

## Posouzení záporové stěny kotvené ve více úrovních

Program: Pažení posudek

Soubory: Demo\_manual\_07.gp2

V tomto inženýrském manuálu je popsán návrh pažící konstrukce kotvené ve více úrovních. Toto pažení bylo realizováno v rámci výstavby pražského metra trasy C – stanice Prosek.

Více informací a porovnání se skutečnými naměřenými hodnotami lze nalézt pod následujícími odkazy (pouze Aj):

- [Produktový leták](#)
- [Studie včetně porovnání s naměřenými hodnotami](#)

### Úvod:

Metoda závislých tlaků vychází z předpokladu, že se zemina, respektive hornina, v okolí podzemní stěny chová jako ideální pružno-plastická Winklerova hmota. Tato hmota je popsána jednak modulem reakce podloží  $k_h$ , který charakterizuje přetvoření v pružné oblasti a dále omezujícími deformacemi, při jejichž překročení se hmota dále chová jako ideálně plastická (více informací v nápovědě – F1).

Pro vlastní výpočet podzemní stěny jsou pak zavedeny tyto předpoklady:

- Zemní tlak působící na stěnu může nabývat libovolné hodnoty mezi aktivním a pasivním zemním tlakem, nemůže však z tohoto intervalu vybočit.
- Na nedeformovanou konstrukci působí zatížení rovné zemnímu tlaku v klidu.

### Zadání úlohy:

Posudte vícenásobně kotvenou stěnu vybudovanou z ocelových zápor I 400 o délce  $l = 21$  m. Hloubka výkopu je  $h = 15$  m. Povrch terénu je vodorovný, přetížení působí jako stálé a celoplošné o velikosti  $q = 25$  kN/m<sup>2</sup>. HPV za konstrukcí se nachází v hloubce 10 m. Osová vzdálenost ocelových profilů bude  $a = 2$  m.

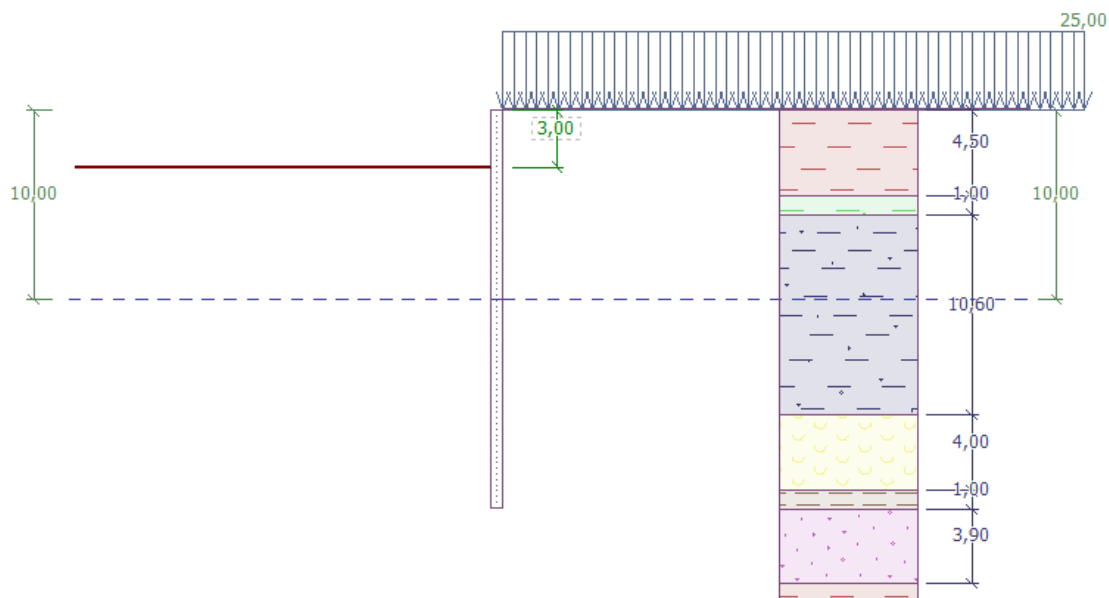


Schéma záporové stěny z ocelových I profilů – fáze budování 1

Zemina (specifikace, zatřídění)	Tloušťka vrstvy [m]	Objemová tíha $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Úhel vnitřního tření $\varphi_{ef}$ [°]	Soudržnost zeminy $c_{ef}$ [kPa]	Třecí úhel kce – zemina $\delta$ [°]	Poissonovo číslo v [-]
F6 – tuhá konzistence	4,5	19,5	20	16	7,5	0,4
F4 – tuhá konzistence	1	19,5	22	14	7,5	0,35
R3 – navětralá	10,6	22	40	100	15	0,25
R5 – jílovec písčitý	4	19	24	20	7,5	0,3
R5 – glaukonit	1	21	30	35	14	0,25
R5 – jílovec zvětralý	3,9	21	40	100	15	0,2

Tabulka s parametry zemin a hornin

Objemová tíha zeminy  $\gamma$  bude stejná jako tíha saturované zeminy  $\gamma_{sat}$ . Napjatost zemin bude vždy **efektivní**, tlak v klidu bude počítán pro **soudržné** zeminy a způsob výpočtu vztlaku bude vždy **standardní**.

Všechny kotvy mají průměr  $d = 32$  mm, modul pružnosti  $E = 210$  GPa. Osová vzdálenost mezi jednotlivými kotvami je  $b = 4$  m.

Kotva číslo	Hloubka $z$ [m]	Volná délka $l$ [m]	Kořen $l_k$ [m]	Sklon $\alpha$ [°]	Síla v kotvě $F$ [kN]	Fáze budování pro novou kotvu
1	2,5	13	6	15	300	2
2	5,5	10	6	17,5	350	4
3	8,5	7	6	20	400	6
4	11	6	4	22,5	500	8
5	13	5	3	25	550	10

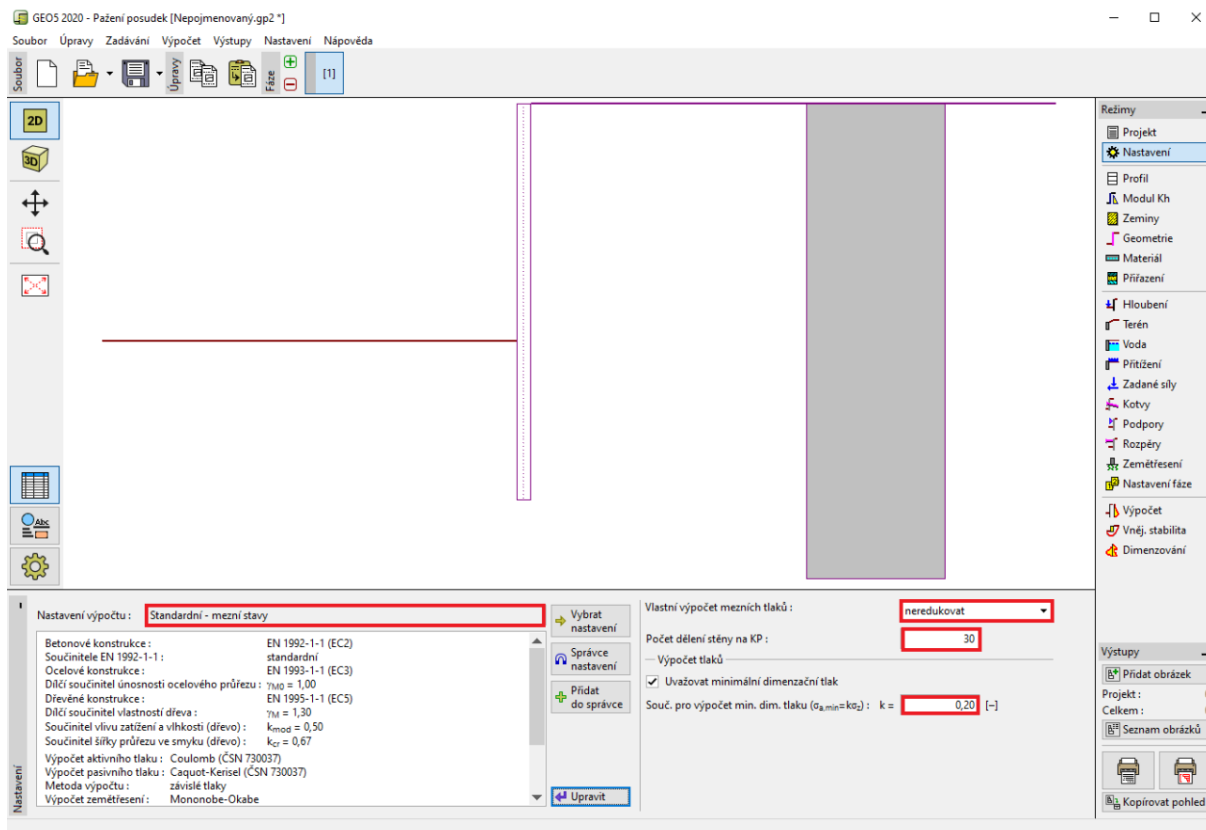
*Tabulka s rozmístěním a geometrií kotev*

Modul reakce podloží uvažujeme lineárně rostoucí do hloubky 5 m, kde nabývá hodnoty 10 MN/m<sup>3</sup>. Od této úrovně je jeho hodnota konstantní.

#### Řešení:

K výpočtu této úlohy použijeme program GEO5 – Pažení posudek. Statický výpočet bude proveden bez redukce vstupních dat, aby bylo vystiženo reálné chování konstrukce.

V rámu „Nastavení“ vybereme nastavení č. 2 „Standardní – mezní stavy“. Minimální dimenzační tlak uvažujeme o velikosti  $k = 0,2$ . Počet dělení stěny na KP změníme na 30 (viz obrázek).



## Rám „Nastavení“

*Poznámka: Pro složitější úlohy (např. vícenásobně kotvené stěny) autoři programu doporučují vlastní výpočet mezních tlaků provádět bez redukce vstupních parametrů zemin, resp. bez redukce velikosti zemních tlaků příslušnými dílčími součiniteli. Metoda závislých tlaků bez použití redukce vstupních parametrů zemin lépe odpovídá skutečnému chování konstrukce (uživatel získá z výpočtu reálné hodnoty deformací) a tento způsob výpočtu se blíže podobá numerickému řešení podle MKP (více informací v nápovědě – F1).*

Poté otevřeme dialogové okno „Úprava nastavení pro aktuální úlohu“ pomocí tlačítka „Upravit“. Změníme metodu modulu reakce podloží na „zadat“ a nebudeme redukovat modul reakce podloží pro záporové pažení (více informací naleznete v nápovědě – F1).

Úprava nastavení pro aktuální úlohu : Pažení posudek

Materiály a normy Výpočet tlaků Kotvy

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)

Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)

Metoda výpočtu : závislé tlaky

Výpočet zemitřesení : Mononobe-Okabe

Modul reakce podloží : **zadat**

☐ Redukovat modul reakce podloží pro záporové pažení

☐ Zadávat rozdílné úhly tření pro aktivní a pasivní tlak

Sednutí terénu : parabolická metoda

Metodika posouzení : mezní stavy

☐ Součinitel  $\gamma_{mq}$  redukuje tangentu úhlu vnitřního tření  $\phi$

Trvalá návrhová situace Dočasná návrhová situace Mimořádná návrhová situace Seismická návrhová situace

— Součinitele redukce parametrů zemin

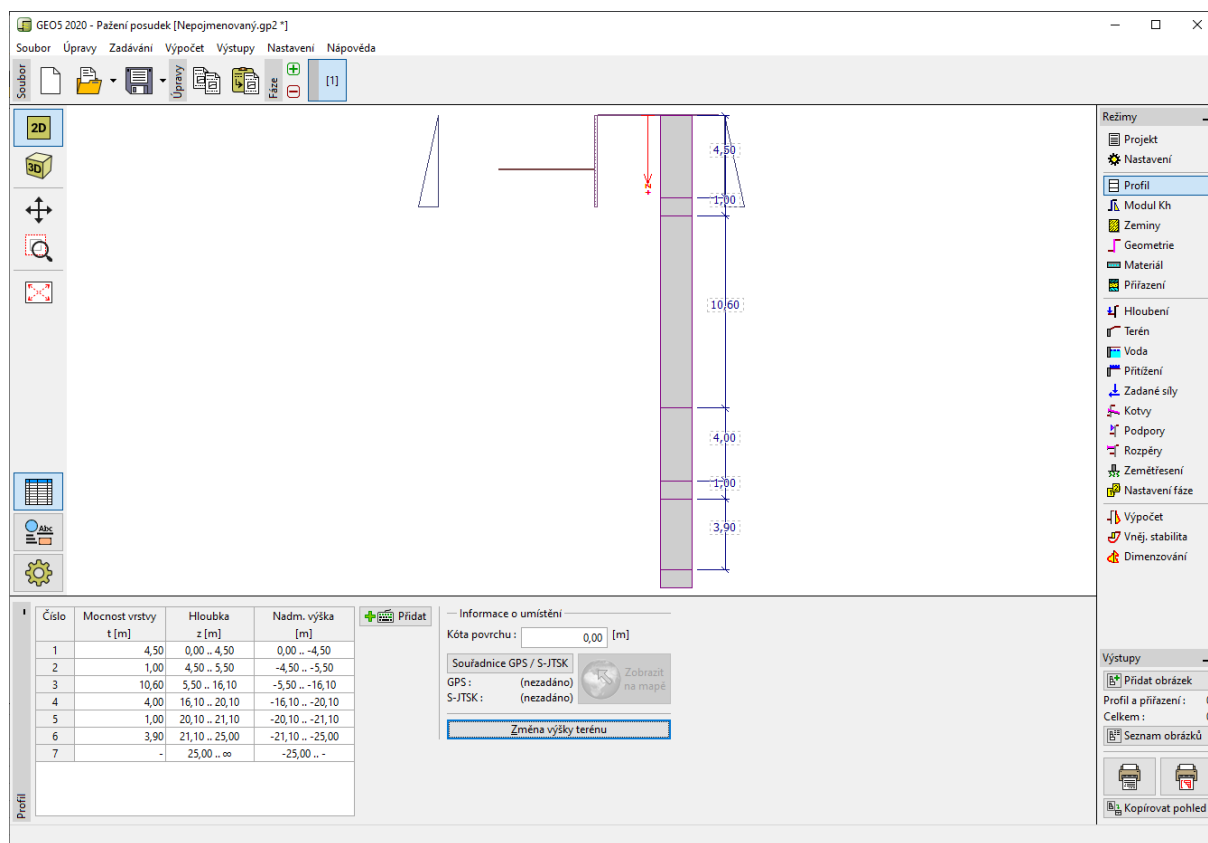
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_{mq} =$	1,10	[-]
Součinitel redukce soudržnosti :	$\gamma_{mc} =$	1,40	[-]
Součinitel redukce Poissonova čísla :	$\gamma_{mv} =$	1,00	[-]
Součinitel redukce objemové tíhy za konstrukcí :	$\gamma_{my} =$	1,00	[-]
Součinitel redukce objemové tíhy před konstrukcí :	$\gamma_{my} =$	1,00	[-]
Součinitel redukce stability kotvy :	$\gamma_{R12} =$	1,10	[-]
Součinitel redukce únos. na hydr. zdvih :	$\gamma_h =$	1,30	[-]

Upravit nastavení výpočtu pro program :  
Stabilita svahu

OK Storno

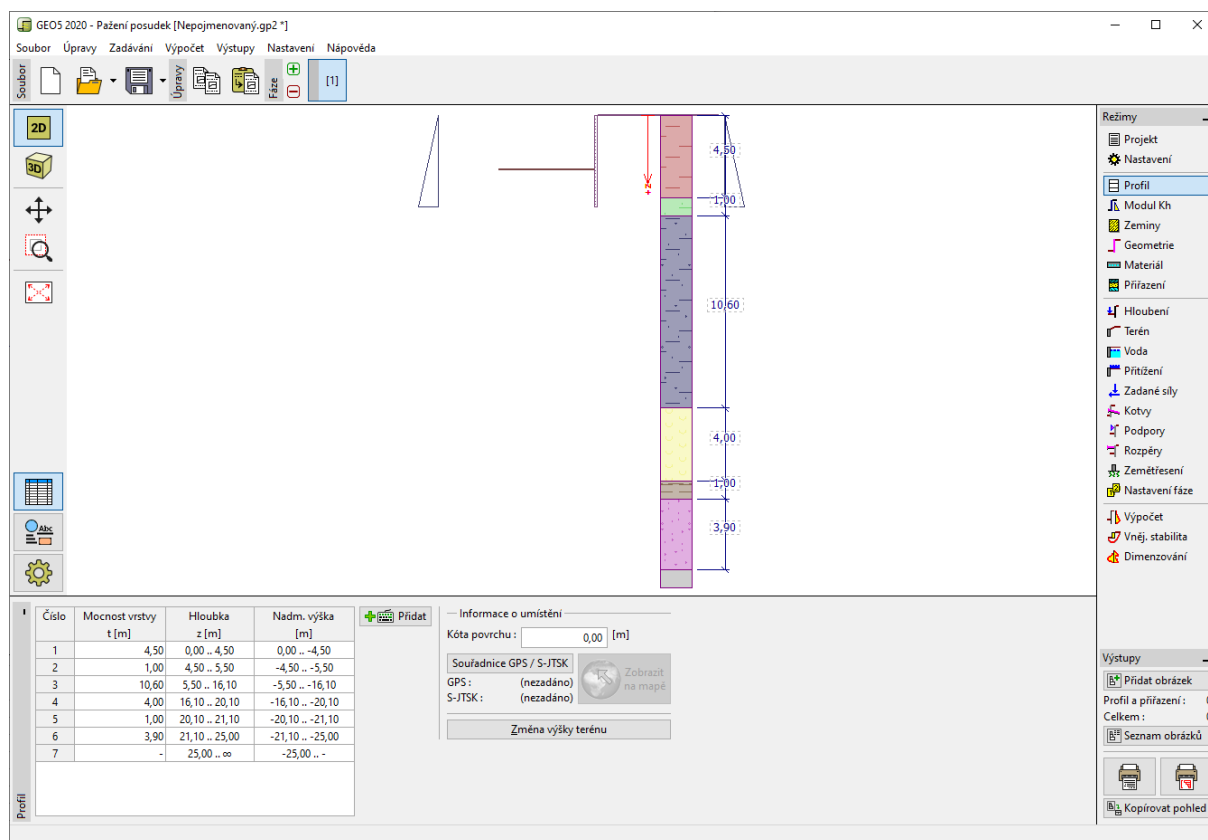
Rám „Nastavení“ – úprava nastavení pro aktuální úlohu

V rámech „Profil“, „Zeminy“ a „Přiřazení“ zadáme geologický profil úlohy dle tabulek a informací v zadání. Nejprve v rámu „Profil“ přidáme 4 nová rozhraní dle obrázku.



*Rám „Profil“ – přidání nových rozhraní*

Poté v rámu „Zeminy“ přidáme 6 nových zemin s parametry dle tabulky výše. V rámu „Přiřazení“ je poté přiřadíme do rozhraní.



Rám „Profil“ – rozhraní s přiřazenými zeminami

Poté definujeme hladinu podzemní vody v rámu „Voda“. V první fázi budování bude hloubka vody před konstrukcí i za konstrukcí 10 m.

Parametry hladiny podzemní vody

Hl. vody za konstr. :  $h_1 = 10,00$  [m]

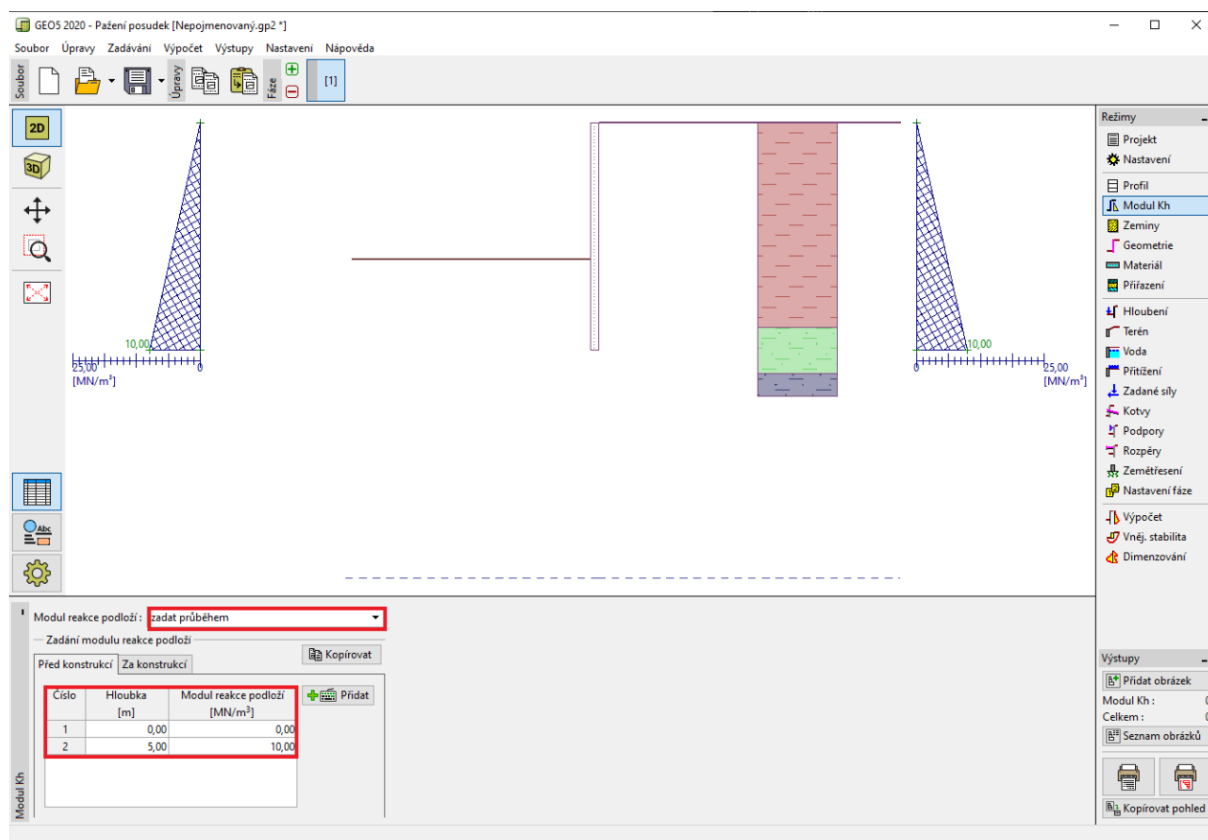
Hl. vody před konstr. :  $h_2 = 10,00$  [m]

☐ Tahová trhlina

Hloubka tahové trhliny :  $h_t =$  [m]

Rám „Voda“ – zadání hladiny podzemní vody

V rámu Modul Kh zadáme průběh jako lineárně rostoucí do hloubky 5 m, kde nabývá hodnoty  $10 \text{ MN/m}^3$ . Od této úrovně zadáme průběh konstantní. Modul je definován do celkové hloubky konstrukce. Pokud se délka změní, modul je automaticky upraven. V tomto případě bude jeho hodnota konstantní až do celkové hloubky konstrukce (21 m). Pokud bychom neznali hodnoty Kh, mohli bychom použít pro výpočet charakteristiky zemin, které známe (např. výpočet dle Schmitta – na základě  $E_{\text{oed}}$  popř.  $E_{\text{def}}$ ). Více informací o modulu Kh lze nalézt v nápovědě k programu (F1).



Rám „Modul Kh“

Poté se přesuneme do rámu „Geometrie“. Zde zadáme základní parametry záporového pažení – typ stěny a její celkovou délku  $l = 21 \text{ m}$ . Klikneme na tlačítko „Přidat“, kde vybereme typ stěny „Ocelový I-průřez“. Z katalogu průřezů vybereme profil **I (IPN) 400**. Osová vzdálenost jednotlivých zápor je rovna  $a = 2 \text{ m}$ . Dále zadáme koeficient redukce zemních tlaků pod dnem stavební jámy, který uvažujeme hodnotou **0,5**.

*Poznámka: Koeficient redukce tlaků pod dnem stavební jámy redukuje velikost zemních tlaků v zemině, resp. hornině. Pro klasické štětovnice je roven jedné, pro záporové pažení je jeho velikost menší nebo rovna jedné v závislosti na velikosti  $a$  osově vzdálenosti jednotlivých zápor (více informací v nápovědě k programu – F1).*



**Nový úsek**

Typ stěny : Ocelový I-průřez

Název průřezu : I-průřez : I(IPN) 400; a = 2,00 m ☐ Vlastní

Délka úseku : l = 21,00 [m]

Koef. redukce tlaků pod dnem jámy : zadat 0,50 [-]


— Geometrie —

Osová vzdálenost profilů : a = 2,00 [m]

— Průřez —

Katalog Svařovaný



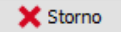
Název : **I(IPN) 400**



— Informace —

A = 5,90E-03 [m<sup>2</sup>/m] I = 1,46E-04 [m<sup>4</sup>/m]



W<sub>y1</sub> = 7,276E-04 [m<sup>3</sup>/m] W<sub>pl,y</sub> = 8,543E-04 [m<sup>3</sup>/m]

 Uživ. katalog  Přidej  Storno


Dialogové okno „Nový úsek“ – geometrie záporového pažení

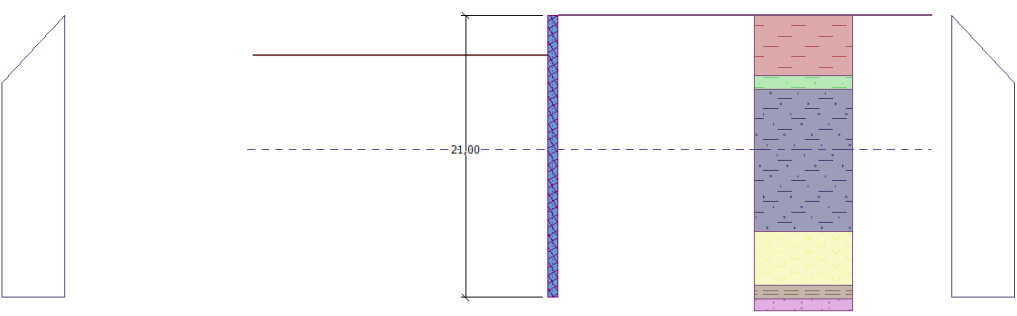
GEO5 2020 - Pažení posudek [Nepojmenovaný.gp2 \*.]

Soubor Úpravy Zadávání Výpočet Výstupy Nastavení nápověda

Soubor  Fáze  [1]

2D 3D






Režimy

- Projekt
- Nastavení
- Profil
- Modul Kh
- Zeminy
- Geometrie**
- Materiál
- Přirazení
- Hloubení
- Terén
- Voda
- Přítížení
- Zadané síly
- Kotvy
- Podpory
- Rozpěry
- Zemětřesení
- Nastavení fáze

Výpočet

- Vnější stabilita
- Dimenzování

Výstupy

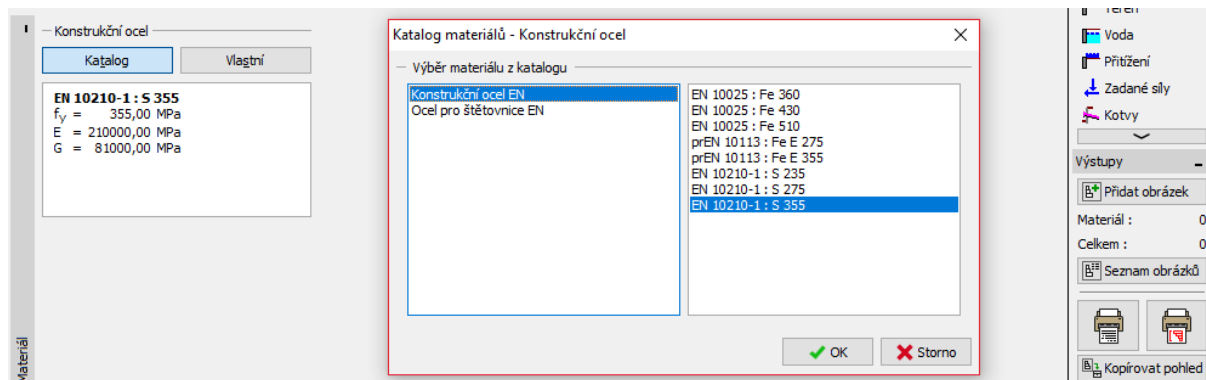
- Přidat obrázek
- Geometrie : 0
- Celkem : 0
- Seznam obrázků
-  Kopírovat pohled

Číslo	Délka l [m]	Název průřezu	Průřez	A [m <sup>2</sup> /m]	I [m <sup>4</sup> /m]	W [m <sup>3</sup> /m]	W <sub>pl</sub> [m <sup>3</sup> /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	21,00	I-průřez : I(IPN) 400; a = 2,00 m		5,90E-03	1,46E-04	7,276E-04	8,543E-04	210000,00	81000,00

Geometrie

Rám „Geometrie“ – po přidání nového úseku

V rámu „Materiál“ poté vybereme z katalogu příslušnou konstrukční ocel pro záporné, v tomto případě zvolíme typ **EN 10210-1: S 355**.

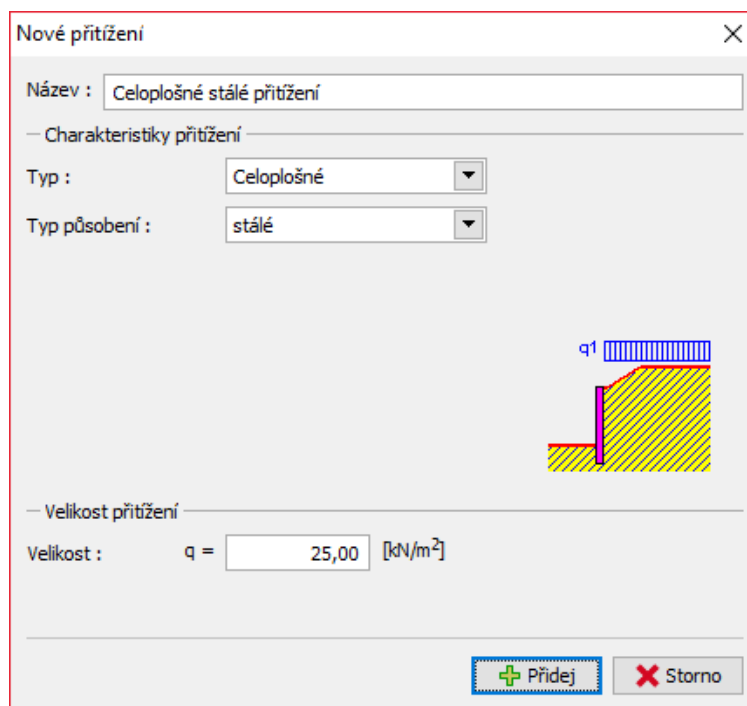


*Dialogové okno „Katalog materiálů“*

Dále popíšeme postupné budování stěny po jednotlivých fázích budování. Úlohu je nutné modelovat vždy postupně tak, jak je reálně budována na staveništi. V každé fázi budování je nutné sledovat hodnoty vnitřních sil a deformací.

Pokud by pažící konstrukce v určité fázi byla nestabilní nebo spočítaná deformace konstrukce byla příliš velká, pak je nutné upravit konstrukci – například prodloužit délku záporové stěny, zmenšit hloubku výkopu, zvětšit síly v kotvě atp.

V první fázi budování dále přidáme v rámu „Přítížení“ celoplošné stálé přítížení  $q = 25,0 \text{ kN/m}^2$ .



*Dialogové okno „Nové přítížení“*

V 1. fázi budování se provede výkop do úrovně  $h = 3 \text{ m}$ . HPV před i za konstrukcí se nachází  $h_1 = h_2 = 10 \text{ m}$  pod terénem. Provedeme výpočet a přidáme druhou fázi budování. Ve fázi 2 přidáme v rámu „Kotvy“ novou kotvu v hloubce  $z = 2,5 \text{ m}$ .

Nová kotva
✕

Typ kotvy : nedefinováno

Název : Kotva 1

— Parametry kotvy —

Hloubka :  $z =$  2,50 [m]

Volná délka :  $l =$  13,00 [m]

Délka kořene :  $l_k =$  6,00 [m]

Sklon :  $\alpha =$  15,00 [°]

Vzd. mezi :  $b =$  4,00 [m]

— Tuhost —

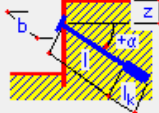
Typ zadání : zadat průměr

Průměr :  $d_s =$  32,0 [mm]

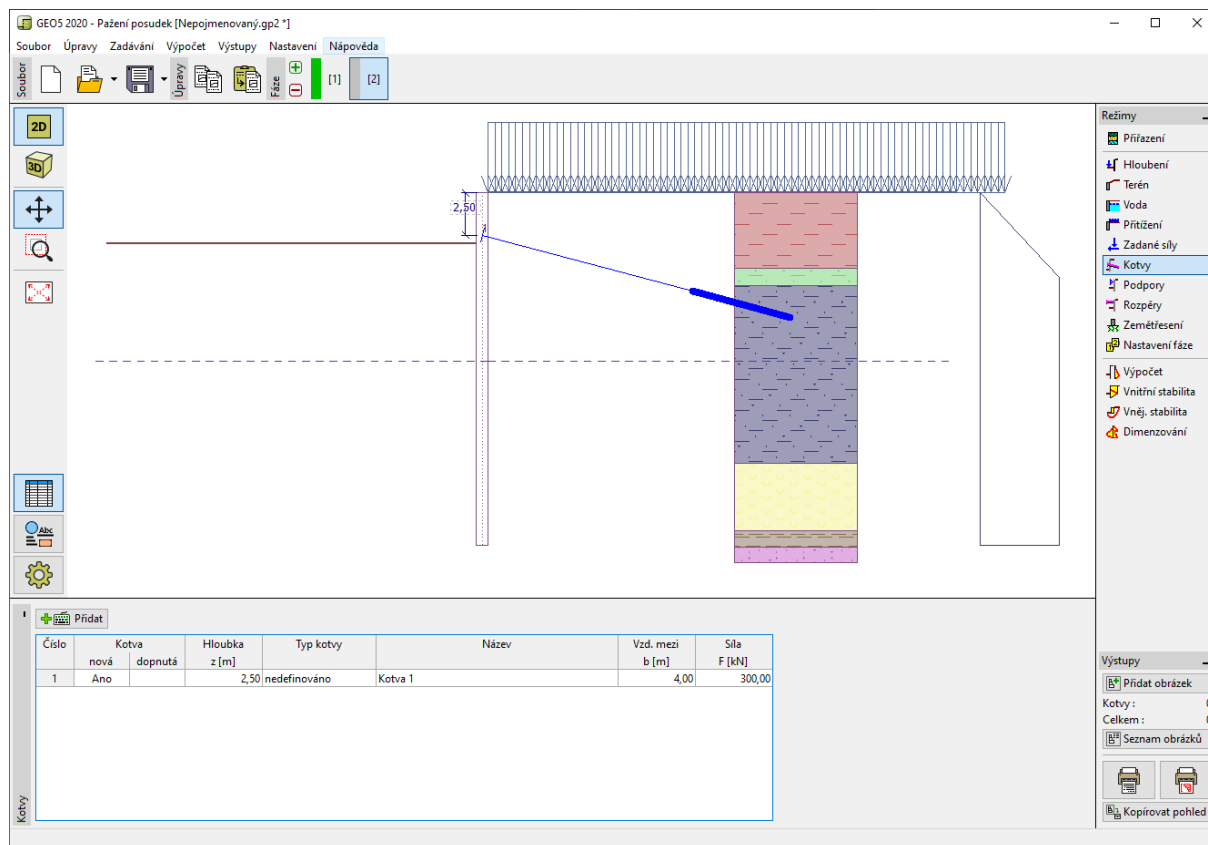
Modul pružnosti :  $E =$  210000,00 [MPa]

Předpínací síla :  $F =$  300,00 [kN]

+ Přidej
✕ Storno



*Rám „Kotvy“ – přidat novou kotvu (fáze budování 2)*



*Rám „Kotvy“ – fáze budování 2*

Provedeme výpočet a přidáme třetí fázi budování. Ve 3. fázi budování se přesuneme do rámu „Hloubení“, kde změníme hloubku jámy na  $h = 6,5 \text{ m}$ . V této fázi nebudeme přidávat žádné kotvy. Znovu provedeme výpočet a přidáme čtvrtou fázi budování. Ve fázi 4 se zhotoví kotva v úrovni  $z = 5,5 \text{ m}$ . Průběh HPV se oproti předchozím fázím výstavby zatím nemění.

**Nová kotva**

Typ kotvy :

Název :

— Parametry kotvy —

Hloubka :  $z =$   [m]

Volná délka :  $l =$   [m]

Délka kořene :  $l_k =$   [m]

Sklon :  $\alpha =$   [°]

Vzd. mezi :  $b =$   [m]

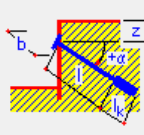
— Tuhost —

Typ zadání :

Průměr :  $d_s =$   [mm]

Modul pružnosti :  $E =$   [MPa]

Předpínací síla :  $F =$   [kN]



Rám „Kotvy“ – přidání nové kotvy (fáze budování 4)

GEO5 2020 - Pažení posudek [C:\Users\tomas\Desktop\manuál 7 - G5.gp2 \*]

Soubor Úpravy Zadáání Výpočet Výstupy Nastavení Nápoředa

2D 3D

Úpravy

Fáze [1] [2] [3] [4]

Režimy

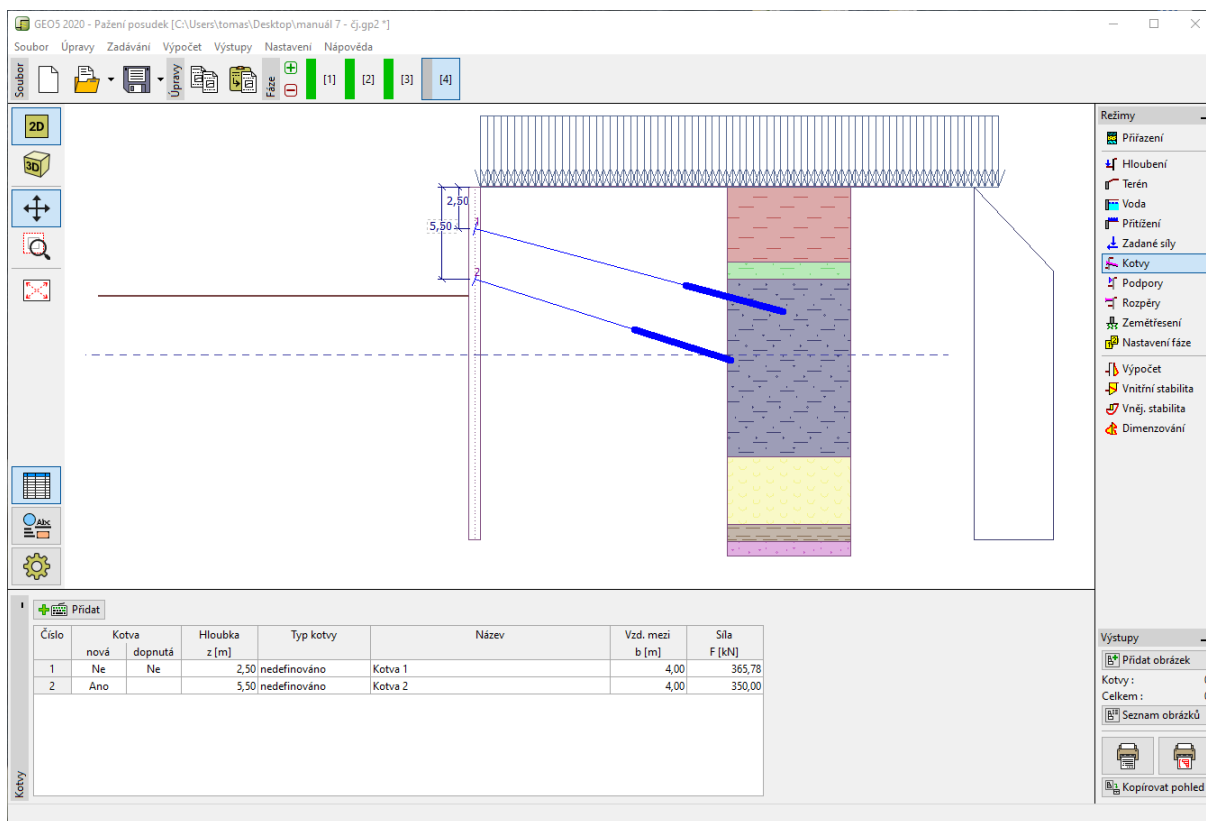
- Přirazení
- Hloubení
- Terén
- Voda
- Přikrití
- Zadané síly
- Kotvy**
- Podpory
- Rozpěry
- Zemětřesení
- Nastavení fáze
- Výpočet
- Vnitřní stabilita
- Vnější stabilita
- Dimenzování

Výstupy

- Přidat obrázek
- Kotvy : 0
- Celkem : 0
- Seznam obrázků
- Kopírovat pohled

Kotvy

Číslo	Kotva nová	Kotva doplnutá	Hloubka z [m]	Typ kotvy	Název	Vzd. mezi b [m]	Síla F [kN]
1	Ne	Ne	2,50	nedefinováno	Kotva 1	4,00	365,78
2	Ano		5,50	nedefinováno	Kotva 2	4,00	350,00



Rám „Kotvy“ – fáze budování 4



Přidáme novou fázi budování. V 7. fázi budování změním výkop do úrovně  $h = 11,5 \text{ m}$ . Dále v rámu „Voda“ změním HPV před záporovou stěnou na úroveň  $h_2 = 12 \text{ m}$ , za stěnou se její úroveň nemění. Přidáme novou fázi budování. V 8. fázi budování se umístí kotva v hloubce  $z = 11 \text{ m}$ .

Nová kotva
✕

Typ kotvy : nedefinováno

Název : Kotva 4

— Parametry kotvy

Hloubka :  $z =$  11,00 [m]

Volná délka :  $l =$  6,00 [m]

Délka kořene :  $l_k =$  4,00 [m]

Sklon :  $\alpha =$  22,50 [°]

Vzd. mezi :  $b =$  4,00 [m]

— Tuhost

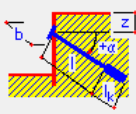
Typ zadání : zadat průměr

Průměr :  $d_s =$  32,0 [mm]

Modul pružnosti :  $E =$  210000,00 [MPa]

Předpínací síla :  $F =$  500,00 [kN]

+ Přidej
✕ Storno



Rám „Kotvy“ – přidání nové kotvy (fáze budování 8)

GEO5 2020 - Pažení posudek [C:\Users\Tomas\Desktop\manuál 7 - g5-gp2 1]
— □ ✕

Soubor Úpravy Zadáání Výpočet Výstupy Nastavení Nápoředa

Soubor [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]

2D

3D

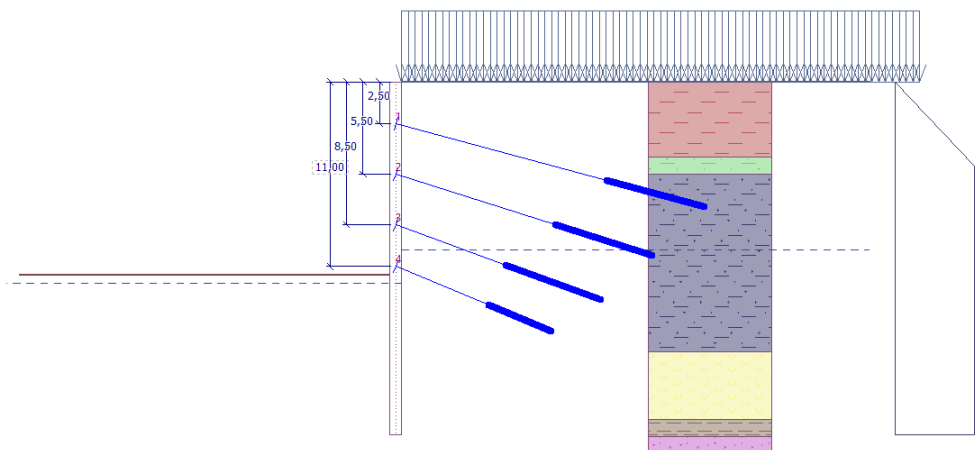
↕

🔍

📐

📊

⚙️



Režimy

- 📁 Přirazení
- 📏 Hloubení
- 📏 Terén
- 💧 Voda
- 📏 Přitížení
- ⬇️ Zadané síly
- 📌 Kotvy
- 📌 Podpory
- 📌 Rozpěry
- 📌 Zeměťřesení
- 📌 Nastavení fáze
- 📌 Výpočet
- 📌 Vnitřní stabilita
- 📌 Vnější stabilita
- 📌 Dimenzování

+ Přidat

Číslo	Kotva nová	Kotva dopnutá	Hloubka z [m]	Typ kotvy	Název	Vzd. mezi b [m]	Síla F [kN]
1	Ne	Ne	2,50	nedefinováno	Kotva 1	4,00	353,14
2	Ne	Ne	5,50	nedefinováno	Kotva 2	4,00	393,99
3	Ne	Ne	8,50	nedefinováno	Kotva 3	4,00	488,38
4	Ano	Ne	11,00	nedefinováno	Kotva 4	4,00	500,00

Výstupy

📄 Přidat obrázek

Kotvy : 0

Celkem : 0

📄 Seznam obrázků

🖨️ Kopírovat pohled

Rám „Kotvy“ – fáze budování 8

Přidáme novou fázi budování. Ve fázi budování 9 se jáma vyhloubí do úrovně  $h = 13,5 \text{ m}$ . Také změníme HPV před stěnou na úroveň  $h_2 = 15,5 \text{ m}$ . Poté přidáme další fázi budování. V 10. fázi budování přidáme kotvu v hloubce  $z = 13 \text{ m}$ .

**Nová kotva** ✕

Typ kotvy : nedefinováno

Název : Kotva 5

— Parametry kotvy

Hloubka :  $z =$  13,00 [m]

Volná délka :  $l =$  5,00 [m]

Délka kořene :  $l_k =$  3,00 [m]

Sklon :  $\alpha =$  25,00 [°]

Vzd. mezi :  $b =$  4,00 [m]

— Tuhost

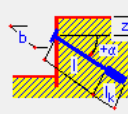
Typ zadání : zadat průměr

Průměr :  $d_s =$  32,0 [mm]

Modul pružnosti :  $E =$  210000,00 [MPa]

Předpínací síla :  $F =$  550,00 [kN]

+ Přidej
✕ Storno



Rám „Kotvy“ – přidání nové kotvy (fáze budování 10)

GEO5 2020 - Pažení posudek [C:\Users\tomas\Desktop\manuál 7 - čj.gp2 \*]

Soubor Úpravy Zadáání Výpočet Výstupy Nastavení Nápoředa

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10]

2D

3D

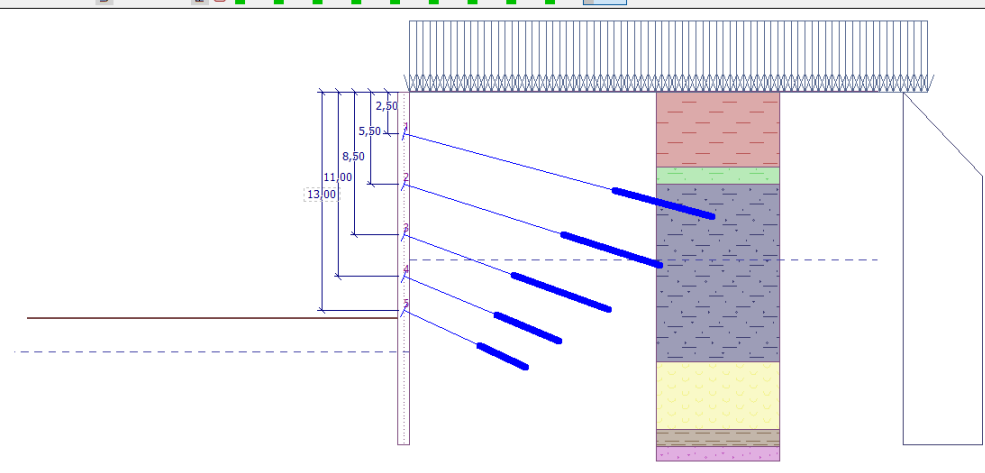
↕

🔍

📏

📊

⚙️



**Režimy**

- ↳ Přířazení
- ↳ Hloubení
- ↳ Terén
- ↳ Voda
- ↳ Přitřžení
- ↳ Zadané síly
- ↳ **Kotvy**
- ↳ Podpory
- ↳ Rozpěry
- ↳ Zemětřesení
- ↳ Nastavení fáze
- ↳ Výpočet
- ↳ Vnitřní stabilita
- ↳ Vnější stabilita
- ↳ Dimenzování

**Výstupy**

↳ Přidat obrázek

Kotvy : 0

Celkem : 0

↳ Seznam obrázků

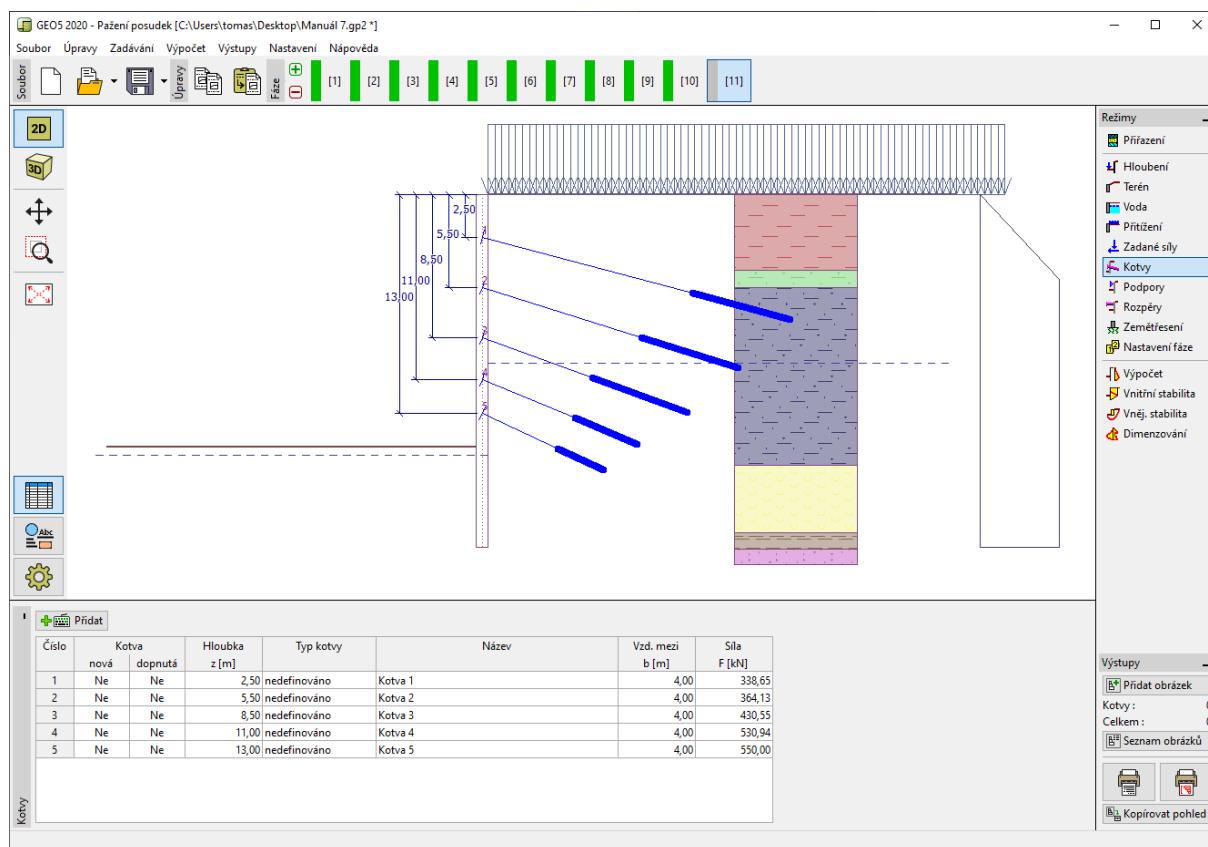
🖨️ Kopírovat pohled

Číslo	Kotva nová	Kotva dopnutá	Hloubka z [m]	Typ kotvy	Název	Vzd. mezi b [m]	Síla F [kN]
1	Ne	Ne	2,50	nedefinováno	Kotva 1	4,00	353,70
2	Ne	Ne	5,50	nedefinováno	Kotva 2	4,00	393,05
3	Ne	Ne	8,50	nedefinováno	Kotva 3	4,00	472,48
4	Ne	Ne	11,00	nedefinováno	Kotva 4	4,00	591,63
5	Ano	Ne	13,00	nedefinováno	Kotva 5	4,00	550,00

Rám „Kotvy“ – fáze budování 10



V poslední, tj. 11. fázi budování se změním hloubku výkopu na  $h = 15\text{ m}$ , další kotvy už přidávat nebudeme. Výšková úroveň HPV se od 9. fáze budování již nemění.

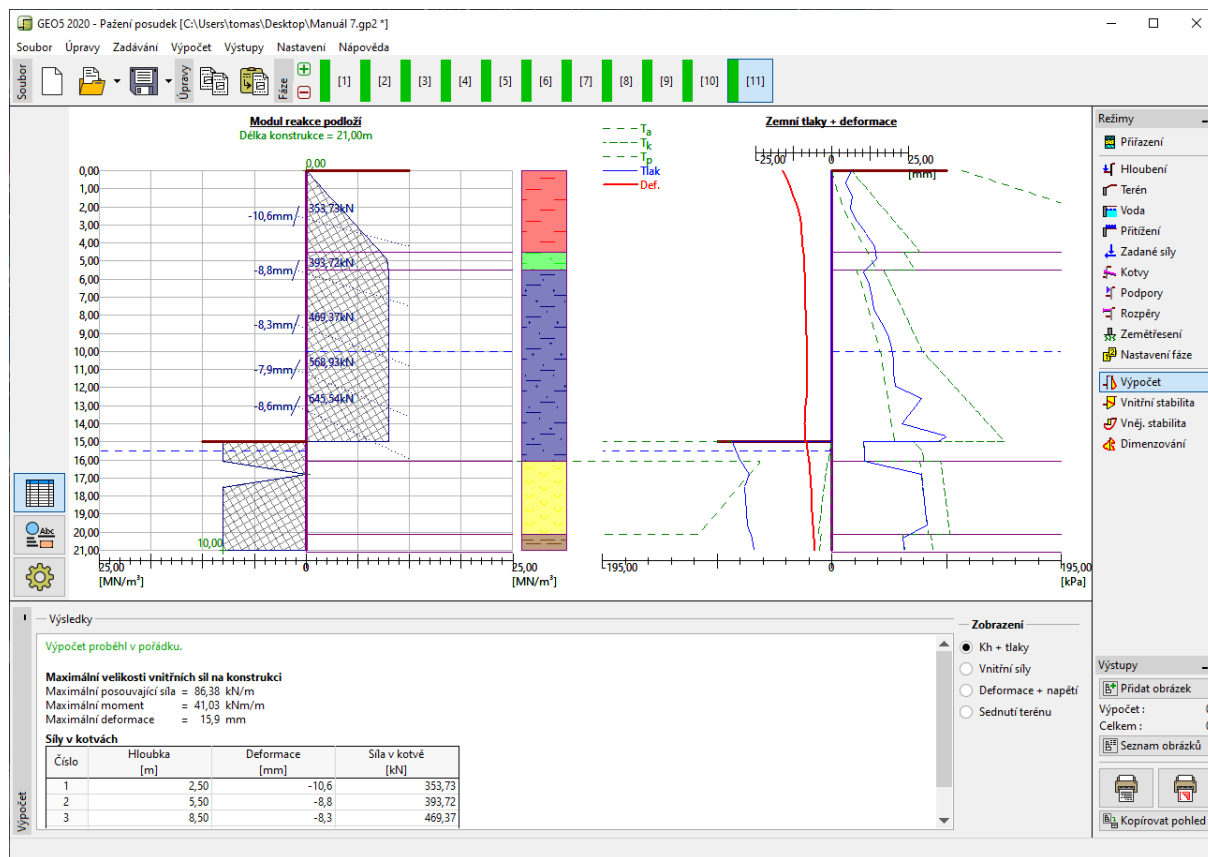


Rám „Kotvy“ – fáze budování 11

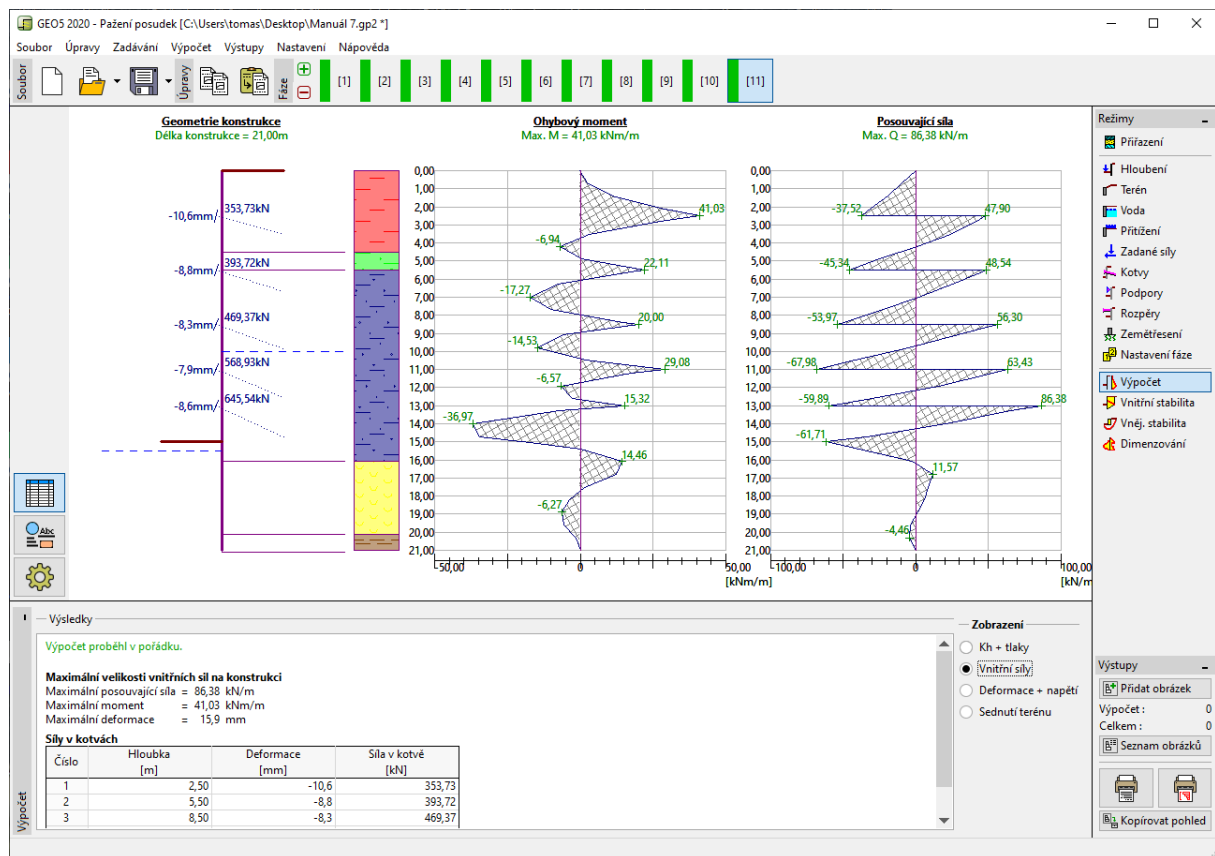
*Poznámka: Vlivem deformace konstrukce dochází ke změně velikosti sil v kotvách v závislosti na deformaci konstrukce a tuhosti kotev. Síla v některých kotvách může narůst, v některých naopak poklesnout (vlivem ztráty předpětí). Program umožňuje zadané kotvy v libovolné fázi dopnout na novou předpínací sílu (více informací naleznete v nápovědě – F1).*

## Výsledky výpočtu:

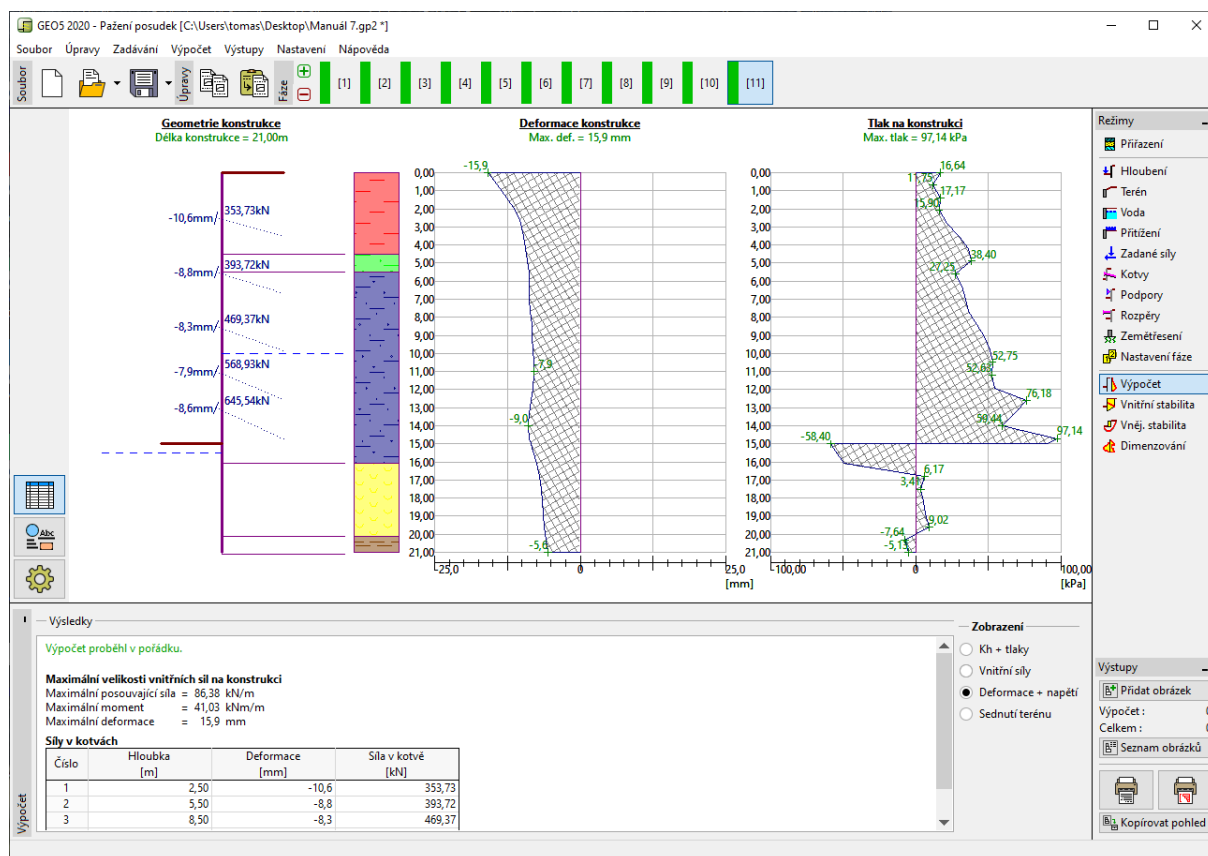
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny průběhy vnitřních sil (ohybový moment a posouvající síla), zemního tlaku a deformace konstrukce pro poslední fázi budování.



Rám „Výpočet“ – fáze budování 11 (Kh + tlaky)



Rám „Výpočet“ – fáze budování 11 (vnitřní síly)



## Rám „Výpočet“ – fáze budování 11 (deformace konstrukce + průběh zemního tlaku)

Všechny fáze budování jsou nyní spočtené. To znamená, že stěna záporového pažení je ve všech etapách výstavby stabilní a funkční. Je nutné prověřit také deformaci konstrukce, zda není příliš velká a dosažené síly v kotvách, zda nepřesahují únosnost dané kotvy (toto program Pažení posudek nekontroluje). Pro 11. fázi budování vycházejí výsledky takto:

- Max. posouvající síla:  $Q_{max} = 86,38 \text{ kN/m}$
- Max. ohybový moment:  $M_{max} = 41,03 \text{ kNm/m}$
- Max. tlak na konstrukci:  $\sigma_x = 97,04 \text{ kPa}$
- Max. deformace stěny:  $umm_{max}$

## Posouzení průřezu záporu:

Pro posouzení ocelového profilu přejdeme do rámu „Dimenzování“, kde se zobrazují obálky vnitřních sil a deformací ze všech fází budování, tj. výsledné maximální a minimální hodnoty příslušných veličin.

- Max. posouvající síla:  $Q_{max,min} = 86,38 \text{ kN/m}$
- Max. ohybový moment:  $M_{max,min} = 50,73 \text{ kNm/m}$

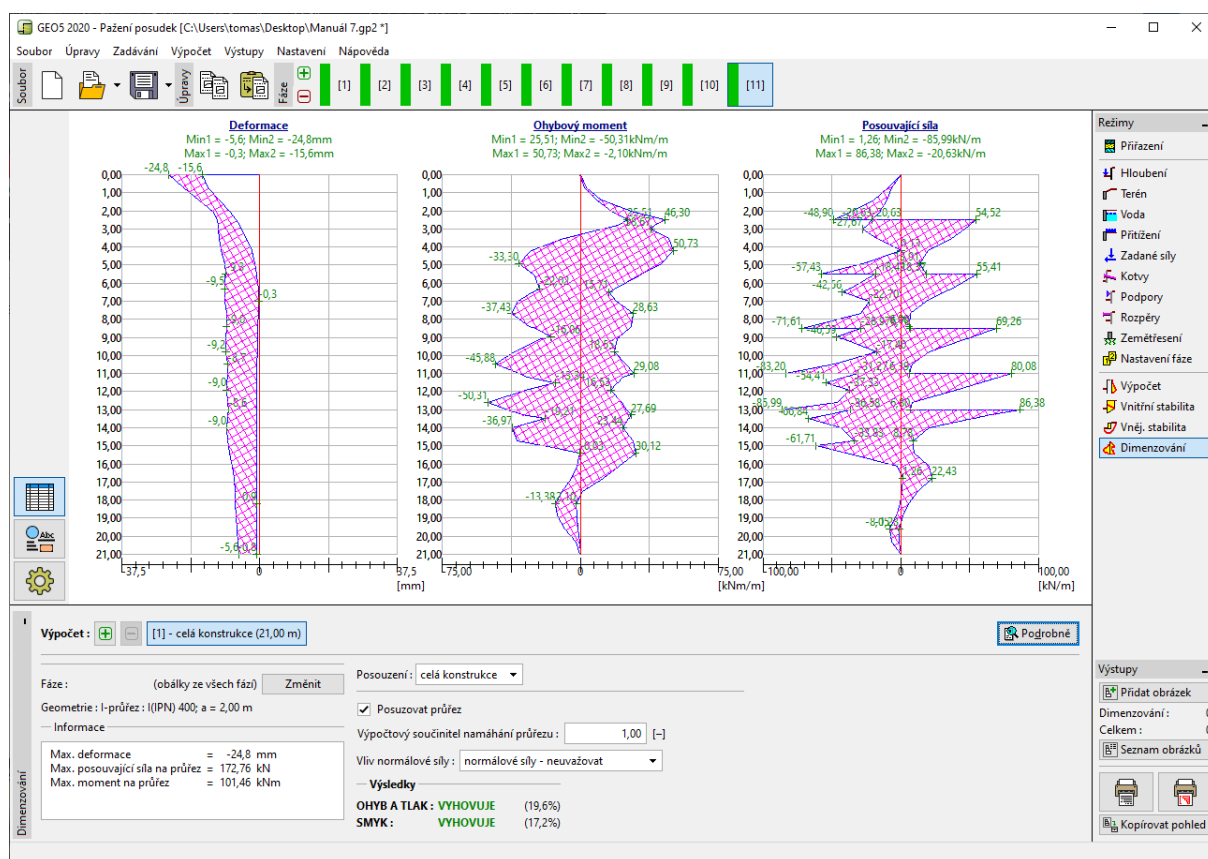
Vnitřní síly jsou v programu Pažení posudek počítány na metr běžný konstrukce (1 bm). Pro samotné dimenzování ocelového záporního momentu musíme tyto hodnoty přenásobit osovou vzdáleností profilů  $a = 2 \text{ m}$ , abychom získali vnitřní síly působící přímo v průřezu záporního momentu.

- Max. posouvající síla pro dimenzování:  $Q_{Ed,max} = 86,38 \cdot 2,0 = 172,76 \text{ kN}$ ,
- Max. ohybový moment pro dimenzování:  $M_{Ed,max} = 50,73 \cdot 2,0 = 101,46 \text{ kNm}$ .

Na tyto extrémní vnitřní síly poté program provede příslušné posouzení průřezu ocelové záporního momentu podle normy EN 1993-1-1 (EC 3).

Výpočtový součinitel namáhání průřezu jsme prozatím ponechali o velikosti 1,0. V tomto případě vychází celkové využití průřezu takto:

- Posouzení únosnosti v ohybu:  $M_{c,Rd} = 516,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed,max} = 101,46 \text{ kNm}$ .
- Celkové využití průřezu záporního momentu: **19,6 %** Průřez I (IPN) 400 vyhovuje.



Rám „Dimenzování“ – fáze budování 11 (posouzení průřezu ocelové záporního momentu I 400)

Při výpočtu jsme ponechali velikost mezních zemních tlaků neredukovanou, čili zatížení je nižší, než by podle EN 1997-1 mělo být. Získané průběhy vnitřních sil však nejlépe odpovídají reálnému chování konstrukce. Změny průběhu zemních tlaků vedou sice ke zvýšení bezpečnosti, ale zároveň ke

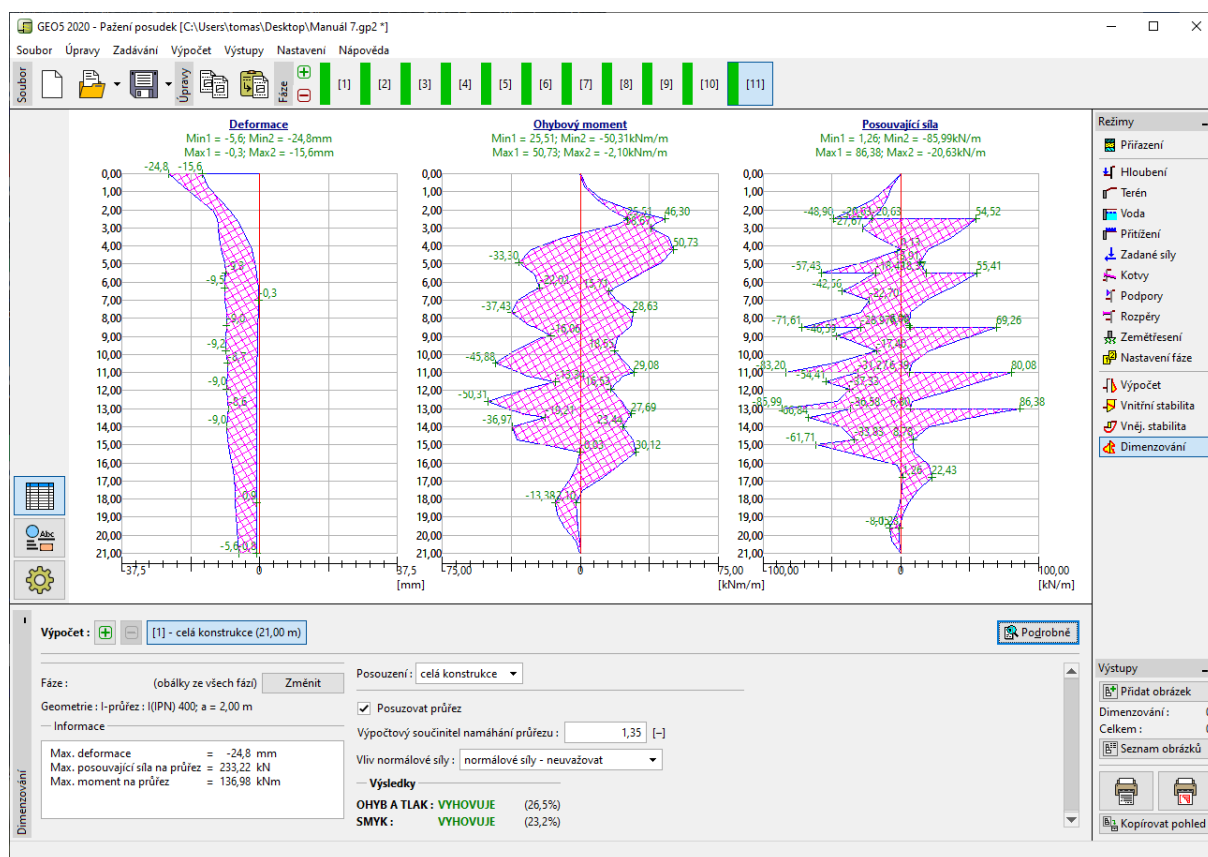
zkreslení výsledků. Z tohoto důvodu pro vlastní posouzení ocelového průřezu zavedeme vlastní velikost výpočtového součinitele namáhání.

*Poznámka: Norma EN 1997-1 předpokládá, že dílčí součinitel redukce pro stálé zatížení je roven  $\gamma_G = 1,35$ , pro proměnné zatížení se pak uvažuje velikost součinitele  $\gamma_Q = 1,5$ . V našem případě působí veškeré zatížení jako stálé, součinitel  $\gamma_G$  uvažujeme o velikosti 1,35.*

*V případě kombinace stálého a proměnného zatížení musíme stanovit velikost výpočtového součinitele odhadem, a to v rozmezí 1,35 až 1,5 podle poměrů jednotlivých složek zatížení, které je převládající.*

Výpočtový součinitel namáhání průřezu změním na hodnotu 1,35. Vnitřní síly působící přímo v průřezu záporny, které přenásobíme tímto součinitelem pak vycházejí takto:

- Max. posouvající síla pro dimenzování:  $Q_{Ed,max} = (86,38 * 2) * 1,35 = 233,22 \text{ kN}$
- Max. ohybový moment pro dimenzování:  $M_{Ed,max} = (50,73 * 2) * 1,35 = 136,98 \text{ kNm}$



Rám „Dimenzování“ – fáze budování 11 (nové posouzení průřezu ocelové záporny I 400)

V případě zohlednění součinitele namáhání průřezu vychází využití záporny takto:

- Posouzení únosnosti v ohybu:  $M_{c,Rd} = 516,61 \text{ kNm} \geq M_{Ed,max} = 136,98 \text{ kNm}$
- Celkové využití průřezu záporny: **26,5 %** Průřez I (IPN) 400 **vyhovuje**
- Posouzení únosnosti ve smyku:  $V_{c,Rd} = 1005,29 \text{ kN} \geq Q_{Ed,max} = 233,22 \text{ kN}$
- Celkové využití průřezu záporny: **23,2 %** Průřez I (IPN) 400 **vyhovuje**

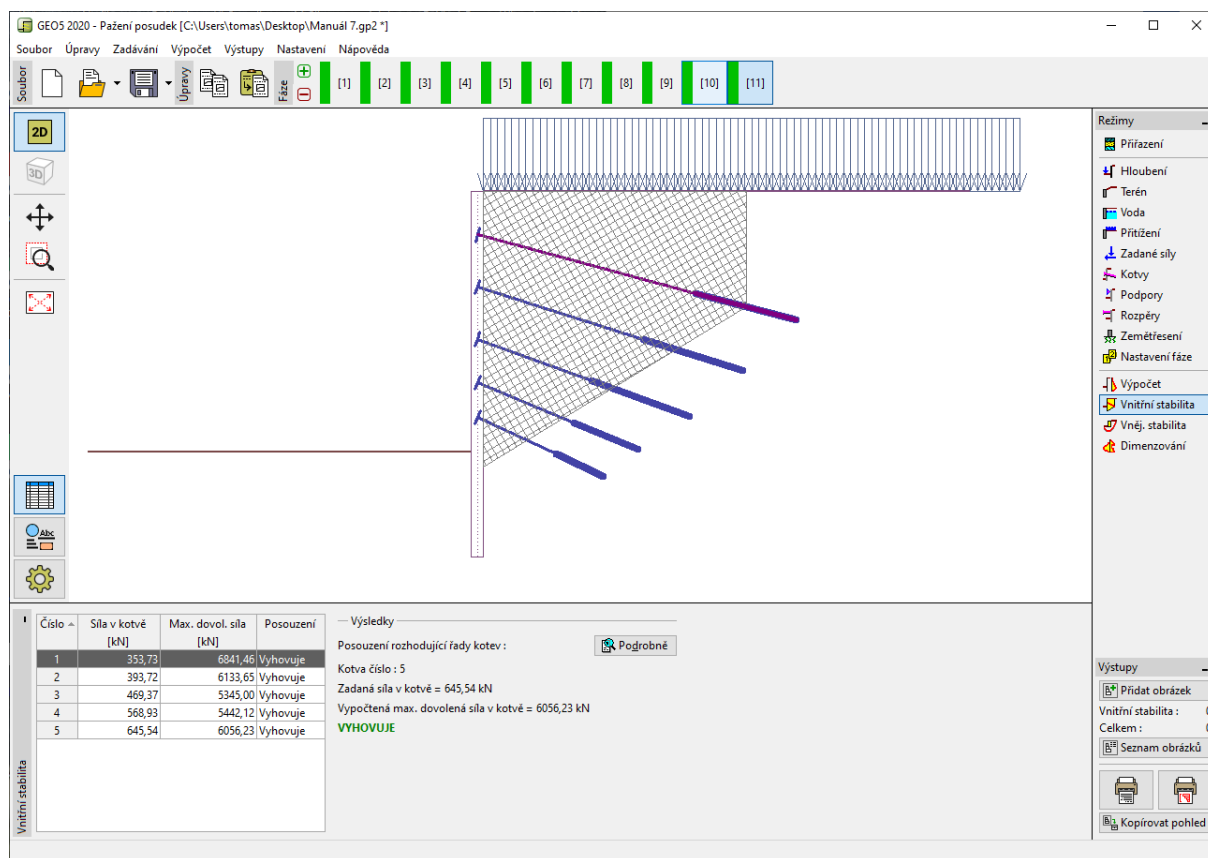
## Výpočet vnitřní stability:

Pro zjištění stability kotevního systému přejdeme v poslední fázi budování do rámu „Vnitřní stabilita“, kde sledujeme hodnoty maximální dovolené síly v jednotlivých kotvách.

*Poznámka: Posouzení se provádí tak, že se zjišťuje síla v kotvě, která uvede do rovnováhy soustavu sil působících na blok zeminy. Tento zemní blok je vymezený pažící konstrukcí, povrchem terénu, spojnici teoretické paty pažící konstrukce se středem kořene kotvy a svislicí mezi středem kořene kotvy a povrchem terénu (více viz Help – F1). Pokud některá kotva nevyhovuje, je nutné změnit její tvar – nejčastěji ji stačí prodloužit, nebo snížit velikost předpínací síly.*

Z výpočtu získáme maximální sílu v kotvě (řada č. 5) a dále celkové využití kotvy:

– Vnitřní stabilita: **10,66 %**       **$F_{\text{zad}} = 645,54 \text{ kN} < F_{\text{max}} = 6056,23 \text{ kN}$**       **VYHOVÍ**

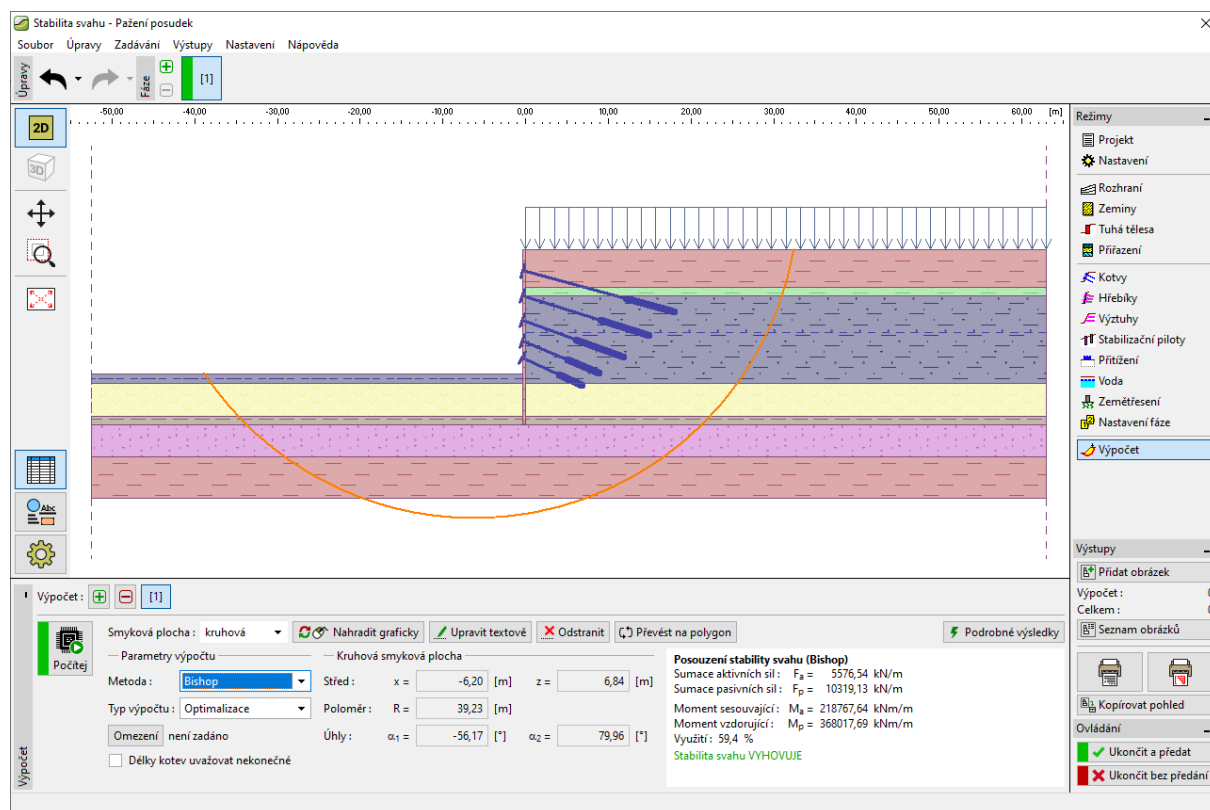


Rám „Vnitřní stabilita“ – fáze budování 11



## Posouzení vnější stability:

Posledním krokem je posouzení vnější stability konstrukce (pomocí rámu „Vnější stabilita“). Kliknutím na rám „Vnější stabilita“ se automaticky otevře program „Stabilita svahu“. V něm přejdeme do rámu „Výpočet“, kde pomocí tlačítka „Počítej“ provedeme posouzení stability svahu.



Rám „Vnější stabilita“ – Bishop (optimalizace)

## Závěr, shrnutí výsledků:

Navržená konstrukce záporového pažení z ocelových I profilů splňuje všechny konstrukční požadavky. Maximální deformace stěny činí 24,8 mm, což je pro tento typ konstrukce vyhovující. Limitní síly v kotvách nebyly překročeny.

– Únosnost průřezu:	<b>26,5 %</b>	$516,61 \text{ kNm} \geq 136,98 \text{ kNm}$	<b>VYHOVÍ</b>
– Vnitřní stabilita:	<b>10,66 %</b>	$F_{\text{zad}} = 645,54 \text{ kN} < F_{\text{max}} = 6056,23 \text{ kN}$	<b>VYHOVÍ</b>
– Celková stabilita:	<b>59,4 %</b>	Metoda – Bishop (optimalizace)	<b>VYHOVÍ</b>

Navržené záporové pažení ve všech ohledech vyhovuje.