

## Namáhání ostění kolektoru

Program: MKP

Soubor: Demo\_manual\_23.gmk

Cílem tohoto manuálu je vypočítat namáhání ostění raženého kolektoru pomocí metody konečných prvků.

### Zadání úlohy

Určete namáhání (deformace) ostění raženého kolektoru, jeho rozměry jsou patrné z následujícího obrázku. Stanovte vnitřní síly, které působí na ostění kolektoru. Ostění raženého kolektoru (tloušťky 0,1 m) je provedeno z železobetonu třídy C 20/25, dno je v hloubce 12,0 m. Geologický profil je homogenní, zemina má následující parametry:

- Objemová tíha zeminy:  $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
- Modul pružnosti:  $E = 12,0 \text{ MPa}$
- Poissonovo číslo:  $\nu = 0,40$
- Efektivní soudržnost zeminy:  $c_{ef} = 12,0 \text{ kPa}$
- Efektivní úhel vnitřního tření:  $\phi_{ef} = 21,0^\circ$
- Objemová tíha saturované zeminy:  $\gamma_{sat} = 22,0 \text{ kN/m}^3$

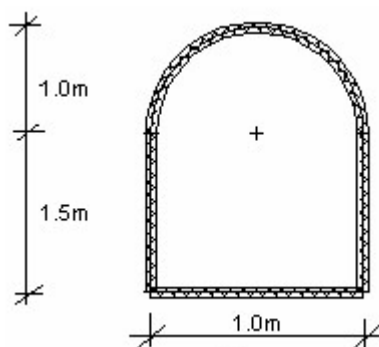


Schéma zadání úlohy – ražený kolektor

Hodnoty deformací a vnitřních sil budeme určovat pouze pro elastický model, protože nepředpokládáme vznik plastických deformací. Pro kontrolu podmínky plasticity následně použijeme Mohr-Coulombův materiálový model.

## Řešení

K výpočtu této úlohy použijeme program GEO 5 – MKP. V následujícím textu postupně popíšeme řešení příkladu po jednotlivých krocích:

- Topologie: nastavení a modelování úlohy (rozhraní, volné body a linie – zahuštění)
- Fáze budování 1: primární geostatická napjatost
- Fáze budování 2: modelování nosníkových prvků, výpočet deformací, vnitřní síly
- Vyhodnocení výsledků: porovnání, závěr.

### Topologie: zadání úlohy

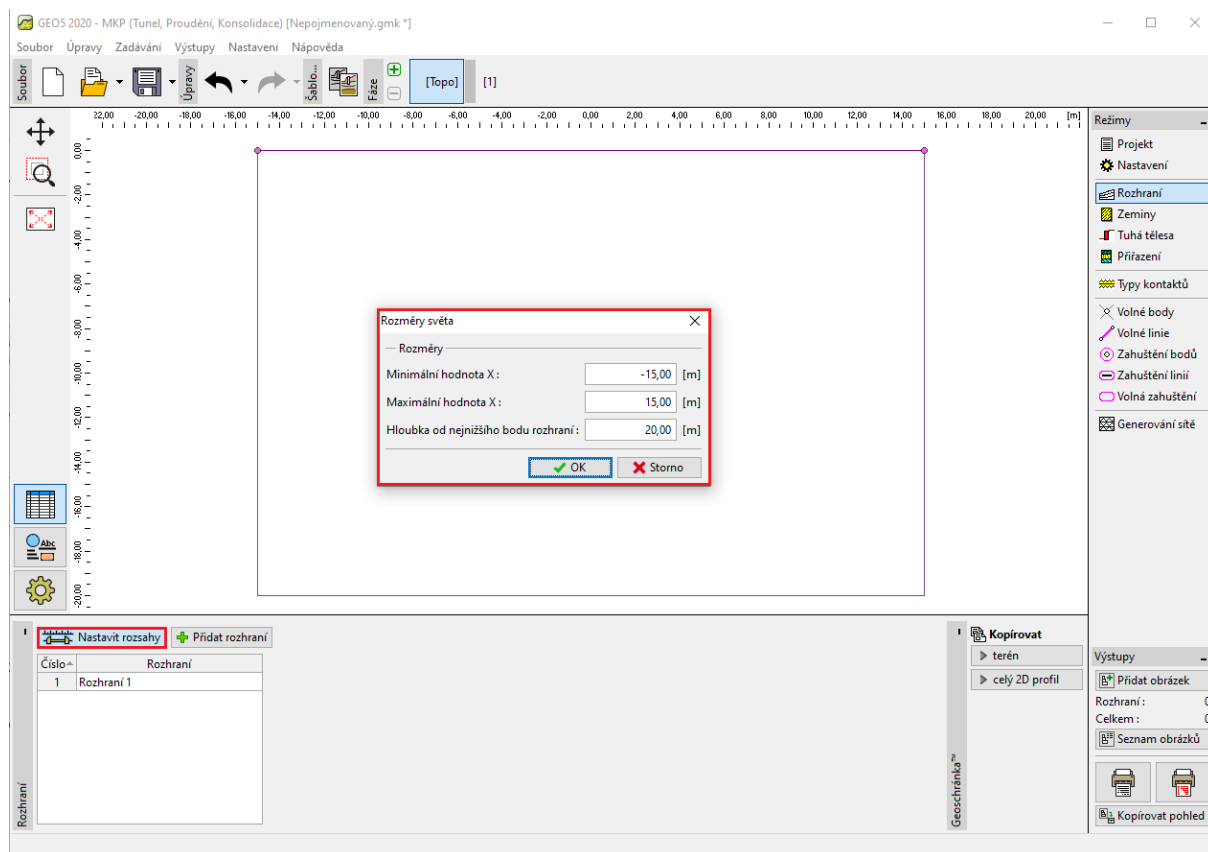
V rámu „Nastavení“ ponecháme způsob výpočtu 1. fáze budování jako geostatickou napjatost. Typ úlohy, resp. výpočtu budeme uvažovat jako *rovinnou deformaci*.

— Charakteristiky úlohy —	— Výpočtové normy —	— Rozšířené možnosti programu —
Geometrie úlohy : <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Rovinná</span>	Betonové konstrukce : <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">EN 1992-1-1 (EC2)</span>	<input type="checkbox"/> Podrobné parametry generování sítě
Typ výpočtu : <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Napjatost</span>	Výpočet primární napjatosti (1. fáze)	<input type="checkbox"/> Podrobné parametry zemin
<input type="checkbox"/> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Tunely</span>	Způsob výpočtu : <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Geostatická napjatost</span>	<input type="checkbox"/> Speciální modely zemin
<input type="checkbox"/> Umožnit zadat vodu pomocí výpočtu ustáleného proudění		<input type="checkbox"/> Podrobné výsledky

*Rám „Nastavení“*

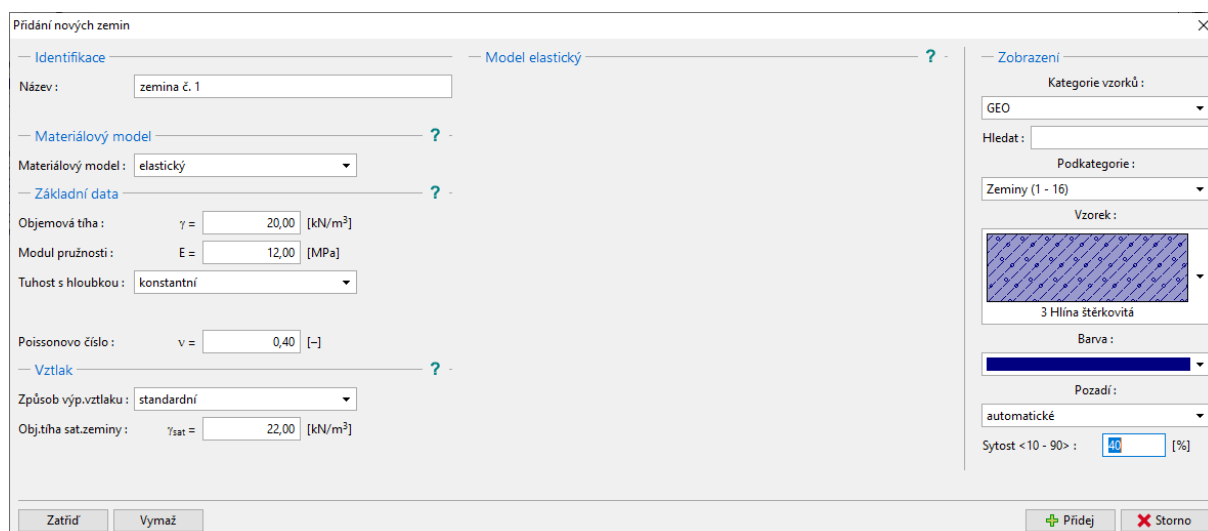
Dále zadáme rozměry světa a rozhraní terénu. Rozměry světa zvolíme dostatečně velké, aby výsledky nebyly ovlivněny podmínkami na okraji. Pro naši úlohu zvolíme rozměry modelu  $(-15\text{ m}; 15\text{ m})$ , vyšetřovanou hloubku vrstvy zadáme 20,0 m.

Poté přidáme rozhraní o souřadnicích  $(x, z)$ :  $[-15, 0]; [15, 0]$  [m]



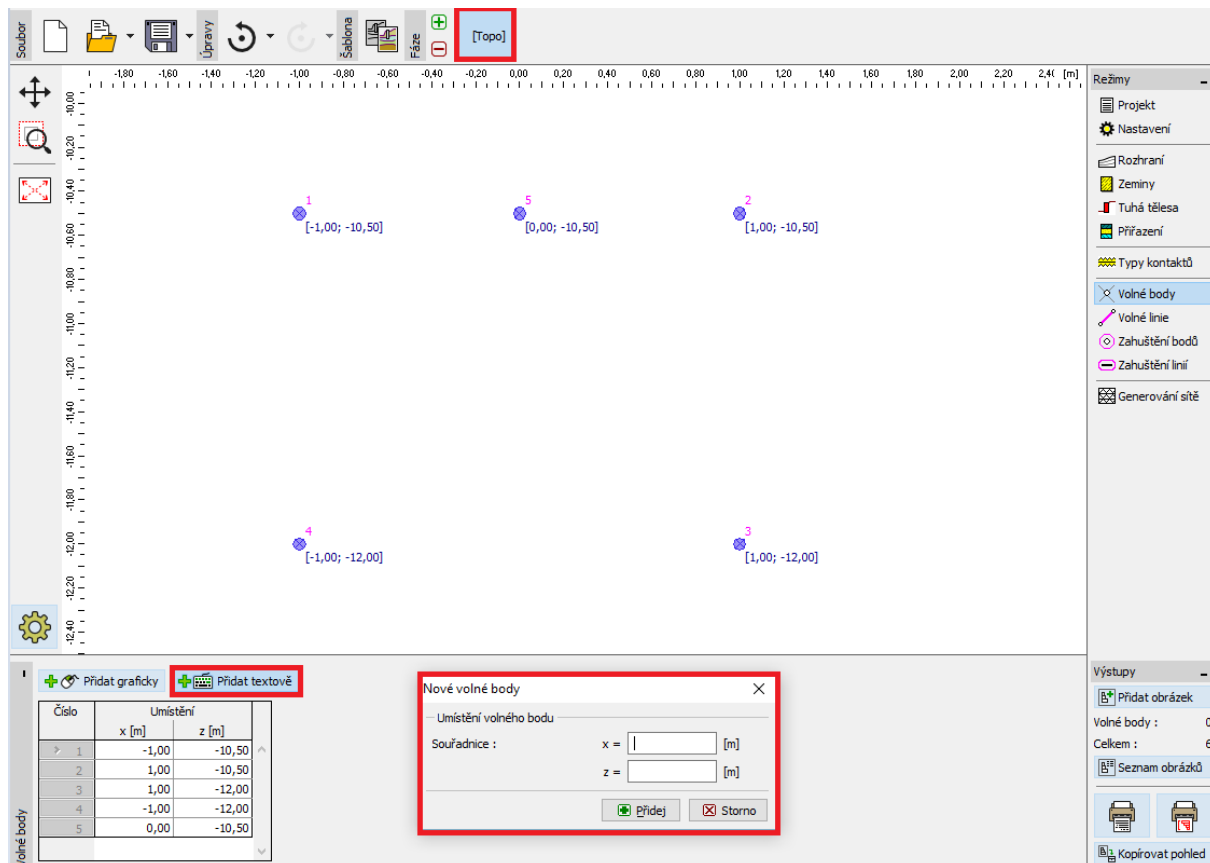
Rám „Rozhraní“ + dialogové okno „Rozměry světa“

Nyní zadáme příslušné parametry zeminy včetně materiálového modelu a následně přiřadíme zeminu do vzniklé oblasti (více viz Help – F1).



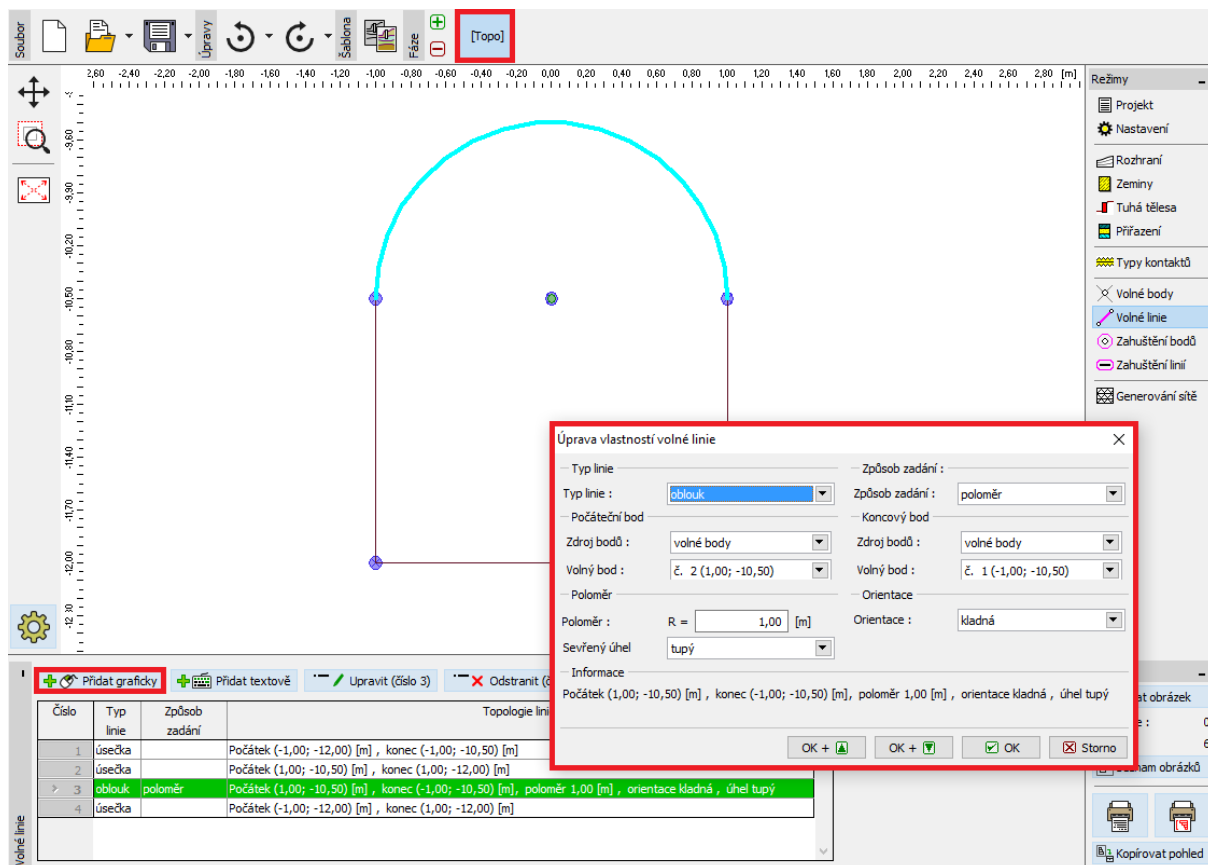
Dialogové okno „Přidání nových zemin“

Dalším krokem je zadání geometrie konstrukce. Nejprve definujeme souřadnice volných bodů (tlačítko „Přidat“), které tvoří rohy kolektoru (více viz Help – F1).



*Rám „Volné body“ + dialogové okno „Nové volné body“*

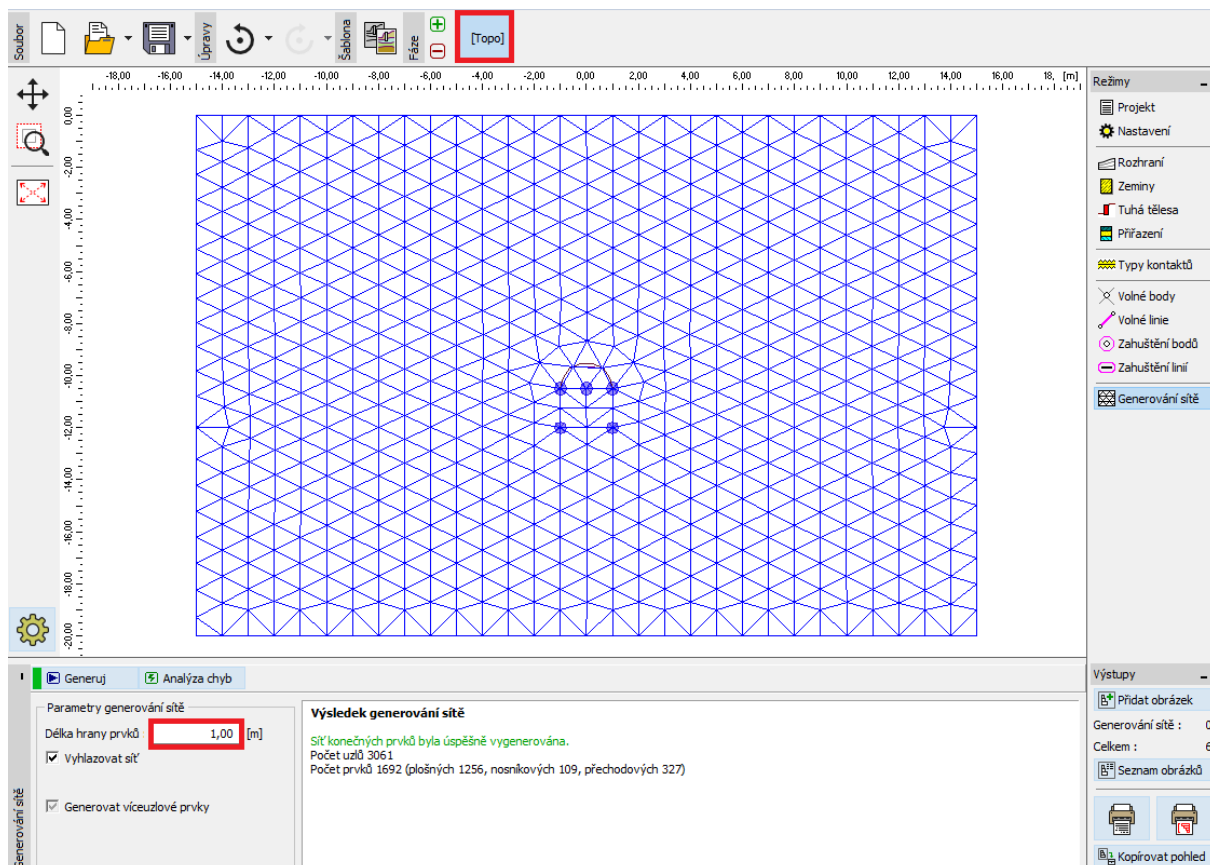
Následně v rámu „Volné linie“ klikneme na tlačítko „Přidat“ a pomocí kurzoru na obrazovce propojíme dané body příslušnými liniemi (více viz Help – F1). Pro zadání oblouku o poloměru  $R = 1,0 \text{ m}$  musíme změnit typ linie (pomocí tlačítka „Upravit“).



Dialogové okno „Úprava vlastností volné linie“

Tímto krokem je geometrie kolektoru zadána a přejdeme k vygenerování sítě KP (více viz Help – F1).

Pro parametry generování sítě zvolíme délku hrany prvků 1,0 m a stiskneme tlačítko „Generuj“. Program automaticky vygeneruje a vyhladí síť KP.



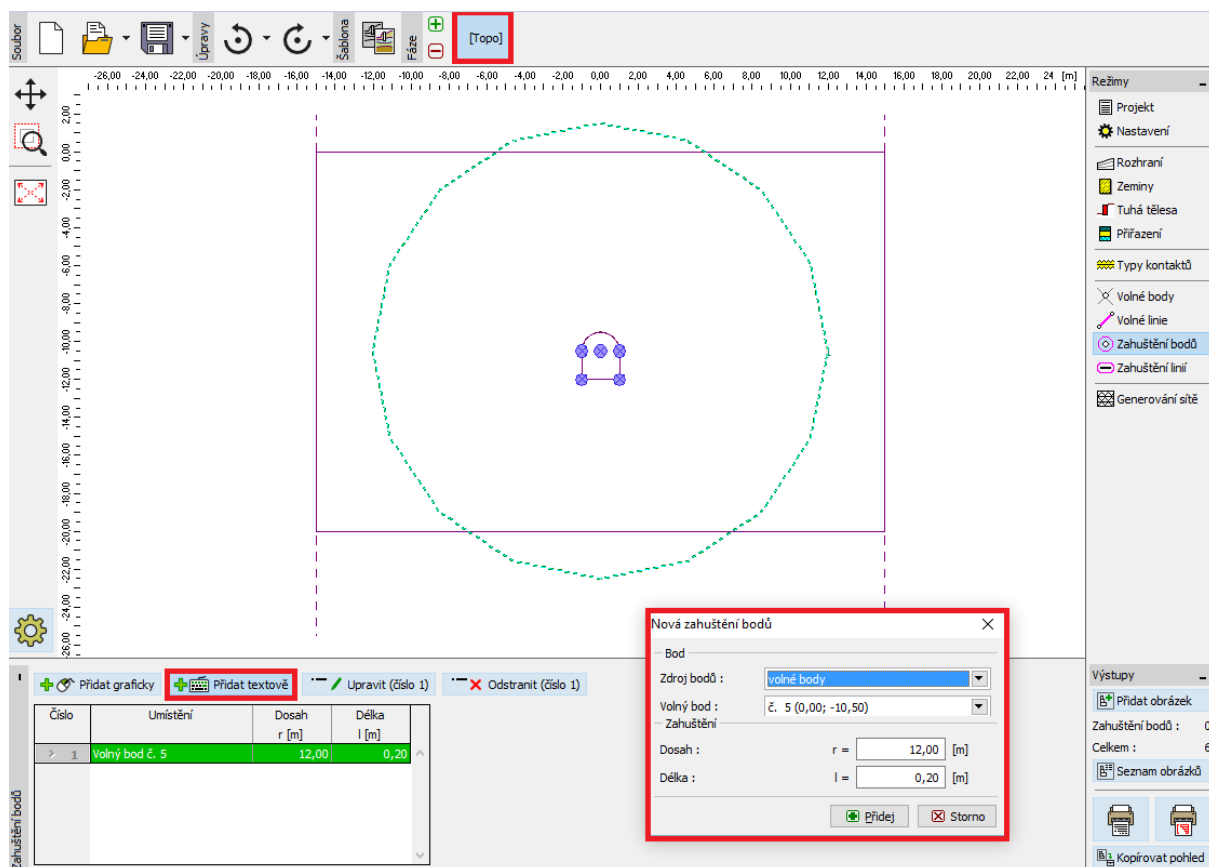
Rám „Generování sítě“ – délka hrany prvků 1,0 m (bez lokálního zahuštění sítě)

Na první pohled je zřejmé, že vygenerovaná síť v okolí kolektoru je velmi řídká. Provedeme proto její zahuštění. Síť můžeme zahuštit buď kolem linií, nebo kolem volných bodů. Pro zahuštění kolem ostění kolektoru (obecně výrubu) je vhodný následující postup:

- zadáme volný bod v okolí středu výrubu,
- provedeme zahuštění kolem tohoto bodu.

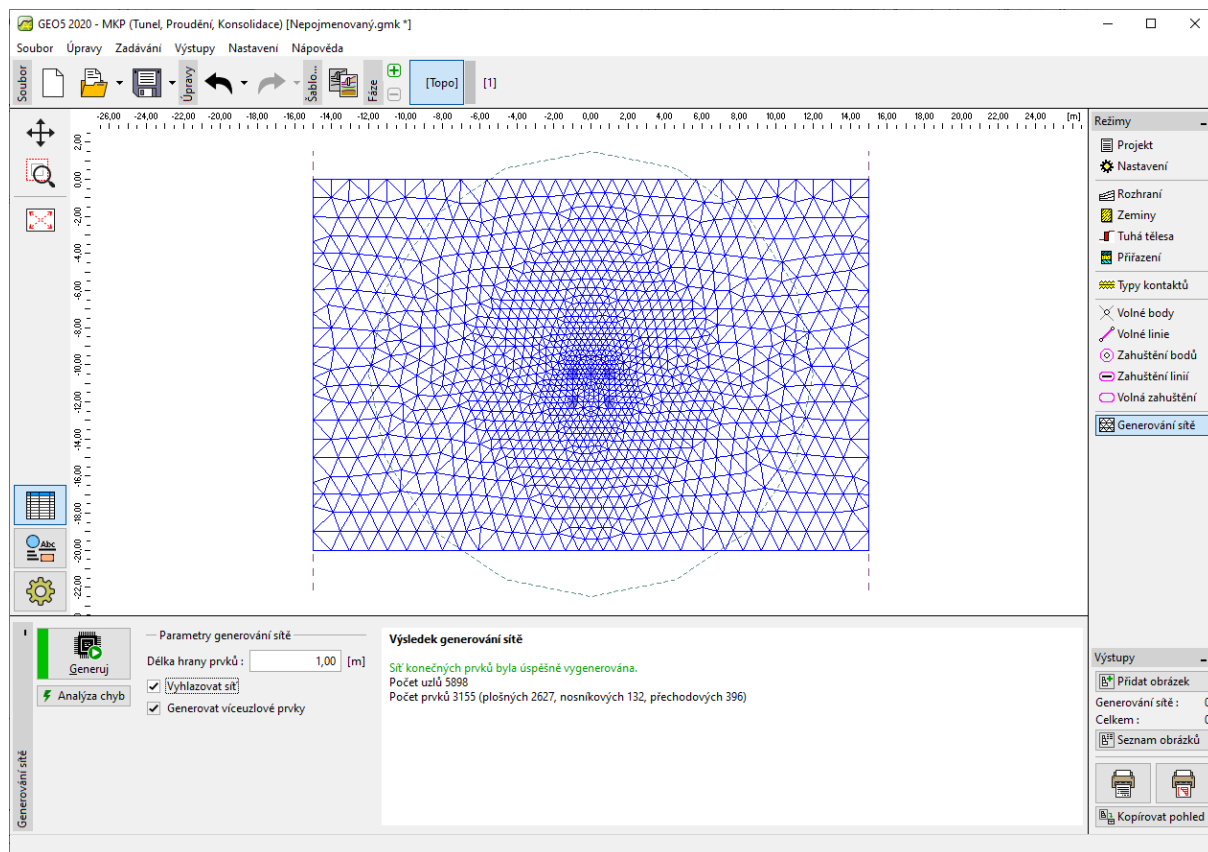
*Poznámka: Vnitřní síly na nosnících se počítají v jednotlivých bodech sítě, a proto je nutné dostatečně zahuštit volné linie a body sítě KP (více viz Help – F1).*

Pro zahuštění sítě konečných prvků zadáme příslušný dosah  $r = 12,0 \text{ m}$  a délku hrany prvků  $l = 0,2 \text{ m}$ . Poté se vrátíme do rámu „Generování sítě“ a opět vygenerujeme síť KP.



Dialogové okno „Nová zahuštění bodů“

*Poznámka: Síť prvků by měla být dostatečně hustá hlavně v těch místech řešené oblasti, kde lze očekávat velké gradienty napětí (bodové podepření, ostré rohy, výruby atp.). Je nutné, aby dosah zahuštění byl alespoň 3 až 5 násobek hustoty ve středu zahuštění a aby obě hodnoty v bodech (délka, dosah) byly v rozumném poměru k hustotě sítě předepsané pro okolní oblast. Tímto se zaručí hladký přechod mezi oblastmi s rozdílnou hustotou (více viz Help – F1).*



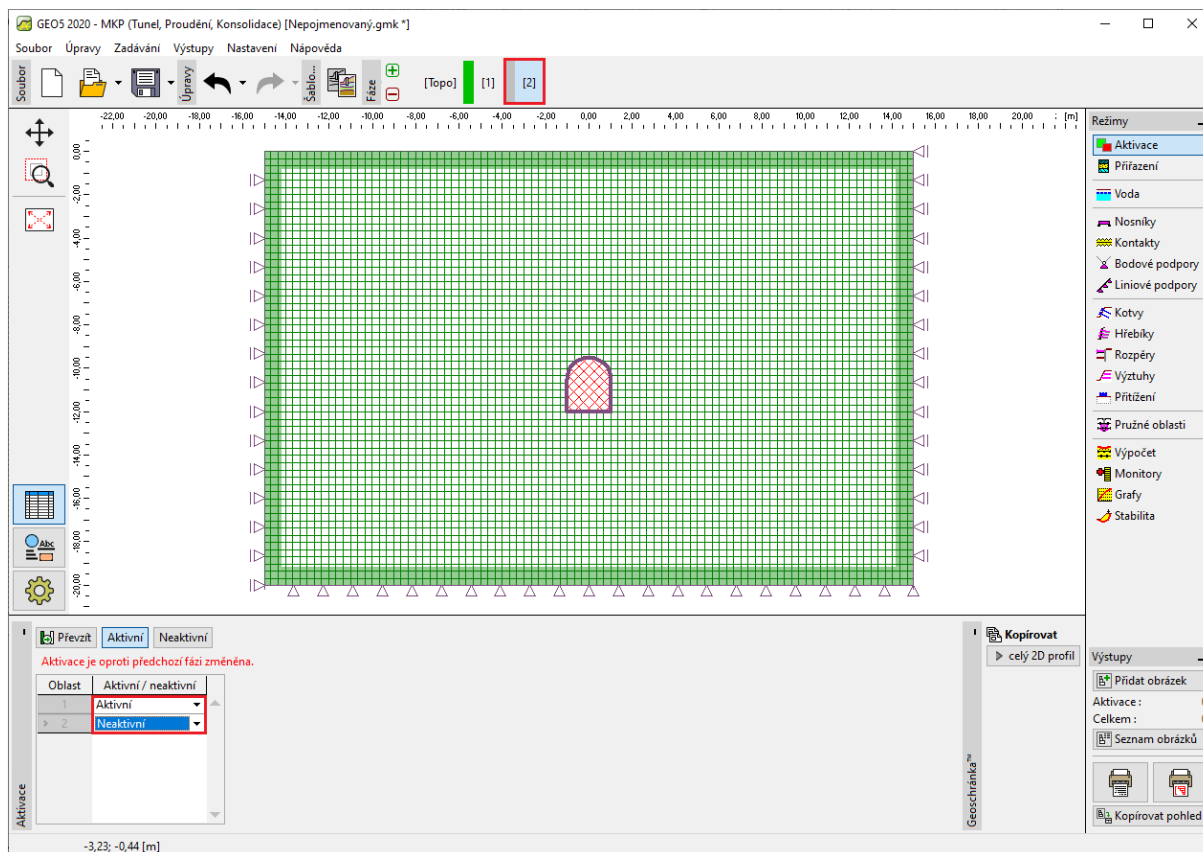
*Rám „Generování sítě“ – délka hrany KP 1,0 m (s lokálním zahuštěním sítě v okolí kolektoru)*

## Fáze budování 1: primární geostatická napjatost

Po následném vygenerování vypadá síť v okolí kolektoru výrazně lépe. Nyní přejdeme do 1. fáze budování a provedeme výpočet primární geostatické napjatosti. Nastavení výpočtu ponecháme jako „Standardní“ (více viz Help – F1).

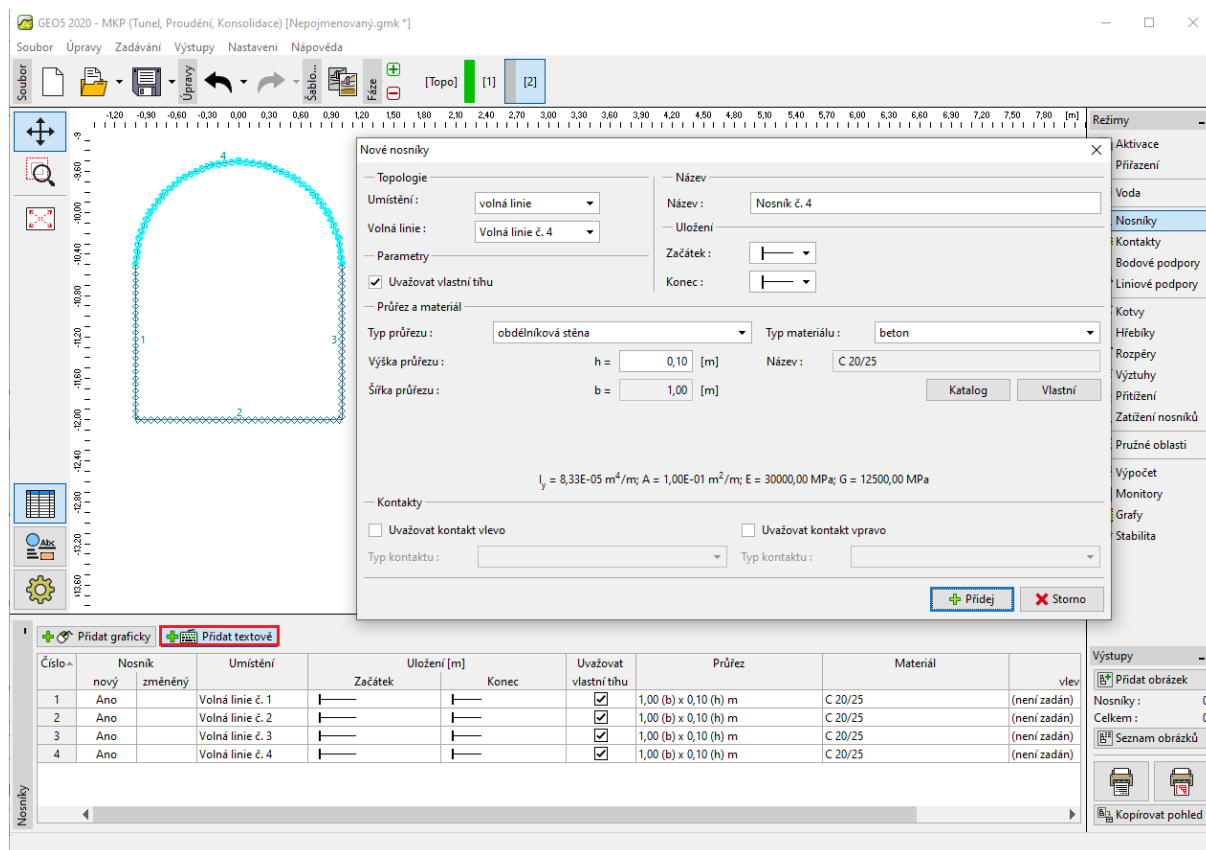


V rámu „Aktivace“ nejprve namodelujeme odtěžení zeminy z kolektoru – danou oblast zadáme jako neaktivní (více viz Help – F1).



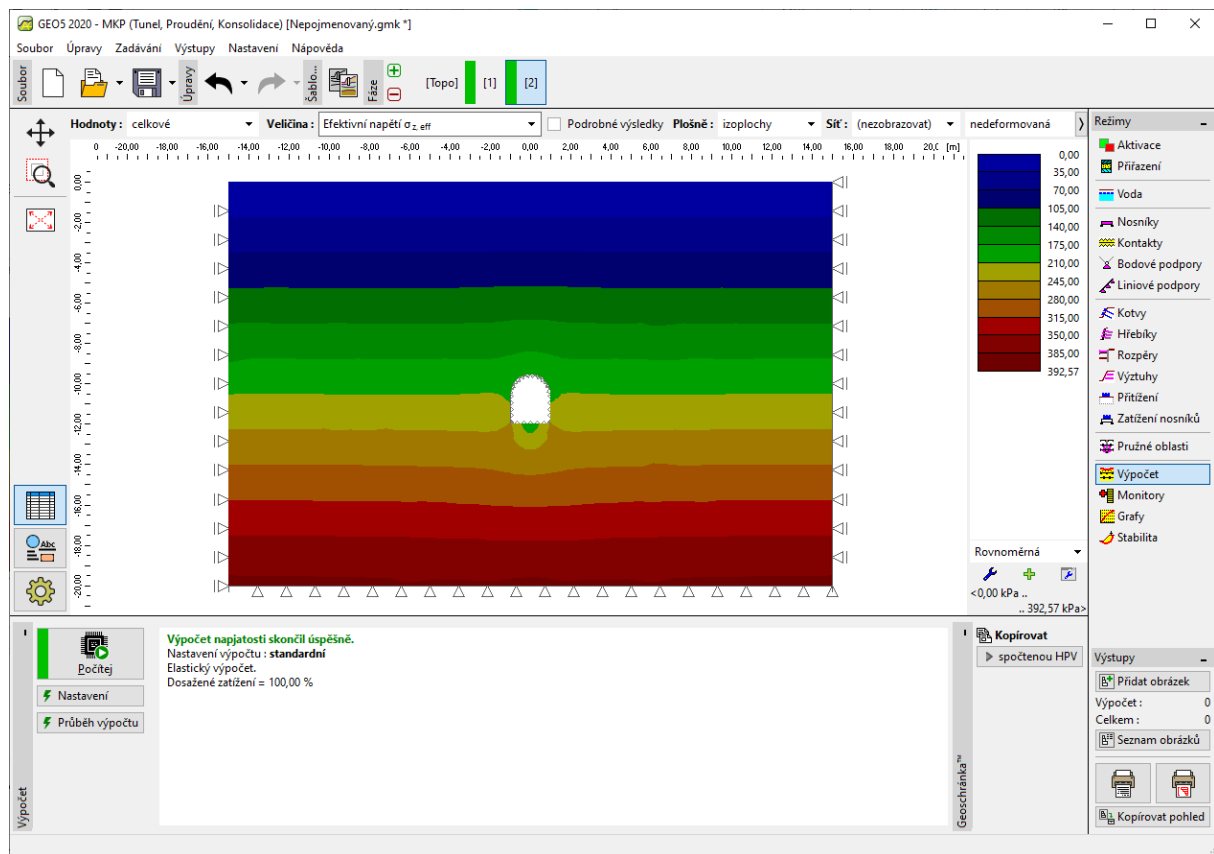
*Rám „Aktivace“ – Fáze budování 2*

Poté přejdeme do rámu „Nosníky“ a namodelujeme ostění raženého kolektoru. Definujeme následující parametry – umístění nosníku (uvažujeme na všechny volné linie), materiál a třída betonu, výšku průřezu (0,1 m) a uložení konců nosníku (více viz Help – F1).



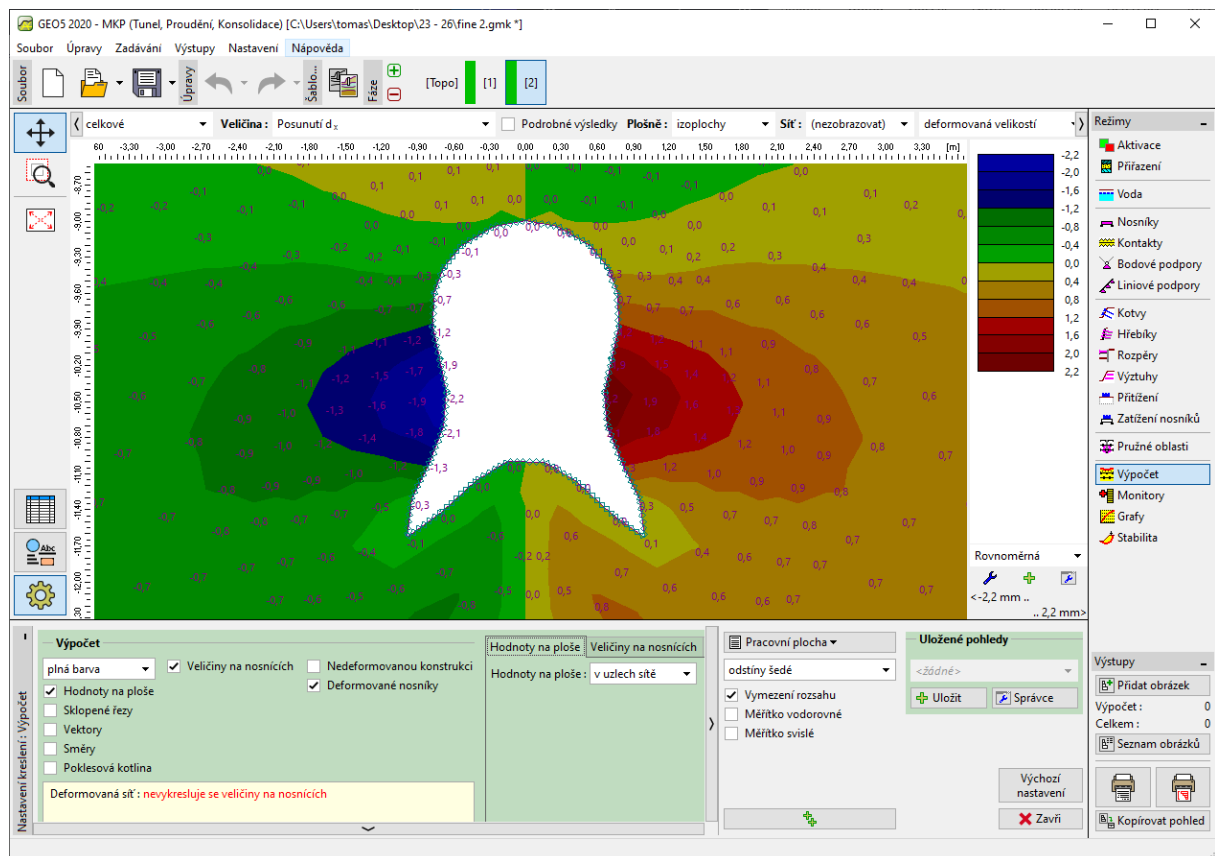
Dialogové okno „Nové nosníky“ – Fáze budování 2

Nyní provedeme výpočet a zobrazíme výsledky pro svislé geostatické napětí  $\sigma_{z,ef}$  [kPa], dále boční deformaci  $d_x$  [mm] a vnitřní síly na ostění raženého kolektoru.



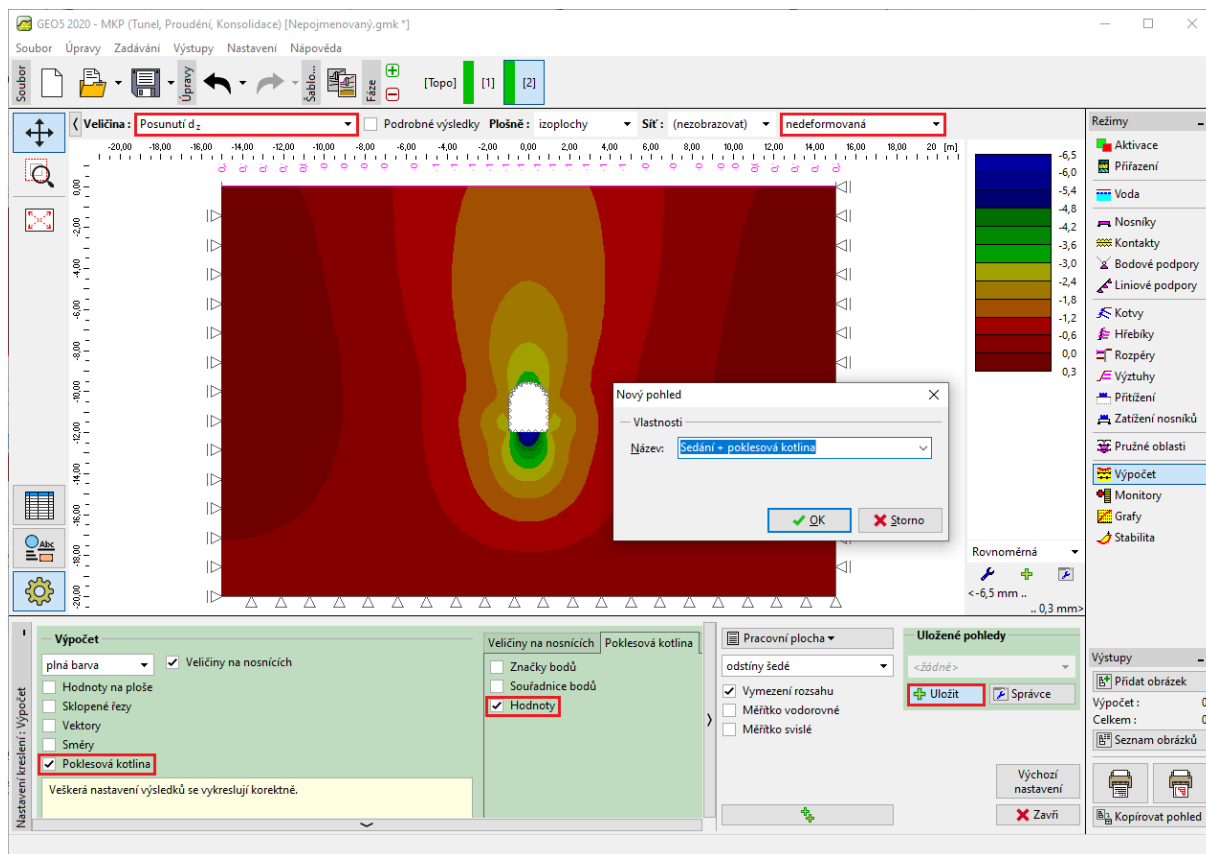
Rám „Výpočet“ – Fáze budování 2 (svislé geostatické napětí  $\sigma_{z,eff}$ )

Z obrázku plyne, že maximální vodorovná deformace je 2,2 mm (kolektor se chová jako tuhý celek). Pro lepší představu o chování konstrukce si zobrazíme deformovanou síť (tlačítko v horní části obrazovky).



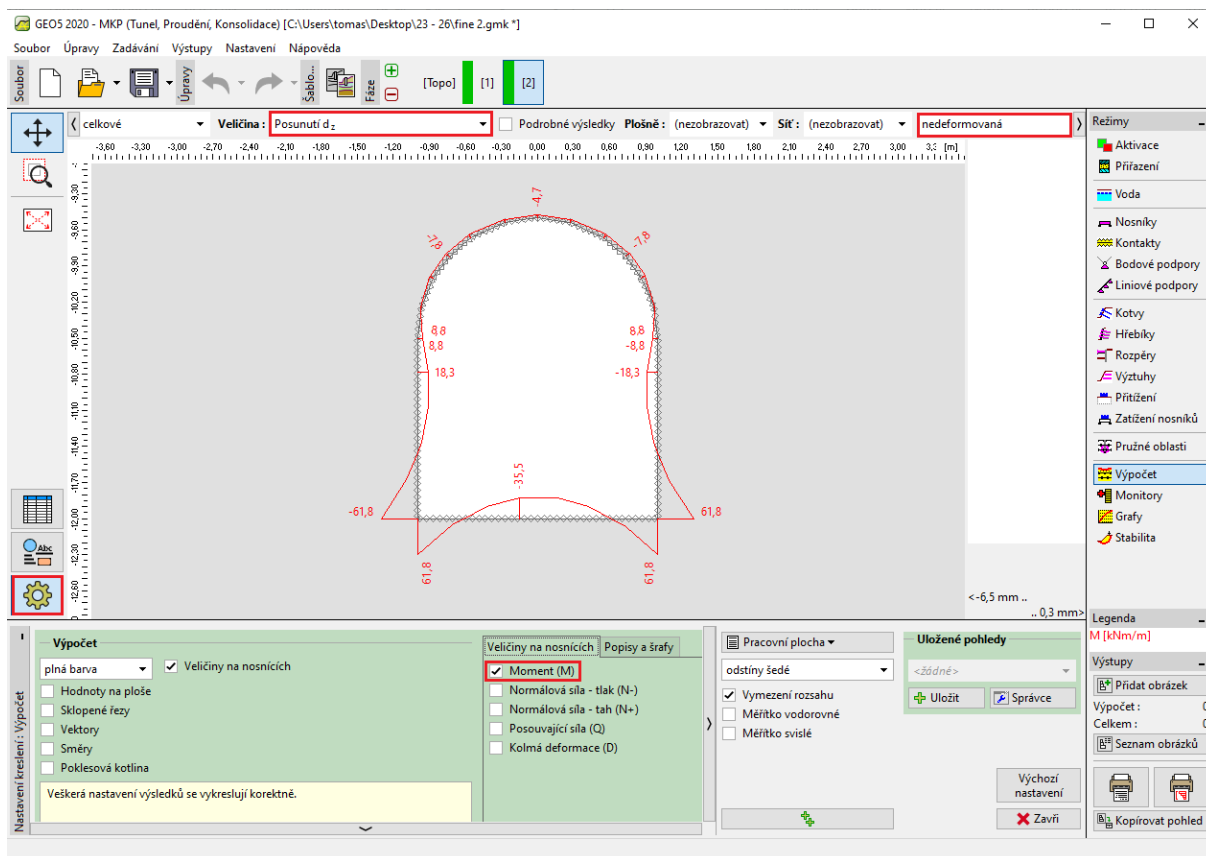
Rám „Výpočet“ – Fáze budování 2 (vodorovná deformace  $d_x$  po odtižení zeminy)

*Poznámka: Jednotlivé aktuální pohledy na obrazovce lze také uložit jako samostatné a poté je i spravovat. Tímto se výrazně urychlí práce při zobrazení výsledků (více viz Help – F1).*



Dialogové okno „Nový pohled“

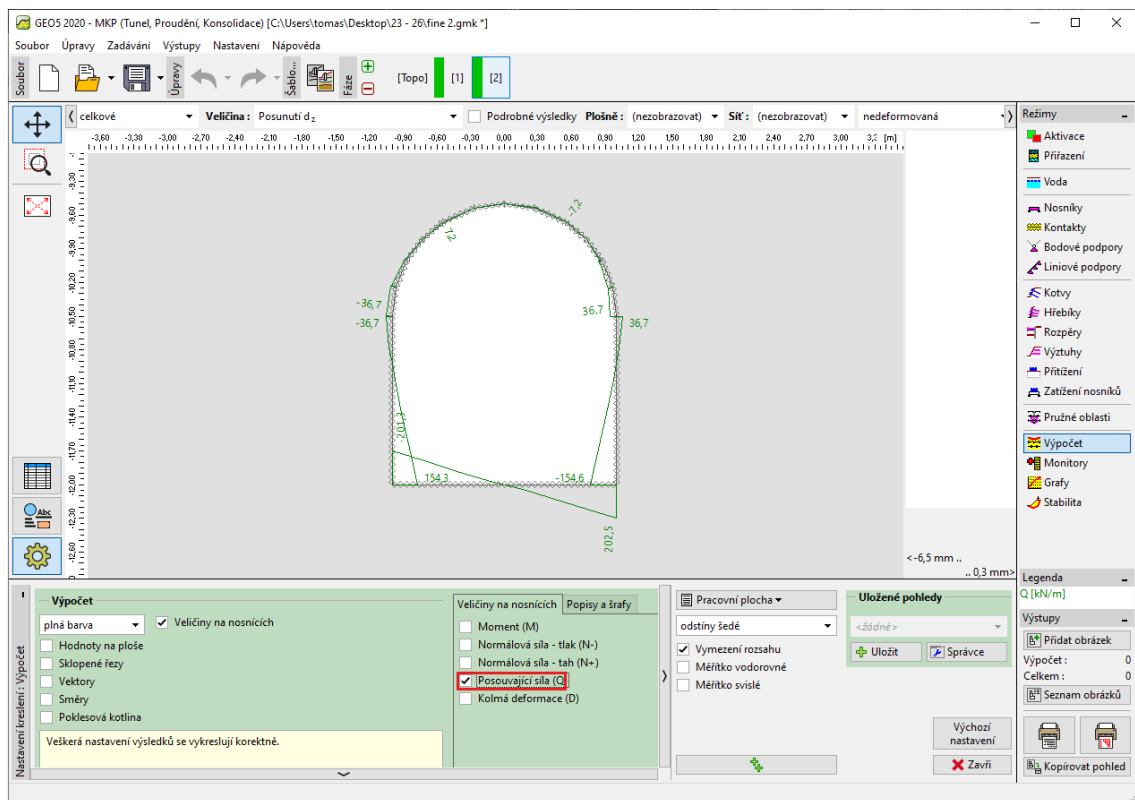
Nyní si prohlédneme průběhy ohybových momentů  $M$  [ $kNm/m$ ], posouvajících sil  $Q$  [ $kN/m$ ] a normálových tlakových sil  $N^-$  [ $kN/m$ ] pro 2. fázi budování (pomocí tlačítka „Nastavení“ v záložce „Veličiny na nosnících“).



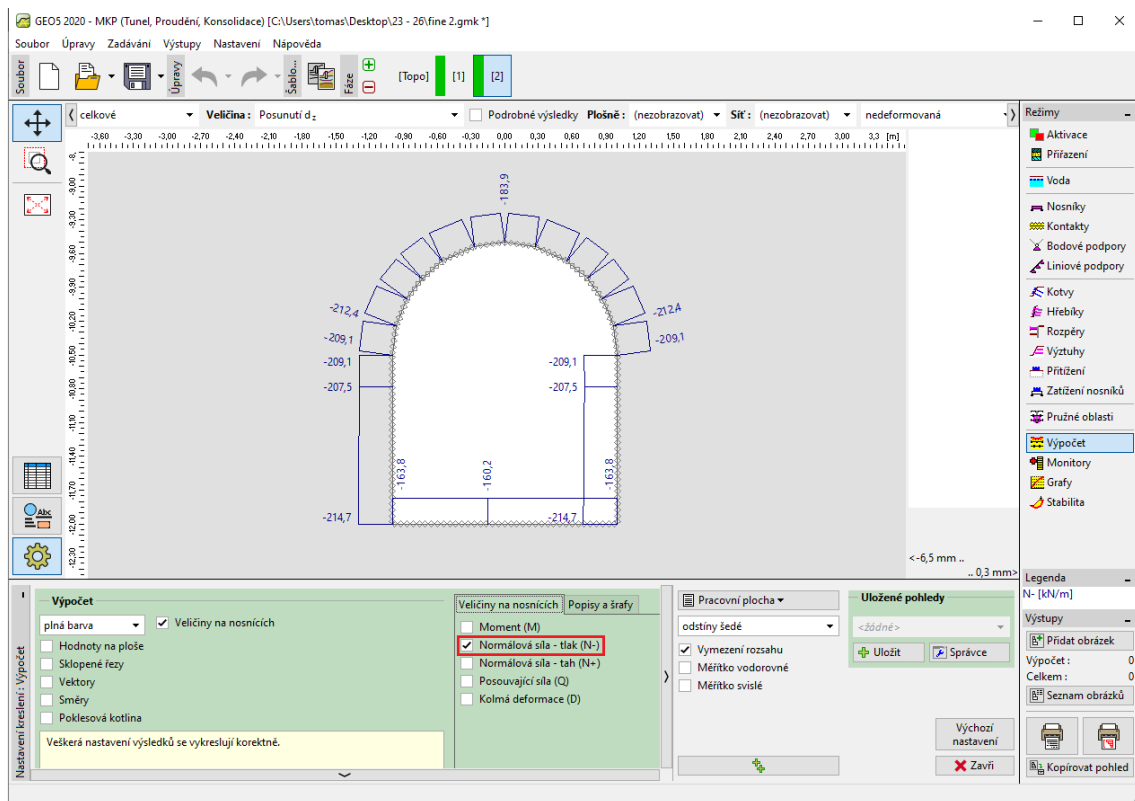
*Rám „Výpočet“ – Fáze budování 2 (průběhy ohybových momentů  $M$ )*

*Poznámka: Některé výsledky z důvodů přehlednosti a srozumitelnosti nelze vykreslovat současně. Nelze například vykreslit deformovanou konstrukci a současně průběhy vnitřních sil na nosníku, vždy je nutné zvolit pouze jednu variantu. V případě, kdy jsou zadány nepřípustné kombinace výstupů, program na to upozorní v spodní části dialogového okna (více viz Help – F1).*

Na tyto hodnoty lze v libovolném statickém programu (např. FIN EC – BETON 2D) navrhnout a posoudit výztuž ostění kolektoru. Výsledky zaznamenáme do souhrnné tabulky.



Rám „Výpočet“ – Fáze budování 2 (průběhy posouvajících sil  $Q$ )

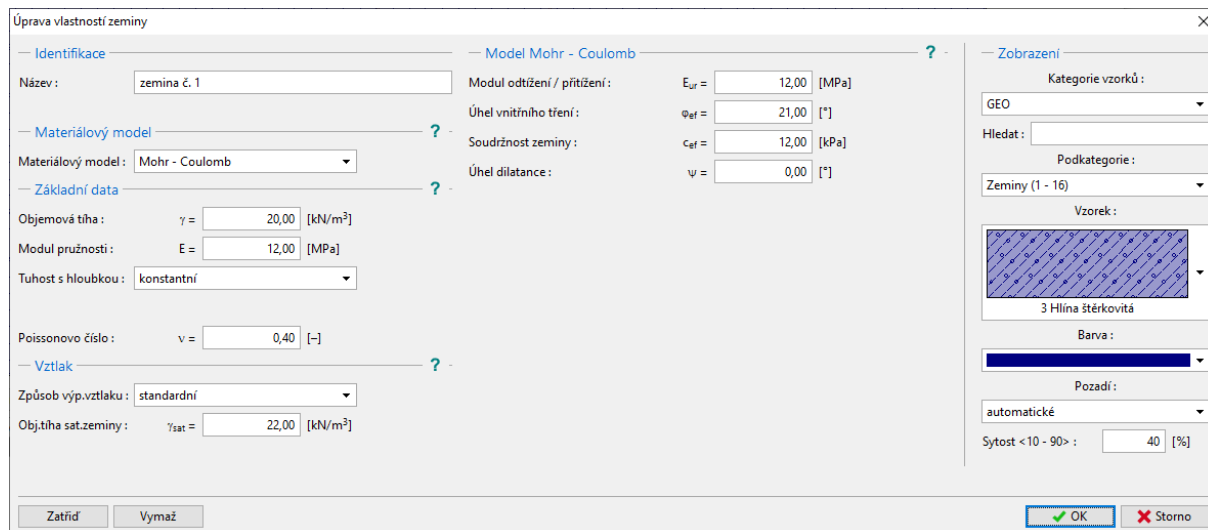


Rám „Výpočet“ – Fáze budování 2 (průběhy normálových tlakových sil  $N^-$ )



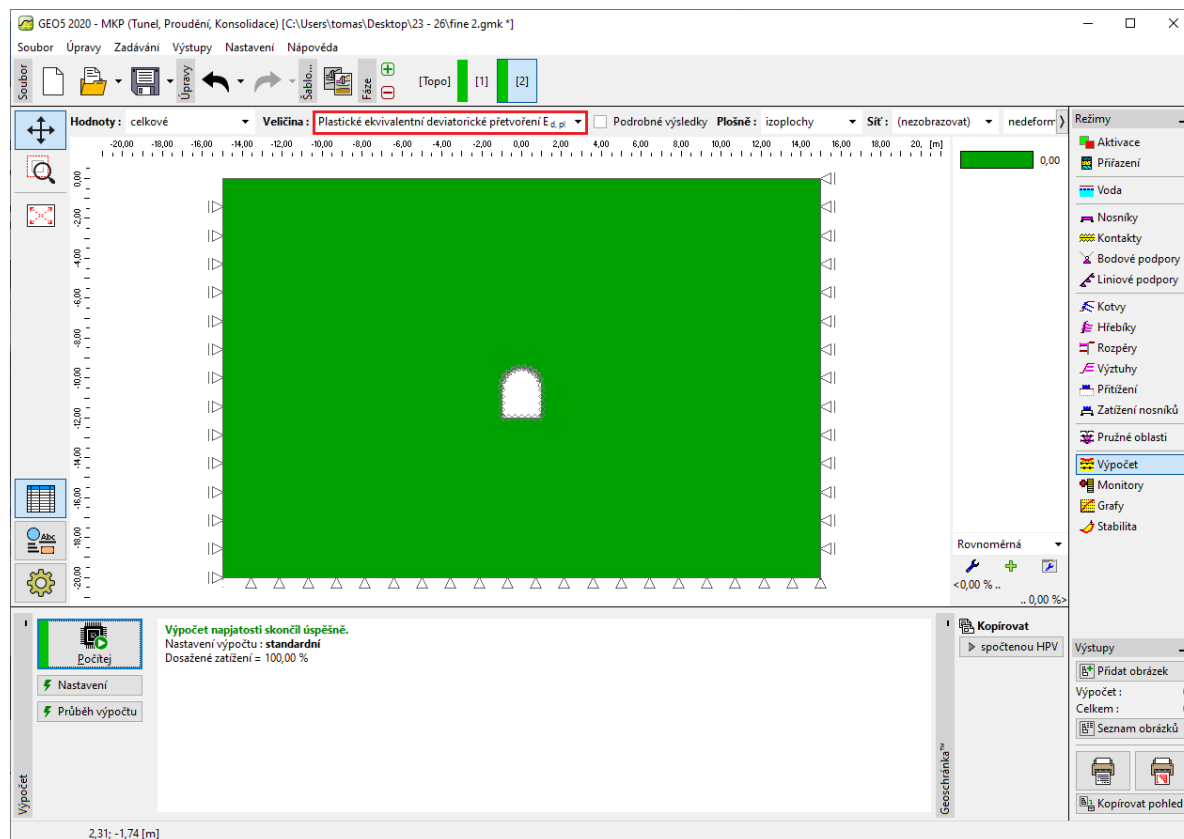
## Kontrola podmínky plasticity: Mohr-Coulombův materiálový model

Nyní ověříme, zda dochází ke vzniku plastických deformací pro nelineární modely či nikoliv. Vrátime se do režimu „Topologie“ a v rámu „Zeminy“ změníme materiálový model na „Mohr-Coulomb“.



### Úprava vlastností zeminy

Po provedení výpočtů si prohlédneme ekvivalentní plastické deformace.



Rám „Výpočet“ – Fáze budování 2 (ekvivalentní deformace  $\varepsilon_{eq.pl.}$  podle MC modelu)

Z předchozího obrázku vyplývá, že podmínka plasticity pro Mohr-Coulombův model není překročena – ekvivalentní plastické deformace  $\varepsilon_{eq.,pl.}$  jsou nulové, což odpovídá chování konstrukce podle elastického materiálového modelu. Výsledné hodnoty deformací, geostatického napětí a vnitřních sil jsou tudíž shodné.

### Vyhodnocení výsledků

V následující tabulce jsou zobrazeny hodnoty extrémů vnitřních sil na nosnících (ostění kolektoru) pro 2. fázi budování. Jedná se o hodnoty ohybových momentů, posouvajících a normálových sil. Tento výpočet jsme provedli pro elastický materiálový model s lokálním zahuštěním trojúhelníkových prvků.

Materiálový model	Fáze budování 2		
	$N^-$ [kN/m]	$M$ [kNm/m]	$Q$ [kN/m]
Elastický	– 160,2	+ 61,8	+ 202,5
	– 214,7	– 61,8	– 201,3

*Průběhy vnitřních sil na nosnících (extrémy) – Fáze budování 2*

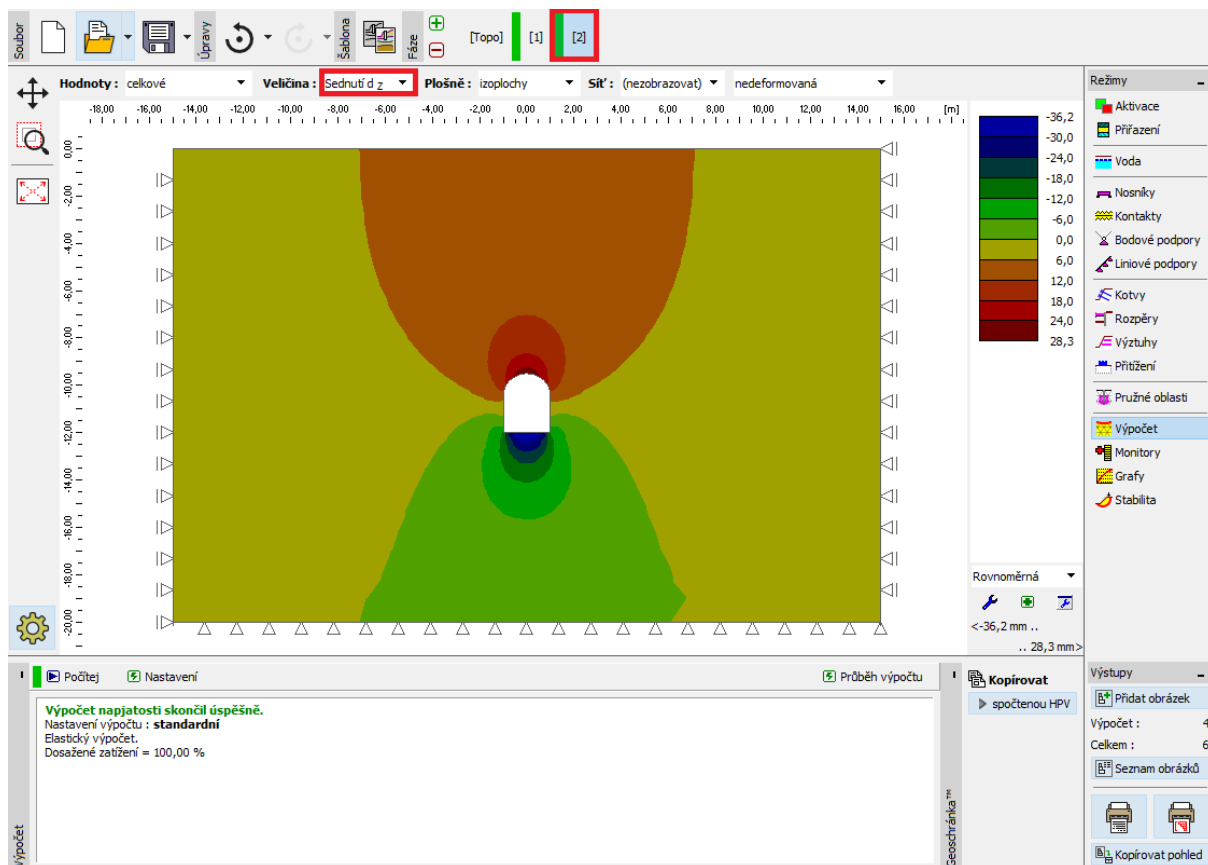
### Závěr

Z výsledků numerického výpočtu lze vyvodit následující závěry:

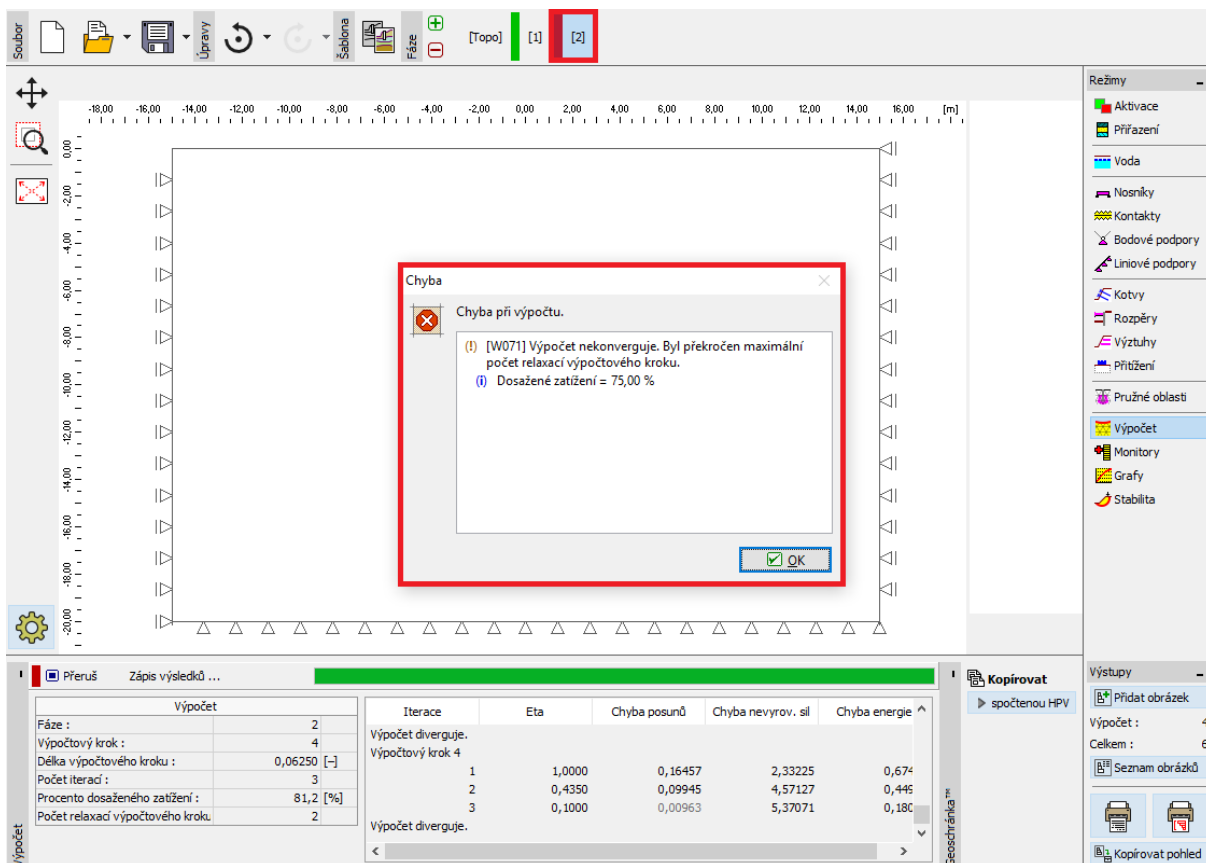
- Lokální zahuštění sítě konečných prvků vede k přesnějším výsledkům.
- Pokud u nelineárních materiálových modelů (např. Mohr-Coulomb) vycházejí ekvivalentní plastické deformace  $\varepsilon_{eq.,pl.}$  nulové, pak se konstrukce chová elasticky a výsledky vnitřních sil, deformací a napětí jsou pro oba typy modelů stejné.

*Poznámka: Výpočet, který jsme provedli, ve skutečnosti vychází z nereálného předpokladu, že ostění působí zároveň s odtěžením zeminy. Tento způsob by byl vhodný pro konstrukce budované protlačením v měkkých zeminách (zatlačení hotové konstrukce do zeminy). Ve skutečnosti při odtěžení zeminy dojde k odlehčení masivu a deformaci zeminy, resp. horniny směrem do výrubu. Reálný příklad modelování tunelu je popsán v kapitole 26. Numerické modelování tunelu metodou NRTM.*

*Pokud by v našem příkladě nebylo ostění aktivováno hned (lze modelovat jako další fázi budování bez zadání nosníkových prvků), došlo by k zavalení výrubu – pro elastický model je toto znázorněno velkými deformacemi, u nelineárního modelu pak program nenajde řešení.*



*Výpočet bez použití nosíkových prvků (sednutí  $d_z$  podle elastického modelu)*



Dialogové okno „Chyba“ – výpočet bez použití nosníkových prvků (podle MC modelu)