

**Univerzita Pardubice**  
**Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Výpočet stability svahů dle stupně bezpečnosti a dle  
evropské normy EC 7-1**  
**Daniel Holas**

**Bakalářská práce**

**2011**

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel HOLAS**  
Osobní číslo: **D10622**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Dopravní cesta**  
Název tématu: **Výpočet stability svahů dle stupně bezpečnosti a dle evropské normy EC 7-1**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Zpracujte srovnávací studii výpočtu stability svahů dle stupně bezpečnosti a dle evropské normy EC 7-1. Jako vstupy pro modelování použijte podklady ze sanace sesuvu na trati Liberec - Černousy, v úseku Liberec - Frýdlant, km 182,115 - 182,147. Pro výpočet použijte software GEO - stabilita svahu a proveďte zhodnocení výsledků.

Bakalářská práce bude obsahovat tyto přílohy:

- a) současný stav řešení dané problematiky v ČR;
- b) statický výpočet stability svahů dle EC 7-1 a stupně bezpečnosti;
- c) příčný řez řešeného místa;
- e) zhodnocení a diskuse dosažených výsledků;

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- \* Šimek, J., Holoušová, T. Mechanika zemin a zakládání staveb Skriptum ČVUT v Praze, 1996.
- \* Vaníček, I.: Mechanika zemin, Skripta FSV ČVUT, 2000
- \* Hulla, J., Turček, P. Zakladanie stavieb Vyd. Jaga group, v.o.s. ISBN 80- 88905-05-2, 1998
- \* I.Vaníček, I.Kudrnáčová, Mechanika zemin - cvičení, skriptum ČVUT
- \* GEO 4 - FINE učební texty k softwaru
- \* Krejčířiková H., Špačková H., Dopravní stavby: část - kolejová doprava, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002
- \* Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - část 1: Obecná pravidla
- \* ČSN 73 6133 Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
- \* ČSN 73 6301 Projektování železničních drah

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.**  
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce:

**30. listopadu 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**30. května 2011**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Vladimír Doležal, CSc.

vedoucí katedry

dne

# Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20.5.2011

Daniel Holas

## PODĚKOVÁNÍ

Předkládaná práce byla vytvořena autorem v roce 2011 na Katedře dopravního stavitelství. Své poděkování bych chtěl touto cestou vyjádřit svému vedoucímu panu Ing. Aleši Šmejdovi, Ph.D. za množství cenných připomínek a informací, které mi pomohli při vypracování této bakalářské práce. Děkuji také firmě Fine za poskytnutí softwaru GEO5.

## ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá výpočtem stability svahu dle stupně bezpečnosti a dle evropské normy EC 7-1. Jsou zde uvedeny základní principy obou metod a vstupní data, podle kterých se svah modeloval. Nejdůležitějším prvkem v této práci byl program GEO5, v němž se vymodeloval svah a následně provedl i výpočet. Získané údaje z tohoto programu jsou interpretovány v poslední kapitole.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Stupeň bezpečnosti, EC 7-1, program GEO5, smyková plocha

## TITLE

Calculation of slopes stability according to safety level and European norm EC 7-1

## ANNOTATION

This bachelor work deals with the calculation of slope stability by the degree of danger and by the European standard EC 7-1. The 2 basic principles of both these methods are written in this work, as well as the input data, which was used for the modeling of the slope. The most important element of this work was the program GEO5, which was used for the calculation and for the modeling of the slope. The obtained data from this program are interpreted in the last chapter.

## KEYWORDS

Safety level, EC 7-1, software GEO5, skid surface

## **OBSAH**

<b>1. Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Současný stav řešení dané problematiky v ČR</b> .....	<b>9</b>
2.1. Způsoby řešení stability svahů.....	9
2.1.1. Metoda mezní rovnováhy.....	9
2.1.2. Metoda mezního stavu rovnováhy.....	10
2.1.3. Metoda řešení napjatosti v zemním tělese.....	10
2.1.4. Nomogramy a tabulky.....	11
2.2. Deterministické a stochastické modely výpočtu stability svahu.....	11
2.3. Výpočet stability svahu dle EC 7-1.....	12
<b>3. Výpočet stability svahu – lokalita Raspenava</b> .....	<b>16</b>
3.1. Popis lokality.....	16
3.2. Metoda řešení pomocí programu GEO5.....	18
3.2.1. Praktické modelování.....	24
3.3. Výsledky výpočtu stability svahu.....	26
<b>4. Závěr</b> .....	<b>29</b>
<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>31</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>32</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>33</b>
<b>Seznam grafů</b> .....	<b>34</b>
<b>Seznam použitých symbolů</b> .....	<b>35</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	<b>37</b>

## 1. ÚVOD

Jednou z nejčastějších aplikačních úloh, kterou geotechnika řeší, je stabilita svahů v závislosti na řešení liniových staveb. To znamená v závislosti na stavbě násypu, nebo zářezu. Předkládaná bakalářská práce se zabývá stabilitními problémy, protože jednou z důležitých složek při zkoumání svahu je jeho stabilita.

Cílem bakalářské práce je porovnat výpočet stability svahu mezi dvěma možnými způsoby výpočtu a to dle EC 7-1 a stupně bezpečnosti. U obou těchto přístupů se použila pro výpočet kruhová a polygonální smyková plocha a k nim příslušné metody (Bishop, Petterson, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Sarma). Pro popis principu výpočtu stability svahu jsou uvedeny dvě neznámější a nejpoužívanější metody Petterson a Bishop.

Pro modelování geometrie svahu byly využity konkrétní podklady ze sesuvu v km 182,115 – 182,147, trať Liberec – Černousy, v úseku Liberec – Frýdlant, poskytnuté firmou Ing. Ivan Šír, Projektování dopravních staveb a.s.

Při řešení tohoto problému byl nejdůležitějším prvkem pro geotechnické výpočty software GEO 5, který byl poskytnut firmou FINE. Tento software je složen ze samostatných programů a každý program řeší určitou geotechnickou úlohu (např. patky, piloty, sedání atd.). V našem případě byl použit program pro řešení stability svahu. Program je určen k výpočtu stability svahů obecně vrstevnatého zemního tělesa a umožňuje posouzení jak podle Evropské normy EC 7-1, tak klasickou metodou. U klasické metody se dá v nastavení zvolit buď výpočet pomocí stupně bezpečnosti nebo mezního stavu. Tato bakalářská práce řeší výpočet pouze podle EC 7-1 a stupně bezpečnosti.

V závěru bakalářské práce jsou uvedeny výsledky všech výpočtů a pro porovnání stupně bezpečnosti a EC 7-1 se použili dvě neznámější metody Petterson a Bishop. Toto porovnání bylo provedeno pomocí poměru vzdorujícího a sesouvajícího momentu.



## 2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ DANÉ PROBLEMATIKY V ČR

Stabilita svahů je geotechnická disciplína, která zasahuje do všech vědních oborů (např. liniové, železniční, vodohospodářské stavby atd.). Jednou z nejpoužívanějších metod mechaniky zemin je výpočet stability zemních svahů. Pokud dojde k narušení rovnovážného stavu u přirozeného svahu, nebo u svahů, které byly vybudovány inženýrskou činností (např. násyp u silničního tělesa, zemní hráze atd.), pak nastane sesuv zeminy. Podrobné určení příčiny sesuvu a možnost navrhnout nejlepší sklon svahu má značný význam. Tento význam spočívá hlavně v zajištění bezpečnosti násypu daného zemního tělesa, ale také v ušetření času i peněz při přesunu zemního materiálu. Stabilitu svahu můžeme řešit na základě čtyř základních metod.

### 2.1 Způsoby řešení stability svahů

Metodika přístupu k bezpečnému návrhu sklonu svahu se rozlišuje celkem na 4 oblasti:

- a) Metoda mezní rovnováhy
- b) Metoda mezních stavů rovnováhy
- c) Metoda řešení napjatosti v zemním tělese
- d) Pomocí nomogramů a tabulek

#### 2.1.1 Metoda mezní rovnováhy

Základním principem metod mezní rovnováhy je řešení silové resp. momentové rovnováhy svahového tělesa nad zvolenou smykovou plochou. Jsou odvozeny za předpokladu existence takového stavu napjatosti prostředí, při němž je v celé zasažené oblasti mobilizována využitelná smyková pevnost zeminy, a hledá se taková plocha, po níž by nejspíše mohlo dojít k usmýknutí (tzv. kritická smyková plocha).

Výsledkem řešení je stupeň bezpečnosti  $F$ , udávající podíl mezi pasivními silami (síly přispívající ke stabilitě svahu) a silami aktivními (síly přispívající k nestabilitě svahu). V tabulkách 2.1.1 a 2.1.1-2 jsou uvedeny nejmenší požadované stupně bezpečnosti podle ČSN 73 6133 – Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. [2] Nevýhodou této metody je, že musíme předem zadat výchozí smykovou plochu, na níž se pak určuje stupeň bezpečnosti. Dále nám také neumožňuje získat informaci o průběhu napětí a deformace ve svahovém tělese.

<b>Zářez</b>		
<b>Zemina</b>	<b>Smykové parametry (efektivní)</b>	<b>Stupeň bezpečnosti</b>
Jemnozrnná	vrcholové	1,5
	kritické	1,15
	reziduální	1,1
Hrubozrnná	vrcholové	1,2
	kritické	1,15
Skalní hornina	vrcholové	1,3
	kritické	1,15

Tabulka 2.1.1 – Nejmenší požadovaný stupeň bezpečnosti – zářez

<b>Násyp</b>			
<b>Podloží násypu</b>	<b>Sypanina *</b>	<b>Smykové parametry podloží</b>	<b>Stupeň bezpečnosti</b>
Únosné	jemnozrnná	efektivní vrcholové	1,3
		efektivní kritické	1,15
	hrubozrnná	efektivní vrcholové	1,2
		efektivní kritické	1,15
kamenitá	efektivní vrcholové	1,2	
Málo únosné **	jemnozrnná	totální	1,5
		efektivní kritické	1,2
	hrubozrnná	totální	1,5
		efektivní kritické	1,2
* Pro zeminy v násypu se doporučuje použít efektivní vrcholové smykové parametry, stanovené laboratorními zkouškami na zhutněných vzorcích.			
** Podloží, které při návrhu násypu o zvolené výšce a s normovými sklony svahu nesplní požadovaný stupeň bezpečnosti a je nutné přistoupit k úpravě podloží nebo konstrukce násypu (např. vylehčení) za účelem dosažení požadovaného stupně stability.			

Tabulka 2.1.1-2 – Nejmenší požadovaný stupeň bezpečnosti – násyp

### 2.1.2 Metoda mezního stavu rovnováhy

Metoda vycházející z Rankinovy teorie. Rankinova teorie zemních tlaků uvažuje svislou, naprosto hladkou stěnu, bez tření mezi ní a zeminou. Jejím cílem je definovat obecně kritickou výšku svahu  $H_{krit}$  o sklonu  $\beta$  a parametry smykové pevnosti  $\varphi$ ,  $c$ , při nichž dojde k meznímu stavu rovnováhy. Rankinovu teorii můžeme použít při řešení aktivního nebo pasivního zemního tlaku a to jak pro soudržné, tak i nesoudržné zeminy. Tuto metodu kritizoval Terzaghi a dnes se využívá jen v málo případech. [1]

### 2.1.3 Metoda řešení napjatosti v zemním tělese

Obecným principem všech numerických metod modelování je převedení úlohy pro řešení soustav diferenciálních rovnic na formálně jednodušší úlohu pro řešení soustavy

lineárních algebraických rovnic pro neznámé hodnoty posunů resp. rychlostí posunů v uzlových bodech sítě.

Na rozdíl od metod mezní rovnováhy nevyžadují zadání výchozí smykové plochy, zahrnují ve výpočtu i vliv přetvárného chování horninového prostředí, mají široké možnosti modelování geometrické a materiálové variability, umožňují získat komplexní představu o napěťodeformační a stabilitní situaci ve svahovém tělese a modelovat i případná sanační opatření. Jistou nevýhodou všech numerických metod je poněkud časově náročnější příprava výpočetního modelu, větší nároky na spolehlivost vstupních parametrů, delší doba výpočtu a v neposlední řadě i větší nároky na výpočetní techniku. [3]

Typy používaných numerických metod:

- a) metoda konečných prvků (FEM)
- b) metoda hraničních prvků (hraničních integrálů)(BEM)
- c) metoda konečných diferencí (metoda sítí) (FDM)
- d) metoda oddělených elementů (DEM)

#### **2.1.4 Nomogramy a tabulky**

Používá se pro vypracování jednoduchých úloh a pro předběžný návrh. Vychází se z údajů, které už někdo dříve vypracoval, a pomocí nich se provede řešení daného problému. Popřípadě se využívají i praktické zkušenosti. Normy ČSN (např. ČSN 73 6133 – Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací) nám udávají doporučené hodnoty sklonů svahů, aby zemní těleso bylo stabilní. Tyto normy jsou jak v oborech pozemního a dopravního stavitelství, tak i při návrhu hrází.

## **2.2 Deterministické a stochastické modely výpočtu stability svahu**

Na výpočet stability svahů je možné se dívat dvěma přístupy. První přístup jsou deterministické modely, které vycházejí z prací švédských inženýrů, a druhým přístupem jsou stochastické modely, které vychází z teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky.

Základy výpočtu stability svahů, které jsou provedeny na základě deterministických modelů, jsou přisuzovány švédským inženýrům. Je to především S. Hultin, který prezentoval model a metodu výpočtu stability, a K. Petterson, jenž předložil teorii rotačních smykových ploch. Klasický výpočtový model soudržných zemin zavedl Fellenius. Hlavními osobami, které jsou považovány za tvůrce klasického modelu soudržných zemin, jsou Hultin, Petterson, Hellan, Fellenius a Forsel. Další významnou osobou je N. Janbu, který ve své práci použil

analýzu stupňů bezpečnosti a návrh řešení. Janbuova metoda je obecná proužková metoda mezní rovnováhy. Je založena na splnění rovnováhy sil i momentů na jednotlivých blocích. Model s přeskupením tíhy pro pórové tlaky předložil Bishop. Bishopova metoda je jednou z klasických proužkových metod limitní rovnováhy. Jejím základním předpokladem je kruhová smyková plocha a dále předpokládá nulové smykové síly mezi bloky. Metoda je založena na splnění momentové podmínky a svislé silové podmínky rovnováhy.

U stochastických modelů se kvůli vyloučení rizik spojených s proměnlivostí vstupních dat a výpočetních metod vychází z teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky. Tento postup použil Freundenthal pro stanovení bezpečnosti stavebních konstrukcí a na vstupní údaje nahlížel jako na náhodné veličiny. Spolu s Pugsley zavedli pojem částečných stupňů bezpečnosti, byl zde stupeň bezpečnosti odporu zemin ve smyku a stupeň bezpečnosti od zatížení. Dnes se k modelování náhodně proměnných veličin používají různé softwary. Jednou ze simulačních metod je metoda Monte Carlo.

### 2.3 Výpočet stability svahu dle EC 7-1

Evropské normy se mají stát evropskými doporučenými prostředky pro navrhování stavebních konstrukcí a jejich částí, usnadnit výměnu stavebních služeb (např. stavebních prací a souvisejících inženýrských služeb) a zlepšit fungování vnitřního trhu. Eurokódy obecně poskytují společné metody navrhování vyjádřené v soustavě evropských norem, které mají být použity jako referenční dokumenty pro členské státy k: [4]

- a) prokázání, že pozemní, inženýrské stavby nebo jejich části vyhovují požadavku na mechanickou odolnost a stabilitu i požadavku na požární bezpečnost včetně trvanlivosti
- b) stanovení funkčních vlastností konstrukčních dílců a sestav, pokud jde o mechanickou odolnost, stabilitu a požární odolnost

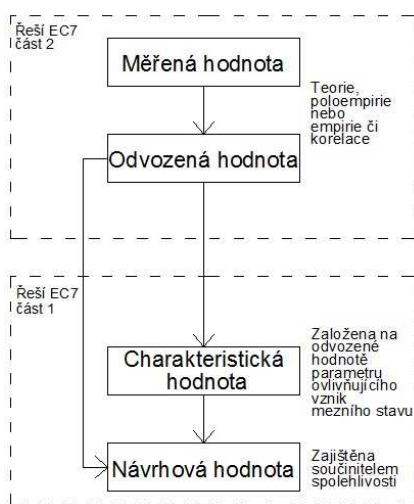
Cíle a přínosy Eurokódů jsou:

- a) poskytnout společná návrhová kritéria a metody ke splnění stanovených požadavků na mechanickou odolnost, stabilitu a požární odolnost včetně hledisek trvanlivosti a hospodárnosti
- b) usnadnit výměnu stavebních služeb mezi členskými státy
- c) být společnou základnou pro výzkum a vývoj ve stavebním sektoru
- d) umožnit vypracování společných návrhových pomůcek a softwaru

V Eurokódech jsou dále uvedeny spolehlivost a mezní stavy. Spolehlivost je definována jako zajištění bezpečnosti, stability, použitelnosti a životnosti konstrukce. Rozeznáváme také dva mezní stavy a to mezní stav únosnosti, který odpovídá ztrátě stability polohy konstrukce, nebo porušení konstrukce. Mezní stav použitelnosti je stav, při kterém konstrukce přestává vyhovovat svému účelu. Jak bylo řečeno EC 7-1 nám popisuje mezní stavy porušení a pokud je to relevantní, musí se ověřit, že nejsou překročeny následující mezní stavy: [8]

- ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy, uvažované jako tuhé těleso, při které pevnosti konstrukčních materiálů a základové půdy nejsou významné pro poskytování odolnosti (EQU)
- vnitřní porušení nebo nadměrná deformace konstrukce nebo konstrukčních prvků včetně např. patek, pilot, u kterých pevnost konstrukčních materiálů je významná k poskytování odolnosti (STR)
- porušení nebo nadměrná deformace základové půdy, ve které smyková pevnost zeminy nebo horniny je významná v poskytování odolnosti (GEO)
- ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy v důsledku vzlaku vody nebo jiných svislých zatížení (UPL)
- nadzdvihování dna, vnitřní eroze a sufose v základové půdě způsobené hydraulickými spády (HYD)

Eurokód 7-1 definuje charakteristickou hodnotu geotechnického parametru základové půdy takto: „Charakteristická hodnota geotechnického parametru se musí vybrat jako obezřetný odhad hodnoty ovlivňující výskyt mezního stavu.“ [4] Schématicky je postup pro získání charakteristické hodnoty parametru základové půdy naznačen na obr. 2.3.



Obr. 2.3 – Postup stanovení návrhových hodnot

Měřené hodnoty jsou definovány v EC 7-1 části 2 jako hodnoty naměřené při terénních měřeních či laboratorních zkouškách. Z měřených hodnot získáme odvozené hodnoty pomocí uznávané teorie (např. Mohrova-Coulombova teorie porušení), empirie či poloempirie nebo korelace. Takto vypočtené odvozené hodnoty jsou podkladem pro stanovení charakteristické hodnoty příslušného parametru základové půdy. Výběr charakteristické hodnoty parametru základové půdy musí být založen na odvozené hodnotě parametru ovlivňujícího vznik mezního stavu. Při návrhu geotechnické konstrukce pomocí mezních stavů se do statického výpočtu dosazují návrhové hodnoty zatížení, geotechnických parametrů, geometrických údajů a konstrukčních vlastností, které se získají tak, že charakteristické hodnoty se zajistí součinitelem spolehlivosti. [4]

EC 7-1 nám dále definuje celkem tři návrhové přístupy a u každého z nich se musí ověřit, že mezní stav porušení nebo nadměrné deformace nenastane při žádné z kombinací uvedených v tabulce 2.3. U prvního návrhového přístupu se ještě rozlišuje, zda se jedná nebo nejedná o osově zatížené piloty a kotvy.

NÁVRHOVÉ PŘÍSTUPY		KOMBINACE	
		1	2
Návrhový přístup 1	ostatní případy	A1 "+" M1 "+" R1	A2 "+" M2 "+" R1
	osově zatížené piloty a kotvy	A1 "+" M1 "+" R1	A2 "+" (M1 nebo M2) "+" R4
Návrhový přístup 2		A1 "+" M1 "+" R2	
Návrhový přístup 3		(A1* nebo A2 <sup>†</sup> ) "+" M2 "+" R3	

Tabulka 2.3 – Návrhové přístupy

Nakonec bych rád k tomuto tématu citoval [5] Ing. Vítězslava Herle z SG – GEOTECHNIKA a.s. který prezentoval na pražských geotechnických dnech 22. – 23. května 2006 přístup České republiky k EC 7-1.

„Podle EC 7-1 (ČSN EN 1997-1) patří **stabilita svahů** do skupiny mezních stavů **GEO** (pevnost zemin a hornin je významná). Pokud se jedná o zajištění stability svahu, případ se posuzuje jako **STR** (pevnost konstrukčních materiálů je významná).

Ze 3 návrhových přístupů (DA) uvedených v EC 7-1 je obtížné postupovat podle DA-1, kombinace 1 a podle DA-2, kde se dílčími součiniteli (většími než 1,0) násobí stálá nepříznivá zatížení ( $\gamma_F = 1,35$ ) a dočasná nepříznivá zatížení ( $\gamma_F = 1,5$ ), neboť není předem jasné která zatížení jsou příznivá a která nepříznivá (ve výchozové části potenciální smykové plochy je

zatížení zeminou nepříznivé, při patě obvykle působí příznivě). Poloha smykové plochy (pokud neřešíme již existující sesuv) je přitom neznámá.

U návrhového přístupu **DA-1, kombinace 2 a DA-3** se dílčí součinitelé zatížení rovnají  $\gamma_F = 1,0$  (Soubor A2), kromě proměnného nepříznivého zatížení (např. zatížení dopravou), které se násobí součinitelem  $\gamma_F = 1,3$  – stejný součinitel je i v ČSN 73 6133). Odpadá problém s úpravou stálého nepříznivého zatížení. Dílčími součiniteli se však upravuje:

- efektivní smyková pevnost :  $\gamma_{\phi'} = \gamma_{c'} = 1,25$ ,
- neodvodněná smyková pevnost:  $\gamma_{cu} = 1,4$ ,
- jednoosá pevnost:  $\gamma_{qu} = 1,4$

Výsledná hodnota odolnosti (odporu) je jak pro R1 v případě DA-1, kombinace 2, tak pro R3 v případě DA-3 rovna  $\gamma_{R;e} = 1,0$

Uvedené zásady platí pro neporušené svahy. U sesuvů, se známou polohou smykové plochy, mohou být dílčí součinitelé nepřiměřeně vysoké. Podle „Designers’ Guide to EN 1997-1“ se parametry smykové pevnosti podél existující smykové plochy mají stanovit zpětnou

analýzou, přičemž dílčí součinitelé zatížení  $\gamma_F$ , materiálu  $\gamma_M$  a odolnosti  $\gamma_{Re}$  se položí rovny 1,0.

Současné výpočetní programy dávají výsledek ve formě:

$$F = R/E \quad R \dots \text{odolnost (odpor), } E \dots \text{účinek zatížení}$$

Vzhledem k tomu, že v návrhových přístupech je předem stanoven požadovaný stupeň bezpečnosti F je výsledkem výpočtů tzv. „bezpečnost navíc“ ODF.

**SG GEOTECHNIKA** podporuje zavedení následujících návrhových přístupů do národní přílohy:

- Návrhového přístupu **DA-3 pro výpočet stability svahů**

- Návrhového přístupu **DA-2\* pro výpočet plošných základů, pilot a kotev**. (Přístup doporučený v Německu (prof. Vogt, Dr. Schuppener).

**SG GEOTECHNIKA nedoporučuje** úpravy dílčích součinitelů pro parametry zemin uvedené v tabulkách A.2, A.4 a A.16 Přílohy A k ČSN EN 1997-1.“

### 3. VÝPOČET STABILITY SVAHU – LOKALITA RASPENAVA

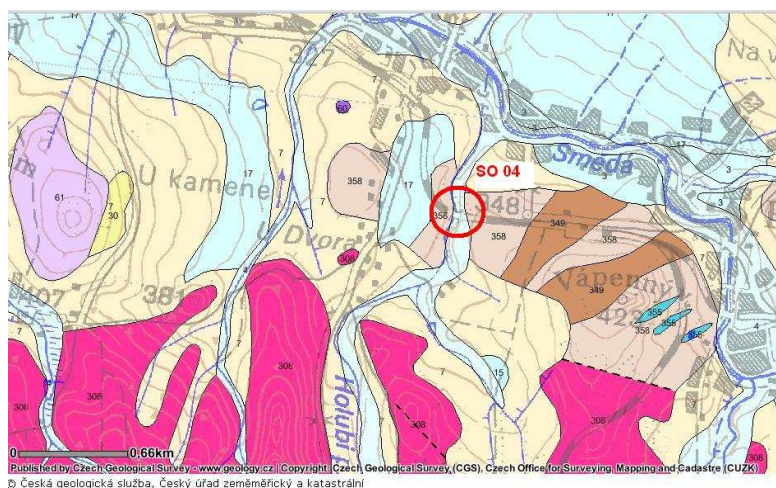
#### 3.1 Popis lokality

Pro moji bakalářskou práci jsem využil podklady a data ze sanace sesuvu na trati Liberec – Černousy, v úseku Liberec – Frýdlant, km 182,115 – 182,174. Sesuv svahu byl v km 182,115 – 182,147, trať Liberec – Černousy, v úseku Liberec – Frýdlant cca 700m od železniční stanice RASPENAVA směrem na Frýdlant v Čechách (obr. 3.1). V místě sesuvu protéká Holubí potok. Město RASPENAVA se nachází přibližně 20km od Liberce krajského města Libereckého kraje v severních Čechách.



Obr. 3.1 – Ortofotomapa řešeného místa (zdroj: <http://www.mapy.cz>)

Z regionálně geologického hlediska se území nachází při JV okraji jizerského krystalinika, které je součástí krkonoško-jizerského krystalinika (obr. 3.1-2). Skalní podloží je zde tvořeno proterozoickým muskovitickým svorem velkoupské skupiny. Hornina bývá při povrchu rozpukaná, úlomkovitě rozpadavá. Kvartérní pokryv je v oblasti zastoupen převážně deluviálními polygenetickými sedimenty a glacifluviálními jíly, písky a písčitymi šterky, v okolí vodotečí pak pestrými fluviálními sedimenty. [6]



Obr. 3.1-2 – Geologická mapa řešeného místa  
(zdroj: <http://www.geologicke-mapy.cz>)



**Legenda:**

3: říční sedimenty (písek, štěrk)	30: jezerní a říční sedimenty (jíl, písek, štěrk)
4: nivní sedimenty (hlína, písek, štěrk)	60: bazaltoidy (čedičové horniny)
6: svahové sedimenty (hlína, písek)	61: foidit
7: svahové sedimenty (hlína, kameny)	63: fonolit
13: naváté sedimenty (spraš, sprašová hlína)	308: granit (žula) až granodiorit
15: jezerní sedimenty (jíl, písek)	349: rula
17: ledovcové a jezerní sedimenty (jíl)	355: mramor (krystalický vápenec, dolomit)
20: slatiny, rašeliny	358: fylit, svor

Tyto údaje byly získány z projektu Obnovení provozuschopnosti trati Liberec – Černousy v úseku Liberec – Frýdlant, který byl zpracován firmou Ing. Ivan Šír, Projektování dopravních staveb a.s. Z technické zprávy byly použity geologické poměry, popis sesuvu, lokality a geometrie svahu. V tabulce 3.1 jsou uvedeny parametry zemin (objemová tíha  $\gamma$ , soudržnost  $c_{ef}$  a úhel vnitřního tření  $\varphi_{ef}$ ) použitých při modelování svahu.

Název zeminy	$\gamma$ ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	$c_{ef}$ (kPa)	$\varphi_{ef}$ ( $^{\circ}$ )
štěrk dobře zrněný ulehlý	21	0	41,5
štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy ulehlý	19	0	35,5
písek dobře zrněný ulehlý	20	0	39,5
písek hlinitý středně ulehlý	18	5	29
žula	26,5	150	70

Tabulka 3.1 – Parametry zemin

Jednalo se o sesuv SO 04 (obr. 3.1-3) spodního okraje železničního náspu vysokého přibližně 10,00m v km 182,115 až 182,145. Násyp byl vybudován pravděpodobně na jílovitých fluviálních uloženinách. V místě sesuvu vedl v horní části náspu ve výkopu kabel. Při šetření bylo zjištěno, že násep nebyl při výstavbě dostatečně hutněn a zemina tvořící násep byla kyprá. Příčinou sesuvu nejspíše bylo to, že při dešti pronikla voda do náspu (negativní roli mohl hrát i výkop pro kabel) a došlo ke ztekucení zeminy a ztrátě stability. [6]



Obr. 3.1-3 – Sesuvu SO4 – foto Ing. Ivan Šír,  
Projektování dopravních staveb a.s. [6]

### 3.2 Metoda řešení pomocí programu GEO5

Pro zpracování statického výpočtu stability svahů dle EC 7-1 a stupně bezpečnosti byl použit software GEO5 od firmy Fine. Konkrétně program stabilita svahu. Tento program je určen k výpočtu stability svahů obecně vrstevnatého zemního tělesa. Program lze využít k výpočtu stability např. zářezů, násypů a kotvených opěrných konstrukcí. V našem případě se jedná o násyp.

Výpočet může být provedený podle dvou základních principů. Prvním principem je předpoklad, že vytvořená smyková plocha bude kruhového tvaru a druhým principem je, že smyková plocha bude polygonální. Tabulka 3.2 uvádí přehled nejčastěji používaných metod řešení z hlediska stability svahu.

Metoda řešení	Použití
Rovinná smyková plocha	homogenní nesoudržné svahy, translační pohyby, povrchově odvodněné svahy
Logaritmická smyková plocha	vhodné pro homogenní svahy, užitečné pro počítačové zpracování návrhu vyztužených svahů
Švédská metoda	vhodné pro $\Phi = 0$ , neodvodněné, plně saturované jíly, smyková plocha se předpokládá kruhová
„Klasická“ proužková metoda	vhodné pro nehomogenní svahy, předpoklad kruhové smykové plochy, velice vhodné pro „ruční“ přepočty, nepřesné pro analýzu kontaktního napětí s vysokými hodnotami pórového tlaku
Bishop metoda	vhodné pro nehomogenní svahy, předpoklad kruhové smykové plochy, přesnější než klasická proužková metoda, vhodné pro výpočet svahů s vysokými hodnotami pórového tlaku
Spencer metoda	vhodné pro veškerou geometrii svahů, vhodná metoda pro počítačové zpracování
Morgenstern a Price metoda	prakticky vhodné pro veškerou geometrii svahů
Sarma metoda	přesná metoda vhodná pro veškerou geometrii svahu, velice vhodná metoda pro počítačové zpracování, seismický koeficient
Janbu metoda	komplexní metoda, smyková plocha libovolného tvaru, splněna momentová podmínka rovnováhy, splněna podmínka rovnováhy ve směru horizontálním i vertikálním

Tabulka 3.2 – Nejčastěji používané metody řešení stability svahu

Smyková plocha v programu GEO 5 může být modelována dvojím způsobem, jako kruhová (výpočet pomocí metod Petterson, Bishop, Spencer, Janbu nebo Morgenstern-Price) nebo polygonální (Sarmova, Spencerova, Janbu nebo Morgenstern-Price metoda).

V následujícím textu budou okomentovány nejčastěji používané metody výpočtu. V případě kruhové smykové plochy jsou nejznámějšími metodami Bishop a Petterson. Tyto metody předpokládají rozdělení zemního tělesa nad kruhovou plochou na bloky. Metoda Petterson (obr. 3.2) předpokládá pouze celkovou momentovou podmínku rovnováhy kolem středu kruhové plochy. Smykové a normálové síly mezi bloky se zanedbávají. Vychází se pouze z momentové výminky (nezahrnuje vliv sousedních proužků). Stupeň bezpečnosti  $F$  se poté spočítá podle tohoto vztahu:

$$F = \frac{\sum c_u \cdot L + N \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.2)$$

kde:  $c_u$  – soudržnost totální

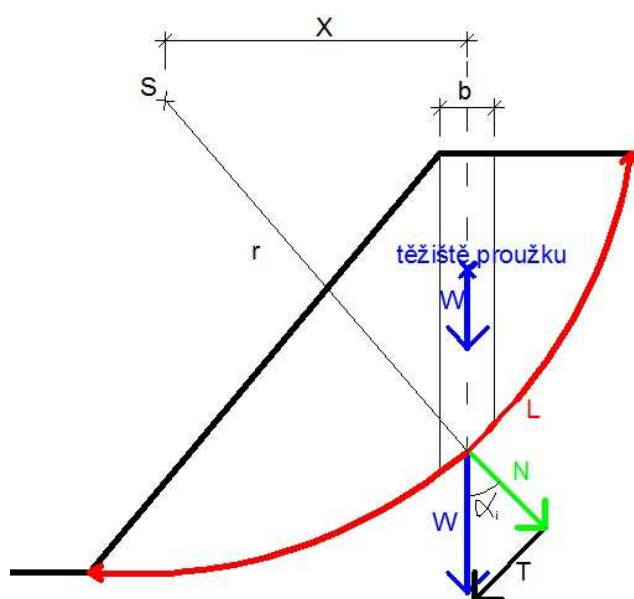
$L$  – celková délka výseče smykové kružnice

$N$  – normálová složka tíhy  $W$

$\varphi$  – úhel vnitřního tření zeminy

$W$  – tíha proužku v těžišti

$\alpha$  – sklon úseku smykové plochy



Obr. 3.2 – Pettersonova metoda

kde :  $W$  – tíha proužku v těžišti

$N$  – normálová složka tíhy  $W$

$T$  – tečná složka tíhy  $W$

$\alpha$  – úhel mezi složkou  $N$  a tíhou  $W$

$b$  – šířka proužku

$S$  – střed kružnice

$x$  – vodorovná vzdálenost osy proužku od středu kružnice

$r$  – poloměr kružnice

$L$  – celková délka výseče smykové kružnice

Zjednodušená Bishopova metoda (obr. 3.2-2) předpokládá nulové smykové síly mezi bloky. Metoda je založena na splnění momentové podmínky a svislé silové podmínky rovnováhy. Na rozdíl od Pettersonovi metody uvažuje síly od sousedních proužků a kromě momentové výminky zavádí rovnováhu sil pro jednotlivý proužek. Stupeň bezpečnosti  $F$  je vypočten postupným přibližováním následujícího vztahu:

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \frac{c_u \cdot b + W \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha + \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \alpha}{F}} \quad (3.2-2)$$

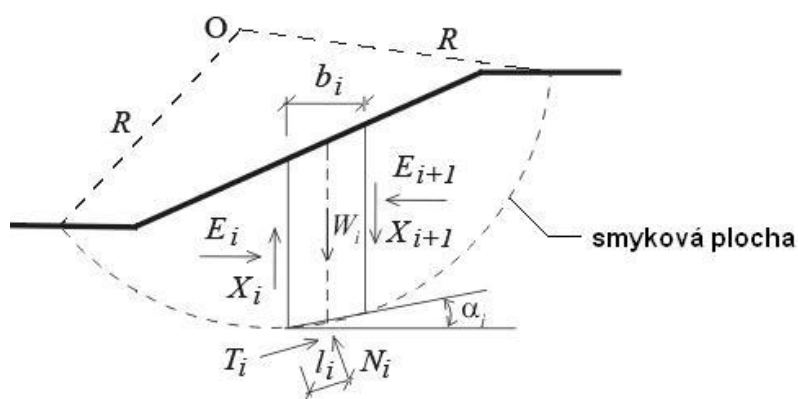
kde:  $c_u$  – soudržnost

$\varphi$  – úhel vnitřního tření zeminy

$W$  – tíha proužku v těžišti

$b$  – šířka proužku

$\alpha$  – sklon úseku smykové plochy



Obr. 3.2-2 – Bishopova metoda

kde:  $X_i$  a  $E_i$  – smykové a normálové síly mezi bloky

$T_i$  a  $N_i$  – smykové a normálové síly na úsecích  
smykové plochy

$W_i$  – tíha jednotlivých bloků

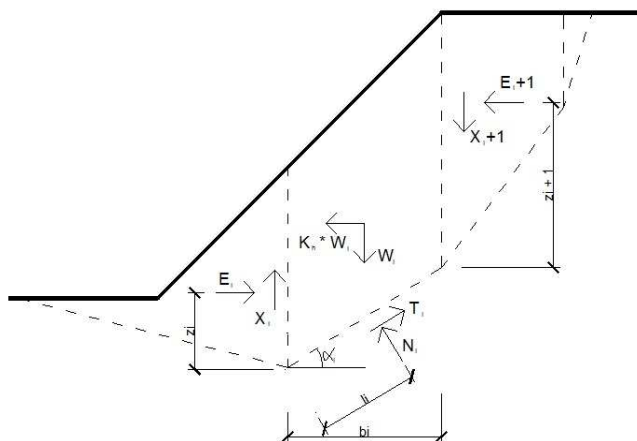
$\alpha_i$  – sklon úseku smykové plochy

$b_i$  – šířka bloku

$l_i$  – délka úseku smykové plochy

Řešení stability svahu při použití polygonální smykové plochy spočívá v nalezení stavu mezní rovnováhy sil, které působí na zemní těleso nad smykovou plochou. Aby bylo možno

tyto síly definovat, rozdělí se zemina nad smykovou plochou na bloky dělicími rovinami. Tyto dělicí roviny jsou zpravidla voleny jako svislé, ale není to nutná podmínka, např. Sarmova metoda počítá s obecně skloněnými dělicími rovinami. [7] Na obrázku 3.2-3 je ukázáno statické schéma bloku při použití polygonální smykové plochy.



Obr. 3.2-3 – Polygonální smyková plocha – statické schéma bloku

- kde:  $E_i$  a  $X_i$  – normálové a smykové síly mezi bloky  
 $N_i$  a  $T_i$  – normálové a smykové síly na úsecích  
smykové plochy  
 $W_i$  – tíha bloku  
 $z_i$  a  $l_i$  – polohy působišť sil  
 $K_h$  – faktor vodorovného zrychlení  
 $b_i$  – šířka bloku

Kromě těchto metod umožňuje software vlastní posouzení stability svahu pomocí dvou přístupů a to podle EC 7-1 nebo podle klasické teorie.

U Eurocódů 7-1 je zatížení redukováno dílčími součiniteli výpočtu a posouzení se provádí podle teorie mezních stavů. Při posouzení podle EC 7-1 je podstatná volba návrhového přístupu a dílčích součinitelů výpočtu. Ve všech návrhových přístupech dochází k redukcí sil a zatížení. Celkem máme 3 návrhové přístupy. Pro výpočet stability svahu se používá návrhový přístup 3. Oproti ostatním návrhovým přístupům rozlišuje tento přístup geotechnické zatížení – stav GEO (zatížení vyvolaná zeminou, např. zemní tlaky) a zatížení konstrukcí – stav STR (uvažuje se vlastní tíha konstrukce, zadané síly působící na konstrukci, geovýztuhy apod.). Pro každý typ zatížení je použita jiná sada dílčích součinitelů (tab. 3.2-3).

	Stav STR		Stav GEO	
	Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení - $\gamma_G$	1,35	1,00	1,00	1,00
Proměnné zatížení - $\gamma_Q$	1,50	0,00	1,30	0,00

Tabulka 3.2-3 – Součinitelé redukce zatížení

V návrhovém přístupu č.1 nebo č.3 se redukují parametry zemin (úhel vnitřního tření, soudržnost). Hodnota využití je přitom dána vztahem:

$$V_u = \frac{M_{kl}}{M_{vzd}} \cdot 100 < 100\% \quad (3.2-3)$$

kde:  $M_{kl}$  – klopící moment

$M_{vzd}$  – vzdorující moment

V návrhovém přístupu č.2 se redukuje vzdorující moment (převrácenou hodnotou  $\gamma_{RS}$ ). Počítá se hodnota využití  $V_u$ , která se srovnává se 100%. Hodnota využití je přitom dána vztahem:

$$V_u = \frac{M_{kl} \cdot \gamma_{RS}}{M_{vzd}} \cdot 100 < 100\% \quad (3.2-4)$$

kde:  $M_{kl}$  – klopící moment

$M_{vzd}$  – vzdorující moment

$\gamma_{RS}$  – součinitel redukce odporu na smykové ploše

U klasické teorie se může posuzovat stabilita svahu buď podle stupně bezpečnosti nebo podle mezních stavů. V této bakalářské práci se počítá pouze podle stupně bezpečnosti, ale je zde uvedena i druhá možnost. Stupeň bezpečnosti je vyjádřen určitým číslem, které nám udává norma a to se srovnává s číslem, které vyjde z poměru vzdorujícího momentu ku klopícímu momentu. Pokud vyjde, že stupeň bezpečnosti je menší, než vypočtené číslo tak je svah stabilní.

$$\frac{M_{vzd}}{M_{kl}} > FS \quad (3.2-5)$$

kde:  $M_{kl}$  – klopící moment

$M_{vzd}$  – vzdorující moment

FS – stupeň bezpečnosti na překlopení

Druhou možností je výpočet pomocí mezního stavu. V případě mezního stavu se zkoumá míra využití konstrukce. Počítá se hodnota využití, která se srovnává se 100% tj. čím se vypočtená hodnota blíží více ke 100% tím je těleso méně stabilní. Hodnota využití je dána vztahem:

$$V_u = \frac{M_{kl}}{M_{vzd} \cdot \gamma_s} \cdot 100 < 100\% \quad (3.2-6)$$

kde:  $M_{kl}$  – klopící moment

$M_{vzd}$  – vzdorující moment

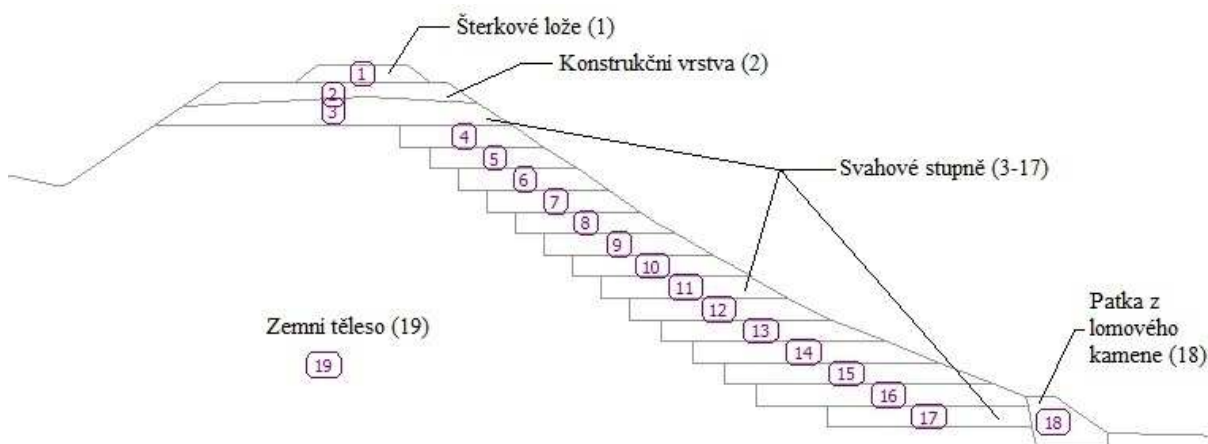
$\gamma_s$  – součinitel celkové stability konstrukce

### 3.2.1 Praktické modelování

Tato kapitola se bude podrobněji zabývat popisem konkrétních kroků při modelování svahu v již zmíněném programu GEO5 a také v programu Autocad.

Prvním krokem bylo vytvoření svahu, včetně kolejového lože, konstrukčních vrstev, svahových stupňů a patky z lomového kamene v programu Autocad. Pro geometrii svahu jsem čerpal z podkladů v projektu Obnovení provozuschopnosti trati Liberec – Černousy v úseku Liberec – Frýdlant, který byl zpracován firmou Ing. Ivan Šír, Projektování dopravních staveb a.s.

Takto vytvořený svah se následně importoval do programu GEO5. V tomto softwaru se musí po importování dat, nejdříve zadat všechna rozhraní, která se v projektu vyskytují. Čísla 1 - 19 (obr. 3.2.1) značí jednotlivá rozhraní. Bližší souřadnice těchto rozhraní jsou uvedena v příloze č. 1.



Obr. 3.2.1 – Rozhraní



K rozhraním se v další fázi modelování přiřadily konkrétní typy zemin. Tabulka 3.2.1 uvádí, jaká zemina se vyskytuje v daném rozhraní. Parametry jednotlivých zemin (objemová tíha  $\gamma$ , soudržnost  $c_{ef}$  a úhel vnitřního tření  $\varphi_{ef}$ ) vyskytujících se v projektu, jsou uvedeny v tabulce 3.2.1-2. V dalším kroku modelování bylo vytvořeno přitížení pomocí těchto údajů: počátek, délka, sklon, velikost, typ a působení. Konkrétní číselné údaje jsou uvedeny v příloze č. 1.

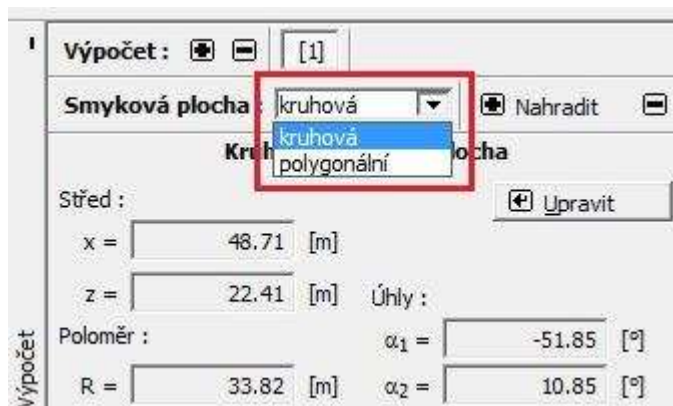
Rozhraní	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Typ zeminy	G1 GW	S1 SW	G3 G-F														žula	S4 SM	

Tabulka 3.2.1 – Rozhraní a zeminy

Název zeminy	$\gamma$ (kN.m <sup>-3</sup> )	$c_{ef}$ (kPa)	$\varphi_{ef}$ (°)
štěrk dobře zrněný ulehlý	21	0	41,5
štěrk s příměsí jemnozrné zeminy ulehlý	19	0	35,5
písek dobře zrněný ulehlý	20	0	39,5
písek hlinitý středně ulehlý	18	5	29
žula	26,5	150	70

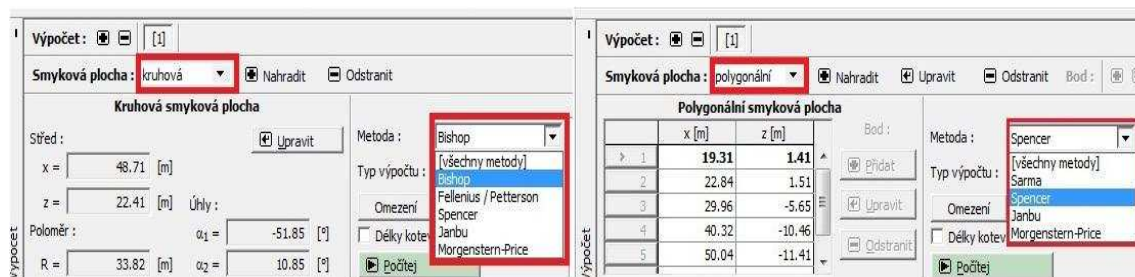
Tabulka 3.2.1-2 – Parametry zemin

Poslední fází před samotným výpočtem stability svahu je volba metody výpočtu tj. podle jakého z přístupů (klasická teorie nebo EC 7-1) chceme, aby výpočet probíhal. V samotném výpočtu nejdříve vybíráme jednu ze dvou smykových ploch a to buď kruhovou, nebo polygonální (obr. 3.2.1-2).



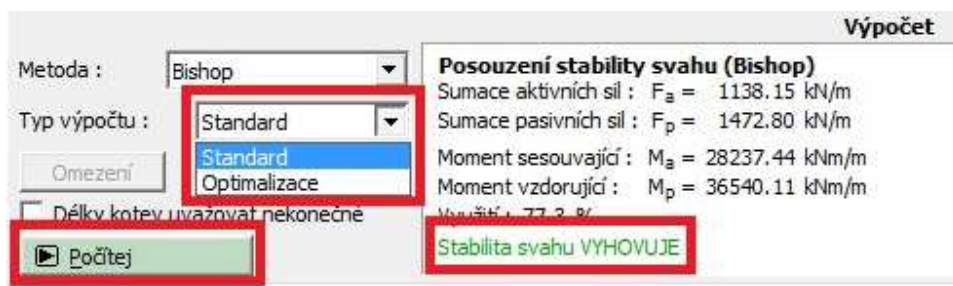
Obr. 3.2.1-2 – Volba smykové plochy

Po výběru smykové plochy je nutné ji nejprve zadat, což lze provést dvěma způsoby. Kruhová smyková plocha je dána 3 body: dvěma body na povrchu terénu a jedním uvnitř zemního tělesa. Tyto body můžeme zadat buď pomocí myši, nebo přímo v souřadnicích  $x$ ,  $z$ ,  $R$ . V případě polygonální smykové plochy se zadají body pomocí souřadnic  $x$ ,  $z$  nebo je může uživatel zadat sám libovolně také pomocí myši jako v případě kruhové plochy. Podle volby smykové plochy se mění možnost výběru jednotlivých metod (obr. 3.2.1-3).



Obr. 3.2.1-3 – Metody výpočtu v závislosti na volbě smykové plochy

Dále můžeme zvolit typ výpočtu, u kterého máme na výběr ze dvou možností standard a optimalizace (obr. 3.2.1-4). Optimalizace smykové plochy probíhá tak, že se postupně mění poloha jednotlivých bodů této plochy a zjišťuje se, která změna polohy daného bodu vede k největšímu snížení stupně bezpečnosti  $FS$ . U standardu se nemění poloha bodů smykové plochy, pouze se posuzuje zadaná smyková plocha. Při výpočtech byla použita ve všech případech optimalizace. Po zadání všech těchto parametrů lze následně provést samotný výpočet pomocí tlačítka počítej (obr. 3.2.1-4). Nejdůležitějším údajem, který se nám po výpočtu zobrazí, je zda stabilita svahu vyhovuje nebo nevyhovuje (obr. 3.2.1-4).



Obr. 3.2.1-4 – Samotný výpočet

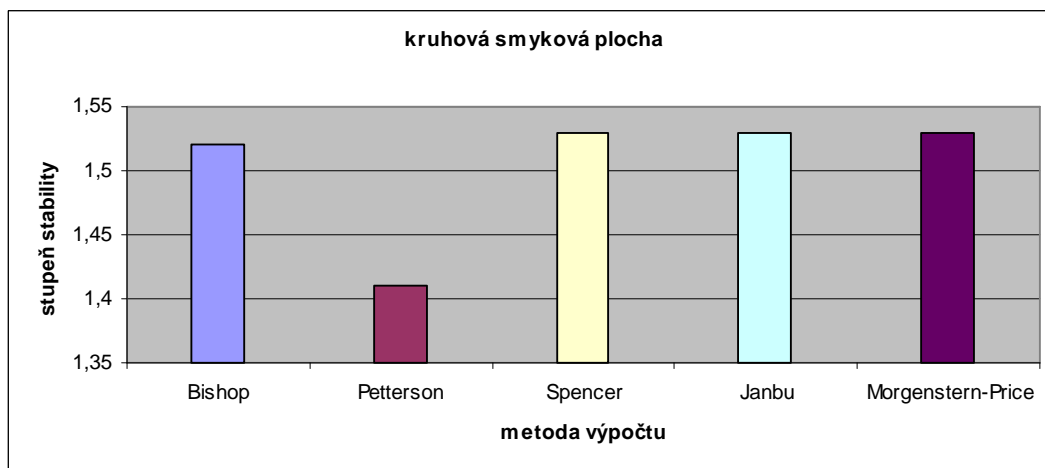
### 3.3 Výsledky výpočtu stability svahu

Tato kapitola se zabývá kompletními výsledky výpočtu stability svahu. Výpočet se prováděl nejdříve podle klasické teorie tj. podle stupně bezpečnosti a dále pak podle EC 7-1. V obou těchto přístupech byly využity obě smykové plochy (kruhová, polygonální) a všechny metody výpočtu (Bishop, Petterson, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price, Sarma),

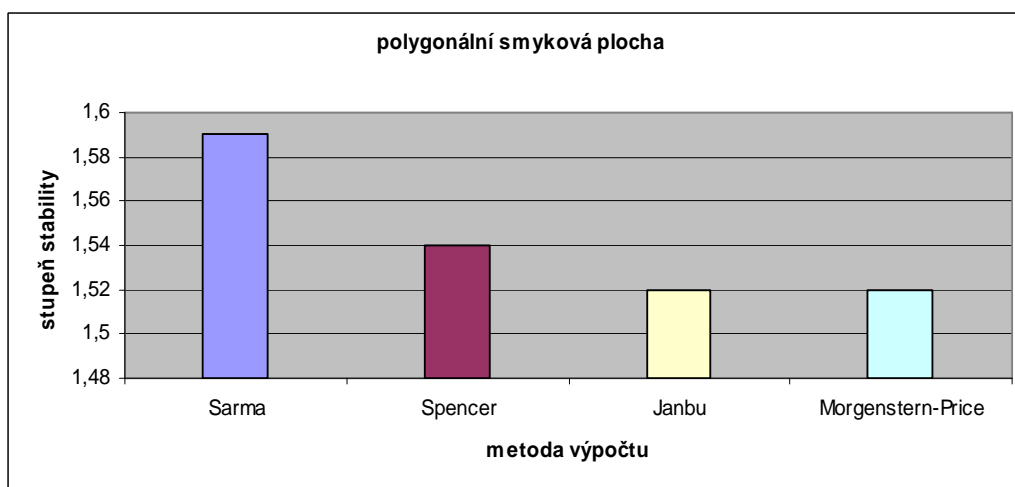
kteřer program GEO5 nabízel. V tabulce 3.3 jsou sumarizovány výsledky pro klasickou teorie (stupeň bezpečnosti) a v tabulce 3.3-2 jsou výsledky získané podle EC 7-1.

Smyková plocha	Metoda výpočtu	Stupeň bezpečnosti
kruhová	Bishop	1,52
	Petterson	1,41
	Spencer	1,53
	Janbu	1,53
	Morgenstern-Price	1,53
polygonální	Sarma	1,59
	Spencer	1,54
	Janbu	1,52
	Morgenstern-Price	1,52

Tabulka 3.3 – Výsledky podle stupně bezpečnosti



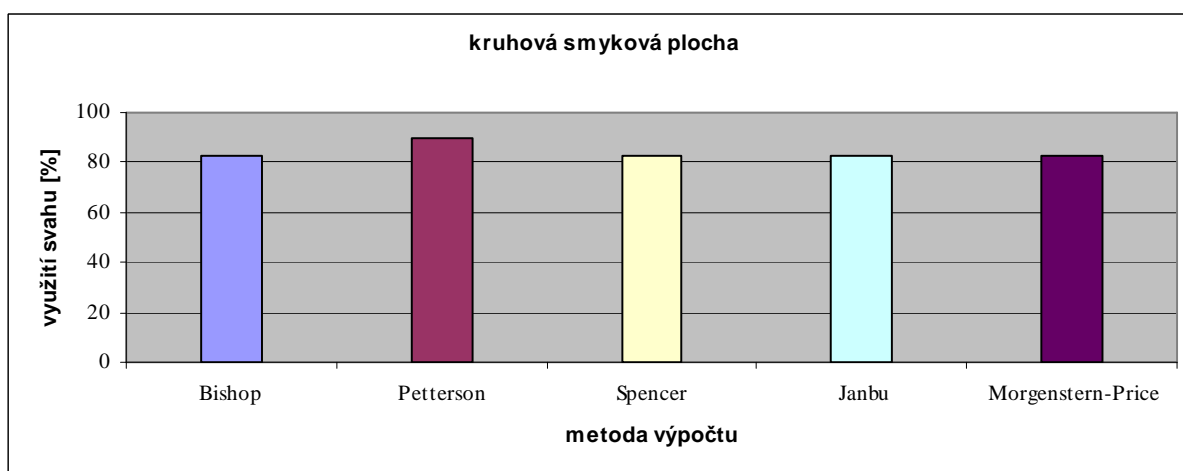
Graf 3.3 – Kruhové smyková plocha – stupeň bezpečnosti



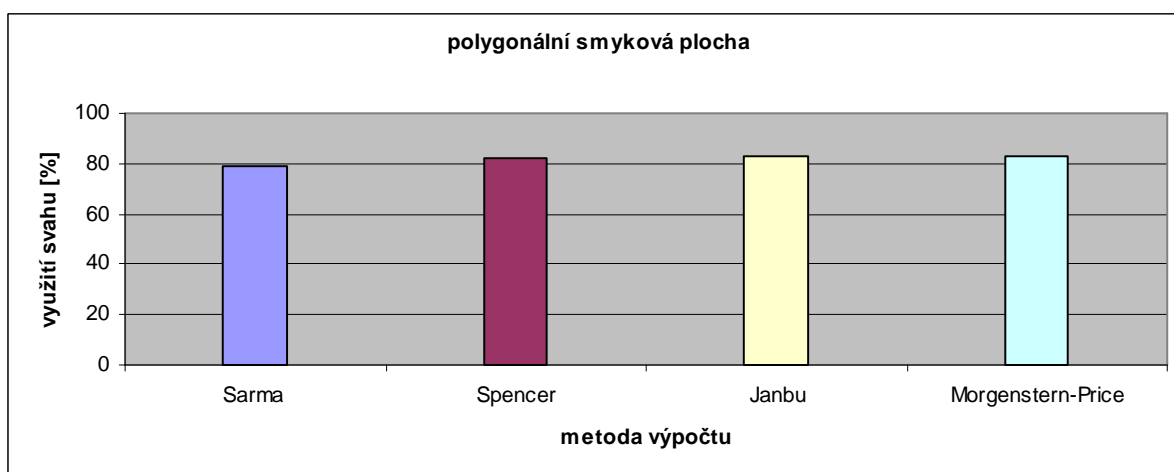
Graf 3.3-2 – Polygonální smyková plocha – stupeň bezpečnosti

Smyková plocha	Metoda výpočtu	Využití svahu [%]
kruhová	Bishop	82,8
	Petterson	89,5
	Spencer	82,8
	Janbu	82,7
	Morgenstern-Price	82,7
polygonální	Sarma	78,7
	Spencer	82,2
	Janbu	83,2
	Morgenstern-Price	83,3

Tabulka 3.3-2 – Výsledky podle EC 7-1



Graf 3.3-3 – Kruhové smyková plocha – EC 7-1



Graf 3.3-4 – Polygonální smyková plocha – EC 7-1

## 4. ZÁVĚR

Hlavní odlišností EC 7-1 od stupně bezpečnosti je, že v návrhových přístupech (existují celkem 3) předem stanoví požadovaný stupeň bezpečnosti F a výsledkem výpočtů je pak tzv. „bezpečnost navíc“ ODF. U EC 7-1 je bezpečnost zajištěna jak přes hodnoty dílčích součinitelů, které jsou uvedeny v kapitole 3.2, tak přes stupeň bezpečnosti, se kterým je již počítáno např. při iterování (opakování). V tabulce 4 je uveden výpočet bezpečnosti navíc pro jednotlivé návrhové přístupy. V této bakalářské práci se u EC 7-1 počítalo podle návrhového přístupu č.3, ve kterém se na rozdíl od přístupů č. 1 kombinace 1 a přístupu č. 2 parametry smykové pevnosti redukuje. Redukce parametrů (úhel vnitřního tření a soudržnost) jsou také dalšími odlišnostmi od výpočtu podle stupně bezpečnosti, kde se parametry neredukují. Parametry můžeme redukovat pouze v mezních stavech u klasické metody, ale toto řešení není předmětem bakalářské práce.

Návrhové přístupy	ODF
DA - 1-1	F/1,35
DA - 2	F/1,485
DA - 1-2 a DA - 3	F

Tabulka 4 – Bezpečnost navíc ODF

K závěrečnému zhodnocení výsledků stability svahu dle stupně bezpečnosti a EC 7-1 byly použity dvě nejpoužívanější metody Bishop a Petterson. Jelikož každý z přístupů má jinou interpretaci výsledku, musel se porovnávat vždy poměr vzdorujícího a sesouvajícího momentu (tab. 4-2 a 4-3). Oba momenty byly získány z výpočtu stability svahu v programu GEO 5. Jedině z těchto údajů se dá objektivně porovnat stupeň bezpečnosti a EC 7-1. Pokud se počítá stabilita svahu dle stupně bezpečnosti, jsou výsledky více na straně bezpečnosti než u přístupu dle EC 7-1. Toto lze nejlépe pozorovat u metody Petterson, kdy v případě výpočtu dle stupně bezpečnosti stabilita svahu nevyhovuje, ale pokud se ten samý svah počítá dle EC 7-1 je výsledkem, že svah vyhovuje. Pokud stabilitu svahu počítáme pomocí metody Bishop, vychází svah vždy jako stabilní, ale i zde je vidět značný rozdíl mezi poměrem momentů u obou přístupů. Obecně lze říct, že čím bude větší poměr mezi vzdorujícím a sesouvajícím momentem tím bude stabilita svahu větší.

Stupeň bezpečnosti			
Metoda	Momenty		Mp/Ma
Bishop	sesouvající moment Ma[kN/m]	30796,59	1,523956
	vzdorující moment Mp[kN/m]	46932,66	
Petterson	sesouvající moment Ma[kN/m]	30107,94	1,411166
	vzdorující moment Mp[kN/m]	42487,29	

Tabulka 4-2 – Velikost a poměr momentů – stupeň bezpečnosti

EC 7-1			
Metoda	Momenty		Mp/Ma
Bishop	sesouvající moment Ma[kN/m]	31444,38	1,208047
	vzdorující moment Mp[kN/m]	37986,29	
Petterson	sesouvající moment Ma[kN/m]	30741,19	1,116745
	vzdorující moment Mp[kN/m]	34330,07	

Tabulka 4-3 – Velikost a poměr momentů – EC 7-1

Z hlediska porovnání grafů a z hlediska diskuse výsledků, které jsou uvedeny v kapitole 3.3 můžeme dojít k závěru, že při výpočtu podle kruhové smykové plochy a stupně bezpečnosti je z grafu 3.3 jasně patrné, že nejmenší stabilita svahu je u metody Petterson. V případě metod Bishop, Janbu, Spencer a Morgenstern-Price vychází stabilita svahu pokaždé jako vyhovující a výsledné stupně bezpečnosti se u těchto metod nijak zásadně neliší. U polygonální smykové plochy můžeme z grafu 3.3-2 považovat za nejpříznivější výsledek metodu Sarma z důvodu nejvyšší hodnoty stupně bezpečnosti. Stabilita svahu u metod Spencer, Janbu, Morgenstern-Price vychází vždy jako vyhovující, ale je zde vidět postupný úbytek stupně bezpečnosti.

U přístupu EC 7-1 jsou výsledky na rozdíl od stupně bezpečnosti udávány v procentech a platí, že čím vyšší číslo získáme, tím je svah více využit a tím méně dokáže vzdorovat negativně působícím silám. Z grafu 3.3-3, který nám znázorňuje kruhovou smykovou plochu lze usoudit, že metodou s nejvyšším procentuální využití svahu je metoda Petterson. Výsledek této metody je tudíž nejhorší ze všech zkoušených metod a je zde možné pozorovat stejný závěr jako v případě přístupu dle stupně bezpečnosti. Dále můžeme pomocí grafu 3.3-4 určit jako nejlepší metodu Sarma, protože má oproti ostatním metodám (Spencer, Janbu, Morgenstern-Price) nejmenší procentuální využití svahu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Šimek, J., Jesenák, J., Eichler, J., Vaníček, I.: Mechanika zemin, SNTL Praha, 1990
- [2] ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
- [3] Geologie – VŠB – Technická univerzita Ostrava [on-line] [cit. 2011-05-24]. Modelování stability svahů. Dostupné z WWW: <<http://www.geologie.vsb.cz/svafef>>
- [4] Lamboj, L., Pruška, J.: Časopis Geotechnika 4/2005. Stanovení charakteristické a návrhové hodnoty geotechnických parametrů a únosnosti základové půdy pod plošným základem podle EN 1997-1 (EC 7-1)
- [5] Česká Geotechnická Společnost [on-line] 2006 [cit. 2011-05-24]. Přístup České republiky k EC 7-1. Dostupné z WWW: <[http://www.cgts.cz/4e\\_journal\\_documents/czech%20approach.pdf](http://www.cgts.cz/4e_journal_documents/czech%20approach.pdf)>
- [6] Projekt: Obnovení provozuschopnosti trati Liberec – Černousy v úseku Liberec Frýdlant, firma Ing. Ivan Šír, Projektování dopravních staveb a.s.
- [7] GEO 5 – software od firmy FINE, učební texty k softwaru a nápověda
- [8] Eurocód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.3 – Postup stanovení návrhových hodnot.....	13
Obr. 3.1 – Ortofotomapa řešeného místa.....	16
Obr. 3.1-2 – Geologická mapa řešeného místa.....	16
Obr. 3.1-3 – Sesuvu SO4 – foto Ing. Ivan Šír, Projektování dopravních staveb a.s.....	18
Obr. 3.2 – Pettersonova metoda.....	20
Obr. 3.2-2 – Bishopova metoda.....	21
Obr. 3.2-3 – Polygonální smyková plocha – statické schéma bloku.....	22
Obr. 3.2.1 – Rozhraní.....	24
Obr. 3.2.1-2 – Volba smykové plochy.....	25
Obr. 3.2.1-3 – Metody výpočtu v závislosti na volbě smykové plochy.....	26
Obr. 3.2.1-4 – Samotný výpočet.....	26



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1.1 – Nejmenší požadovaný stupeň bezpečnosti – zářez.....	10
Tabulka 2.1.1-2 – Nejmenší požadovaný stupeň bezpečnosti – násyp.....	10
Tabulka 2.3 – Návrhové přístupy.....	14
Tabulka 3.1 – Parametry zemin.....	17
Tabulka 3.2 – Nejčastěji používané metody řešení stability svahu.....	19
Tabulka 3.2-3 – Součinitelé redukce zatížení.....	23
Tabulka 3.2.1 – Rozhraní a zeminy.....	25
Tabulka 3.2.1-2 – Parametry zemin.....	25
Tabulka 3.3 – Výsledky podle stupně bezpečnosti.....	27
Tabulka 3.3-2 – Výsledky podle EC 7-1.....	28
Tabulka 4 – Bezpečnost navíc ODF.....	29
Tabulka 4-2 – Velikost a poměr momentů – stupeň bezpečnosti.....	30
Tabulka 4-3 – Velikost a poměr momentů – EC 7-1.....	30

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 3.3 – Kruhové smyková plocha – stupeň bezpečnosti.....	27
Graf 3.3-2 – Polygonální smyková plocha – stupeň bezpečnosti.....	27
Graf 3.3-3 – Kruhové smyková plocha – EC 7-1.....	28
Graf 3.3-4 – Polygonální smyková plocha – EC 7-1.....	28

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$H_{krit}$	kritická výška svahu
$\beta$	sklon svahu
$\gamma$	objemová tíha zeminy
$c$	( $c_{ef}$ , $c_u$ ) soudržnost zeminy (efektivní, totální)
$\varphi$	( $\varphi_{ef}$ , $\varphi_u$ ) úhel vnitřního tření (efektivní, totální)
$\gamma_F$	dílčí součinitel zatížení
$\gamma_{c'}$	dílčí součinitel efektivní soudržnosti
$\gamma_{\varphi'}$	dílčí součinitel úhlu smykového tření
$\gamma_{qu}$	dílčí součinitel jednoosého tlaku
$\gamma_{R,e}$	dílčí součinitel únosnosti zemního prostředí
$R$	odolnost
$E$	účinek zatížení
$F$	stupeň bezpečnosti
$L$	celková délka výseče smykové kružnice
$N$	normálová složka tíhy $G$
$W$	tíha proužku v těžišti
$\alpha$	sklon úseku smykové plochy
$T$	tečná složka tíhy $G$
$b$	šířka proužku
$S$	střed kružnice
$x$	vodorovná vzdálenost osy proužku od středu kružnice
$r$	poloměr kružnice
$X_i$	smykové síly mezi bloky
$E_i$	normálové síly mezi bloky
$T_i$	smykové síly na úsecích smykové plochy
$N_i$	normálové síly na úsecích smykové plochy
$W_i$	tíha jednotlivých bloků
$\alpha_i$	sklon úseku smykové plochy
$b_i$	šířka bloku
$l_i$	délka úseku smykové plochy
$z_i$ a $l_i$	polohy působišť sil
$K_h$	faktor vodorovného zrychlení

$\gamma_G$	dílčí součinitel stálého zatížení
$\gamma_Q$	dílčí součinitel proměnného zatížení
$V_u$	hodnota využití
$M_{kl}$	klopící moment
$M_{vzd}$	vzdorující moment
$\gamma_{RS}$	součinitel redukce odporu na smykové ploše
FS	stupeň bezpečnosti na překlopení
$\gamma_S$	součinitel celkové stability konstrukce
ODF	bezpečnost navíc
$M_p$	vzdorující moment
$M_a$	sesouvající moment
$\gamma_{sat}$	Obj.tíha sat.zeminy
$F_a$	Sumace aktivních sil
$F_p$	Sumace pasivních sil $\gamma_\phi$
$\gamma_\phi$	Součinitel redukce úhlu vnitřního tření
$\gamma_c$	Součinitel redukce efektivní soudržnosti
$\gamma_{cu}$	Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1 – Souhrn výsledků

Příloha č. 2 – Příčný řez řešeného místa M 1:50

## Výpočet stability svahu

### Vstupní data

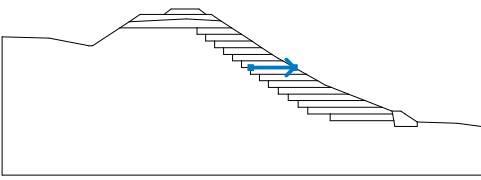
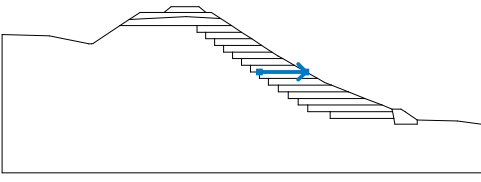
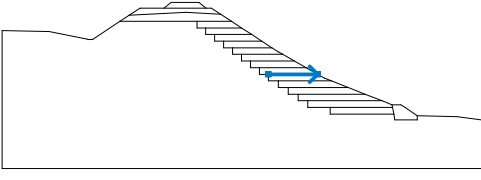
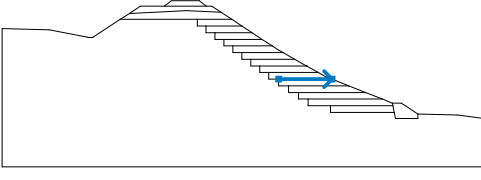
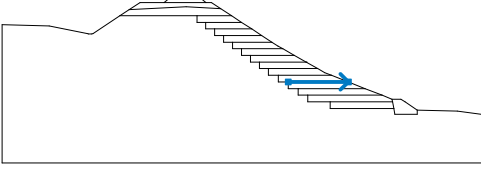
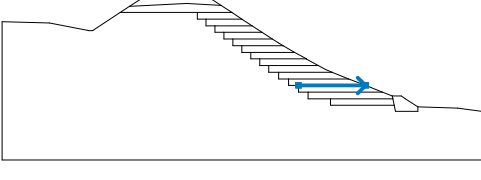

#### Projekt

Datum : 5/11/2011

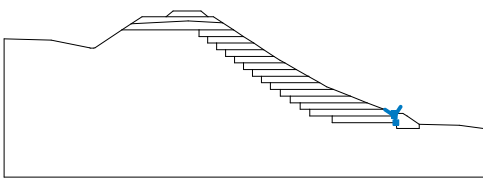
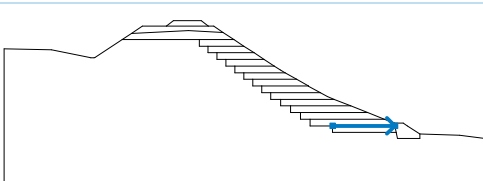
#### Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		22.13	1.52	22.92	2.15	26.05	2.15
		26.84	1.52				
2		4.03	-1.01	9.30	-1.15	13.58	-2.00
		13.71	-2.04	14.06	-2.04	14.19	-2.00
		17.22	0.02	18.24	0.70	19.47	1.52
		22.13	1.52	26.84	1.52	27.44	1.52
		28.48	0.82	29.69	0.02	30.81	-0.73
		31.94	-1.48	33.06	-2.23	34.19	-2.98
		34.86	-3.43	35.39	-3.73	36.70	-4.48
		38.02	-5.23	38.03	-5.24	39.33	-5.98
		40.11	-6.43	40.87	-6.73	42.74	-7.48
		44.62	-8.23	46.49	-8.98	47.61	-9.43
3		18.24	0.70	24.62	1.02	28.48	0.82
4		25.81	0.02	29.69	0.02		

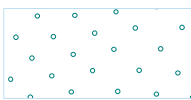
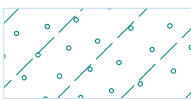
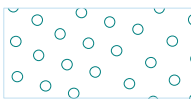
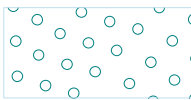
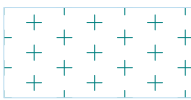
Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
5		17.22	0.02	25.81	0.02	25.81	-0.73
		26.81	-0.73	26.81	-1.48	27.81	-1.48
		27.81	-2.23	28.81	-2.23	28.81	-2.98
		29.81	-2.98	29.81	-3.73	30.81	-3.73
		30.81	-4.48	31.81	-4.48	31.81	-5.23
		32.81	-5.23	32.81	-5.98	33.81	-5.98
		33.81	-6.73	34.91	-6.73	34.91	-7.48
		36.01	-7.48	36.01	-8.23	37.11	-8.23
		37.11	-8.98	38.21	-8.98	38.21	-9.73
		40.71	-9.73	40.71	-10.48	47.82	-
		47.95	-11.16	50.45	-11.16	50.45	-
6		26.81	-0.73	30.81	-0.73		
7		27.81	-1.48	31.94	-1.48		
8		28.81	-2.23	33.06	-2.23		
9		29.81	-2.98	34.19	-2.98		
10		30.81	-3.73	35.39	-3.73		

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
11		31.81	-4.48	36.70	-4.48		
12		32.81	-5.23	38.02	-5.23		
13		33.81	-5.98	39.33	-5.98		
14		34.91	-6.73	40.87	-6.73		
15		36.01	-7.48	42.74	-7.48		
16		37.11	-8.23	44.62	-8.23		
17		38.21	-8.98	46.49	-8.98		

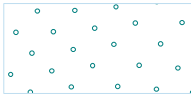
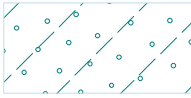
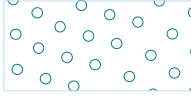




Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
18		47.61	-9.43	47.67	-9.73	47.82	-
19		40.71	-9.73	47.67	-9.73		

### Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	$\phi_{ef}$ [°]	$c_{ef}$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]
1	Třída S1, ulehlá		39.50	0.00	20.00
2	Třída S4		29.00	5.00	18.00
3	Třída G1, ulehlá		41.50	0.00	21.00
4	Třída G3, ulehlá		35.50	0.00	19.00
5	žula		70.00	150.00	26.50

### Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	$\gamma_{sat}$	$\gamma_s$	n
			[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]
1	Třída S1, ulehlá		20.00		
2	Třída S4		20.00		
3	Třída G1, ulehlá		21.00		
4	Třída G3, ulehlá		21.00		
5	žula		26.50		

### Parametry zemin

#### Třída S1, ulehlá

Objemová tíha :  $\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$

Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 39.50^\circ$

Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0.00 \text{ kPa}$

Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

#### Třída S4

Objemová tíha :  $\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$

Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 29.00^\circ$

Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 5.00 \text{ kPa}$

Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

### Třída G1, ulehlá

Objemová tíha :  $\gamma = 21.00 \text{ kN/m}^3$

Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 41.50^\circ$

Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0.00 \text{ kPa}$

Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 21.00 \text{ kN/m}^3$

### Třída G3, ulehlá

Objemová tíha :  $\gamma = 19.00 \text{ kN/m}^3$

Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 35.50^\circ$

Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 0.00 \text{ kPa}$

Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 21.00 \text{ kN/m}^3$

### žula

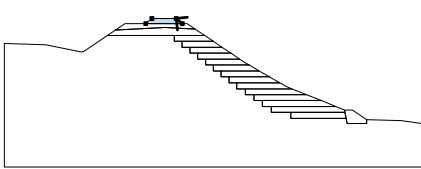
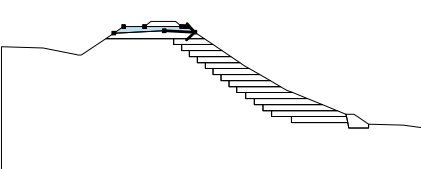
Objemová tíha :  $\gamma = 26.50 \text{ kN/m}^3$

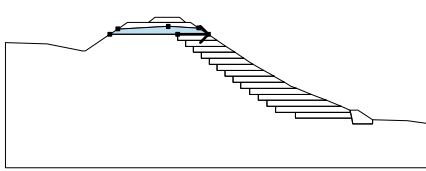
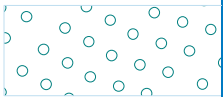
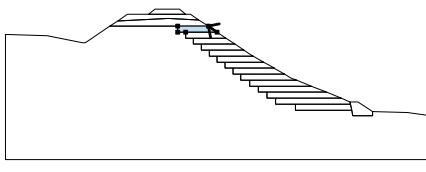

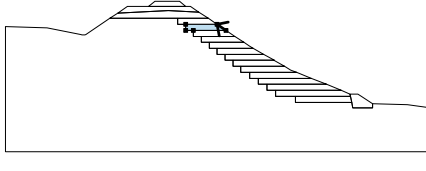

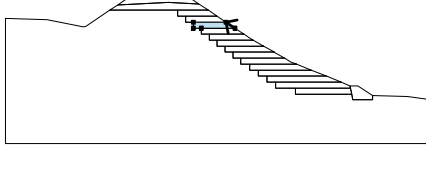

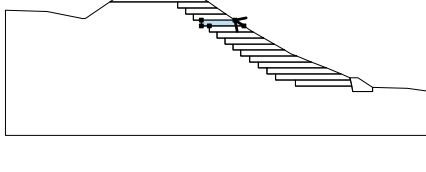

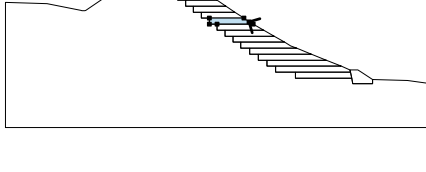

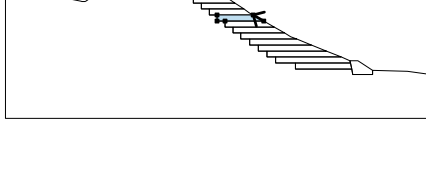

Úhel vnitřního tření :  $\varphi_{ef} = 70.00^\circ$

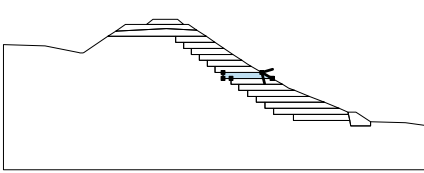
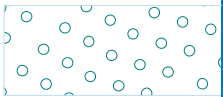
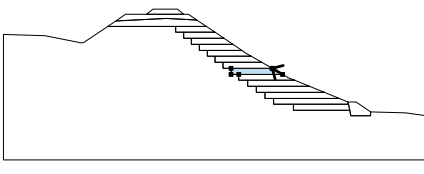

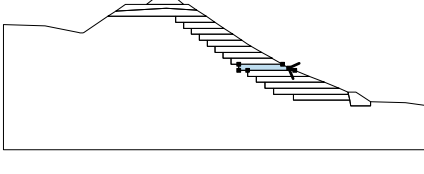
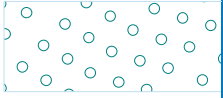
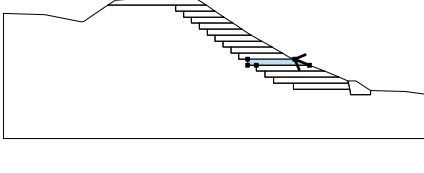

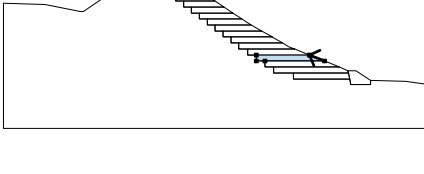





Soudržnost zeminy :  $c_{ef} = 150.00 \text{ kPa}$

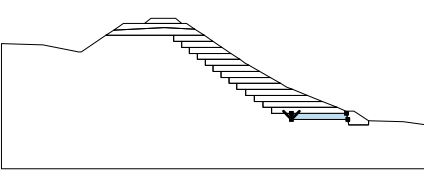
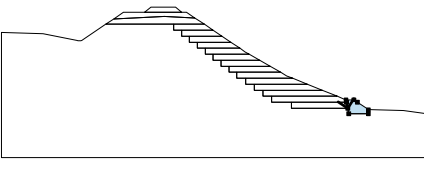
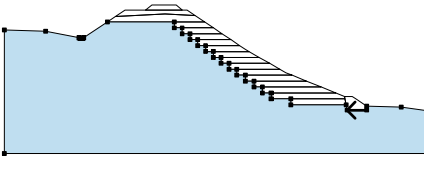
Obj.tíha sat.zeminy :  $\gamma_{sat} = 26.50 \text{ kN/m}^3$

### Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		26.84	1.52	26.05	2.15	Třída G1, ulehlá
		22.92	2.15	22.13	1.52	
2		24.62	1.02	28.48	0.82	Třída S1, ulehlá
		27.44	1.52	26.84	1.52	
		22.13	1.52	19.47	1.52	
		18.24	0.70			

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
3		25.81	0.02	29.69	0.02	Třída G3, ulehlá 
		28.48	0.82	24.62	1.02	
		18.24	0.70	17.22	0.02	
4		30.81	-0.73	29.69	0.02	Třída G3, ulehlá 
		25.81	0.02	25.81	-0.73	
		26.81	-0.73			
5		31.94	-1.48	30.81	-0.73	Třída G3, ulehlá 
		26.81	-0.73	26.81	-1.48	
		27.81	-1.48			
6		33.06	-2.23	31.94	-1.48	Třída G3, ulehlá 
		27.81	-1.48	27.81	-2.23	
		28.81	-2.23			
7		34.19	-2.98	33.06	-2.23	Třída G3, ulehlá 
		28.81	-2.23	28.81	-2.98	
		29.81	-2.98			
8		35.39	-3.73	34.86	-3.43	Třída G3, ulehlá 
		34.19	-2.98	29.81	-2.98	
		29.81	-3.73	30.81	-3.73	
9		36.70	-4.48	35.39	-3.73	Třída G3, ulehlá 
		30.81	-3.73	30.81	-4.48	
		31.81	-4.48			

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
10		38.02	-5.23	36.70	-4.48	Třída G3, ulehlá 
		31.81	-4.48	31.81	-5.23	
		32.81	-5.23			
11		39.33	-5.98	38.03	-5.24	Třída G3, ulehlá 
		38.02	-5.23	32.81	-5.23	
		32.81	-5.98	33.81	-5.98	
12		40.87	-6.73	40.11	-6.43	Třída G3, ulehlá 
		39.33	-5.98	33.81	-5.98	
		33.81	-6.73	34.91	-6.73	
13		42.74	-7.48	40.87	-6.73	Třída G3, ulehlá 
		34.91	-6.73	34.91	-7.48	
		36.01	-7.48			
14		44.62	-8.23	42.74	-7.48	Třída G3, ulehlá 
		36.01	-7.48	36.01	-8.23	
		37.11	-8.23			
15		46.49	-8.98	44.62	-8.23	Třída G3, ulehlá 
		37.11	-8.23	37.11	-8.98	
		38.21	-8.98			
16		47.67	-9.73	47.61	-9.43	Třída G3, ulehlá 
		46.49	-8.98	38.21	-8.98	
		38.21	-9.73	40.71	-9.73	

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
17		40.71	-9.73	40.71	-10.48	Třída G3, ulehlá
		47.82	-10.48	47.67	-9.73	
18		47.67	-9.73	47.82	-10.48	žula
		47.95	-11.16	50.45	-11.16	
		50.45	-10.66	49.06	-9.73	
		48.61	-9.43	47.61	-9.43	
19		50.45	-11.16	47.95	-11.16	Třída S4
		47.82	-10.48	40.71	-10.48	
		40.71	-9.73	38.21	-9.73	
		38.21	-8.98	37.11	-8.98	
		37.11	-8.23	36.01	-8.23	
		36.01	-7.48	34.91	-7.48	
		34.91	-6.73	33.81	-6.73	
		33.81	-5.98	32.81	-5.98	
		32.81	-5.23	31.81	-5.23	
		31.81	-4.48	30.81	-4.48	
		30.81	-3.73	29.81	-3.73	
		29.81	-2.98	28.81	-2.98	
		28.81	-2.23	27.81	-2.23	
		27.81	-1.48	26.81	-1.48	
		26.81	-0.73	25.81	-0.73	
		25.81	0.02	17.22	0.02	
		14.19	-2.00	14.06	-2.04	
13.71	-2.04	13.58	-2.00			
9.30	-1.15	4.03	-1.01			
4.03	-16.65	61.35	-16.65			
61.35	-11.65	54.89	-10.78			
50.45	-10.66					

Výztuhy

Číslo	Bod vlevo		Bod vpravo		Délka	Pevnost	Ún. na vytrž.
	x [m]	z [m]	x [m]	z [m]	L [m]	R <sub>t</sub> [kN/m]	
1	18.24	0.70	24.62	1.02	6.39	16.00	C = 0.80
2	24.62	1.02	28.47	0.82	3.86	16.00	C = 0.80

### Přítížení

Číslo	Typ	Působení	Umístění	Počátek	Délka	Šířka	Sklon	Velikost		
			z [m]	x [m]	l [m]	b [m]		$\alpha$ [°]	q, q <sub>1</sub> , f, F	q <sub>2</sub>
1	pásové	stálé	na povrchu	x = 23.87	l = 1.50		0.00	50.00		kN/m <sup>2</sup>

### Názvy přítížení

Číslo	Název
1	železniční doprava

### Voda

Typ vody : Voda není

### Tahová trhлина

Tahová trhлина není zadána.

### Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

### Výpočet stability svahu

#### Vstupní data

#### Celkové nastavení výpočtu

Typ výpočtu : v efektivních parametrech

#### Nastavení výpočtu fáze

Metodika posouzení : klasický výpočet

Nastavení výpočtu : Česká republika

Typ výpočtu : Stupeň bezpečnosti

Stupeň bezpečnosti : 1.50

## Výsledky (Fáze budování 1)

### Výpočet 1

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy							
Střed :	x =	49.28	[m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-50.97	[°]
	z =	23.56	[m]		$\alpha_2 =$	10.35	[°]
Poloměr :	R =	35.00	[m]				
Smyková plocha po optimalizaci.							

#### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1 16.00

2 0.00

#### Posouzení stability svahu (Bishop)

Sumace aktivních sil :  $F_a = 879.90$  kN/m

Sumace pasivních sil :  $F_p = 1340.93$  kN/m

Moment sesouvající :  $M_a = 30796.59$  kNm/m

Moment vzdorující :  $M_p = 46932.66$  kNm/m

Stupeň bezpečnosti = 1.52 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 2

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy							
Střed :	x =	48.71	[m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-51.85	[°]
	z =	22.41	[m]		$\alpha_2 =$	10.85	[°]
Poloměr :	R =	33.82	[m]				



Parametry smykové plochy	
Smyková plocha po optimalizaci.	

### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1 16.00

2 0.00

### Posouzení stability svahu (Peterson)

Sumace aktivních sil :  $F_a = 890.24$  kN/m

Sumace pasivních sil :  $F_p = 1256.28$  kN/m

Moment sesouvající :  $M_a = 30107.94$  kNm/m

Moment vzdorující :  $M_p = 42487.29$  kNm/m

Stupeň bezpečnosti = 1.41 < 1.50

**Stabilita svahu NEVYHOVUJE**

### Výpočet 3

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy							
Střed :	x =	49.33	[m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-50.77	[°]
	z =	23.73	[m]		$\alpha_2 =$	10.01	[°]
Poloměr :	R =	35.12	[m]				
Smyková plocha po optimalizaci.							

### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1 16.00

2 0.00

### Posouzení stability svahu (Spencer)

Stupeň bezpečnosti = 1.53 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 4

#### Kruhá smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	49.33	[m]	Úhly :	$\alpha_1 = -50.77$ [°]
	z =	23.73	[m]		$\alpha_2 = 10.01$ [°]
Poloměr :	R =	35.12	[m]		
Smyková plocha po optimalizaci.					

#### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Janbu)

Stupeň bezpečnosti = 1.53 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 5

#### Kruhá smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	49.33	[m]	Úhly :	$\alpha_1 = -50.77$ [°]
	z =	23.73	[m]		$\alpha_2 = 10.01$ [°]
Poloměr :	R =	35.12	[m]		
Smyková plocha po optimalizaci.					

### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Morgenstern-Price)

Stupeň bezpečnosti = 1.53 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 6

#### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.19	1.33	22.33	1.37	38.13	-10.27	50.58	-11.52	52.92	-10.75
52.99	-10.73								
Smyková plocha po optimalizaci.									

### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 1.59 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

## Výpočet 7

### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.25	1.37	22.65	1.43	29.39	-5.41	40.55	-10.69	50.22	-11.43
52.20	-10.71								
Smyková plocha po optimalizaci.									

### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Spencer)

Stupeň bezpečnosti = 1.54 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

## Výpočet 8

### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.25	1.37	22.77	1.37	29.53	-5.49	40.99	-10.69	50.22	-11.43
51.44	-10.69								
Smyková plocha po optimalizaci.									

### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Janbu)

Stupeň bezpečnosti = 1.52 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 9

#### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.25	1.37	22.96	1.37	29.53	-5.49	40.99	-10.69	50.22	-11.43
51.44	-10.69								
Smyková plocha po optimalizaci.									

#### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1 16.00

2 0.00

### Posouzení stability svahu (Morgenstern-Price)

Stupeň bezpečnosti = 1.52 > 1.50

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet stability svahu

#### Vstupní data

#### Celkové nastavení výpočtu

Typ výpočtu : v efektivních parametrech

#### Nastavení výpočtu fáze

Metodika posouzení : výpočet podle EN 1997

Zadání koeficientů : Standard

Návrhový přístup : 3 - redukce zatížení GEO, STR a materiálu

Návrhová situace : trvalá

Součinitelé redukce zatížení (F)	Souč.	Stav STR [-]		Stav GEO [-]	
		Nepříznivé	Příznivé	Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení	$\gamma_G$	1.35	1.00	1.00	1.00
Proměnné zatížení	$\gamma_Q$	1.50	0.00	1.30	0.00
Zatížení vodou	$\gamma_w$			1.00	
Součinitelé redukce materiálu (M)				Souč.	[-]
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření				$\gamma_\phi$	1.25
Součinitel redukce efektivní soudržnosti				$\gamma_c$	1.25
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti				$\gamma_{cu}$	1.40

## Výsledky (Fáze budování 1)

### Výpočet 1

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	49.28 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-50.97 [°]
	z =	23.56[m]		$\alpha_2 =$	10.35 [°]
Poloměr :	R =	35.00 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

#### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Bishop)

Sumace aktivních sil :  $F_a = 898.41$  kN/m

Sumace pasivních sil :  $F_p = 1085.32$  kN/m

Moment sesouvající :  $M_a = 31444.38$  kNm/m

Moment vzdorující :  $M_p = 37986.29$  kNm/m

Využití : 82.8 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 2

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	48.71	[m]	Úhly :	$\alpha_1 = -51.85$ [°]
	z =	22.41	[m]		$\alpha_2 = 10.85$ [°]
Poloměr :	R =	33.82	[m]		
Smyková plocha po optimalizaci.					

#### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1 16.00

2 0.00

### Posouzení stability svahu (Peterson)

Sumace aktivních sil :  $F_a = 908.96$  kN/m

Sumace pasivních sil :  $F_p = 1015.08$  kN/m

Moment sesouvající :  $M_a = 30741.19$  kNm/m

Moment vzdorující :  $M_p = 34330.07$  kNm/m

Využití : 89.5 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 3

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy							
Střed :	x =	49.33	[m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-50.77	[°]
	z =	23.73	[m]		$\alpha_2 =$	10.01	[°]
Poloměr :	R =	35.12	[m]				
Smyková plocha po optimalizaci.							

#### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

#### Posouzení stability svahu (Spencer)

Využití : 82.8 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 4

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy							
Střed :	x =	49.33	[m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-50.77	[°]
	z =	23.73	[m]		$\alpha_2 =$	10.01	[°]
Poloměr :	R =	35.12	[m]				
Smyková plocha po optimalizaci.							



### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Janbu)

Využití : 82.7 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 5

#### Kruhová smyková plocha

Parametry smykové plochy					
Střed :	x =	49.33 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-50.77 [°]
	z =	23.73[m]		$\alpha_2 =$	10.01 [°]
Poloměr :	R =	35.12 [m]			
Smyková plocha po optimalizaci.					

### Síly ve výztuhách

Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Morgenstern-Price)

Využití : 82.7 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

## Výpočet 6

### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.19	1.33	22.33	1.37	38.13	-10.27	50.58	-11.52	52.92	-10.75
52.99	-10.73								
Smyková plocha po optimalizaci.									

### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Sarma)

Využití : 78.7 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

## Výpočet 7

### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.25	1.37	22.73	1.43	29.34	-5.41	40.55	-10.69	50.22	-11.43
52.20	-10.71								
Smyková plocha po optimalizaci.									

### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Spencer)

Využití : 82.2 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 8

#### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.25	1.37	22.77	1.37	29.53	-5.49	40.99	-10.69	50.22	-11.43
51.44	-10.69								
Smyková plocha po optimalizaci.									

#### Síly ve výztuhách

Výztuha Síla [kN/m]

1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Janbu)

Využití : 83.2 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

### Výpočet 9

#### Polygonální smyková plocha

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
19.25	1.37	22.96	1.37	29.53	-5.49	40.99	-10.69	50.22	-11.43
51.44	-10.69								
Smyková plocha po optimalizaci.									

### Síly ve výztuhách

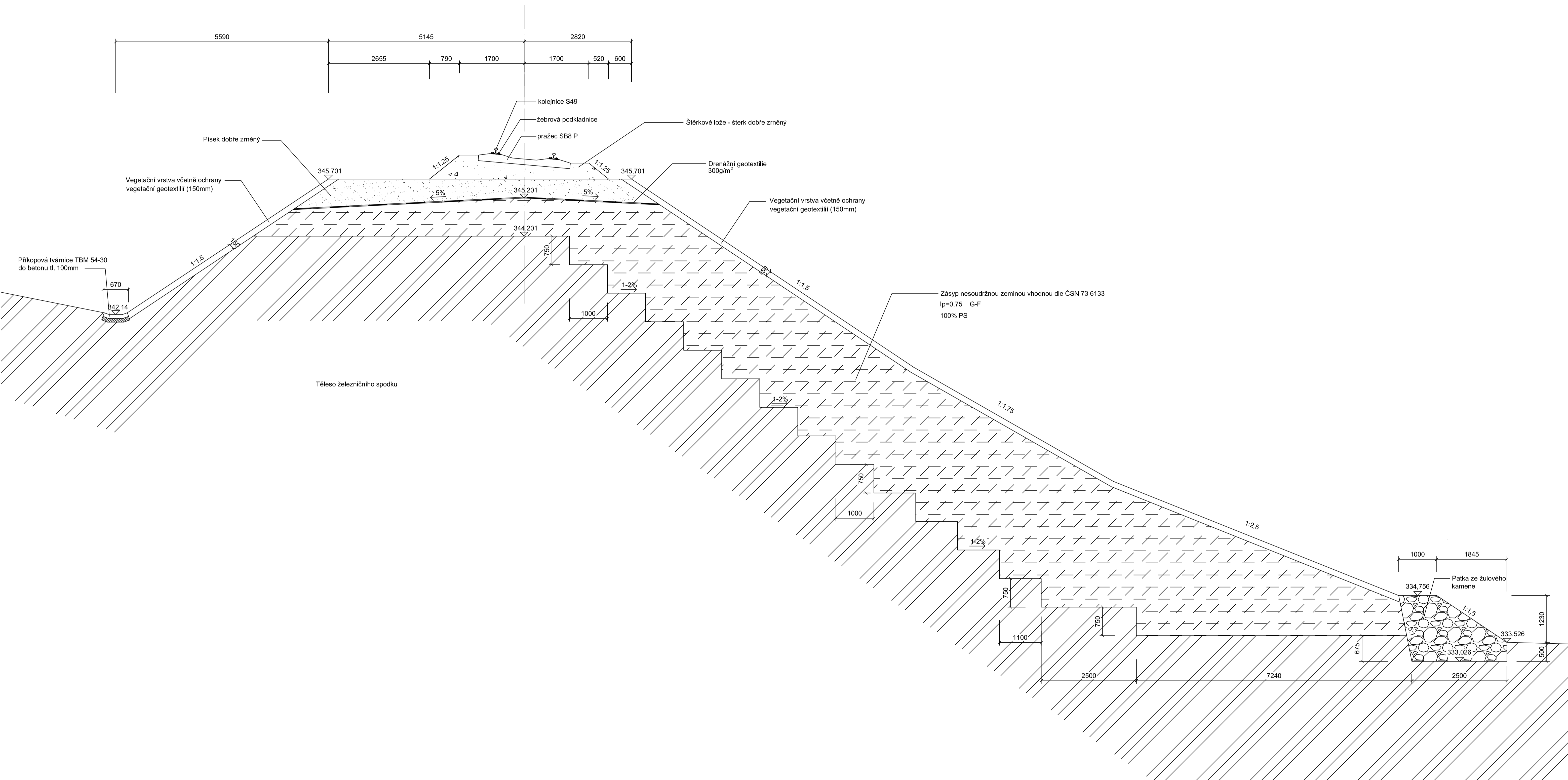
Výztuha	Síla [kN/m]
1	16.00
2	0.00

### Posouzení stability svahu (Morgenstern-Price)

Využití : 83.3 %

**Stabilita svahu VYHOVUJE**

PŘÍČNÝ ŘEZ ŘEŠENÉHO MÍSTA - km 182,115 - 182,147 M 1:50  
 LOKALITA RASPENAVA



Akce: OBNOVENÍ PROVOZUSCHOPNOSTI TRATI LIBEREC - ČERNOUSY V ÚSEKU LIBEREC - FRYDLANT	Měřítko: 1:50	Podklad pro příčný řez od: Ing. Ivan Šír Projektování dopravních staveb a.s.
Příloha: PŘÍČNÝ ŘEZ ŘEŠENÉHO MÍSTA	Příloha č. 2	Kreslil: Daniel Holas