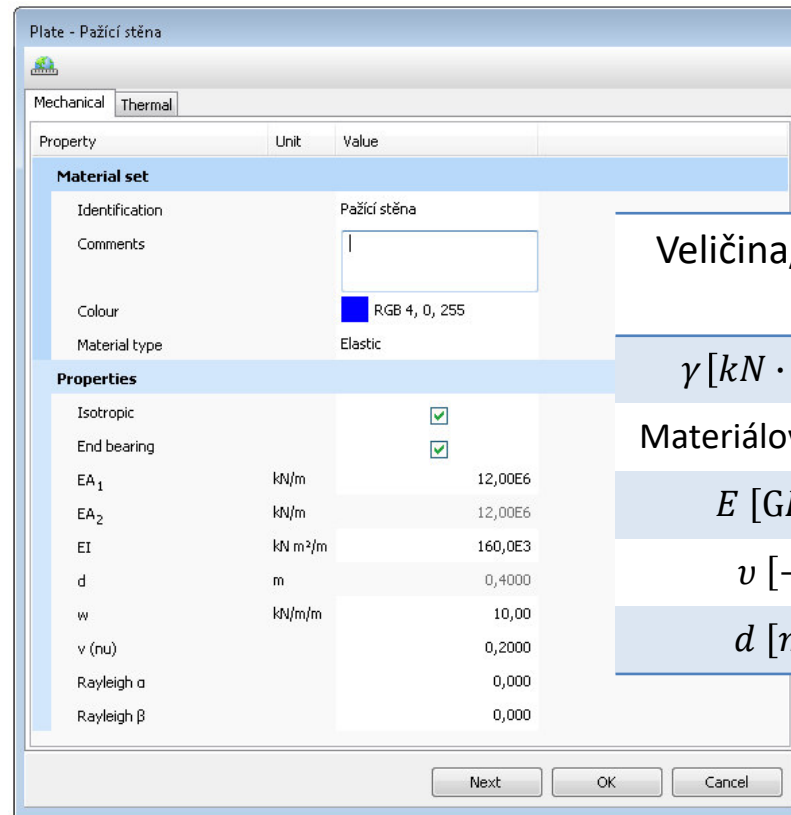
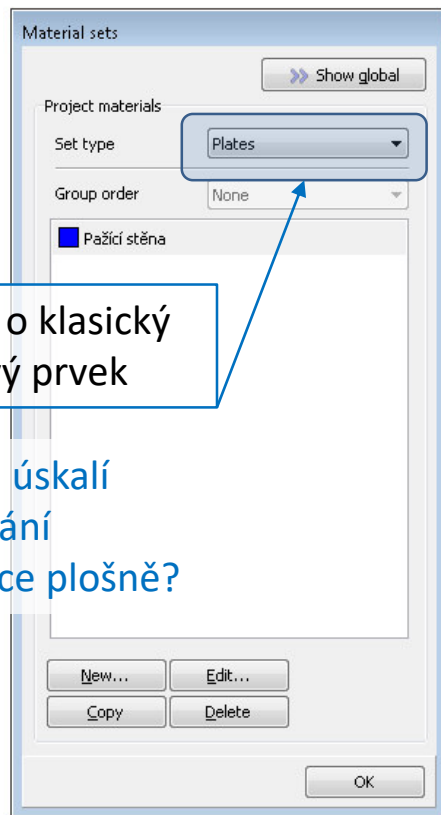
Jaké jsou v PLAXISu možnosti zadání  
nerovnoměrných vrstev a terénu?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 4. definování vlastností podzemní stěny – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Show materials“  zadat parametry podzemní stěny



Jedná se o klasický nosníkový prvek

Jaká jsou úskalí modelování konstrukce plošně?

Veličina/Název	Podz. stěna
$\gamma [kN \cdot m^{-3}]$	25,0
Materiálový model	ELASTIC
$E [GPa]$	30,0
$\nu [-]$	0,2
$d [m]$	0,4



Obr. 25.: Tabulka materiálů

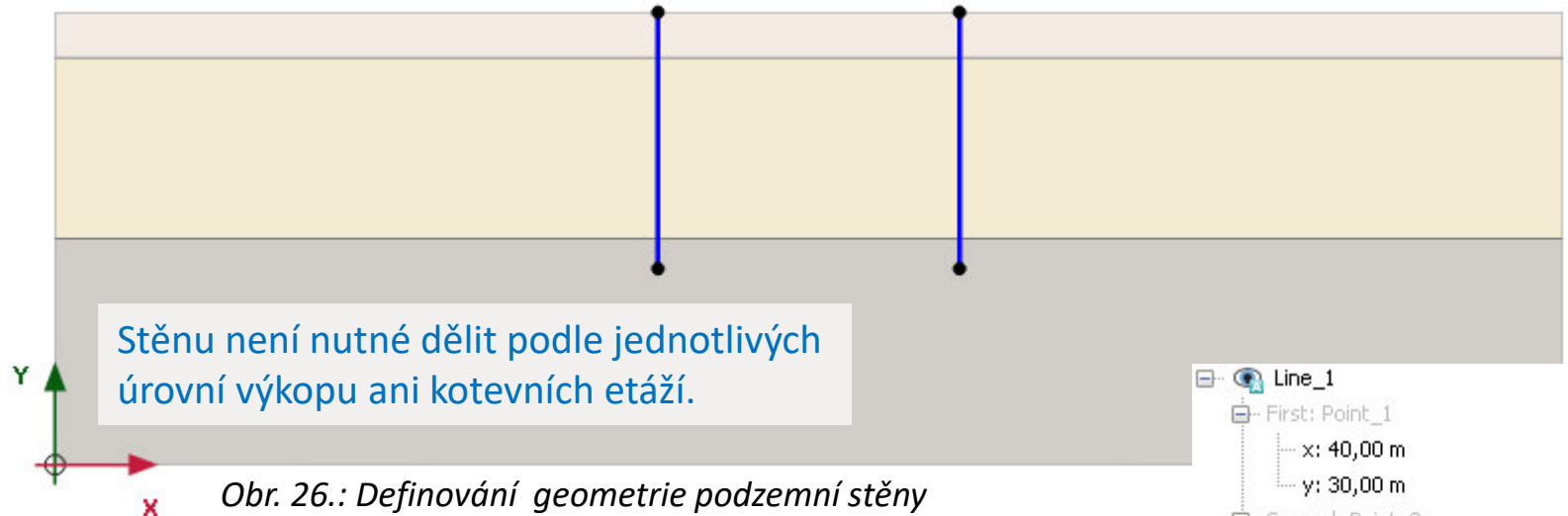
Proč se zadává normálová a ohybová tuhost a ne rozměry a E?  
Jak by se modelovala např. nesouvislá pilotová stěna?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 5. definování geometrie podzemní stěny – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Create line“  → funkce „Create plate“  definování začátku a konce podzemní stěny pomocí „gridu“ pracovní plochy nebo zapsáním souřadnic





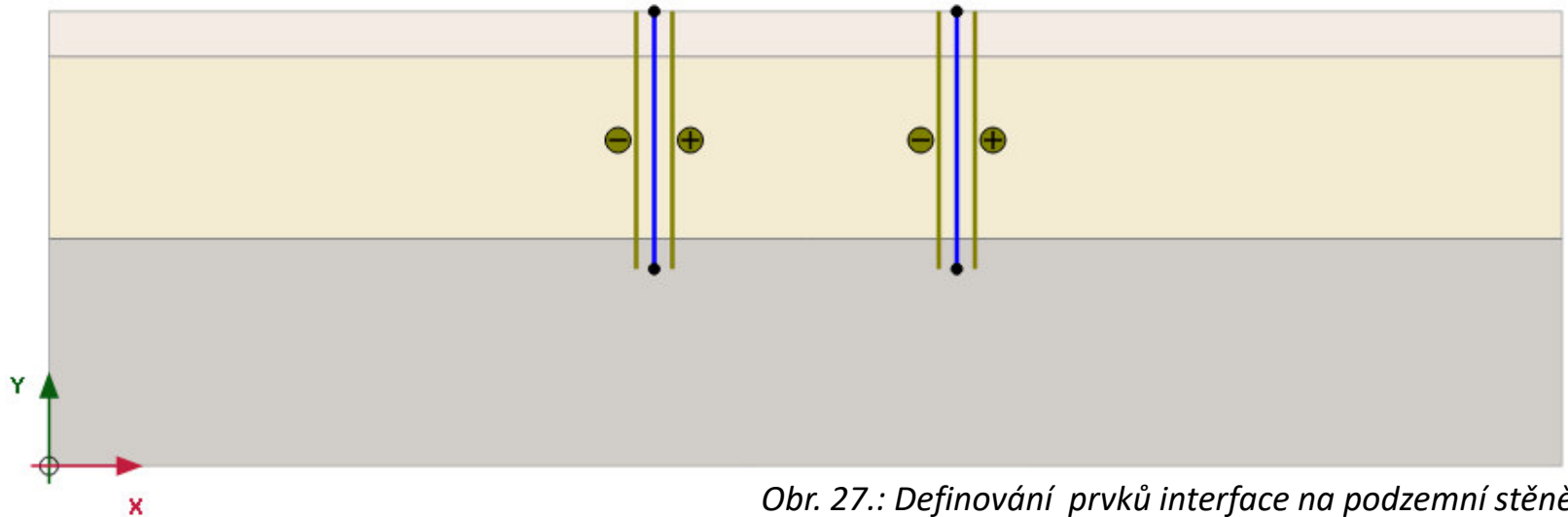
- prutovému prvku „plate“ je nutné přiřadit příslušný materiál (definovaný na minulém snímku)  
→ v okně „Selection explorer“

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 6. zadání kontaktních prvků – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Create line“  → funkce „Create interface“  obalení podzemní stěny kontaktními prvky



- prvky interface je nutné umístit z obou stran podzemní stěny tažením seshora-dolů a poté zespona-nahoru

Co to jsou prvky interface?  
K čemu slouží?

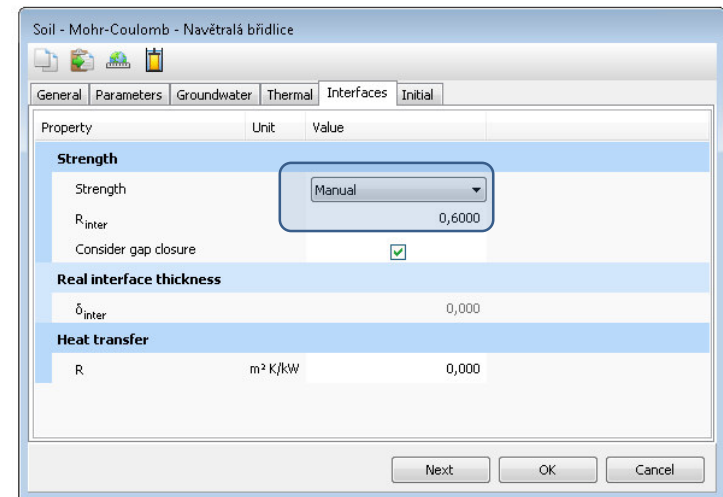
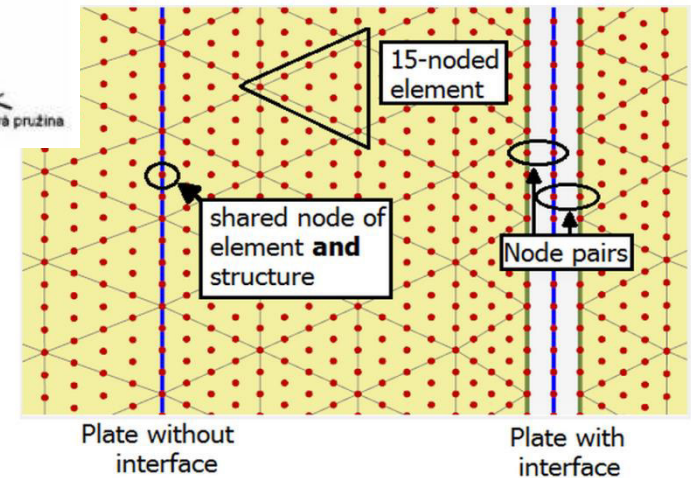
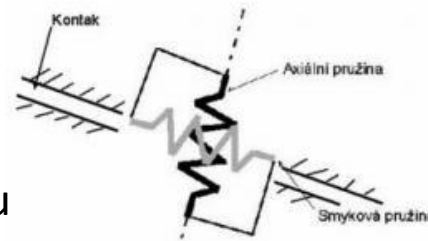


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VSUVKA

### Kontaktní prvky – interface

- modelování kontaktu mezi konstrukčními prvky a okolním prostředím (rozhraní dvou zcela odlišných materiálů)
- bez prvku interface uzly pevně spojeny → nereálné výsledky
- prvky s interface mají zdvojené uzly mezi kterými jsou dvě elasticko, ideálně plastické pružiny
- PLAXIS přepočítává parametry pružin z materiálových parametrů přilehlého prostředí (zemín)
- míra spolupůsobení se zadává pro každý materiál zvlášť hodnotou  $R_{inter} \in (0,01; 1,0)$



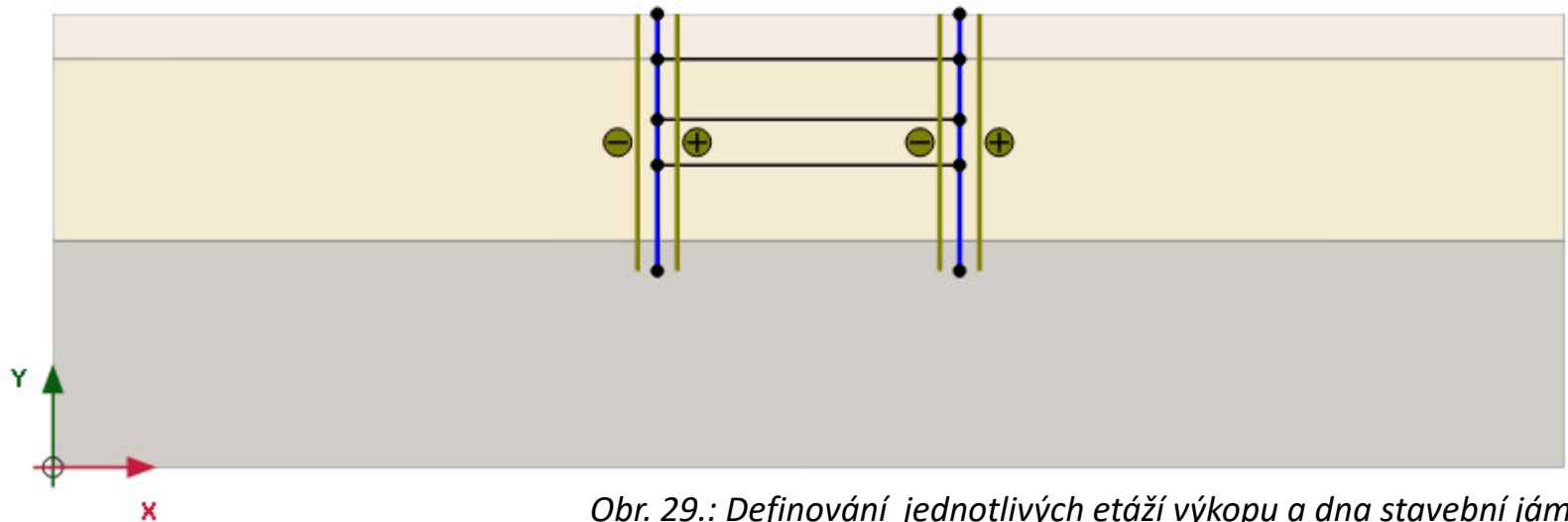
Obr. 28.: Princip fungování kontaktních prvků

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

7. zadání jednotlivých etáží výkopu a dna stavební jámy – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Create line“ 



Obr. 29.: Definování jednotlivých etáží výkopu a dna stavební jámy

- jednotlivé oblasti i podzemní stěna se rozdělí podle nadefinovaných linií

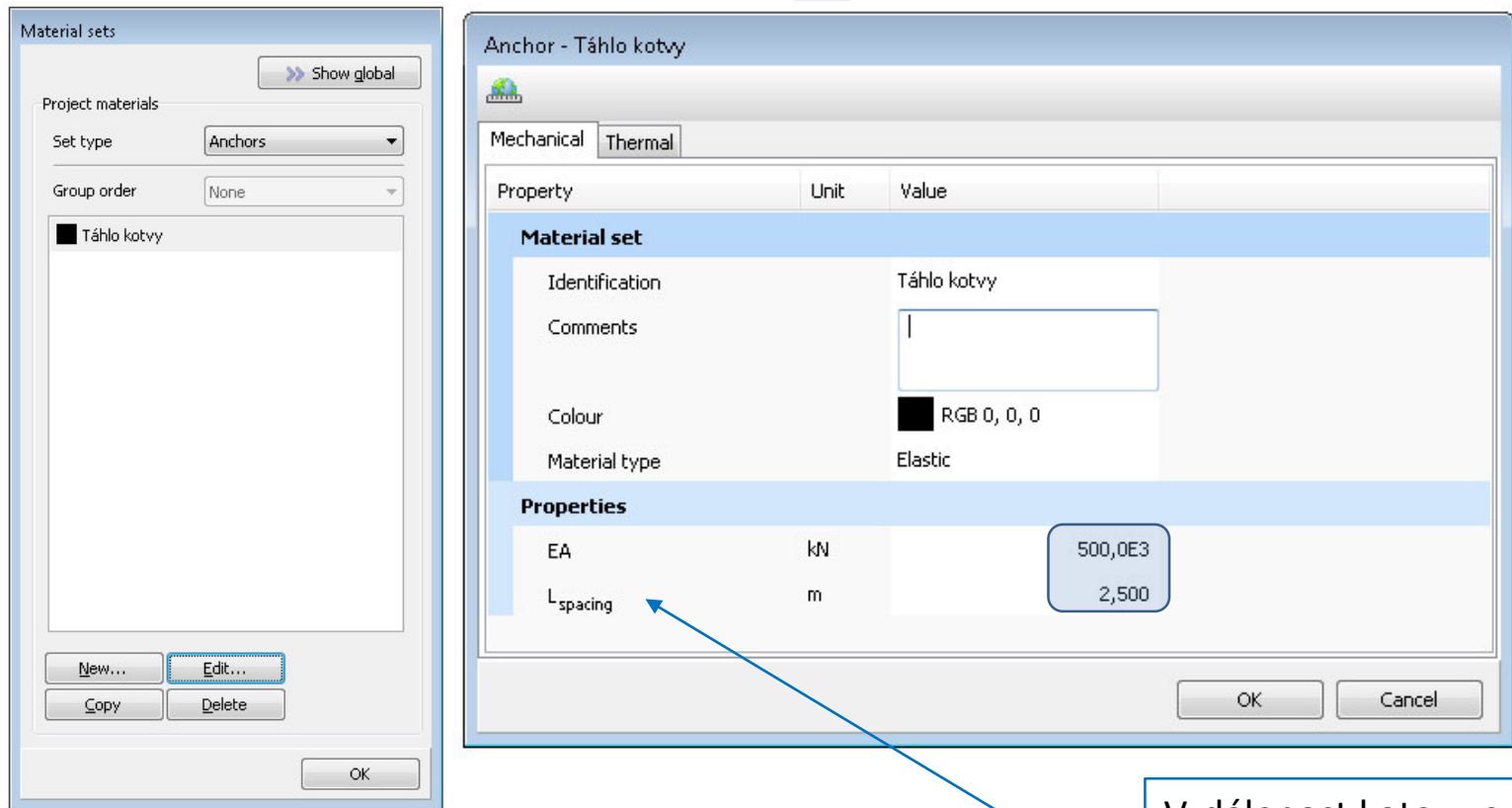
Co říká inženýrský cit na hloubku  
vetknutí této podzemní stěny?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 8. zadání parametrů horninových kotev – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Show materials“  zadat parametry táhla kotvy




Obr. 30.: Tabulka materiálů

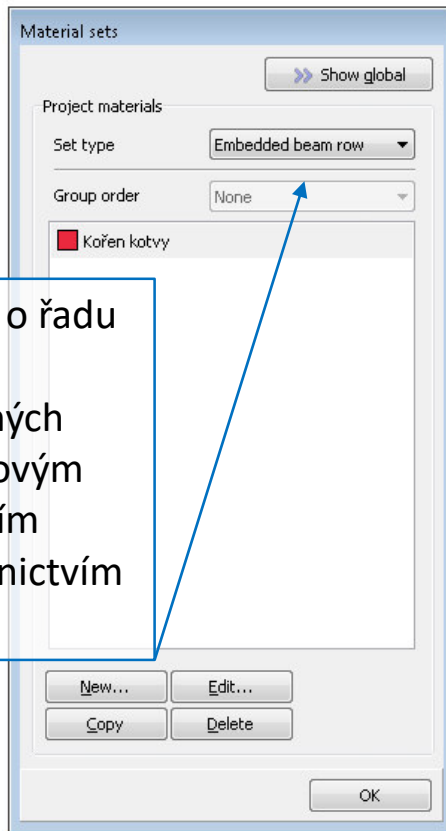
Vzdálenost kotev ve směru Z je 2,5 m

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

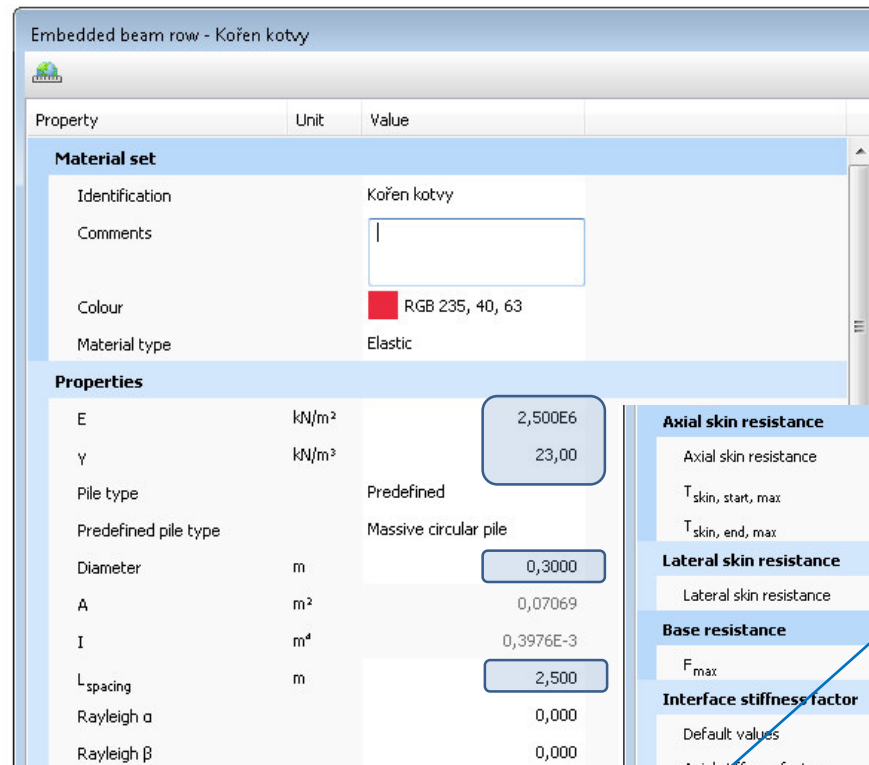
### 9. zadání parametrů horninových kotev – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Show materials“  zadat parametry kořene kotvy



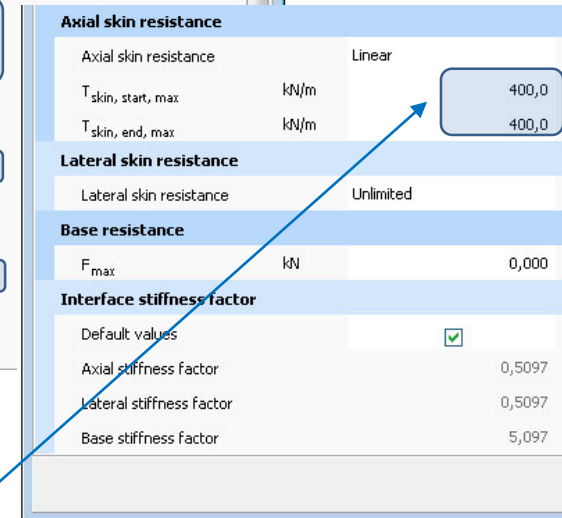
Jedná se o řadu pilot propojených s horninovým prostředím prostřednictvím pružin

Obr. 31.: Tabulka materiálů



Při určitém namáhání je umožněn prokluz

Zkuste popsat postup výstavby horninových kotev.

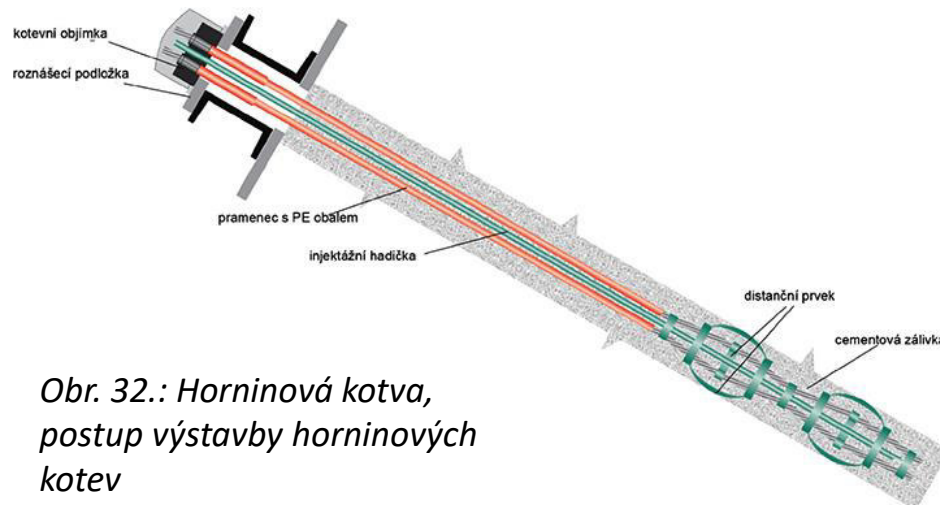


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

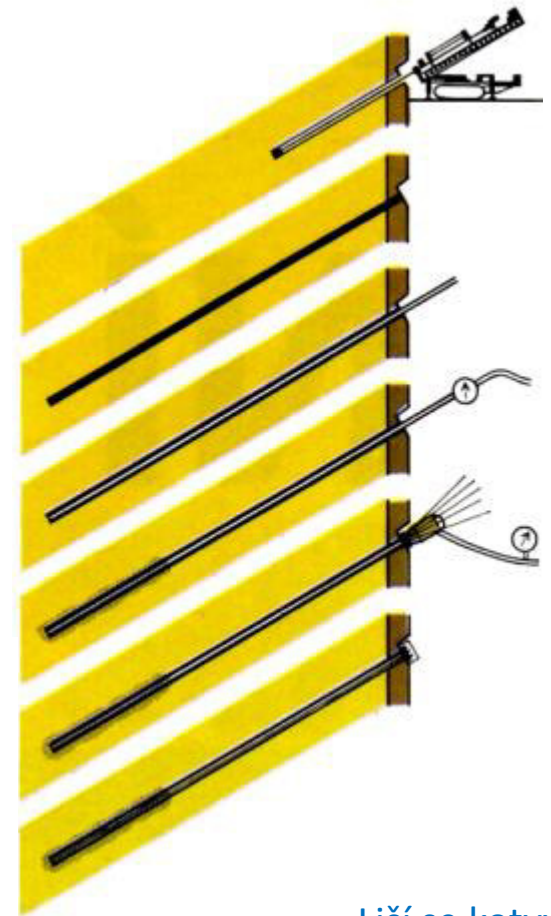
## VSUVKA

### Horninové kotvy

- slouží jako podpory konstrukce k přenosu tahových sil do horninového prostředí
- postup výstavby: vrtání vrtu
  - osazení kotvy s manžetovou trubicí
  - zalití zálivkou → injektáž kořene
  - sestavení hlavy kotvy → předepnutí
- tři hlavní části: hlava, táhlo, kořen
- kotvy: tyčové, drátové, **pramencové**



Obr. 32.: Horninová kotva,  
postup výstavby horninových  
kotev



Liší se kotvy  
dočasné a kotvy trvalé?

Jak se provádí injektáž  
kořene manžetovou trubicí?



# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VSUVKA

### Horninové kotvy

Vrtání a osazování kotvy



Hlava horninové kotvy



Obr. 33.: Horninová kotva

Napínání kotvy





Detail budoucího kořene trvalé kotvy

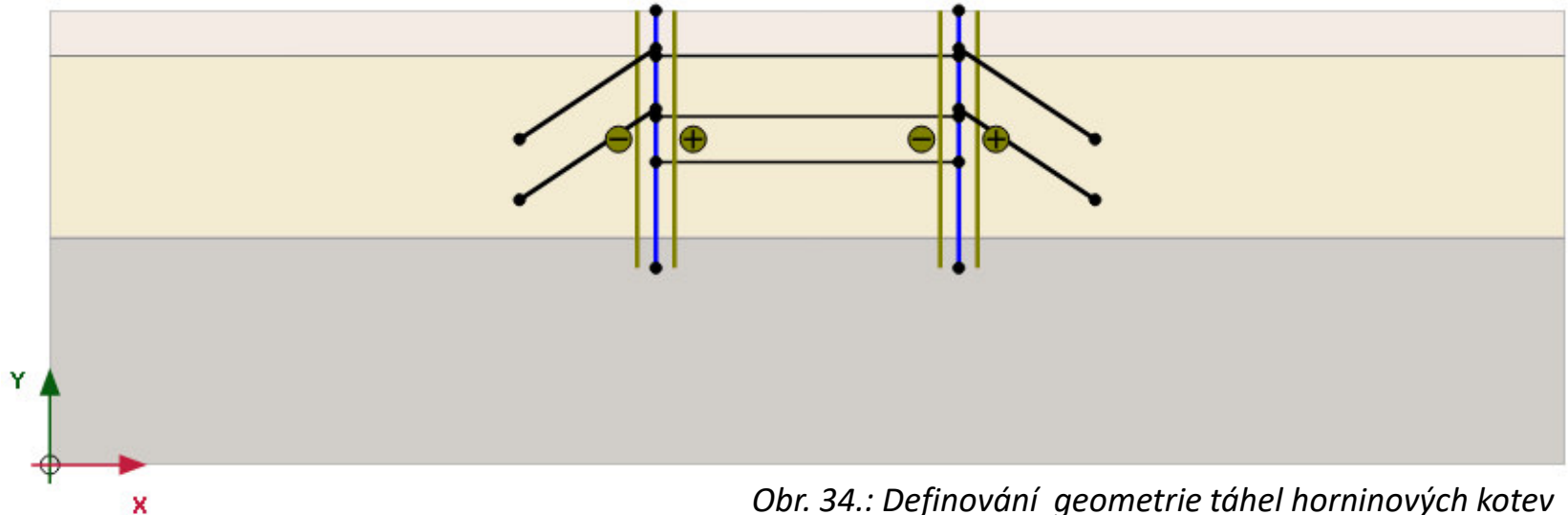


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 10. modelování táhel horninových kotev – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Create line“  → funkce „Create node-to-node anchor“  vytvořit táhla všech kotev



Obr. 34.: Definování geometrie táhel horninových kotev

- nezapomenout táhlům kotev přiřadit odpovídající materiál



Je sklon horninových kotev optimální?

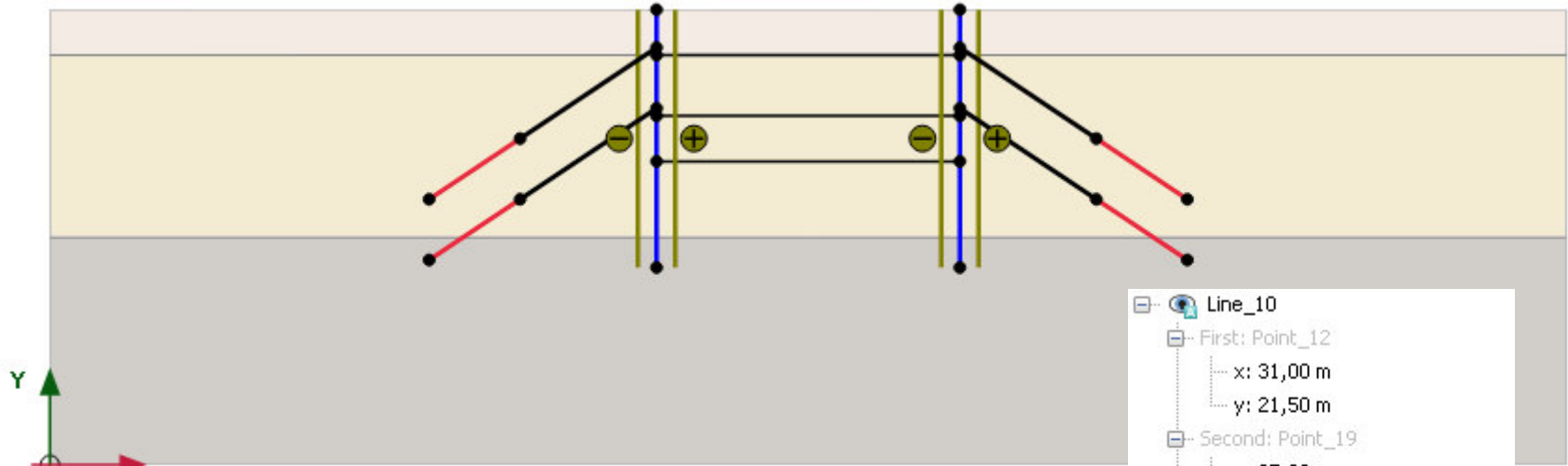
Jak se ve skutečnosti chová táhlo horninových kotev a jak je tomu v případě MKP?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 11. modelování kořenů horninových kotev – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Create line“  → funkce „Create embedded beam row“  vytvořit kořeny všech kotev



Obr. 35.: Definování geometrie kořenů horninových kotev

- nezapomenout kořenům kotev přiřadit odpovídající materiál
- nastavit správně okrajové podmínky kořene kotvy

Line\_10



- First: Point\_12
  - x: 31,00 m
  - y: 21,50 m
- Second: Point\_19
  - x: 25,00 m
  - y: 17,50 m
- EmbeddedBeamRow\_1
  - Material: KořenKotvy
    - Colour: ■
  - Apply strength reduction:
  - Behaviour: Pile
  - Connection point: Top
  - Connection: Free

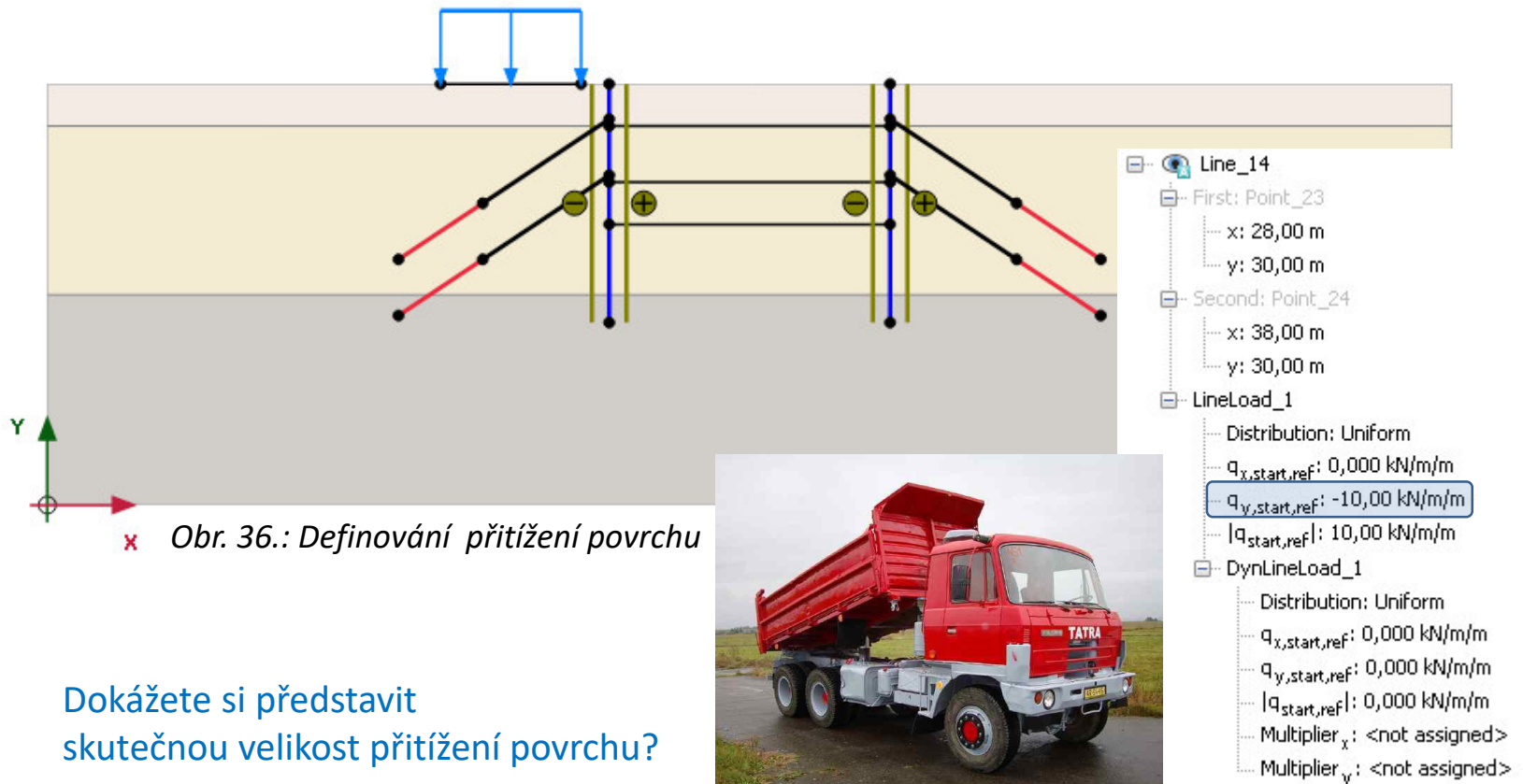


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů

### 12. zadání přitížení povrchu – záložka **STRUCTURE**

- pomocí funkce „Create line“  → funkce „Create line load“  vytvořit přitížení povrchu staveništní dopravou





# Program

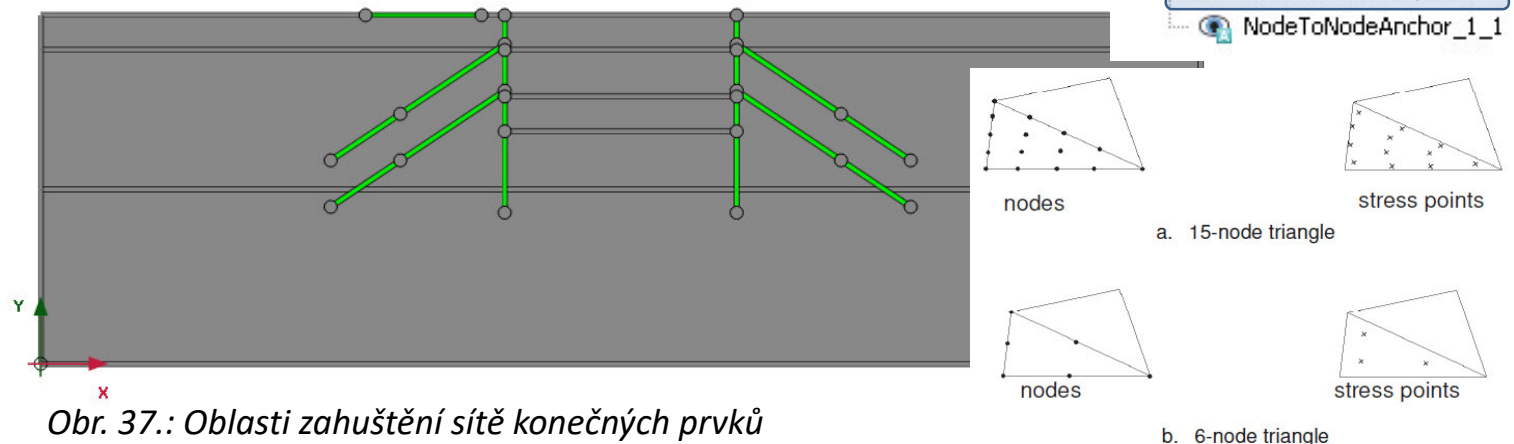
- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě**
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VII. Vytvoření sítě

### 1. Generace správně zahuštěné sítě – záložka **MESH**

- pomocí funkcí z této záložky  ,  lze ve vybrané oblasti nebo na vybrané linii upravit poklikáním hustotu sítě konečných prvků (čím světlejší barva, tím bude síť jemnější)
- číselnou relativní hodnotu hustoty sítě lze zadat pomocí „Coarsness factor“ ( $\approx 0,0 - 1,0 >$  v okně „Slection explorer“ pro prvek nebo oblast)
- **sít je třeba zahušťovat pouze v místech zájmu!**




Který typ konečných prvků je přesnější a který zase vhodnější pro lepší zasítování složité geometrie? Trojúhelníkové x čtyřúhelníkové?

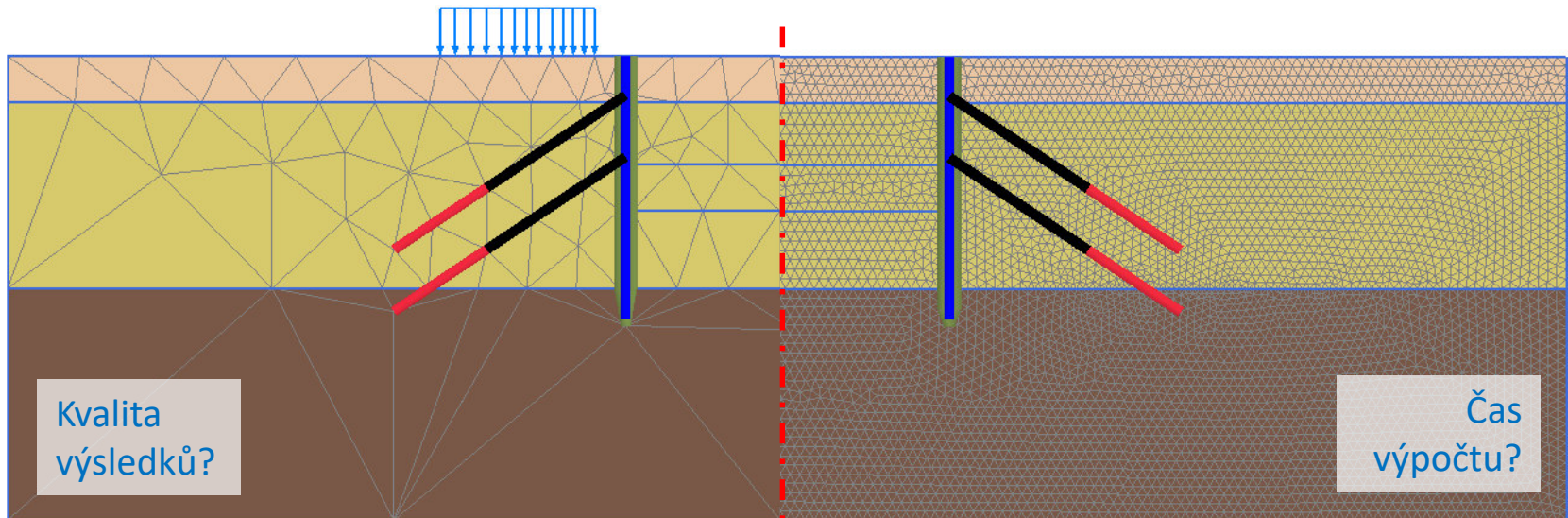
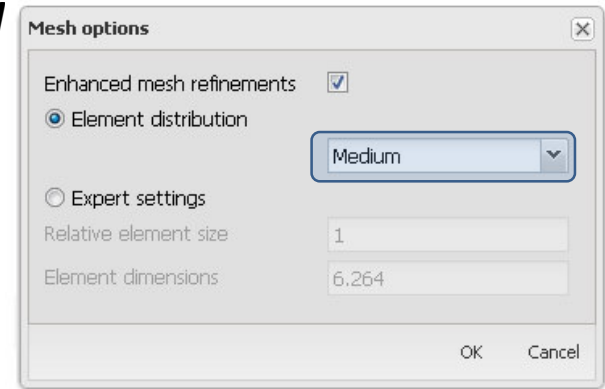
Jaký je obecně vhodný tvar konečných prvků a vztah k celkové velikosti?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VII. Vytvoření sítě

### 2. Generace správně zahuštěné sítě – záložka **MESH**

- poté co jsou definovány oblasti jemnější sítě konečných prvků lze přistoupit ke generování sítě pomocí funkce „Generate mesh“ 
- v dialogovém okně je nutno zadat globální drsnost a sít se může vygenerovat




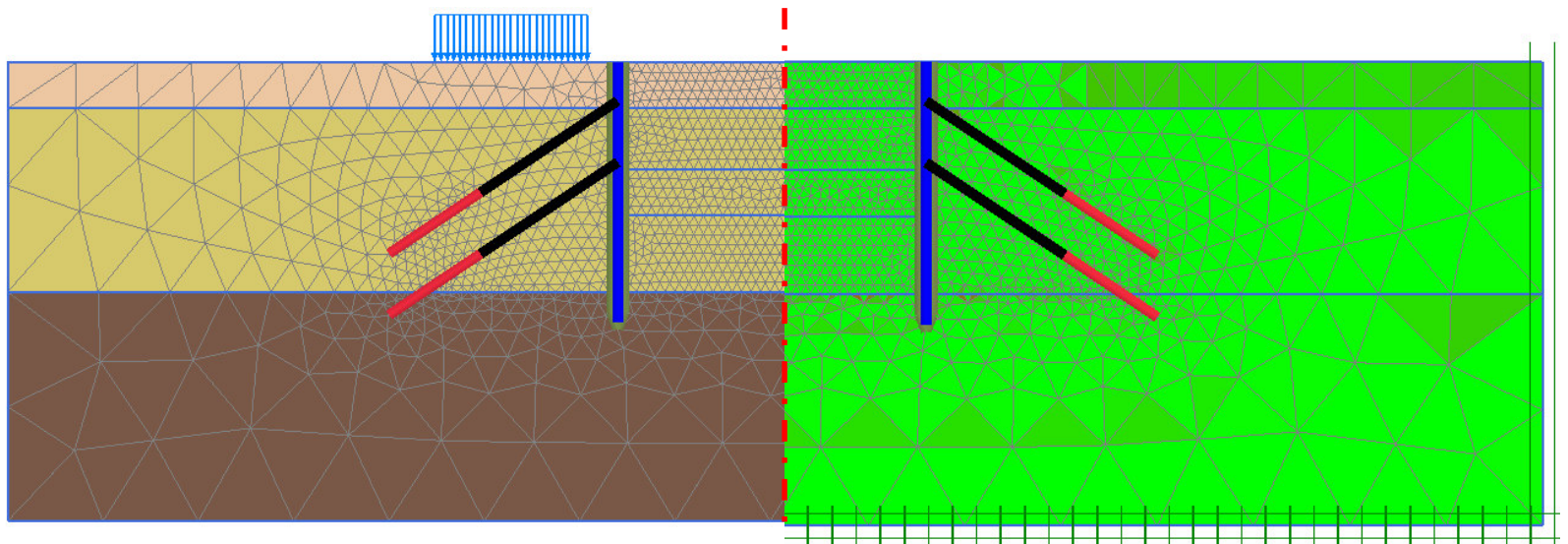
Obr. 38.: Příklady nesprávně zahuštěné sítě konečných prvků

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VII. Vytvoření sítě

### 3. Prohlédnutí sítě konečných prvků – záložka **MESH**

- vygenerovanou síť si lze prohlédnout ve vyskakovacím okně pomocí funkce „View mesh“ 
- v tomto okně je také zobrazení kvality sítě (čím světlejší barva, tím lepší)



Obr. 39.: Finální síť konečných prvků a její kvalita se znázorněnými okrajovými podmínkami

Jak si představujete standartní okrajové podmínky („standart fixities“) definované pro takovou geotechnickou úlohu?

# Program

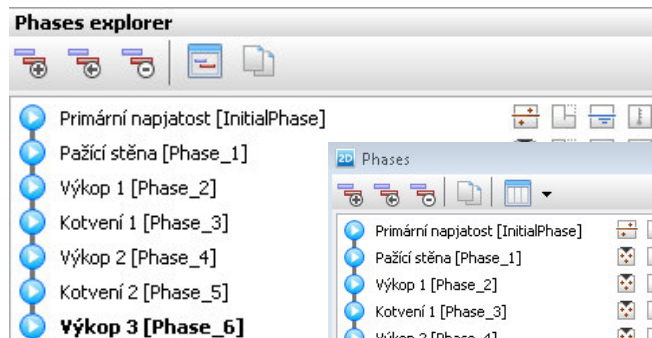
- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu**
- IX. Výpočet
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr



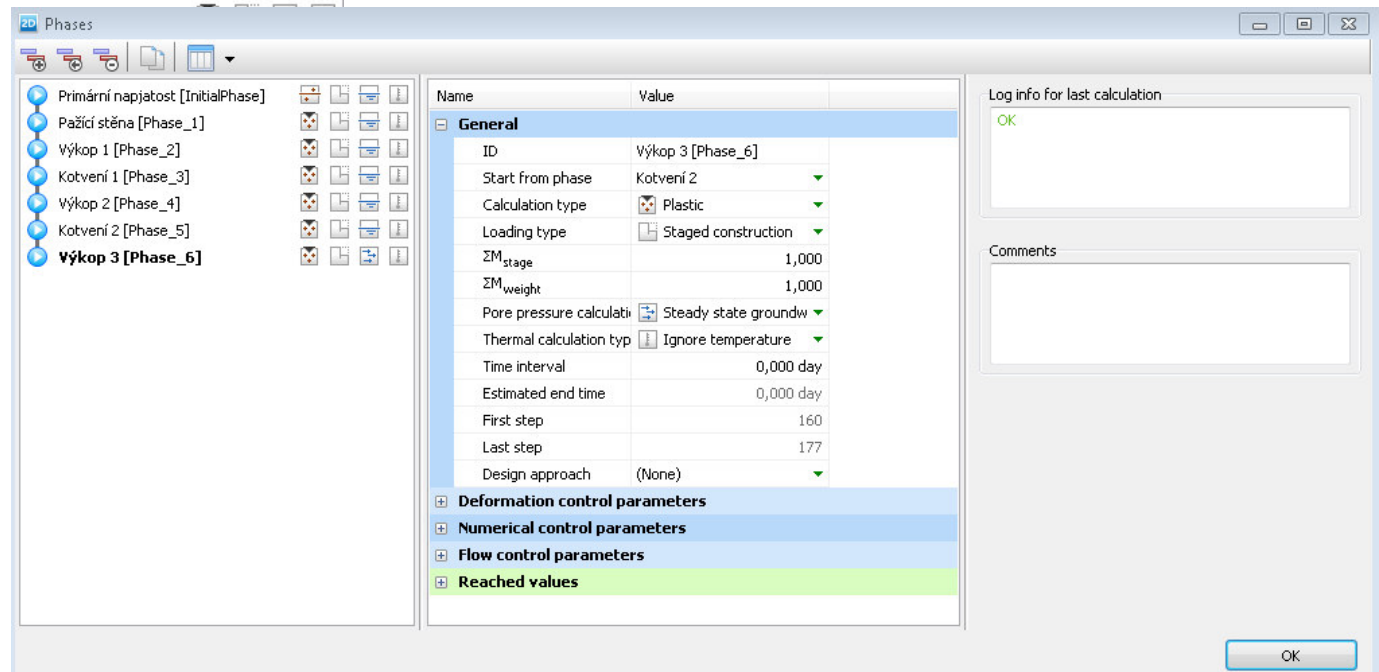
# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka **STAGED CONSTRUCTION**

- všechny zadané fáze výpočtu jsou v okně „Phase explorer“
- zde lze také fáze přidávat a odebírat nebo větvit
- dvojitým poklikáním na určitou fázi vyvoláme dialogové okno s nastavením výpočtu (typ výpočtu, numerické parametry...)



Obr. 40.: Management fází výpočtu



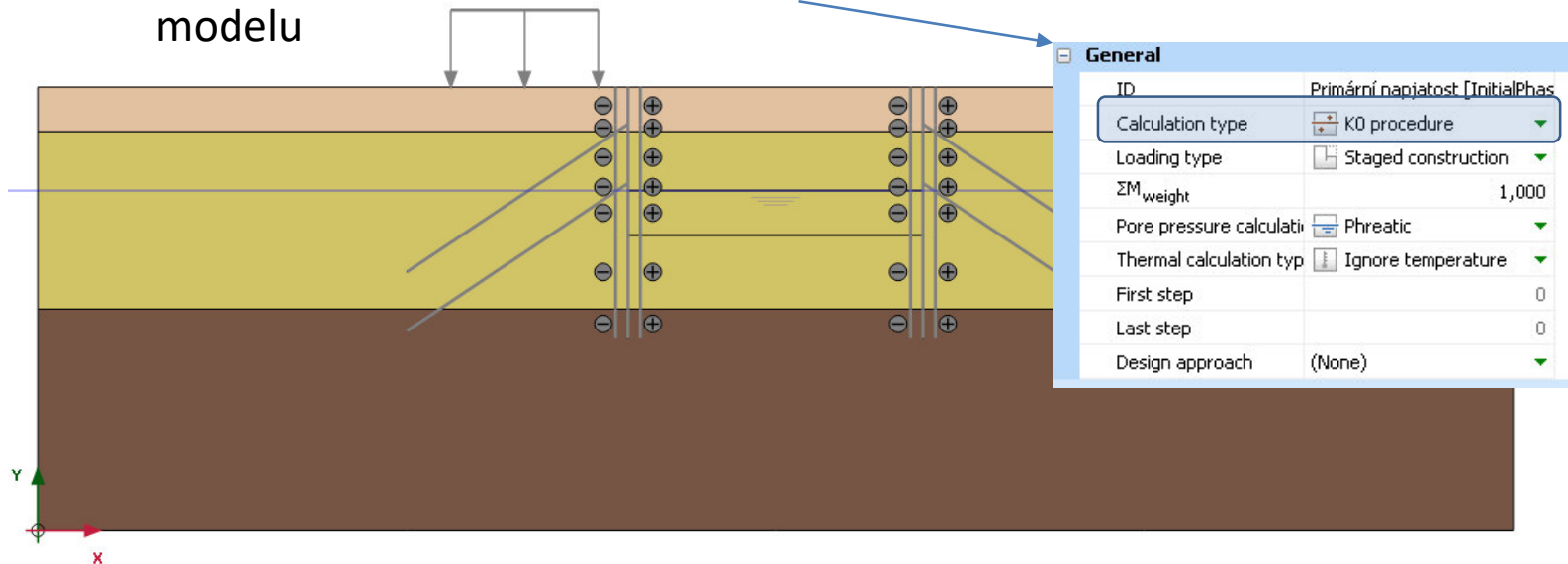
# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka **STAGED CONSTRUCTION**

### 1. fáze výpočtu – primární napjatost (stav zelené louky)

K záložce **FLOW CONDITIONS** se vrátíme později

- výpočet/generace původní napjatosti v horninovém prostředí před provedením jakéhokoli zásahu
- způsob jejího stanovení významnou měrou ovlivňuje pozdější chování modelu



Obr. 41.: Fáze výpočtu 1 – primární napjatost

- aktivovány všechny horniny
- deaktivována celá konstrukce a přitížení

Nakreslete průběh svislého a vodorovného napětí ve stavu primární napjatosti.

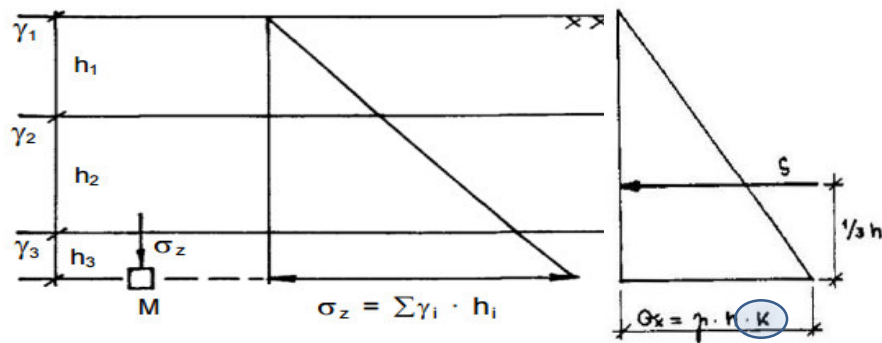


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VSUVKA

### Primární napjatost

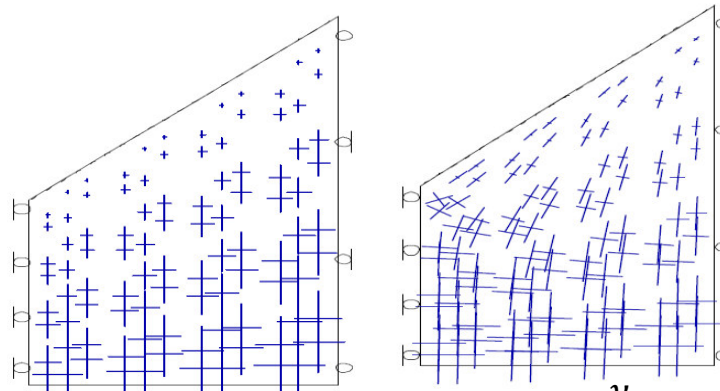
- průběh svislého a vodorovného napětí



- dva způsoby výpočtu:
  - $K_0$  procedure, Gravity loading

Jde hlavně o velikost vodorovného napětí  
→ to je v podstatě pozdější zatížení podzemní stěny!

Jaký postup umí zohlednit vliv překonsolidace?



$$K_0 = (1 - \sin \varphi') (OCR)^{\sin \varphi'}$$

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Obr. 42.: Ilustrativní obrázky (primární napjatost)

$$\nu = 0,2 \rightarrow$$

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{0,2}{1 - 0,2} = 0,25$$

$$\varphi = 10^\circ \rightarrow$$

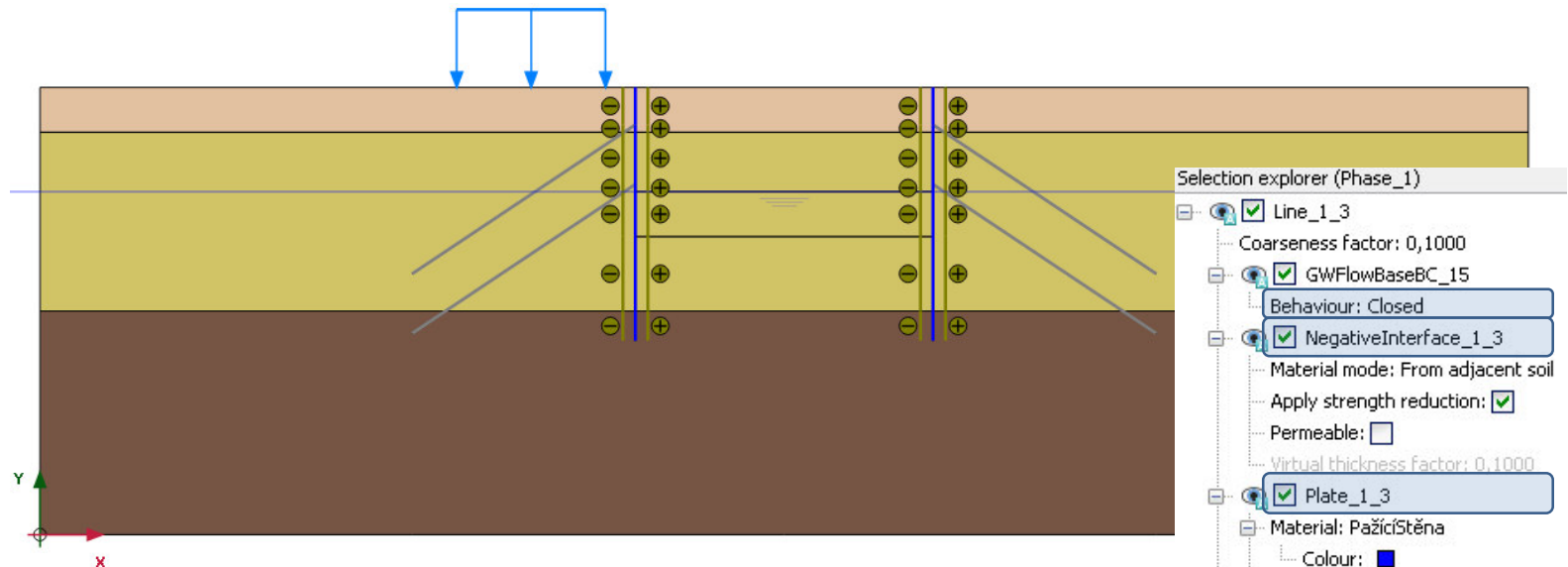
$$K_0 = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(10) = 0,83$$

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

### 2. fáze výpočtu – pažící stěna

- aktivace přitížení povrchu a nosíkových prvků podzemní stěny spolu s prvky interface
- kliknu na prvek a v okně „Selection explorer“ zatrhnu, zda chci mít vybraný element v dané fázi výpočtu aktivovaný či nikoli



Obr. 43.: Fáze výpočtu 2 – pažící stěna

- nastavení nepropustnosti podzemní stěny

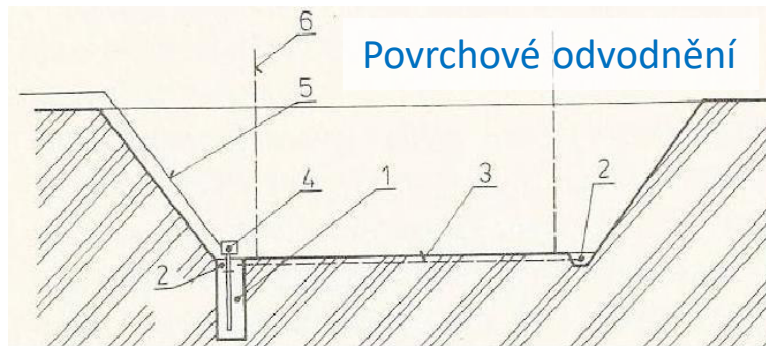
Jak lze ošetřovat stavební jámu proti podzemní vodě?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VSUVKA

Ochrana stavební jámy před účinky podzemní vody

HPV vytvoří jaký kužel?



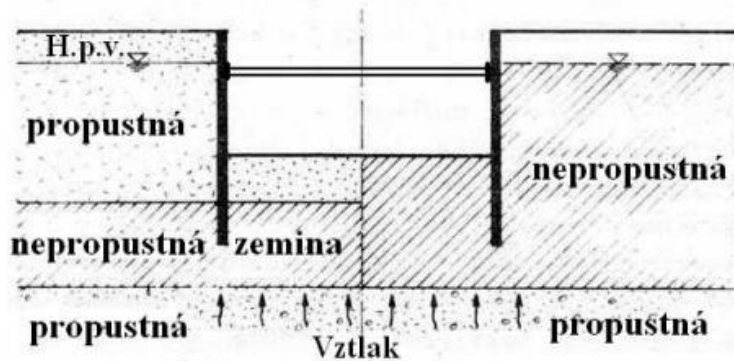
Povrchové odvodnění stavební jámy

1 - sběrná studna, 2 - obvodové příkopy, 3 - drenáž pod úrovní dna stavební jámy, 4 - čerpací stanice, 5 - výtlačné potrubí, 6 budoucí objekt



Hlubkové odvodnění stavební jámy

1 - čerpací studna se zárubnicí, 2 - sběrné potrubí, 3 snížení hladiny spodní vody



Zavázání pažení do nepropustného podloží  
(pozor na vztlak)



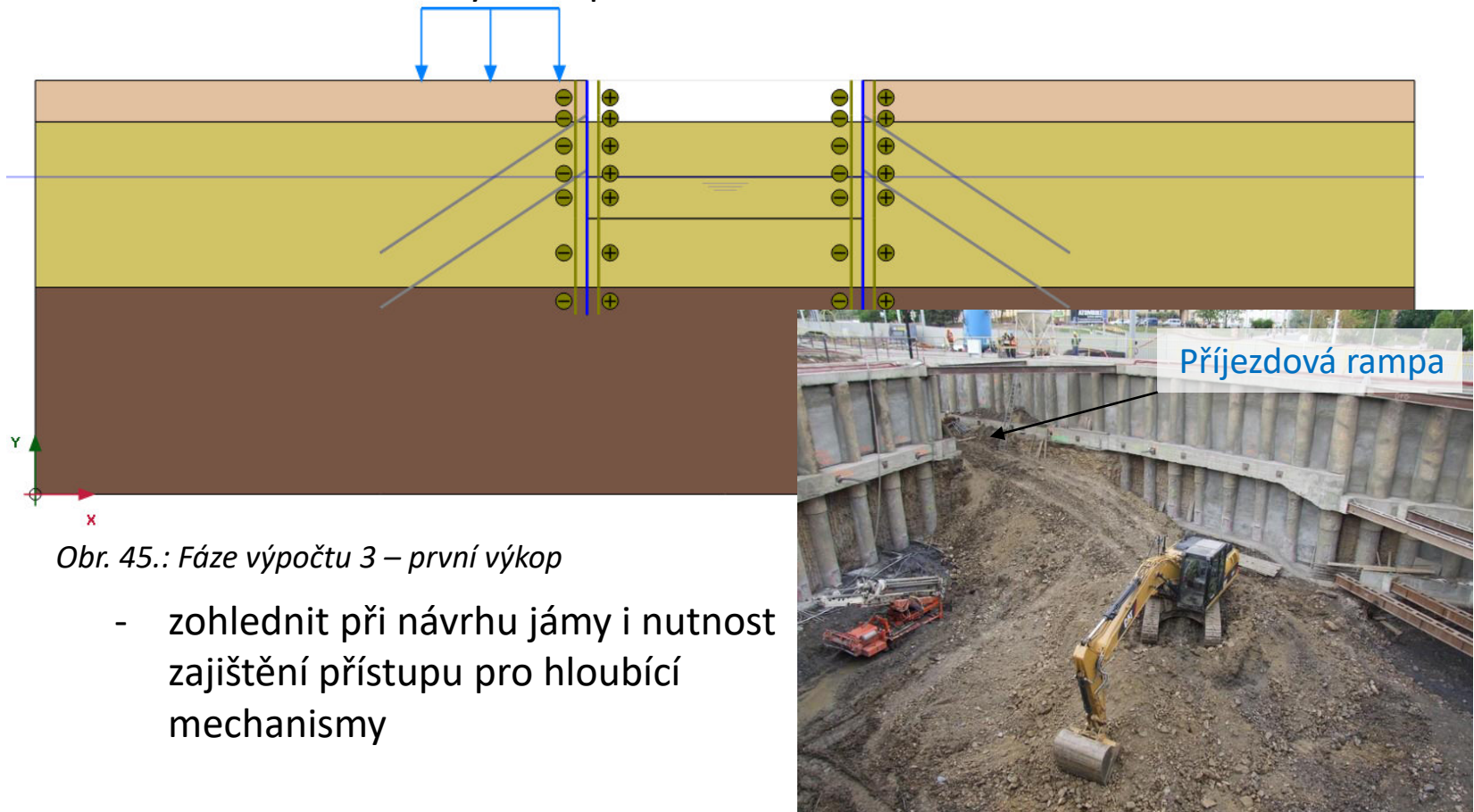
Obr. 44.: Ochrana před podzemní vodou

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

### 3. fáze výpočtu – provedení prvního výkopu

- deaktivace zeminy mezi podzemními stěnami



Obr. 45.: Fáze výpočtu 3 – první výkop

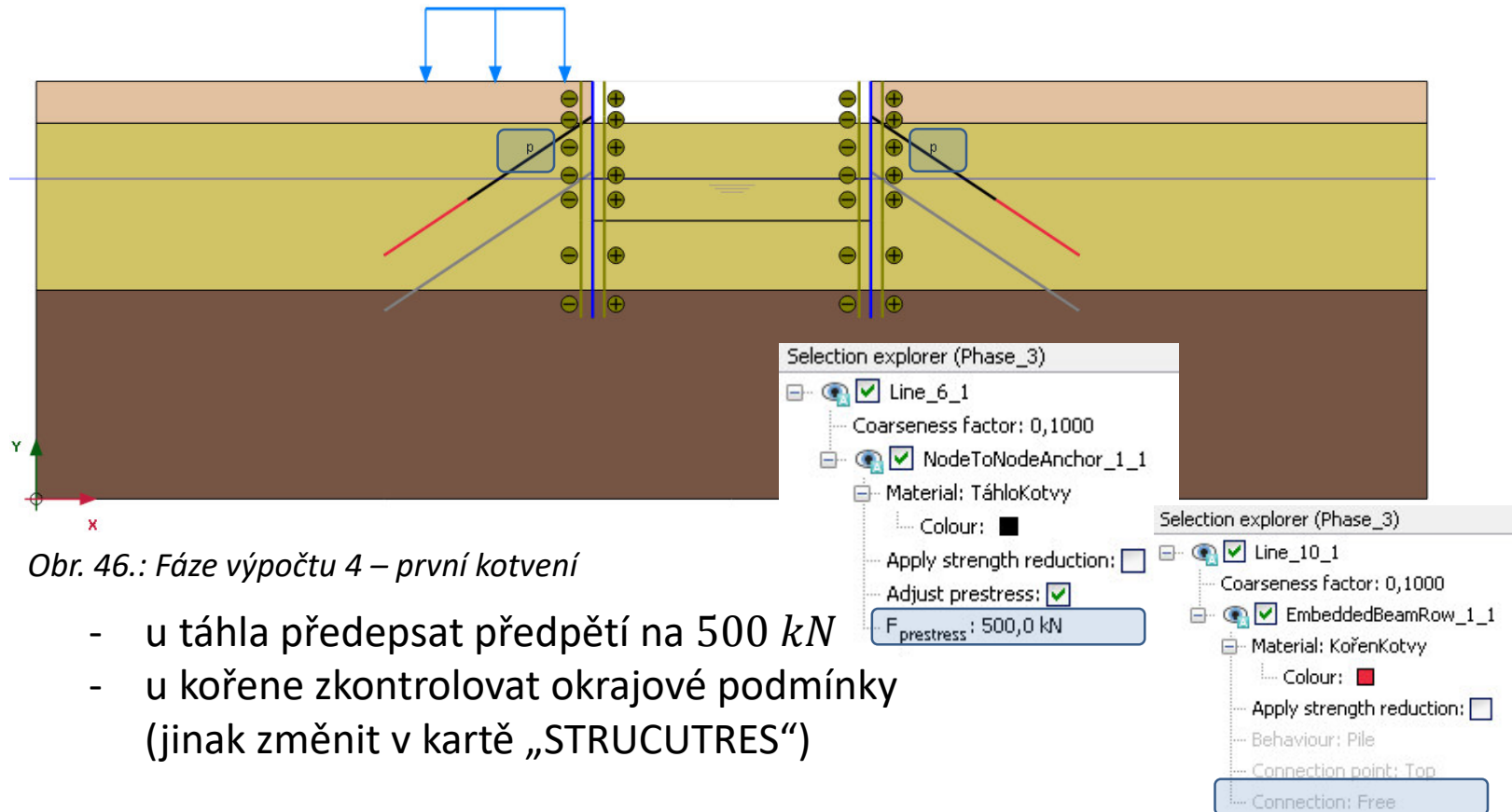
- zohlednit při návrhu jámy i nutnost zajištění přístupu pro hloubící mechanismy

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka **STAGED CONSTRUCTION**

### 4. fáze výpočtu – provedení prvního kotvení

- aktivace kořenů a táhel horninových kotev



Obr. 46.: Fáze výpočtu 4 – první kotvení

- u táhla předepsat předpětí na 500 kN
- u kořene zkontrolovat okrajové podmínky (jinak změnit v kartě „STRUCUTRES“)

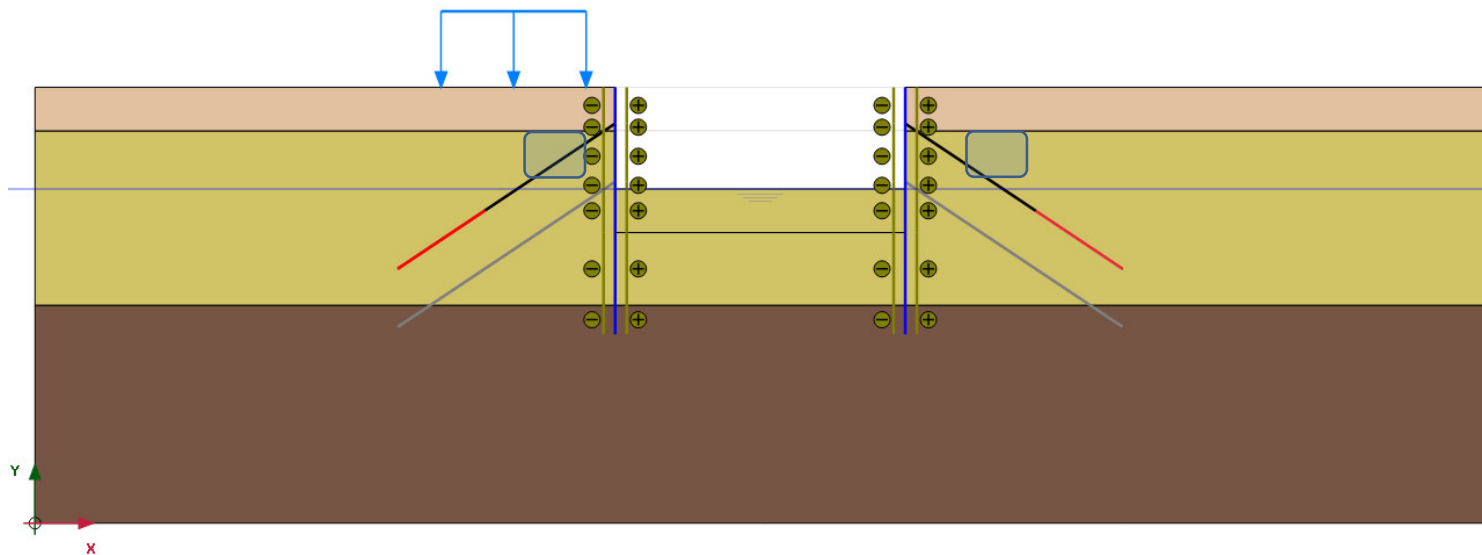


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

### 5. fáze výpočtu – provedení druhého výkopu

- deaktivace zemin na druhou kotevní úroveň



Obr. 47.: Fáze výpočtu 5 – druhý výkop

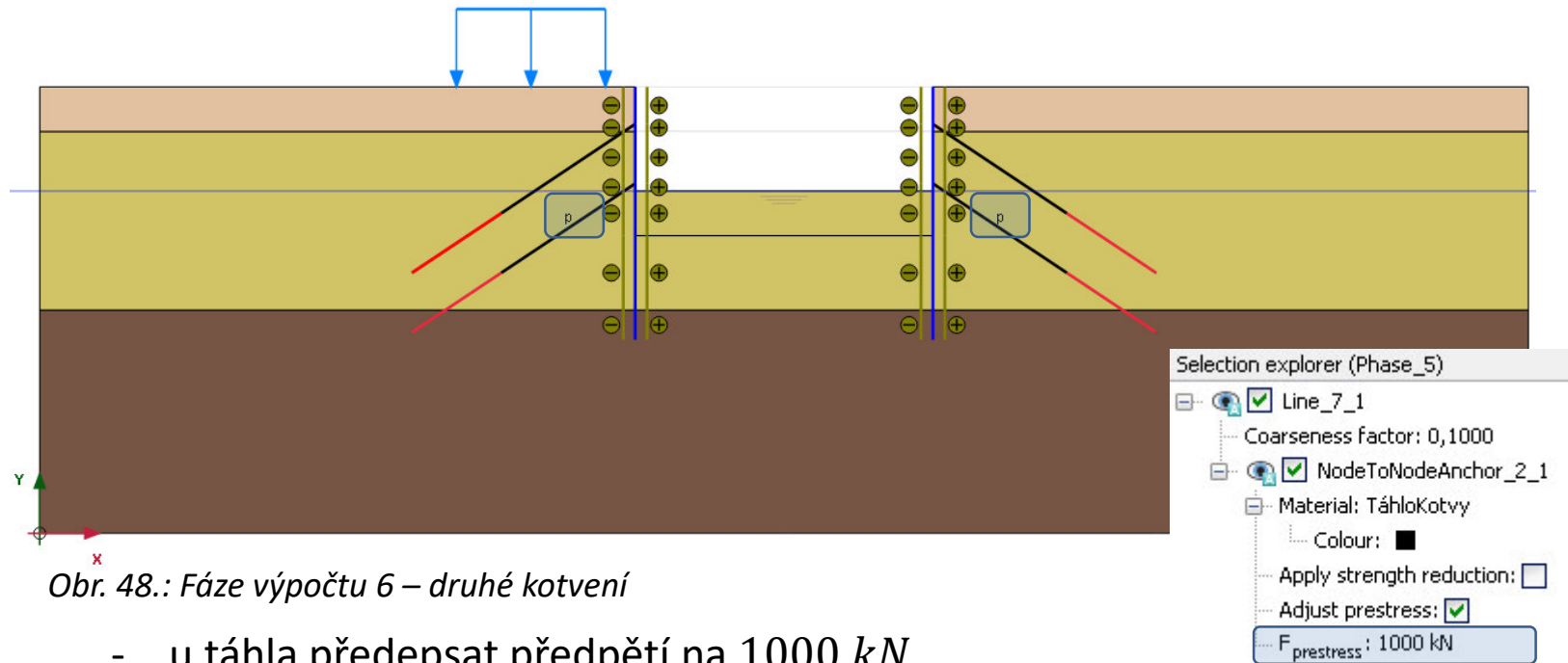
- všimněte si, že zmizela „p“ u táhel kotev → to je správně  
→ síla od předpětí je sice v táhle zachována, může se ale měnit v závislosti na deformaci konstrukce

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

### 6. fáze výpočtu – provedení druhého kotvení

- aktivace kořenů a táhel horninových kotev



Obr. 48.: Fáze výpočtu 6 – druhé kotvení

- u táhla předepsat předpětí na 1000 kN
- u kořene zkontrolovat okrajové podmínky

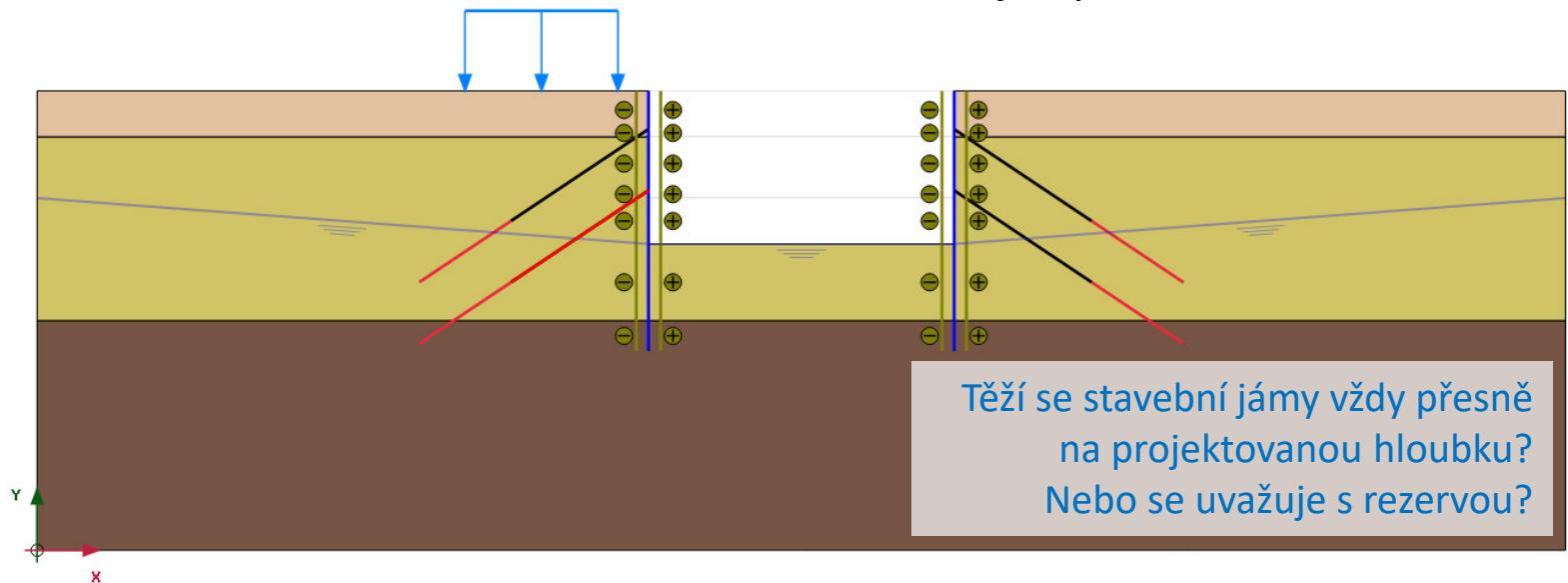
Jak odhadnout počet  
pramenců horninové kotvy?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

### 7. fáze výpočtu – provedení třetího výkopu

- deaktivace zemin na úroveň dna stavební jámy



Obr. 49.: Fáze výpočtu 7 – finální výkop

- dostali jsme se již pod úroveň původní HPV  
→ navětralé břidlice nejsou zcela nepropustné  
→ HPV se zaklesne



# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka *FLOW CONDITIONS*

Provedeme kontrolu podmínek proudění PV přes všechny fáze výpočtu

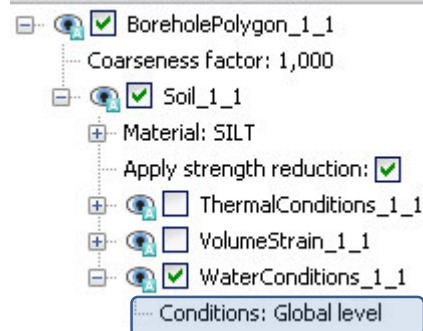
- nasycenost všech zemin bude záviset na globální HPV („Global level“)
- konstrukce podzemní stěny bude uvažována jako nepropustná („Closed“)



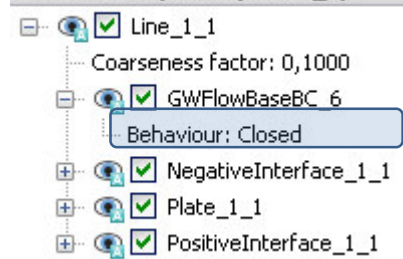
Obr. 50.: Fáze výpočtu 6 – druhé kotvení  
Původní globální HPV

Kontrola všech fází výpočtu!

### Selection explorer (Phase\_5)




### Selection explorer (Phase\_5)

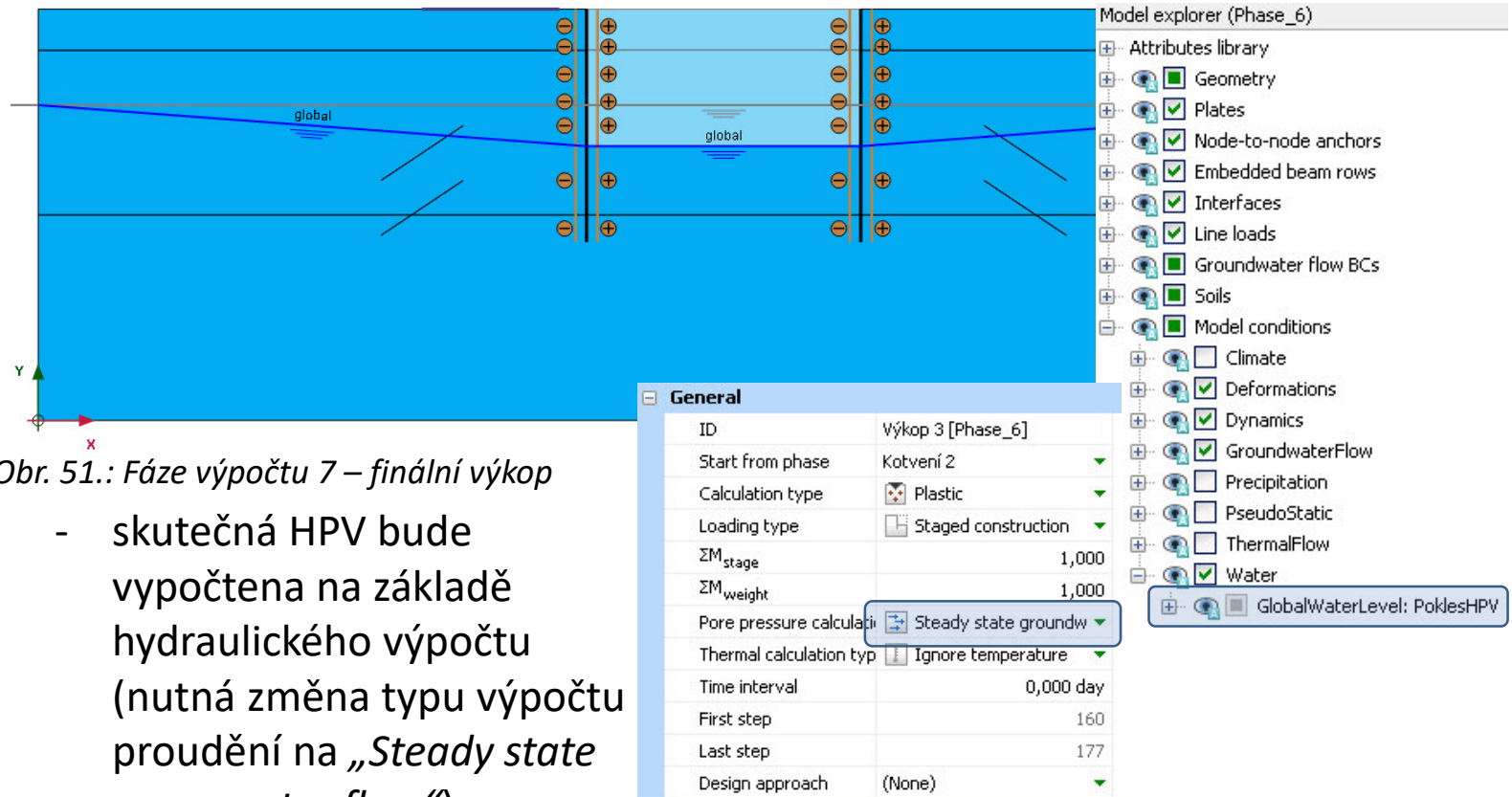


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu – záložka **FLOW CONDITIONS**

Nastavení nové globální HPV

- zaklesnutí HPV je nutné programu předdefinovat pomocí funkce „Create water level“  → tato nová HPV se musí ve výpočtu zvolit ↓



The screenshot displays a cross-sectional view of a dam structure with a blue water table labeled 'global'. A coordinate system with X and Y axes is shown at the bottom left. On the right, the 'Model explorer (Phase\_6)' tree lists various model components, with 'GlobalWaterLevel: PoklesHPV' highlighted. Below the explorer is a 'General' properties dialog box for 'Výkop 3 [Phase\_6]'.

General	
ID	Výkop 3 [Phase_6]
Start from phase	Kotvení 2
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
$\Sigma M_{stage}$	1,000
$\Sigma M_{weight}$	1,000
Pore pressure calculation	Steady state groundw
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	0,000 day
First step	160
Last step	177
Design approach	(None)

Obr. 51.: Fáze výpočtu 7 – finální výkop

- skutečná HPV bude vypočtena na základě hydraulického výpočtu (nutná změna typu výpočtu proudění na „Steady state groundwater flow“)


# Program

- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet**
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## IX. Výpočet – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Výpočet se spustí pomocí funkce „Calculate“ 

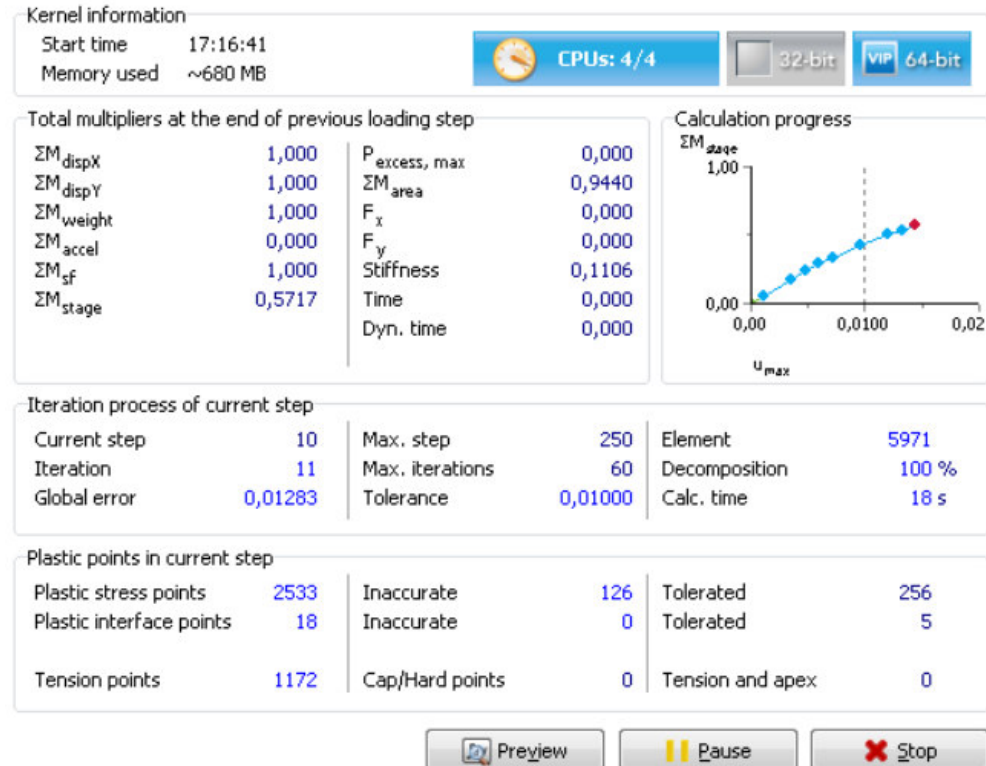
- výpočet proběhne jen u označených fázích 
- všechny kroky výpočtu (čas, základní iterační veličiny, hlášení o chybách atd.)

Ize v průběhu výpočtu sledovat v dialogovém okně

- na grafu nahoře je vidět, jak program postupně přitěžuje numerický

model a snaží se dosáhnout rovnováhy vnitřních a vnějších sil

$$\sum M_{stage} = 1,0$$



Obr. 52.: Dialogové okno výpočtu určité fáze

# Program

- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet
- X. Výsledky**
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr

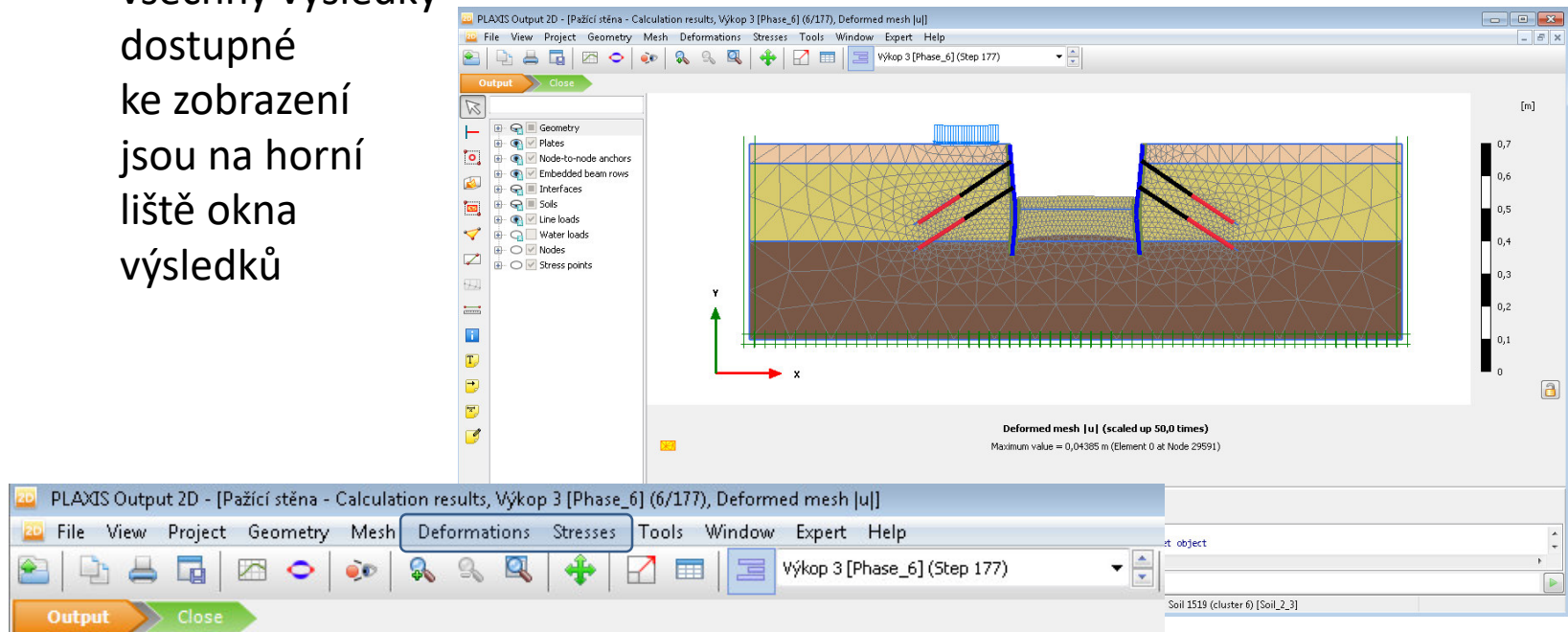
# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Okno výsledků (output) se spustí pomocí funkce „View calculation results“ 

- PLAXIS zobrazuje výsledky jak ve formě isolinií, konturových diagramů tak ve formě vektorů a trajektorií (elips) hlavních napětí
- je možné si nechat vykreslit deformovaný stav sítě, vypsát hodnoty veličin v jednotlivých uzlech, řezech, pomocí tabulek a grafů nebo sestavit animaci
- všechny výsledky

dostupné  
ke zobrazení  
jsou na horní  
liště okna  
výsledků



Obr. 53.: PLAXIS output okno

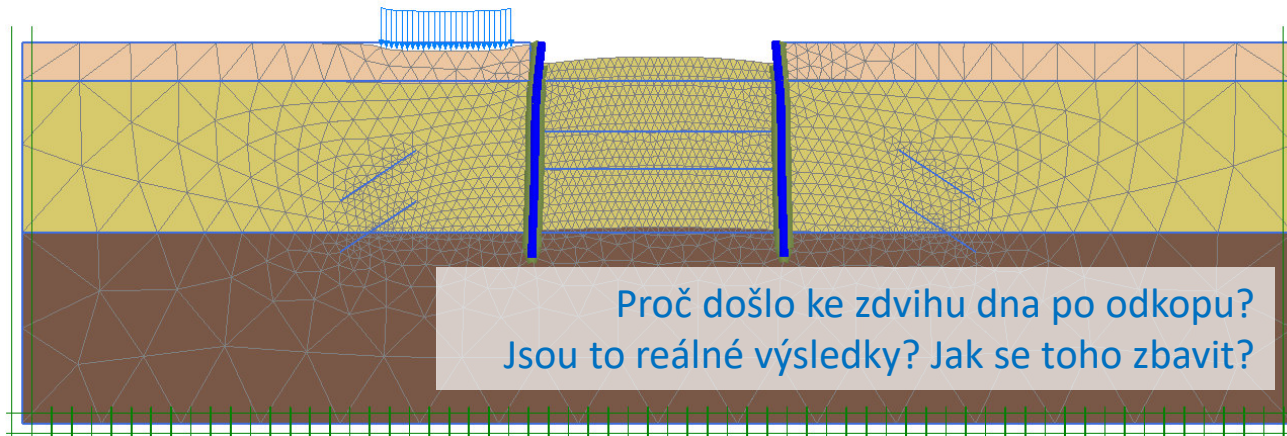


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

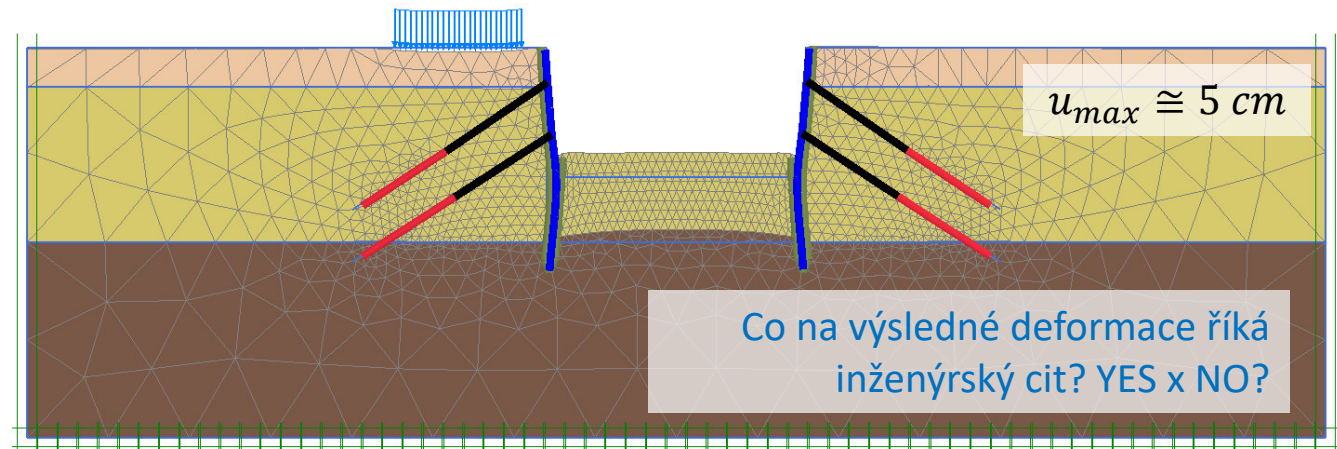
## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Deformovaná síť konstrukce

- po dokončení výpočtu nejdříve zkontrolovat deformovanou konstrukci



Obr. 54.: Deformovaná konstrukce – fáze výpočtu 3, 7

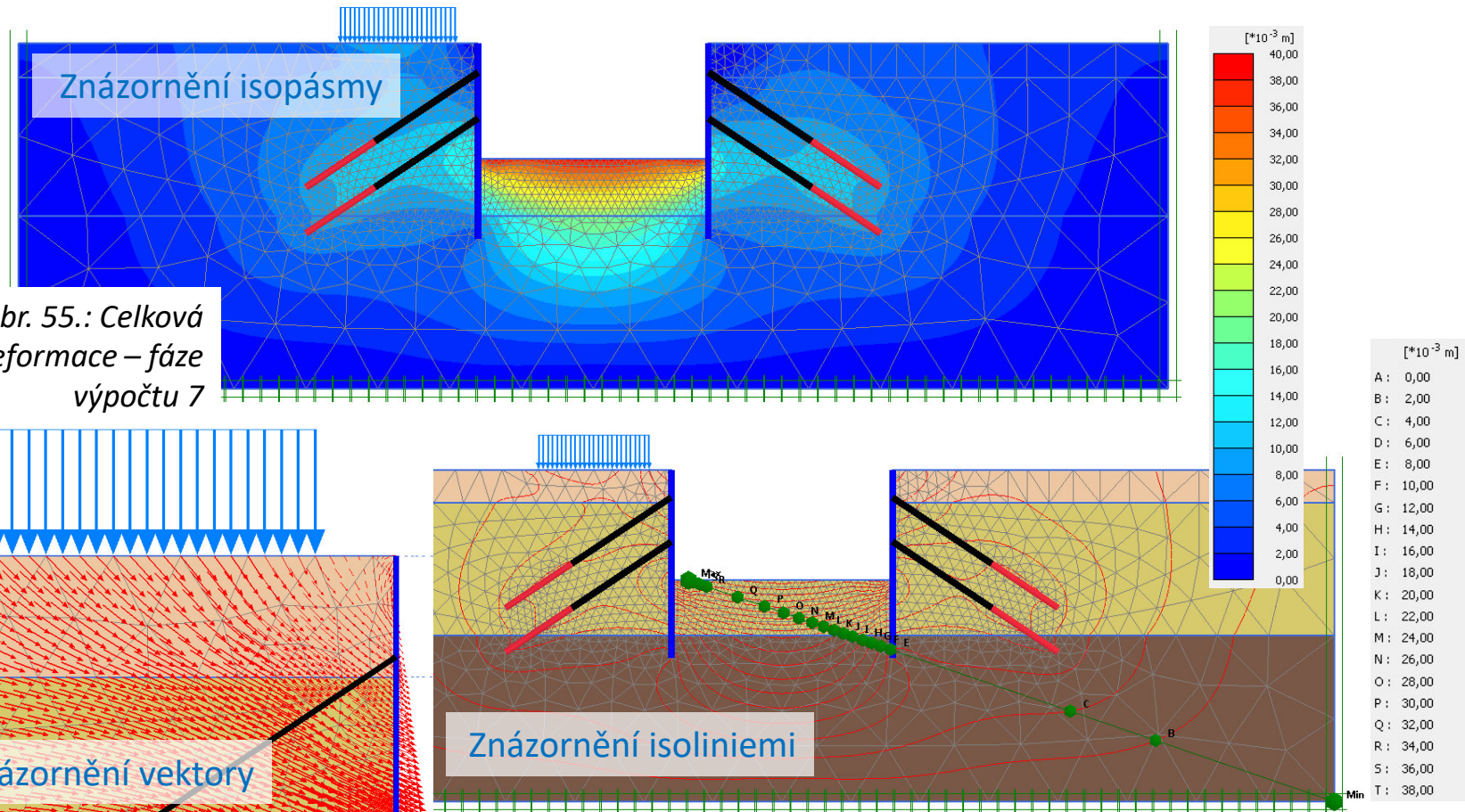


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Deformace konstrukce

- deformace nám vždy odhalí, že se s konstrukcí děje něco nepřirozeného



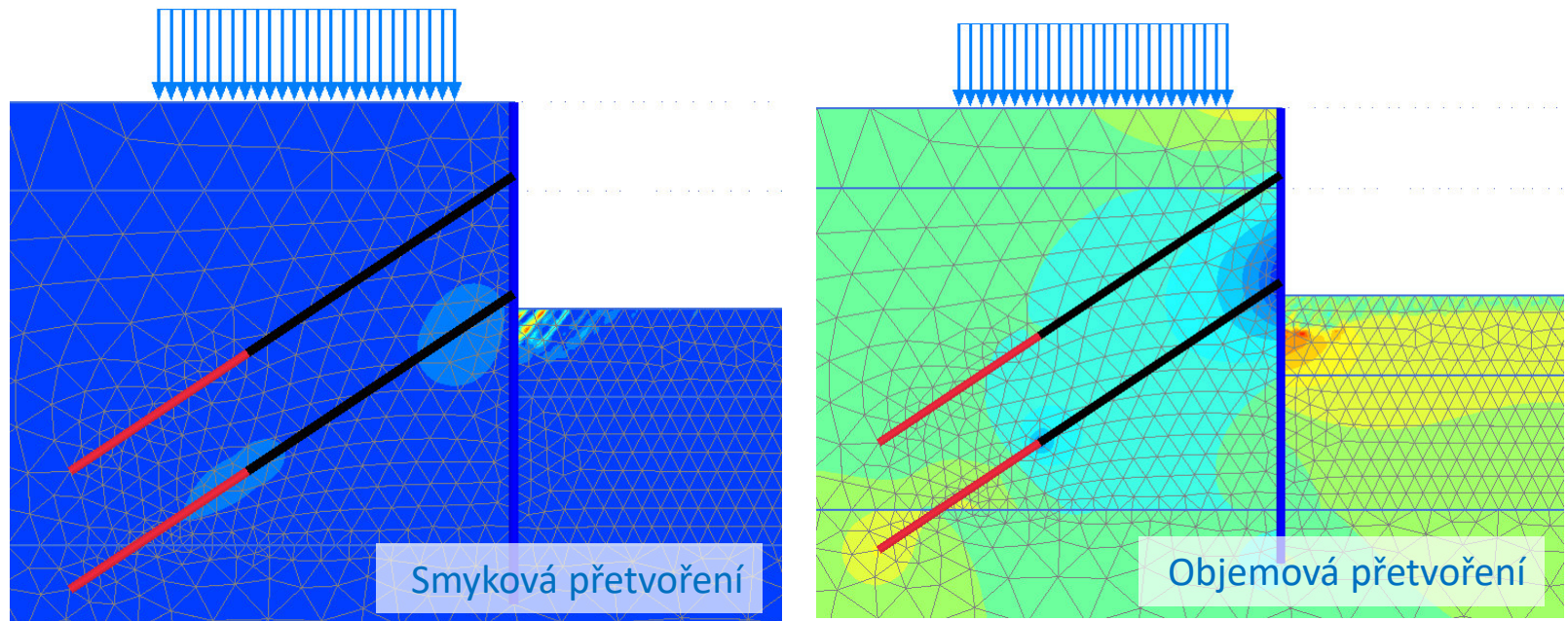


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka **STAGED CONSTRUCTION**

„Incremental strains“

- pomocí přírůstkových smykových hlavních přetvoření můžeme odhalit, kde je potenciální místo kolapsu materiálu
- objemová přírůstková přetvoření napoví o způsobu deformace prostředí




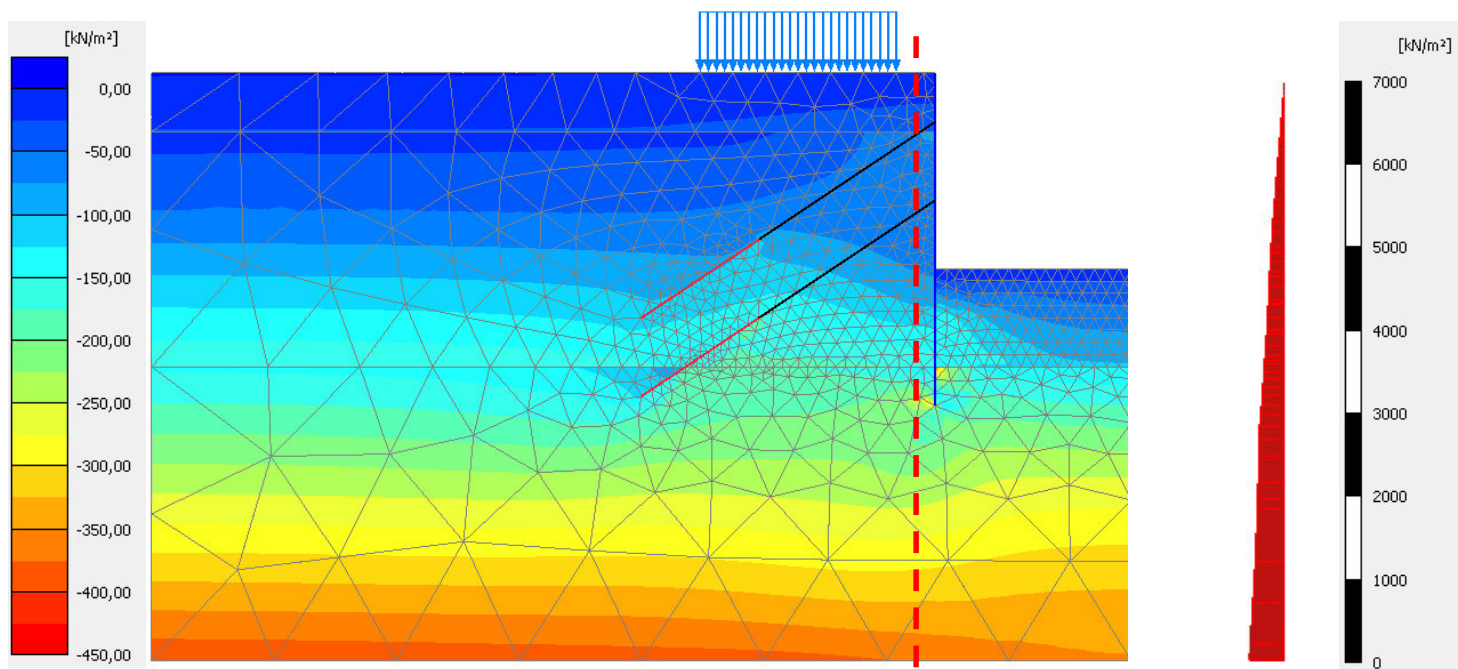
Obr. 56.: Incremental strains – fáze výpočtu 6

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Napětí

- lze sledovat efektivní i totální napětí v globálním souřadném systému
- zároveň může být definován libovolný řez  a na něm znázorněna napětí (a samozřejmě také ostatní veličiny)



Co jsou to hlavní napětí?

Obr. 57.: Totální vodorovné napětí (isolinie a řez) – fáze výpočtu 6

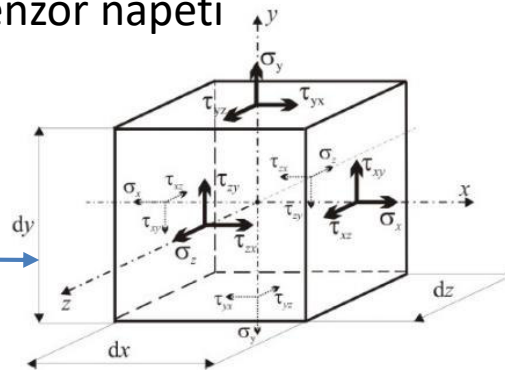
# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VSUVKA

### Hlavní napětí

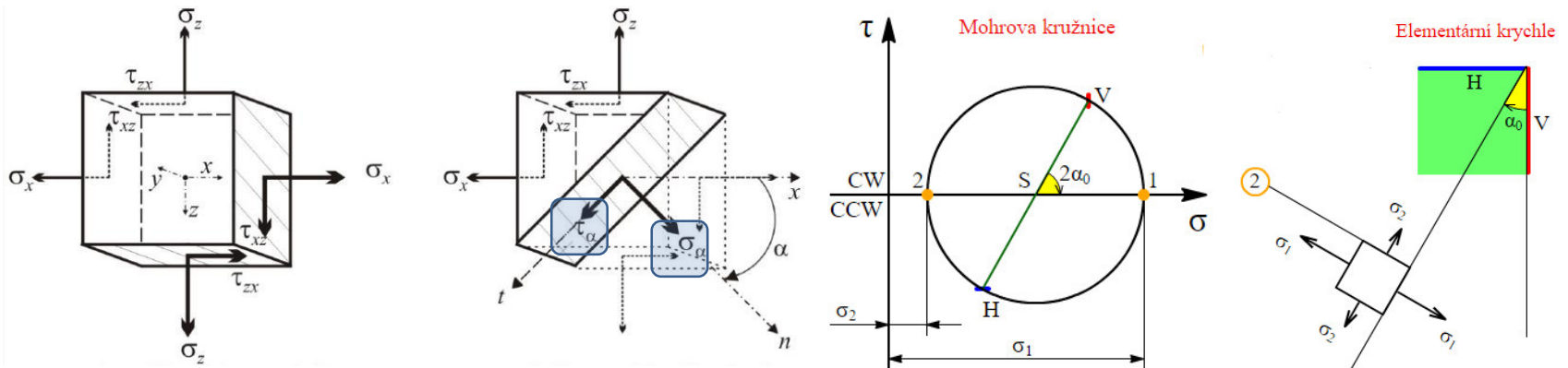
- v prostorové napjatosti tenzor napětí

Obr. 58.: Ilustrativní obrázky – hlavní napětí



$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

- na šikmém řezu se normálová napětí transformují (goniometrické rovnice)



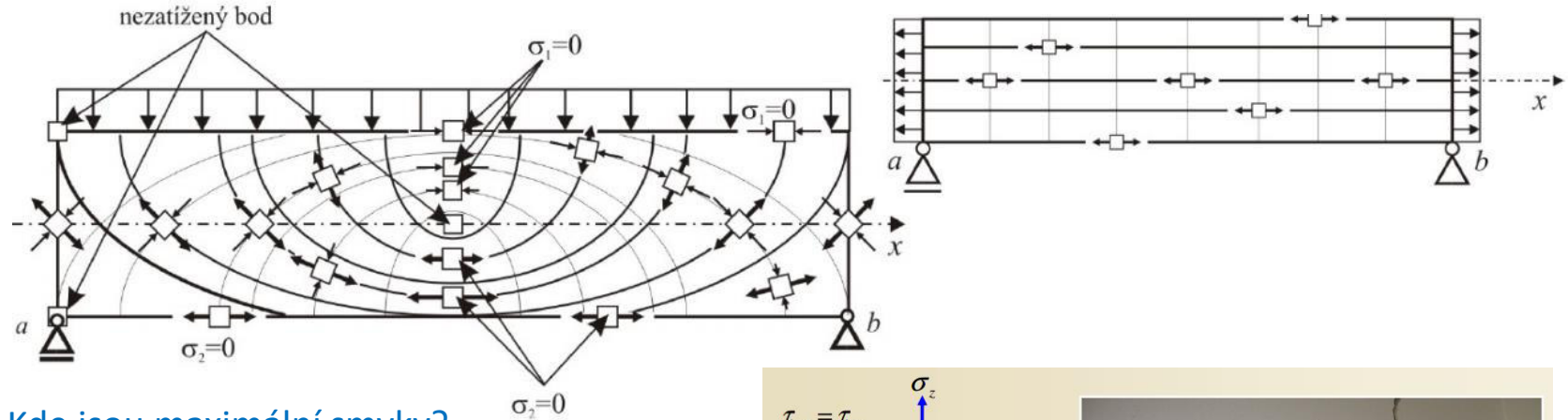
- pokud rovinu natáčíme tak, že normálová napětí jsou maximální a smyková nulová → **normálová napětí = hlavní napětí**

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## VSUVKA

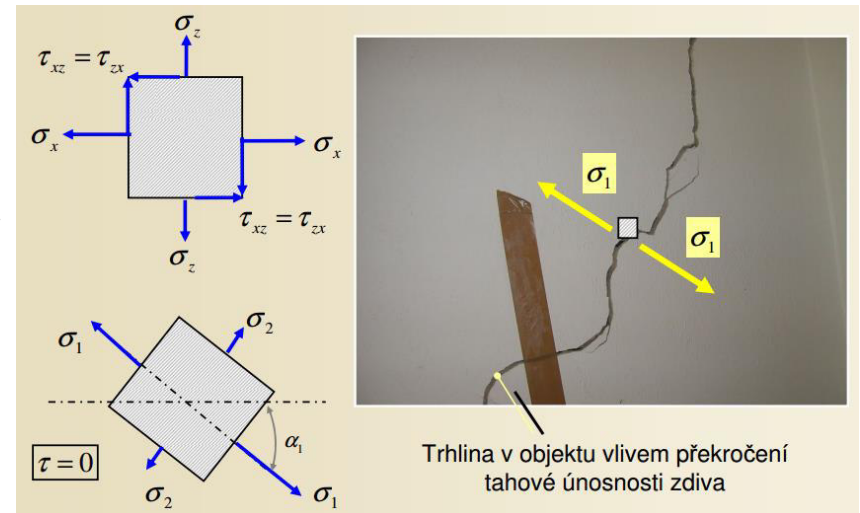
### Hlavní napětí

- příklad průběhu hlavních napětí v ohýbaném a taženém nosníku



Kde jsou maximální smyky?

- příklad znázornění hlavních napětí na zdivu, které vyvolaly vznik trhliny



Trhlina v objektu vlivem překročení tahové únosnosti zdiva

Obr. 59.: Praktické ukázky znázornění a průběhu hlavních napětí

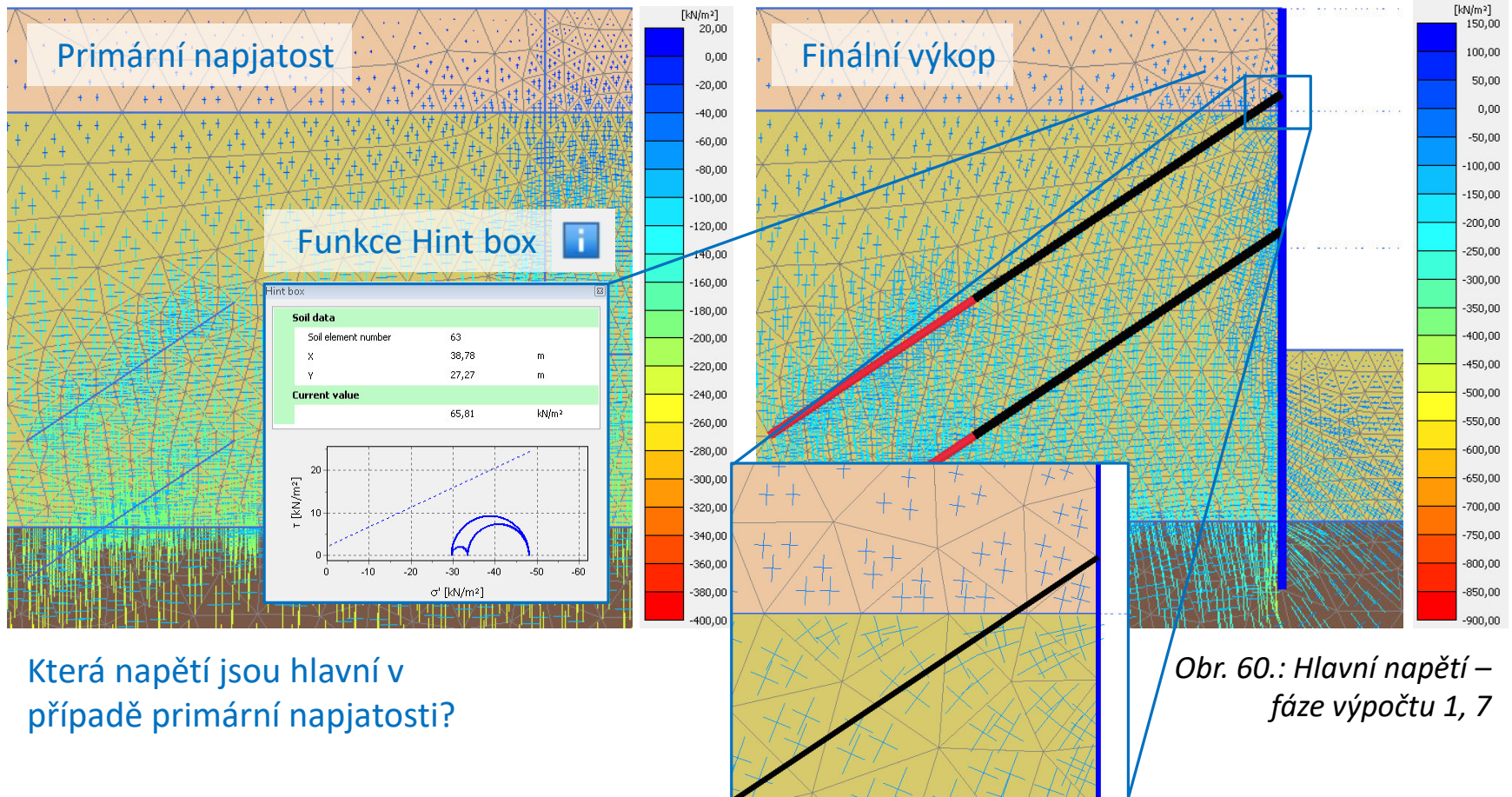


# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Hlavní napětí

- hlavní napětí nám pomohou stanovit, jak je konstrukce namáhaná

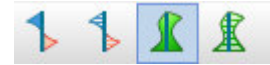


Která napětí jsou hlavní v případě primární napjatosti?

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

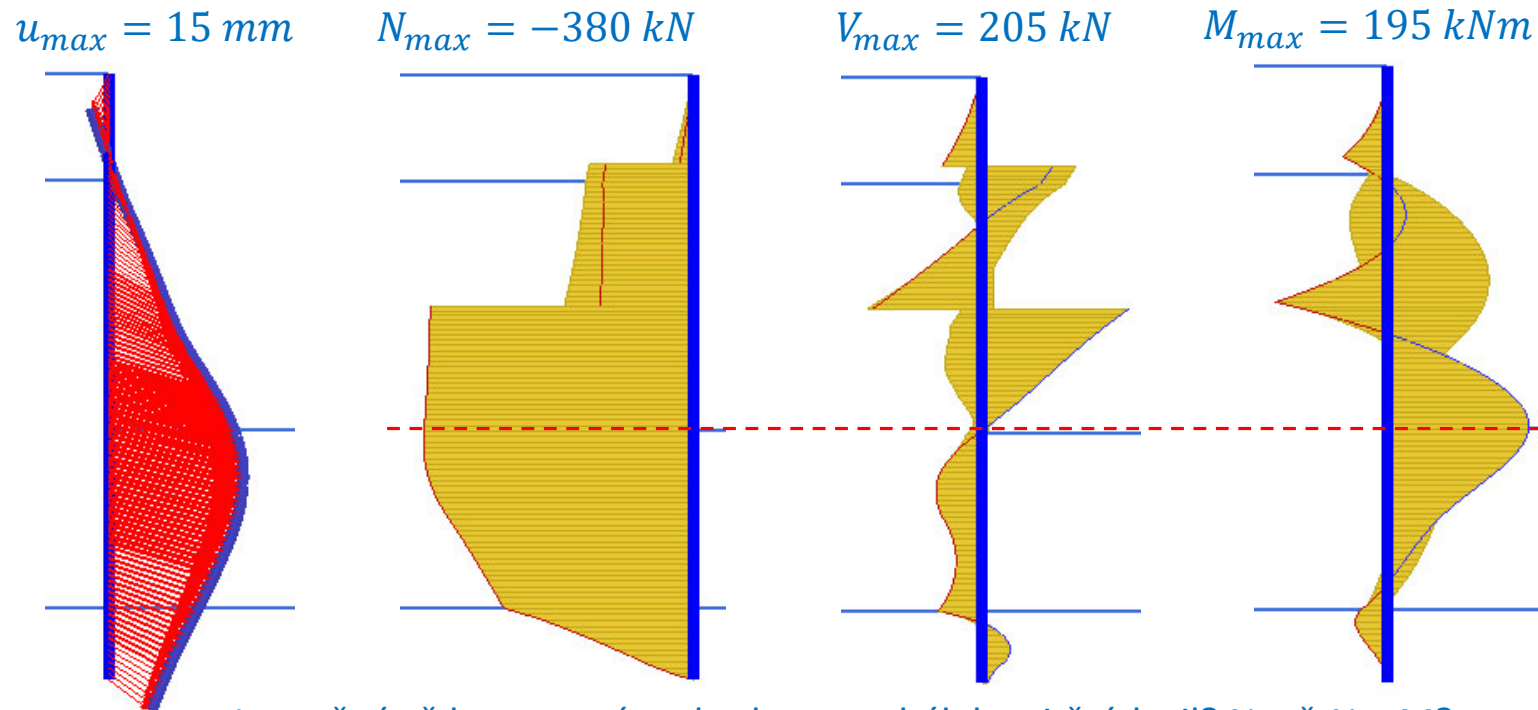
## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Vnitřní síly a deformace nosíkových prvků



- na nosíkových prvcích získáme výsledky dvojitým poklikáním na určitý prvek

Obr. 61.: Výsledky – fáze výpočtu 7



Je možné vždy porovnávat hodnoty z obálek vnitřních sil? Např.  $N + M$ ?

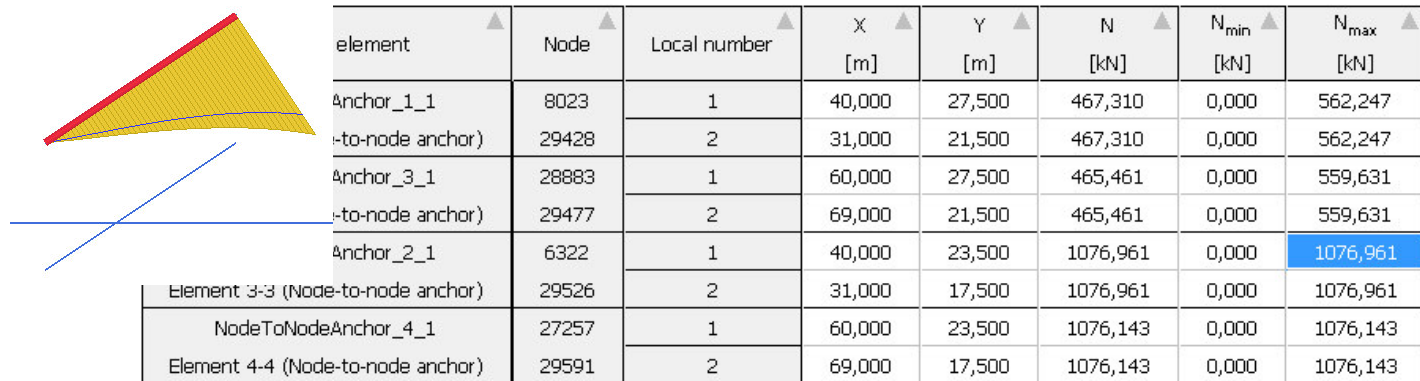
Výsledné namáhání by se dalo **optimalizovat** změnou délky vetknutí, rozmístěním, sklonem a předpínacími silami v kotvách. V MKP ale dost časově náročné.

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka *STAGED CONSTRUCTION*

Maximální namáhání horninových kotev

- nutné je posoudit:
  - vytržení kořene z horniny (posouzeno konvergencí modelu)
  - vytržení táhla z kořene a přetržení táhla
  - vnější a vnitřní stabilita (posouzeno konvergencí modelu)
- dvojitým poklikáním na libovolné táhlo kotvy získáme tabulku maximální síly v táhle kotvy k dané fázi výpočtu
- můžeme si nechat vykreslit normálové, smykové síly a ohybový moment po délce kořene



Všimněte si zvýšení síly v táhle kotvy oproti předpětí.

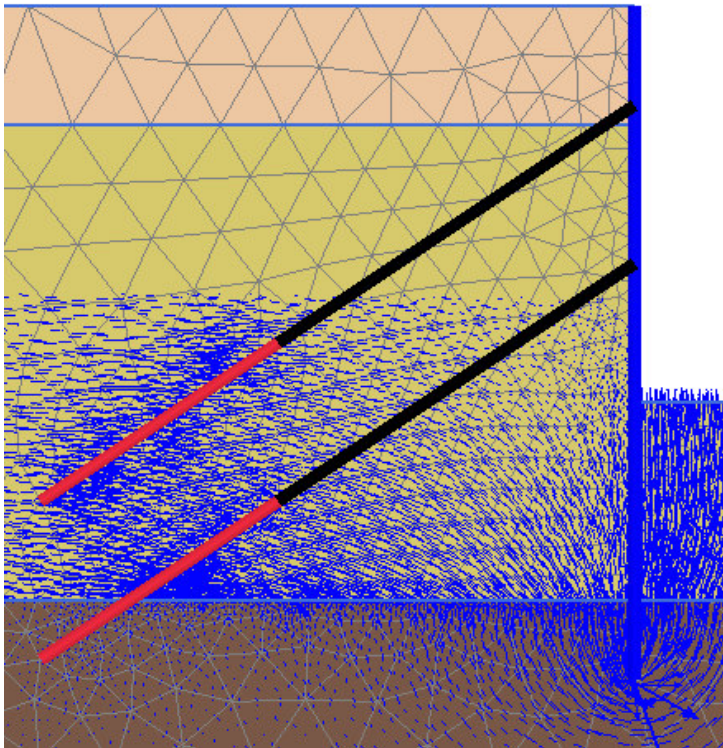
Obr. 62.: Tabulka sil v kotvách a průběh normálové síly – fáze výpočtu 7



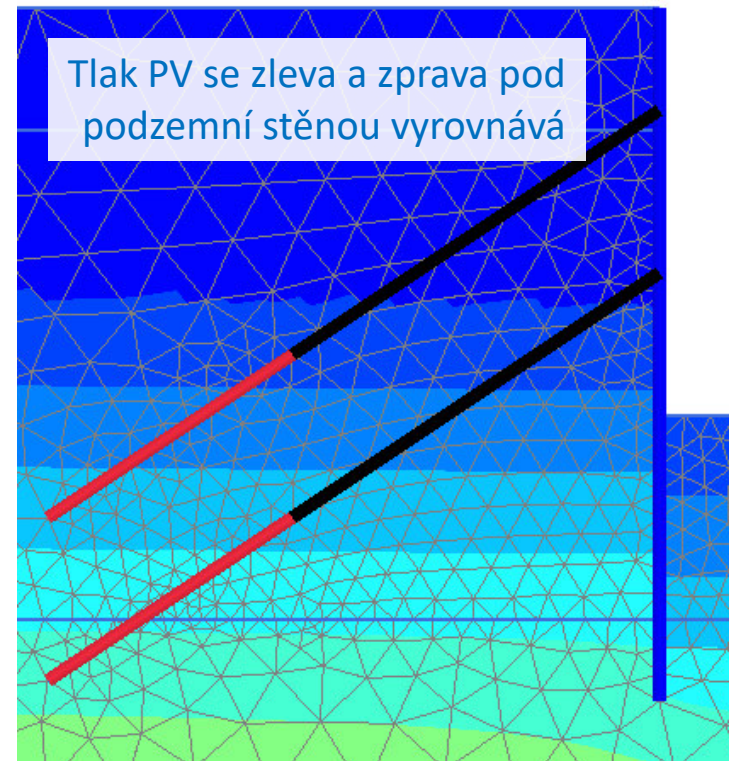
# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## X. Výsledky – záložka **STAGED CONSTRUCTION**

Proudění podzemní vody a její tlak



Vektory proudění fyzikálně správně, reálné hodnoty ale závisí na správném stanovení propustností.



Obr. 63.: Tabulka sil v kotvách – fáze výpočtu 7

# Program

- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny**
- XII. Pažící konstrukce - závěr

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny

Provedeme bezpečný návrh a posouzení ohybové výztuže podzemní stěny

- celá podzemní stěna je tlačená (nutné ověřit, že nedojde k drcení)
- kombinace  $N + M \rightarrow$  interakční diagram

$\rightarrow$  uvažování pouze ohybového momentu  $\rightarrow$  bezpečná strana

- stěna bude vyztužena pro jednoduchost po celé výšce stejně

Proč je podzemní stěna tlačená?

$\rightarrow$  značně nevhodné

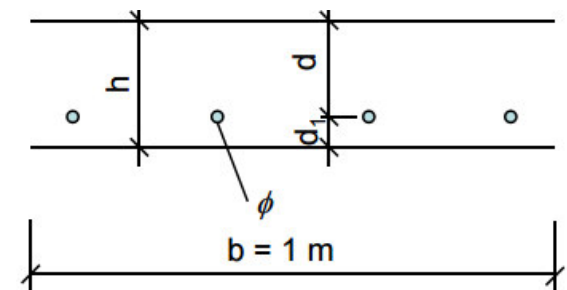
Jak vypadá interakční diagram

pro betonový nosník?

- zadání:

- beton C25/30
- výztuž B500B
- krytí  $c_{nom} = 50 \text{ mm}$   
(pro geotechnické konstrukce běžné)
- tloušťka průřezu  $400 \text{ mm}$
- metr běžný podzemní stěny
- $M_{ED} = 195 \text{ kNm}$

...a počítejte (jde to i bez tabulek)!



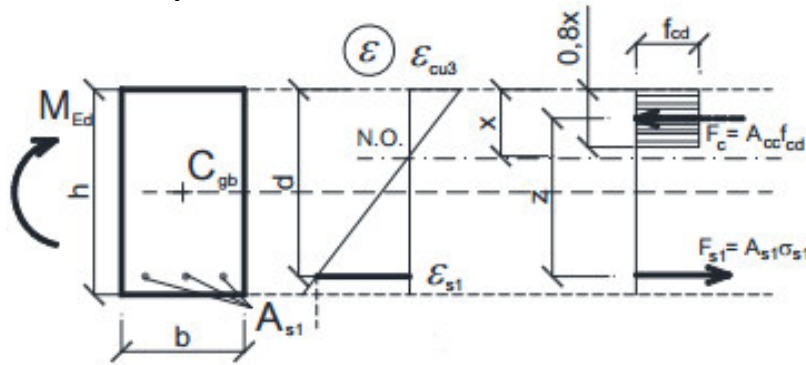
Obr. 64.: Náčrt průřezu



# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny

Návrh vyztužení



Návrhová válcová pevnost betonu v tlaku:

$$f_{cd} = \frac{25}{1,5} = 16,7 \text{ Mpa}$$

Návrhová pevnost betonářské výztuže:

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ Mpa}$$

Účinná výška (předpokládaná výztuž profilu 14 mm):

$$d = h_p - c - \frac{1}{2} \cdot \varnothing = 400 - 50 - \frac{1}{2} \cdot 14,0 = 343 \text{ mm}$$

Odhadované rameno dvojice sil:

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,343 = 0,309 \text{ m}$$

Potřebná plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{195}{434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,309} = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Návrh:

$$\varnothing 14 \text{ á } 100 \text{ mm} \quad (A_{s,prov} = 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,req} = 1,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2)$$

Kolik stojí metr běžný  
betonářské výztuže  $\varnothing 14$  ?



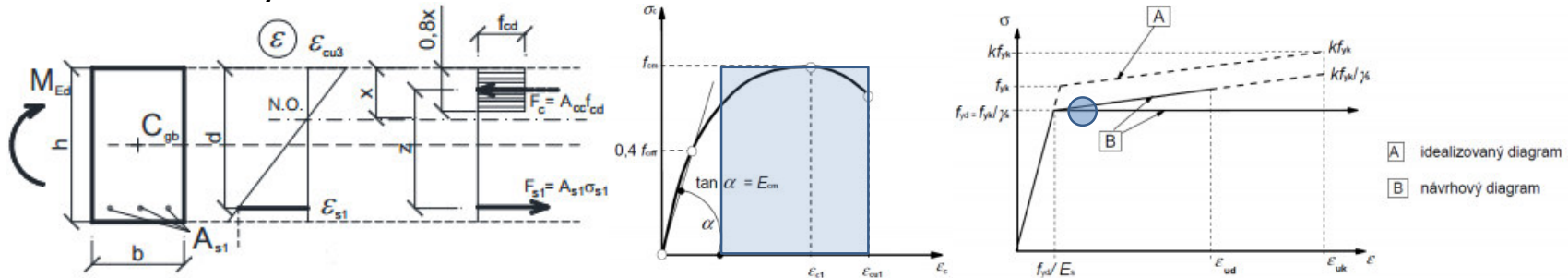
=



# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny

### Posouzení vyztužení



Poloha neutrální osy (výška tlačené oblasti betonu):

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot \alpha \cdot f_{cd}} = \frac{1,54 \cdot 10^{-3} \cdot 434,8}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 16,7} = 0,050 \text{ m}$$

Z jaké podmínky vychází výška tlačené oblasti?

Velikost ramene vnitřních sil:

$$d_{skut} = h_d - c - 0,5 \cdot \emptyset = 400 - 50 - 0,5 \cdot 14,0 = 343 \text{ mm}$$

$$z = d_{skut} - 0,4 \cdot x = 0,343 - 0,4 \cdot 0,050 = 0,323 \text{ m}$$

Posouzení:

a) momentová únosnost:

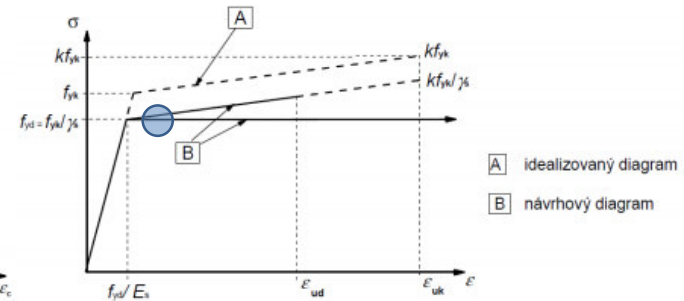
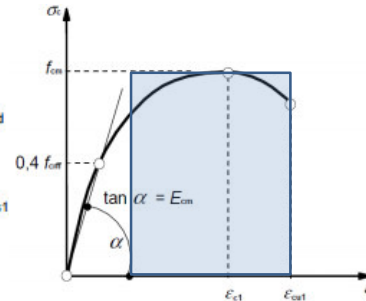
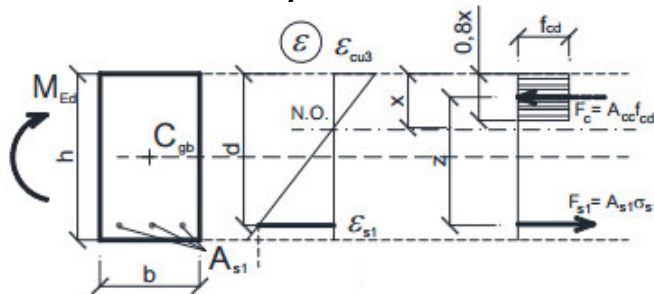
$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 1,54 \cdot 10^{-3} \cdot 434,8 \cdot 10^3 \cdot 0,323 = 216 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 216 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 195 \text{ kNm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny

### Posouzení vyztužení



### Posouzení:

b) kontrola vyztužení:

$$\rho_{max} \geq \rho \geq \rho_{min}$$

$$0,04 \geq \rho = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d_{skut}} = \frac{1,54 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 0,343} = 0,0045 \geq 0,0015 \quad \text{VYHOVUJE}$$

c) poměrná výška tlačené oblasti:

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,35}{0,35 + 0,2175} = 0,617 \geq \xi = \frac{x}{d_{skut}} = \frac{0,050}{0,343} = 0,15 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Proč je omezeno vyztužení shora a zdola?

Chceme aby se beton drtil a ocel byla za mezí kluzu!

d) ověření duktility výztuže B 500B:

$$5,0\% > \varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d_{skut} - x)}{x} = \frac{0,35 \cdot (0,343 - 0,050)}{0,050} = 2,04\% \quad \text{VYHOVUJE}$$

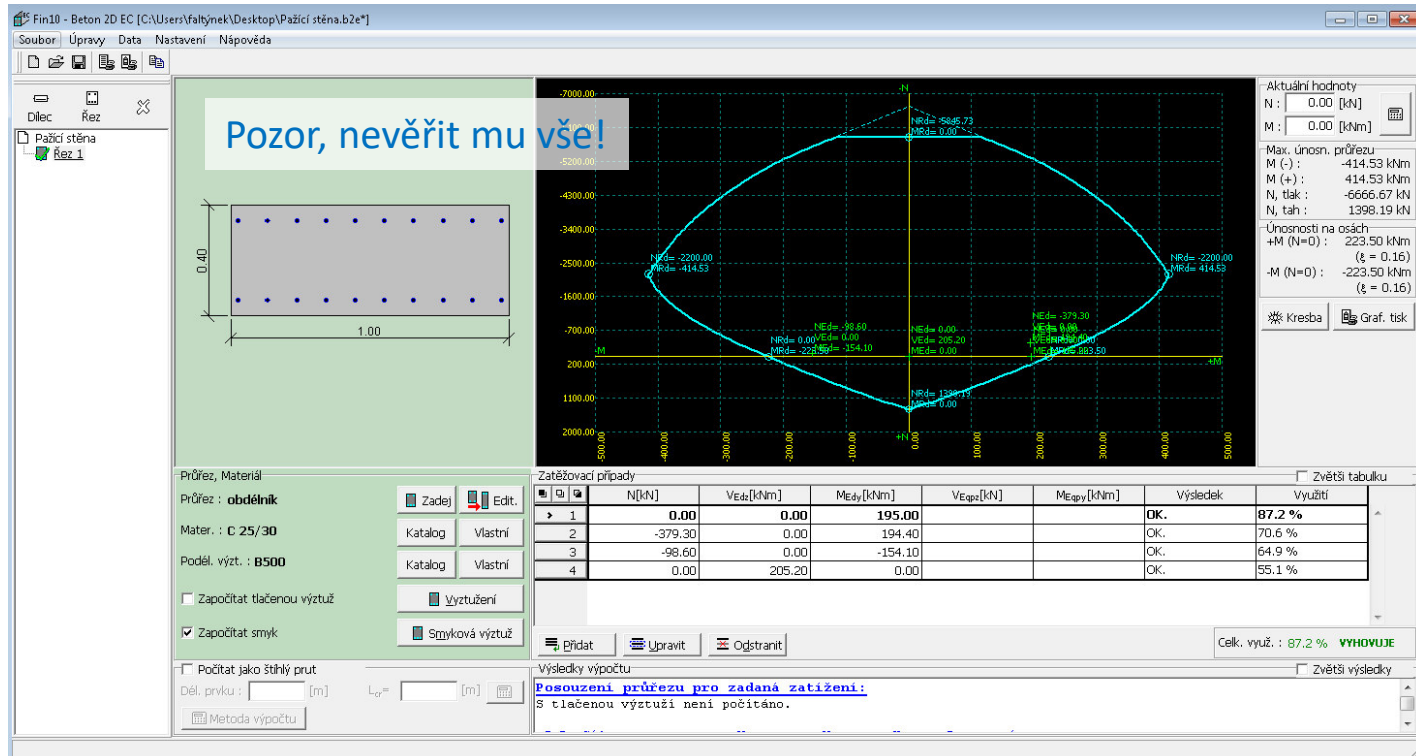
e) konstrukční požadavky - vzdálenosti, rozdělovací výztuž, armokoš musí být celistvý (zavěšení do rýhy)...

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny

Dále by bylo nutné posoudit průřez na účinky posouvající síly (smyk)

- ohyby, třmínky, spony
- pomoci si lze „chytrým“ programem např. FIN – BETON (návrh a posouzení výztuže je otázkou pár minut)



Obr. 65.: Program FIN – BETON

# Program

- I. Pažící konstrukce - úvod
- II. Motivace
- III. Technologie podzemních stěn
- IV. Příklady využití podzemních stěn
- V. Zadání úlohy
- VI. Vytvoření geometrie a definování materiálů
- VII. Vytvoření sítě
- VIII. Definování jednotlivých fází výpočtu
- IX. Výpočet
- X. Výsledky
- XI. Návrh a posouzení vyztužení podzemní stěny
- XII. Pažící konstrukce - závěr**

# PAŽÍCÍ KONSTRUKCE

## XII. Pažící konstrukce - závěr

- RDS dokumentace:

- napsat technickou zprávu (postup výstavby, specifikace, materiály...)

**UMÍME**

- provést statický výpočet pažící konstrukce a souvisejících prvků zabezpečení

**UMÍME**

- navrhnout potřebnou výztuž podzemní stěny

**UMÍME**

- posoudit navržený způsob podepření pažící konstrukce

**UMÍME**

- nakreslit všechny potřebné výkresy:

- situace
- řezy ve význačných místech
- detaily kotvení/rozepření

**ZADÁME BRIGÁDNÍKOVI**

- provést výkaz materiálu/výměr

**ZADÁME ROZPOČTÁŘI**



Obr. 66.: Ilustrativní obrázek



# Zdroje

- [1] Barták, J.; Pruška, J. *Podzemní stavby*; Vydavatelství ČVUT: Praha, 2012.
- [2] Klepsatel, F.; Mařík, L.; Frankovský, M. *Městské podzemní stavby*; JAGA: Bratislava, 2005.
- [3] <http://www.zakladani.cz/cz/podzemni-steny>
- [4] [http://www.soletanche.cz/technologie\\_podzemni\\_steny/](http://www.soletanche.cz/technologie_podzemni_steny/)
- [5] <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama322.html>
- [6] <http://fast10.vsb.cz/lahuta/mzzs/8.pdf>
- [7] [http://www.pjpk.cz/TKP\\_16.pdf](http://www.pjpk.cz/TKP_16.pdf)

...

# Děkuji za pozornost

Jak velkou potřebujete  
stavební jámu?



Obr. 67.: Největší bagr na světě **Bucyrus RH400**  
4400 hp (2 x 16ti válec), 889 t, objem lžíce 45 m<sup>3</sup>