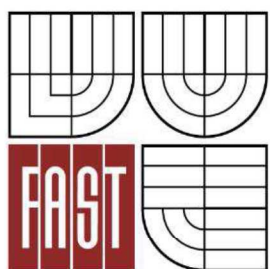




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING**  
**INSTITUTE OF GEOTECHNICS**

# **POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ**

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF ROCK WALLS AND DESIGN OF REMEDIAL MEASURES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. JANA NEVŘALOVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.**

BRNO 2015



# 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. Jana Nevřalová
<b>Název</b>	Posouzení stability skalní stěny a návrh sanačních opatření
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

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

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

### **Podklady a literatura**

Budou předány vedoucím diplomové práce zvlášť.

### **Zásady pro vypracování**

V Dolních Kounicích na ul. Rybárna se za řadovou zástavbou starých rodinných domků nachází vysoká skalní stěna bývalého lomu. Její stav není utěšený. Tématem diplomové práce je posoudit její stabilitu a navrhnout opatření pro její sanaci.

### **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Práce se zaměřuje na zhodnocení skalního svahu včetně statického posouzení a odhadu finanční náročnosti. Statické posouzení je provedeno ručně a v programu GEO 5. Návrh sanačních opatření je proveden v 6-ti kombinacích z nichž je jedna vybrána a zpracována do podoby projektové dokumentace.

**Klíčová slova**

Skalní svah, charakteristika lokality, vlastnosti horniny, sanace svahu, stabilita skalní stěny, postup výstavby.

**Abstract**

The work aims to evaluate rock slope including static assessment and to estimate the financial cost. Static analysis is done manually and the program GEO 5. The proposal remediation is performed in 6 combinations of which one is selected and processed into project documentation.

**Keywords**

Rock slope, site characteristics, rock properties, remediation slope, stability of rock walls, process of construction.



### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Jana Nevřalová *Posouzení stability skalní stěny a návrh sanačních opatření*. Brno, 2014. 75 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 5.1.2015

.....  
podpis autora  
Bc. Jana Nevřalová

Chci poděkovat svým rodičům a příteli za podporu při studiích. Dále bych ráda poděkovala doc. Ing. Vladislavu Horákovi, CSc. za podklady, rady a čas, který mi věnoval.



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### **OBSAH**

1	ÚVOD .....	9
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	11
2.1	Charakteristika lokality .....	11
2.1.1	Geografie lokality .....	11
2.1.2	Historie lokality .....	11
2.1.3	Geomorfologické zařazení .....	14
2.1.4	Inženýrsko-geologické poměry .....	15
2.1.5	Hydrogeologické poměry .....	17
2.1.6	Geotechnické vlastnosti .....	17
2.2	Zhodnocení diskontinuit .....	18
3	MOŽNÁ OPATŘENÍ .....	19
3.1	Varianty opatření .....	19
3.1.1	Kombinace 1 - Očištění svahu a odstranění osypového kužele .....	25
3.1.2	Kombinace 2 – Instalace ochranné sítě a gabionové konstrukce .....	27
3.1.3	Kombinace 3 - Instalace ochranné sítě a vyztužené zemní konstrukce .....	30
3.1.4	Kombinace 4 - Instalace ochranné sítě a dynamické bariéry .....	33
3.1.5	Kombinace 5 - Aplikace stříkaného betonu a gabionové konstrukce .....	36
3.1.6	Kombinace 6 - Očištění svahu a instalace dynamické bariéry .....	39
3.1.7	Souhrn variant .....	41
4	STATICKÉ POSOUZENÍ .....	42
4.1	Stabilita skalních stěn .....	42
4.1.1	Porušení smykem .....	43
4.1.2	Porušení odtržením .....	44
4.1.3	Porušení překlopením .....	45
4.1.4	Plochy diskontinuit jsou spojitě a vycházejí ze stěny .....	45
4.1.5	Plochy diskontinuit jsou nespojitě a zapadající do masívu .....	47
4.1.6	Prostorový horninový klín .....	47
4.1.7	Výpočet stability skalní stěny .....	48
4.2	Posouzení stability svahu v GEO5 .....	54
5	PROJEKT SANACE .....	57
5.1	Technická zpráva .....	58
5.1.1	Postup výstavby .....	58



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

5.1.2	Materiály použité pro stavbu .....	59
5.1.3	Bezpečnostní předpisy .....	59
5.2	Koordinační situace stavby .....	61
5.3	Podrobná situace stavby .....	62
5.4	Příčný řez 1-1' .....	63
5.5	Příčný řez 2-2' .....	64
5.6	Příčný řez 3-3' .....	65
5.7	Čelní pohled .....	66
5.1	Náklady stavby .....	67
6	ZÁVĚR .....	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....		69
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....		71
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK .....		73
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....		74



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

# 1 ÚVOD

Složitost, ale zároveň krása a jedinečnost posuzování skalních svahů je v jejich rozmanitosti. Každá hornina se ve svém prostředí chová jinak. Když máme to štěstí a dostane se nám do ruky hornina stejného petrografického typu, stejná není. Její vlastnosti a chování ovlivňuje spousta faktorů. Mezi ty patří již zmíněná geologická stavba, dále morfologie bloku, frekvence, typ a stav puklinového systému, vlivy vody, vegetace, klimatické podmínky a mnoho dalších. Aby projektant mohl posuzovat skalní svahy, musí se v nejvyšší míře řídit vlastním úsudkem. Numerických postupů a výpočetních programů pro posuzování skalních svahů mnoho není a ty které jsou k dispozici, je třeba brát s nadhledem, protože je na svědomí projektanta odhadnout změny pod povrchem masívu, které nejsou vidět. Tuto práci ulehčují sondy a průzkumné vrty. I když je jich hodně, nemusí všechny změny objevit. Každý projekt sanace by měl začít geotechnickým průzkumem.

Účelem této práce je provést hodnocení lokality a na základě těchto poznatků vytvořit návrh sanačního opatření v několika různých variantách a ten nejúčelnější návrh rozpracovat do podoby realizační projektové dokumentace. Samotné hodnocení lokality se sestává z inženýrsko-geologického průzkumu. Na základě těchto poznatků budou navržena opatření, která budou složena z několika kombinací možného zabezpečení. Na tyto jednotlivé kombinace bude zpracován odhad finanční náročnosti a z nich bude vybráno nejprospěšnější řešení.

V jiných odvětvích stavební praxe jsou statické výpočty striktně určeny a pro návrh konstrukcí musí být dodrženy. Jejich velkou výhodou je, že lze jednotlivá řešení relativně jednoduše analyticky vyřešit. Tím je myšleno, že jsou podrobně určeny počáteční předpoklady těchto konstrukcí (vstupy), kdy je přesně znám tvar a jsou určeny všechny použité materiály, jejichž vlastnosti a chování je doloženo výrobcem. V odvětví posuzování skalních svahů je tomu jinak. Výpočetní nebo hodnotící postupy jsou pouze doporučené, neboť jich mnoho není a navíc jsou použitelné pouze v některých případech a problematikách. Součástí geotechnického průzkumu je zhodnocení stability skalního svahu na základě diskontinuit čerpaných ze stanoviska



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

České geologické služby. Posouzení je provedeno ručně a s pomocí výpočetních technologií, konkrétně pomocí výukové verze komerčního programu GEO 5.

Cílem této práce je vstoupit do rozsáhlé problematiky posuzování a sanace skalních svahů a uvědomit si, do jaké míry je toho odvětví závislé na vlastním úsudku.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Charakteristika lokality

#### 2.1.1 Geografie lokality

Vybraná lokalita se nachází na ulici Rybárna v Dolních Kounicích na levém břehu řeky Jihlavy. Toto malé moravské město leží cca 25 km jihozápadně od města Brna, náleží Jihomoravskému kraji v bývalém okresu Brno-venkov. Samotným středem města protéká řeka Jihlava. Rozprostření města vůči okolní krajině a umístění stavby je patrné ze situace na *obr. 2.1 a 2.2*. Skalní svah je orientován na jih.

V místě na ulici Rybárna se nachází skalní stěna, která ohrožuje obytnou zástavbu na bezpečnosti i majetku, viz *obr. 2.3*. Jednotlivé stavby charakteru souvislé řadové zástavby byly postaveny na počátku 20. století v těsné blízkosti paty skalní stěny. Z toho důvodu odpadající kameny mají přímou a ničím nerušenou trajektorii na střechy a dvory přilehlých domů. Svah/ stěna je potřeba zabezpečit, aby nedošlo k újmám na zdraví a majetku. Majetkové a situační poměry jsou zakresleny v části *C.2 Koordinační situace*. Samotná skalní stěna je v majetku města. Některé z domů již byly rekonstruovány a není možné je použít pro přístup k patě svahu. K tomuto účelu poslouží právě rekonstruovaný dům na parcele číslo 575 (ulice Rybárna orientační číslo 65).

#### 2.1.2 Historie lokality

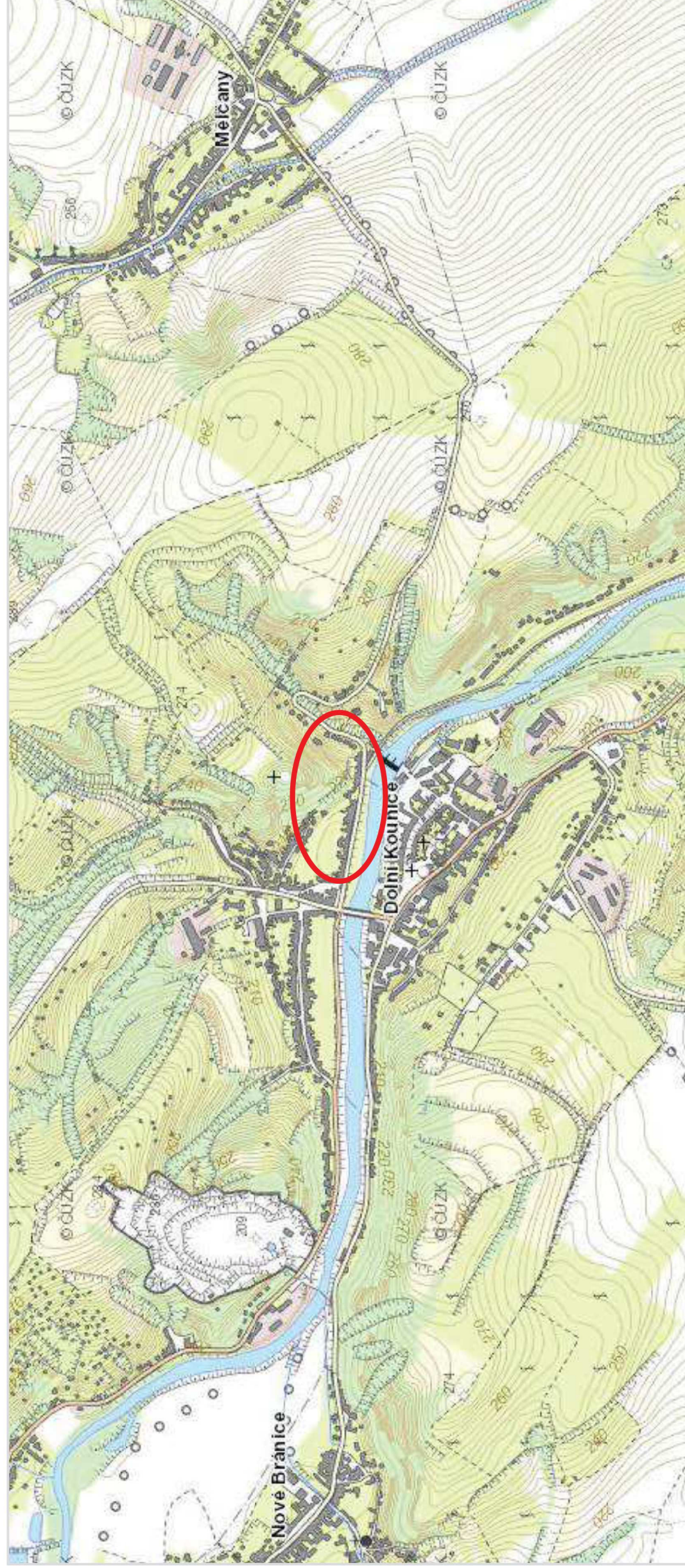
Dolní Kounice jsou vinařskou obcí, která si zakládá na kulturním životě. Je to město s dlouhou historií a velkým počtem historických památek. Jedná se o město, které má v České republice nejvíce historických památek na jednoho obyvatele. I když má město necelých 2,5 tisíce obyvatel, dostalo statut města.

Řešená skalní stěna je pozůstatkem starého uzavřeného lomu. Ten byl opuštěn na přelomu 19. a 20. století. Vzhledem k tomu, že tímto místem vedla pozemní komunikace, vznikla zde typická dělnická zástavba.

Skalní stěna byla z dlouhodobého hlediska opomíjena a zanedbávána. Již dlouhou dobu zde dochází k degradaci horninového materiálu a vytváření osypového kužele v patě svahu.



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 2.1 Výřez z přehledné situace širšího okolí [3]



Obr. 2.2 Panoramatický snímek města [6]



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 2.3 Pohled na skalní stěnu z ulice Rybárna; 2/2013 [20].



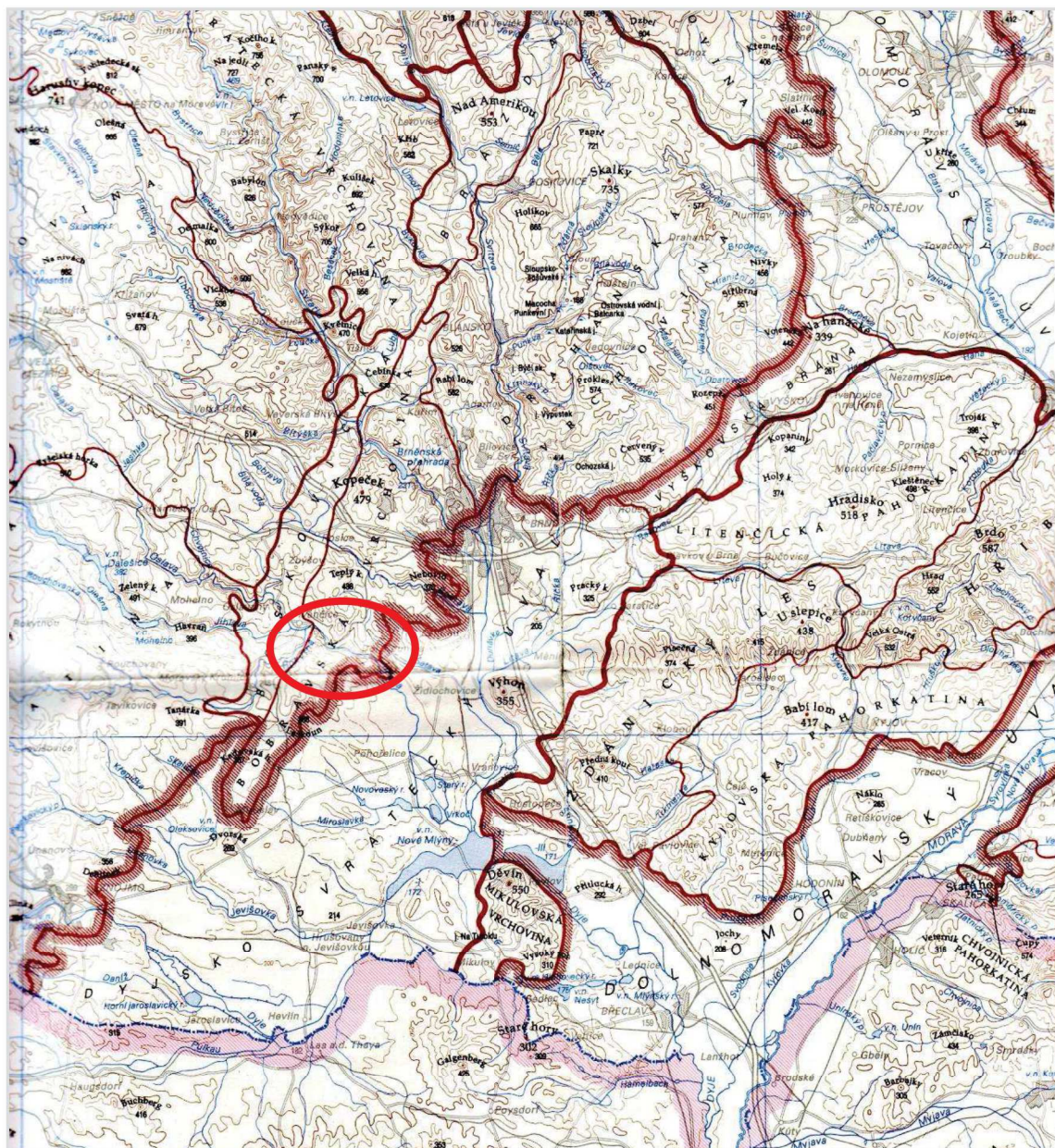
Obr. 2.4 Pohled na skalní stěnu přiléhající k zástavbě; 8/2007 [20].



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 2.1.3 Geomorfologické zařazení

Město Dolní Kounice náleží z regionálně-geologického hlediska do Bobravské vrchoviny. Hranice oblastí Brněnské vrchoviny a Západní vněkarpatské sníženiny je patrna na obr. 2.5. „Vlastní brněnský pluton se skládá ze dvou těles granodioritů oddělených od sebe pásem hornin odlišného složení“ [1].



Obr. 2.5 Výřez z mapy geomorfologických jednotek ČR v M 1:500 000 [4]



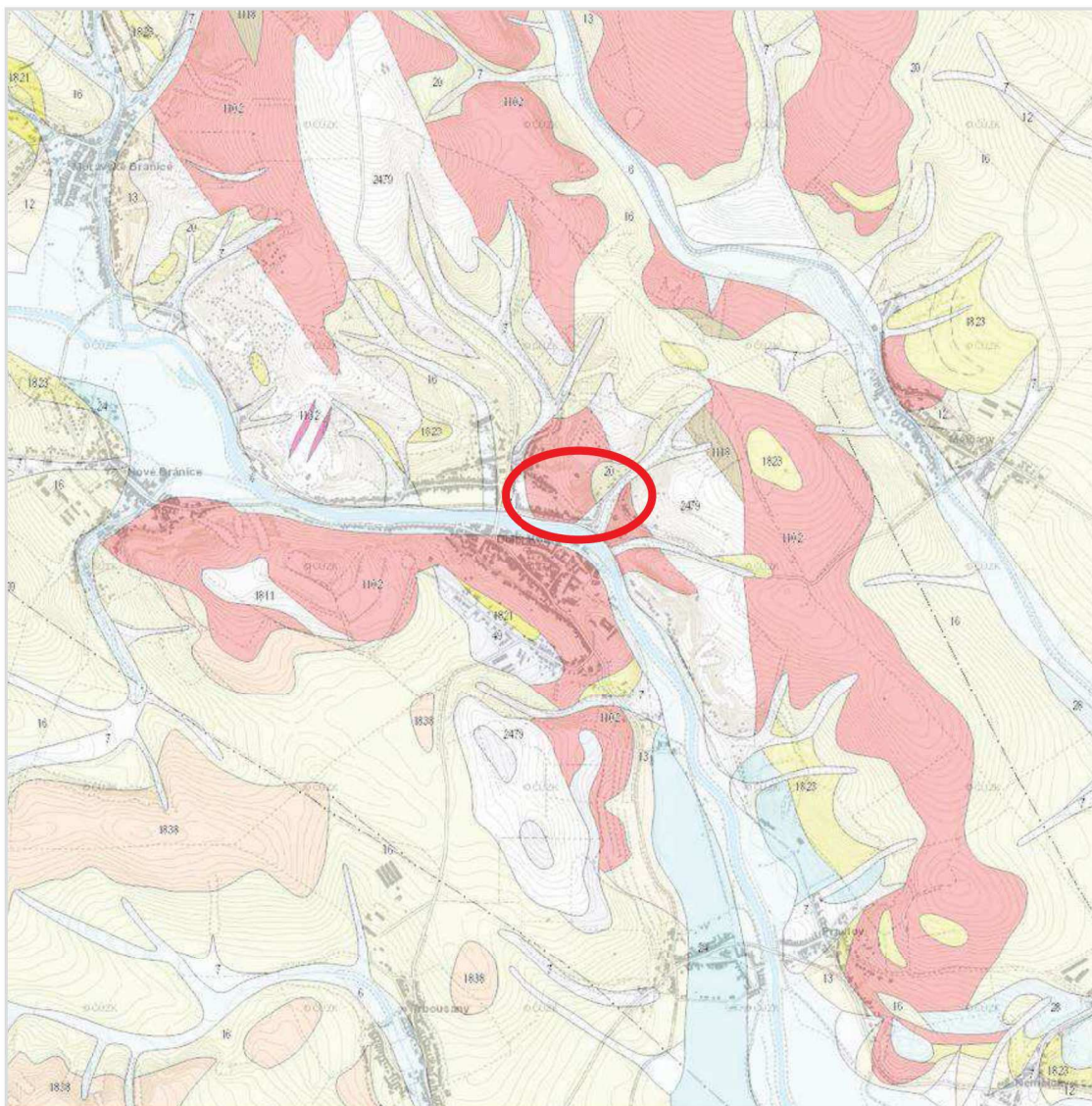
## 2.1.4 Inženýrsko-geologické poměry

Základní popis lokality je možné provést před samotným inženýrsko-geologickým průzkumem a to s pomocí odborné literatury a geologických map.

Pro samotnou sanaci je velmi důležitá geologická stavba horninového masívu. Výřez z podrobné geologické mapy v měřítku M 1:50 000 uvedený na *obr. 2.6, 2.7*, zobrazuje skladbu podložních hornin vyskytujících se v dané lokalitě. Podle těchto podkladů se v řešené lokalitě vyskytuje biotitický granodiorit patřící do období neoproterozoika. Biotitický granodiorit je „*obvykle šedavá, načervenalá, středně zrnitá hornina složená z plagioklasu odpovídajícímu oligoklasu, draselného živce, křemene a biotitu. Akcesoricky může být zastoupen amfibol a vzácně apatit a titanit. Hornina je charakteristicky postižena sericitizací a chloritizací, zejména biotitu. Dalším významným sekundárním minerálem bývá epidot*“ popisuje autor na stránkách o geologické charakteristice území [2]. Snímek horniny vyskytující se v řešené oblasti, viz *obr. 2.8*.

Brněnský masív byl velmi těžce postižen posledním alpickým vrásněním, tzv. neoidními pochody.

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 2.6 Výřez z geologické mapy v M 1:50 000 [3]



**biotitický granodiorit [ID: 1102]**

Eratém: **proterozoikum**, Útvar: **neoproterozoikum**, Horniny: **granodiorit**,  
Typ hornin: **magmatit hlubinný**, Mineralogické složení: **biotit**, Poznámka:  
**typ Tetčice**, Soustava: **Český masív – krystalinikum a prevariské**  
**paleozoikum**, Oblast: **moravskoslezská oblast**, Region: **brunovistulikum**,  
Jednotka: **brněnský masív**, Subjednotka: **západní granodioritová oblast**

Obr. 2.7 Výřez z vysvětlivek ke geologické mapě [3]



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



*Obr. 2.8 Biotitický granodiorit z oblasti Dolní Kounice [1];*

*velikost cca 0,6 x 0,3 x 0,3 m.*

### **2.1.5 Hydrogeologické poměry**

V řešeném místě v minulosti nebyly hydrogeologické vrty provedeny. Na základě místního šetření nebyly výrony podzemní vody z puklinového systému v místě zaznamenány a na skalní stěnu působí převážně voda srážková. Skalní svah je ale postižen četným rozpukáním a při působení srážkové vody a mrazových cyklů dochází ke značné degradaci horniny tvořící svah.

### **2.1.6 Geotechnické vlastnosti**

Jak již bylo zmíněno, dotčené stavby byly postaveny v těsné blízkosti paty skalního svahu. Situační a prostorové poměry, ze kterých je proveden návrh sanačního opatření vychází z dříve provedeného posudku a zde uváděného zaměření části skalního svahu [9]. Sestrojeny jsou tři spádníkové řezy stěnou, které dala k dispozici společnost

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

ZK-BRNO. Výška skalní stěny se pohybuje v rozmezí 20,5 m až 22,0 m a sklony svahu 65° až 72°. Ve spodních partiích svahu v místě domu č. 61 je vytvořen osypový kužel o sklonu 38°. Celková šířka sanované části je 90 m. Svah je hojně porostlý náletovou vegetací – převážně akátem. Vlastnosti horninového materiálu jsou čerpány z literatury, jejíž část pojednává o geotechnických vlastnostech granodioritů východní granitoidové zóny brněnského masívu, viz *tab. 2.1*.

*„Základní pevnostní a deformační charakteristiky horninových masívů výrazně ovlivňuje, kromě kvality a kvantity rozpuštění též intenzita navětrání.“* jak uvádí ve své publikaci GEOtest Brno [12].

*Tab. 2.1 Geotechnické vlastnosti granodioritů [12]*

Modul přetvárnosti ( $E_{def}$ )	MPa	300 až 2000
Modul pružnosti ( $E$ )	MPa	700 až 4000
Objemová hmotnost ( $\rho$ )	$kg \cdot m^{-3}$	2580 až 2620
Hustota ( $\rho_s$ )	$kg \cdot m^{-3}$	2630 až 2680
Pevnost v prostém tlaku ( $\sigma_c$ )	MPa	15 až 75
Smyková pevnost ( $\tau_{pk}$ )	$0,12 + \sigma \cdot \tan 60^\circ$ ( $\sigma < 0,62$ MPa) $0,64 + \sigma \cdot \tan 42^\circ$ ( $\sigma > 0,62$ MPa)	

## 2.2 Zhodnocení diskontinuit

*„Při popisu tvarů geologických těles (geologických objektů) se sleduje zejména vnější geologická stavba, která je dána průběhy hraničních ploch tělesa v prostoru, tedy jeho omezením více či méně pravidelnými geologickými plochami – planárními prvky. Geologické plochy mohou být buď primární (vznikají současně s horninou, např. vrstevní plochy, plochy primární odlučnosti) nebo sekundární (jedná se o deformace prvotních tvarů, jež nastaly po vzniku horniny, např. zlomy, kliváž atd.).“* uvádí autor podkladů pro praktickou geologii VŠB [13]. Měření těchto ploch se provádí geologickým kompasem a realizuje se početný soubor měření daného svahu. V řešené lokalitě byla v minulosti tato měření již provedena. Zhodnocení svahu vychází ze stanoviska k nestabilním svahům v Dolních Kounicích – ul. Na Rybárně pro možnost čerpání podpory z programu 215124-2 Řešení stabilizace svahů na území ČR, jejich geologický průzkum a monitoring [19]. Měření proběhla dne 1. 9. 2005 v místě skalní stěny za rodinnými domy v ulici Rybárna orientační číslo 57, 59, 61, 63, 65 a 67. Jak stanovisko uvádí, orientace skalní stěny je generelně 75° - 255°. *„Podklad tvoří zvětralé a silně tektonicky rozpukané granodiority brněnského masívu. Hlavní pukliny a zlomy mají směry 25/80°, 280/64°, 38/26°, 49/20° a 124/89° a tvoří plochy odlučnosti padajících bloků. Suťové osypy při patě svahu podléhají dalšímu sesouvání.“* [19]



## 3 MOŽNÁ OPATŘENÍ

### 3.1 Varianty opatření

Ve většině případů je pro každou stavbu vhodných několik sanačních metod. Ty jsou následně redukovány požadavky investora, státní správy či samosprávy apod. Mezi nejčastější překážky patří ochota vlastníků, finanční možnosti investora, přístupnost místa, či požadavky na použité technologie nebo technické vybavení. Dalšími kritérii, která je třeba zohlednit je, zda se stavba nachází v některé chráněné oblasti nebo zda se v její blízkosti vyskytují inženýrské sítě.

Podle předběžného šetření se řešená lokalita nenachází v žádném chráněném území, ani v blízkosti ochranných pásem inženýrských sítí. Jediným omezením kladeným na tuto stavbu je, že pro přístup osob, stavebního materiálu a mechanizace je možno použít pouze pozemek par. č. 575, na kterém již stojí rodinný dům. Na stěnu je pak nutno přistupovat shora pomocí horolezecké techniky a veškeré sanační práce budou probíhat metodou „na laně“.

#### **Varianty opatření:**

- ***Očištění a úprava sklonu*** – při očištění svahu dojde k odstranění náletových dřevin a dovolí-li to podmínky, bude svah ošetřen herbicidními prostředky. Následně dojde k očištění svahu od uvolněných úlomků horniny a odstranění větších nestabilních horninových bloků. Očištění je třeba opakovat v pravidelných intervalech. Samostatné očištění svahu se používá při řešení havarijních stavů. Jeho realizace je rychlá a nejméně nákladná a pro nadcházející činnosti nezbytná. Nicméně se jedná o řešení dočasné, neboť když k degradaci skalního svahu docházelo, bude k němu docházet i nadále. Posléze je tedy vhodné realizovat některý ze záchytných prvků.



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- **Opěrná konstrukce** – jedná se o gravitační zdi, které slouží jako ochrana svahu. Použity mohou být například gabionové konstrukce viz *obr. 3.1*. Tyto konstrukce jsou tvarově velmi variabilní a oproti železobetonovým konstrukcím jsou realizovatelné rychle a za téměř každého počasí. Opěrné konstrukce mohou být přímo položené na svah a zakryjí povrch horniny. Další možností je za rubem zdi provést zpětný zásyp a tak vytvořit akumulací prostor. V tomto případě je vhodné opěrnou konstrukci doplnit o kotevní prvek, například formou výztužných geosyntetik.

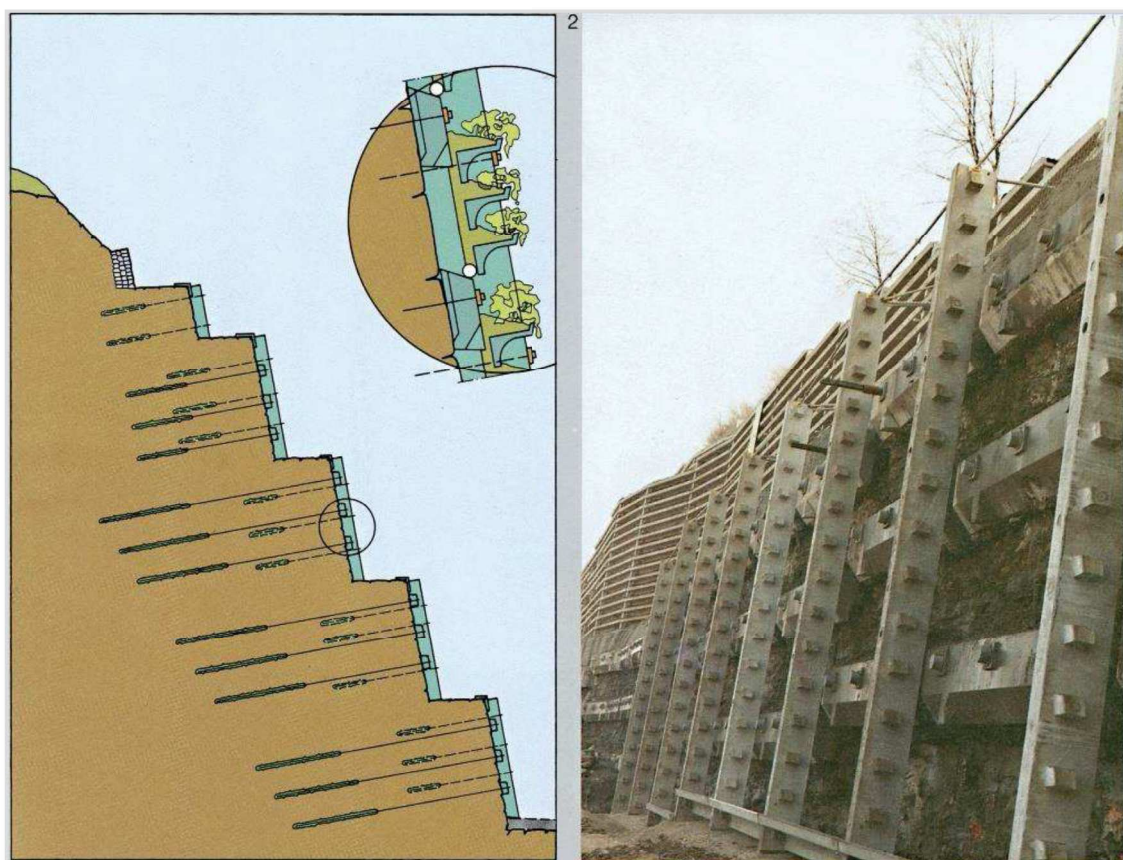


*Obr. 3.1 Příklad řešení stabilizace svahu na dálnici D1 Behárovce-Branisko výstavbou zárubní zdi v zářezu svahu [10].*



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- **Kotvení** – spadá mezi aktivní opatření, kdy pomocí horninových kotev zajistíme uchycení nestabilních horninových bloků. Toto opatření je prováděno často jako doplňkové, neboť samostatně může působit pouze lokálně. Proto je vhodné ho použít pro zajištění větších osamocených nestabilních bloků, nebo v kombinaci s ochrannými sítěmi či zárubními zdmi viz obr. 3.2.

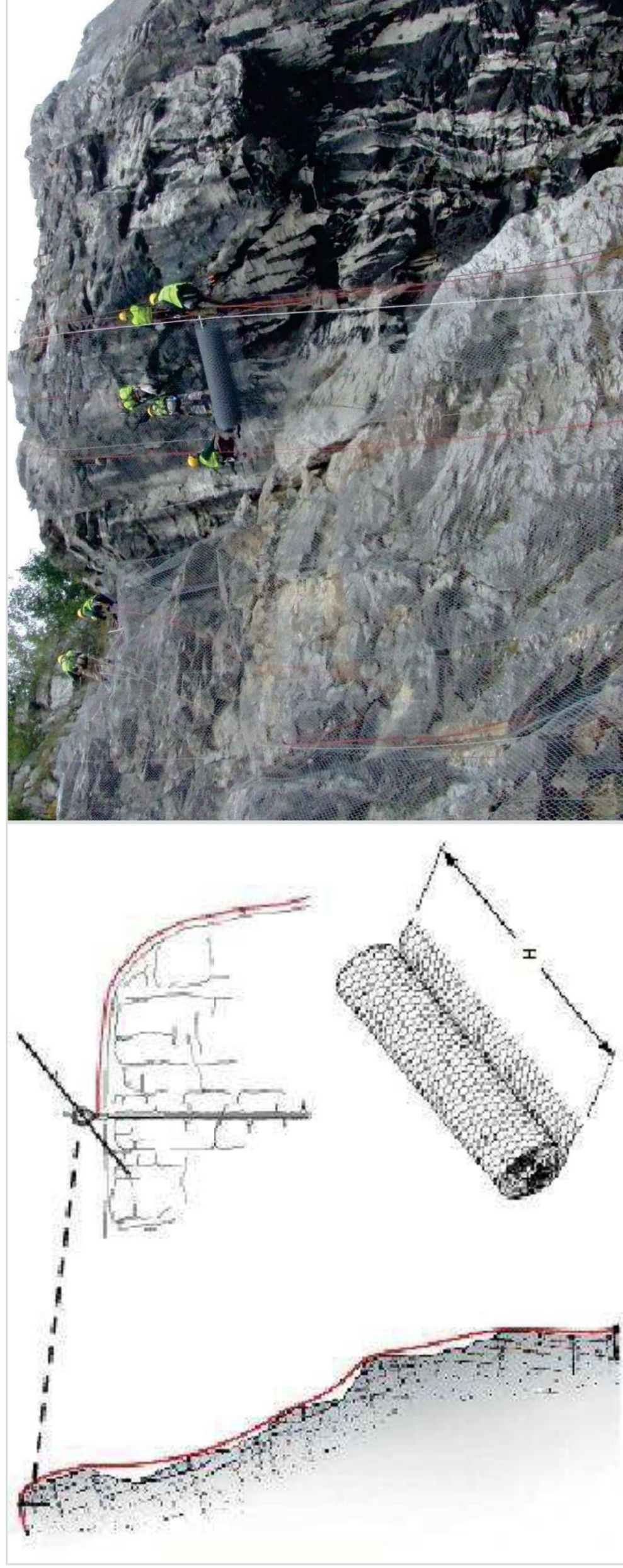


Obr. 3.2 Příklad kotvení hlubokého zářezu [11].

- **Ochranná síť** – toto opatření zahrnuje překrytí svahu speciální ochrannou sítí, viz obr. 3.3, která s pomocí horninových kotev prokopíruje zajišťovaný svah a zajistí stabilizaci bloků na místě nebo řízený opad. Jedná se o aktivní sanační opatření. K tomuto účelu jsou využívány vysokopevnostní dvouzákrutové sítě, HEA panely a další.



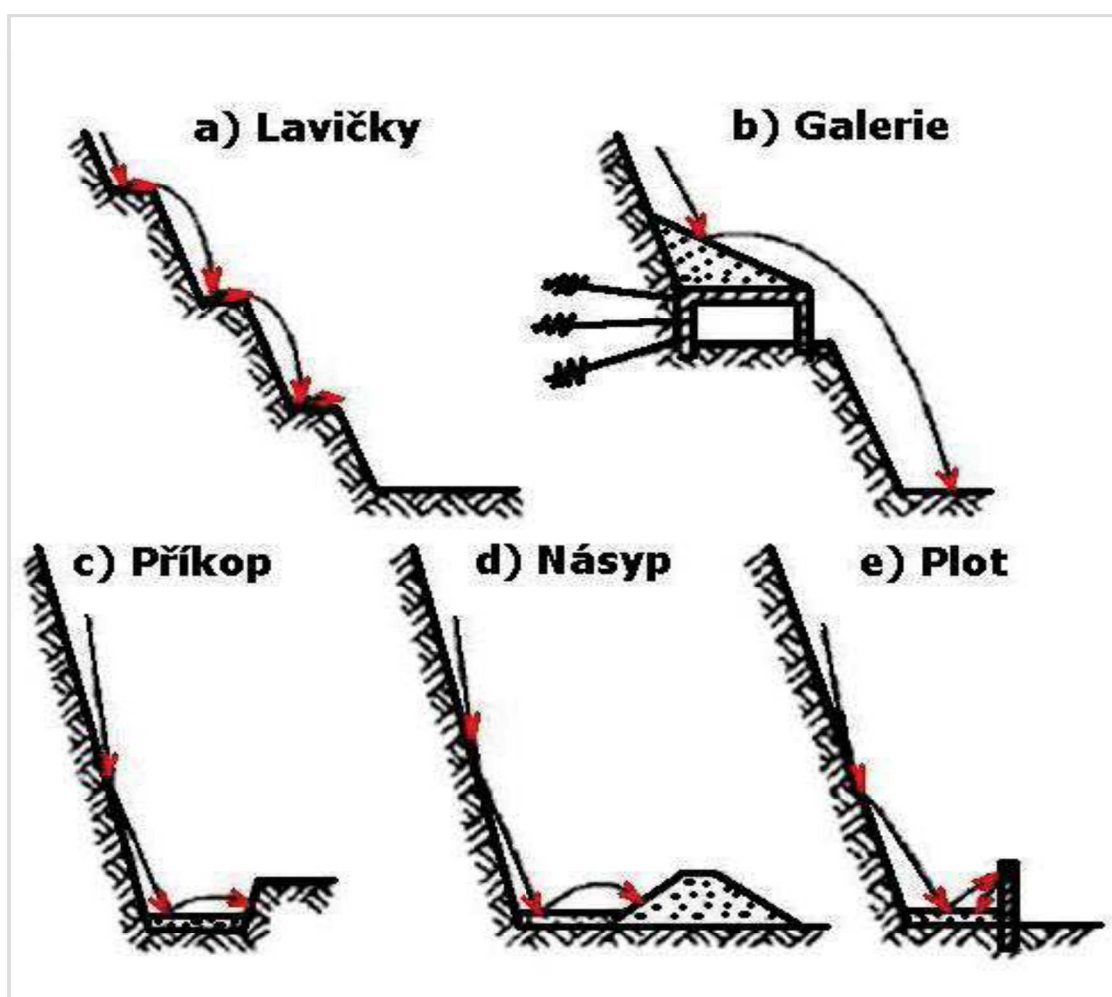
POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 3.3 Příklad použití ochranné sítě. Vlevo - horní kotvení závojevého systému; Vpravo - instalace ochranné sítě [10].

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- **Záchytné konstrukce** – jsou nejprospěšnější při zajišťování vysokých skalních stěn či při předpokladu pádu větších bloků. Zde by bylo plošné zajištění ocelovými sítěmi neekonomické a neefektivní. Záchytných konstrukcí je značné množství typů od zřízení záchytných příkopů, násypů, laviček a plotů, po realizaci galerií, ochranných zemních valů, polodynamických plotů a dynamických bariér. Některé z těchto opatření jsou schopny zachytávat kinetickou energii padajících bloků do hladiny až 5000 kJ.



Obr. 3.4 Příklady základních záchytných konstrukcí [11].



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 3.5 Příklad použití záchytných konstrukcí. Vlevo – Dynamická bariéry (simulace pádu skály); Vpravo – Ochranný val proti pádu skal [14].



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- **Kombinace opatření** – všechny skalní svahy jsou součástí přírody a požadavky na jejich zabezpečení jsou velmi rozmanité. Proto v praxi vždy dochází ke kombinacím několika vhodných sanačních opatření, které vždy vychází z očištění svahu.

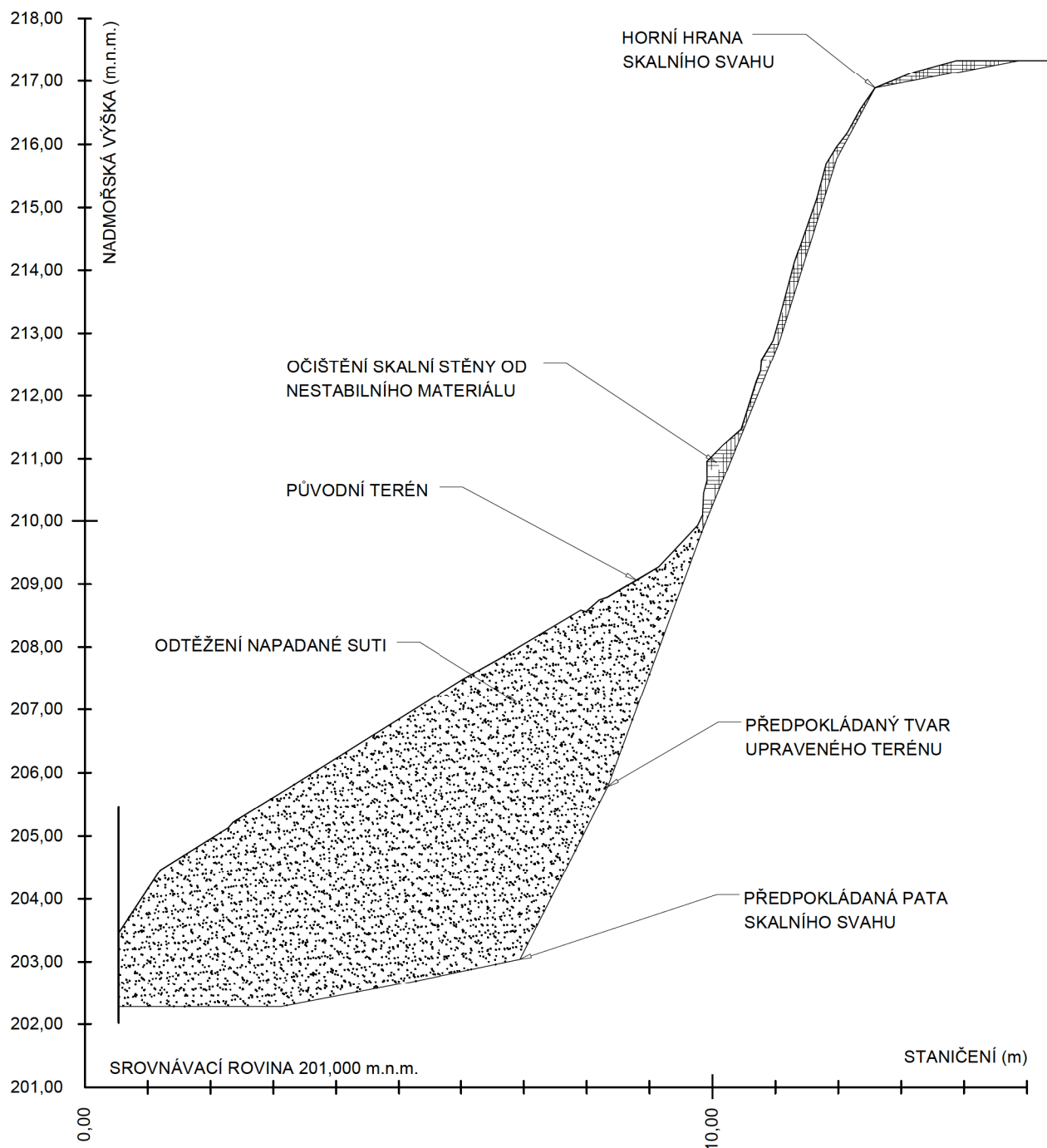
### **3.1.1 Kombinace 1 - Očištění svahu a odstranění osypového kužele**

Ve všech šesti případech kombinací sanačních opatření dojde k očištění svahu a odstranění materiálu z plochy cca 1 500 m<sup>2</sup> a k odtěžení osypového kužele o objemu cca 400 m<sup>3</sup>. Plocha stěny bude očištěna do hloubky 0,1 m. Jedná se ale pouze o orientační tloušťku. V místech, kde je hornina zdravá, nebude proveden zásah. Ve velmi postižených partiích bude svah očištěn o více, než je předepsaná hloubka.

Celkové náklady spojené se stavbou v případě provedení pouhého očištění svahu (viz obr. 3.6) jsou cca 375 tis. Kč. Odhad objemu materiálů a prací včetně propočtu nákladů je uveden v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Odhad finančního hodnocení - kombinace 1 (Očištění svahu a odstranění osypového kužele).

<b>NÁKLADY STAVBY - KOMBINACE 1</b>						
<b>OČIŠTĚNÍ SVAHU A ODSTRANĚNÍ OSYPOVÉHO KUŽELE</b>						
		Popis položky	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem
Očištění svahu	1	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč
	2	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč
	3	Lano, včetně antikoroziční úpravy	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč
	4	Lanová svorka	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč
	5	Odstranění stromů včetně kořenů	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč
	6	Odstranění křovin a náletu	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč
	7	Očištění skalní stěny	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč
	8	Odtěžení napadané suti	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč
	9	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč
<b>Celková cena</b>					<b>375 275 Kč</b>	



Obr. 3.6 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 1 (Očištění svahu a odstranění osypového kužele);  
M 1:100; [17].

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 3.1.2 Kombinace 2 – Instalace ochranné sítě a gabionové konstrukce

Sanační opatření kombinuje zajištění horní části skalního svahu pomocí vysokopevnostní ochranné sítě v ploše cca 1 200 m<sup>2</sup> a spodní části svahu pomocí gabionové konstrukce o objemu 65 m<sup>3</sup>. Ta je využita jako záchytný prvek, viz obr. 3.6. Ochranná síť je v horní i spodní kotevní linii připevněna ke svahu pomocí ocelových lan a kotevních tyčí. Kotevní tyče jsou též využity pro prokopírování terénu ochrannou sítí.

Celkové náklady spojené se stavbou v případě instalace ochranné sítě a výstavby gabionové konstrukce jsou cca 1 600 tis. Kč. Odhad objemu materiálů a prací včetně propočtu nákladů je uveden v tab. 3.2.

Tab. 3.2 Odhad finančního hodnocení - kombinace 2 (Instalace ochranné sítě a gabionové konstrukce).

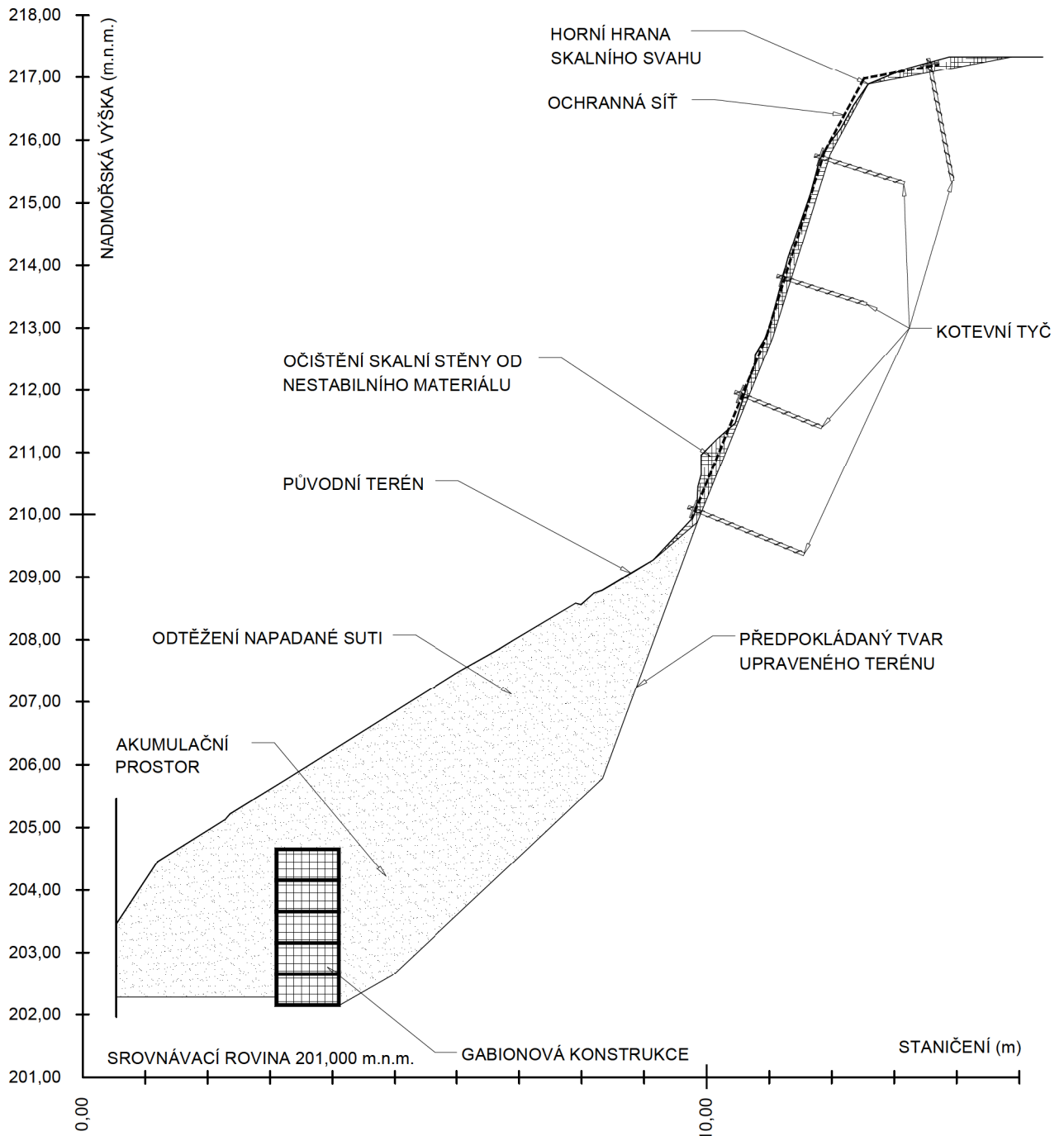
<b>NÁKLADY STAVBY - KOMBINACE 2</b>						
<b>INSTALACE OCHRANNÉ SÍTĚ A GABIONOVÉ KONSTRUKCE</b>						
		Popis položky	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem
Očištění svahu	1	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve výškách	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč
	2	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč
	3	Lano, včetně antikoroziční úpravy	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč
	4	Lanová svorka	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč
	5	Odstranění stromů včetně kořenů	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč
	6	Odstranění křovin a náletu	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč
	7	Očištění skalní stěny	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč
	8	Odtěžení napadané suti	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč
	9	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč
Ochranné sítě	10	Vrty pro kotvení	m	396,00	772,0 Kč	305 712 Kč
	11	Kotevní tyč délka 2,0 m	m	180,00	171,0 Kč	30 780 Kč
	12	Kotevní tyč délka 1,5 m	m	216,00	171,0 Kč	36 936 Kč
	13	Matice pro CKT	kus	234,00	70,7 Kč	16 544 Kč
	14	Podložka	kus	234,00	319,0 Kč	74 646 Kč
	15	Lano, včetně antikoroziční úpravy	m	620,40	43,2 Kč	26 801 Kč
	16	Ochranná síť	m <sup>2</sup>	1 155,00	191,0 Kč	220 605 Kč
	17	Lanová svorka	Kus	124,00	25,7 Kč	3 187 Kč
	18	Spojovací C kroužky	kart.	2,00	2 600,0 Kč	5 200 Kč
	19	Injektážní hmoty pro kotevní prvky	m <sup>3</sup>	4,95	8 950,0 Kč	44 303 Kč
	20	Antikoroziční ochrana kotevních prvků	m <sup>2</sup>	9,90	1 980,0 Kč	19 602 Kč
	21	Osazení sítě	m <sup>2</sup>	1 155,00	95,0 Kč	109 725 Kč
	22	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	2,53	35,9 Kč	91 Kč





POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

Gabionová konstrukce	23	Svahování	m <sup>2</sup>	98,80	35,9 Kč	3 547 Kč
	24	Drátokamenné konstrukce	m <sup>3</sup>	71,50	4 560,0 Kč	326 040 Kč
<b>Celková cena</b>					<b>1 598 993 Kč</b>	



Obr. 3.7 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 2 (Instalace ochranné sítě a gabionové konstrukce);  
M 1:100; [17].

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 3.1.3 Kombinace 3 - Instalace ochranné sítě a vyztužené zemní konstrukce

Řešené opatření využívá zajištění horní části svahu pomocí ochranné sítě kopírující povrch skalního svahu v ploše cca 1 200 m<sup>2</sup>. Spodní část svahu v místě odstraněného osypového kužele je doplněna o vyztuženou zemní konstrukci délky 26 m, která má funkci záchytného prvku.

Celkové náklady spojené se stavbou v případě instalace ochranné sítě a výstavby vyztužené zemní konstrukce jsou cca 1 950 tis. Kč. Odhad objemu materiálů a prací včetně propočtu nákladů je uveden v *tab. 3.3*.

*Tab. 3.3 Odhad finančního hodnocení - kombinace 3 (Instalace ochranné sítě a vyztužené zemní konstrukce).*

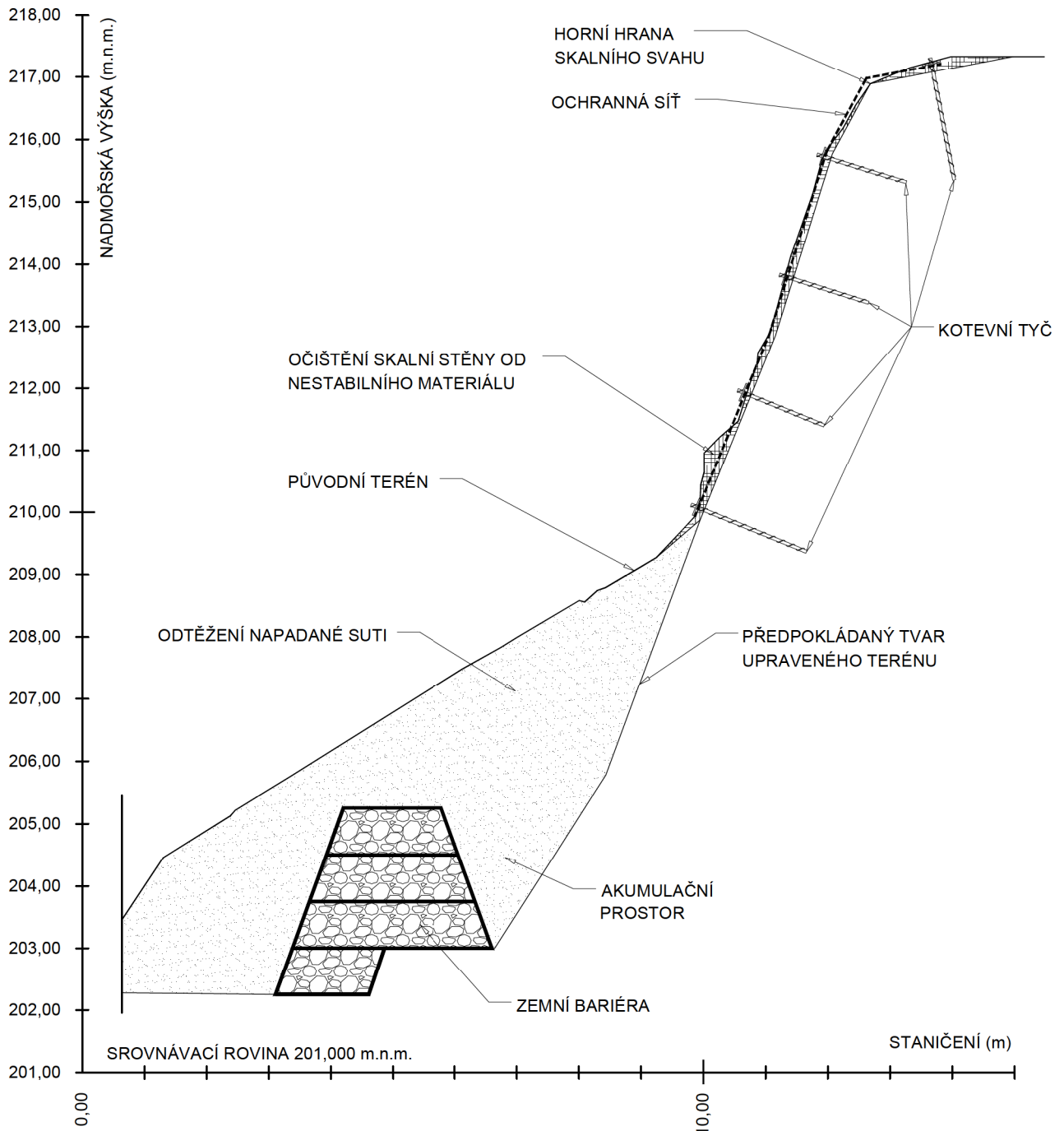
<b>NÁKLADY STAVBY - KOMBINACE 3</b>						
<b>INSTALACE OCHRANNÉ SÍTĚ A VYZTUŽENÉ ZEMNÍ KONSTRUKCE</b>						
		Popis položky	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem
Očištění svahu	1	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve výškách	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč
	2	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč
	3	Lano, včetně antikorozi úpravy	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč
	4	Lanová svorka	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč
	5	Odstranění stromů včetně kořenů	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč
	6	Odstranění křovin a náletu	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč
	7	Očištění skalní stěny	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč
	8	Odtěžení napadané suti	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč
	9	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč
Ochranná síť	10	Vrty pro kotvení	m	396,00	772,0 Kč	305 712 Kč
	11	Kotevní tyč délka 2,0 m	m	180,00	171,0 Kč	30 780 Kč
	12	Kotevní tyč délka 1,5 m	m	216,00	171,0 Kč	36 936 Kč
	13	Matice pro CKT	kus	234,00	70,7 Kč	16 544 Kč
	14	Podložka	kus	234,00	319,0 Kč	74 646 Kč
	15	Lano, včetně antikorozi úpravy	m	620,40	43,2 Kč	26 801 Kč
	16	Ochranná síť	m <sup>2</sup>	1 155,00	191,0 Kč	220 605 Kč
	17	Lanová svorka	Kus	124,00	25,7 Kč	3 187 Kč
	18	Spojovací C kroužky	kart.	2,00	2 600,0 Kč	5 200 Kč
	19	Injektážní hmoty pro kotevní prvky	m <sup>3</sup>	4,95	8 950,0 Kč	44 303 Kč
	20	Antikorozi ochrana kotevních prvků	m <sup>2</sup>	9,90	1 980,0 Kč	19 602 Kč
	21	Osazení sítě	m <sup>2</sup>	1 155,00	95,0 Kč	109 725 Kč
	22	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	2,53	35,9 Kč	91 Kč



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

Vyztužená zemní kon.	23	Svahování	m <sup>2</sup>	166,40	35,9 Kč	5 974 Kč
	24	Vyztužená zemní konstrukce	m <sup>3</sup>	169,00	3 800,0 Kč	642 200 Kč
	25	Uložení sypaniny	m <sup>3</sup>	169,00	120,0 Kč	20 280 Kč
	26	Zatrávnění	m <sup>2</sup>	173,68	47,3 Kč	8 215 Kč

<b>Celková cena</b>	<b>1 946 075 Kč</b>
---------------------	---------------------



Obr. 3.8 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 3 (Instalace ochranné sítě a vyztužené zemní konstrukce); M 1:100; [17].

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 3.1.4 Kombinace 4 - Instalace ochranné sítě a dynamické bariéry

Další možnou kombinací je stejně jako v předchozích případech využití ochranné sítě pro zabezpečení horních partií skalního svahu v ploše cca 1 200 m<sup>2</sup>. Ve spodní části v místě odtěženého osypového kužele je v tomto případě navržena výstavba dynamické bariéry délky 20 m pro zachytávání odpadávajících kamenů z nižších částí svahu.

Celkové náklady spojené se stavbou jsou cca 1 750 tis. Kč. Odhad objemu materiálů a prací včetně propočtu nákladů je uveden v *tab. 3.4*.

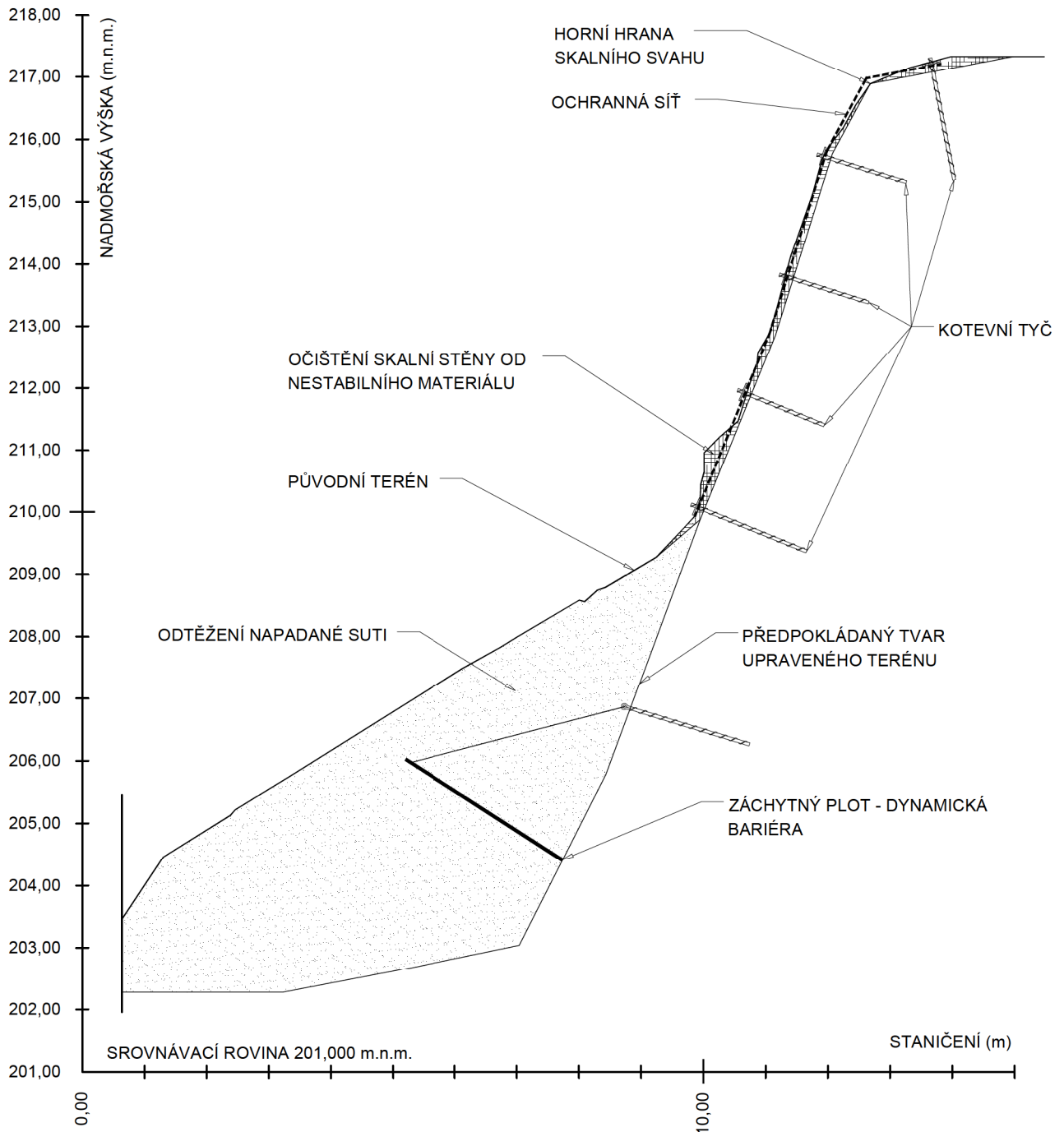
*Tab. 3.4 Odhad finančního hodnocení - kombinace 4 (Instalace ochranné sítě a dynamické bariéry).*

<b>NÁKLADY STAVBY - KOMBINACE 4</b>						
<b>INSTALACE OCHRANNÉ SÍTĚ A DYNAMICKÉ BARIÉRY</b>						
		Popis položky	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem
Očištění svahu	1	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve výškách	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč
	2	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč
	3	Lano, včetně antikoroziní úpravy	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč
	4	Lanová svorka	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč
	5	Odstranění stromů včetně kořenů	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč
	6	Odstranění křovin a náletu	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč
	7	Očištění skalní stěny	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč
	8	Odtěžení napadané suti	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč
	9	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč
Ochranná síť	10	Vrty pro kotvení	m	396,00	772,0 Kč	305 712 Kč
	11	Kotevní tyč délka 2,0 m	m	180,00	171,0 Kč	30 780 Kč
	12	Kotevní tyč délka 1,5 m	m	216,00	171,0 Kč	36 936 Kč
	13	Matice pro CKT	kus	234,00	70,7 Kč	16 544 Kč
	14	Podložka	kus	234,00	319,0 Kč	74 646 Kč
	15	Lano, včetně antikoroziní úpravy	m	620,40	43,2 Kč	26 801 Kč
	16	Ochranná síť	m <sup>2</sup>	1 155,00	191,0 Kč	220 605 Kč
	17	Lanová svorka	Kus	124,00	25,7 Kč	3 187 Kč
	18	Spojovací C kroužky	kart.	2,00	2 600,0 Kč	5 200 Kč
	19	Injektážní hmoty pro kotevní prvky	m <sup>3</sup>	4,95	8 950,0 Kč	44 303 Kč
	20	Antikoroziní ochrana kotevních prvků	m <sup>2</sup>	9,90	1 980,0 Kč	19 602 Kč
	21	Osazení sítě	m <sup>2</sup>	1 155,00	95,0 Kč	109 725 Kč
	22	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	2,53	35,9 Kč	91Kč



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

B	21	Dynamická bariéra	m <sup>2</sup>	80,00	5 700,0 Kč	456 000 Kč
<b>Celková cena</b>					<b>1 725 406 Kč</b>	



Obr. 3.9 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 4 (Instalace ochranné sítě a dynamické bariéry); M 1:100; [17].



**POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ**

### 3.1.5 Kombinace 5 - Aplikace stříkaného betonu a gabionové konstrukce

V této kombinaci je pro část svahu navržena metoda stříkaného betonu v ploše cca 1 200 m<sup>2</sup> a v tloušťce 0,1 m. Vzniklý prostor po odstranění osypového kužele je v tomto případě zajištěn gabionovou konstrukcí o objemu cca 65 m<sup>3</sup>.

Celkové náklady spojené se stavbou v případě aplikace stříkaného betonu a výstavby vyztužené zemní konstrukce jsou cca 2 900 tis. Kč. Odhad objemu materiálů a prací včetně propočtu nákladů je uveden v tab. 3.5.

Tab. 3.5 Odhad finančního hodnocení - kombinace 5 (Aplikace stříkaného betonu a gabionové konstrukce).

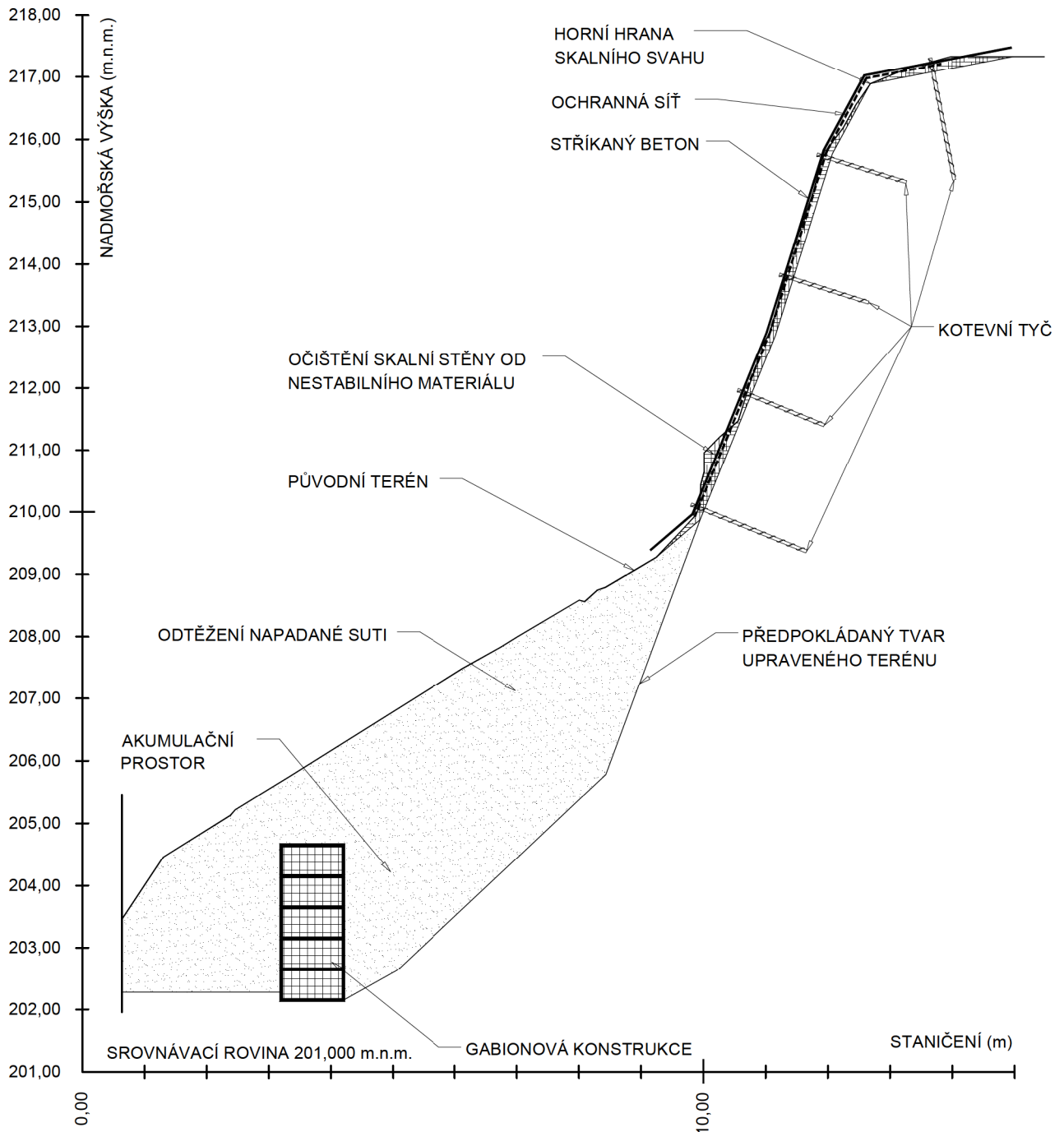
<b>NÁKLADY STAVBY - KOMBINACE 5</b>						
<b>APLIKACE STŘÍKANÉHO BETONU A GABIONOVÉ KONSTRUKCE</b>						
		Popis položky	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem
Očištění svahu	1	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve výškách	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč
	2	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč
	3	Lano, včetně antikoroziční úpravy	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč
	4	Lanová svorka	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč
	5	Odstranění stromů včetně kořenů	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč
	6	Odstranění křovin a náletu	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč
	7	Očištění skalní stěny	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč
	8	Odtěžení napadané suti	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč
	9	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč
Stříkaný beton	10	Vrty pro kotvení	m	396,00	772,0 Kč	305 712 Kč
	11	Kotevní tyč délka 2,0 m	m	180,00	171,0 Kč	30 780 Kč
	12	Kotevní tyč délka 1,5 m	m	216,00	171,0 Kč	36 936 Kč
	13	Matice pro CKT	kus	234,00	70,7 Kč	16 544 Kč
	14	Podložka	kus	234,00	319,0 Kč	74 646 Kč
	15	Lano, včetně antikoroziční úpravy	m	620,40	43,2 Kč	26 801 Kč
	16	Ochranná síť	m <sup>2</sup>	1 155,00	191,0 Kč	220 605 Kč
	17	Lanová svorka	Kus	124,00	25,7 Kč	3 187 Kč
	18	Spojovací C kroužky	kart.	2,00	2 600,0 Kč	5 200 Kč
	19	Injektážní hmoty pro kotevní prvky	m <sup>3</sup>	4,95	8 950,0 Kč	44 303 Kč
	18	Osazení sítí	m <sup>2</sup>	620,40	95,0 Kč	58 938 Kč
19	Stříkaný beton včetně aplikace	m <sup>2</sup>	2 310,00	625,0 Kč	1 443 750 Kč	
20	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	2,53	35,9 Kč	91 Kč	



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

Gabionová konstrukce	22	Svahování	m <sup>2</sup>	98,80	35,9 Kč	3 547 Kč
	23	Drátokamenné konstrukce	m <sup>3</sup>	71,50	4 560,0 Kč	326 040 Kč

<b>Celková cena</b>	<b>2 881 164 Kč</b>
---------------------	---------------------



Obr. 3.10 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 5 (Aplikace stříkaného betonu a gabionové konstrukce); M 1:100; [17].

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

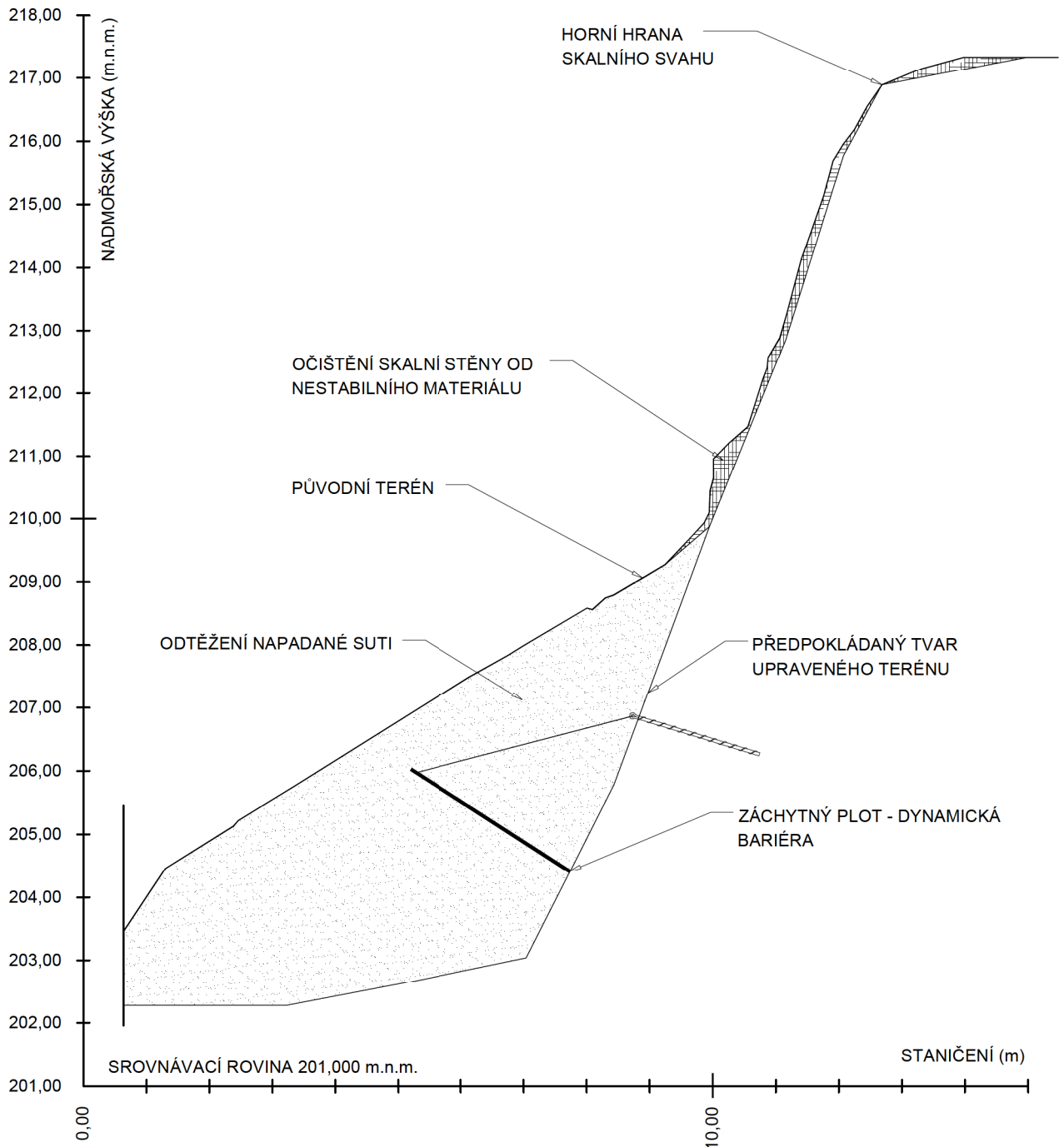
### 3.1.6 Kombinace 6 - Očištění svahu a instalace dynamické bariéry

Další možností, jak zajistit skalní svah, je instalovat v celé jeho délce v jeho spodní partii dynamickou bariéru. Celková délka navrhované bariéry je 100 m.

Celkové náklady spojené se stavbou jsou cca 2 650 tis. Kč. Odhad objemu materiálů a prací včetně rozpočtu nákladů je uveden v tab. 3.6.

Tab. 3.6 Odhad finančního hodnocení - kombinace 6 (Očištění svahu a instalace dynamické bariéry).

<b>NÁKLADY STAVBY - KOMBINACE 6</b>						
<b>OČIŠTĚNÍ SVAHU A INSTALACE DYNAMICKÉ BARIÉRY</b>						
		Popis položky	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem
Očištění svahu	1	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve výškách	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč
	2	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč
	3	Lano, včetně antikoroziční úpravy	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč
	4	Lanová svorka	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč
	5	Odstanění stromů včetně kořenů	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč
	6	Odstanění křovin a náletu	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč
	7	Očištění skalní stěny	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč
	8	Odtěžení napadané suti	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč
	9	Naložení a složení suti na skládku včetně dovozu	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč
DB	21	Dynamická bariéra	m <sup>2</sup>	400,00	5 700,0 Kč	2 280 000 Kč
<b>Celková cena</b>					<b>2 655 275 Kč</b>	



Obr. 3.11 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 6 (Očištění svahu a instalace dynamické bariéry);  
M 1:100; [17].



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 3.1.7 Souhrn variant

Pro jednotlivé kombinace opatření jsou zpracovány pracovní řezy a odhad finančního hodnocení (viz obr. 3.6-3.11 a tab. 3.1-3.6). Ze zjištěných poznatků je vybrána nejprospěšnější kombinace, která je následně rozpracována do podoby realizační projektové dokumentace. Za finančně nejvýhodnější se ukázala kombinace 2, která řeší zajištění skalního svahu pomocí vysokopevnostní ochranné sítě a gabionové konstrukce. Databáze cen za měrnou jednotku je čerpána z akademické verze komerčního programu KROS plus [8].

## 4 STATICKÉ POSOUZENÍ

### 4.1 Stabilita skalních stěn

Ze statického hlediska je posouzení skalní stěny velmi obtížné. Samotné analytické výpočty vycházejí ze znalosti inženýrsko-geologických a hydrogeologických poměrů a geotechnických vlastností. Ty jsou ale ovlivněny vztahem skalního svahu vůči okolnímu prostředí a poměry skrývajícimi se pod povrchem horniny. Přírodní podmínky ovlivňující skalní svah jsou natolik složité, že je třeba přistupovat ke zjednodušením a při výpočtech se posuzuje idealizované těleso jednoduchého geometrického tvaru. Tuto zodpovědnost musí brát geotechnik sám na sebe. Základní metody výpočtu vycházejí z mezní rovnováhy. V analýze stability skalního svahu vycházíme ze tří základních typů porušení stability skalní stěny [16].

- Porušení smykem,
- porušení odtržením,
- porušení překlopením bloku.

Posouzení se provádí na základě určení stupně stability (1) a následným porovnáním s limitní hodnotou stupně stability, která vychází ze vztahu vůči okolnímu prostředí. Pro dočasné stěny se uvažuje stupeň stability  $F = 1,1$  až  $1,25$  a pro trvalé skalní stěny  $F = 1,2$  až  $1,5$ . Výpočet stupně stability:

$$F = \frac{\text{pasivní síly}}{\text{aktivní síly}}, \quad (1)$$

za pasivní síly se považuje u smykového porušení tření a soudržnost na předurčené nebo potenciální smykové ploše a za aktivní síly jsou brány tangenciální síly na smykové ploše.

Tyto tři typy porušení individuálně řeší horninové bloky, u kterých hrozí destabilizace. Posouzení stability skalní stěny jako celku vychází z principu soustavy tuhých horninových bloků, na nichž se stanovuje rovnováha sil horninového klínu (klínová metoda). Jedná se o skalní svahy, kterým hrozí sesutí po předurčené nebo potenciální smykové ploše. Ty rozlišujeme na základě charakteristiky ploch diskontinuit [11].

- Plochy diskontinuit vycházejí ze stěny, jsou spojité a přibližně rovnoběžné se sklonem smykové plochy,



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- plochy diskontinuit jsou nespojité a zapadající do masívu,
- prostorový horninový klín.

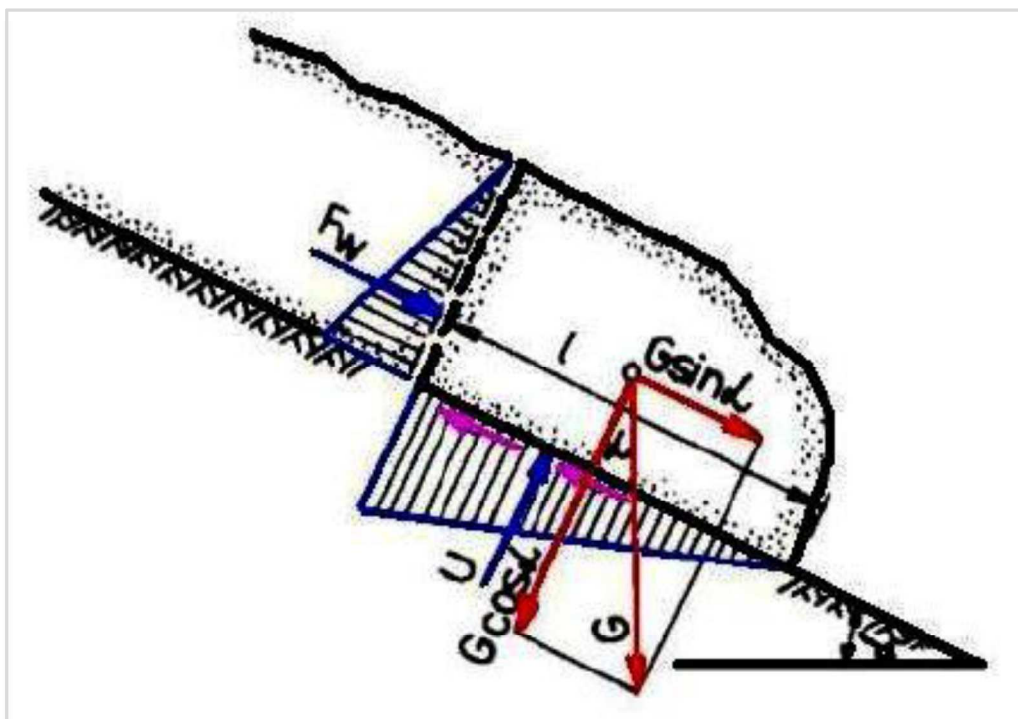
### 4.1.1 Porušení smykem

Jedná se o skalní sesuvy, ke kterým může dojít, je-li stupeň stability  $F < 1$ .  
 Výpočet stupně stability pro porušení smykem (2).

$$F = \frac{(G \cdot \cos \alpha - U) \cdot \tan \varphi + c \cdot l}{G \cdot \sin \alpha - F_w}, \quad (2)$$

- kde
- $G$  je tíha posuzovaného bloku,
  - $\alpha$  je úhel odklonu smykové plochy od vodorovné roviny,
  - $U$  je vztlak vody,
  - $\varphi$  je úhel tření na smykové ploše,
  - $c$  je soudržnost na smykové ploše,
  - $l$  je délka smykové plochy,
  - $F_w$  je tlak vody zatěžující blok seshora.

Schéma porušení smykem viz *obr. 4.1*.



*Obr. 4.1 Schéma porušení skalní stěny smykem [16].*



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 4.1.2 Porušení odtržením

Nastává u skalních převisů, je-li stupeň stability  $F < 1$ . Výpočet stupně stability pro porušení odtržením (3).

$$F = \frac{(G_t \cdot r_t + c \cdot l)}{G \cdot r + G_s \cdot r_s + V \cdot r_v}, \quad (3)$$

kde  $G_t$  je odpor proti porušení tahem na ploše odtržení,

$c$  je soudržnost na ploše odtržení,

$l$  je délka plochy odtržení,

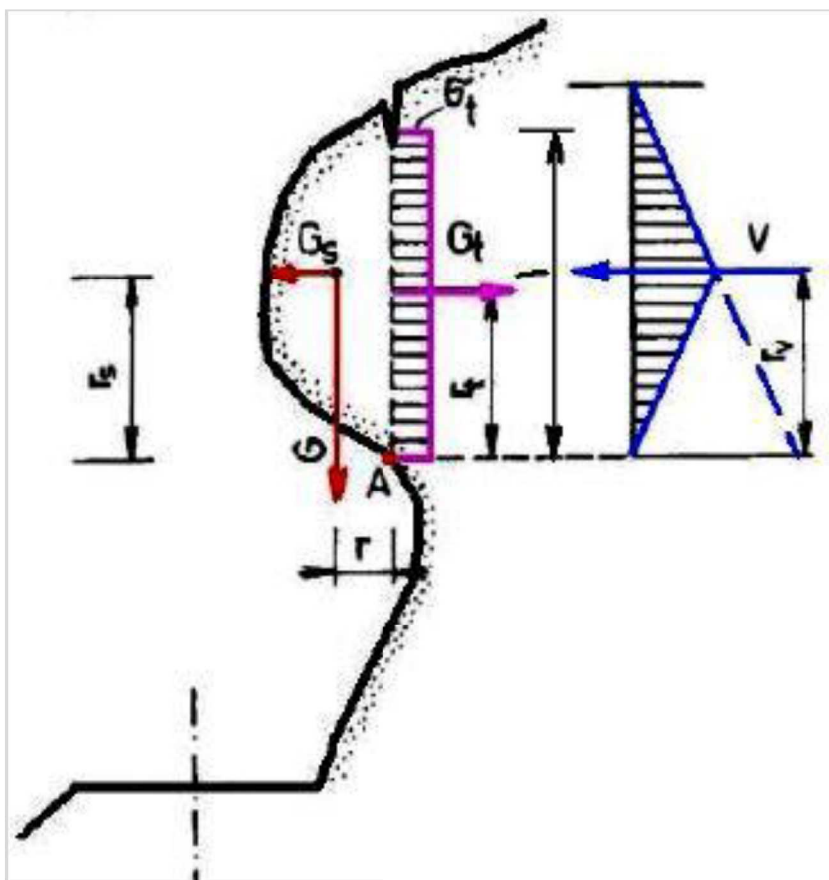
$G$  je vlastní tíha převisu,

$G_s$  je setrvačná seismická síla,

$V$  výslednice je tlaku vody v puklinách,

$r, r_t, r_s, r_v$  jsou ramena působících sil k bodu A.

Schéma porušení odtržením viz obr. 4.2.



Obr. 4.2 Schéma porušení skalní stěny odtržením [16].

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

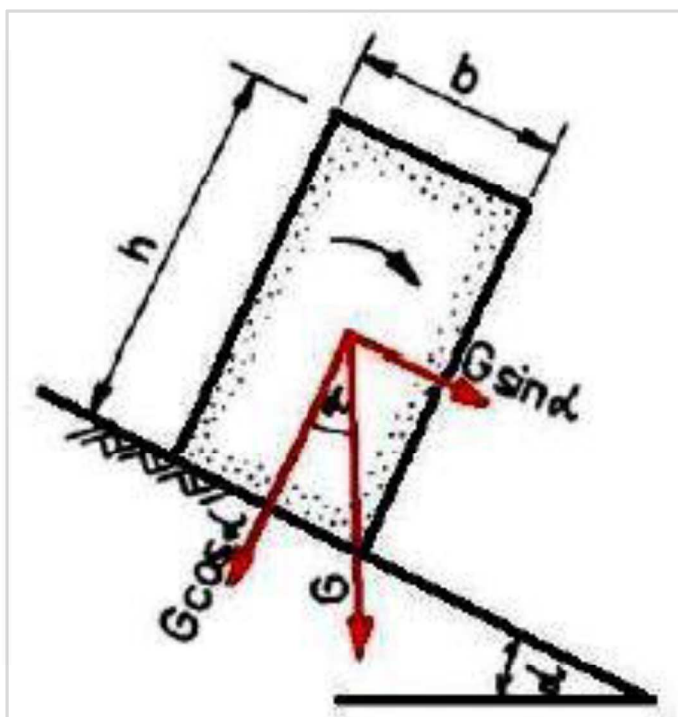
### 4.1.3 Porušení překlopením

Nastane, je-li stupeň stability  $F < 1$ . Výpočet stupně stability pro porušení překlopením (4).

$$F = \frac{G \cdot \cos \alpha \cdot b}{G \cdot \sin \alpha \cdot h}, \quad (4)$$

kde  $G$  je tíha posuzovaného bloku,  
 $\alpha$  je úhel odklonu ložné plochy od vodorovné roviny,  
 $b$  je šířka horninového bloku,  
 $h$  je výška horninového bloku.

Schéma porušení překlopením viz *obr. 4.3*.



*Obr. 4.3 Schéma porušení skalní stěny překlopením [16].*

### 4.1.4 Plochy diskontinuit jsou spojitě a vycházejí ze stěny

Těleso nad plochou porušení je stabilní, je-li výslednice pasivních sil větší jako výslednice aktivních sil (5). Posuzuje se nejnebezpečnější horninový klín, který je charakterizován plochami diskontinuity a geometrií stěny, schéma viz *obr. 4.4*

$$S \leq T + C, \quad (5)$$

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

$$S = G \cdot \cos(90^\circ - \alpha) , \quad (6)$$

$$T = G \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \cdot \tan \varphi , \quad (7)$$

$$C = c \cdot l , \quad (8)$$

$$G = \gamma \cdot A_{kl} , \quad (9)$$

kde  $S$  je tangenciální síla aktivně porušující klín podél předurčené smykové plochy,

$T$  je tření na předurčené smykové ploše,

$C$  je soudržnost na předurčené smykové ploše,

$G$  vlastní tíha horninového bloku,

$\alpha$  je sklon ploch diskontinuit,

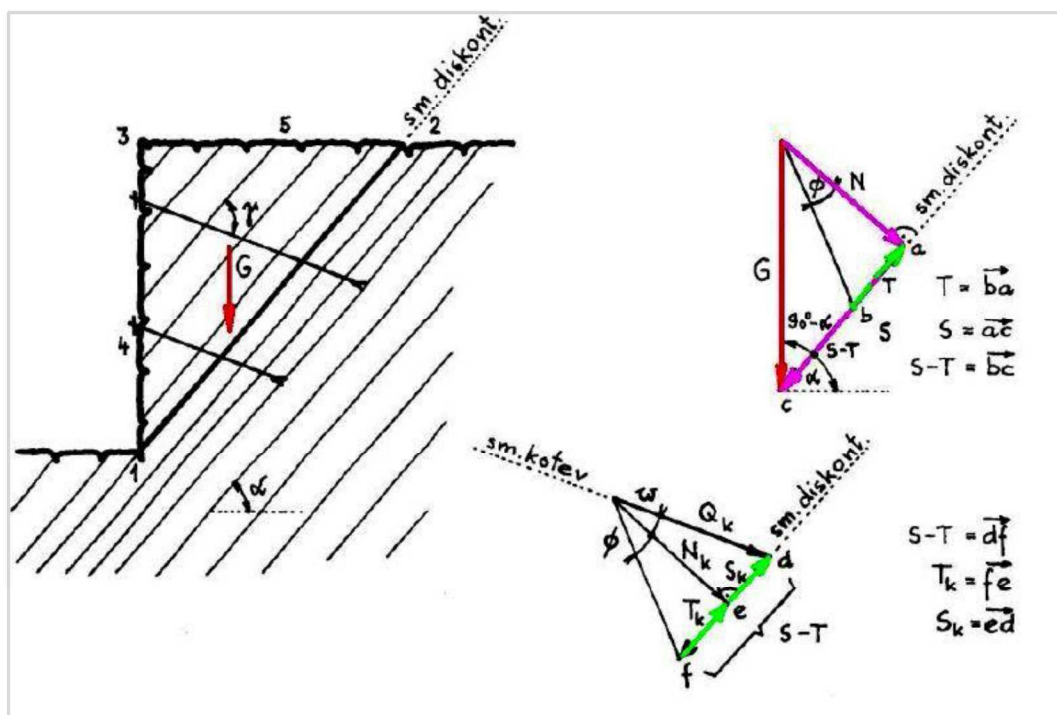
$\varphi$  je úhel tření na plochách diskontinuit,

$c$  je soudržnost,

$l$  je délka smykové plochy,

$\gamma$  objemová tíha horniny,

$A_{kl}$  je plocha klínu nad smykovou plochou.



Obr. 4.4 Schéma statického působení sil v masivu s plochami diskontinuit vycházejícími ze stěny [11].

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

Stabilita stěny je následně zajištěna kotvením (10).

$$S \leq T + C + T_k + S_k, \quad (10)$$

$$S_k = Q_k \cdot \sin \omega, \quad (11)$$

$$T_k = N_k \cdot \tan \varphi, \quad (12)$$

$$N_k = Q_k \cdot \cos \omega, \quad (13)$$

kde  $S_k$  je tangenciální síla od vnesené kotevní síly,

$T_k$  je tření na smykové ploše od vnesené kotevní síly,

$Q_k$  je nutné celkové předpětí kotev,

$N_k$  je normálová síla od vnesené kotevní síly,

$\omega$  je úhel odklonu celkového předpětí kotev od normálové síly kolmé na smykovou plochu.

### 4.1.5 Plochy diskontinuit jsou nespojitě a zapadající do masívu

Nejprve dojde k určení nejnebezpečnější smykové plochy, ta obvykle prochází patou stěny. Její určení závisí na podrobnější znalosti ploch nespojitosti, proto je nutná úzká spolupráce statika a geologa [11].

### 4.1.6 Prostorový horninový klín

Stabilitu prvku lze vyjádřit vztahem (14). Nejprve se provede rozklad tíhy klínu a působících sil do složek kolmých na stěny klínu P a R a do směru jejich průsečnice, viz *obr. 5.5* [11]. Metody pro výpočty horninového klínu vycházejí z měření ploch nespojitosti, tzv. stereometrických metod. Řešení jsou ale složitá a proto se ve velké míře využívá výpočetních technologií.

$$F = \frac{\tau_{0P} \cdot F_P + N_P \cdot \tan \varphi_P + \tau_{0R} \cdot F_R + N_R \cdot \tan \varphi_R}{A}, \quad (14)$$

kde  $\tau_{0R}$ ,  $\tau_{0P}$  je soudržnost na plochách P a R,

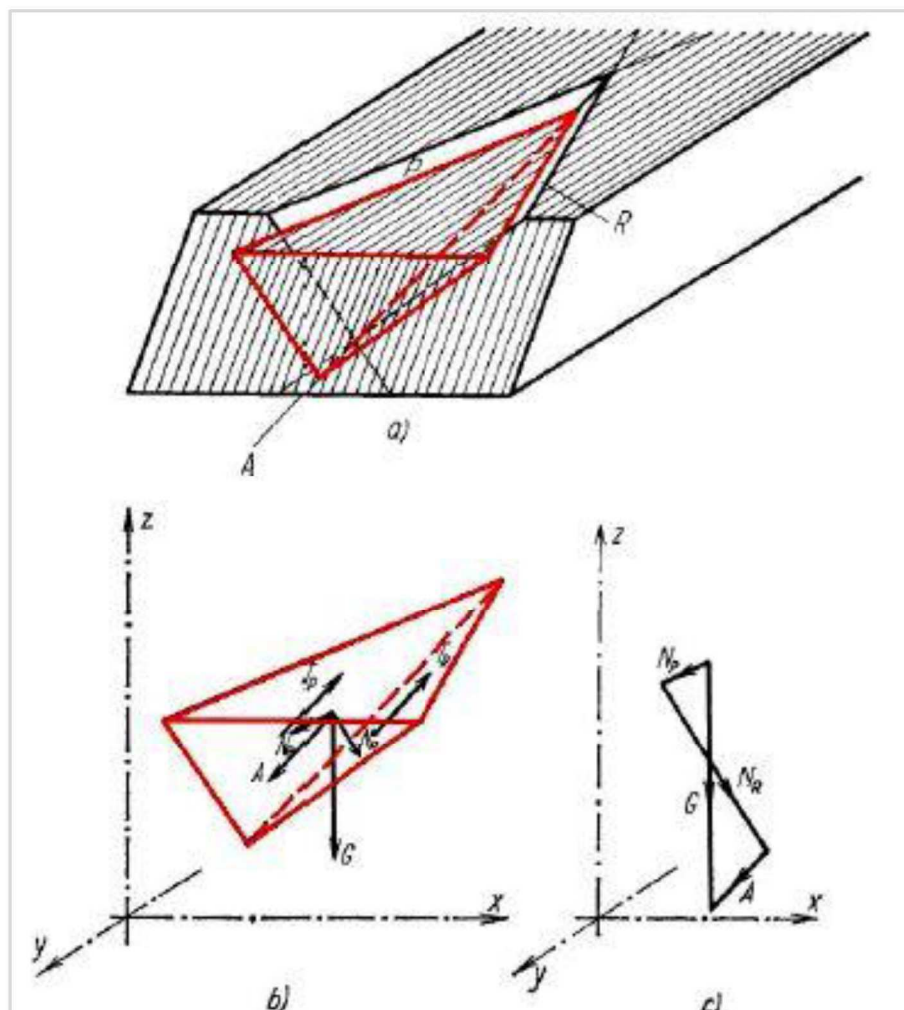
$F_P$ ,  $F_R$  je velikost ploch P a R,

$N_P$ ,  $N_R$  je normálová složka výslednice sil G,

$\varphi_P$ ,  $\varphi_R$  je tření na plochách P a R,

$A$  je aktivní složka od výslednice sil G, působící posun bloku.

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 4.5 Schéma prostorového klínu a znázornění silového působení [11].

### 4.1.7 Výpočet stability skalní stěny

Výpočet stupně stability vychází z posouzení porušení smykem (2) a posouzení nejnebezpečnějšího horninového klínu (5). Výpočty jsou vypracovány ve všech řešených řezech 1-1', 2-2' a 3-3'. Jsou uvažovány vstupní parametry, viz tab. 4.1, a provedena transformace úhlu vnitřního tření.

Tab. 4.1 Vstupní parametry pro výpočet [12], [18].

Tíha horniny ( $\gamma$ )	$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	26
Výška svahu řez 1-1' (h)	m	4,6; 4,4
Výška svahu řez 2-2' (h)	m	11,5
Výška svahu řez 3-3' (h)	m	15
Úhel vnitřního tření horniny ( $\varphi$ )	°	60
Smyková pevnost ( $\tau_{pk}$ )		$0,12 + \sigma \cdot \tan 60^\circ$ ( $\sigma < 0,62 \text{ MPa}$ ) $0,64 + \sigma \cdot \tan 42^\circ$ ( $\sigma > 0,62 \text{ MPa}$ )



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

**Řez 1-1'**

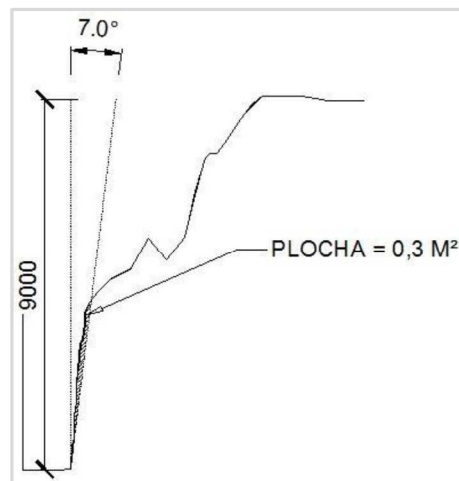
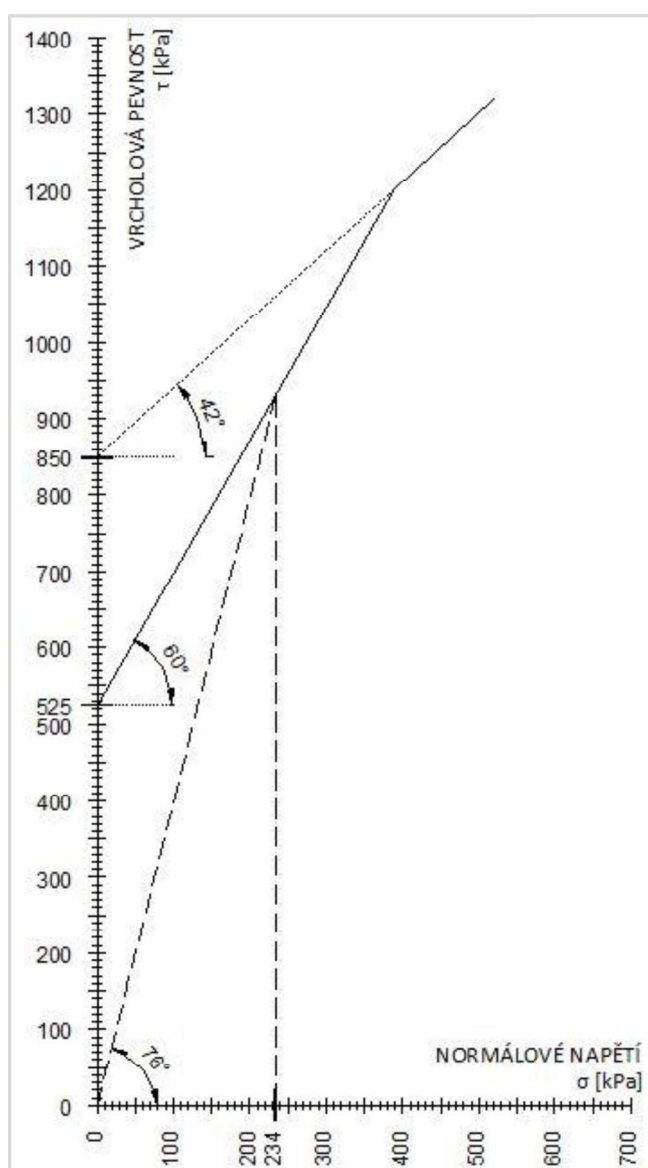
- maximální normálové napětí

$$\sigma = \gamma \cdot H = 26 \cdot 9 = 234 \text{ kPa}, \quad (15)$$

- transformovaný úhel vnitřního tření  $\varphi_n = 76^\circ$ , viz obr. 4.6.

$$\tau_1 = 0,12 + \sigma \cdot \tan 60^\circ = 0,12 + 0,234 \cdot \tan 60^\circ = 0,525 \text{ MPa}, \quad (16)$$

$$\tau_2 = 0,64 + \sigma \cdot \tan 42^\circ = 0,64 + 0,234 \cdot \tan 42^\circ = 0,850 \text{ MPa}, \quad (16)$$



Obr. 4.7 Určení plochy horninového klínu pro řez 1-1' [17].

Obr. 4.6 Čára vrcholové pevnosti granodioritu pro řez 1-1' [17].

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- vlastní tíha horninového bloku

$$G = \gamma \cdot A_{kl} = 26 \cdot 0,3 = 7,8 \cdot 1bm = 7,8 \text{ kN}, \quad (9)$$

- určení úhlu aktivního klínu

$$45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} = 45^\circ - \frac{76^\circ}{2} = 7^\circ, \quad (17)$$

### **Porušení smykem:**

$$F = \frac{(G \cdot \cos \alpha - U) \cdot \tan \varphi + c \cdot l}{G \cdot \sin \alpha - F_w} = \frac{(7,8 \cdot \cos 83 - 0) \cdot \tan 76 + 0 \cdot l}{7,8 \cdot \sin 83 - 0} = 0,49 < 1,5, \quad (2)$$

NEVYHOVUJE

### **Posouzení nejnebezpečnějšího horninového klínu:**

- tangenciální síla aktivně porušující klín podle předurčené smykové plochy

$$S = G \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = G \cdot \cos 7^\circ = 7,8 \cdot \cos 7^\circ = 7,74 \text{ kN}, \quad (6)$$

- tření na předurčené smykové ploše

$$T = G \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \cdot \tan \varphi = 7,8 \cdot \sin 7^\circ \cdot \tan 60^\circ = 1,65 \text{ kN}, \quad (7)$$

- soudržnost na předurčené smykové ploše je uvažována nulová

- posouzení nejnebezpečnějšího horninového klínu v řezu 1-1'

$$S \leq T + C, \quad (5)$$

$$7,74 \text{ kN} \geq 1,65 \text{ kN} + 0,$$

NEVYHOVUJE

- řešený skalní svah je uvažován jako trvalý, stupeň stability je zvolen  $F=1,25$ , poté výpočet stupně stability je

$$F = \frac{\text{pasivní síly}}{\text{aktivní síly}} = \frac{1,65}{7,74} = 0,21 < 1,5, \quad \text{NEVYHOVUJE} \quad (1)$$

V posuzovaném místě je skalní svah nestabilní a je nutné jej zajistit kotvením.

### **Návrh kotevní síly:**

$$S \leq T + T_k + S_k, \quad (10)$$

$$S - T \leq T_k + S_k, \quad (10)$$

$$S - T \leq Q_k \cdot \cos \omega \cdot \tan \varphi + Q_k \cdot \sin \omega, \quad (10+11+12+13)$$

$$S - T \leq Q_k \cdot (\cos \omega \cdot \tan \varphi + \sin \omega), \quad (10+11+12+13)$$

$$Q_k \geq \frac{S-T}{\cos \omega \cdot \tan \varphi + \sin \omega}, \quad (10+11+12+13)$$

### POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

$$Q_k \geq \frac{7,74 - 1,65}{\cos(83 - 76) \cdot \tan 76 + \sin(83 - 76)} = 1,48 \text{ kN}, \quad (10+11+12+13)$$

Únosnost kořene horninové kotvy na 1 bm je cca 50 kN. Pro zajištění stability skalního svahu bude postačovat systémové kotvení od navrženého sanačního opatření, tj. překrytí svahu ochrannou sítí. Systémové kotvení bude provedeno v rastru 2 x 2 m.

#### *Posouzení kotveného horninového klínu:*

$$S_k = 50 \cdot \sin(83 - 76) = 6,09 \text{ kN}, \quad (11)$$

$$N_k = 50 \cdot \cos(83 - 76) = 49,63 \text{ kN}, \quad (13)$$

$$T_k = 49,63 \cdot \tan 76 = 199,06 \text{ kN}, \quad (12)$$

$$S \leq T + C + T_k + S_k, \quad (10)$$

$$7,74 \leq 1,65 + 0 + 199,06 + 6,09 = 206,80 \text{ kN}, \quad (10)$$

VYHOVUJE

- řešený skalní svah je uvažován jako trvalý, stupeň stability je zvolen  $F=1,25$ , poté výpočet stupně stability je

$$F = \frac{\text{pasivní síly}}{\text{aktivní síly}} = \frac{206,80}{7,74} = 26,72 > 1,5, \quad \text{VYHOVUJE} \quad (1)$$

#### Řez 2-2'

- maximální normálové napětí

$$\sigma = \gamma \cdot H = 26 \cdot 11,5 = 299 \text{ kPa},$$

- transformovaný úhel vnitřního tření  $\varphi_n = 75^\circ$ , viz obr. 4.8.

$$\tau_1 = 0,12 + \sigma \cdot \tan 60^\circ = 0,12 + 0,299 \cdot \tan 60^\circ = 0,638 \text{ MPa}, \quad (16)$$

$$\tau_2 = 0,64 + \sigma \cdot \tan 42^\circ = 0,64 + 0,299 \cdot \tan 42^\circ = 0,909 \text{ MPa}, \quad (16)$$

- určení úhlu aktivního klínu

$$45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} = 45^\circ - \frac{75^\circ}{2} = 7,5^\circ, \quad (17)$$

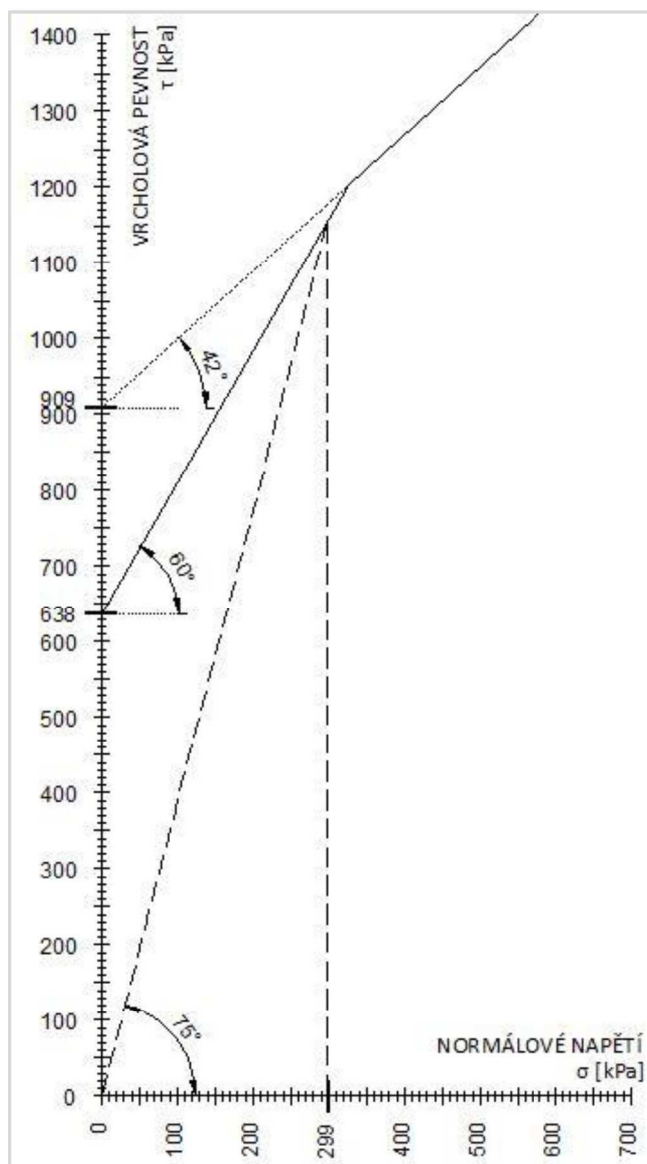
- vlastní tíha horninového bloku

$$G = \gamma \cdot A_{kl} = 26 \cdot 0 = 0 \cdot 1 \text{ bm} = 0 \text{ kN}, \quad (9)$$

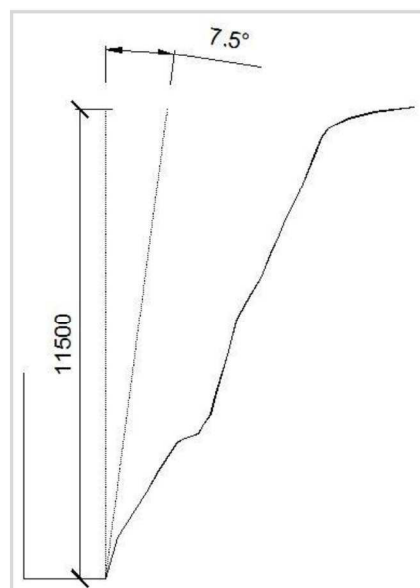
Nebezpečný horninový klín umístěný v patě svahu nezasahuje v případě řezu 2-2' do skalního svahu. Není třeba posuzovat.



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ



Obr. 4.8 Čára vrcholové pevnosti granodioritu pro řez 2-2' [17].



Obr. 4.9 Určení plochy horninového klínu pro řez 2-2' [17].

**Řez 3-3'**

- maximální normálové napětí

$$\sigma = \gamma \cdot H = 26 \cdot 15 = 390 \text{ kPa},$$

- transformovaný úhel vnitřního tření  $\varphi_n = 74^\circ$ , viz obr. 4.10.

$$\tau_1 = 0,12 + \sigma \cdot \tan 60^\circ = 0,12 + 0,390 \cdot \tan 60^\circ = 0,795 \text{ MPa}, \quad (16)$$

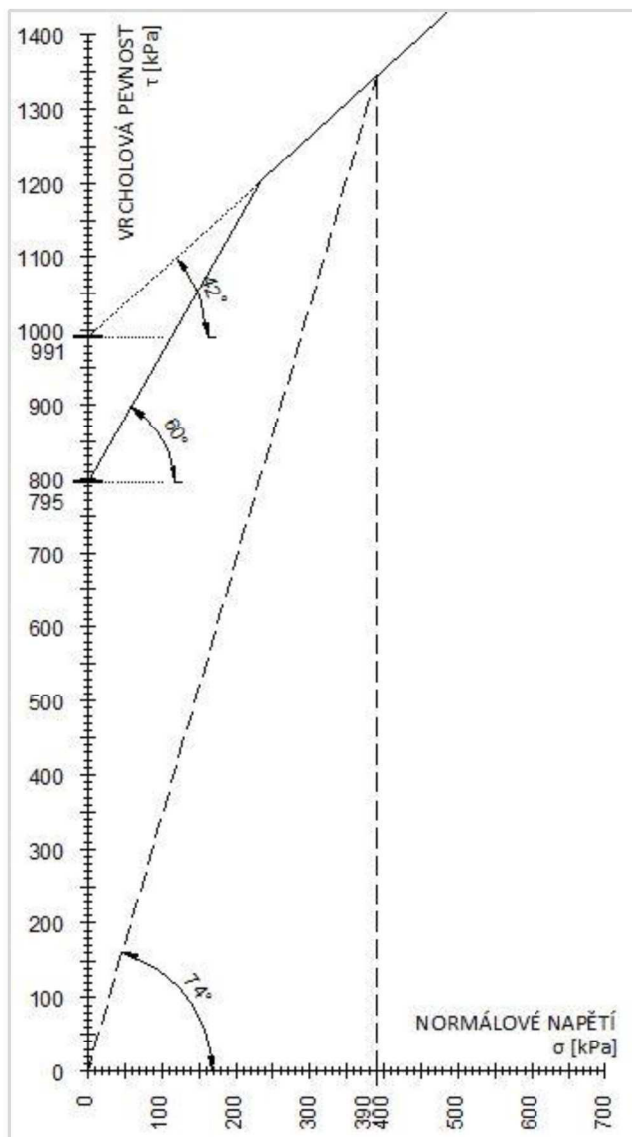
$$\tau_2 = 0,64 + \sigma \cdot \tan 42^\circ = 0,64 + 0,390 \cdot \tan 42^\circ = 0,991 \text{ MPa}, \quad (16)$$

### POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

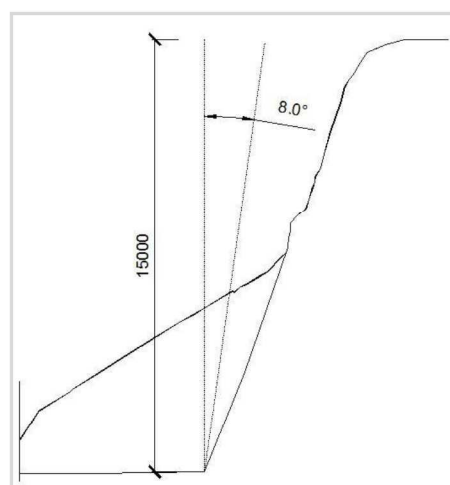
- určení úhlu aktivního klínu

$$45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} = 45^\circ - \frac{74^\circ}{2} = 8^\circ, \quad (17)$$

**Nebezpečný horninový klín umístěný v patě svahu nezasahuje v případě řezu 3-3' do skalního svahu. Není třeba posuzovat.**



Obr. 4.10 Čára vrcholové pevnosti granodioritu pro řez 3-3' [17].



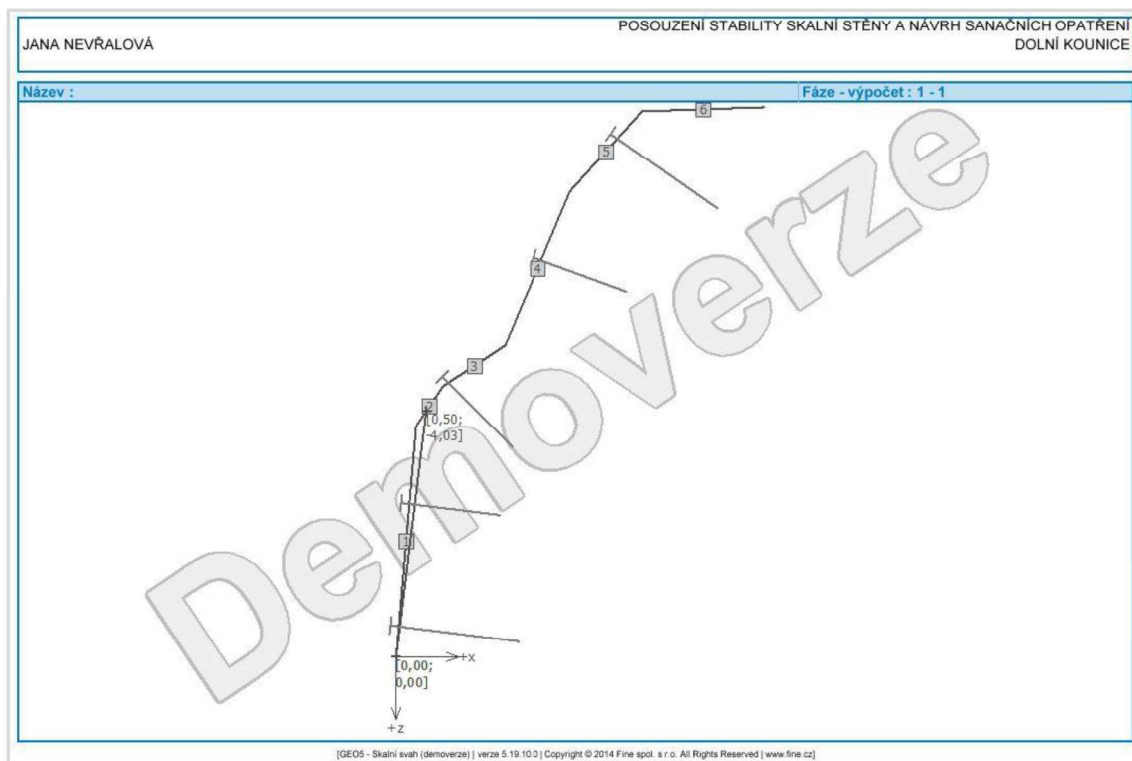
Obr. 4.11 Určení plochy horninového klínu pro řez 3-3' [17].

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

## 4.2 Posouzení stability svahu v GEO5

Stabilitu skalní stěny je současně možné posoudit s využitím výpočetní techniky. Ta se v posledních letech stává nedílnou součástí posudků a ve složitějších poměrech je její využití nezbytné. V tomto případě se stabilita svahu se posuzuje pomocí výukové verze komerčního programu GEO 5, konkrétně je využit modul Skalní svah. Metodika posouzení vychází z výpočtů podle EN 1997. Pro posouzení je zvolen návrhový přístup 1 - redukce zatížení a materiálu. Posouzení stability skalní stěny je provedeno ve všech třech zdokumentovaných řezech, viz *obr. 4.12. – 4.14.*

Stejně jako u ručních výpočtů i zde v případě řezu 2-2' a 3-3' nejnebezpečnější horninových klín nezasahuje do skalního svahu, výpočet nelze provést.



*Obr. 4.12 Pohled na zadanou geometrii svahu, řez 1-1' [18].*



**POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ**

JANA NEVŘALOVÁ	POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ DOLNÍ KOUNICE				
<b>Výpočet skalního svahu</b>					
<b>Vstupní data</b>					
<b>Projekt</b>					
Akce :	POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ				
Část :	DOLNÍ KOUNICE				
Popis :	ŘEZ 1-1'				
Odběratel :	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ				
Vypracoval :	JANA NEVŘALOVÁ				
Datum :	22.12.2014				
<b>Nastavení</b>					
Standardní - EN 1997 - DA1					
<b>Stabilitní výpočty</b>					
Metodika posouzení : výpočet podle EN1997					
Návrhový přístup : 1 - redukce zatížení a materiálu					
<b>Součinitele redukce zatížení (F)</b>					
<b>Trvalá návrhová situace</b>					
	Kombinace 1	Kombinace 2			
	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 :	$\gamma_w =$	1,35 [-]		1,00 [-]	
<b>Součinitele redukce materiálu (M)</b>					
<b>Trvalá návrhová situace</b>					
		Kombinace 1	Kombinace 2		
Součinitel redukce úhlu vnitřního tření :	$\gamma_\phi =$	1,00 [-]	1,25 [-]		
Součinitel redukce efektivní soudržnosti :	$\gamma_c =$	1,00 [-]	1,25 [-]		
Součinitel redukce neodv. smykové pevnosti :	$\gamma_{cu} =$	1,00 [-]	1,40 [-]		
<b>Terén</b>					
<b>Úseky terénu</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Sklon</b> $\alpha$ [°]	<b>Celková délka</b> $l$ [m]	<b>Vodorovná délka</b> $l_h$ [m]	<b>Výška</b> $l_v$ [m]	
1	85,00	3,80	0,33	3,79	
2	56,00	0,78	0,44	0,65	
3	33,00	1,23	1,03	0,67	
4	67,00	2,74	1,07	2,52	
5	48,00	1,78	1,19	1,32	
6	2,00	2,00	2,00	0,07	
<b>Hornina</b>					
Objemová tíha $\gamma = 26,00$ kN/m <sup>3</sup>					
Typ zadané smykové pevnosti: Mohr-Coulomb					
Úhel vnitřního tření $\phi = 76,00$ °					
Soudržnost $c = 0,00$ kPa					
<b>Smyková plocha</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Souřadnice</b>				
	$x$ [m]	$y$ [m]			
1	0,00	0,00			
2	0,50	-4,03			
1					
[GE05 - Skalní svah (demoverze)   verze 5.19.10.0   Copyright © 2014 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved   www.fine.cz]					

Obr. 4.13 Vstupní údaje zadávané do programu, řez 1-1' [18].

**POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ**

JANA NEVŘALOVÁ	POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ DOLNÍ KOUNICE
----------------	--

Sklon smykové plochy  $\alpha = 83,00^\circ$   
 Typ smykové plochy: hladká

**Voda**  
 Vliv hladiny podzemní vody není uvažován.

**Zadané kotvy**

Číslo	Nová kotva	Počátek		Délka	Sklon	Vzdál. mezi
		x[m]	z[m]	l [m]	$\alpha$ [°]	b [m]
1	ANO	0,04	-0,50	2,00	7,00	2,00
2	ANO	0,22	-2,50	1,50	7,00	2,00
3	ANO	0,86	-4,50	1,50	45,00	2,00
4	ANO	2,39	-6,50	1,50	20,00	2,00
5	ANO	3,65	-8,50	2,00	35,00	2,00

Číslo	Typ kotvy	Dopnutí	Síla F [kN]	Únosnost $R_t$ [kN]
1	aktivní		50,00	
2	aktivní		50,00	
3	aktivní		50,00	
4	aktivní		50,00	
5	aktivní		50,00	

**Celkové nastavení výpočtu**  
 Typ výpočtu : rovinná smyková plocha

**Nastavení výpočtu fáze**  
 Návrhová situace pro stabilitní výpočty : trvalá

**Výpočet čís. 1**  
**Výpočet rovinné smykové plochy - kombinace 1**  
 Síla vzdorující  $T_{res} = 205,22$  kN/m  
 Síla posouvající  $T_{act} = 9,51$  kN/m  
**Stabilita skalního svahu VYHOVUJE**

**Výpočet rovinné smykové plochy - kombinace 2**  
 Síla vzdorující  $T_{res} = 163,21$  kN/m  
 Síla posouvající  $T_{act} = 7,05$  kN/m  
**Stabilita skalního svahu VYHOVUJE**

Obr. 4.14 Výstupní údaje – posouzení stability skalního svahu, řez 1-1' [18].



## 5 PROJEKT SANACE



## 5.1 Technická zpráva

V Dolních Kounicích na ulici Rybárna se nachází neudržovaný skalní svah, který je v těsné blízkosti obytné zástavby. Skalní svah je na pozemku parcelní číslo 593, který je v majetku města Dolní Kounice. Skalní stěny jsou pozůstatek starého lomu. V místě se nachází biotitický granodiorit. Úsek stavby je široký 90 m. Výška svahu je v rozmezí 20,5 m až 22,0 m o sklonu 65° až 72°.

Technické řešení projektu vychází ze zjištěných skutečností. Skalní svah je jako celek stabilní, avšak dochází ke zvětrávání a rozpadu horniny. Následkem gravitace a povětrnostních vlivů dochází k následnému transportu v čase. Je nutné zajistit bezpečnost osob a staveb nacházejících se v těsné blízkosti paty skalního svahu. Na základě zpracovaného odhadu finanční náročnosti je pro lokalitu zvoleno sanační opatření, které se sestává z očištění skalního svahu, odtěžení osypového kužele a zajištění plochy svahu ochrannou sítí včetně systémového kotvení. Síť bude v patě svahu ve vybrané partii doplněna o gabionovou konstrukci.

Projektová dokumentace je k objektu zpracována viz *obr. 5.1-6*. Odhad finanční náročnosti je zpracován do podoby nákladů stavby dle výběru použitých materiálů viz *obr. 5.1-6*.

### 5.1.1 Postup výstavby

Před započítáním prací musí být zajištěna bezpečnost pod svahem. Bude vymezen prostor pro pohyb osob a zajištěna střešní krytina přilehlých staveb tak, aby nedošlo k jejímu poškození (např. překrytí krytiny dřevěnými prkny). V případě potřeby bude zajištěn systém pro kontrolovaný shoz materiálu (např. svah bude dočasně překryt sítí nebo geotextilií, která bude ve spodní části zatížena závažím tak, aby byl vytvořen bezpečný prostor pro shoz odtěžené horniny. Síť bude v pracovních místech vzepřena). Za horní hranou svahu bude vytvořen kotevní systém pro bezpečnost pracovníků pohybujících se na laně na skalním svahu.

Práce budou započaty odstraněním vegetace a náletových dřevin v celé dotčené ploše. Dřevo bude při patě stěny rozřezáno na menší díly a odvezeno na místo předem dohodnuté s obcí. Následně dojde k očištění skalního svahu pomocí stlačeného vzduchu do hloubky cca 0,1 m. Očištěna bude celá dotčená plocha, avšak v místech kde je

## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

hornina neporušena k očištění dojít nemusí. Oproti tomu ve více postižených partiích může dojít k hlubšímu zásahu. Osypový kužel bude v určeném rozsahu odtěžen včetně materiálu nově sesutého během sanačních prací. Následně budou realizovány vrty a osazeny kotevní tyče pro upevnění ochranných sítí. Na svah budou umístěny ochranné sítě. Ty budou vzájemně spojeny a v horní i spodní linii budou instalována kotevní lana. Ochranné sítě budou kotevními tyčemi přichyceny tak, aby sítě kopírovaly terén a zároveň umožnily kontrolovaný opad kusů horniny.

V určené linii bude vytvořena základová spára pro usazení gabionové konstrukce. V celé šířce základové spáry budou usazeny gabionové koše, které budou následně vyskládány a vyklínovány kamenem získaným při čištění skalního svahu. Za rubem zdi vznikne akumulací prostor. Okolí stavby bude uvedeno do původního stavu.

Skalní svah je nutné pravidelně udržovat. V intervalu 1-2 let je vhodné provádět odstranění vegetace a náletových dřevin, odtěžení napadané suti a ošetření vhodným arboricidem.

### **5.1.2 Materiály použité pro stavbu**

- Ochranné sítě – vysokopevnostní ocelové sítě z dvouzákrtového pletiva s obousměrně vpleteným lanem  $\varnothing$  8 mm, oko 6 x 8 cm, včetně antikoroziní úpravy.
- Kotevní lana – ocelové šestipramenné lano  $\varnothing$  14 mm, 6 x 37 drátů, 1770 MPa, včetně antikoroziní úpravy.
- Kotevní tyče – celozávitová kotevní tyč CKT  $\varnothing$  25 mm.
- Drátokamenná konstrukce – ocelové sítě z dvouzákrtového pletiva, oko 8 x 10 cm, včetně antikoroziní úpravy, koše plněny místním kamenivem frakce 100 - 200 mm.

### **5.1.3 Bezpečnostní předpisy**

Během výstavby musí být dodržovány právní předpisy a technické normy, které upravují bezpečnost práce ve stavebnictví [7]. Z právních předpisů se jedná o:

Zákon č. 183/2006 Sb., stavební zákon.

Zákon č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

Nařízení vlády č. 378/2001 Sb., kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí.

Nařízení vlády č. 362/2005 Sb., o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky.

Nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích.

Vyhláška č. 499/2006 Sb. o dokumentaci staveb.

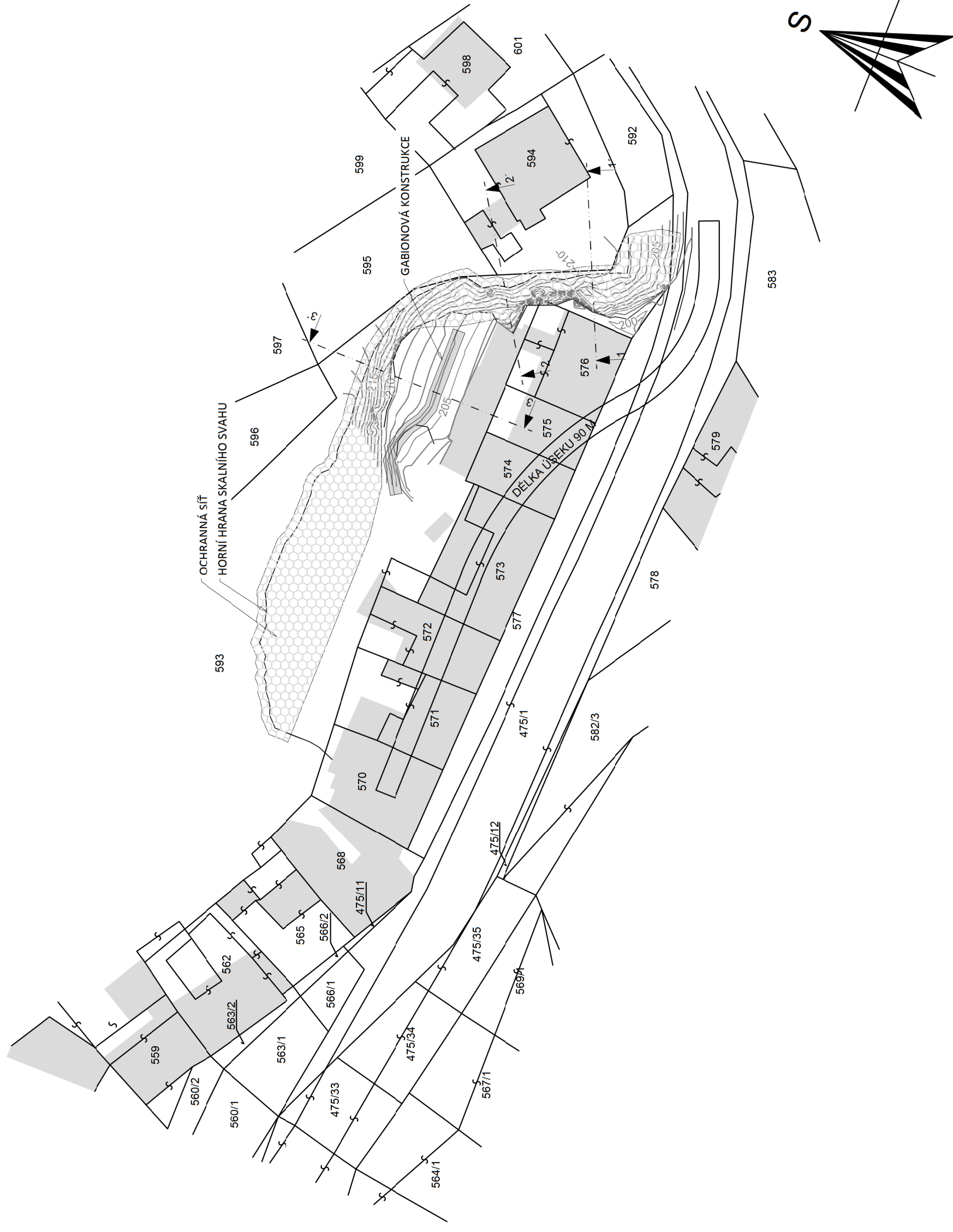
Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby.

Vyhláška č. 77/1965 Sb., o výcviku, způsobilosti a registraci obsluh stavebních strojů.



# KOORDINAČNÍ SITUACE STAVBY

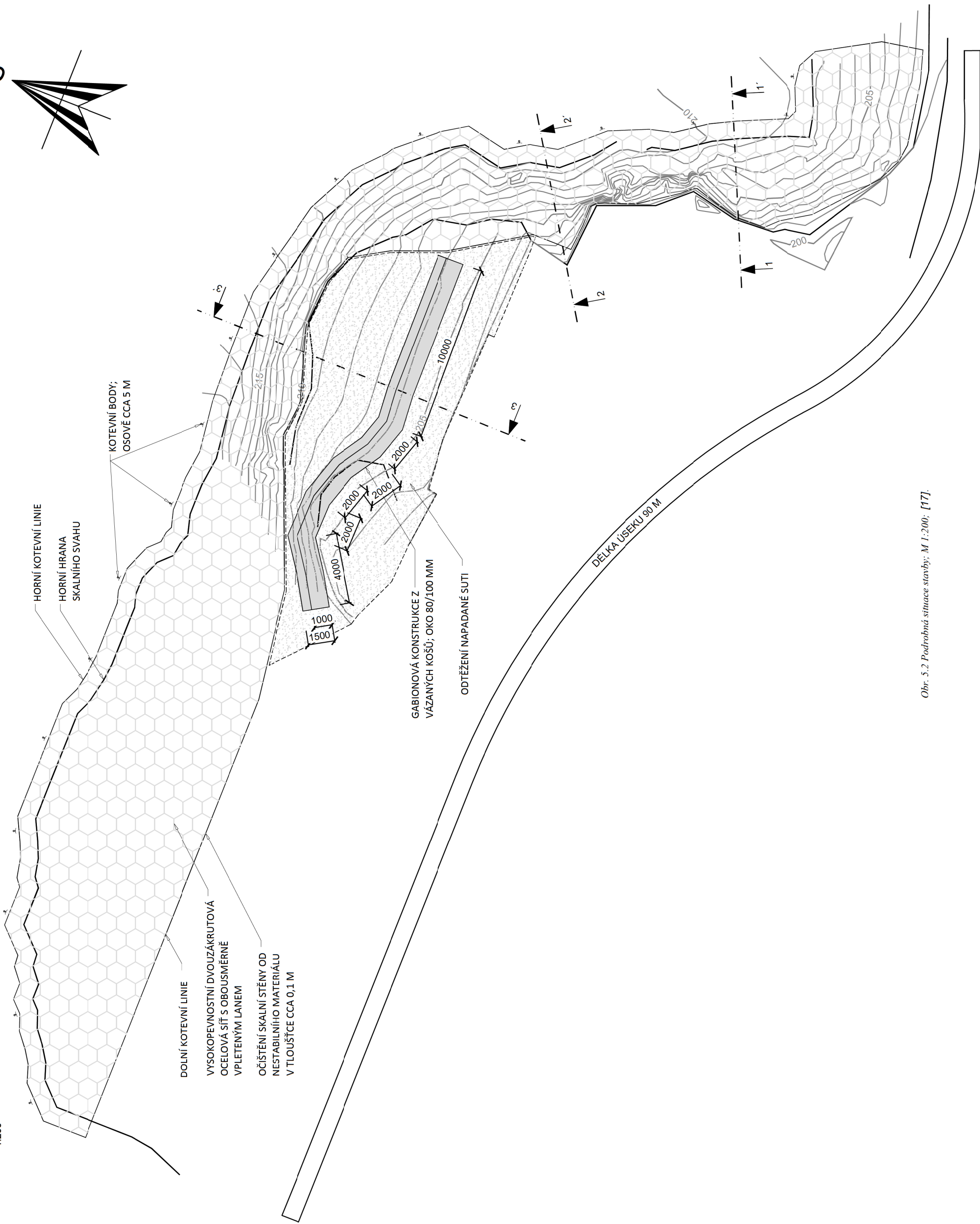
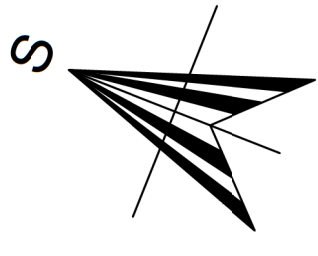
1:500



Obr. 5.1 Koordinační situace stavby: M. 1:500; [17].

# PODROBNÁ SITUACE STAVBY

1:200



HORNÍ KOTEVNÍ LINIE

HORNÍ HRANA  
SKALNÍHO SVAHU

KOTEVNÍ BODY;  
OSOvě CCA 5 M

DOLNÍ KOTEVNÍ LINIE

VYSOKOPEVNOSTNÍ DVOUZÁKRUTOVÁ  
OCELOVÁ SÍŤ S OBOUSMĚRNĚ  
VPLETENÝM LANEM

OČIŠŤENÍ SKALNÍ STĚNY OD  
NESTABILNÍHO MATERIÁLU  
V TLOUŠŤCE CCA 0,1 M

GABIONOVÁ KONSTRUKCE Z  
VÁZANÝCH KOŠŮ; OKO 80/100 MM

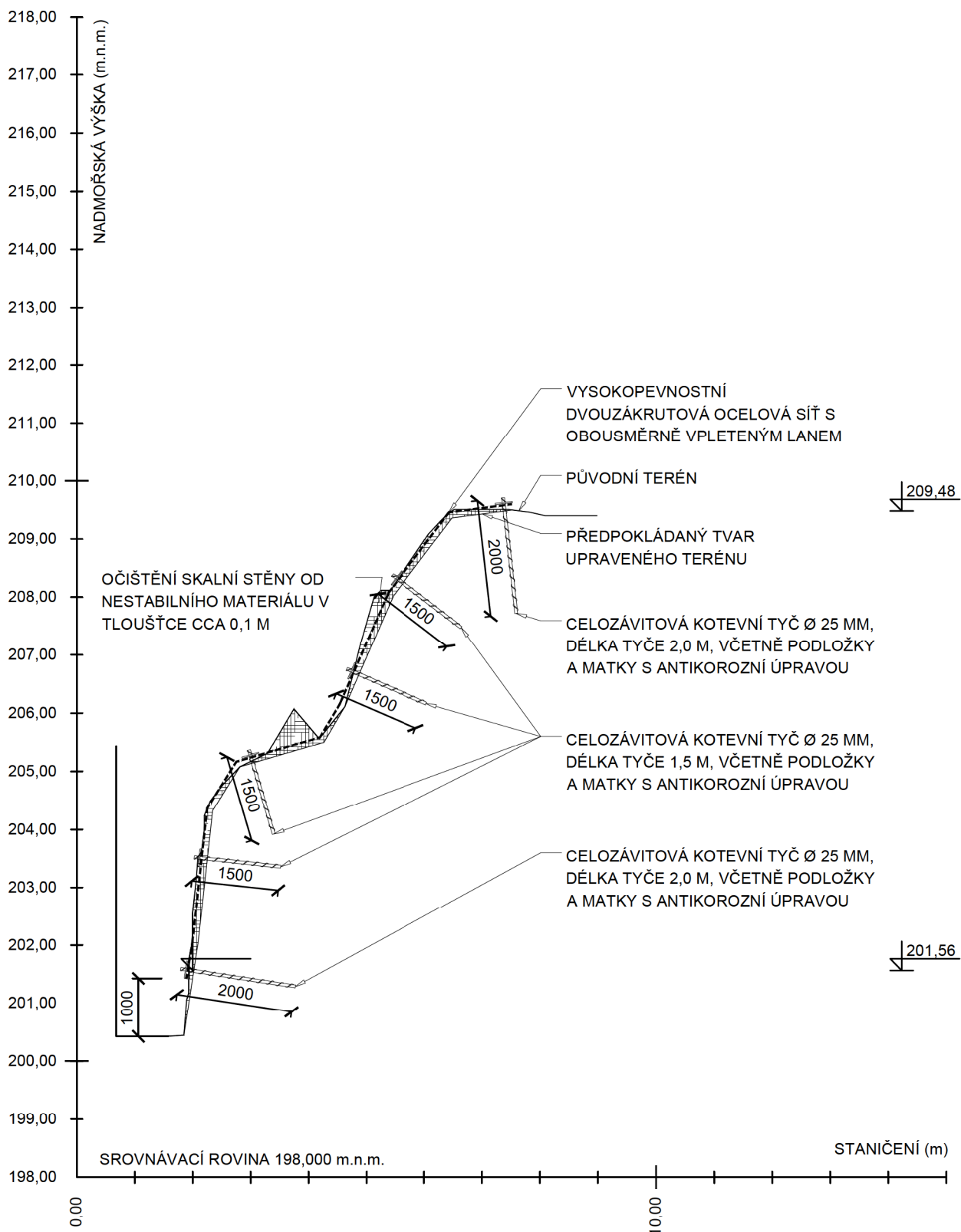
ODTĚŽENÍ NAPADANÉ SUTI

DĚLKA ÚSEKU 90 M

Obr. 5.2 Podrobná situace stavby; M 1:200; [17].

# PŘÍČNÝ ŘEZ 1-1'

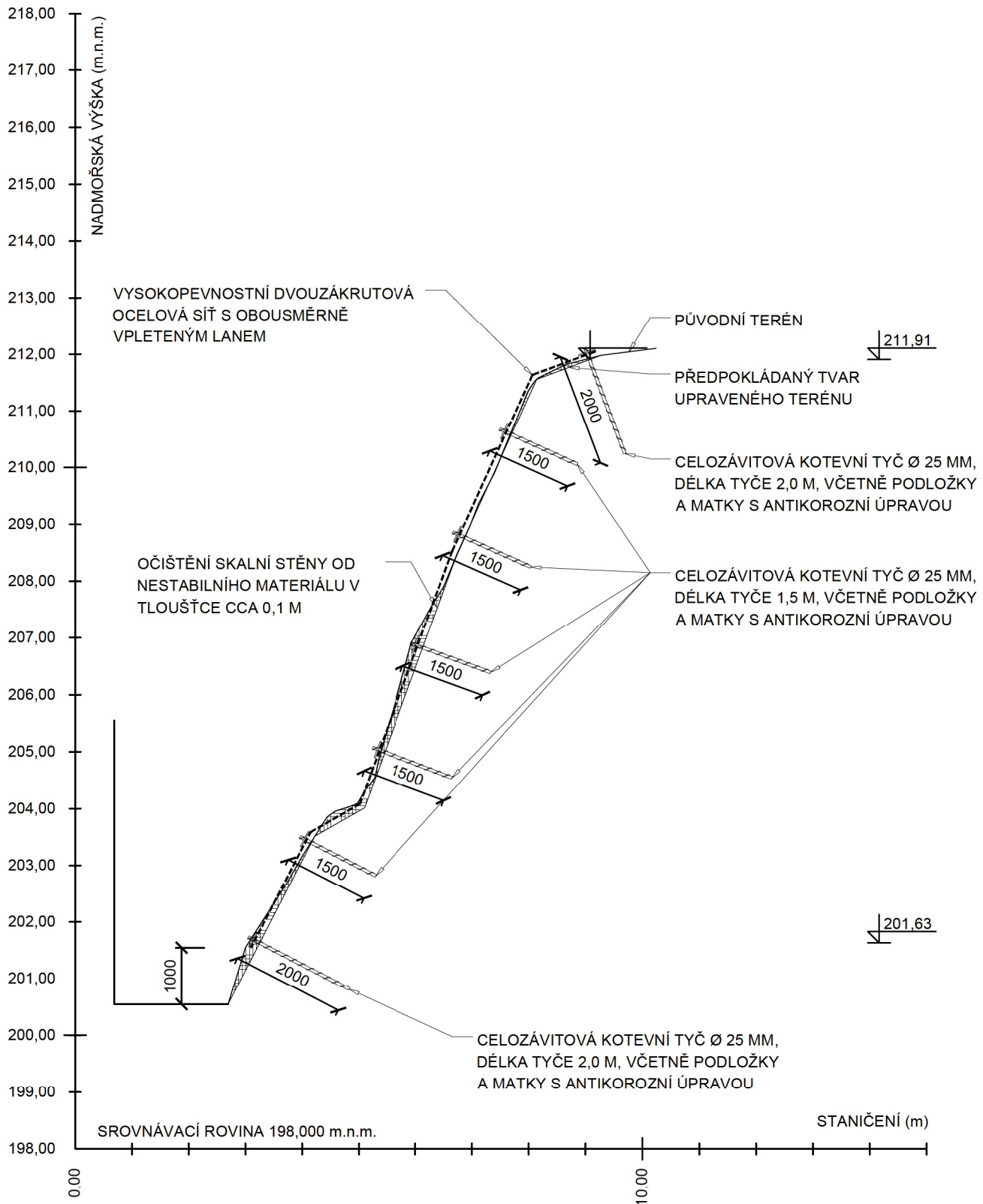
1:100



Obr. 5.3 Příčný řez 1-1'; M 1:100; [17].

# PŘÍČNÝ ŘEZ 2-2'

1:100

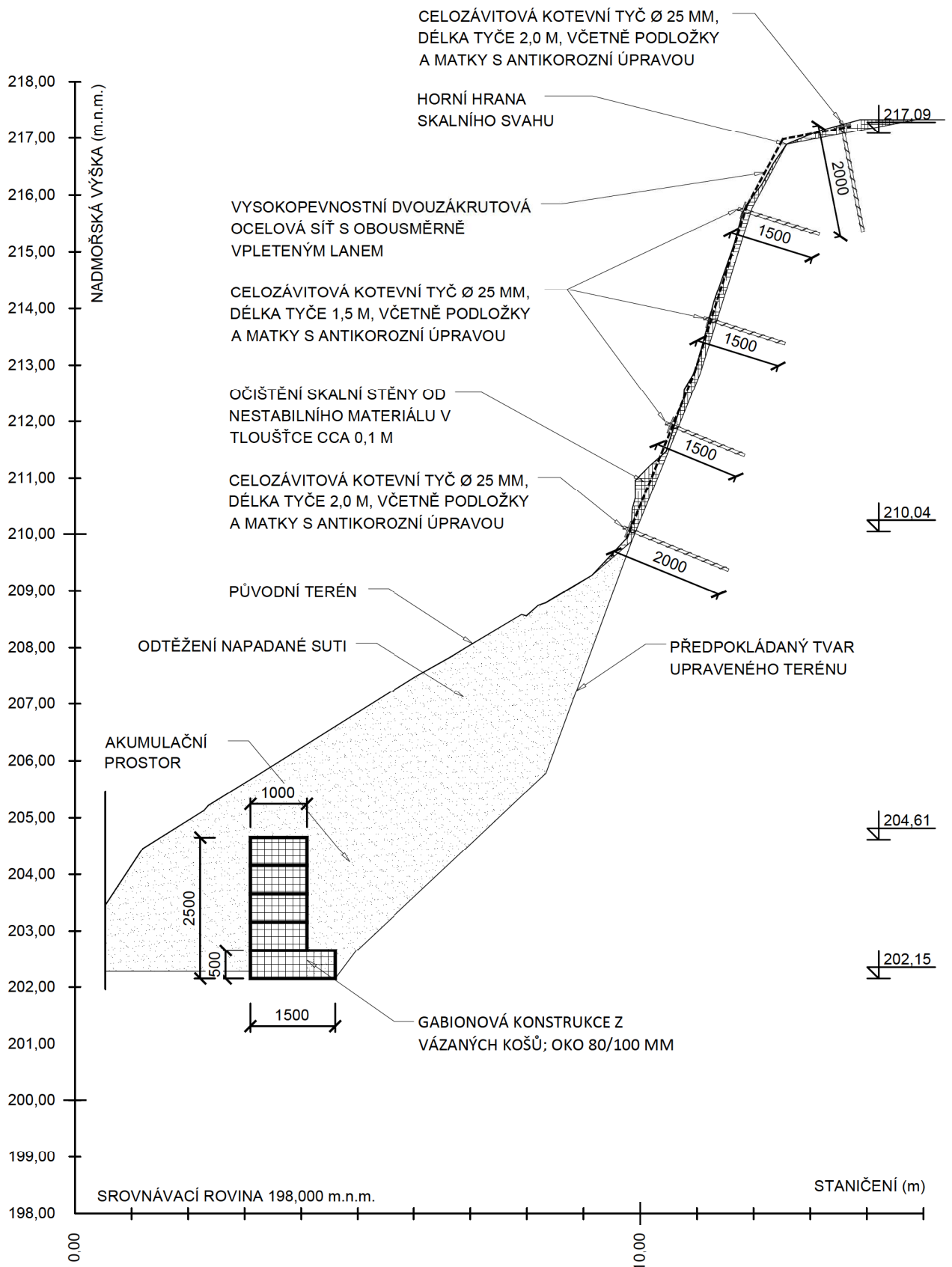


Obr. 5.4 Příčný řez 2-2'; M 1:100; [17].



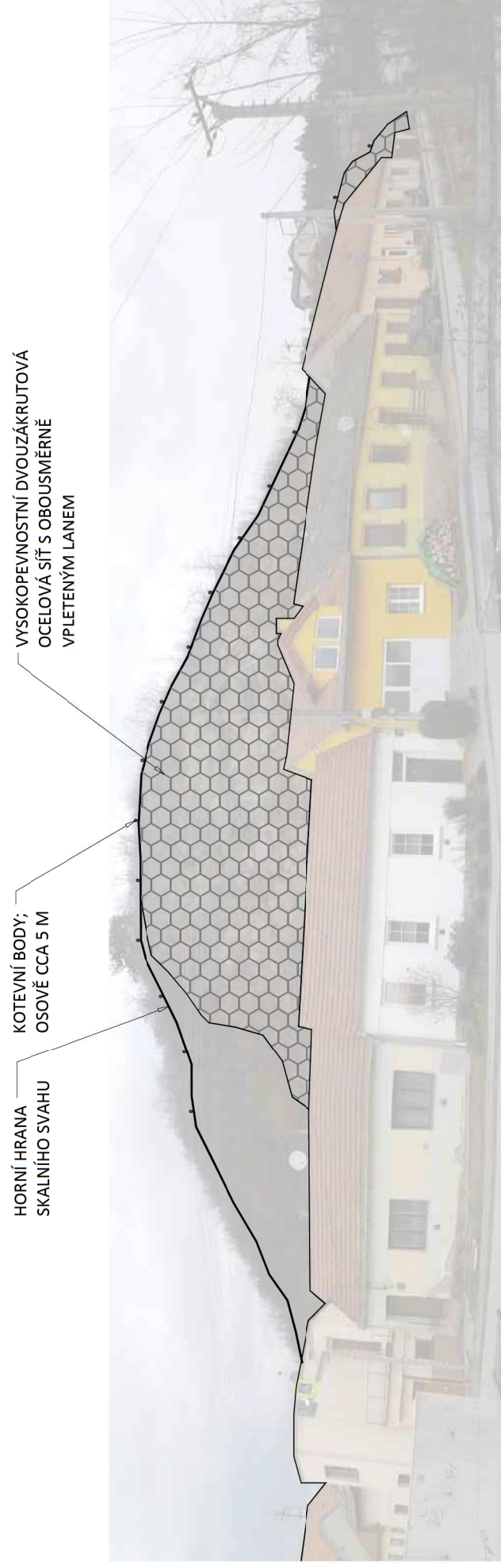
# PŘÍČNÝ ŘEZ 3-3'

1:100



Obr. 5.5 Příčný řez 3-3'; M 1:100; [17].

# ČELNÍ POHLED



Obr. 5.6 Čelní pohled; M 1:200; [17].

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

## 5.8 Náklady stavby

Tab. 5.1 Odhad finančního hodnocení.

NÁKLADY STAVBY						
INSTALACE OCHRANNÉ SÍTĚ A GABIONOVÉ KONSTRUKCE						
	Mj	Množství celkem	Cena za Mj	Cena celkem		
					Popis položky	
Očištění svahu	1	kus	18,00	2 790,0 Kč	50 220 Kč	Zřízení horolezeckého úvazu pro práci ve výškách
	2	hod	256,00	125,0 Kč	32 000 Kč	Práce horolezeckým způsobem ve skalní stěně
	3	m	90,00	43,2 Kč	3 888 Kč	Lano ocelové šestipramenné 6 x 37 drátů pozinkované 1770 MPa D 14,0 mm
	4	kus	18,00	25,7 Kč	463 Kč	Lanová svorka pozinkovaná pro maximální průměr lana 22 mm
	5	ks	5,00	129,0 Kč	645 Kč	Kácení stromů listnatých D kmene do 300 mm
	6	m <sup>2</sup>	1 080,00	43,6 Kč	47 088 Kč	Odstranění křovin a stromů s ponecháním kořenů z plochy do 10000 m2
	7	m <sup>2</sup>	1 442,00	88,1 Kč	127 040 Kč	Očištění ploch stlačeným vzduchem - skalních
	8	m <sup>3</sup>	450,22	137,0 Kč	61 680 Kč	Odkopávky a prokopávky nezapažené v hornině tř. 4 objem do 1000 m <sup>3</sup>
	9	t	1 455,45	35,9 Kč	52 251 Kč	Vodorovná doprava suti s naložením a složením na skládku do 100 m
	10	m	396,00	772,0 Kč	305 712 Kč	Vrty maloprofilové D do 56 mm úklon do 45° hl do 25 m hor. III a IV
	11	m	396,00	171,0 Kč	67 716 Kč	Tyč kotevní celozávitová CKT D 25 mm
Ochranná síť	12	kus	234,00	70,7 Kč	16 544 Kč	Matice pro CKT D 25 mm
	13	kus	234,00	319,0 Kč	74 646 Kč	Podložka pro CKT 200x200x20 mm
	12	m	620,40	43,2 Kč	26 801 Kč	Lano ocelové šestipramenné 6 x 37 drátů pozinkované 1770 MPa D 14,0 mm
	13	m <sup>2</sup>	1 155,00	191,0 Kč	220 605 Kč	Vysokopevnostní ocelová síť z dvouzákrutového pletiva, oko 6 x 8 cm, včetně antikoroziní úpravy
	14	kus	124,00	25,7 Kč	3 187 Kč	Lanová svorka pozinkovaná pro maximální průměr lana 22 mm
	15	kart.	2,00	2 600,0 Kč	5 200 Kč	Spojovací C kroužky
	16	m <sup>3</sup>	4,95	8 950,0 Kč	44 303 Kč	Injektážní hmoty pro kotevní prvky
	17	m <sup>2</sup>	9,90	1 980,0 Kč	19 602 Kč	Antikoroziní ochrana kotevních prvků
	18	m <sup>2</sup>	1 155,00	95,0 Kč	109 725 Kč	Osazení sítě
	19	t	2,53	773,0 Kč	1 958 Kč	Vodorovná doprava suti s naložením a složením na skládku do 100 m
Gabionová konstrukce	20	m <sup>2</sup>	98,80	35,9 Kč	3 547 Kč	Svahování v zářezech v hornině tř. 1 až 4
	21	m <sup>3</sup>	71,50	4 560,0 Kč	326 040 Kč	Drátokamenné konstrukce z dvouzákrutového pletiva, oko 8 x 10 cm, včetně antikoroziní úpravy, výplň z místního kamene
<b>Celková cena</b>				<b>1 598 993 Kč</b>		



## POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

### 6 ZÁVĚR

Skalní stěna nacházející se na ulici Rybárna ve městě Dolní Kounice je v neutěšeném stavu. Stěna je jako celek stabilní, avšak následkem povětrnostních vlivů dochází k jejímu rozpadu. Uvolněné části horniny ohrožují přilehlé prostory na životě i majetku. Na základě provedeného zhodnocení skalního svahu a inženýrsko-geologického průzkumu byl proveden návrh 6-ti kombinací možného sanačního opatření. K jednotlivým kombinacím byly provedeny odhady finanční náročnosti. Z nich bylo vybráno to nejvýhodnější řešení, které bylo následně rozpracováno do podoby realizační projektové dokumentace. Řešení se zakládá na očištění skalního svahu od vegetace a navětralých částí horniny tvořící skalní svah. Bude odtěžen osypový kužel a zajištěna bezpečnost skalního svahu pomocí vysokopevnostní ochranné sítě kotvené ke svahu. V místě původního osypového kužele bude vystavěna gabionová konstrukce.

Posouzení stávajícího stavu a kotevního systému bylo provedeno ručně a s pomocí výukové verze komerčního programu GEO 5.

Provedeným průzkumem, posouzením a zpracováním projektové dokumentace byl splněn cíl práce.





POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Geologický park Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze* [online]. 2011 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.parkgeo.cz/moravosilezikum.htm>>
- [2] *Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně* [online]. 2014 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://jirman.info/www/ugp/presentace/01-geologie/geologie.html>>
- [3] *Pavel Bokr* [online]. 2014 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.geologicke-mapy.cz>>
- [4] Vypracoval Český úřad zeměměřičský a katastrální. *Vyšší geomorfologické jednotky České republiky*. Praha: ČÚZK, 1996, 54 s.
- [5] *Město Dolní Kounice* [online]. 2013 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.dolnikounice.cz/>>
- [6] *Wikipedie* [online]. 2014 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Doln%C3%AD\\_Kounice](http://cs.wikipedia.org/wiki/Doln%C3%AD_Kounice)>
- [7] *Verlag Dashöfer, nakladatelství, spol. s r. o.* [online]. 1997 [cit. 2014-12-20]. Dostupné z WWW: <[http://www.bozpprofi.cz/predpisy-upravujici-bezpecnost-prace-ve-stavebnictvi-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox\\_ZzsZacqF04Ip4BHEmYixsMo/](http://www.bozpprofi.cz/predpisy-upravujici-bezpecnost-prace-ve-stavebnictvi-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZzsZacqF04Ip4BHEmYixsMo/)>
- [8] *ÚRS Praha, a.s.* [online]. 2010 [cit. 2014-12-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.pro-rozpocty.cz/cs/software-a-data/zadost-o-demo/>>
- [9] Doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Martin Žanda. *Dolní Kounice ul. Rybárna posouzení stability skalní stěny a návrh opatření*. Brno: 2005, 22 s.
- [10] *MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s r.o.* [online]. 2011 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z WWW: <[www.maccafferri.sk](http://www.maccafferri.sk)>
- [11] Doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. [online]. 2005 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z WWW: <[http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech\\_hornin/mhig\\_13.pdf](http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_13.pdf)>
- [12] GEOtest Brno. *Ročenka GMS*. Brno: GEOtest Brno, 1987, 271 s.



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

[13] *Institut geologického inženýrství* [online]. 2014 2014 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z WWW:<[Http://geologie.vsb.cz/PRAKTIKAGEOLOGIE/KAPITOLY/6\\_M%C4%9A%C5%98\\_KOMPASEM/Geologick%C3%BD\\_kompas.htm](http://geologie.vsb.cz/PRAKTIKAGEOLOGIE/KAPITOLY/6_M%C4%9A%C5%98_KOMPASEM/Geologick%C3%BD_kompas.htm)>

[14] *MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s r.o.* [CD-ROM]. 2013 [cit. 2014-11-12]. Interní zdroj firmy.

[15] HOEK, E. *Practical\_Rock\_Engineering*. Canada: Consulting Engineer, 2010, 313 s.

[16] Malgot, J., Klepsatel, F., Trávníček, I., *Mechanika hornín a inžinierska geológia*,

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

*Obr. 2.1 Výřez z přehledné situace širšího okolí [3].*

*Obr. 2.2 Panoramatický snímek města [6].*

*Obr. 2.3 Pohled na skalní stěnu z ulice Rybárna; 2/2013 [20].*

*Obr. 2.4 Pohled na skalní stěnu přiléhající k zástavbě; 8/2007 [20].*

*Obr. 2.5 Výřez z mapy geomorfologických jednotek ČR v M 1:500 000 [4].*

*Obr. 2.6 Výřez z geologické mapy v M 1:50 000 [3].*

*Obr. 2.7 Výřez z vysvětlivek ke geologické mapě [3].*

*Obr. 2.8 Biotitický granodiorit z oblasti Dolní Kounice [1]; velikost cca 0,6 x 0,3 x 0,3 m.*

*Obr. 3.1 Příklad řešení stabilizace svahu na dálnici D1 Behárovce-Branisko výstavbou zárubní zdi v zářezu svahu [10].*

*Obr. 3.2 Příklad kotvení hlubokého zářezu [11].*

*Obr. 3.3 Příklad použití ochranné sítě. Vlevo - horní kotvení závojevého systému; Vpravo - instalace ochranné sítě [10].*

*Obr. 3.4 Příklady základních záchytných konstrukcí [11].*

*Obr. 3.5 Příklad použití záchytných konstrukcí. Vlevo – Dynamická bariéry (simulace pádu skály); Vpravo – Ochranný val proti pádu skal [14].*

*Obr. 3.6 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 1 (Očištění svahu a odstranění osypového kužele); M 1:100; [17].*

*Obr. 3.7 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 2 (Instalace ochranné sítě a gabionové konstrukce); M 1:100; [17].*

*Obr. 3.8 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 3 (Instalace ochranné sítě a vyztužené zemní konstrukce); M 1:100; [17].*

*Obr. 3.9 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 4 (Instalace ochranné sítě a dynamické bariéry); M 1:100; [17].*

*Obr. 3.10 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 5 (Aplikace stříkaného betonu a gabionové konstrukce); M 1:100; [17].*

*Obr. 3.11 Příčný řez skalním svahem v místě řezu 3-3' - kombinace 6 (Očištění svahu a instalace dynamické bariéry); M 1:100; [17].*

*Obr. 4.1 Schéma porušení skalní stěny smykem [16].*

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

- Obr. 4.2 Schéma porušení skalní stěny odtržením [16].*
- Obr. 4.3 Schéma porušení skalní stěny překlopením [16].*
- Obr. 4.4 Schéma statického působení sil v masívu s plochami diskontinuit vycházejícími ze stěny [11].*
- Obr. 4.5 Schéma prostorového klínu a znázornění silového působení [11].*
- Obr. 4.6 Čára vrcholové pevnosti granodioritu pro řez 1-1' [17].*
- Obr. 4.7 Určení plochy horninového klínu pro řez 1-1' [17].*
- Obr. 4.8 Čára vrcholové pevnosti granodioritu pro řez 2-2' [17].*
- Obr. 4.9 Určení plochy horninového klínu pro řez 2-2' [17].*
- Obr. 4.10 Čára vrcholové pevnosti granodioritu pro řez 3-3' [17].*
- Obr. 4.11 Určení plochy horninového klínu pro řez 3-3' [17].*
- Obr. 4.12 Pohled na zadanou geometrii svahu, řez 1-1' [18].*
- Obr. 4.13 Vstupní údaje zadávané do programu, řez 1-1' [18].*
- Obr. 4.14 Výstupní údaje – posouzení stability skalního svahu, řez 1-1' [18].*
- Obr. 5.1 Koordinační situace stavby; M 1:500; [17].*
- Obr. 5.2 Podrobná situace stavby; M 1:200; [17].*
- Obr. 5.3 Příčný řez 1-1'; M 1:100; [17].*
- Obr. 5.4 Příčný řez 2-2'; M 1:100; [17].*
- Obr. 5.5 Příčný řez 3-3'; M 1:100; [17].*
- Obr. 5.6 Čelní pohled; M 1:200; [17].*



---

**POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ**

---

**SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK**

*Tab. 1.1 Geotechnické vlastnosti granodioritů [12].*

*Tab. 2.1 Odhad finančního hodnocení - kombinace 1 (Očištění svahu a odstranění osypového kužele).*

*Tab. 2.2 Odhad finančního hodnocení - kombinace 2 (Instalace ochranné sítě a gabionové konstrukce).*

*Tab. 2.3 Odhad finančního hodnocení - kombinace 3 (Instalace ochranné sítě a vyztužené zemní konstrukce).*

*Tab. 2.4 Odhad finančního hodnocení - kombinace 4 (Instalace ochranné sítě a dynamické bariéry).*

*Tab. 2.5 Odhad finančního hodnocení - kombinace 5 (Aplikace stříkaného betonu a gabionové konstrukce).*

*Tab. 2.6 Odhad finančního hodnocení - kombinace 6 (Očištění svahu a instalace dynamické bariéry).*

*Tab. 4.1 Vstupní parametry pro výpočet [12], [18].*

*Tab. 5.1 Odhad finančního hodnocení.*



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

- $A_{kl}$  ... plocha klínu nad smykovou plochou,  
 $A$  ... aktivní složka od výslednice sil  $G$ , působící posun bloku,  
 $b$  ... šířka horninového bloku,  
 $c$  ... soudržnost na smykové ploše/ploše odtržení,  
 $C$  ... soudržnost na předurčené smykové ploše,  
 $E_{def}$  ... modul přetvárnosti,  
 $E$  ... modul pružnosti,  
 $F$  ... stupeň stability,  
 $F_w$  ... tlak vody zatěžující blok seshora,  
 $F_P, F_R$  ... velikost ploch  $P$  a  $R$ ,  
 $G$  ... tíha posuzovaného bloku/převisu,  
 $G_t$  ... odpor proti porušení tahem na ploše odtržení,  
 $G_s$  ... setrvačná seismická síla,  
 $h$  ... výška horninového bloku,  
 $H$  ... výška svahu,  
 $l$  ... délka smykové plochy/plochy odtržení/celková délka,  
 $l_h$  ... vodorovná délka,  
 $l_v$  ... výška,  
 $N_k$  ... normálová síla od vnesené kotevní síly,  
 $N_P, N_R$  ... normálová složka výslednice sil  $G$ ,  
 $Q_k$  ... nutné celkové předpětí kotev,  
 $r, r_t, r_s, r_v$  ... ramena působících sil k bodu  $A$ ,  
 $S$  ... tangenciální síla aktivně porušující klín podél předurčené smykové plochy,  
 $S_k$  ... tangenciální síla od vnesené kotevní síly,  
 $T$  ... tření na předurčené smykové ploše,  
 $T_k$  ... tření na smykové ploše od vnesené kotevní síly,  
 $T_{res}$  ... síla vzdorující,  
 $T_{act}$  ... síla posouvající,  
 $U$  ... vztlak vody,  
 $V$  ... výslednice je tlaku vody v puklinách,



POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY A NÁVRH SANAČNÍCH OPATŘENÍ

$x$  ... souřadnice ve směru  $x$ ,

$y$  ... souřadnice ve směru  $y$ ,

$\alpha$  ... úhel odklonu smykové plochy od vodorovné roviny/sklon ploch diskontinuit/úhel odklonu ložné plochy od vodorovné roviny/sklon úseku terénu,

$\gamma$  ... objemová tíha horniny,

$\gamma_G$  ... součinitel redukce zatížení pro stálé zatížení,

$\gamma_Q$  ... součinitel redukce zatížení pro proměnné zatížení,

$\gamma_w$  ... součinitel redukce zatížení pro zatížení vodou,

$\gamma_\phi$  ... součinitel redukce úhlu vnitřního tření,

$\gamma_C$  ... součinitel redukce efektivní soudržnosti,

$\gamma_{cu}$  ... součinitel redukce neodvodněné smykové pevnosti,

$\rho$  ... objemová hmotnost,

$\rho_s$  ... hustota,

$\sigma$  ... maximální normálové napětí,

$\sigma_c$  ... pevnost v prostém tlaku,

$\tau_{pk}$  ... smyková pevnost,

$\tau_{0R}, \tau_{0P}$  ... soudržnost na plochách P a R,

$\tau_{pk}, \tau_1, \tau_2$  ... smyková pevnost,

$\phi$  ... úhel tření na smykové ploše/na plochách diskontinuit,

$\phi_n$  ... transformovaný úhel vnitřního tření,

$\phi_P, \phi_R$  ... tření na plochách P a R,

$\omega$  ... úhel odklonu celkového předpětí kotev od normálové síly kolmé na smykovou plochu,

**EN** ... Evropská norma,

**Obr.** ... obrázek,

**Tab.** ... tabulka,

**Tzn.** ... to znamená.