

Výpočet sedání terénu od pásového přetížení

Program: MKP

Soubor: Demo_manual_21.gmk

V tomto příkladu je řešeno sednutí terénu pod přetížením pomocí metody konečných prvků.

Zadání úlohy

Určete sednutí terénu vyvolané pásovým přetížením $q = 250$ kPa o délce 4,0 m a celkové sednutí po následném odtížení. Geologický profil je homogenní, zemina má tyto následující parametry:

- Objemová tíha zeminy: $\gamma = 19,0$ kN/m³
- Modul pružnosti: $E = 15,0$ MPa
- Modul odtížení: $E_{ur} = 45,0$ MPa
- Poissonovo číslo: $\nu = 0,35$
- Soudržnost zeminy: $c_{ef} = 8,0$ kPa
- Úhel vnitřního tření: $\phi_{ef} = 29,0$ °
- Objemová tíha saturované zeminy: $\gamma_{sat} = 21,0$ kN/m³

Pro *modifikovaný elastický model* budeme uvažovat vstupní parametry zemin takto:

- Modul přetvárnosti zeminy: $E_{def} = 15,0$ MPa
- Modul odtížení: $E_{ur} = 45,0$ MPa

Výpočet sedání, resp. hodnoty celkové svislé deformace d_z [mm] porovnejte pro ostatní materiálové modely (nebudeme uvažovat Cam-Clay model a Hypoplastický jíl, neboť zeminový masiv je z nesoudržné zeminy).

Poznámka: V inženýrské praxi se Mohr-Coulomb a Drucker-Prager používají i pro soudržné zeminy, protože jsou založené na porušení ve smyku a používají běžné vstupní parametry zemin a hornin (ϕ , c).

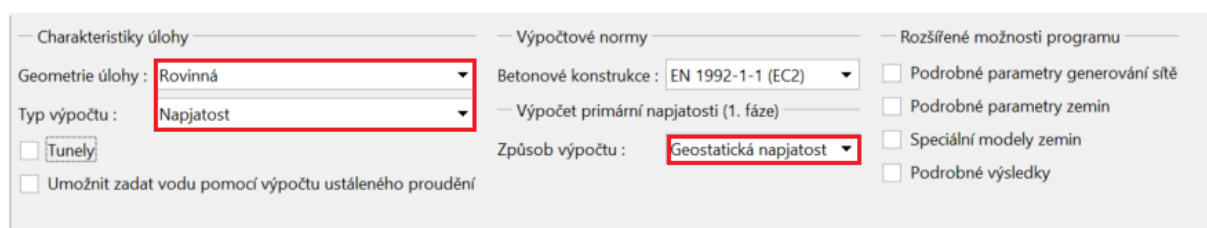
Řešení

K výpočtu této úlohy použijeme program GEO5 – MKP. V následujícím textu postupně popíšeme řešení příkladu po jednotlivých krocích:

- Topologie: nastavení a modelování úlohy,
- Fáze budování 1: výpočet geostatické napjatosti,
- Fáze budování 2: přidání přetížení, výpočet sedání terénu,
- Fáze budování 3: odtížení povrchu terénu, výpočet sedání terénu,
- Vyhodnocení výsledků (závěr).

Topologie: zadání úlohy

Nejprve přejdeme k nastavení úlohy, kde charakterizujeme samotný typ úlohy, typ jejího výpočtu a způsob výpočtu primární napjatosti.



Nastavení úlohy – Charakteristika úlohy, výpočet primární napjatosti

Volby tunely, rozšířeného zadávání a podrobné výsledky nebudeme zapínat – jsou určeny pro zkušené uživatele konečných prvků, případně pro jiný typ úloh. Jejich popis přesahuje rozsah a účel tohoto manuálu.

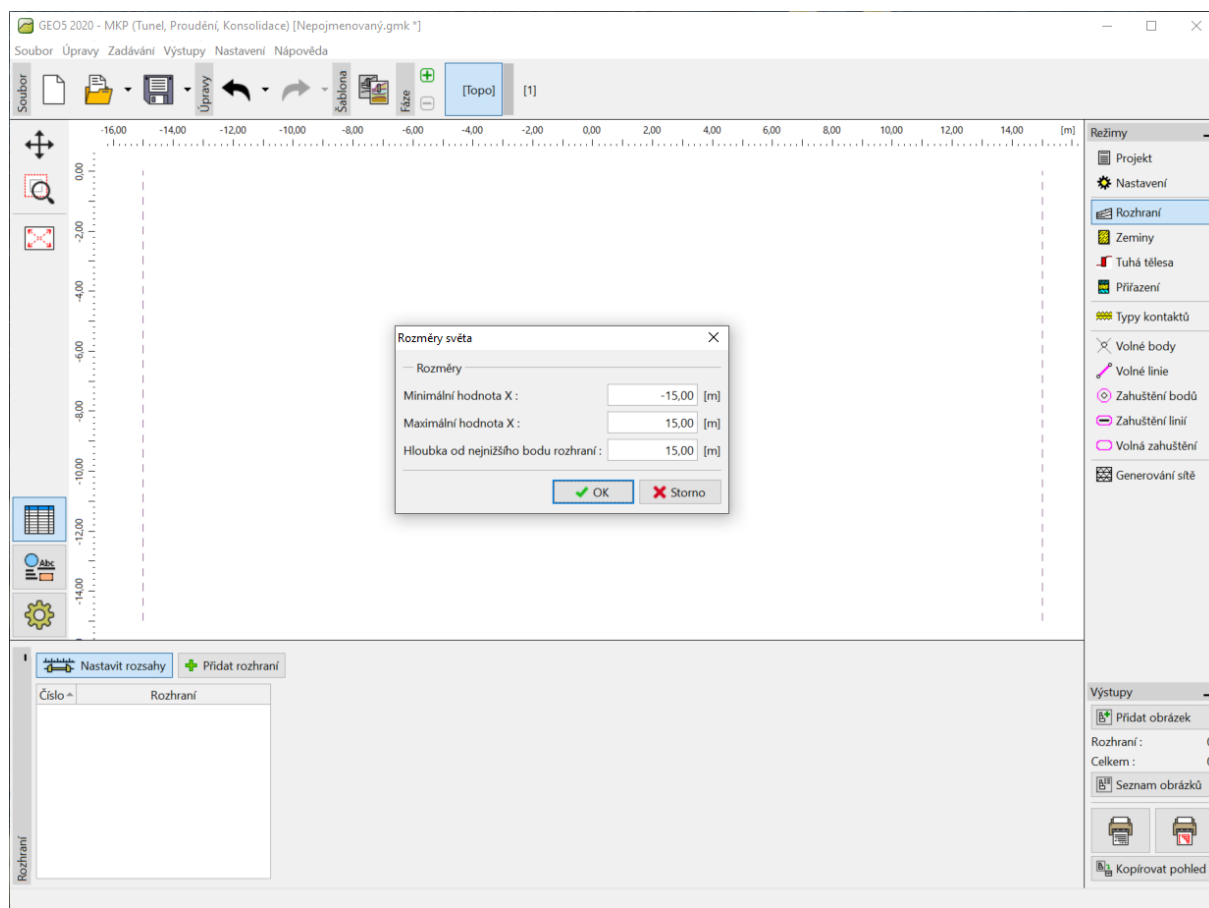
Poznámka: Rovinná úloha (předpoklad rovinné deformace) je vhodná pro řešení liniových konstrukcí (tunel, násep, zářez, přehrada atp.), pro které platí, že jejich podélný rozměr (osa y) je řádově větší než příčné rozměry řešené oblasti – ve směru osy y se předpokládají nulové deformace. Výpočet je proveden za předpokladu rovinné deformace (více viz Help – F1). Druhý typ úlohy (osová symetrie) je řešen v následující kapitole.

Poznámka: Typ výpočtu **napjatost** počítá napětí a deformace v řešené oblasti. Je to základní typ výpočtu, další volby (proudění, stabilita svahu) budou popsány v následujících kapitolách.

Poznámka: Způsob výpočtu **primární napjatosti** (pro 1. fázi budování) se v programu uvažuje dvěma možnostmi jako:

- **geostatická napjatost:** standardní způsob výpočtu svislého geostatického napětí uvažující vlastní tíhu zemin a vodorovná napětí podle teorie pružnosti. Součinitel bočního tlaku je zaveden hodnotou $K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$.
- K_0 **procedura:** používá se v případě, kdy uživatel potřebuje zadat jinou hodnotu bočního tlaku (dle Jákyho, pro překonsolidované zeminy apod.).

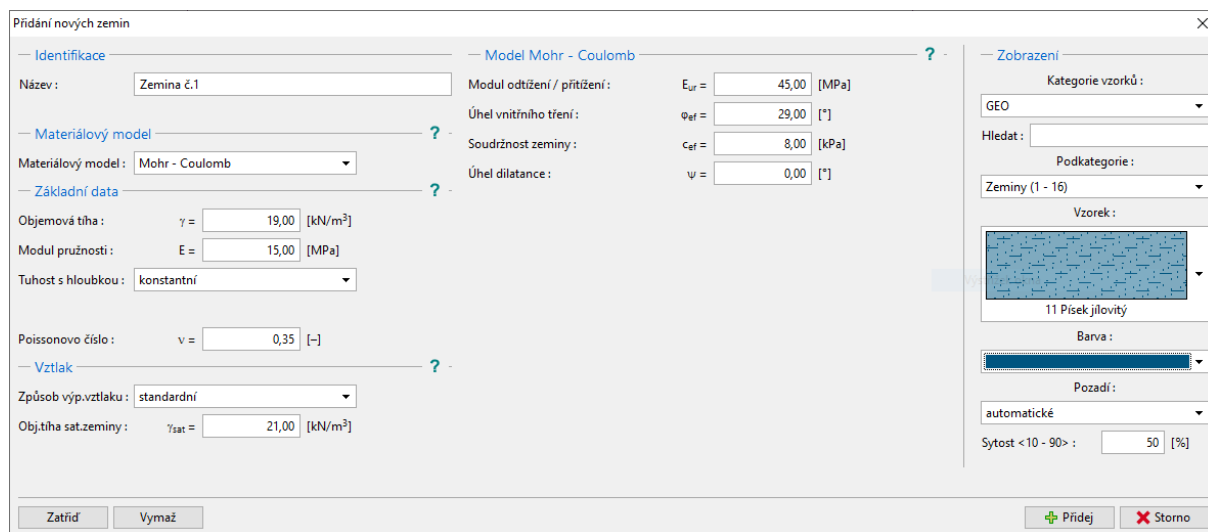
Dále zadáme rozměry světa (velikost numerického modelu řešené úlohy) a rozhraní terénu. Rozměr světa zvolíme dostatečně velký, aby výsledky nebyly ovlivněny podmínkami na okraji. Pro naši úlohu zvolíme rozměry modelu $\langle -15 \text{ m}; 15 \text{ m} \rangle$, vyšetřovanou hloubku vrstvy zadáme 15,0 m. Zadáme souřadnice terénu – stačí pouze jedním bodem o souřadnicích $[0,0]$; program již rozhraní doplní automaticky.



Zadaný tvar terénu – body aktuálního rozhraní, rozměry světa

Poznámka: Orientační hodnoty doporučených velikostí hranic modelů pro jednotlivé případy řešení jsou blíže uvedeny a popsány v nápovědě k programu (více viz F1).

Pro první výpočet zvolíme **Mohr-Coulombův** model zeminy (na konci tohoto příkladu je porovnání pro různé modely) a zadáme příslušné parametry zeminy. Tento nelineární model nám umožní sledovat vývoj plastických deformací, resp. rozložení možných oblastí porušení.

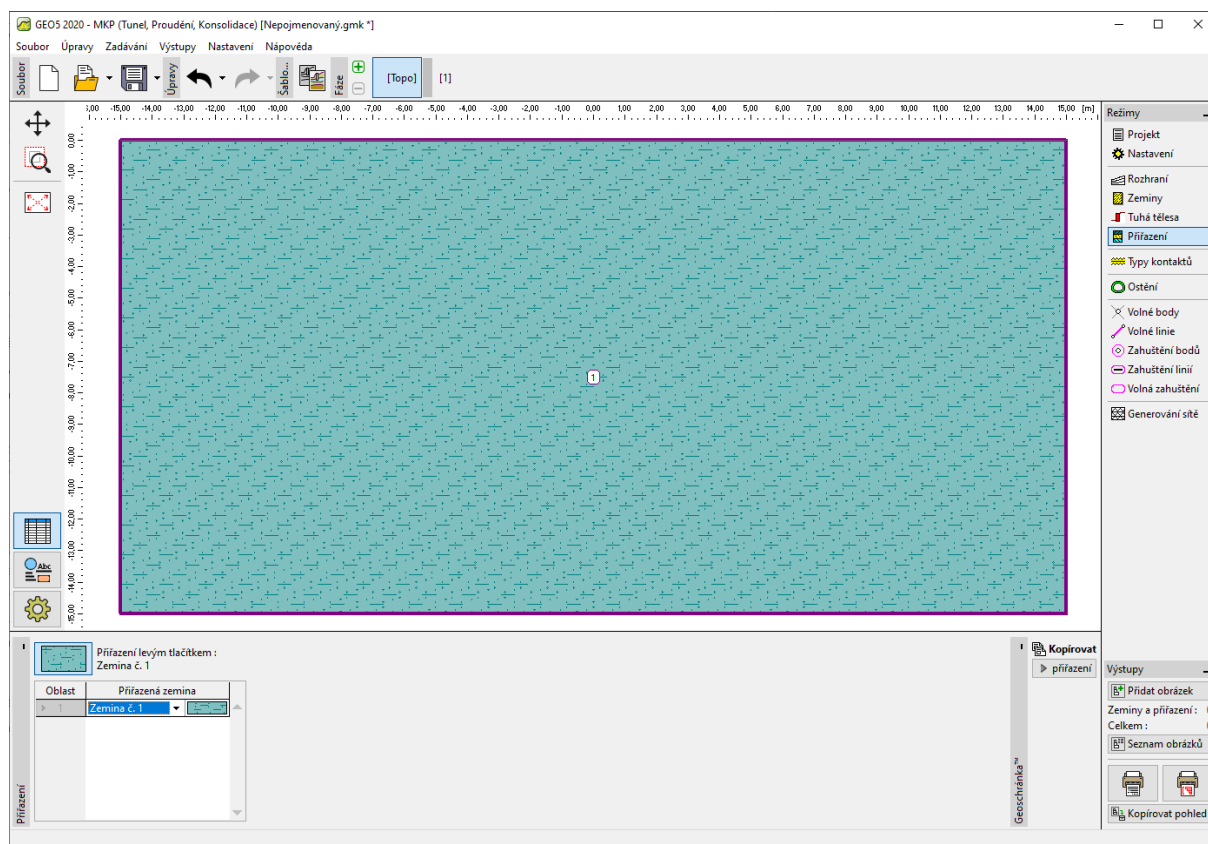


Zadání parametrů zeminy

Poznámka: Elastický modifikovaný model zohledňuje rozdílné chování zeminy při přitížení a odtížení – reálnější výsledky ale poskytují konstituční vztahy vyšší úrovně (Mohr-Coulomb, Drucker-Prager), které již uvažují plasticitu.

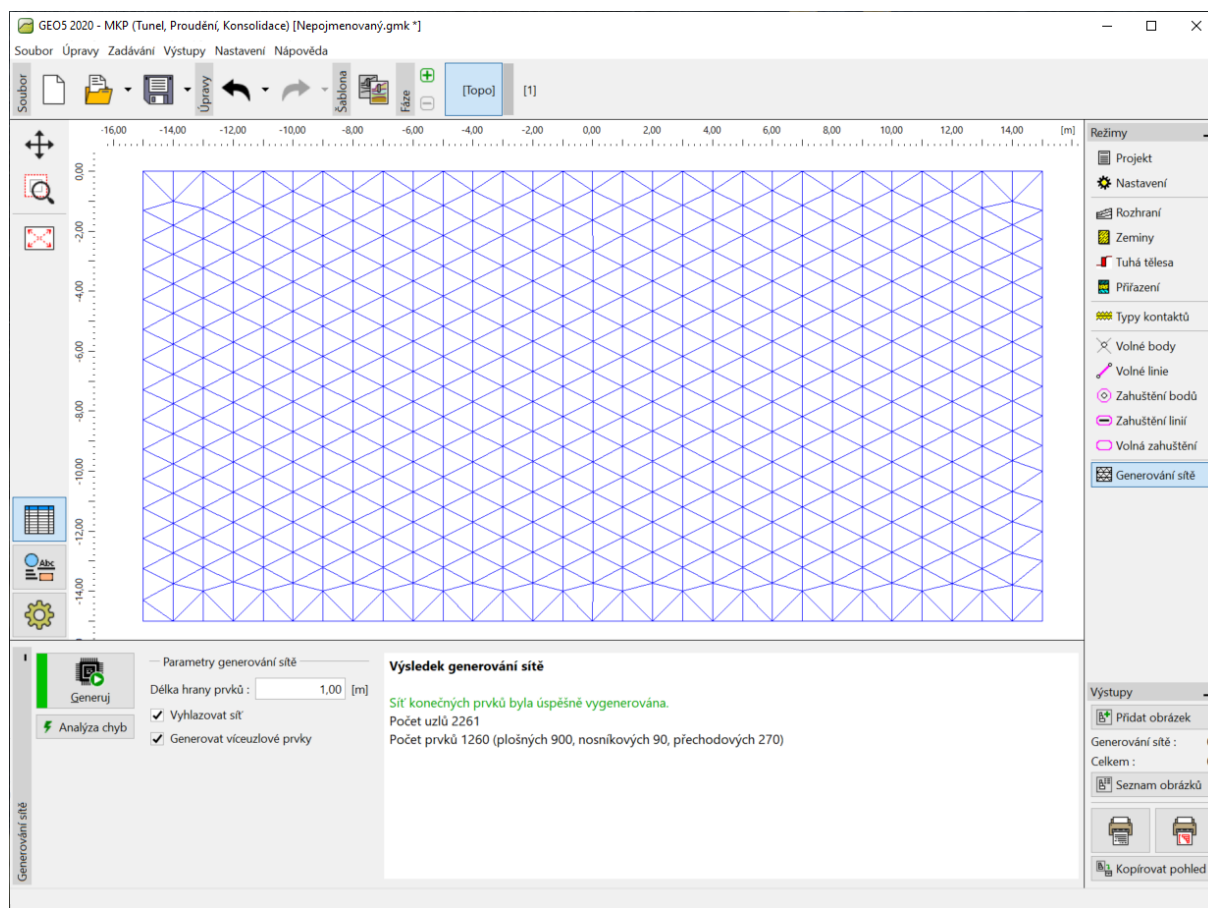
Poznámka: Elastický model předpokládání chování zeminy podle Hookeova zákona (ideálně pružný materiál). Jeho hlavní výhodou je, že vždy dopočítá výsledky. Nevýhodou je, že zemina se takto chová jen v případě malého oboru zatížení – pro reálně konstrukce je tedy nevhodný. Je ale naopak vhodný pro modelování oblastí, ve kterých nepředpokládáme plastické porušení materiálu (např. gabiony, únosné podloží apod.) nebo pro ověření základního numerického modelu.

Následně přiřadíme zeminu do vzniklé oblasti. Další rámy pro zadání typů kontaktů, volných bodů, linií přeskočíme, v naší úloze nemají smysl.



Rám „Přiřazení“

Dalším krokem je generování sítě konečných prvků (dále jen KP). Pro parametry generování sítě zvolíme délku hrany prvků 1,0 m (délka hrany se volí podle rozměrů a členitosti úlohy). Zatrhneme i volbu vyhlazovat síť a stiskneme tlačítko „**Generuj**“. Program automaticky vygeneruje a vyhladí síť KP. Ověříme, zda hustota sítě je vzhledem k velikosti úlohy přiměřená.



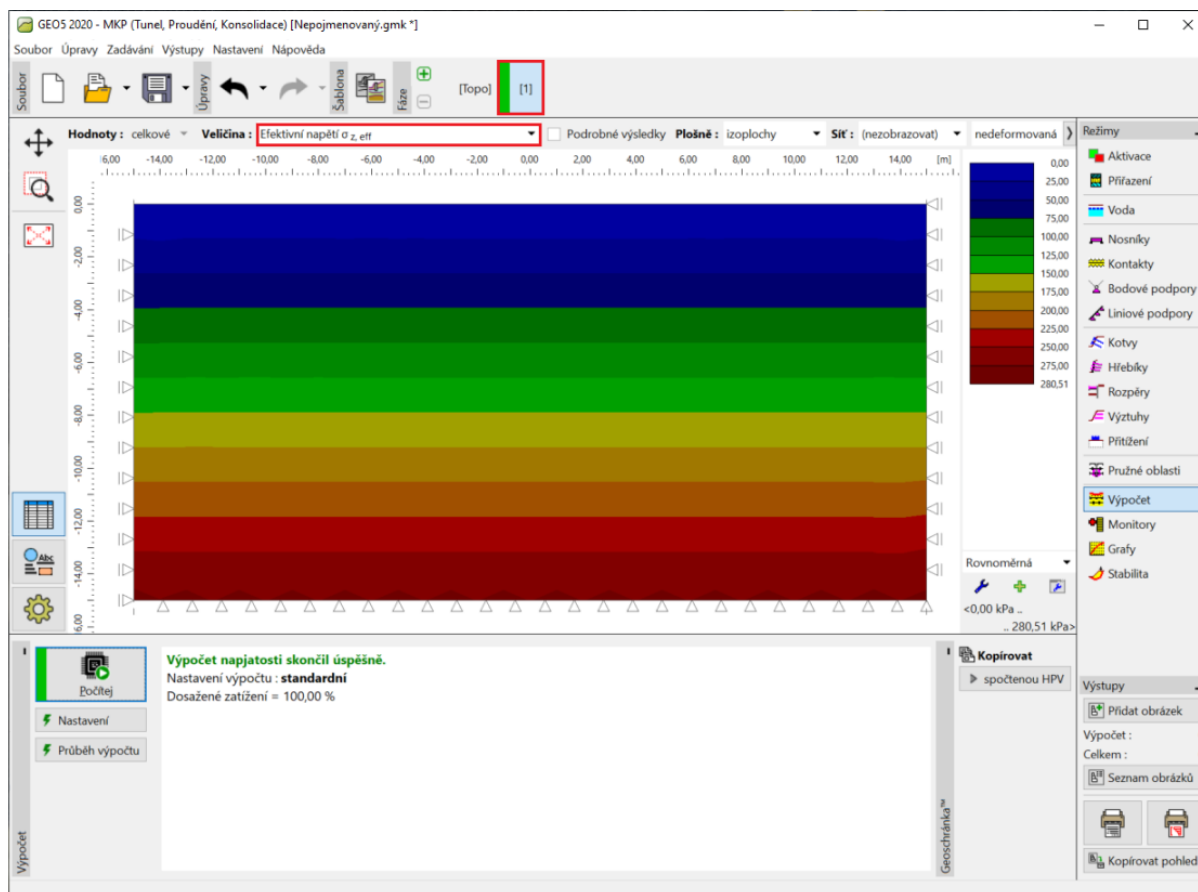
Generování sítě konečných prvků – Topologie (trojúhelníková síť)

Poznámka: Správně vygenerovaná síť konečných prvků je základním předpokladem dosažení výsledků udávajících představu o reálném chování konstrukce. Síť KP výrazně ovlivňuje získané hodnoty, neboť MKP počítá primárně hodnoty uzlových posunů. Ostatní veličiny (napětí, deformace) se poté z těchto hodnot dopočítávají. Bohužel není možné říci obecné pravidlo pro správnou hustotu sítě, protože jednotlivé úlohy jsou rozdílné. Pro začínající uživatele MKP doporučujeme nejprve zvolit hrubší základní síť, spočítat úlohu a poté vyzkoušet několik dalších variant se zjemňováním sítě, popřípadě její části (Síť je také možné zahustit kolem bodů, resp. linií – více v dalších kapitolách IM). Obecně platí, že čím hrubší síť modelu máme, tím je chování modelu tužší (vychází menší hodnota sedání).

Poznámka: Standardní trojúhelníková síť s šestiúhlovým prvkem je vhodná pro většinu geotechnických úloh. Program umožňuje v módu rozšířeného zadávání i generování jiných typů sítě (smíšená, trojúhelníková) – které jsou určeny zkušeným uživatelům MKP.

Fáze budování 1: výpočet primární napjatosti

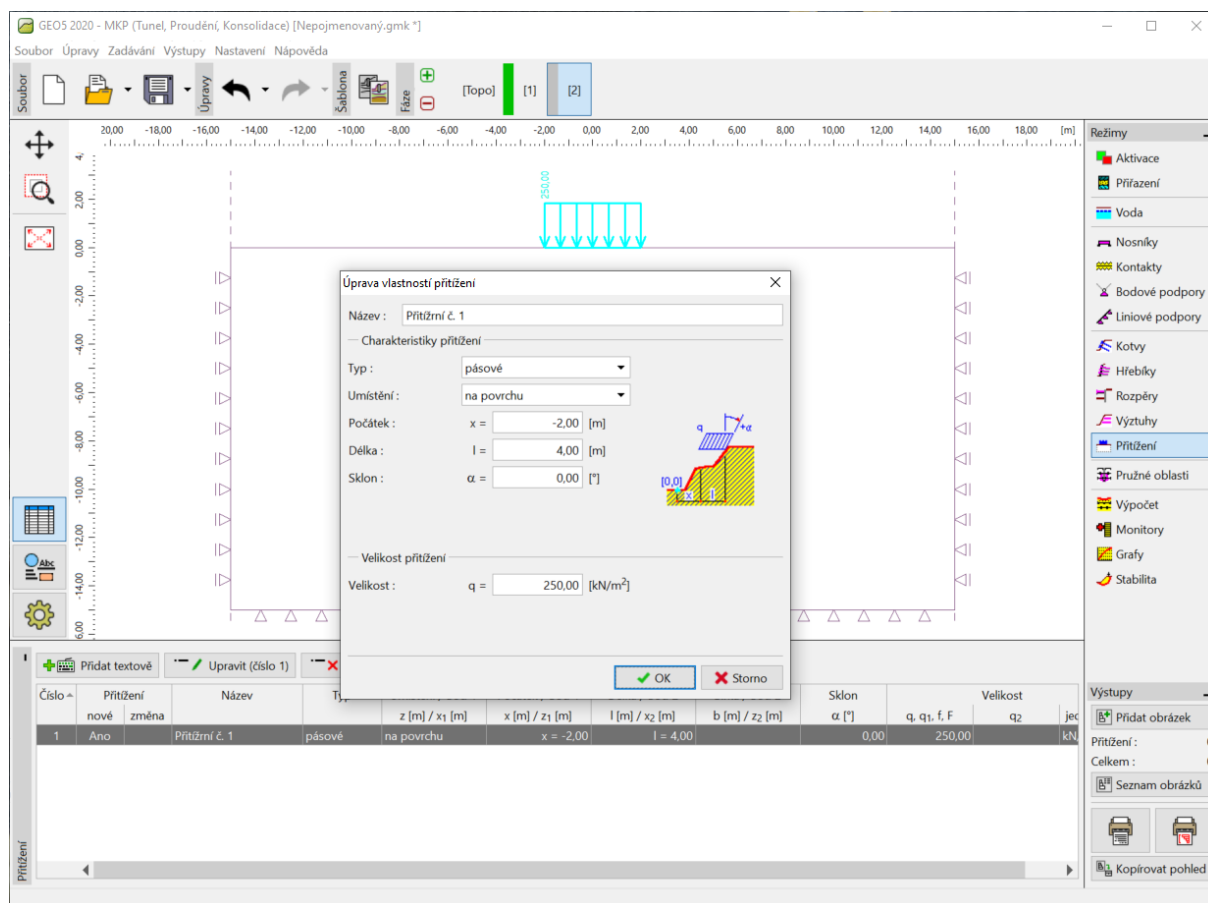
Po vygenerování sítě KP přepneme do 1. fáze budování (pomocí nástrojové lišty v levé horní části obrazovky) a poté provedeme výpočet geostatické napjatosti stisknutím tlačítka „**Počítej**“. Následně si prohlédneme výsledky pro efektivní napětí $\sigma_{z,eff}$ [kPa].



Výpočet 1. fáze budování – primární geostatická napjatost

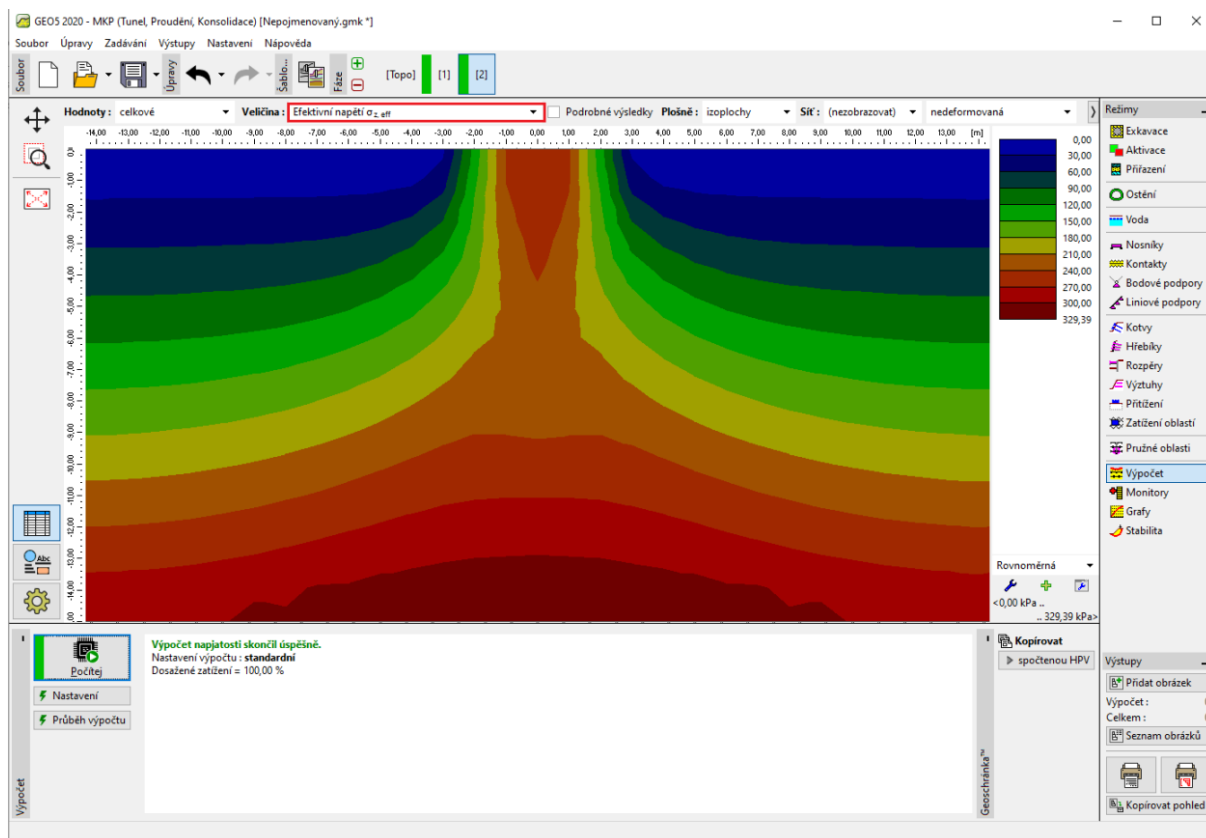
Fáze budování 2: přidání přetížení

V dalším kroku přidáme 2. fázi budování. Následně definujeme přetížení povrchu terénu a zadáme jeho příslušné charakteristiky. Poté vše potvrdíme tlačítkem „**Přidej**“.



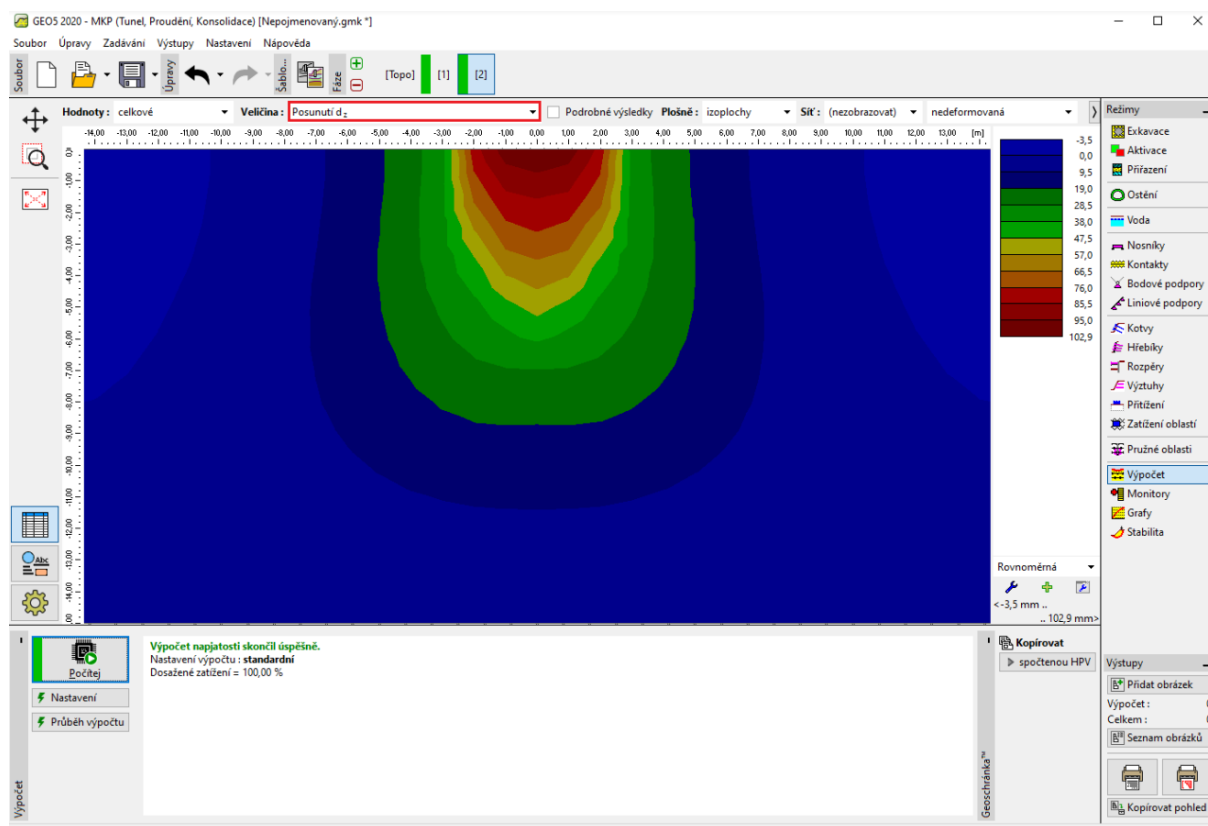
Zadání přetížení

V této fázi budování opět provedeme výpočet a prohlédneme si výsledky nejprve pro svislé normálové napětí $\sigma_{z,eff}$ [kPa].



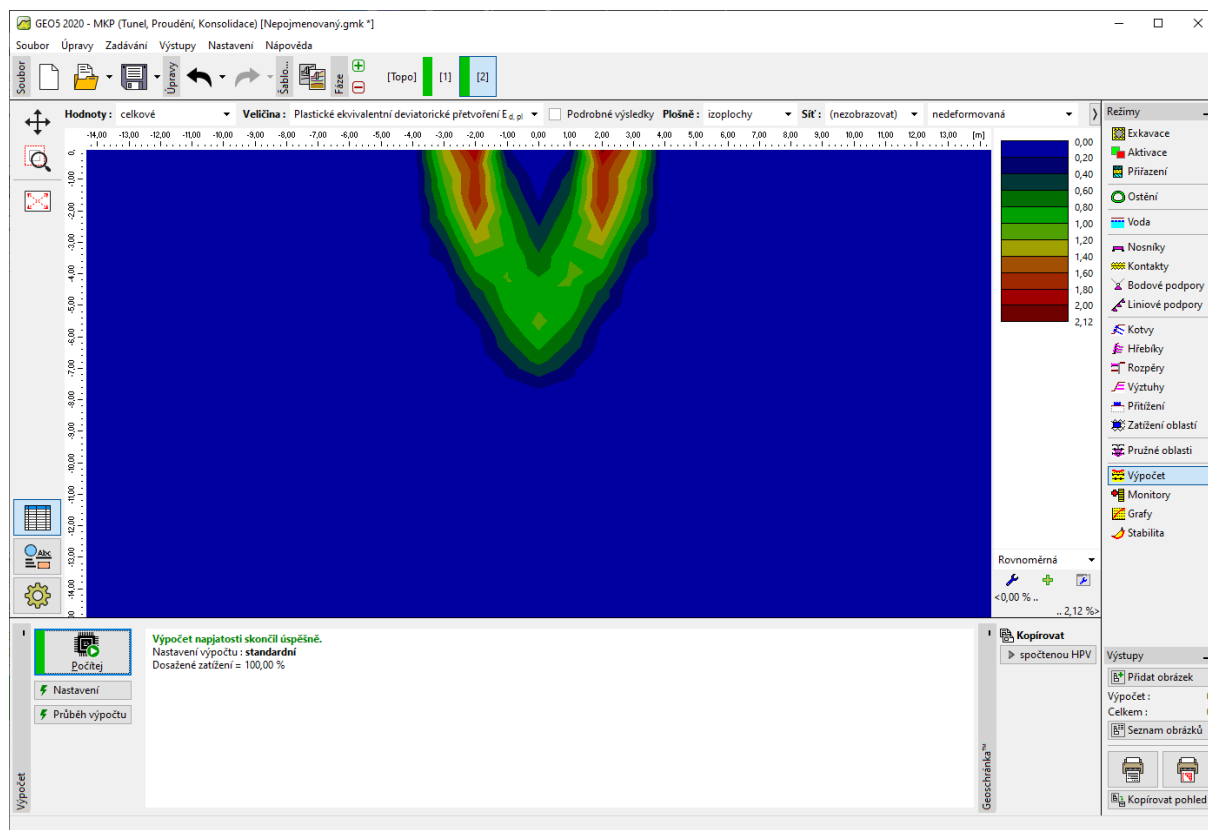
Výpočet 2. fáze budování – svislé normálové napětí $\sigma_{z,eff}$ [kPa]

Poté přepneme zobrazení pro vykreslení svislého sednutí d_z [mm]. Z obrázku plyne, že maximální svislá deformace je 102,9 mm.



Výpočet 2. fáze budování – svislá deformace od přetížení d_z [mm]

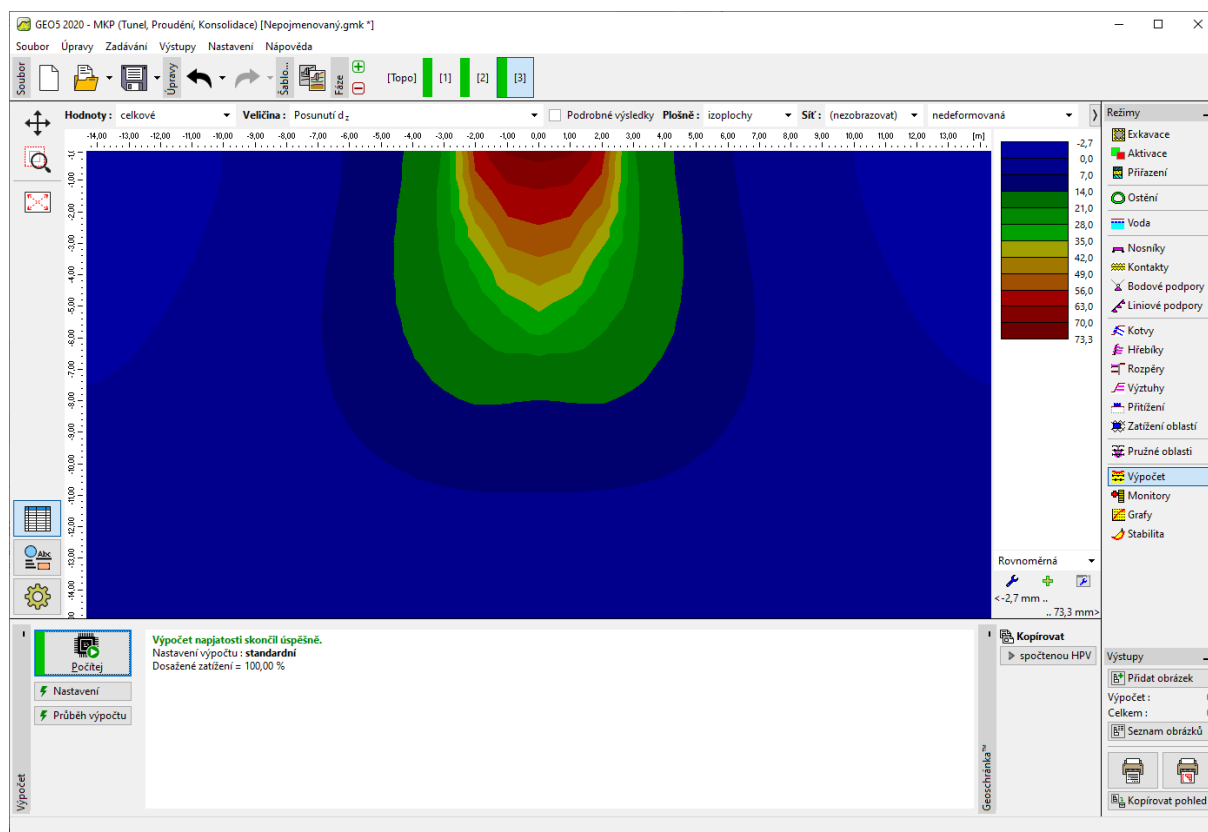
Při vyšetřování úlohy KP jsou důležitým výstupním parametrem ekvivalentní plastické deformace (pro nelineární modely). Zobrazují místa, kde byla překročena podmínka plasticity neboli, kdy je zemina v plastickém stavu a vykazuje trvalé plastické deformace.



Výpočet 2. fáze budování –Plastické ekvivalentní deviatorické přetvoření $\varepsilon_{d,pl}$. [%]

Fáze budování 3: odtižení povrchu terénu

V dalším kroku přidáme 3. fázi budování. V této fázi budování přitížení povrchu terénu neuvažujeme. Poté znovu provedeme výpočet a zjistíme hodnoty napětí a deformací. Celkové sednutí po odtižení povrchu terénu je 73.3 mm (pro trojúhelníkovou síť KP).



Výpočet 3. fáze budování – svislá deformace od přitížení d_z [mm]

Tím je základní výpočet proveden. Provedeme i další srovnávací výpočty pro ostatní materiálové modely.

Vyhodnocení výsledků:

V následující tabulce jsou zobrazeny výsledky celkového sednutí d_z [mm] stejného příkladu pro různé materiálové modely programu GEO5 – MKP s různou délkou hrany sítě trojúhelníkových prvků.

Materiálový model / program	Krok sítě [m]	Fáze 2 d_z [mm]	Fáze 3 d_z [mm]	Poznámka
Elastický	1,0	88,3	0	---
ELM	1,0	88,2	58,8	---
DP	1,0	114,1	84,8	---
MC	1,0	102,9	73,3	---
MCM	1,0	93,5	64	---
Geo 5 - sedání	---	73,7	---	CSN 73 1001

Výsledky celkového sednutí – souhrnný přehled

Poznámka: Pro analytické řešení jsme v programu GEO5 – Sedání uvažovali výpočet sedání podle edometrického modulu (v souladu s ČSN 73 1001) s omezením hloubky deformační zóny na úrovni 10% geostatického napětí. Hodnotu modulu přetvárnosti zeminy jsme uvažovali $E_{def} = 15,0$ MPa.

Jak bylo uvedeno výše, materiálové modely v GEO5 MKP umožňují zadat hodnotu modulu pro primární přitížení, označovaný v programu jako E , a dále též modul pro odtížení a sekundární přitížení, označovaný jako E_{ur} . GEO5 Sedání umožňuje zadat pouze jednu hodnotu modulu, která je v programu označena jako E_{def} . Protože jsme modulem Sedání počítali primární sedání, zadali jsme stejnou hodnotu jako E v MKP.

Jak MKP výpočet s elastickým materiálem tak výpočet programem Sedání vychází z teorie lineární pružnosti. Oba výpočty by tedy měli dávat srovnatelné výsledky. Rozdíl mezi získanými hodnotami sedání ovlivňují tyto skutečnosti:

a) V MKP je hloubka deformační zóny neměnná, daná hloubkou geometrického modelu. V Sedání je hloubka deformační zóny závislá na zatížení.

b) Napětí v MKP je vypočteno z rovnováhy a respektuje svislou i vodorovnou složku deformace. V Sedání je uvažováno pouze svislé napětí a je stanoveno apriori bez ohledu na deformaci.

c) V MKP se může zemina pod základem deformovat příčně a dochází k vodorovným posunům. V Sedání je použit výpočet pomocí edometrického modulu, kdy se předpokládá pouze svislé stlačení zeminy, zatímco roztlačení zeminy do stran je zamezeno.

Závěr

Ze souhrnné tabulky celkového sednutí můžeme vyvodit několik následujících závěrů:

- Drucker-Pragerův model je v daném případě o něco poddajnější než klasický Mohr-Coulombův model, resp. modifikovaný Mohr-Coulombův materiálový model.
- Sedání vypočtené pomocí všech elasto-plastických modelů vychází vyšší nežli sedání vypočtené pomocí lineárně pružného modelu.
- Hodnoty sedání vypočtené analyticky programem GEO5 Sedání přibližně odpovídají hodnotě vypočtené metodou konečných prvků s použitím lineárního modelu. Rozdíl v získaných hodnotách vysvětlují rozdílné předpoklady obou metod popsané výše.