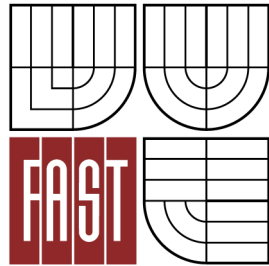




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV GEOTECHNIKY**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

## **ZALOŽENÍ POLYFUNKČNÍHO DOMU V OLOMOUCI**

THE DESIGN OF MULTIFUNCTIONAL BUILDING FOUNDATIONS IN OLOMOUC

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. PAVEL DUBČÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSc.**

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav geotechniky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Pavel Dubčák
<b>Název</b>	Založení polyfunkčního domu v Olomouci
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Věra Glisníková, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2011
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	13. 1. 2012

V Brně dne 31. 3. 2011

.....  
Ing. Lumír Miča, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Podklady budou předány vedoucí diplomové práce samostatně.

Literatura:

Turček, P. a kol.: Zakládání staveb, Jaga, Bratislava, 2005

Masopust, J.: Vrtané piloty, Čeněk a Ježek, Praha, 1994

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 1. díl, AN CERM, s.r.o., Brno, 2004

Masopust, J.: Speciální zakládání staveb - 2. díl, AN CERM, s.r.o., 2006

Reese, L.C. et al: Analysis and design of shallow and deep foundations, J. Wiley & sons, USA, 2006

## **Zásady pro vypracování**

Úkolem diplomové práce je s ohledem na geotechnické poměry navrhnout založení polyfunkčního objektu v Olomouci a dále provést bezpečný a ekonomický návrh pažení stavební jámy pro realizaci podzemních podlaží.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

1. Zadání diplomové práce.
2. Úvodní část, seznámení s problematikou DP.
3. Geotechnické poměry lokality, IG profil použitý pro statické výpočty, vstupní geotechnické parametry.
4. Statický výpočet.
5. Technologie výstavby.
6. Výkresová dokumentace.
7. Technická zpráva.

.....  
Ing. Věra Glisníková, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Úkolem této diplomové práce je navrhnout a posoudit zakládání stavby Polyfunkčního domu v Olomouci. Dále pak navrhnout bezpečně a hospodárně dočasné zajištění stavební jámy pro vybudování podzemních podlaží stavby. Posledním úkolem je popsat technologický postup prováděných geotechnických konstrukcí a vypracovat patřičnou výkresovou dokumentaci.

**Klíčová slova**

Stavební jáma, zakládání staveb, piloty, kotvy, pažící konstrukce, geotechnické parametry zemin, zatížení, štětovnice, statický výpočet

**Abstract**

The topic of my master`s thesis is to design foundations of multifunctional building in Olomouc. Another part of this master`s thesis deals with safe and economic design solution of shoring wall. This construction is used to built underground parts of the building. The last part of the work contains description of technological proces of the geotechnics constructions execution. The drawing documentation is also included.

**Keywords**

Foundation pit, building foundation, piles, anchors, shoring wall, geotechnics characteristics of soils, load, sheet piles, structural analysis.

...

### **Bibliografická citace VŠKP**

DUBČÁK, Pavel. *Založení polyfunkčního domu v Olomouci*. Brno, 2011. 66 s., 9 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky.  
Vedoucí práce Ing. Věra Glisníková, CSc..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2012

.....

podpis autora

**OBSAH**

ÚVOD .....	- 2 -
1 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry.....	- 3 -
1.1 Geomorfologie.....	- 3 -
1.2 Geologické a hydrogeologické poměry širšího okolí zájmového území .....	- 3 -
1.3 Závěry inženýrsko – geologického průzkumu .....	- 4 -
2 Zajištění stavební jámy .....	- 5 -
2.1 Možné varianty pro návrh pažící konstrukce .....	- 5 -
2.2 Dočasné pramencové kotvy.....	- 6 -
2.3 Štětovicové stěny.....	- 8 -
3 Založení objektu .....	- 10 -
3.1 Vrtané piloty.....	- 10 -
4 Statický výpočet.....	- 11 -
4.1 Štětovicové stěny.....	- 11 -
4.1.1 Metody výpočtu .....	- 11 -
4.1.2 Výpočtové fáze budování konstrukce .....	- 14 -
4.1.3 Výsledky statického výpočtu – GEO 5 Pažení posudek .....	- 14 -
4.1.4 Výsledky výpočtu – GEO 5 MKP.....	- 29 -
4.1.5 Návrh a posouzení jednotlivých prvků konstrukce.....	- 36 -
4.1.6 Fotodokumentace z výstavby pažící konstrukce.....	- 39 -
4.2 Základová konstrukce.....	- 41 -
4.2.1 Výsledky statického výpočtu – GEO 5 Piloty .....	- 42 -
4.2.2 Přehled jednotlivých typů navržených pilot.....	- 52 -
5 Technologický postup provádění navržených konstrukcí .....	- 56 -
5.1 Pramencové kotvy .....	- 56 -
5.2 Vrtané piloty.....	- 57 -
6 Závěr .....	- 60 -
7 Studijní prameny.....	- 62 -
7.1 Seznam použité literatury :.....	- 62 -
7.2 Odkaz na další studijní zdroje a prameny : .....	- 62 -
8 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	- 65 -

9	Seznam obrázků.....	- 65 -
10	Seznam příloh .....	- 66 -

## ÚVOD

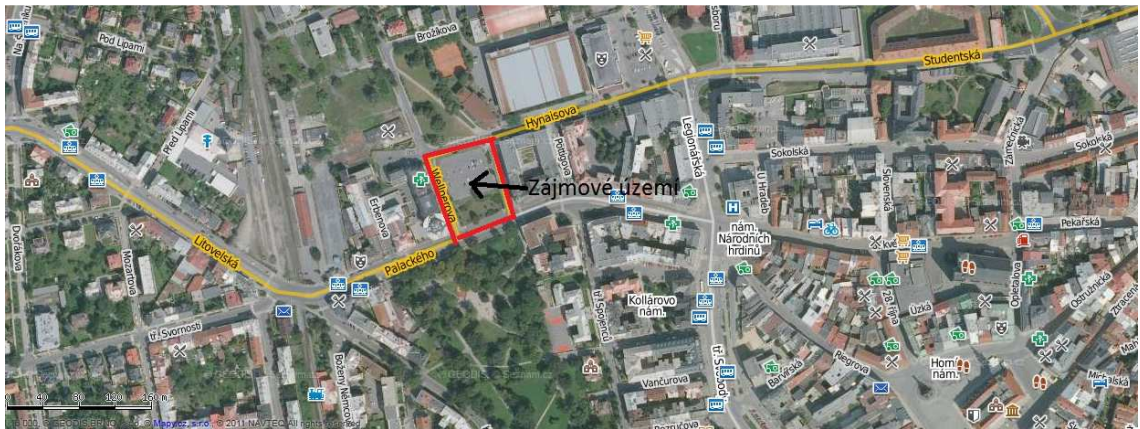
Úkolem této diplomové práce je navrhnout a posoudit technicky a ekonomicky účelně zakládání stavby Polyfunkčního domu na ulici Wellnerova v Olomouci. Jedná se o stavbu, která má 4 nadzemní podlaží a 2 podzemní podlaží. Dále pak navrhnout dočasné zajištění stavební jámy pro realizaci vybudování podzemních podlaží stavby.

Pro řešení úkolu této diplomové práce byly použity vybrané programy ze souboru programů GEO 5 – GEO 5 – Pažení návrh, Pažení posudek, MKP, Piloty. Ze získaných výsledků z programu GEO 5 byl následně proveden návrh a posouzení jednotlivých prvků konstrukce.

# 1 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry

## 1.1 Geomorfologie

Jedná se o pozemek, který se nachází poblíž centra města Olomouce. Místo budoucí stavby leží v proluce městské výstavby a na pozemku, který bude využit pro stavby, se nachází z poloviny parkoviště a v druhé části je nezastavěná travnatá plocha. Lokalita je obklopena v těsné blízkosti ze všech čtyř stran pozemními komunikacemi. Charakter pozemku v celé své ploše je rovinnatý. Nadmořská výška zájmového území se pohybuje okolo hodnoty 216 m. n. m. Lokalita spadá ke geomorfologické soustavě Vněkarpatské sníženiny, podsoustavě Západní Vněkarpatské sníženiny.



Obrázek 1-1 – Situace v místě staveniště [14]

## 1.2 Geologické a hydrogeologické poměry širšího okolí zájmového území

*Kvartér* – Kvartérní vrstvy jsou zastoupeny především navážkami o mocnostech vrstev 5 - 6 m. Nejčastěji se zde nachází fluvialní písčité hlíny, dále pak jíly, štěrkopísky, štěrkodrt' se zbytky stavební suti – úlomky cihel, betonu.

*Terciér* - Geologické podloží zájmového území je tvořeno horninami karpatské předhlubně pásma Západních Karpat. Pro tuto vrstvu geologického profilu jsou v této

lokalitě nejčastěji zastoupeny vápnitě jíly šedozelené či hnědošedé barvy, které mohou ojediněle obsahovat ulity, zrnka písku a kousky černé břidlice.

*Hydrogeologie* – Hladina podzemní vody byla zachycena v rozmezí hloubek 3,20 – 3,30 m pod úrovní terénu.

### 1.3 Závěry inženýrsko – geologického průzkumu

Z podkladů získaných z Inženýrsko – geologického průzkumu byl sestaven geologický profil v místě stavby, který je patrný z Přílohy č. 1 – Řez pažící konstrukcí. Zeminy jsou rozděleny a označeny podle jednotlivých typů na základě normy ČSN 731001 (v současné době již neplatná).

#### Jednotlivé vrstvy geologického profilu a příslušné geotechnické parametry:

*Vrstva č. 1* - Písek jílovitý (S5CV)

Objemová tíha  $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$

Efektivní úhel vnitřního tření:  $\varphi' = 27^\circ$

Efektivní soudržnost(koheze):  $c' = 8 \text{ kPa}$

*Vrstva č. 2* - Jíl s nízkou či střední plasticitou (F6CV)

Objemová tíha  $\gamma = 21,0 \text{ kN/m}^3$

Efektivní úhel vnitřního tření:  $\varphi' = 19^\circ$

Efektivní soudržnost(koheze):  $c' = 12 \text{ kPa}$

## 2 Zajištění stavební jámy

Z důvodů požadavku na vybudování dvou podzemních podlaží objektu je nutno navrhnout na dobu výstavby dočasné pažení stavební jámy. Jedná se o stavební jámu o půdorysných rozměrech 76 x 52,5 m. Hloubka definitivního výkopu se nachází 7 m pod původním terénem. Pro návrh pažící konstrukce bylo vycházeno ze Zprávy o podrobném inženýrsko – geologickém průzkumu. Hladina podzemní vody v zájmovém území se nachází přibližně v úrovni 3,25 m pod terénem. Na vnějším okraji stavební jámy po celém jejím obvodu je uvažováno s přitížením  $10\text{kN/m}^2$  v šířce 5 m z důvodů pojezdu stavebních mechanismů.

### 2.1 Možné varianty pro návrh pažící konstrukce

Z výše uvedených skutečností a požadavku, aby pažící konstrukce plnila současně funkci těsnící, připadají jako možné varianty pro návrh zajištění stavební jámy následující konstrukce:

- Pilotových stěny
- Podzemní stěny (Milánské stěny)
- Štětovnicové stěny

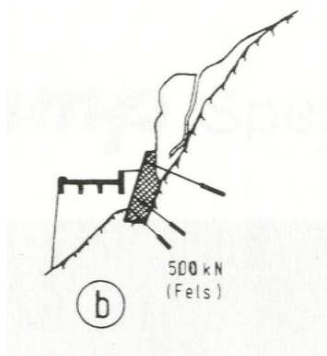
## 2.2 Dočasné pramencové kotvy

Kotvy jsou nosné prvky pažících konstrukcí, které zajišťují přenos tahových z konstrukce do základové půdy. Skládají se z kotevní hlavy, volné délky a délky kořene, která je zainjektována do základové půdy. Volná délka umožňuje svým protažením vnesení kotevní tahové síly pomocí předpětí.[2]

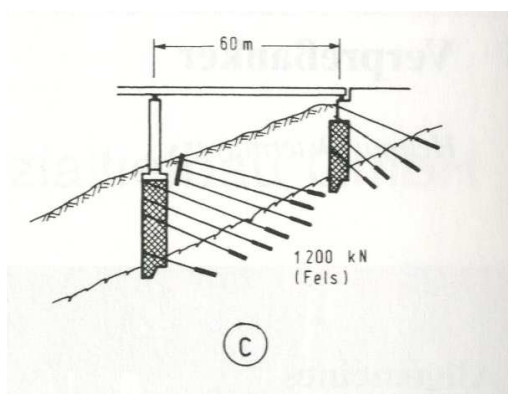
### Použití kotev

V horninách byly předpjaté kotvy poprvé použity v roce 1935 při stavbě přehradní nádrže Cheurfas v Alžírsku. Vývoj předpjatých kotev pro použití v zeminách začal v roce 1958 především pro jištění konstrukcí pažících stavební jámy[1].

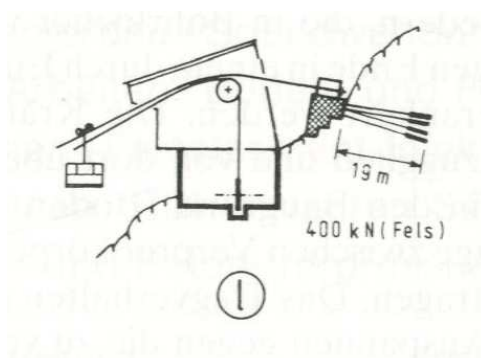
Vybrané příklady užití kotev



Obrázek 2 – 1 - Kotvený ochranný pilíř k zajištění nestabilní skály[1]



Obrázek 2 – 2 - Kotvení mostních pilířů v území ohroženém sesuvy [1]



Obrázek 2 – 3 - Kotvení nosného lana lanové dráhy do horniny [1]

### ***Ochrana proti korozi***

Nebezpečí koroze u konstrukcí kotevních systémů je ovlivněno mnoha faktory, kterými jsou například agresivita podzemní vody, propustnost podloží, elektrické proudy (bludné proudy), chemické složení a pevnost použité oceli.

*Možná antikorozní opatření pro dočasné kotvy:* Pro dočasné kotvy je vyžadována jednoduchá ochrana. V oblasti volné délky kotvy se provádí ochrana pomocí plastové ochranné trubky. V oblasti kořene kotvy se provede překrytí konstrukce cementovým tmelem v minimální tloušťce 20 mm pro zeminy nebo 10 mm pro horniny, které se nenachází pod hladinou podzemní vody.

### ***Typ navržených kotev a jeho parametry***

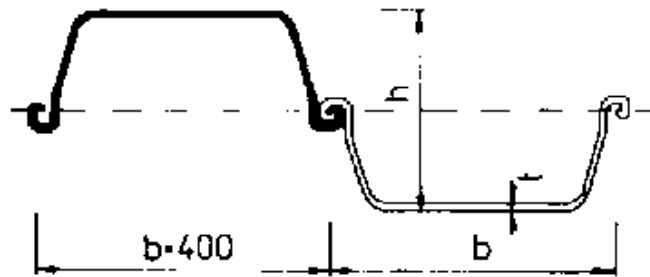
Pro kotvení navržené pažící konstrukce jsou uvažovány dočasné třípramencové kotvy typu  $L_p$  15,5/1800.

*Hlavní parametry ocelových pramenců pro  $L_p$  15,5/1800:*

- *Průměr pramence:* 15,5 mm
- *Plocha průřezu:* 141,5 mm<sup>2</sup>
- *Tažnost:* 3,5 %
- *Modul pružnosti:* 200 GPa
- *Pevnost:* 1800 MPa
- *Maximální únosnost pro 3x  $L_p$  15,5/1800:* 420 kN

### 2.3 Štětovnicové stěny

Štětovnicové stěny jsou souvislé pažící konstrukce vytvořené z jednotlivých štětovnic, které se svisle beraní těsně vedle sebe před hloubením stavební jámy. V minulosti se jako štětovnice používaly dřevěné nebo železobetonové prvky. V současné době se ovšem nejčastěji používají ocelové štětovnice typu LARSEN.



Obrázek 2 - 4 – Příčný řez štětovnicí typu LARSEN

Takto vytvořená pažící konstrukce plní rovněž funkci těsnící. Je tedy vhodná k použití v místech, kde se dno stavební jámy nachází pod hladinou spodní vody.

Štětovnicové stěny se nejčastěji používají jako konstrukce dočasná a po splnění své funkce se obvykle vytahují ze zeminy a použijí se opětovně. Mohou být ovšem také trvalou součástí stavby, např. při použití u pilířů mostů nebo při zajištění stability svahu v sesuvném území.



Obrázek 2 - 5 - Štětovnicová stěna ze štětovnic typu IIn[12]

Dostatečnou stabilitu štětovicových stěn je možné zajistit prostřednictvím vetknutí, kotvení nebo rozepření v jedné či více úrovních. Pro případ kotvených konstrukcí štětovicových stěn je nutno navrhnout rozpěrný práh k zajištění rovnoměrného přenosu tahových sil z konstrukce stěny prostřednictvím kotev do základové půdy. Namáhání tohoto prvku závisí na hodnotě síly v jednotlivých kotvách a dále pak na vodorovné vzdálenosti kotev mezi sebou. Rozpěrný práh se dimenzuje na namáhání od účinků ohybového momentu.



Obrázek 2 - 6 - Jedenkrát kotvená štětovicová stěna s rozpěrným prahem [12]

### ***Výběr typu pažící konstrukce pro řešenou stavební jámu***

S ohledem na to, že tato konstrukce má plnit pouze dočasnou funkci (tedy po dobu výstavby podzemních podlaží objektu) a z hlediska finančního se jeví jako nejvhodnější způsob zajištění stavební jámy pomocí *Štětovicové stěny*. Tato pažící konstrukce je navržena na délku 12 m, což znamená, že je 5 m vetknuta pod dno stavební jámy a vzhledem ke své výšce je navržena jako dvakrát kotvená stěna.

### 3 Založení objektu

Podkladem pro návrh založení tohoto objektu jsou zatěžovací účinky od horní stavby, které je nutno přenést prostřednictvím základové konstrukce do podloží stavby.

Založení objektu je možné provést několika způsoby – *Železobetonová monolitická základová deska, základové patky, základové pasy, hlubinné zakládání – piloty*. Případně je možno použít kombinaci některých výše uvedených způsobů.

Vzhledem ke geologickým a hydrogeologickým poměrům v místě stavby a k charakteru objektu (4 nadzemní podlaží a 2 podzemní podlaží) a s tím související velikostí zatěžovacích účinků, na které je nutno navrhnout základovou konstrukci, se jako nejvhodnější varianta základové konstrukce jeví *hlubinné založení pomocí vrtaných velkopřůměrových pilot*. Z důvodů přítomnosti podzemní vody pod úrovní základové spáry je nutno doplnit tuto základovou konstrukci o železobetonovou monolitickou základovou desku, která bude zabraňovat průsaku podzemní vody a odolávat jejímu vztlaku.

#### 3.1 Vrtané piloty

Vrtané piloty patří k nejčastěji používaným typům hlubinného zakládání v ČR. Mají tvar sloupů s kruhovým průřezem nebo jsou tvořeny lamelami podzemních stěn. Úkolem pilot je přenášet zatížení od horní konstrukce do hlubších vrstev základové půdy, kde se obvykle nachází únosnější základová půda.[2]

Vrtané piloty řadíme mezi piloty typu *replacement*. U tohoto typu je v průběhu provádění zemina odstraňována z prostoru budoucí piloty.[2]

## 4 Statický výpočet

### 4.1 Štětovnicové stěny

Statický výpočet byl prováděn pomocí výpočetních programů od společnosti FINE - GEO 5 – MKP a GEO 5- Pažení posudek ve všech pěti fázích hloubení stavební jámy. V každé z těchto fází proběhlo stanovení průběhu vnitřních sil a deformací na konstrukci.

Jako nejnepríznivější pro účinky vlivu vnitřních sil a deformace na konstrukci se ukázala poslední výpočtová fáze hloubení, ve které je dosaženo maximální hloubky výkopu a stěna je kotvena pomocí předpjatých kotev ve dvou výškových úrovních.

Pro takto získané extrémní hodnoty vnitřních sil byl proveden návrh a posouzení jednotlivých prvků pažící konstrukce – posouzení průřezu štětovnice typu LARSEN III<sub>n</sub> na extrémní účinky ohybového momentu, návrh a posouzení rozpěrného prahu mezi kotvami v obou kotvících úrovních, posouzení únosnosti předpjatých kotev na tahovou sílu a posouzení vnitřní stability celé pažící konstrukce.

#### 4.1.1 Metody výpočtu

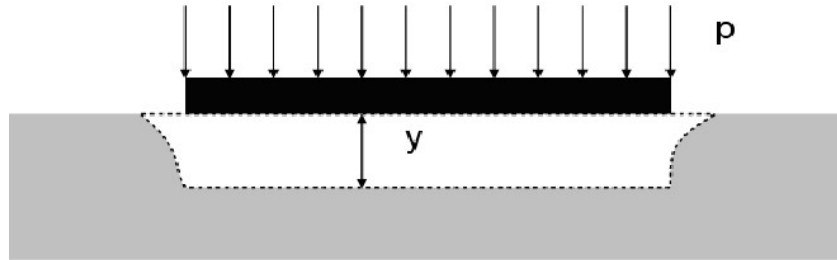
Pro stanovení stability, deformace a vnitřních sil v konstrukci se používají různé metody, nejčastěji Metoda závislých tlaků (program GEO – 5 Pažení posudek) a Metoda konečných prvků (program GEO 5 – MKP). Výpočet pažení byl proveden použitím obou těchto metod.

#### Metoda závislých tlaků

Metoda závislých tlaků vychází z předpokladu, že zemina resp. hornina v okolí podzemní stěny se chová jako ideální pružnoplastická Winklerova hmota. Tato hmota je určena jednak modulem reakce podloží  $k_n$ , který charakterizuje přetvoření v pružné oblasti a dále omezujícími deformacemi, při jejichž překročení se hmota chová jako ideálně plastická.[5]

*Modul reakce podloží  $k_h$* 

Tato veličina popisuje vztah mezi zatížením tuhé desky a jejím zatlačením do podloží a je popsán pomocí rovnice  $p=k \cdot y$ , kde  $p$  je zatížení působící na kontaktu desky a povrchu podloží,  $k$  je definováno jako tuhost Winklerovy pružiny a  $y$  je posun desky do podloží.



Obrázek 4-1 – Definice modulu reakce podloží [5]

Modul reakce podloží lze zadat do programu GEO 5 – Pažení posudek průběhem před a za pažící konstrukcí, jako parametr zeminy hodnotou, získat iterací z převárných charakteristik zemin, nebo vypočítat několika různými metodami:

- *podle Schmitta* – tato metoda určení modulu reakce podloží vychází ze závislosti mezi edometrickým modulem  $E_{\text{ocd}}$  zeminy celkovou tuhostí konstrukce  $EI$ .

$$K_k = 2,1 \left( \frac{E_{\text{ocd}}^{4/3}}{EI^{1/3}} \right)$$

- *podle Ménarda* – určuje  $K_h$  na základě reakcí zeminy získaných ze zkoušek zatěžovací deskou a presiometrem.

Pro výpočet pažící konstrukce metodou závislých tlaků se uvažují tyto předpoklady:

Zemní tlak, který působí na podzemní stěnu, musí nabývat hodnot z intervalu daného rozmezím aktivního a pasivního tlaku. Na nedeformovanou konstrukci působí zatížení, které je rovno tlaku v klidu.

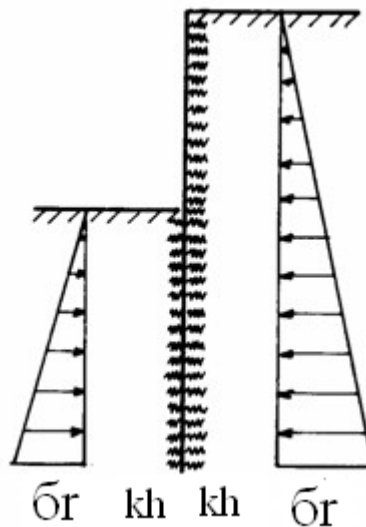
Tlak působící na deformovanou konstrukci je určen vztahem

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_r - k_h w$$

kde  $w$  je přetvoření konstrukce,  $k_h$  je modul reakce podloží a  $\bar{\sigma}_r$  je zemní tlak v klidu.

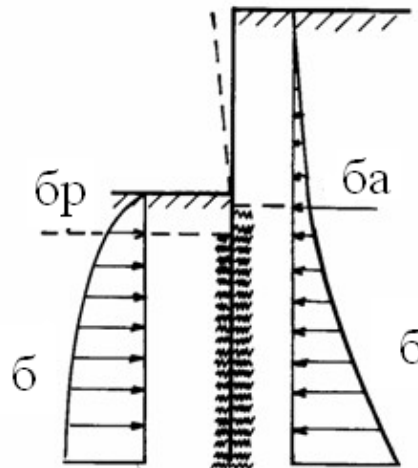
Postup výpočtu je následující:

- 1) všem prvkům se přiřadí modul reakce podloží  $k_h$  a konstrukce se zatíží tlakem v klidu



Obrázek 4-2 Schéma konstrukce před první iterací[5]

- 2) provede se výpočet konstrukce a zkontroluje se splnění podmínek o velikosti tlaků na stěnu. V místech, kde tyto podmínky nejsou splněny, se přiřadí hodnota  $k_h = 0$  a stěna se zatíží aktivním resp. pasivním tlakem[5]



Obrázek 4-3 Schéma konstrukce během iterací[5]

Iterace probíhá tak dlouho, než jsou splněny všechny výše uvedené podmínky výpočtu.

#### 4.1.2 Výpočtové fáze budování konstrukce

Statický výpočet byl proveden v pěti jednotlivých předpokládaných fázích budování pažící konstrukce.

1. **Fáze:** Hloubení stavební jámy pod první kotevní úroveň (- 3,00 m)
2. **Fáze:** Provedení kotvení na první kotevní úrovni (- 2,00 m)
3. **Fáze:** Hloubení stavební jámy pod druhou kotevní úroveň (- 5,50 m)
4. **Fáze:** Provedení kotvení na druhé kotevní úrovni (- 4,50 m)
5. **Fáze:** Hloubení stavební jámy na požadovanou hloubku výkopu (- 7,20 m)

#### 4.1.3 Výsledky statického výpočtu – GEO 5 Pažení posudek

##### Vstupní parametry výpočtu:

- Geometrie konstrukce:

Délka konstrukce:	12 m
Typ konstrukce:	Štětovnice typu IIIIn 436 x 168 x 13 mm
Plocha průřezu:	$A = 1,97 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{m}$
Moment setrvačnosti:	$I = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$
Modul pružnosti:	$E = 210\,000,00 \text{ MPa}$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81\,000,00 \text{ MPa}$
Modul reakce podloží počítán podle teorie Schmitt	

- *Parametry zemin:*

Základní parametry zemin – Písek jílovitý (S5CV) – efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\delta_a$ [°]	$\delta_p$ [°]
1	Třída S5		27,00	8,00	18,50	8,50	18,00	18,00

Základní parametry zemin – Jíl s nízkou či střední plasticitou (F6CV) – totální napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_u$ [°]	$c_u$ [kPa]	$a$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
2	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$		0,00	80,00	0,00	21,00




Parametry zemin pro výpočet tlaku v klidu

Číslo	Název	Vzorek	Typ výpočtu	$\varphi$ [°]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$K_r$ [-]
1	Třída S5		nesoudržná	27,00	-	-	-
2	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$		soudržná	-	0,40	-	-

Parametry zemin pro výpočet modulu reakce podloží (Schmitt)

Číslo	Název	Vzorek	$\nu$ [-]	$E_{oed}$ [MPa]	$E_{def}$ [MPa]
1	Třída S5		0,35	-	8,00
2	Třída F6, konzistence tuhá		0,40	4,39	-

## Geologický profil a přiřazení zemín

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	5,70	Třída S5	
2	14,30	Třída F6, konzistence tuhá	
3	-	Třída F6, konzistence tuhá	

**1. Fáze: Hloubení stavební jámy pod první kotevní úroveň (- 3,00 m)****Hloubení**

Zemina před stěnou je odebrána do hloubky 3,00 m.

**Tvar terénu**

Terén za konstrukcí je rovný.

**Vliv vody**

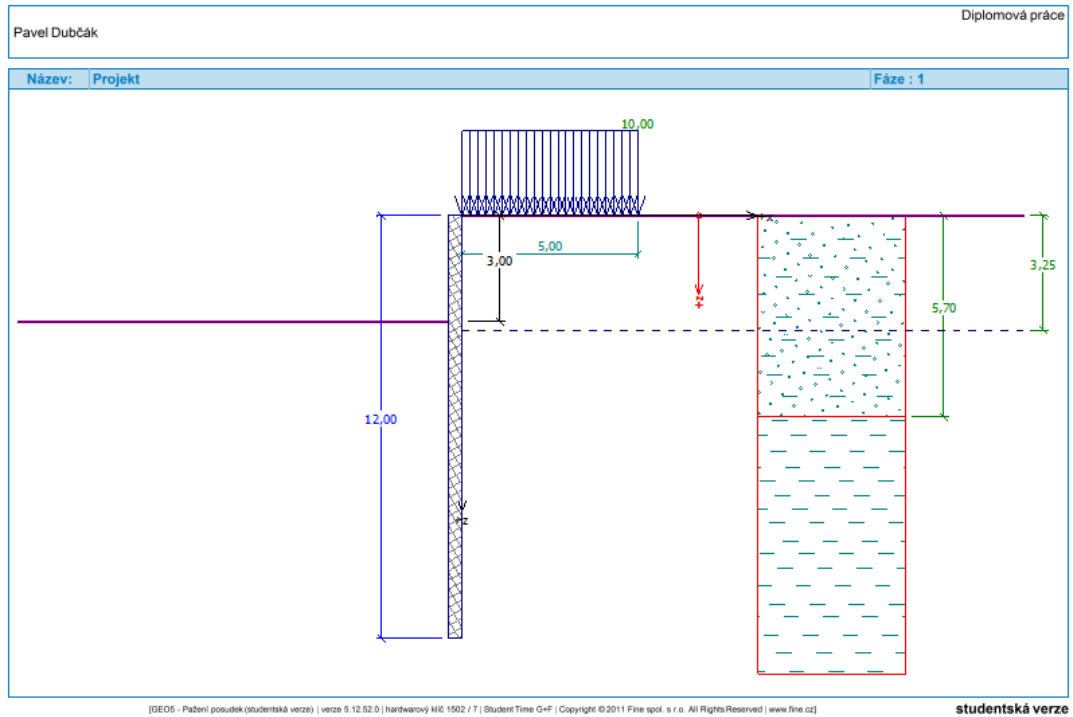
Hladina podzemní vody za konstrukcí je v hloubce 3,25 m

**Zadaná plošná přitížení**

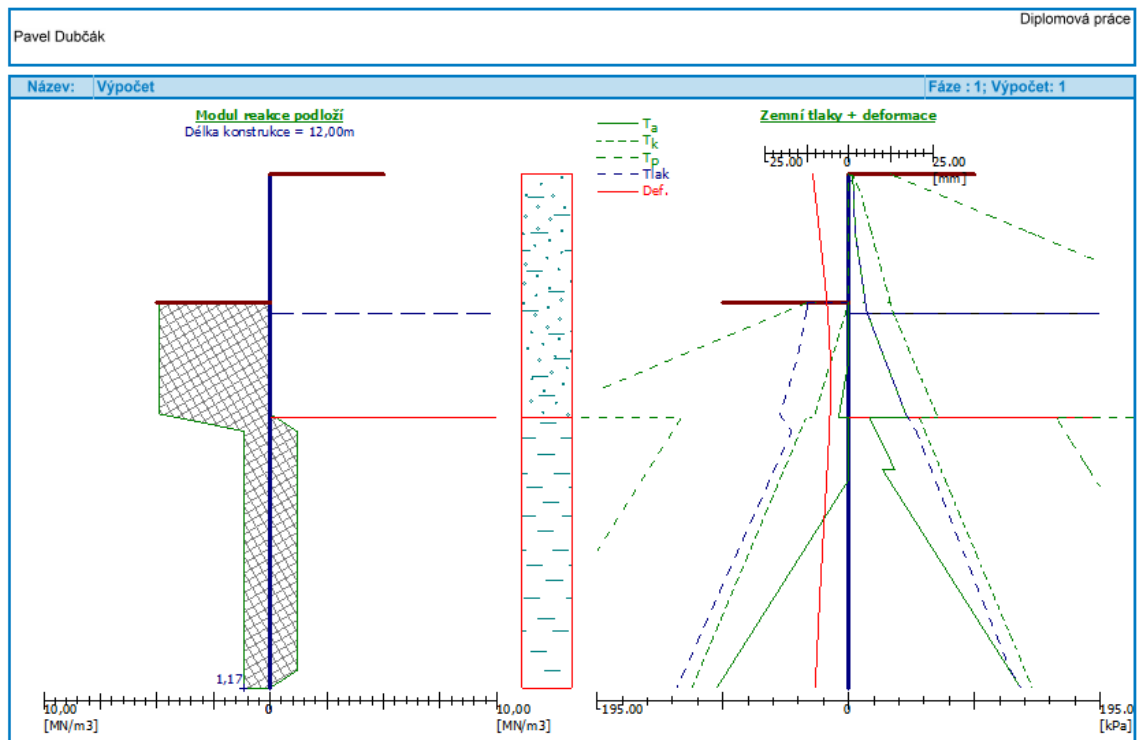
Na okraji stavební jámy působí proměnné zatížení způsobené pojezdem stavebních mechanismů na délce 5 m o velikosti  $10 \text{ kN/m}^2$ .

Číslo	Přítížení		Působ.	Vel.1 [kN/m <sup>2</sup> ]	Vel.2 [kN/m <sup>2</sup> ]	Poř.x x [m]	Délka l [m]	Hloubka z [m]
	nové	změna						
1	ANO		proměnné	10,00		0,00	5,00	na terénu
Číslo	Název							
1	provoz							

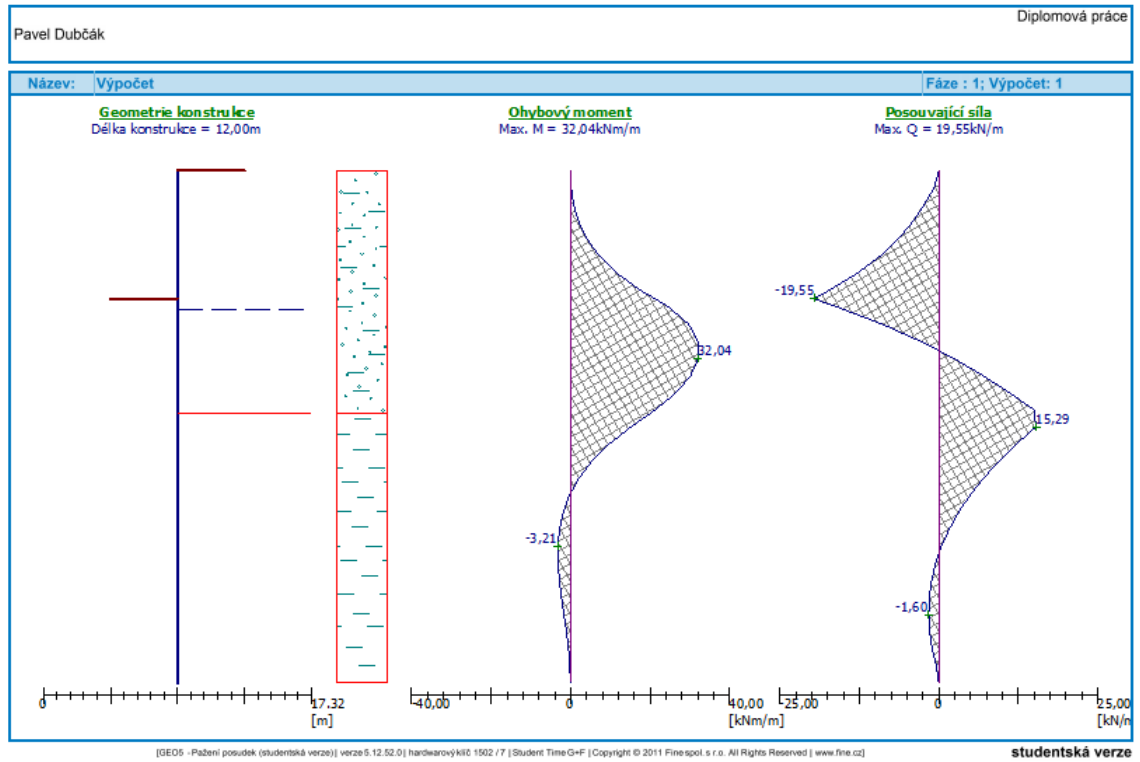
### Geometrie konstrukce



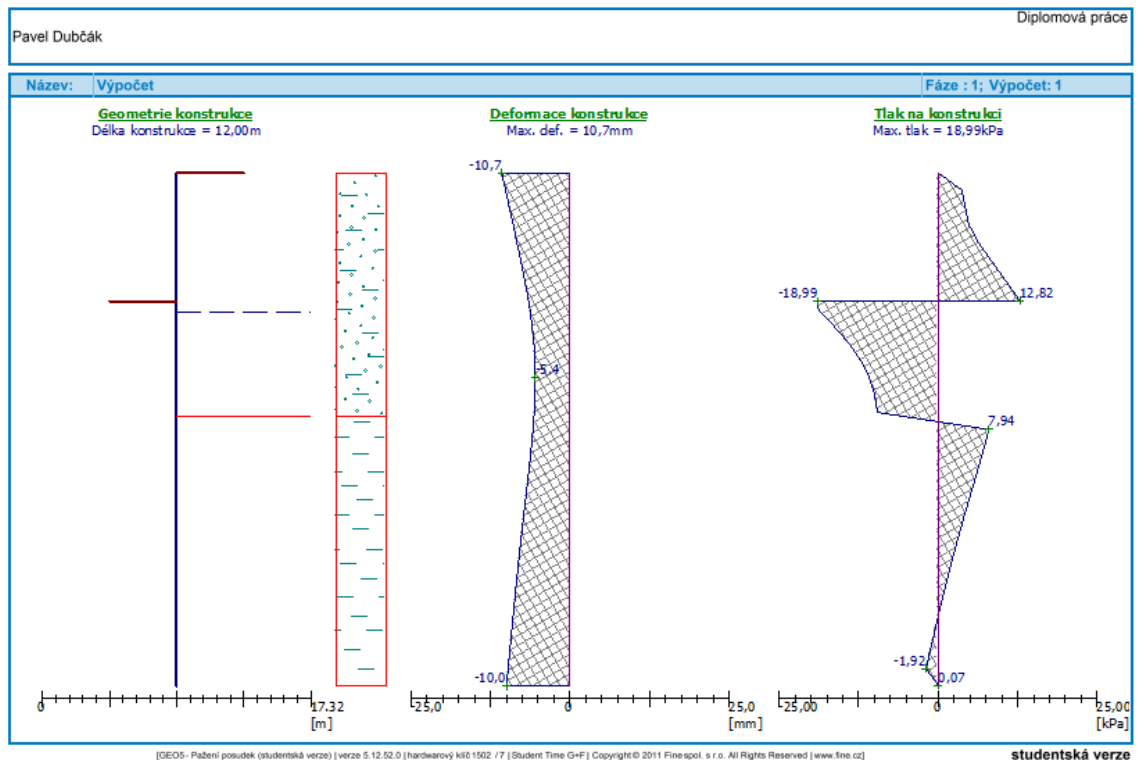
### Modul reakce podloží, zemní tlaky a deformace



### Vnitřní síly na pažící konstrukci



### Deformace konstrukce a tlak na konstrukci



**2. Fáze: Zhotovení kotev na první kotevní úrovni – 2,00m**

**Hloubení**

Zemina před stěnou je odebrána do hloubky 3,00 m.

**Tvar terénu**

Terén za konstrukcí je rovný.

**Vliv vody**

Hladina podzemní vody za konstrukcí je v hloubce 3,25 m

**Zadaná plošná přitížení**

Na okraji stavební jámy působí proměnné zatížení způsobené pojezdem stavebních mechanismů na délce 5 m o velikosti 10 kN/m<sup>2</sup>

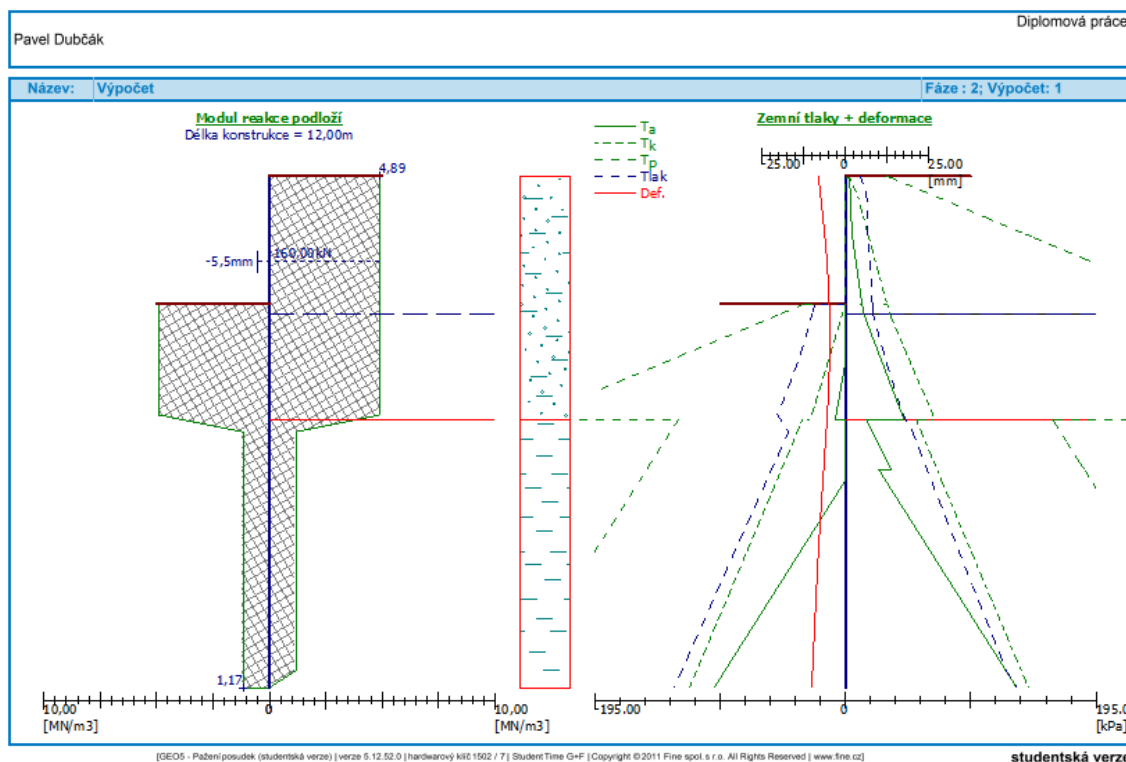
**Kotvy**

Číslo	Nová kotva	Hloubka z [m]	Délka l [m]	Kořen l <sub>k</sub> [m]	Sklon α [°]	Vzd. mezi b [m]
1	ANO	2,00	7,00	3,00	15,00	3,00

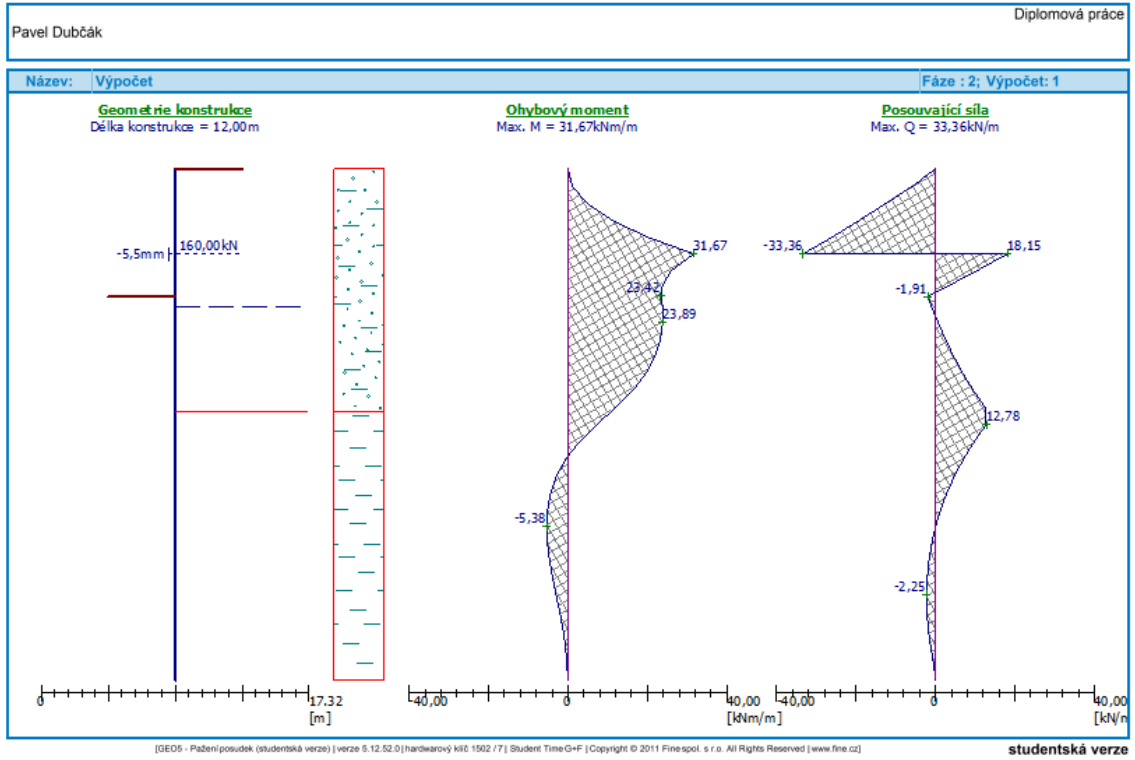
  

Číslo	Průměr d [mm]	Plocha A [mm <sup>2</sup> ]	Modul E [MPa]	Dopnutí	Síla F [kN]
1		424,500	210000,00		160,00

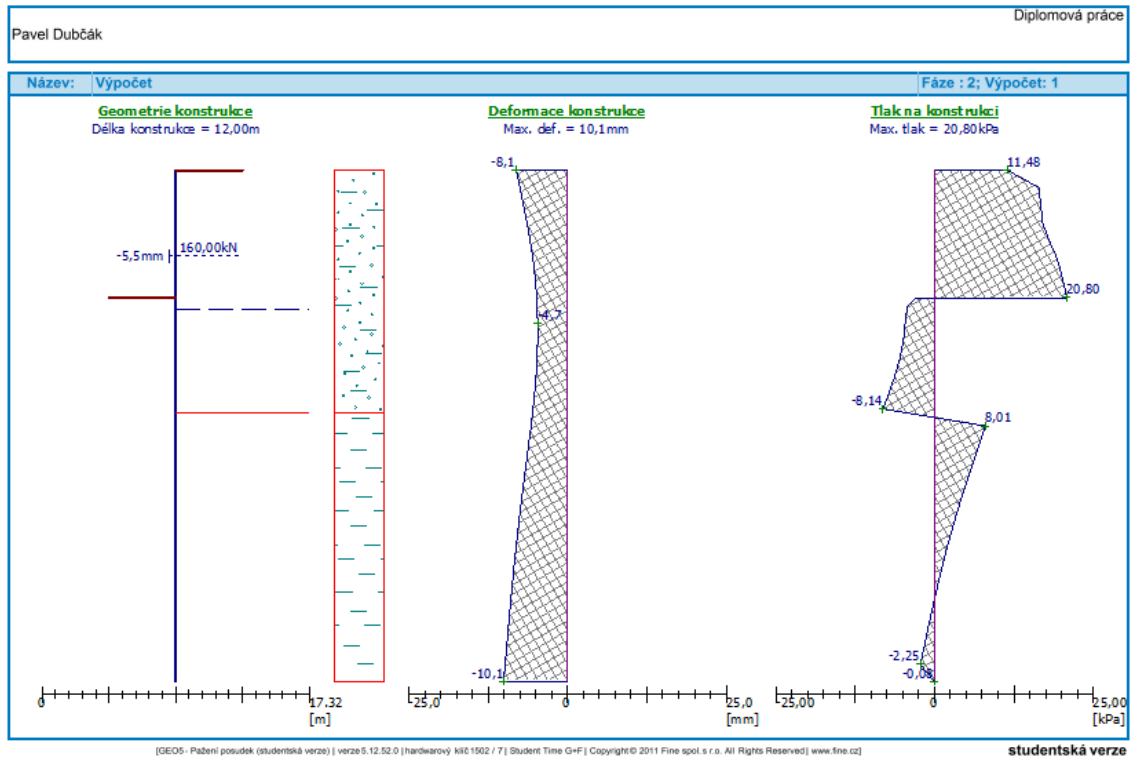
**Modul reakce podloží, zemní tlaky a deformace**



### Vnitřní síly na pažící konstrukci



### Deformace konstrukce a tlak na konstrukci



**3. Fáze: Hloubení stavební jámy pod druhou kotevní úroveň (- 5,50 m)**

**Hloubení**

Zemina před stěnou je odebrána do hloubky 5,50 m.

**Tvar terénu**

Terén za konstrukcí je rovný.

**Vliv vody**

Hladina podzemní vody za konstrukcí je v hloubce 3,25 m

**Zadaná plošná přitížení**

Na okraji stavební jámy působí proměnné zatížení způsobené pojezdem stavebních mechanismů na délce 5 m o velikosti  $10 \text{ kN/m}^2$

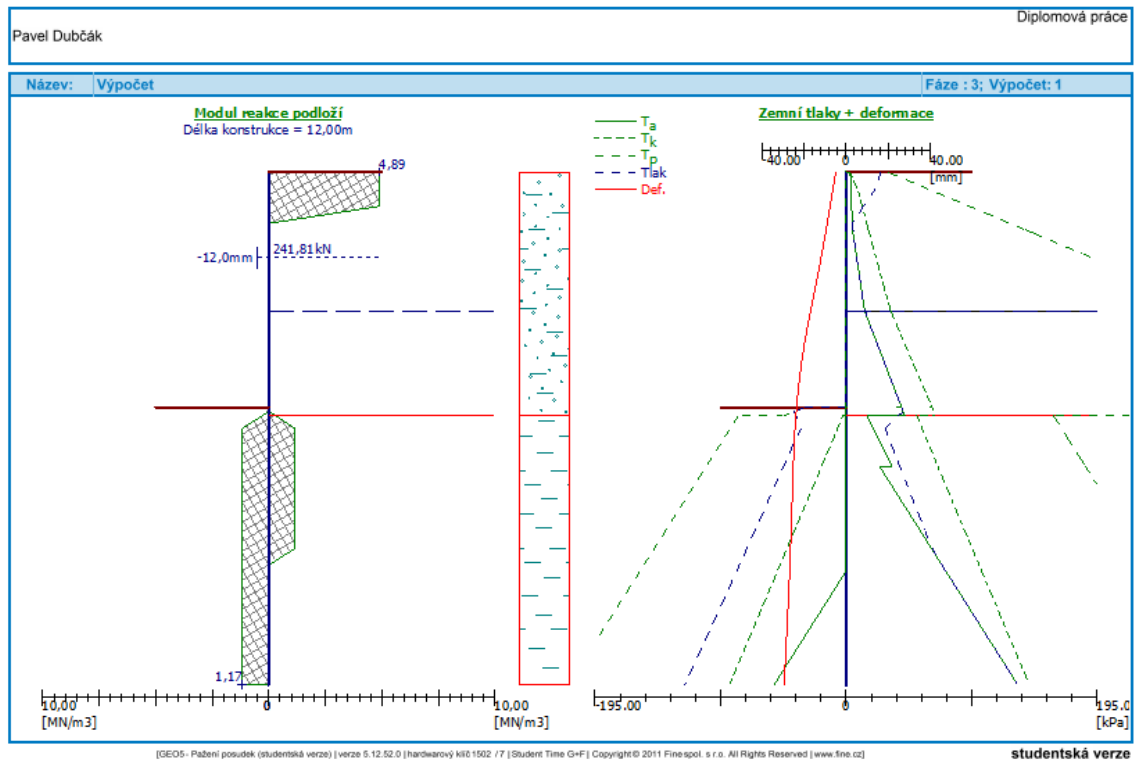
**Kotvy**

Číslo	Nová kotva	Hloubka z [m]	Délka l [m]	Kořen l <sub>k</sub> [m]	Sklon α [°]	Vzd. mezi b [m]
1	NE	2,00	7,00	3,00	15,00	3,00

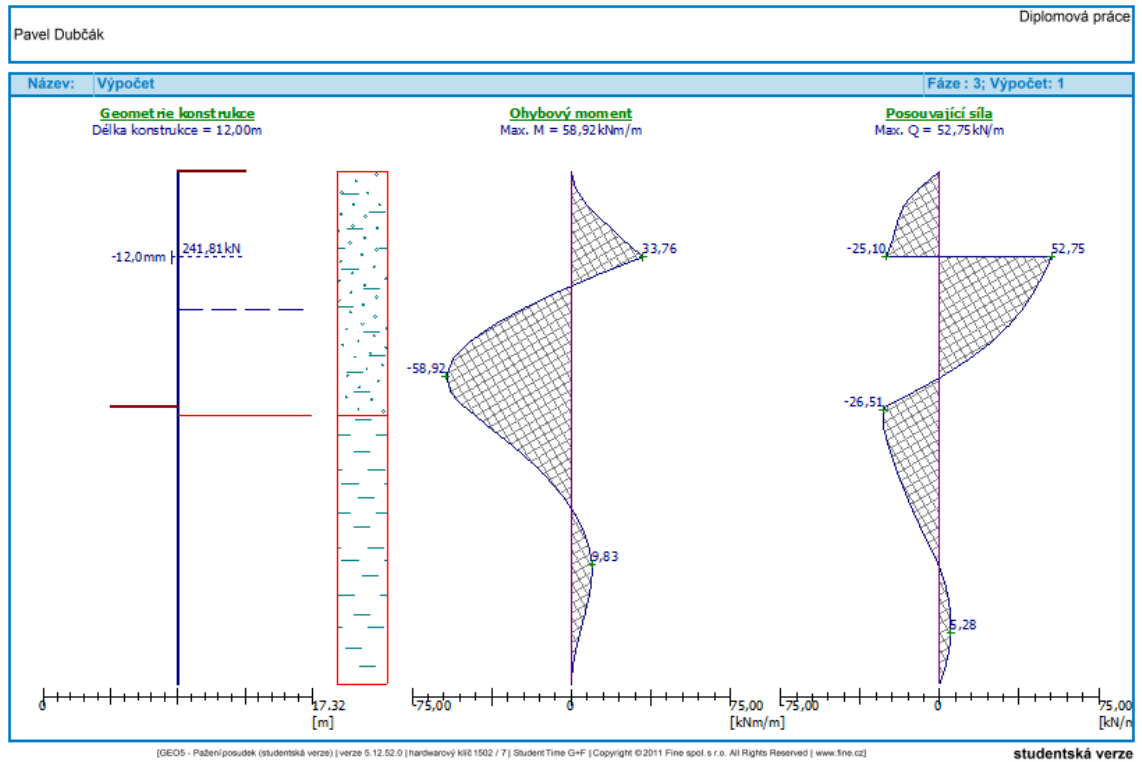
  

Číslo	Průměr d [mm]	Plocha A [mm <sup>2</sup> ]	Modul E [MPa]	Dopnutí	Síla F [kN]
1		424,500	210000,00		241,81

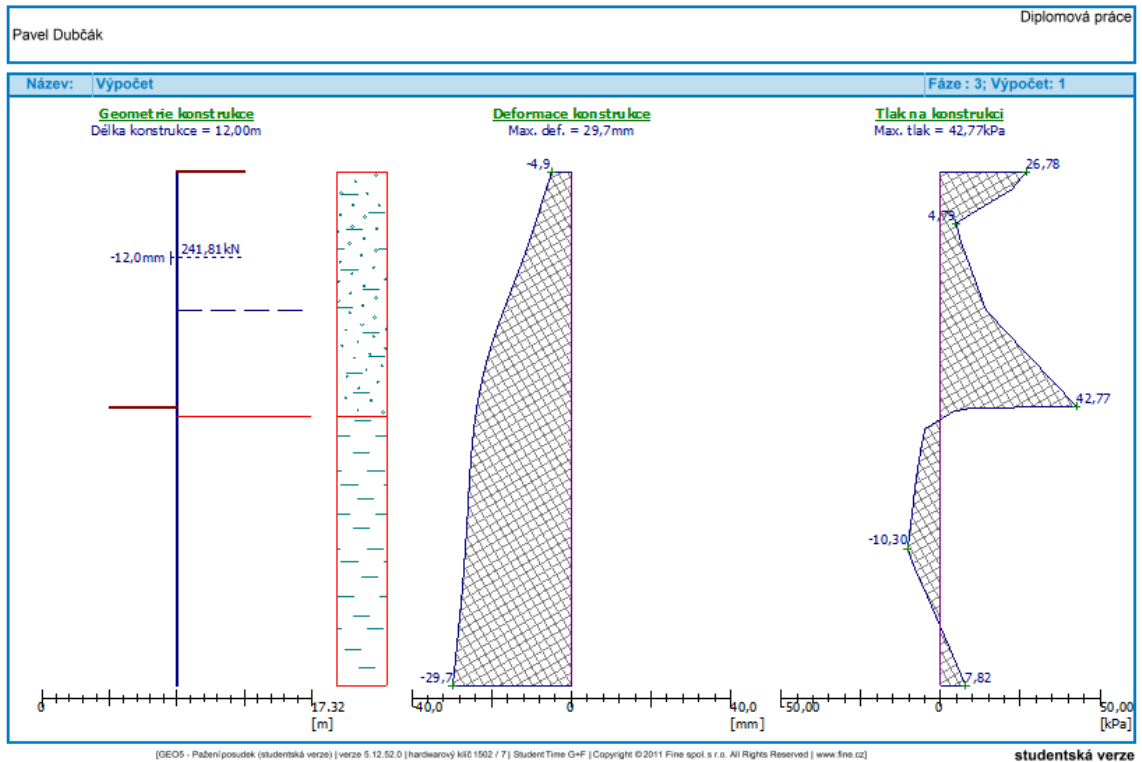
**Modul reakce podloží, zemní tlaky a deformace**



### Vnitřní síly na pažící konstrukci



### Deformace konstrukce a tlak na konstrukci



**4. Fáze: Zhotovení kotev na druhé kotevní úrovni – 4,50m**

**Hloubení**

Zemina před stěnou je odebrána do hloubky 5,50 m.

**Tvar terénu**

Terén za konstrukcí je rovný.

**Vliv vody**

Hladina podzemní vody za konstrukcí je v hloubce 3,25 m

**Zadaná plošná přitížení**

Na okraji stavební jámy působí proměnné zatížení způsobené pojezdem stavebních mechanismů na délce 5 m o velikosti  $10 \text{ kN/m}^2$

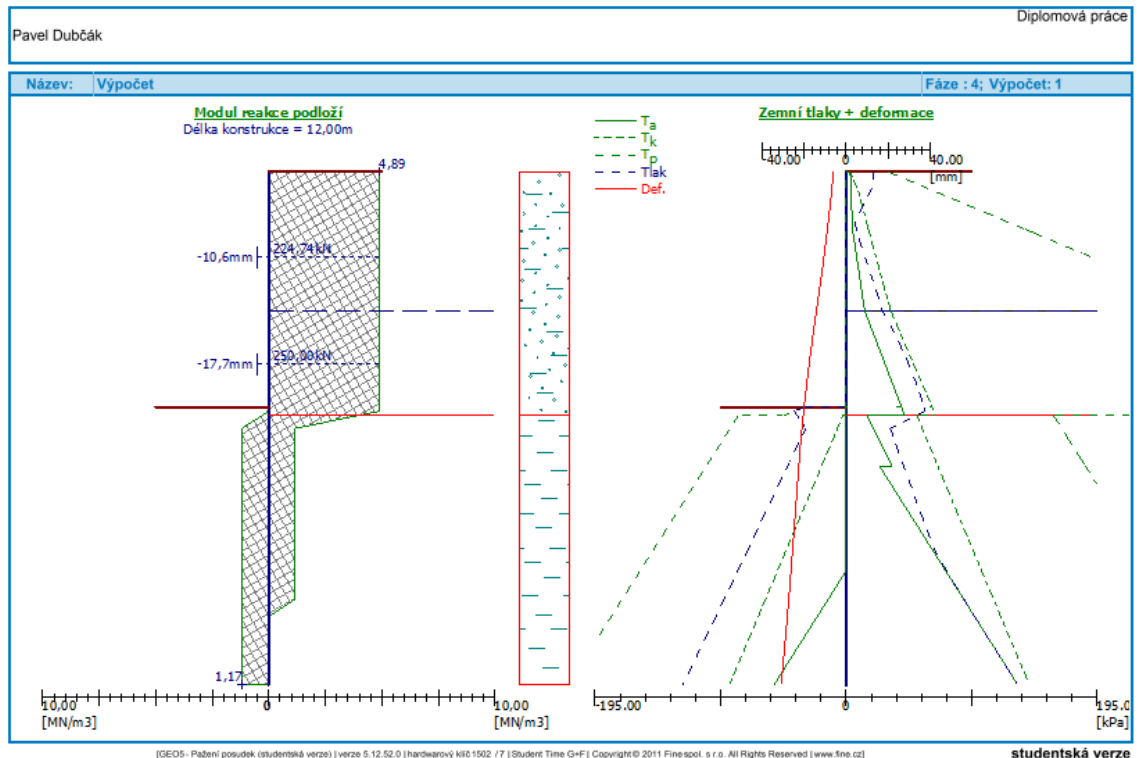
**Kotvy**

Číslo	Nová kotva	Hloubka z [m]	Délka l [m]	Kořen $l_k$ [m]	Sklon $\alpha$ [°]	Vzd. mezi b [m]
1	NE	2,00	7,00	3,00	15,00	3,00
2	ANO	4,50	7,00	3,00	15,00	3,00

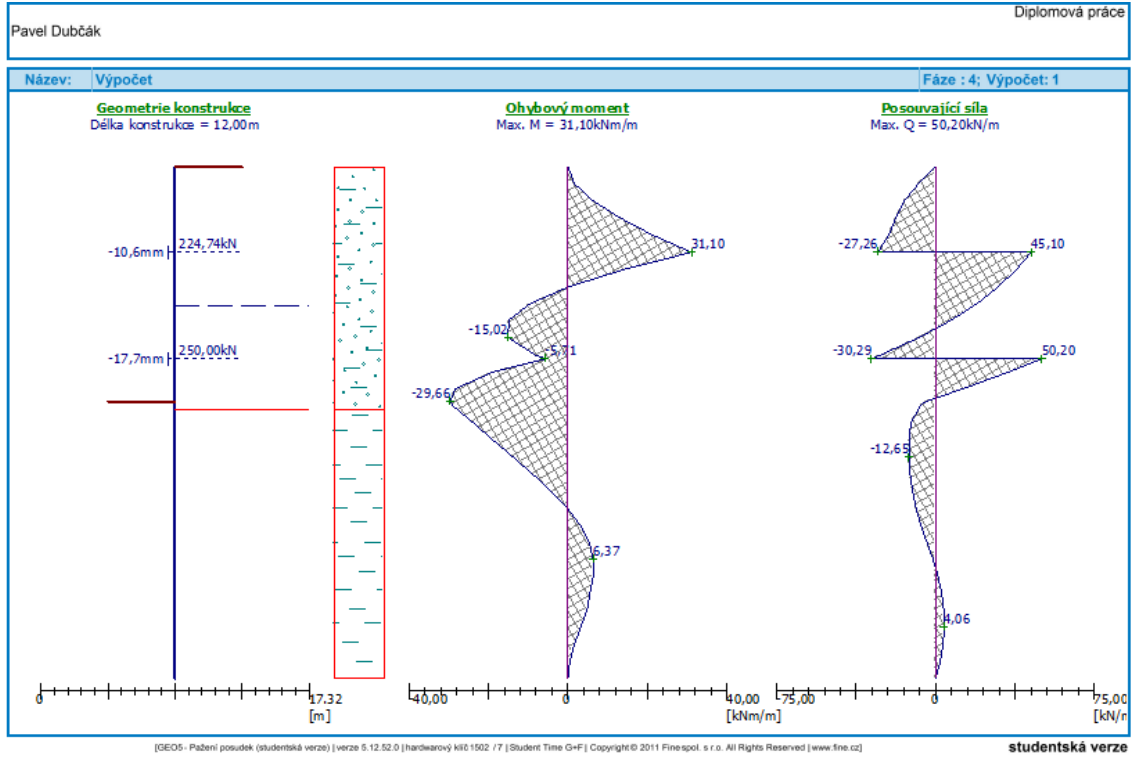
  

Číslo	Průměr d [mm]	Plocha A [mm <sup>2</sup> ]	Modul E [MPa]	Dopnutí	Síla F [kN]
1		424,500	210000,00		224,74
2		424,500	210000,00		250,00

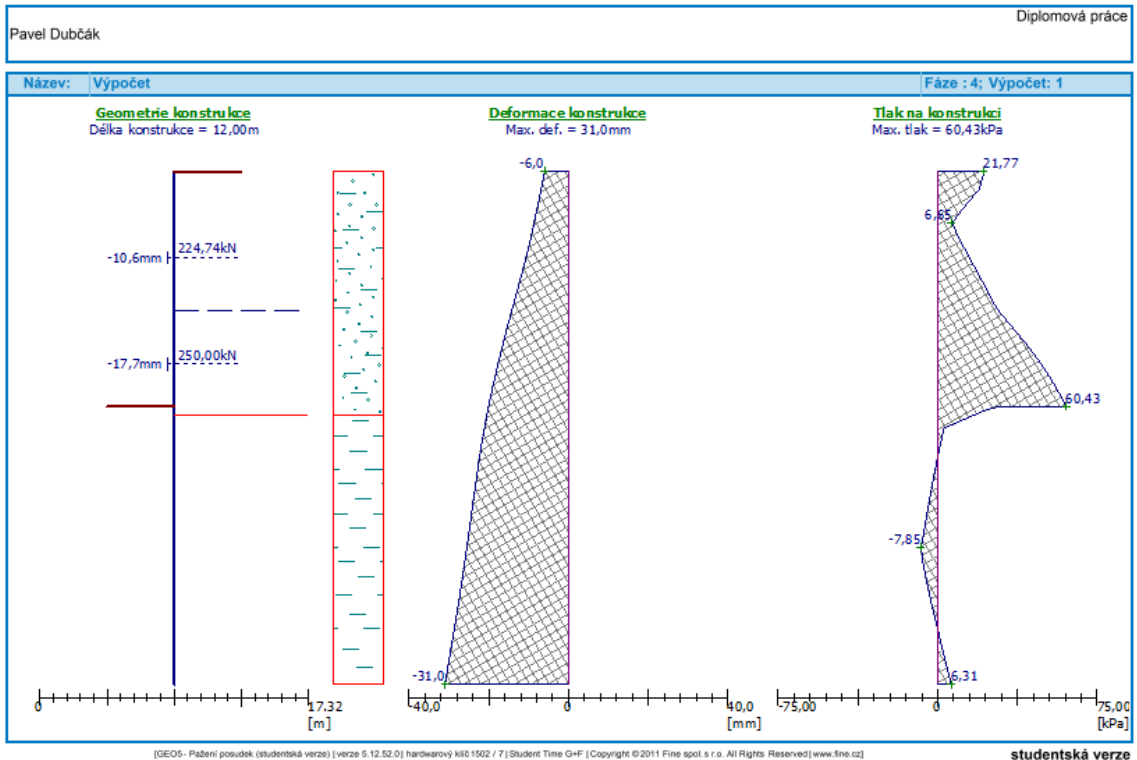
**Modul reakce podloží, zemní tlaky a deformace**



### Vnitřní síly na pažící konstrukci



### Deformace konstrukce a tlak na konstrukci



**5. Fáze: Hloubení stavební jámy na požadovanou hloubku výkopu (- 7,20 m)**

**Hloubení**

Zemina před stěnou je odebrána do hloubky 7,20 m.

**Tvar terénu**

Terén za konstrukcí je rovný.

**Vliv vody**

Hladina podzemní vody za konstrukcí je v hloubce 3,25 m

**Zadaná plošná přitížení**

Na okraji stavební jámy působí proměnné zatížení způsobené pojezdem stavebních mechanismů na délce 5 m o velikosti  $10 \text{ kN/m}^2$

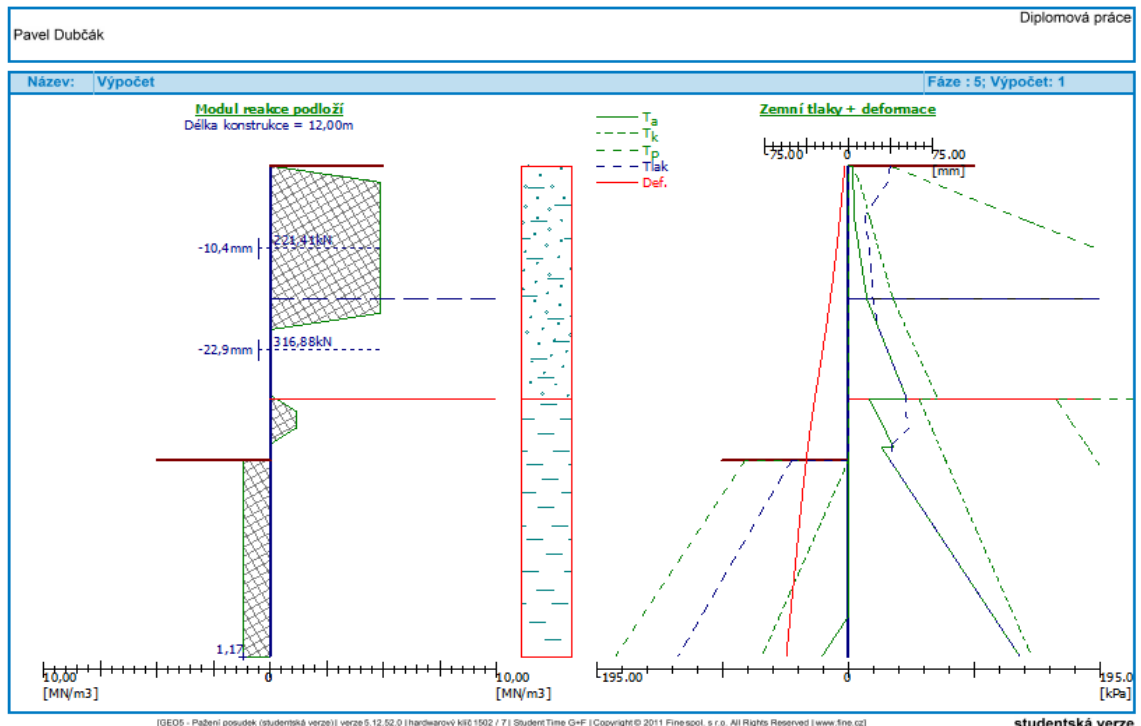
**Kotvy**

Číslo	Nová kotva	Hloubka z [m]	Délka l [m]	Kořen $l_k$ [m]	Sklon $\alpha$ [°]	Vzd. mezi b [m]
1	NE	2,00	7,00	3,00	15,00	3,00
2	NE	4,50	7,00	3,00	15,00	3,00

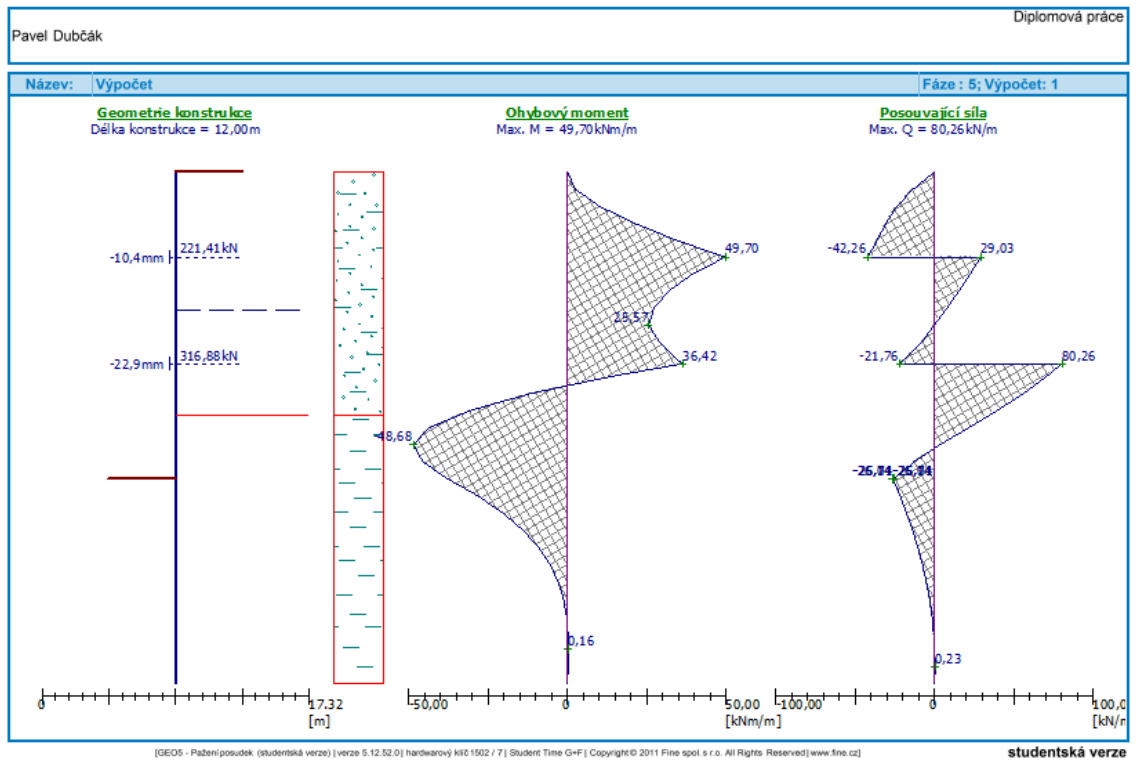
  

Číslo	Průměr d [mm]	Plocha A [mm <sup>2</sup> ]	Modul E [MPa]	Dopnutí	Síla F [kN]
1		424,500	210000,00		221,41
2		424,500	210000,00		316,88

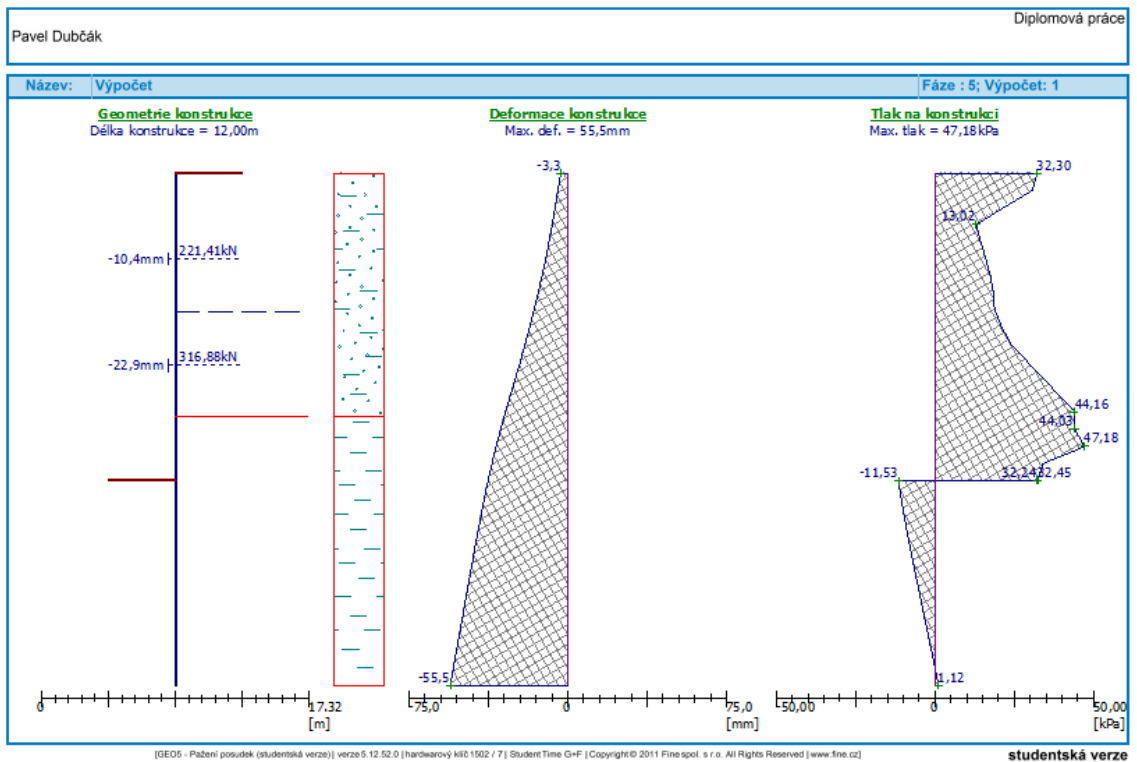
**Modul reakce podloží, zemní tlaky a deformace**



### Vnitřní síly na pažící konstrukci



### Deformace konstrukce a tlak na konstrukci



**Posouzení vnitřní stability konstrukce**

Požadovaný stupeň bezpečnosti  $SB = 1,5$

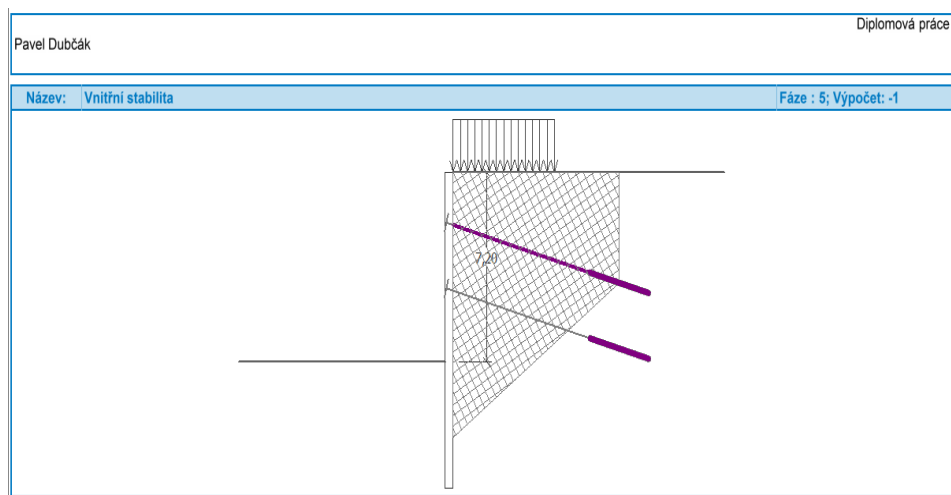
Vypočtený rozhodující stupeň bezpečnosti (kotva č. 2)  $SB_{\text{minim.}} = 1,53$

$SB_{\text{minim.}} > SB$

$1,53 > 1,5$

Celkové posouzení vnitřní stability: **VYHOVUJE**

Číslo	Síla v kotvě [kN]	Max.příp.síla v kotvě [kN]	Stupeň bezpečnosti
1	221,41	607,83	2,75
2	316,88	485,96	1,53



### Posouzení vnější stability konstrukce

Výpočet vnější stability konstrukce byl proveden pomocí programu GEO 5 – Stabilita svahu. Stabilita svahu byla posouzena podle Bishopovy metody.

Sumace aktivních sil:  $F_a = 814,75 \text{ kN}$

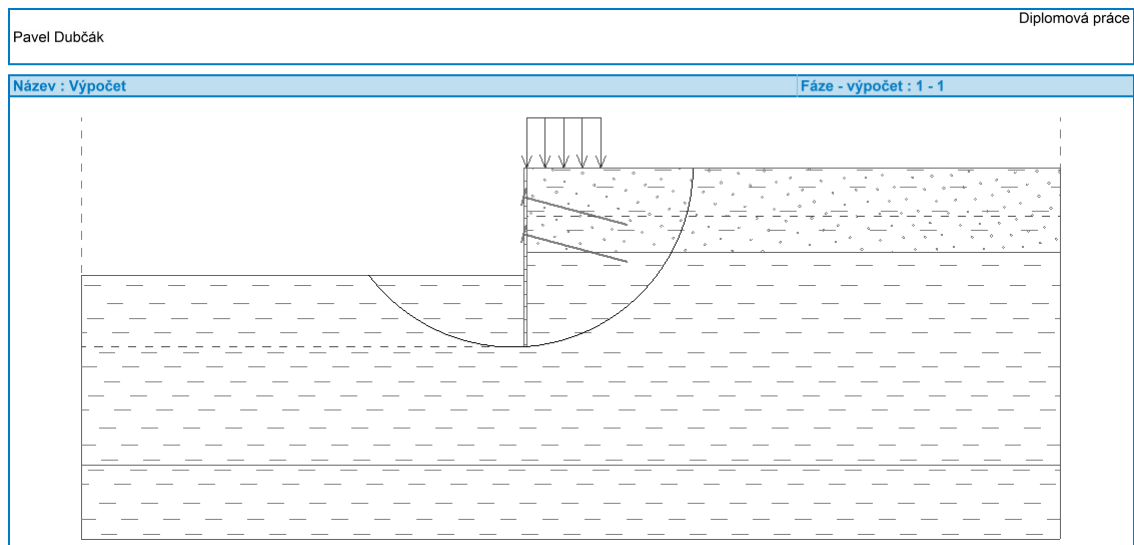
Sumace pasivních sil:  $F_p = 1376,15 \text{ kN}$

Moment sesouvající:  $M_a = 9899,18 \text{ kNm}$

Moment vzdorující:  $M_p = 16720,18 \text{ kNm}$

Stupeň bezpečnosti = **1,69 > 1,5**

**Stabilita svahu VYHOVUJE.**

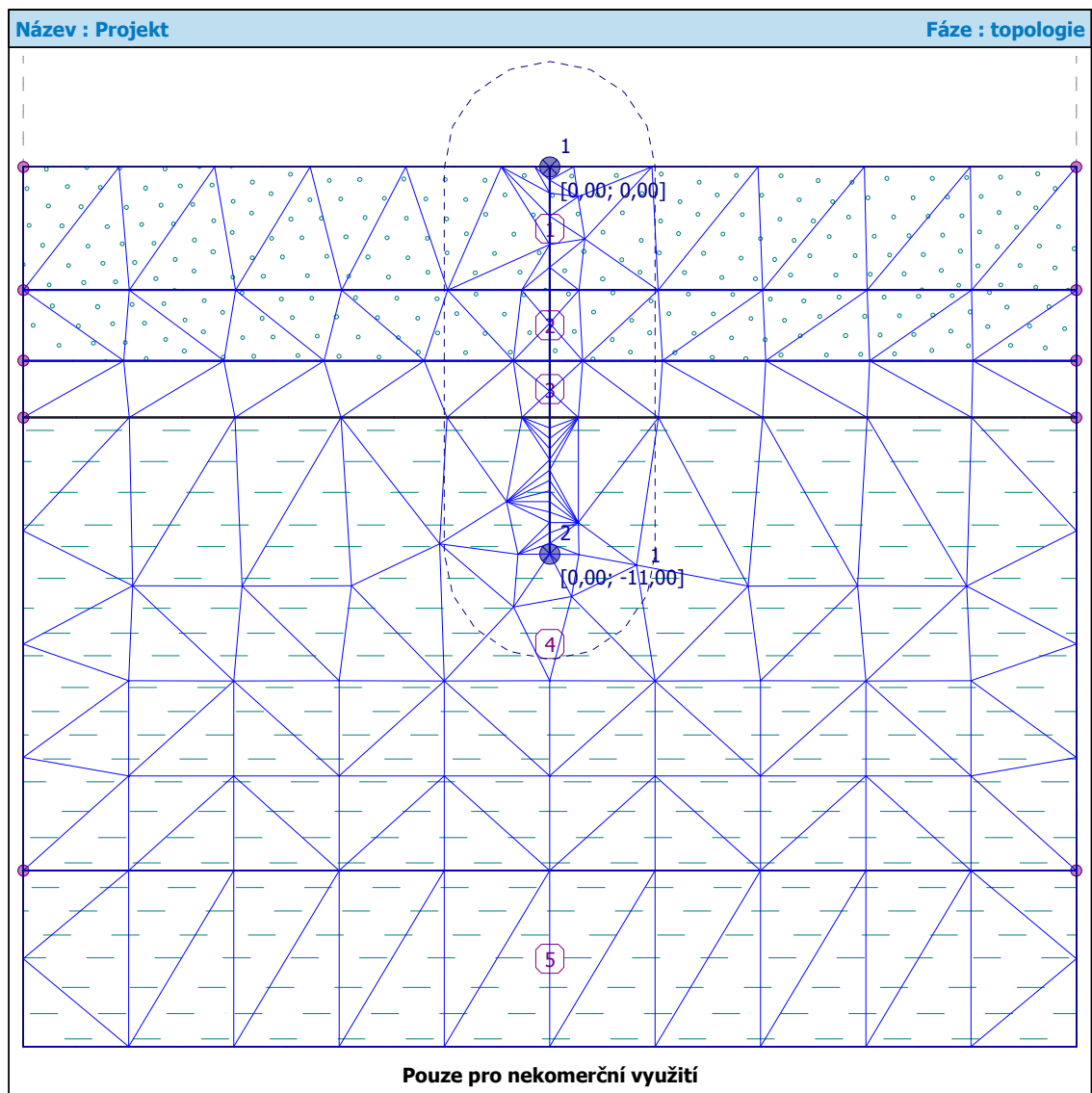


#### 4.1.4 Výsledky výpočtu – GEO 5 MKP

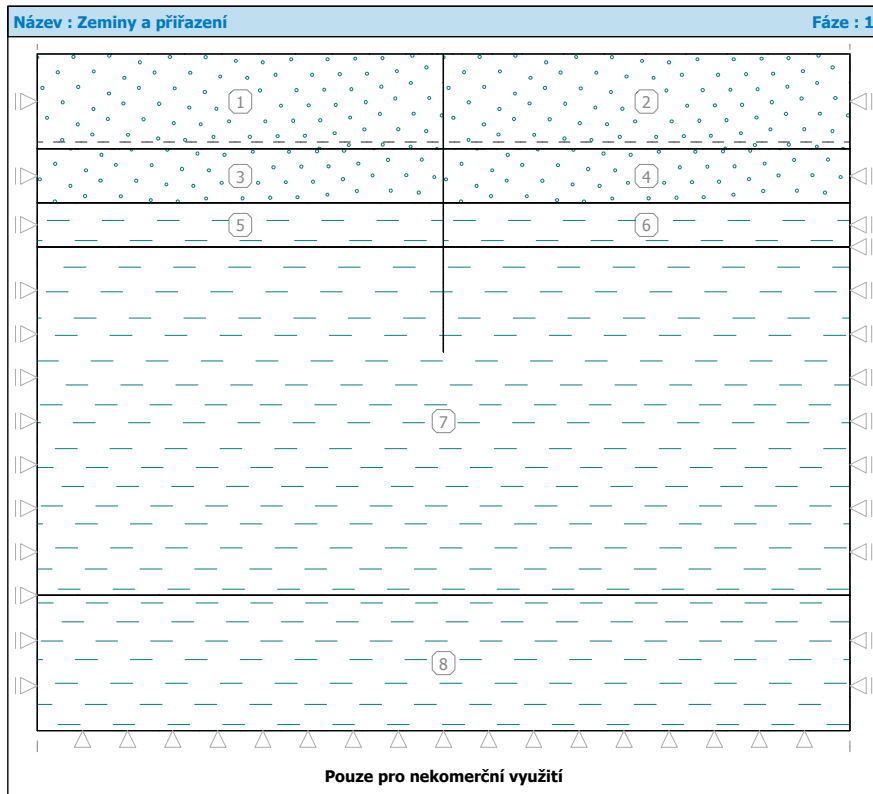
Výpočet pažící konstrukce byl proveden rovněž pomocí programu GEO 5 – MKP. Jako vstupní hodnoty do tohoto výpočtu byly použity stejné vstupní parametry jako v předchozím postupu. Rovněž byla uvažována stejná konstrukce – štětovnicová stěna o délce 12 m, která je kotvena ve dvou výškových úrovních.

Model pažící konstrukce je řešen v programu GEO 5 – MKP jako rovinná napjatost. Pro síť konečných prvků byly zvoleny trojúhelníkové konečné prvky o délce hrany prvků 3 m. V okolí pažící konstrukce je do dosahu 3 m provedeno zhuštění sítě konečných prvků pro získání přesnějších výsledků výpočtu.

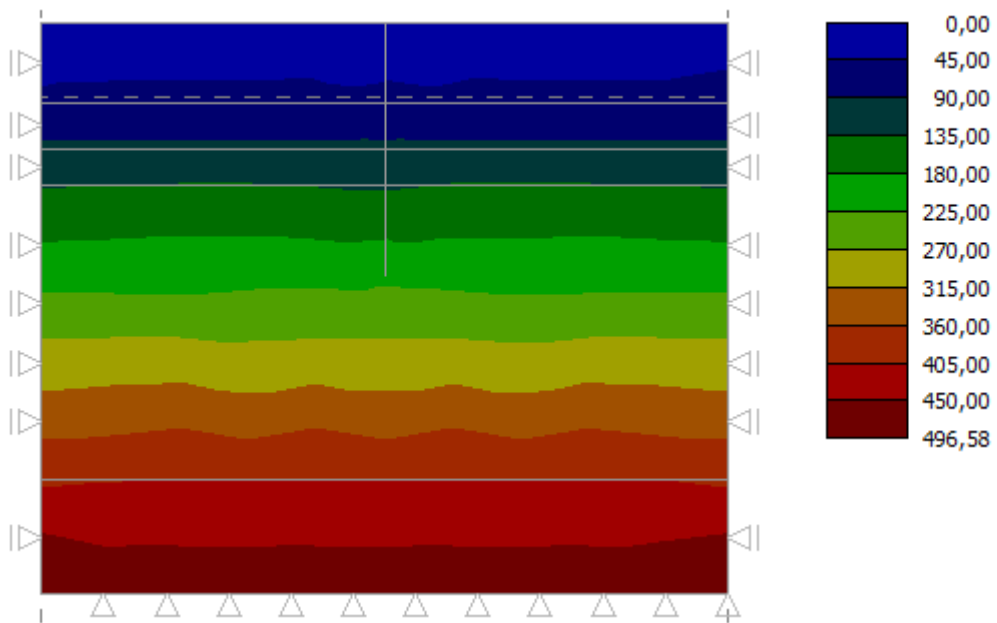
*Model konstrukce s vygenerovanou sítí konečných prvků.*



*Model konstrukce s přiřazením zemin před zahájením výkopu*



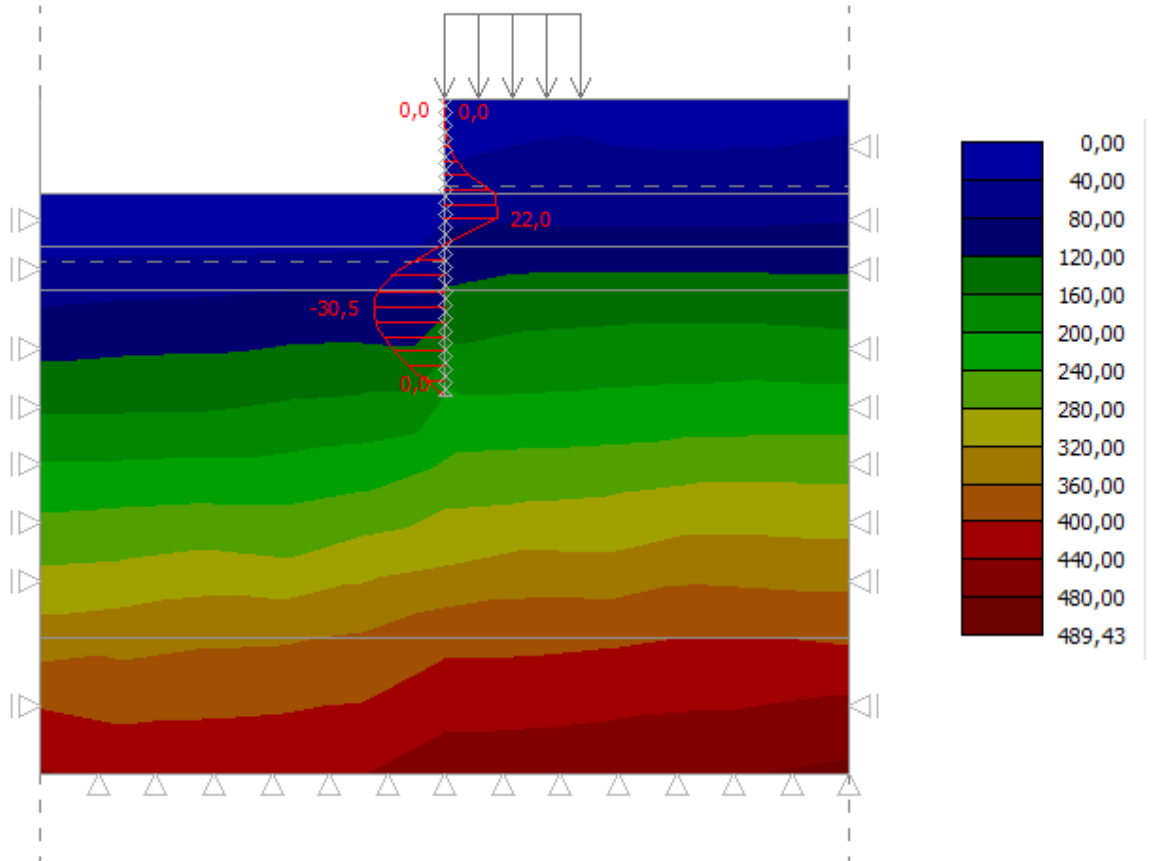
*Geostatické napětí  $\sigma_z$  [kPa] před zahájením výkopu*



**1. Fáze: Hloubení stavební jámy pod první kotevní úroveň (- 3,00 m)**

Model konstrukce po provedení 1. fáze s rozložením geostatického napětí [kPa] a průběhem ohybového momentu [kNm/m] po délce štětovicové stěny.

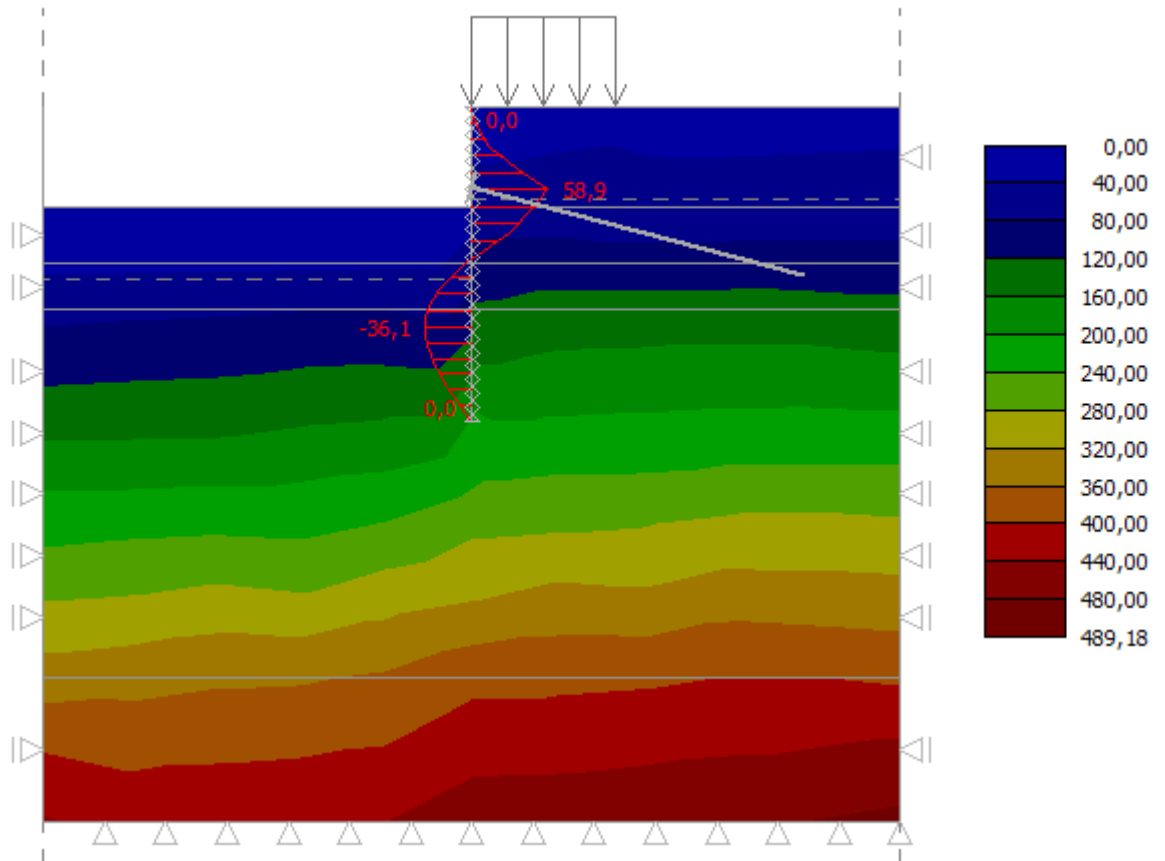
$$M_{\max} = 30,5 \text{ kNm/m}$$



## 2. Fáze: Zhotovení kotev na první kotevní úrovni – 2,50m

Model konstrukce po provedení 2. fáze s rozložením geostatického napětí [kPa] a průběhem ohybového momentu [kNm/m] po délce štětovicové stěny.

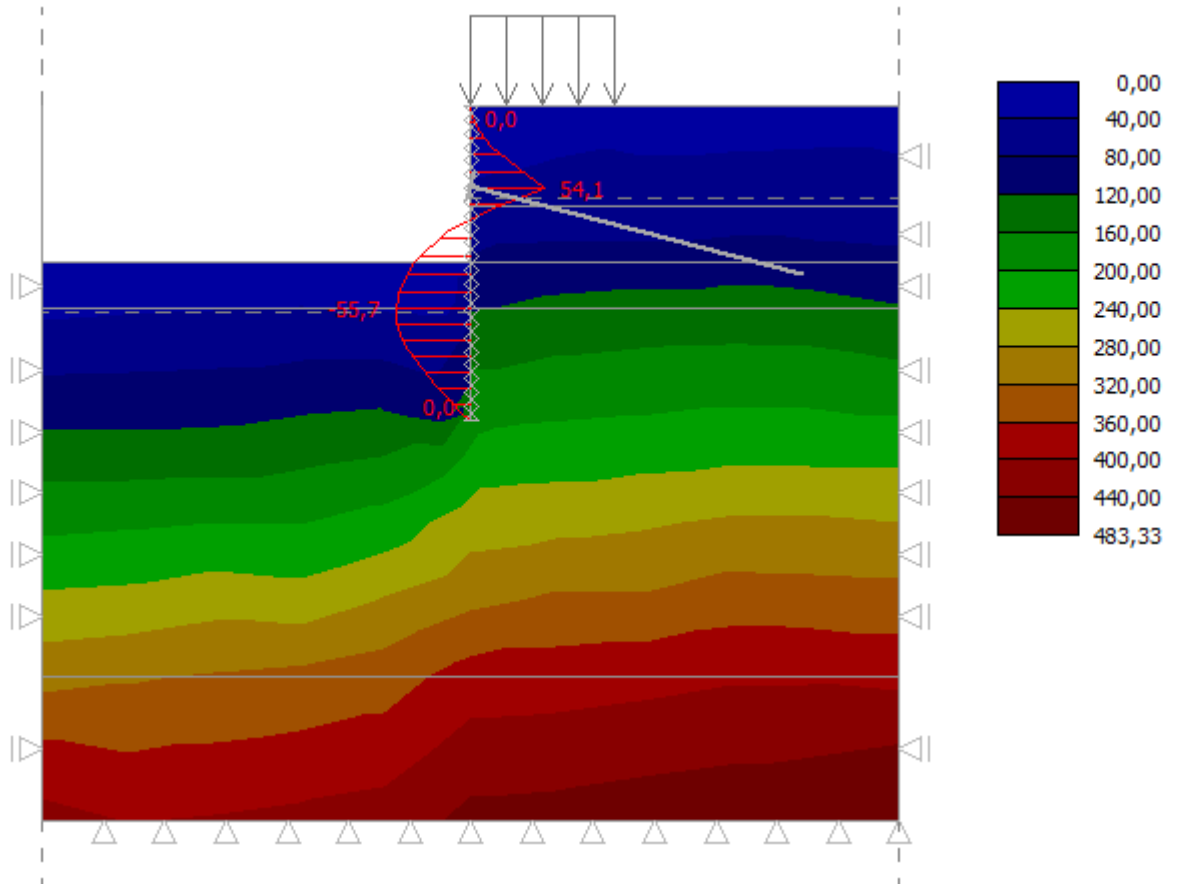
$$M_{\max} = 58,9 \text{ kNm/m}$$



**3. Fáze: Hloubení stavební jámy pod druhou kotevní úroveň (- 5,50 m)**

Model konstrukce po provedení 3. fáze s rozložením geostatického napětí [kPa] a průběhem ohybového momentu [kNm/m] po délce štětovicové stěny.

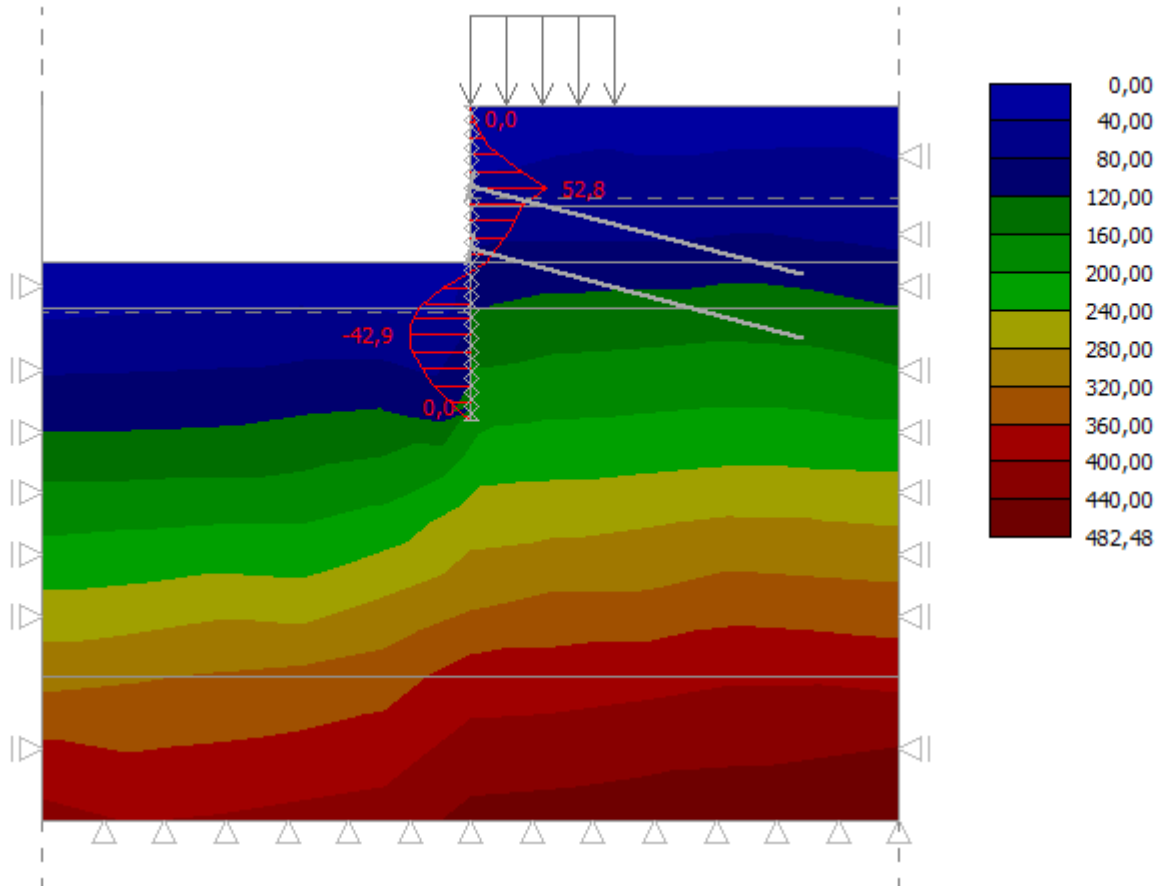
$$M_{\max} = 55,7 \text{ kNm/m}$$



**4. Fáze: Zhotovení kotev na druhé kotevní úrovni – 5,0m**

Model konstrukce po provedení 4. fáze s rozložením geostatického napětí [kPa] a průběhem ohybového momentu [kNm/m] po délce štětovicové stěny.

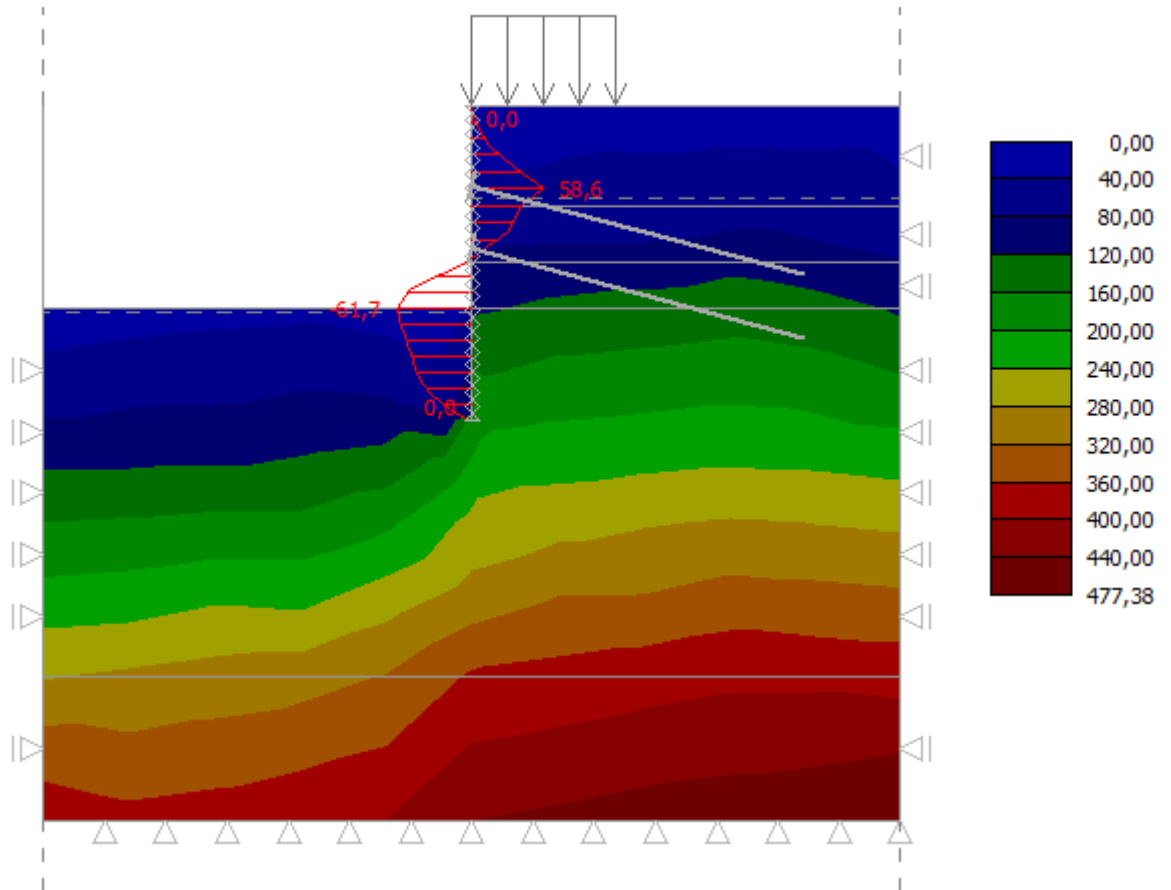
$$M_{\max} = 52,8 \text{ kNm/m}$$



**5. Fáze: Hloubení stavební jámy na konečnou úroveň (- 7,20 m)**

Model konstrukce po provedení 5. fáze s rozložením geostatického napětí [kPa] a průběhem ohybového momentu [kNm/m] po délce štětovicové stěny.

$$M_{\max} = 61,7 \text{ kNm/m}$$



#### 4.1.5 Návrh a posouzení jednotlivých prvků konstrukce

##### Posouzení průřezu štětovnice typu LARSEN III<sub>n</sub>

*Posouzení na účinky ohybového momentu:*

Maximální ohybový moment působící na konstrukci:  $M_{\max} = 58,92 \text{ kNm/m}$

Průřezový modul:  $W = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}$

Posudek napětí:  $\sigma = M / W = 58,92 / 1,6 \cdot 10^{-3} = 36,82 \text{ MPa} < f_d = 204,3 \text{ MPa}$

Průřez štětové stěny LARSEN III<sub>n</sub> **VYHOVUJE**.

##### Posouzení tahové únosnosti pramencových kotev

Pro zajištění stability pažící konstrukce jsou v obou kotvících úrovních použity dočasné třípramenové kotvy typu  $L_p 15,5/1800$ .

Maximální únosnost u tohoto typu kotev je  $F_{\text{dov}} = 420 \text{ kN}$ .

Rozhodující síla v kotvách je dle výpočtu v druhé kotevní úrovni v poslední fázi výpočtu:  $F_{\max} = 316,88 \text{ kN}$ .

$$F_{\max} < F_{\text{dov}}$$

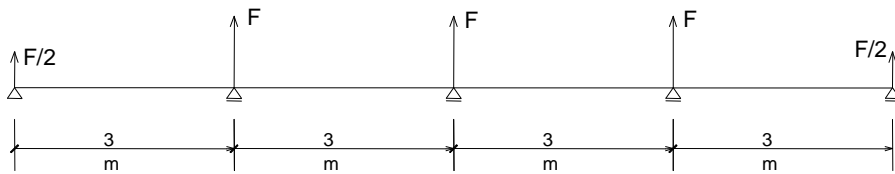
$$316,88 \text{ kN} < 420 \text{ kN}$$

Tahová únosnost kotev **VYHOVUJE**.

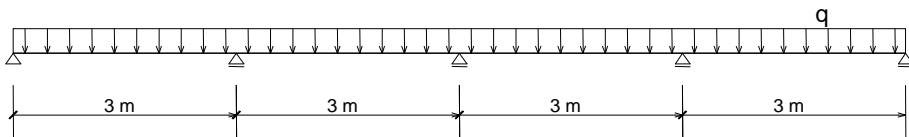
## Návrh a posouzení rozpěrného prahu

Rozpěrný práh slouží k zajištění rovnoměrného přenosu tahových sil do základové půdy pro jednotlivé štětovnice mezi kotvami. Uvažuje se jako spojitý nosník, který je v místě podpor zatížen silou v kotvě. Rozpětí jednotlivých polí tohoto spojitého nosníku je dáno vodorovnou vzdáleností kotev.

*Statické schéma rozpěrného prahu:*



*Spojitě rovnoměrné zatížení od štětové stěny*



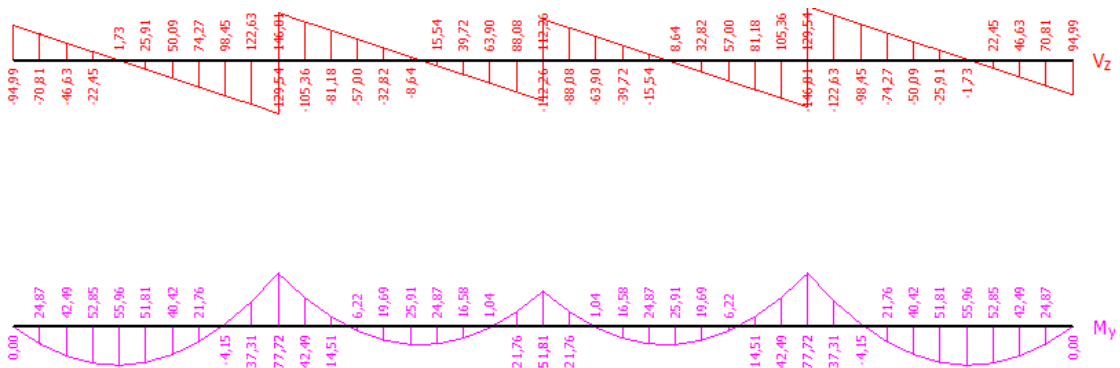
### 1. Kotevní úroveň číslo 1

Maximální síla v kotvě:  $F_{\max} = 241,81 \text{ kN}$  (fáze č. 3)

Vodorovná vzdálenost kotev:  $b = 3 \text{ m}$

$q = 80,6 \text{ kN/m}$

*Průběh vnitřních sil na nosníku:*



$$M_{\max} = 77,72 \text{ kN/m}$$

**Návrh a posouzení průřezu nosníku**

Navrženo  $2xU220$  – Průřezový modul  $W_y = 2 \cdot 245 \cdot 10^{-6} = 490 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Posudek napětí:  $\sigma = M / W = 77,72 / 0,49 \cdot 10^{-3} = 158,61 \text{ MPa} < f_d = 204,3 \text{ MPa}$

Navržený průřez rozpěrného prahu **VYHOVUJE**.

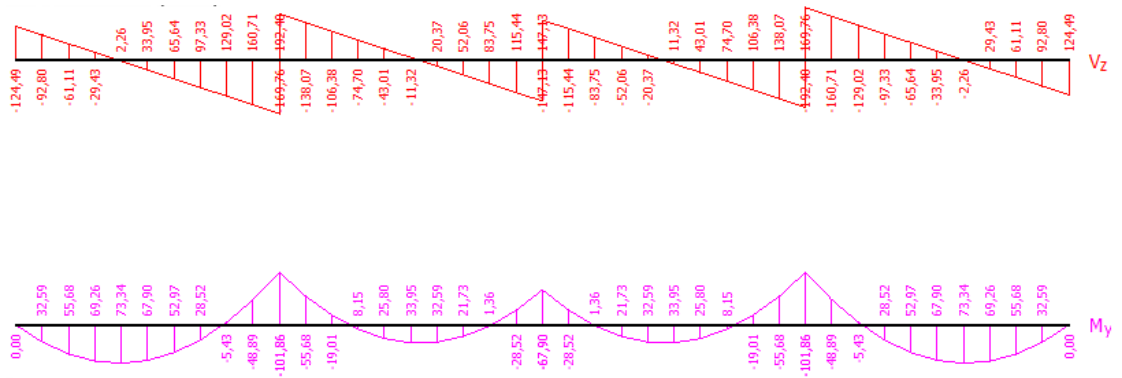
**2. Kotevní úroveň číslo 2**

Maximální síla v kotvě:  $F_{\max} = 316,88 \text{ kN}$  (fáze č. 5)

Vodorovná vzdálenost kotev:  $b = 3 \text{ m}$

$q = 105,63 \text{ kN/m}$

*Průběh vnitřních sil na nosníku:*



$$M_{\max} = 101,86 \text{ kN/m}$$

**Návrh a posouzení průřezu nosníku**

Navrženo  $2xU240$  – Průřezový modul  $W_y = 2 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 600 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

Posudek napětí:  $\sigma = M / W = 101,86 / 0,6 \cdot 10^{-3} = 169,77 \text{ MPa} < f_d = 204,3 \text{ MPa}$

Navržený průřez rozpěrného prahu **VYHOVUJE**.

#### 4.1.6 Fotodokumentace z výstavby pažící konstrukce



*Obrázek 4 – 4 - Situace v místě staveniště před zahájením prací [14]*



*Obrázek 4 – 5 - Postup hloubení stavební jámy 1*



*Obrázek 4 – 6 - Postup hloubení stavební jámy 2*



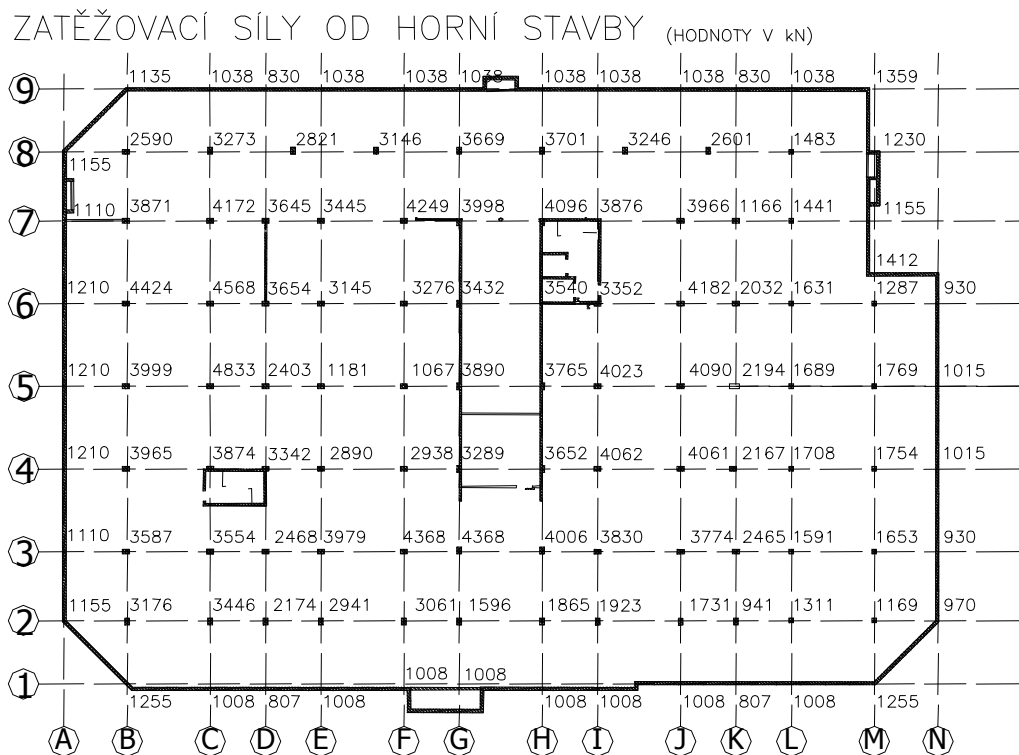
*Obrázek 4 – 7 - Postup hloubení stavební jámy 3*

## 4.2 Základová konstrukce

Statický výpočet byl prováděn pomocí výpočetních programů od společnosti FINE - GEO 5 – Piloty. Podkladem pro návrh jednotlivých prvků základové konstrukce byly velikosti sil od horní stavby, které je nutno přenést do podloží prostřednictvím základové konstrukce. Vstupní hodnoty do tohoto výpočtu byly čerpány ze Zprávy o podrobném inženýrsko – geologickém průzkumu.

Na základě velikosti působících sil byly prvky hlubinného zakládání rozděleny do pěti typů, které se vzájemně odlišují svou geometrií (průřez a délka piloty) a také vyztužením. Výpočet byl proveden podle 2. mezního stavu, aby byla zajištěna rovnoměrnost sedání po celé ploše základové konstrukce. Jako základní hodnota sednutí jednotlivých pilot, pro kterou je ve statickém výpočtu stanovena únosnost, bylo zvoleno 15 mm. Rozdělení jednotlivých typů pilot je patrné z přílohy č. 3 – Půdorys základové konstrukce.

### Zatěžovací účinky od horní stavby




#### 4.2.1 Výsledky statického výpočtu – GEO 5 Piloty

*Vstupní parametry výpočtu:*

- *Parametry zemín:*

*Základní parametry zemín – Písek jílovitý (S5CV) – efektivní napjatost*

Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{su}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\delta_a$ [°]	$\delta_p$ [°]
1	Třída S5		27,00	8,00	18,50	8,50	18,00	18,00

*Základní parametry zemín – Jíl s nízkou či střední plasticitou (F6CV) – totální napjatost*




Číslo	Název	Vzorek	$\varphi_u$ [°]	$c_u$ [kPa]	$a$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
2	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$		0,00	80,00	0,00	21,00

*Parametry zemín pro výpočet tlaku v klidu*

Číslo	Název	Vzorek	Typ výpočtu	$\varphi$ [°]	$\nu$ [-]	OCR [-]	$K_r$ [-]
1	Třída S5		nesoudržná	27,00	-	-	-
2	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$		soudržná	-	0,40	-	-

Číslo	Název	Vzorek	$E_{oed}$ [MPa]	$E_{def}$ [MPa]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$n$ [-]
1	Třída S5		-	8,00	18,50	-	-
2	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$		15,00	-	21,00	-	-

*Geologický profil a přiřazení zemín*

Číslo	Vrstva [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	5,70	Třída S5	
2	14,30	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$	
3	-	Třída F6, konzistence pevná $S_r > 0,8$	

*Hladina podzemní vody*

Hladina podzemní vody je v hloubce 1m od původního terénu

- **Materiál konstrukce:**

Výpočet betonových konstrukcí byl proveden podle normy EN 1992 1-1 (EC2).

Beton:	C 20/25		
Válcová pevnost v tlaku:	$f_{ck}$	=	20 MPa
Pevnost tahu:	$f_{ct}$	=	2,20 MPa
Modul pružnosti:	$E_{cm}$	=	30000 MPa
Ocel podélná:	B 500		
Mez kluzu:	$f_{yk}$	=	500 MPa
Modul pružnosti:	$E$	=	200000 MPa

**Posouzení piloty typu č. 1**

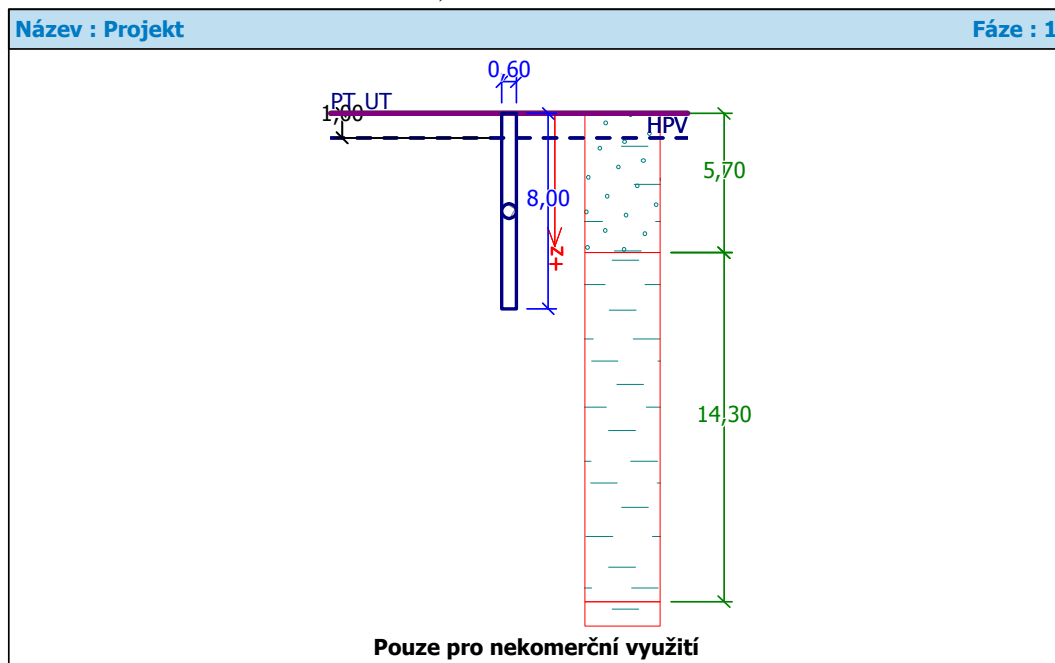
*Profil piloty* : kruhová

*Typ technologie*: vrtaná

*Maximální svislé zatížení piloty*:  $Q_{max} = 1334$  kN

*Rozměry*: Průměr:  $d = 0,6$  m

Délka:  $l = 8,0$  m

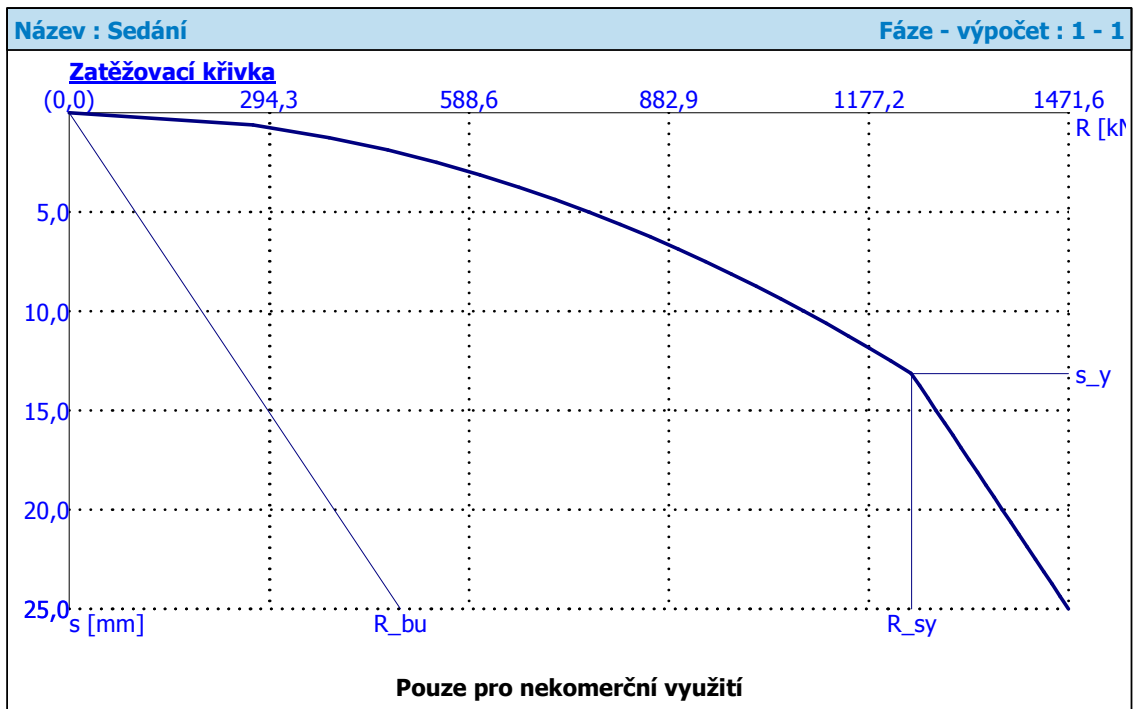


Výpočet zatěžovací křivky piloty

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	$E_s$ [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
1	0,00	5,70	5,70	19,50	62,00	16,00
2	5,70	8,00	2,30	17,89	97,00	108,00

Regresní součinitel e = 988,00

Regresní součinitel f = 1084,00



Únosnost piloty při sednutí 15 mm: 1277 kN.

Sedání pro  $Q_{max}$  je stanoveno odečtením z grafu zatěžovací křivky hodnotou 17 mm.

## Posouzení piloty typu č. 2

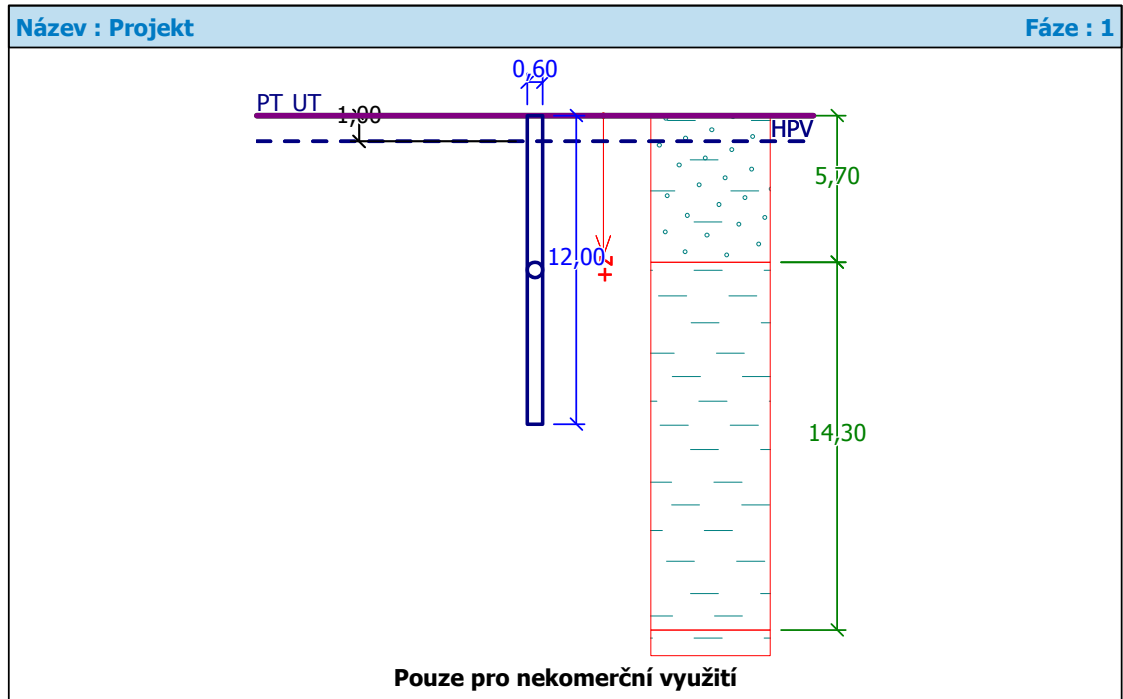
Profil piloty: kruhová

Typ technologie: vrtaná

Maximální svislé zatížení piloty:  $Q_{\max} = 2194 \text{ kN}$

Rozměry: Průměr:  $d = 0,6 \text{ m}$

Délka:  $l = 12 \text{ m}$

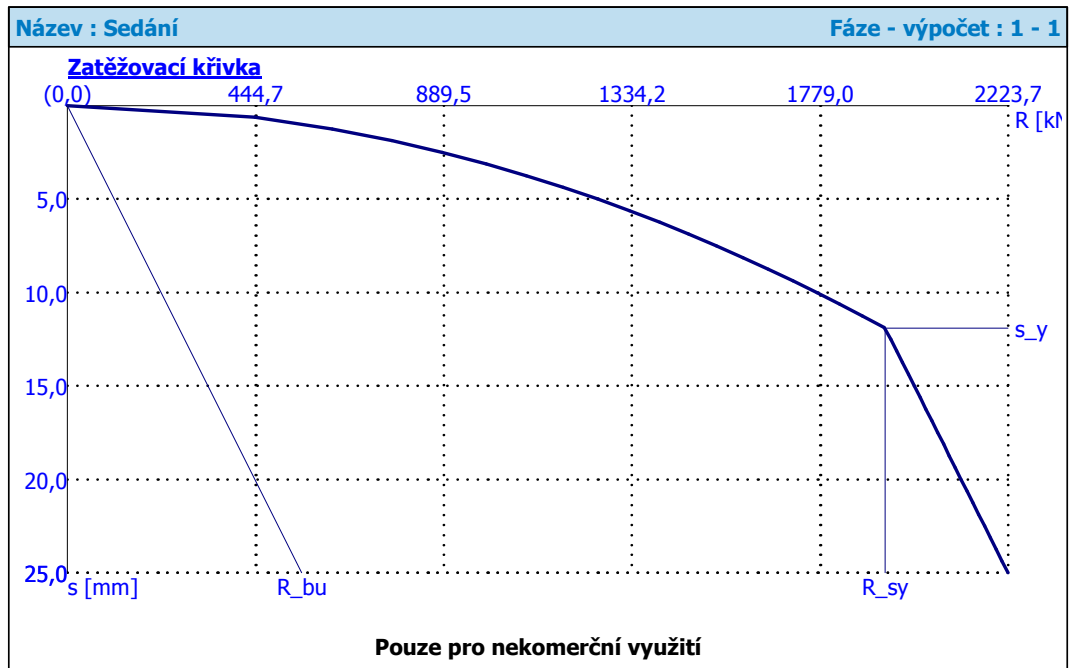


Výpočet zatěžovací křivky piloty

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	$E_s$ [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
1	0,00	5,70	5,70	19,50	62,00	16,00
2	5,70	12,00	6,30	34,61	97,00	108,00

Regresní součinitel  $e = 988,00$

Regresní součinitel  $f = 1084,00$



Únosnost piloty při sednutí 15 mm: 2002 kN.

Sedání pro  $Q_{\max}$  je stanoveno odečtením z grafu zatěžovací křivky hodnotou 18 mm.

### Posouzení piloty typu č. 3

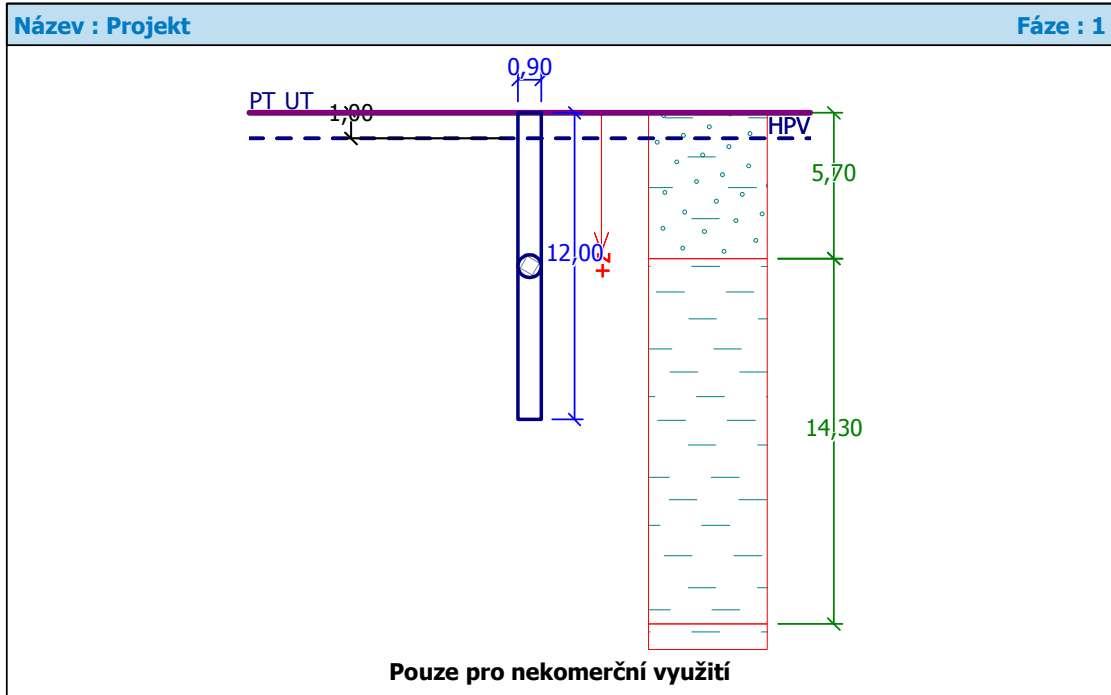
Profil piloty: kruhová

Typ technologie: vrtaná

Maximální svislé zatížení piloty:  $Q_{\max} = 3342 \text{ kN}$

Rozměry: Průměr:  $d = 0,9 \text{ m}$

Délka:  $l = 12 \text{ m}$

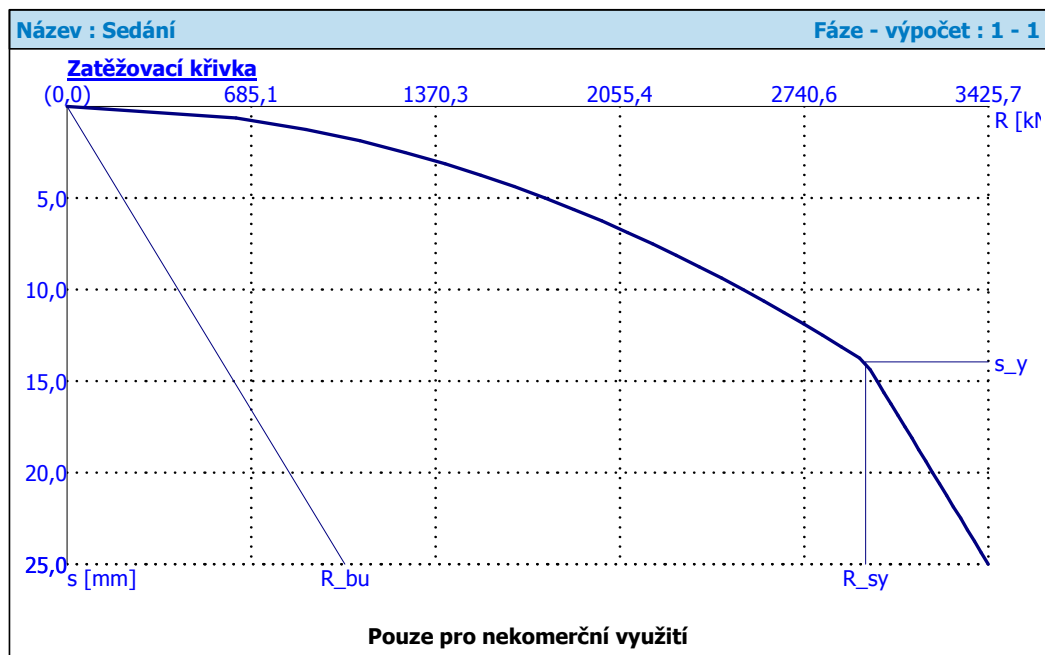


Výpočet zatěžovací křivky piloty

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	$E_s$ [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
1	0,00	5,70	5,70	22,71	62,00	16,00
2	5,70	12,00	6,30	37,19	97,00	108,00

Regresní součinitel  $e = 988,00$

Regresní součinitel  $f = 1084,00$



Únosnost piloty při sednutí 15 mm: 3012 kN.

Sedání pro  $Q_{\max}$  je stanoveno odečtením z grafu zatěžovací křivky hodnotou 21 mm.

### Posouzení piloty typu č. 4

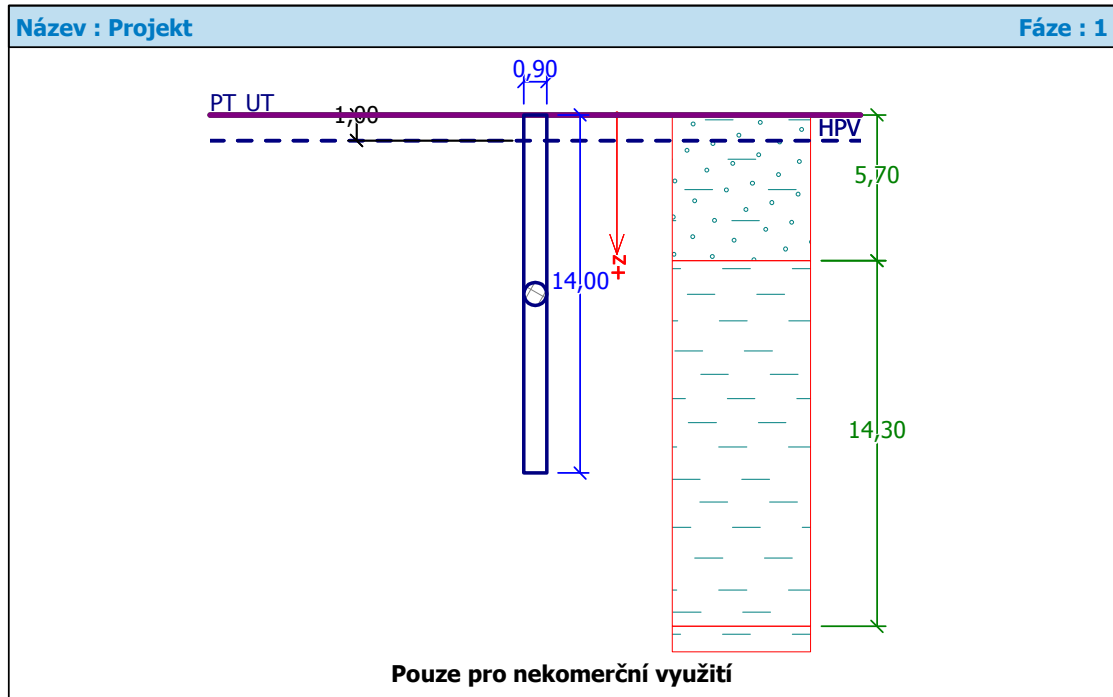
Profil piloty: kruhová

Typ technologie: vrtaná

Maximální svislé zatížení piloty:  $Q_{\max} = 3765 \text{ kN}$

Rozměry: Průměr:  $d = 0,9 \text{ m}$

Délka:  $l = 14 \text{ m}$

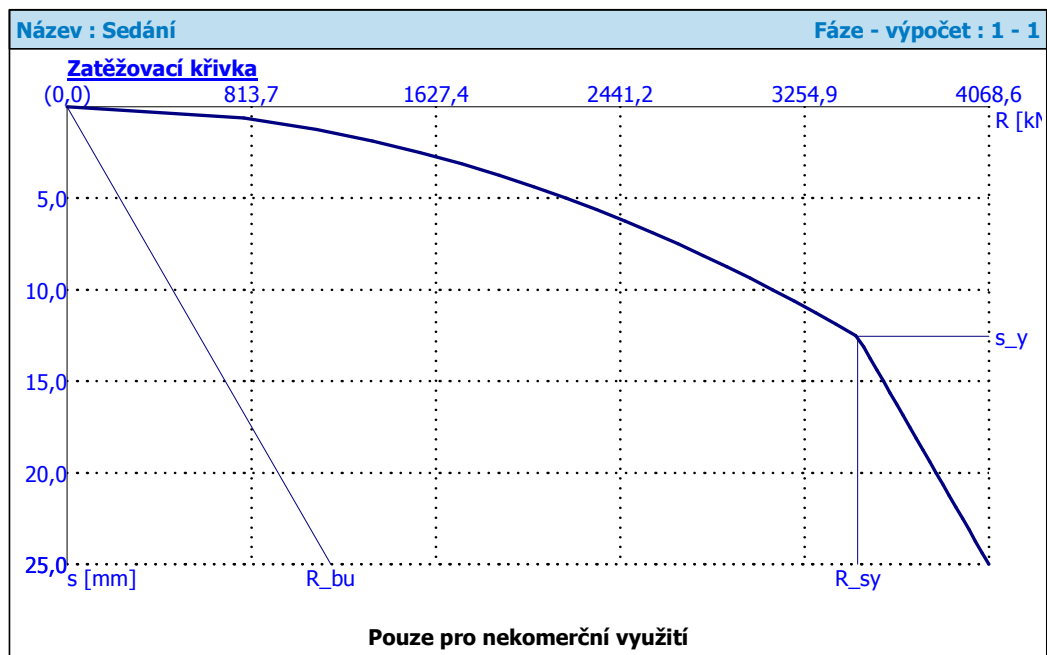


Výpočet zatěžovací křivky piloty

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	$E_s$ [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
1	0,00	5,70	5,70	22,71	62,00	16,00
2	5,70	14,00	8,30	43,87	97,00	108,00

Regresní součinitel  $e = 988,00$

Regresní součinitel  $f = 1084,00$



Únosnost piloty při sednutí 15 mm: 3603 kN.

Sedání pro  $Q_{\max}$  je stanoveno odečtením z grafu zatěžovací křivky hodnotou 19 mm.

### Posouzení piloty typu č. 5

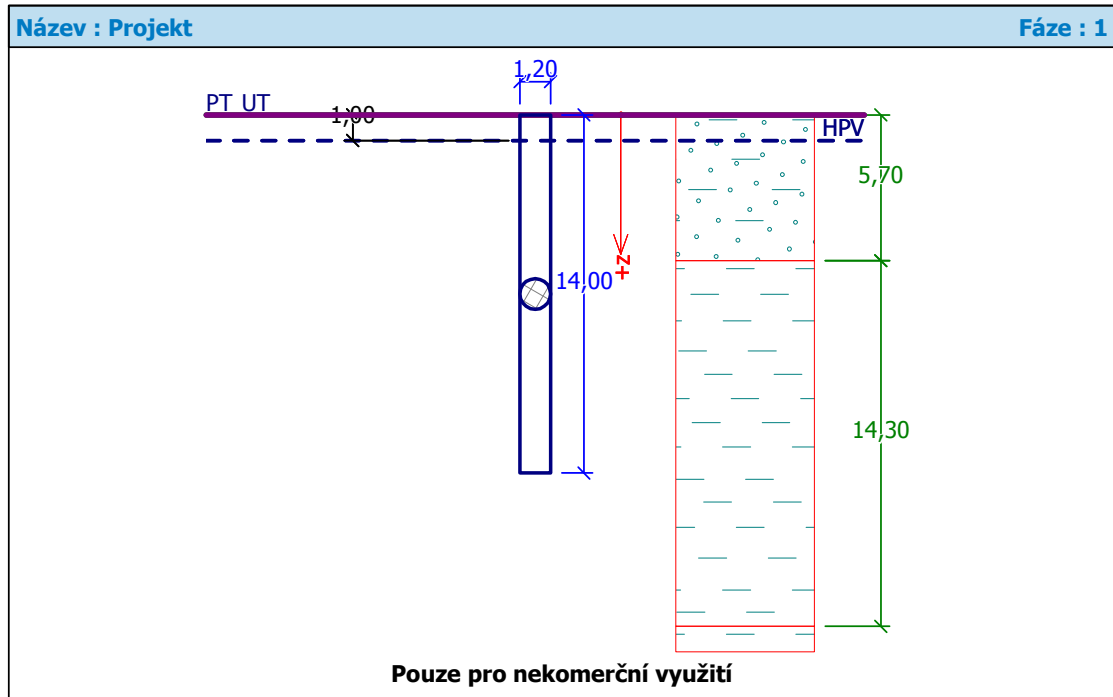
Profil piloty: kruhová

Typ technologie: vrtaná

Maximální svislé zatížení piloty:  $Q_{\max} = 4833 \text{ kN}$

Rozměry: Průměr:  $d = 1,2 \text{ m}$

Délka:  $l = 14 \text{ m}$

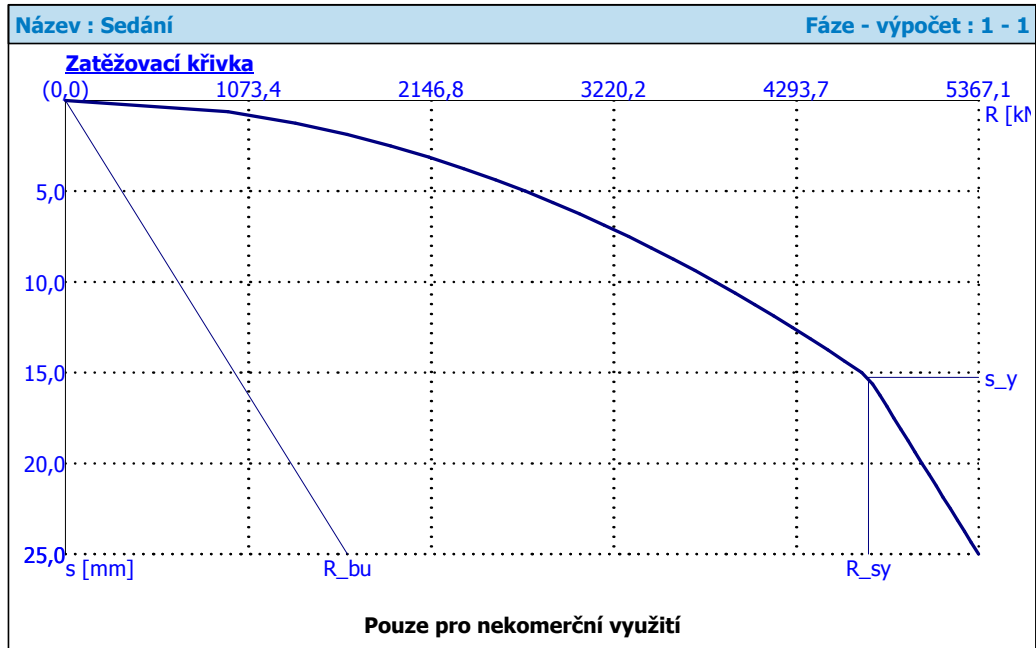


Výpočet zatěžovací křivky piloty

Vrstva číslo	Počátek [m]	Konec [m]	Mocnost [m]	$E_s$ [MPa]	Součinitel a	Součinitel b
1	0,00	5,70	5,70	24,52	62,00	16,00
2	5,70	14,00	8,30	47,27	97,00	108,00

Regresní součinitel e = 988,00

Regresní součinitel f = 1084,00



Únosnost piloty při sednutí 15 mm: 4608 kN.

Sedání pro  $Q_{max}$  je stanoveno odečtením z grafu zatěžovací křivky hodnotou 18 mm.

#### 4.2.2 Přehled jednotlivých typů navržených pilot

Tabulka pilot

číslo piloty [-]	Zatížení svislé [kN]	Průměr piloty [mm]	Délka piloty [mm]	Hlava piloty [m]	Armokoš piloty [-]
1	1255	600	8000	-7,2	A - 01
2	1008	600	8000	-7,2	A - 01
3	807	600	8000	-7,2	A - 01
4	1008	600	8000	-7,2	A - 01
5	1008	600	8000	-7,2	A - 01
6	1008	600	8000	-7,2	A - 01
7	1008	600	8000	-7,2	A - 01
8	1008	600	8000	-7,2	A - 01
9	1008	600	8000	-7,2	A - 01
10	807	600	8000	-7,2	A - 01
11	1008	600	8000	-7,2	A - 01
12	1255	600	8000	-7,2	A - 01
13	1155	600	8000	-7,2	A - 01
14	3176	900	12000	-7,2	B - 01

číslo piloty [-]	Zatížení svislé [kN]	Průměr piloty [mm]	Délka piloty [mm]	Hlava piloty [m]	Armokoš piloty [-]
15	3446	900	14000	-7,2	B - 02
16	2174	600	12000	-7,2	A - 02
17	2941	900	12000	-7,2	B - 01
18	3061	900	12000	-7,2	B - 01
19	1596	600	12000	-7,2	A - 02
20	1865	600	12000	-7,2	A - 02
21	1923	600	12000	-7,2	A - 02
22	1731	600	12000	-7,2	A - 02
23	941	600	8000	-7,2	A - 01
24	1311	600	8000	-7,2	A - 01
25	1169	600	8000	-7,2	A - 01
26	970	600	8000	-7,2	A - 01
27	1110	600	8000	-7,2	A - 01
28	3587	900	14000	-7,2	B - 02
29	3554	900	14000	-7,2	B - 02
30	2468	900	12000	-7,2	B - 01
31	3979	1200	14000	-7,2	C - 01
32	4368	1200	14000	-7,2	C - 01
33	4368	1200	14000	-7,2	C - 01
34	4006	1200	14000	-7,2	C - 01
35	3830	1200	14000	-7,2	C - 01
36	3774	1200	14000	-7,2	C - 01
37	2465	900	12000	-7,2	B - 01
38	1591	600	12000	-7,2	A - 02
39	1653	600	12000	-7,2	A - 02
40	930	600	8000	-7,2	A - 01
41	1210	600	8000	-7,2	A - 01
42	3965	1200	14000	-7,2	C - 01
43	3874	1200	14000	-7,2	C - 01
44	3342	900	12000	-7,2	B - 01
45	2890	900	12000	-7,2	B - 01
46	2938	900	12000	-7,2	B - 01
47	3289	900	12000	-7,2	B - 01
48	3652	900	14000	-7,2	B - 02
49	4062	1200	14000	-7,2	C - 01
50	4061	1200	14000	-7,2	C - 01
51	2167	600	12000	-7,2	A - 02
52	1708	600	12000	-7,2	A - 02

číslo piloty [-]	Zatížení svislé [kN]	Průměr piloty [mm]	Délka piloty [mm]	Hlava piloty [m]	Armokoš piloty [-]
53	1754	600	12000	-7,2	A - 02
54	1015	600	8000	-7,2	A - 01
55	1210	600	8000	-7,2	A - 01
56	3999	1200	14000	-7,2	C - 01
57	4833	1200	14000	-7,2	C - 01
58	2403	900	12000	-7,2	B - 01
59	1181	600	8000	-7,2	A - 01
60	1067	600	8000	-7,2	A - 01
61	3890	1200	14000	-7,2	C - 01
62	3765	900	14000	-7,2	B - 02
63	4023	1200	14000	-7,2	C - 01
64	4090	1200	14000	-7,2	C - 01
65	2194	600	12000	-7,2	A - 02
66	1689	600	12000	-7,2	A - 02
67	1769	600	12000	-7,2	A - 02
68	1015	600	8000	-7,2	A - 01
69	1210	600	8000	-7,2	A - 01
70	4424	1200	14000	-7,2	C - 01
71	4568	1200	14000	-7,2	C - 01
72	3654	900	14000	-7,2	B - 02
73	3145	900	12000	-7,2	B - 01
74	3276	900	12000	-7,2	B - 01
75	3432	900	14000	-7,2	B - 02
76	3540	900	14000	-7,2	B - 02
77	3352	900	14000	-7,2	B - 02
78	4182	1200	14000	-7,2	C - 01
79	2032	600	12000	-7,2	A - 02
80	1631	600	12000	-7,2	A - 02
81	1287	600	8000	-7,2	A - 01
82	930	600	8000	-7,2	A - 01
83	1110	600	8000	-7,2	A - 01
84	3871	1200	14000	-7,2	C - 01
85	4172	1200	14000	-7,2	C - 01
86	3645	900	14000	-7,2	B - 02
87	3445	900	14000	-7,2	B - 02
88	4247	1200	14000	-7,2	C - 01
89	3998	1200	14000	-7,2	C - 01
90	4096	1200	14000	-7,2	C - 01

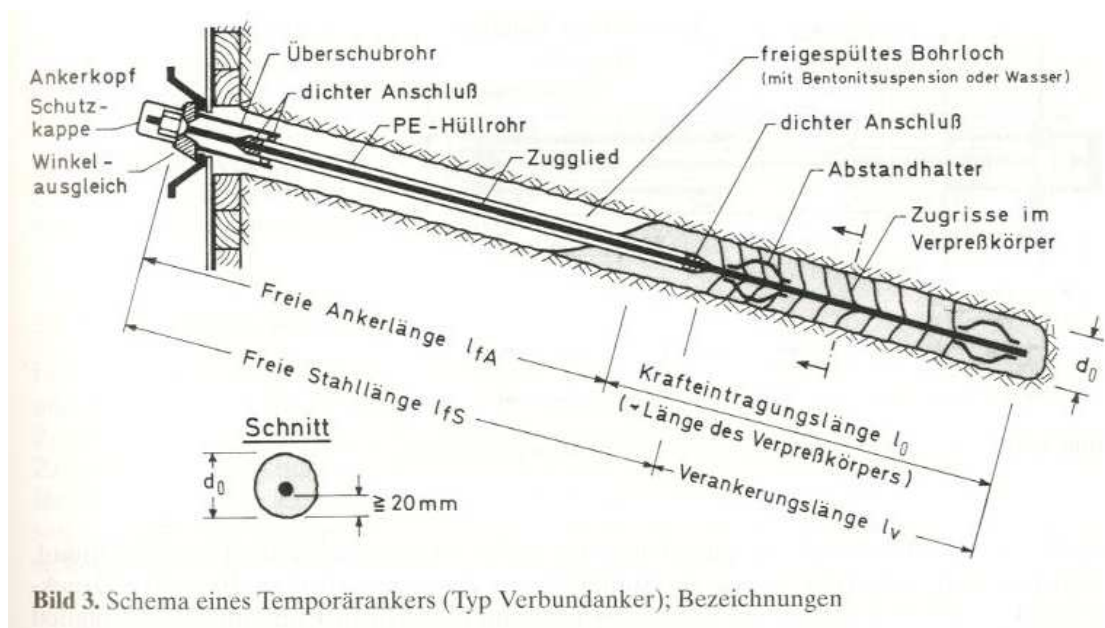
číslo piloty [-]	Zatížení svislé [kN]	Průměr piloty [mm]	Délka piloty [mm]	Hlava piloty [m]	Armokoš piloty [-]
91	3876	1200	14000	-7,2	C - 01
92	3966	1200	14000	-7,2	C - 01
93	1166	600	8000	-7,2	A - 01
94	1441	600	12000	-7,2	A - 02
95	1155	600	8000	-7,2	A - 01
96	1155	600	8000	-7,2	A - 01
97	2590	900	12000	-7,2	B - 01
98	3273	900	12000	-7,2	B - 01
99	2821	900	12000	-7,2	B - 01
100	3146	900	12000	-7,2	B - 01
101	3669	900	14000	-7,2	B - 02
102	3701	900	14000	-7,2	B - 02
103	3246	900	12000	-7,2	B - 01
104	2601	900	12000	-7,2	B - 01
105	1483	600	12000	-7,2	A - 02
106	1230	600	8000	-7,2	A - 01
107	1135	600	8000	-7,2	A - 01
108	830	600	8000	-7,2	A - 01
109	1038	600	8000	-7,2	A - 01
110	1038	600	8000	-7,2	A - 01
111	1038	600	8000	-7,2	A - 01
112	1038	600	8000	-7,2	A - 01
113	1038	600	8000	-7,2	A - 01
114	1038	600	8000	-7,2	A - 01
115	830	600	8000	-7,2	A - 01
116	1038	600	8000	-7,2	A - 01
117	1359	600	8000	-7,2	A - 01

## 5 Technologický postup provádění navržených konstrukcí

### 5.1 Pramencové kotvy

#### *Konstrukce kotevních systémů*

Kotva je tvořena vhodnou předpínací výztuží. Tělo kotvy je obvykle vyplněno cementovou maltou. Při použití portlandského cementu CEM I 32,5 nebo CEM I 42,5 je možno kotvy zatížit po 7 – 10 dnech po provedení, při použití portlandského cementu CEM I 32,5 R nebo CEM I 42,5 R jsou kotvy použitelné již po 3 – 4 dnech.



Obrázek 5 – 1 - Schéma konstrukce dočasné kotvy[1]

Technologický postup při provádění kotvení:

- Provádění maloprofilových vrtů
- Vyplnění vrtů zálivkou
- Osazení kotvy
- Injektáž kořene kotvy
- Vnesení požadovaného předpětí [2]

## 5.2 Vrtané piloty

### *Technologický postup provádění vrtaných pilot*

Technologický postup se skládá z jednotlivých kroků – Vyvrtání nebo vyhloubení vrtu, Přípravné práce před betonáží, armování piloty, betonáž piloty, úprava hlavy piloty.

#### *Provádění vrtů :*

Vrty pro piloty je možno provést pomocí technologie rotačního vrtání za sucha, technologií drapákového hloubení nebo pomocí průběžného rotačního vrtání nekonečným šnekem.

Základními vrtnými nástroji pro rotační vrtání jsou **lžicové vrtáky** (šapy), které jsou opatřeny výměnnými noži z tvrdého kovu a jsou vhodné pro použití v soudržných zeminách, stejně tak i nesoudržných, které neobsahují velké balvany. Dále pak **spirálové vrtáky**, které jsou určeny k použití pro vrtání pilot v obdobných geologických podmínkách jako šapy. Jejich výhodou je umožnění rychlého postupu při vrtání. Nevýhodou této metody je větší možnost porušení stěn vrtů. Pro provádění vrtacích prací ve skalních, či poloskalních horninách se používají vrtací korunky opatřené speciálními břity pro vrtání, případně speciální skalní frézy.

Pro provádění drapákového hloubení je nejvhodnější technologie jednolanového drapáku. Drapáky se zapouštějí do vrtu na prodlužovacích trubkách s přívodem tlakového oleje, zavěšených na výložníku bagru. Tato technologie spočívá v zaražení drapáku s upravenými lopatkami do zeminy, jejich uzavření, rychlém vytěžení drapáku, otevření drapáku a vysypání zeminy. Tato technologie je vhodná pro použití v nesoudržných zeminách (hrubé balvanité štěrky, sutě). Při použití v soudržných zeminách je tato metoda poměrně pomalá a tedy málo efektivní [4].



*Obrázek 5 – 2 - Mechanizace pro provádění vrtů vrtaných pilot[12]*

#### *Pažení vrtů :*

Vrty piloty mohou být pažené nebo nepažené. Nepažené vrty se provádějí především v soudržných zeminách. Stěny i dno vrtu musí být stabilní. V tomto případě je však nutno kontrolovat, jestli nedochází k opadávání zeminy ze stěn vrtu. Není – li splněna tato podmínka, tak se musí ihned provést pažení vrtu. Nepažené vrty musí být rychle zabetonovány[4].

Zapažení vrtů je nutno vždy provést v nesoudržných zeminách, které nejsou ulehle ( $I_d < 0,5$ ), dále pak v soudržných zeminách s indexem konsistence  $I_c < 0,5$ . Pažení vrtu postupuje současně s hloubením vrtu, případně pažnice hloubení předchází. Nejčastěji používanou metodou zajištění stability vrtů je pomocí ocelových pažnic. Jedná se o způsob pažení, který se preferuje u všech typů staveb s ohledem na životní prostředí. Používá se ocelových rour s tloušťkou stěny 8 -12 mm, speciálních spojovatelných pažnic, které jsou obvykle dvouplášťové o tloušťce stěny 40 mm. Tyto pažnice se zavrtávají pomocí vrtné soupravy, vibrují nebo beraní do profilu budoucího vrtu.

Další možností zajištění vrtu je pomocí pažící jílové suspenze, která zajišťuje stabilitu stěn i dna vrtu kombinovaným účinkem hydrostatického tlaku a chemických jevů,

v jejichž důsledku se na stěně vrtu vytvoří ochranný jílový filtrační koláč. Tato suspenze se skládá z jílu, vody, případně dalších chemických přísad. Nevýhodou tohoto způsobu zajištění vrtu je snížení velikosti plášťového tření a tedy snížení celkové únosnosti piloty.

#### *Přípravné práce před betonáží :*

Mezi tyto práce patří čištění dna vrtu, kontrola délky vrtu a čerpání podzemní vody ze dna vrtu, které se provádí pomocí ponorného čerpadla o dostatečném výkonu. Po provedení těchto prací se vkládá předem připravený armokoš piloty do vrtu, který se obvykle skládá z jednoho dílu. U dlouhých pilot je možno provádět stykování jednotlivých prutů výztuže. Jednotlivé pruty výztuže musí být vytaženy nad hlavu piloty pro zajištění dostatečné kotevní délky. Pro zajištění centrického osazení výztuže piloty se armokoše na krajích opatřují distančníky, které se provádějí ohybem z prutu betonářské výztuže. Požadované minimální krytí výztuže piloty je 70 mm.[4]

#### *Betonáž*

Pro betonáž piloty se používá betonová směs, která je měkká a má vodní součinitel v rozmezí 0,48 – 0,55 a sedání kužele podle Abramse v rozmezí 160 – 190 mm. Množství cementu v této směsi závisí na projektem požadované třídě pevnosti betonu. Nenachází – li se ve vrtu voda či pažící jílová suspenze je možno beton do vrtu ukládat přímo pomocí krátké usměrňovací roury. [4]

## 6 Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout vhodnou pažící konstrukci k zajištění stavební jámy pro vybudování dvou podzemních podlaží polyfunkčního domu v Olomouci. Dále pak podle zadaných zatěžovacích účinků od horní stavby navrhnout založení objektu. Objekt o půdorysných rozměrech 76 x 52,5 m má dále čtyři nadzemní podlaží. Celkové výškové uspořádání objektu je patrné z *Přílohy č. 5 - Řez objektem*.

Pro zajištění stavební jámy, jejíž dno leží v úrovni 7 m pod původním terénem, byla z možných variant vybrána štetovnicová stěna, která vzhledem k hloubce výkopu je navržena na délku 12 m a pro zajištění dostatečné vnitřní stability je konstrukce kotvena pomocí dočasných pramencových kotev typu  $L_p$  15,5/1800 ve dvou výškových úrovních. Vzájemná vodorovná vzdálenost kotvicích prvků je v obou výškových úrovních 3 m. Pro zajištění přenosu potřebných tahových sil z celé vzdálenosti mezi kotvami je navržen rozpěrný práh v obou kotvicích úrovních z ocelových válcovaných profilů o průřezu 2 x U 220 a 2 x U 240. Výsledná navržená pažící konstrukce je patrná z *Přílohy č. 1 - Řez pažící konstrukcí* a z *Přílohy č. 4 - Půdorys pažící konstrukce*.

Výpočet této konstrukce byl proveden dvěma výpočetními programy, z nichž každý používá jinou metodu pro stanovení potřebných veličin. Program GEO 5 – Pažení posudek počítá pomocí *Metody závislých tlaků* a program GEO 5 – MKP používá k výpočtu numerickou *Metodu konečných prvků*.

Maximální ohybový moment po výšce konstrukce:

a) Dle GEO 5 – Pažení posudek:  $M_{\max} = 58,92 \text{ kNm/m}$

b) Dle GEO 5 – MKP :  $M_{\max} = 61,70 \text{ kNm/m}$

V druhé části diplomové práce jsem se zabýval návrhem založení tohoto polyfunkčního domu. Podkladem pro návrh zakládání byly zatěžovací účinky od horní stavby. Na základě těchto hodnot jsem pro založení objektu zvolil hlubinné zakládání pomocí velkopřůměrových vrtaných pilot. Podle velikosti působících sil jsem rozdělil tyto piloty do pěti typů, které se liší svými geometrickými parametry (průměr a délka) a také

vyztužením. Rozdělení pilot v půdoryse je patrné z *Přílohy č. 3 - Půdorys základové konstrukce*.

Výpočet jsem provedl pomocí programu GEO 5 – Piloty. Na základě mezních zatěžovacích křivek jednotlivých typů pilot jsem stanovil jejich celkovou únosnost. S ohledem na převažující zatížení svislými silami jsem vyztužení těchto pilot navrhl tak, aby byly splněny požadované konstrukční zásady (minimální stupeň vyztužení a maximální přípustná vzdálenost podélných prutů). Vyztužení jednotlivých typů pilot je znázorněno v *Přílohách č. 2(a-e) - Výkres vyztuže piloty*.

## 7 Studijní prameny

### 7.1 Seznam použité literatury :

- [1] OSTERMAYER, H. *Grundbau – Taschenbuch, Teil 2 - Geotechnische Verfahren*. ERNST, SOHN.
- [2] MASOPUST, J. *Speciální zakládání staveb: 1. díl*. AN CERM, Brno, 2004.
- [3] MASOPUST, J. *Speciální zakládání staveb: 2. díl*. AN CERM, Brno, 2006.
- [4] MASOPUST, J. *Vrtané piloty*. Čeněk a Ježek s. r. o., 1994.
- [5] GEO 5 – Teoretická příručka, FINE s.r.o. 2011.
- [6] ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy
- [7] Geotechnická zpráva o podrobném inženýrsko – geologickém průzkumu staveniště, Geostar, spol. s. r. o., Brno, 2010
- [8] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [9] ČSN EN 1992 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí
- [10] ČSN EN 1993 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí
- [11] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí,

Část 1: Obecná pravidla

### 7.2 Odkaz na další studijní zdroje a prameny :

- [12] < <http://www.geostav.cz> >
- [13] < <http://www.fine.cz> >
- [14] < <http://www.mapy.cz> >

## 8 Seznam použitých zkratk a symbolů

$A$	.....	plocha průřezu
$E$	.....	modul pružnosti
$E_{def}$	.....	deformační modul zeminy
$E_{oed}$	.....	edometrický modul zeminy
$EI$	.....	tuhost konstrukce
$G$	.....	modul pružnosti ve smyku
$I$	.....	moment setrvačnosti průřezu
$I_c$	.....	index konsistence zeminy
$I_d$	.....	index ulehlosti zeminy
$M$	.....	ohybový moment
$Q$	.....	posouvající síla
$W$	.....	průřezový modul
$c'$	.....	efektivní soudržnost zeminy
$k$	.....	tuhost Winklerovy pružiny
$k_h$	.....	modul reakce podloží
$p$	.....	zatížení
$y$	.....	posun desky do podloží
$q$	.....	spojité rovnoměrné zatížení
$s_y$	.....	sedání na mobilizaci plášťového tření
$w$	.....	přetvoření konstrukce
$\gamma$	.....	objemová tíha zeminy
$\varphi'$	.....	efektivní úhel vnitřního tření zeminy

$\sigma_z$ .....	geostatické napětí
$\sigma_r$ .....	zemní tlak v klidu
$\sigma_a$ .....	aktivní zemní tlak
$\sigma_p$ .....	pasivní zemní tlak
$\gamma$ .....	objemová tíha zeminy

*Použité zkratky*

MKP .....	metoda konečných prvků
CEM I .....	portlandský cement

## 9 Seznam obrázků

obrázek 1-1 Situace v místě staveniště [14].....	3 -
obrázek 2-1 Kotvený ochranný pilíř k zajištění nestabilní skály [1].....	6 -
obrázek 2-2 Kotvení mostních pilířů v území ohroženém sesuvy [1] .....	6 -
obrázek 2-3 Kotvení nosného lana lanové dráhy do horniny [1].....	6 -
obrázek 2-4 Příčný řez štětovnicí typu LARSEN.....	8 -
obrázek 2-5 Štětovnicová stěna ze štětovnic typu In [12].....	8 -
obrázek 2-6 Jedenkrát kotvená štětovnicová stěna s rozpěrným prahem [12].....	9 -
obrázek 4-1 Definice modulu reakce podloží [5].....	12 -
obrázek 4-2 Schéma konstrukce před první iterací [5].....	13 -
obrázek 4-3 Schéma konstrukce během iterací [5].....	14 -
obrázek 4-4 Situace v místě staveniště před zahájením prací [14].....	39 -
obrázek 4-5 Postup hloubení stavební jámy 1 .....	39 -
obrázek 4-6 Postup hloubení stavební jámy 2 .....	40 -
obrázek 4-7 Postup hloubení stavební jámy 3 .....	40 -
obrázek 5-1 Schéma konstrukce dočasné kotvy [1].....	56 -
obrázek 5-2 Mechanizace pro provádění vrtů vrtaných pilot [12].....	58 -

## 10 Seznam příloh

- Příloha č. 1* – Řez pažící konstrukcí
- Příloha č. 2a* – Výkres výztuže piloty (A 01)
- Příloha č. 2b* – Výkres výztuže piloty (A 02)
- Příloha č. 2c* – Výkres výztuže piloty (B 01)
- Příloha č. 2d* – Výkres výztuže piloty (B 02)
- Příloha č. 2e* – Výkres výztuže piloty (C 01)
- Příloha č. 3* – Půdorys základové konstrukce
- Příloha č. 4* – Půdorys pažící konstrukce
- Příloha č. 5* – Řez objektem