



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY

THE ASSESMENT STABILITY OF THE CLIFF

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Tomáš Bíba

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Tomáš Bíba

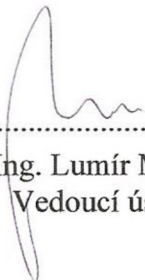
Název Posouzení stability skalní stěny

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

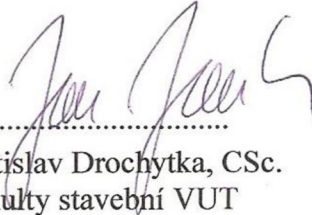
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012


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



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

Podklady a literatura

Budou předány vedoucím bakalářské práce zvlášť.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V Brně na ulici Kopečné bude zřízen parkovací dům. Zadní trakt parkovacího domu koliduje se stávající skalní stěnou. Úkolem bakalářské práce je posoudit stabilitu skalního tělesa, případně navrhnout potřebná opatření pro zvýšení její stability.

Požadovanými výstupy bakalářské práce jsou:

1. Úvodní část, seznámení s problémem
2. Geotechnické poměry lokality - tj. dotčeného skalního tělesa
3. Statické posouzení stability skalní stěny a případná navržená opatření
4. Seznam použité literatury

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



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

Abstrakt:

Posouzení stability skalních stěn a svahů je nedílnou součástí odborného geotechnického posudku všude tam, kde hrozí porušení zemního nebo skalního tělesa. Posouzení závisí vždy na odborných znalostech a hlavně zkušenostech technika, který posudek vypracovává. Provádí se většinou analytickým výpočtem (klasicky nebo pomocí software) případně numericky. Nejlepším způsobem je použít obě metody, a porovnat je. Cílem je vždy co nejlépe odhadnout chování skalního tělesa a zajistit tak jeho bezpečnost.

Klíčová slova:

Stabilita, stěna, svah, usmyknutí, posunutí, skalní těleso, skalní a poloskalní hornina, vlastnosti horniny

Abstract:

The stability of rock walls and slopes are an integral part of professional geotechnical assessment wherever there is a breach of natural or rock mass. Assessment always depends on the expertise and experience in particular industries that report preparation. Performed mostly analytical calculation (classic or using software) or numerically. The best way is to use both methods and compare them. The aim is always best to estimate the behavior of rock mass and to ensure its safety.

Keywords:

Stability, wall, rise, shear, displacement, rock body, rock and weak rock, rock properties

Bibliografická citace VŠKP

BÍBA, Tomáš. *Posouzení stability skalní stěny*. Brno, 2013. 50 s., 4 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce doc. Ing. Vladislav Horák, CSc..

Prohlášení:

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

V Brně dne 23.3.2013



podpis autora
Tomáš Bíba

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Vladislavu Horákovi, CSc. za cenné rady, podklady pro zpracovávání bakalářské práce a především za čas, který mi věnoval. Společnosti KOMFORT a.s. a panu Romanu Šudákovi díky za přístup na stavenišť. V neposlední řadě věnuji poděkování i své rodině, především mamince a babičce, svému zaměstnavateli panu Petru Johnovi st. a všem přátelům, kteří mě podporovali a věřili mi. Děkuji Vám!

OBSAH:

1. ÚVOD	-10-
1.1 Cíle	-10-
1.2 Všeobecné poměry	-10-
1.2.1 Geografické poměry	-10-
1.2.2 Historie	-11-
2. GEOTECHNICKÉ POMĚRY LOKALITY	-17-
2.1 Geologické poměry	-17-
2.2 Hydrogeologické poměry	-18-
2.3 Měření Schmidtovým kladívkem	-22-
2.3.1 Podstata zkoušky	-22-
2.3.2 Zkušební zařízení	-22-
2.3.3 Příprava zkušebních míst	-23-
2.3.4 Zkušební postup	-26-
2.3.5 Vyhodnocení měření	-27-
2.3.6. Závěr měření	-27-
3. STATICKÉ POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY	-28-
3.1 Stabilita skalních stěn	-28-
3.1.1 Základní typy porušení stability skalních stěn	-28-
3.1.1.1 Porušení smykem	-29-
3.1.1.2 Porušení odtržením	-31-
3.1.1.3 Porušení překlopením	-32-
3.1.2 Faktory ovlivňující stabilitu skalních stěn a svahů	-32-
3.2 Klínovou metodou	-36-
3.3 Statický výpočet klínovou metodou	-39-
3.3.1 Řez 1	-40-
3.3.2 Řez 2	-44-
3.4 PROGRAMEM GEO5	-45-
3.4.1 Řez 1	-45-
3.4.2 Řez 2	-45-

3.5 Vyhodnocení a závěr	-45-
4. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	-46-
Knižní publikace	-46-
WWW Zdroje	-46-
Normy a předpisy	-46-
Prezentace	-47-
Použitý software	-47-
Seznam obrázků	-48-
Seznam příloh	-50-
Seznam použitých zkratk a symbolů	-50-

1. ÚVOD

1.1 Cíle

Cílem bakalářské práce je posoudit stabilitu skalní stěny odborným geotechnickým posudkem a v případě, když by podle výpočtu hrozilo její porušení, navrhnout opatření. Statické posouzení je provedeno analyticky (klínovou metodou) a softwarem GEO5. Následně byly porovnány výsledky obou výpočtů a učiněn závěr.

1.2 Všeobecné poměry

1.2.1 Geografické poměry

Skalní stěna se nachází v Jihomoravském kraji, v Brně (místní část Brno – střed), na ulici Kopečné a pod ulicí Husovou – v obr. 1-1 je označená písmenem A. Je součástí J svahu skalního masivu Petrova, který leží v centru města.



Obr. 1-1 Petrov a jeho okolí [8]

1.2.2 Historie

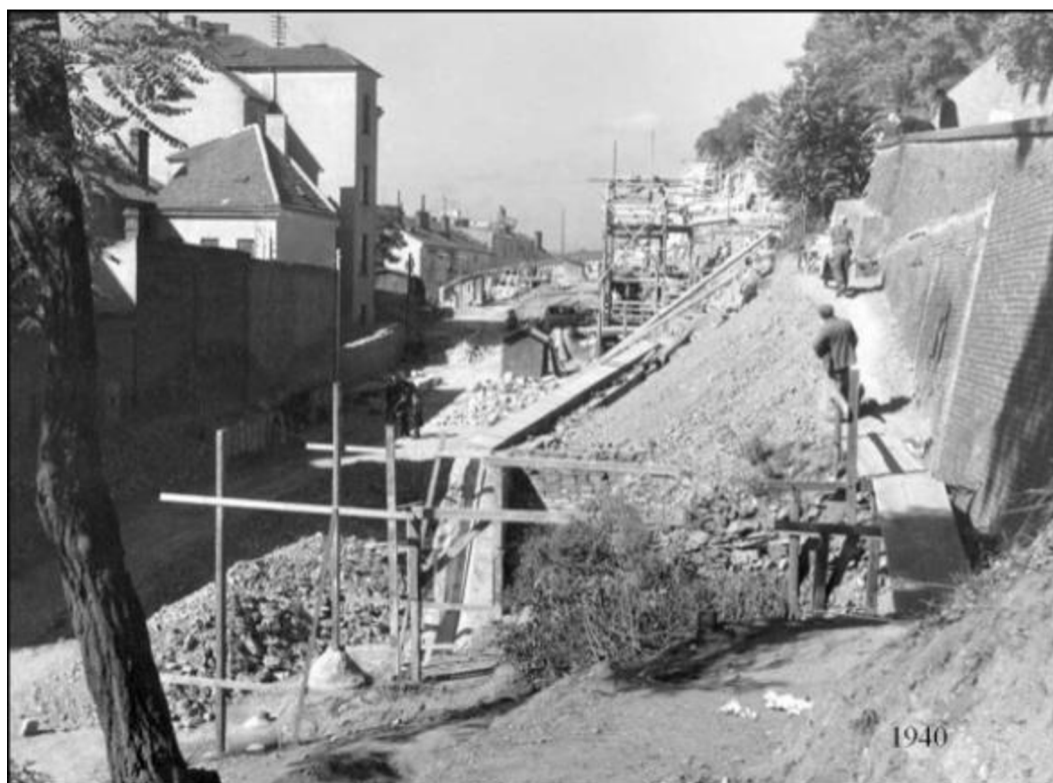
V roce 1818 byla skalní stěna zřejmě zarostlá dřevinami a nálety. Nasvědčuje tomu dobový obrázek kde je přibližná poloha určena šipkou obr. 1-2. Když byla roku 1940-41 asanována ulice Skalní a proveden průpich ve svahu dnešní ulicí Husovou, tak zde byla nová souběžná komunikace opatřena železobetonovou zdí s výraznou římsou, a to právě v horní hraně dnešního skalního tělesa (obr. 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7) [2]. Autor této práce při prohlídce zájmového území upozoroval (u levé paty skalní stěny a na pravé straně uprostřed) zbytky starého zdiva, které nejspíše patřily činžovnímu domu, jenž tam stál do 2. světové války (obr. 1-8, 1-9). V poválečném období nejspíše v 50. nebo 60. letech 20. století, byly před skalní stěnou postaveny garáže (obr. 1-10), které autorovi této práce při jeho první prohlídce bránily v přístupu a průzkumu. Kvalita horninového prostředí je dobře patná na obr. 1-11 z r. 1941 a na obr. 1-12 z r. 2012.



Obr. 1.2 Dobové zobrazení Petrova z míst dnešních Nových sadů 1818 [12]



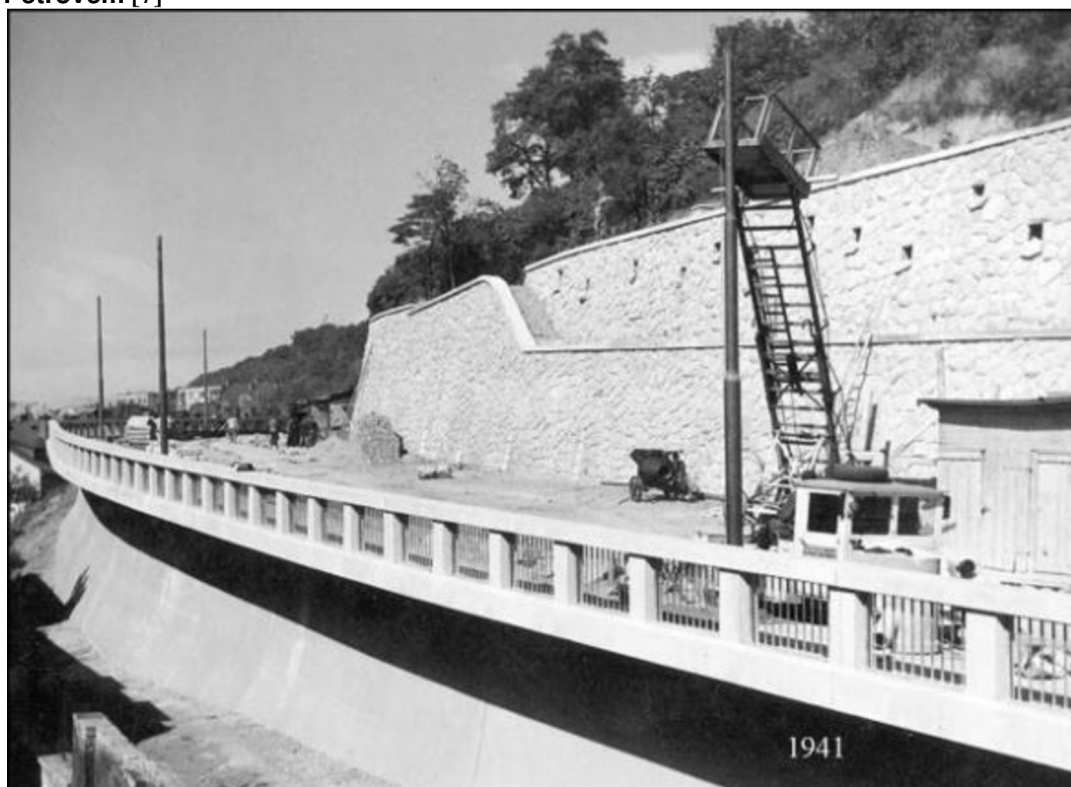
Obr. 1-3 Historické foto:1907 Pohled na začátek Skalní ulice v místech dnešní křižovatky Nádražní a Husovi ulice [7]



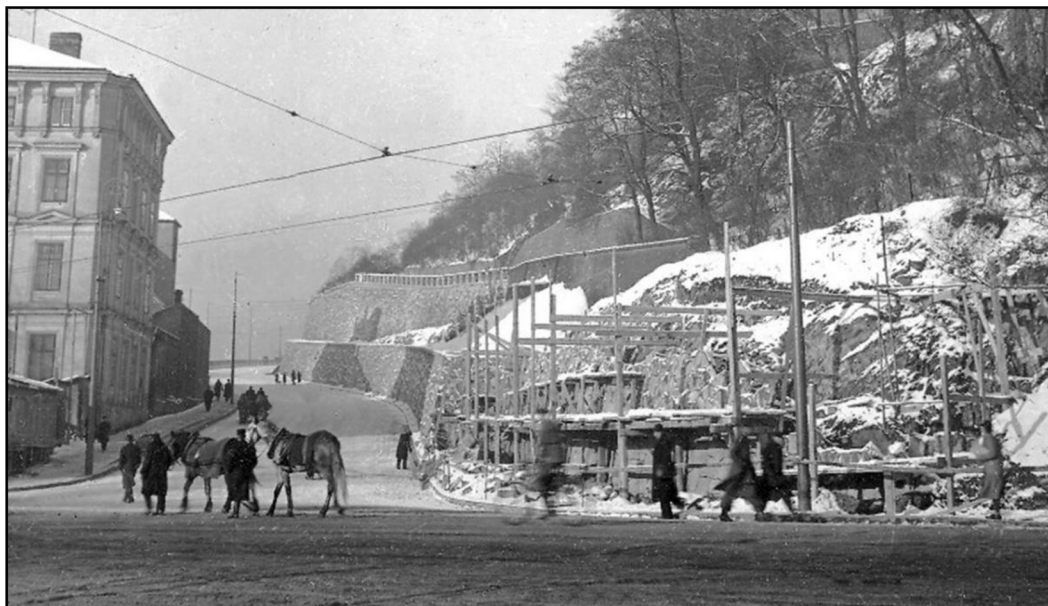
Obr. 1-4 Historické foto:1940 Výstavba Husovi ulice[7]



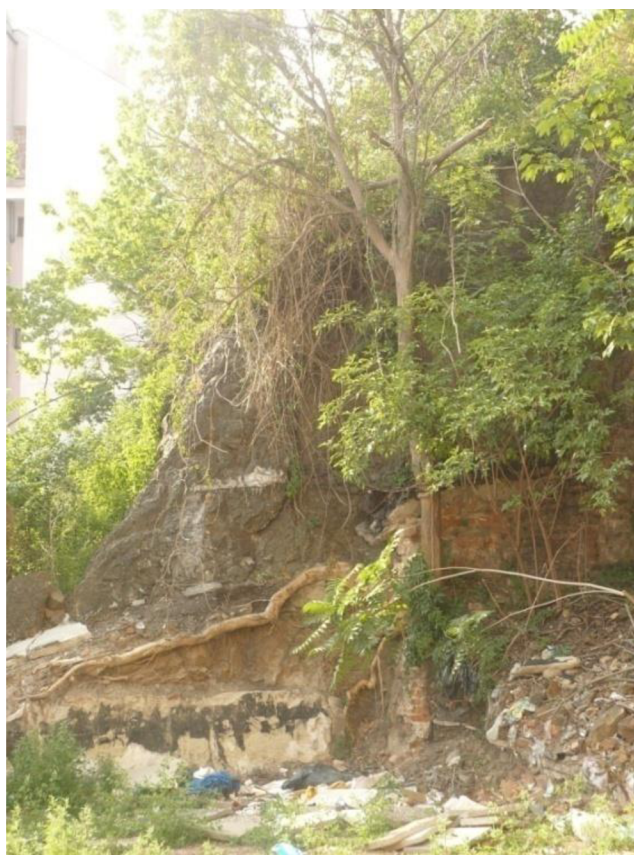
Obr. 1-5 Historické foto:1941 Stavba tramvajového propojení s Nádražní ulicí pod Petrovem [7]



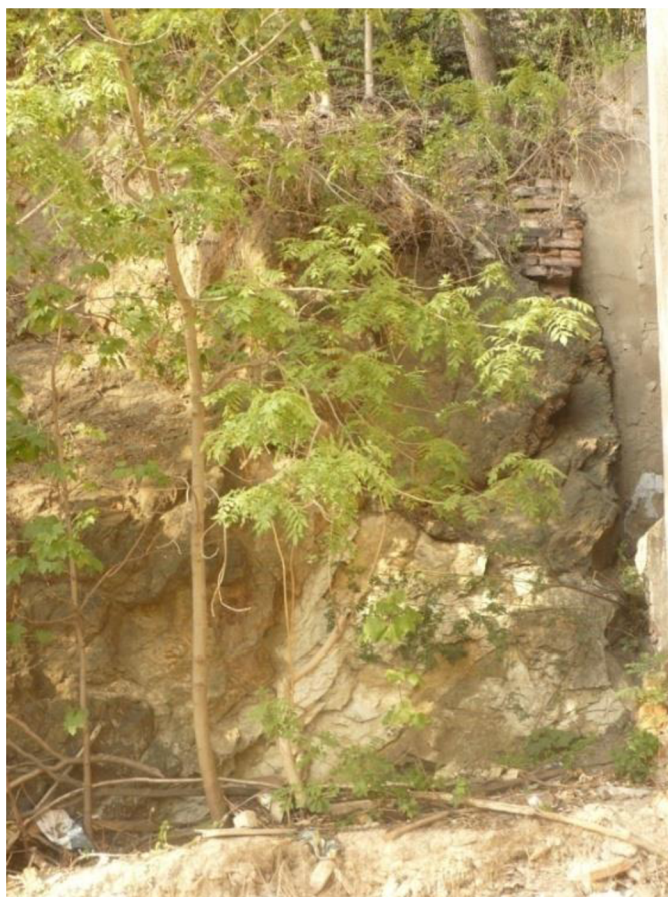
Obr. 1-6 Historické foto:1941 Stavba tramvajového propojení s Nádražní ulicí pod Petrovem [7]



Obr. 1-7 Historické foto:1941-Pohle do míst zaniklé Skalní ulice [7]



Obr. 1-8 Zbytky starého zdiva u levé paty [Foto T. Bíba]



Obr. 1-9 Zbytky starého zdiva u pravé paty [Foto T. Bíba]



Obr. 1-10 Garáže z 50. nebo 60. let 20. Století [8]



Obr. 1-11 Historické foto:1940-Kvalita horninového prostředí [7]

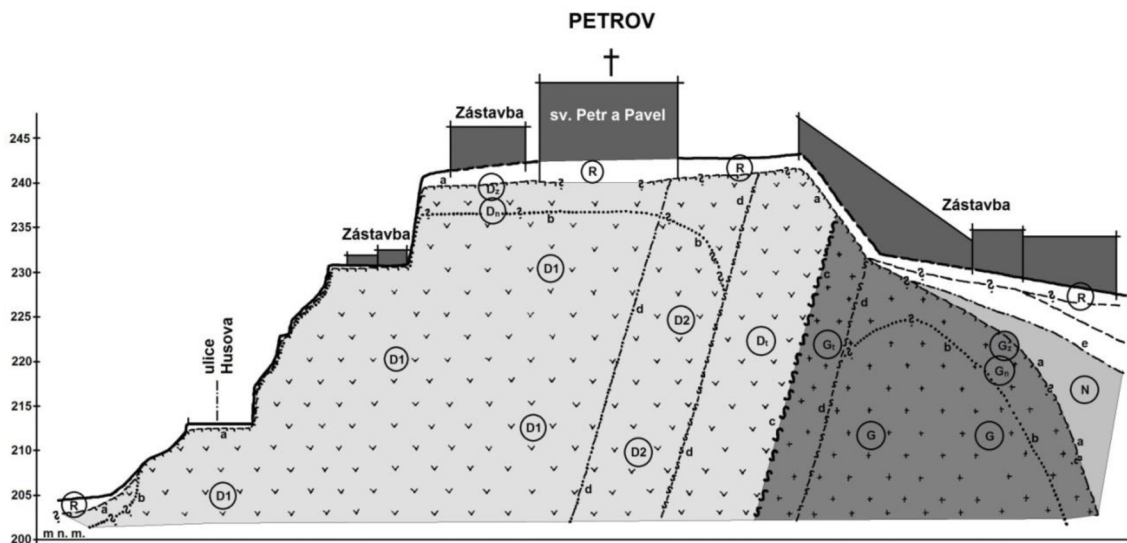


Obr. 1-12 Kvalita horninového prostředí podzim 2012 [12]

2. GEOTECHNICKÉ POMĚRY LOKALITY

2.1 Geologické poměry

Skalní masív Petrova je tvořen metabazity (diabasy) a granodiority. Geologické rozdělení jednotlivých částí Petrova je jasně patrné na obr. 2-1. kde pozorujeme i tektonický styk obou petrografických typů, který rozděluje vrch Petrova na dvě části.



Obr. 2-1. Inženýrskogeologický řez vrchem Petrov v Brně [5]

Legenda: R – recent. N – neogen, spodní baden, marinní souvrství jílovitého charakteru.

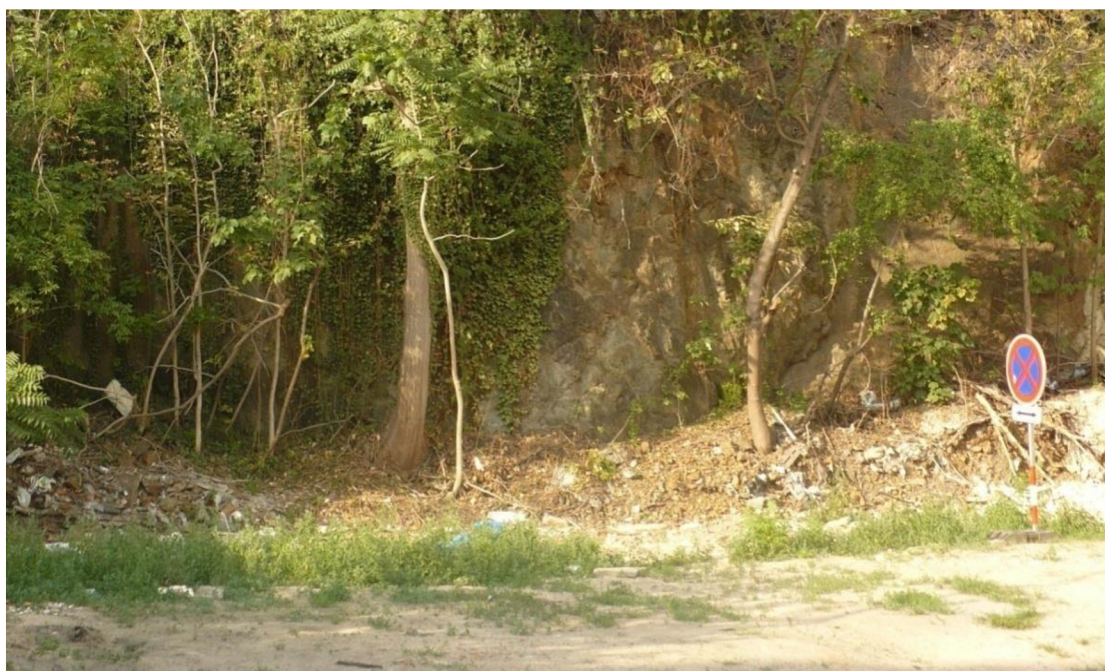
G – brněnský masív, východní granitoidová zóna, granodiority typu Královo Pole. G_z – silně zvětralý, G_n – mírně zvětralý, G – mírně zvětralý až zdravý, G_t – silně tektonicky postižený (oblast styku s metabazitovou zónou).

D – brněnský masív, metabazitové zóna, diabas (metadiabas). D_z – silně zvětralý, D_n – mírně zvětralý, D1 – mírně zvětralý, méně tektonicky porušený, D2 – mírně zvětralý, více tektonicky porušený, D_t – velmi silně tektonicky postižený (oblast styku s granitoidovou zónou).

a – povrch brněnského masívu, b – hranice intenzivnějšího povrchového navětrání, c – tektonický styk granitoidové a metabazitové zóny, d – hranice různého stupně tektonického porušení, e – povrch neogenního souvrství. [5]

2.2 Hydrogeologické poměry

Hydrogeologicky nebyla na skalní stěně pozorována žádná zvodnělá puklina, což mohlo být způsobeno suchem v letních měsících roku 2012 obr. 2-2. Při další obhlídce na podzim 2012, když byla stěna zbavená náletů, dřevin a mírně zvětralé horniny obr. 2-3, byly pozorovány tři zvodnělé pukliny, z nich byly dvě slabě označené písmenem A, B a jedna silně zvodnělá označená písmenem C viz obr. 2-3



Obr. 2-2 Pohled na stěnu v letním období r. 2012. [Foto T. Bíba]



Obr. 2-3 Skalní stěna zbavená dřevin, náletů a vyčnívající horniny [Foto T. Bíba]



Obr. 2-4 Detail místa A [Foto T. Bíba]

Na obr. 2-4. je detail místa A kde je pozorována slabě zvodnělá puklina a není zde patrný intenzivnější výtok vody. To nejspíše nasvědčuje tomu, že jde o soutok povrchové vody nepříliš hlubokými puklinami mírně zvětralé části horniny až k místu výtoku.



Obr. 2-5 Detail místa B [Foto T. Bíba]

Na obr. 2-5. je detail místa B kde jsou naznačeny linie puklin, kterými vytékala voda. Stejně jako u obr. 2-4 detail místa A není patrný intenzivnější výtok vody, a proto zde jde nejspíše také o soutok povrchové vody nepříliš hlubokými puklinami zvětralou částí horniny až k místu výtoku.



Obr. 2-6 Detail místa C [Foto T. Bíba]

Na obr. 2-6 je detail místa C, kde při bližším pohledu jsou vidět čtyři zvlněné pukliny, které jsou podle autora této práce způsobeny podzemní vodou a nikoli vodou povrchovou. Výtok vody je daleko intenzivnější než u předešlých puklin. To nasvědčuje tomu, že pukliny v hornině jsou hlubšího charakteru.

2.3 Měření Schmidtovým kladívkem

2.3.1 Podstata zkoušky

Při zkoušce pevnosti v tlaku Schmidtovým kladívkem se zjišťuje velikost odrazu závaží přístroje od zkoušeného povrchu, ze které se stanoví pevnost horniny v tlaku. [10]

2.3.2 Zkušební zařízení

Zkušebním zařízením je Schmidtovo odrazové kladívko, sestávající z ocelového beránku s pružinou, která jej po uvolnění vymršťuje na ocelový razník opřený o povrch horniny. Velikost odrazu se zachycuje na stupnici. Podle typu přístroje je možné odečítat také na registrační folii nebo digitálně. [10]

Schmidtova pružinová kladívka se podle vyvinuté energie při zkušebním rázu dělí na: [10]

- a) typ N, s energií 2,25 J
- b) typ L, s energií 0,75 J
- c) typ M, s energií 30,0 J

Autor této práce pro měření použil Schmidtovo kladívko typu N obr. 2-7



Obr. 2-7 Schmidtovo kladívko a brusný kámen [9]

2.3.3 Příprava zkušebních míst

Zkušební místa se volí na vybraných a upravených místech tak, aby svým rozložením a počtem reprezentovala zkoušenou plochu horniny. Jestliže povrch horniny není hladký a čistý provede se jeho úprava tak, že se vybrousí za sucha, aby byla jasně patrná struktura horniny. Zkušební místa musí svou velikostí odpovídat požadavkům předepsaným pro použitou metodu. Pro měření byla vybrána čtyři zkušební místa označená na obr. 2-8, obr. 2-9 římskými číslicemi I, II, III, IV a detailně na obr. 2-10, 2-11, 2-12, 2-13. [10]



Obr. 2-8 Rozmístění zkušebních míst na skalní stěně [Foto T. Bíba]



Obr. 2-9 Rozmístění zkušebních míst na skalní stěně [Foto T. Bíba]



Obr. 2-10 Zkušební místo I. [Foto T. Bíba]



Obr. 2-11 Zkušební místo II. [Foto T. Bíba]



Obr 2-12 Zkušební místo III. [Foto T. Bíba]



Obr.2-13 Zkušební místo IV [Foto T. Bíba]

2.3.4 Zkušební postup

Razník tvrdoměru se přiloží na zkušebním místě kolmo na zkoušený povrch horniny, pak se kladívko stlačuje pomalým plynulým pohybem (zvyšování tlaku na razník) až ocelové závaží vyvodí ráz. Na hlavici tvrdoměru se tlak vyvozuje do okamžiku zachycení velikosti odrazu. Velikost odrazu úderného závaží se odečte na ukazateli tvrdoměru a zaznamená. [10]

Na každém zkušebním místě se provede, pokud se nejedná o zkušební vzorky, nejméně pět platných měření. Ke každé hodnotě měření se spočítá hodnota pevnosti, např. podle vztahu:[4] [10]

$$\sigma_c = \frac{a}{\left(\frac{1}{R}\right) - b} \quad [2]$$

Když podle [1] lze parametry závislosti uvažovat: $a=0,4061$, $b=0,012462$, R = odskok kladívka. [1]

Pro horniny se uvažuje vždy nejvyšší hodnota výsledků jednotlivých platných měření na témže zkušebním místě. Pevnosti menších hodnot se vyloučí [8]

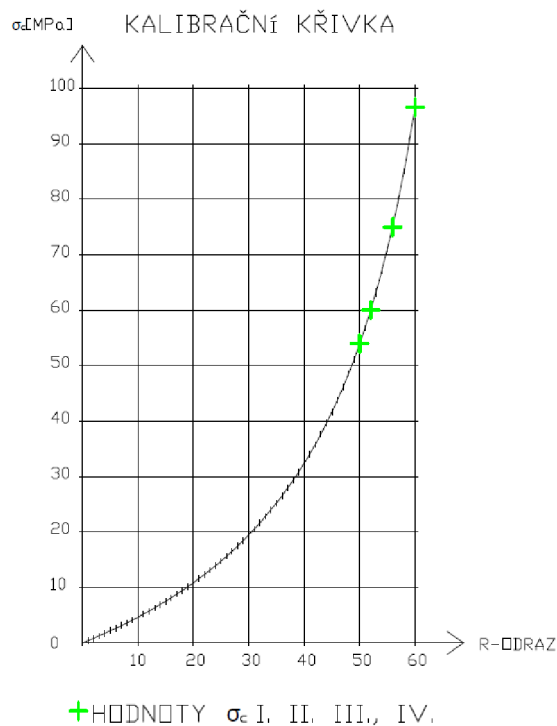
2.3.5 Vyhodnocení měření

Průměrná hodnota měření Schmidtovým kladívkem v místech I., II., III., IV je 71 MPa (viz příloha A).

Podle vztahu:

$$\sigma_c = \frac{a}{\left(\frac{1}{R}\right) - b} \quad [1]$$

byla vytvořena kalibrační křivka pro Diabas v oblasti Petrova.



Obr. 2.14 – Kalibrační křivka pro Diabas v oblasti Petrova [Autocad 2013 T. Bíba]

2.3.6. Závěr měření

Z měření vyplývá, že průměrná jednoosá tlaková pevnost horniny je 71 MPa. Jedná se tedy (ve smyslu ČSN EN ISO 14689) o pevnou horninu. [11]

3. STATICKÉ POSOUZENÍ STABILITY SKALNÍ STĚNY

3.1 Stabilita skalních stěn

Stabilita stěn a svahů ve skalní (podskalní) hornině patří obvykle k velmi náročným technickým problémům. Stabilita je dána (obdobně jako u zemních svahů) stupněm stability F (tj. poměrem pasivních sil bránících pohybu tělesa ku silám aktivním způsobujících pohyb podél smykové plochy):

$$F = \frac{\text{pasivní sily}}{\text{aktivní sily}} \quad [3]$$

kde: pasivní síly = tření a soudržnost na ploše porušení (smykové ploše)

aktivní síly = tangenciální síly na ploše porušení (smykové ploše)

Volba stupně stability závisí na výšce a životnosti řešené stěny (svahu). Pro stěny dočasných stavebních jam se stupeň stability volí $F = 1,1 \div 1,25$. Pro trvalé stěny (např. zářezy komunikací) se stupeň stability zvyšuje na hodnoty $F = 1,2 \div 1,5$. Současně i vstupy statického posouzení bývají běžně určovány s určitou bezpečností. [3]

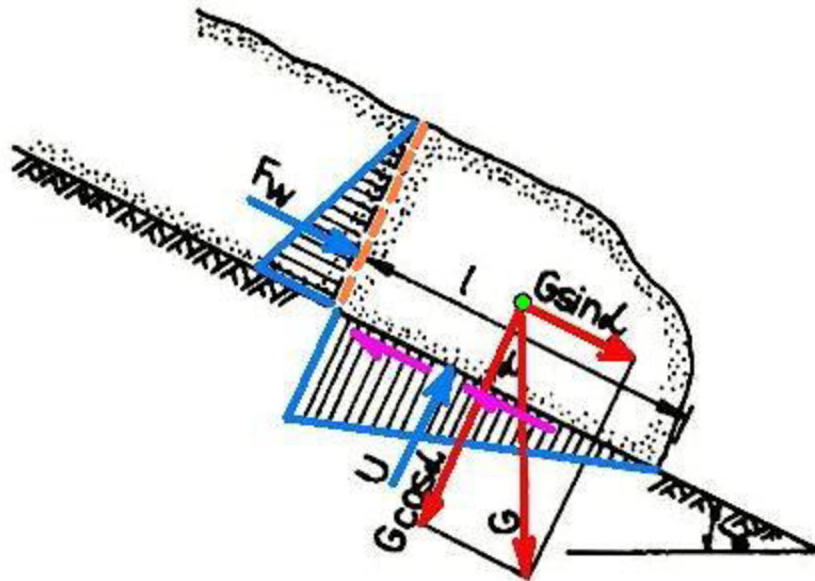
3.1.1 Základní typy porušení stability skalních stěn

V přírodě jsou zastíženy následující typy porušení skalních stěn

- porušení smykem (skalní sesuvy)
- porušení odtržením (skalní převisy, odvalové říčení)
- porušení překlopením bloků [3]

3.1.1.1 Porušení smykem obr. 3-1:

Může nastat po smykové rovině, pokud je stupeň stability $F < 1$:



Obr. 3-1 Porušení smykem [3]

$$F = \frac{(G \cos \alpha - U) \operatorname{tg} \varphi + cl}{G \sin \alpha + F_w} \quad [3]$$

kde: G tíha předmětného bloku horniny

α úhel odklonu smykové plochy od horizontály

φ úhel tření na smykové ploše

c případná soudržnost na smykové ploše

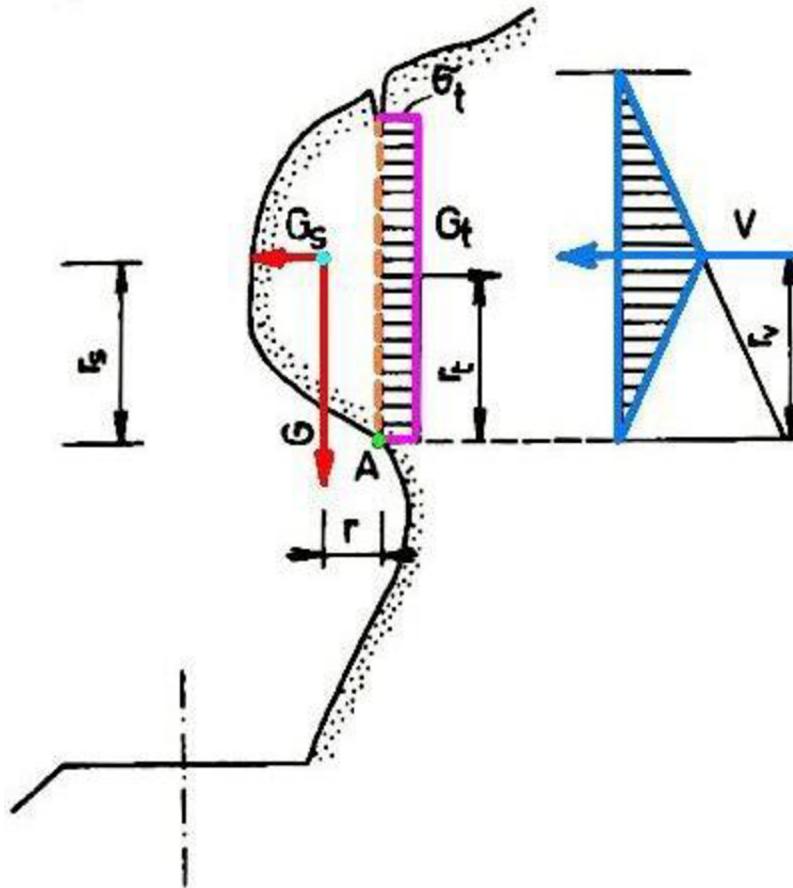
l délka smykové plochy

U vztlak vody (nadlehčující blok)

F_w výslednice hydrostatického tlaku vody zatěžujícího blok (shora) [3]

3.1.1.1 Porušení odtržením obr. 3-2:

nastane porušením mezní rovnováhy na ploše odtržení:



Obr. 3-2 Porušení odtržením [3]

$$F = \frac{(G_t r_t + cl)}{Gr + G_s r_s + Vr_v} \quad [3]$$

kde: G vlastní tíha převisu

G_t odpor proti porušení tahem na ploše odtržení (pevnost v tahu)

$$G_t = 2 r_t \sigma_t \quad [3]$$

σ_t pevnost horniny (masívu) v tahu

G_s (případná) setrvačná seismická síla

V výslednice přitěžujícího hydrostatického tlaku vody v puklinách

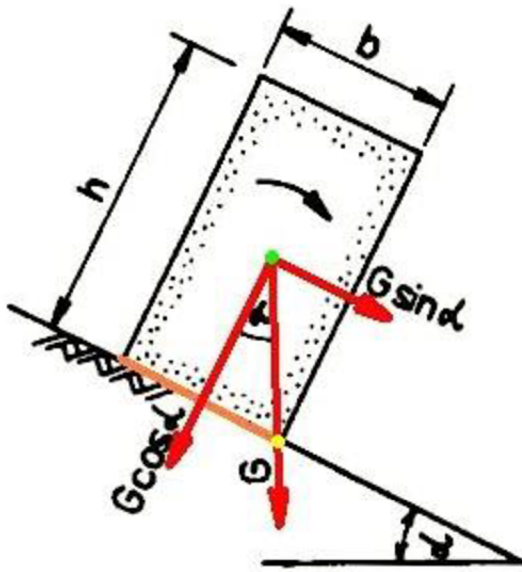
c soudržnost na ploše odtržení

l délka plochy odtržení

r, r_v, r_t, r_s ramena působících sil k bodu A [3]

3.1.1.2 Porušení překlopením obr. 3-3:

nastane, pokud stupeň stability $F < 1$:



Obr. 3-3 Porušení překlopením [3]

$$F = \frac{G \cos \alpha b}{G \sin \alpha h}$$

[3]

kde: G tíha předmětného bloku horniny

α úhel odklonu ložné plochy bloku od horizontály

b šířka horninového bloku

h výška horninového bloku

Pozn.: Ve všech případech je uvažované řešení provedeno pro 1 běžný metr stěny. [3]

3.1.2 Faktory ovlivňující stabilitu skalních stěn a svahů

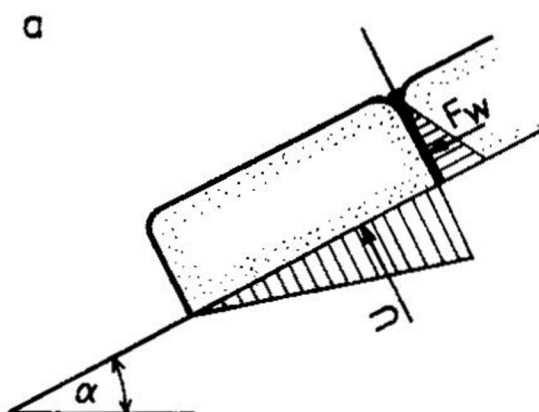
a) Pevnost horninového masívu

- tření na hladkých plochách
- tření na plochách s hrubými nerovnostmi
- pevnost celistvých hornin
- rozevření a výplně ploch nespojitosti
- anizotropie horninového masívu
- čas

b) Vlastní tíha horninového masívu

c) Působení vody

- zvýšení objemové hmotnosti
- snížení pevnosti
- zmenšení smykového odporu na styčných spárách
- hydrostatický tlak

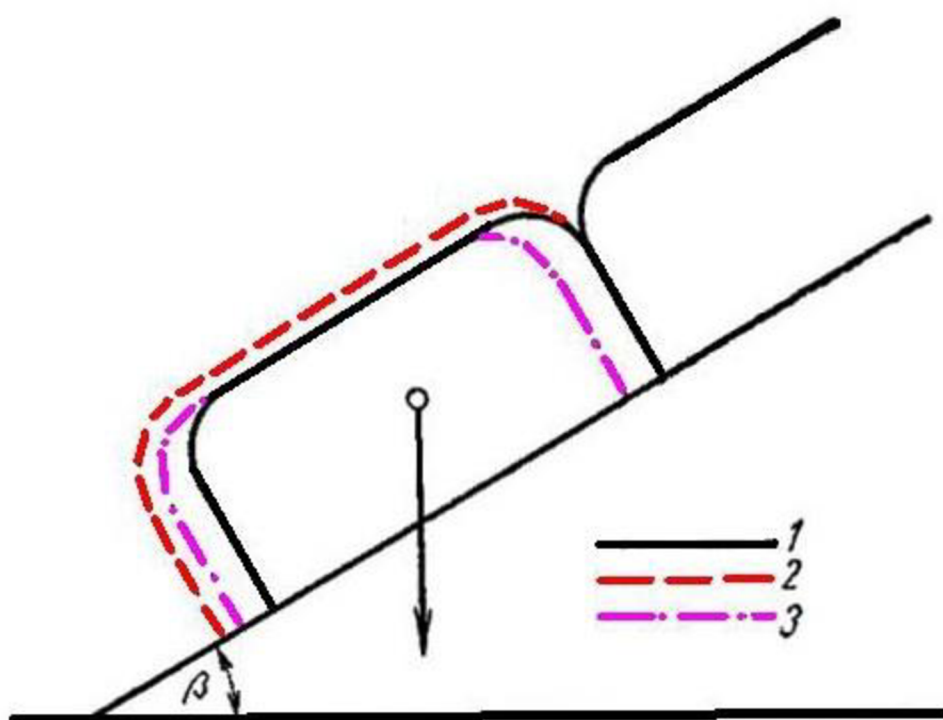


Obr. 3-4 Hydrostatický tlak vody působící na blok horniny, F_w – boční přitížení, U – vztlak
[3]

- proudění vody ve spárách
- účinek ledu ve spárách
- účinek bobtnání a smršťování

Obecně lze zaznamenat nejčastější výskyt poruch skalních stěn a svahů po tání nebo po mimořádných srážkách.

d) Účinky teplotních změn

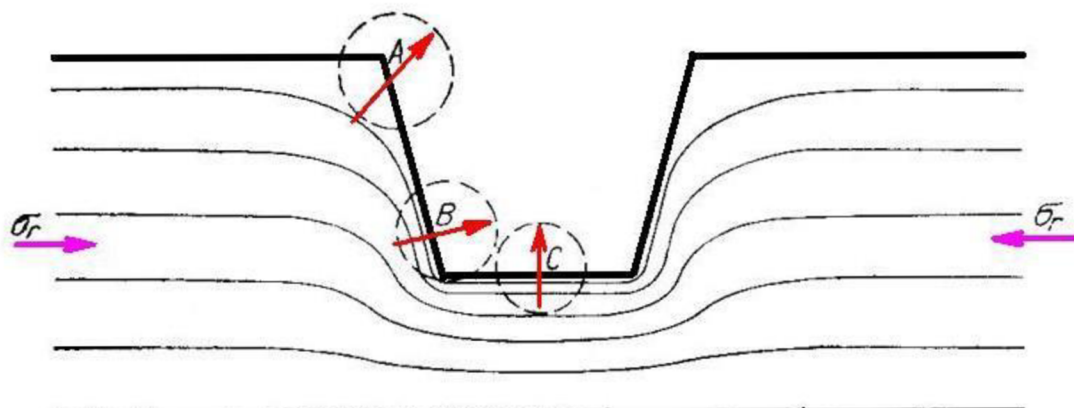


Obr. 3-5 Účinky změn teploty na horninový blok. 1 – původní stav, 2 – po oteplení, 3 – po ochlazení na původní teplotu. [3]

e) Účinky zvětrávání

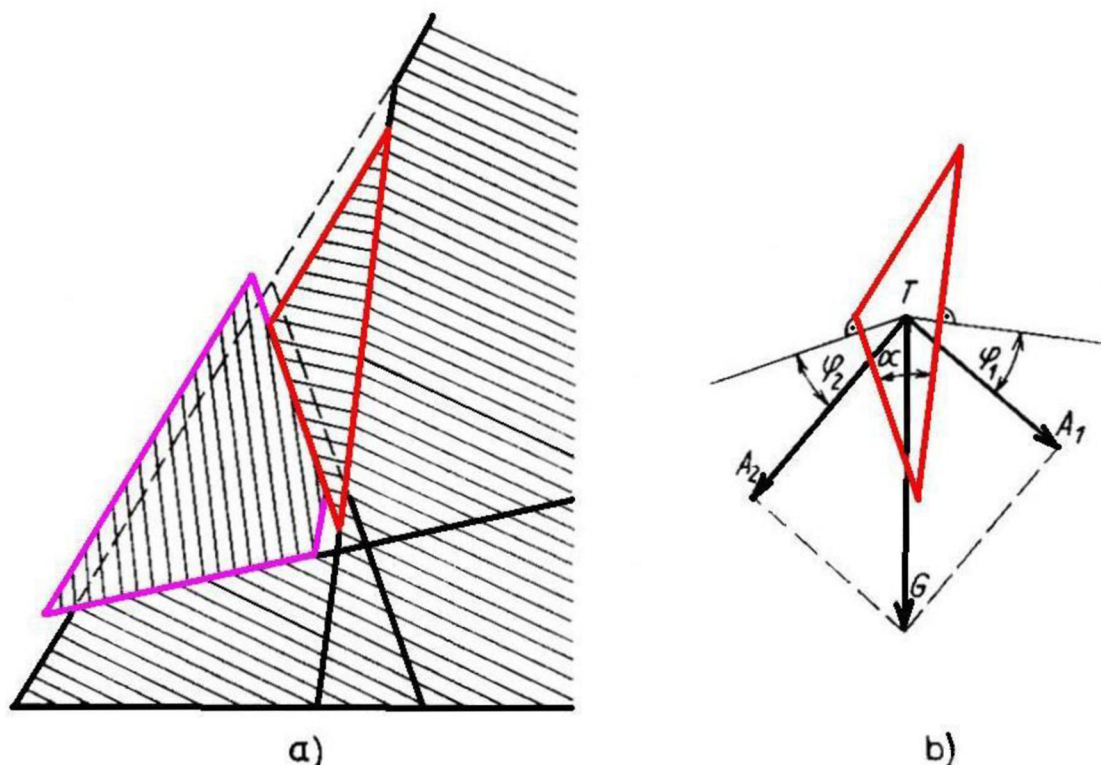
f) Seismické účinky

g) Vliv reziduální napjatosti



Obr. 3-6 Změna stavu napjatosti způsobená vyhloubením hlubokého zářezu v místě s vysokým reziduálním vodorovným napětím a výsledné poruchy. A – hranová, B – patní, C – bulging [3]

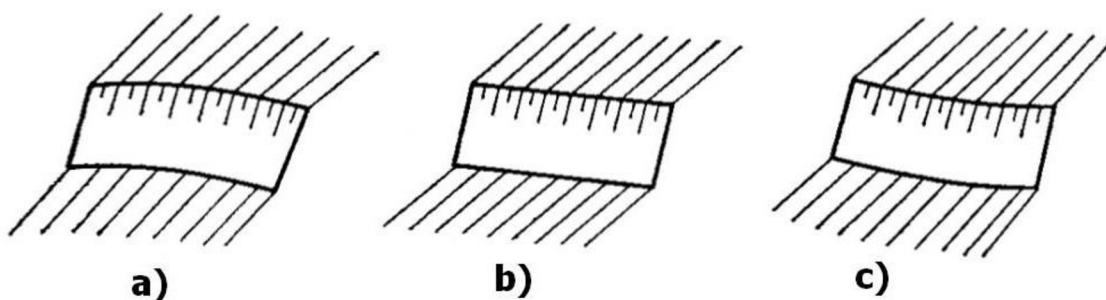
h) Klínový účinek sousedících bloků



Obr. 3-7 Klínový účinek sousedících bloků – jeden blok vytlačuje druhý klínovým účinkem [3]

i) Vliv geometrie stěny

- konkávní (vypuklá) je nejstabilnější obr. 3-8a
- přímá obr. 3-8b
- konvexní (vydutá) nejméně výhodná obr. 3-8c



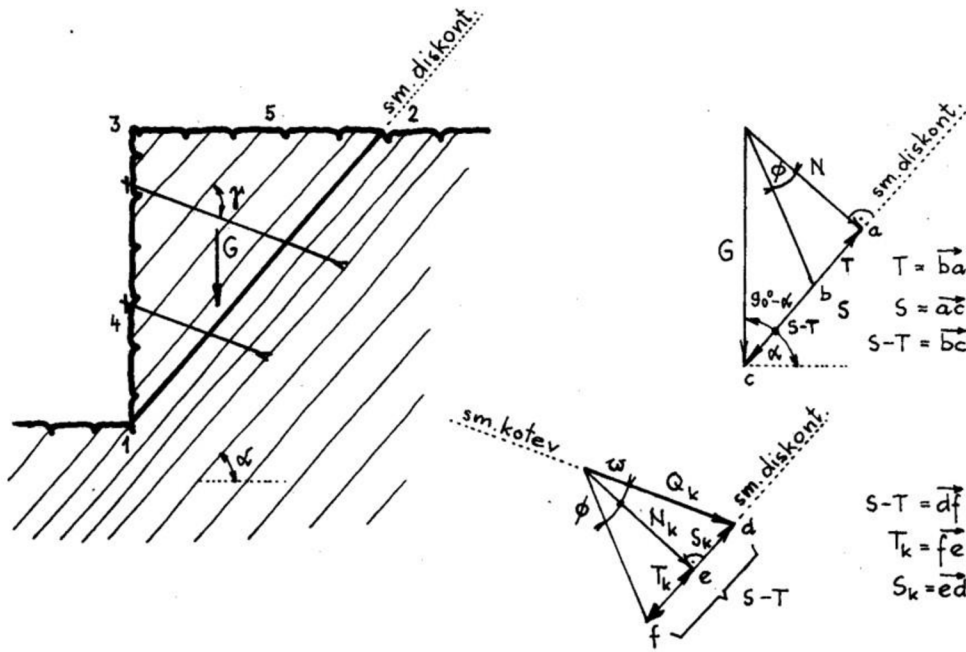
Obr. 3-8 Půdorysný tvar skalní stěny a) konkávní (vypuklá), b) přímá, c) konvexní (vydutá)
[3]

j) Vliv času

k) Kosmické vlivy [3]

3.2 Klínová metoda

Pro řešení stability skalních stěn a svahů se využívá tzv. klínová metoda. Velmi jednoduchou formou se stanovuje rovnováha a nerovnováha sil na vytvořeném horninovém klínu.



Obr. 3-9 Řešení stability horninového klínu. Plochy nespojitosti vyházejí ze stěny. Stabilita stěny je zajištěna kotvením. [3]

Nejnebezpečnější horninový klín je předurčený obvykle plochami diskontinuit a geometrií stěny v příčném řezu. Řešen je 1 bm stěny:

Vlastní tíha bloku:

$$G = \gamma \cdot \text{plocha } 123 \quad [3]$$

Tangenciální síla aktivně porušující klín podél předurčené smykové plochy:

$$S = G \cdot \cos(90^\circ - \alpha) \quad [3]$$

Tření na předurčené smykové ploše (pasivní síla):

$$T = G \cdot \sin(90^\circ - \alpha) \cdot \text{tg}\phi \quad [3]$$

Dále může na předurčené smykové ploše působit soudržnost (pasivní síla), u níž se uvažuje 80 % z hlediska bezpečnosti:

$$C = c \cdot \text{dl. smyk. plochy} \cdot 0,8 \quad (\text{uvažuje se jen 80\%}) \quad [3]$$

Z bilance sil na smykové ploše (S minus T [příp. minus c]) vyplývá deficit pasivních sil. Pro zajištění stability stěny je potřebné vnesení další pasivní síly = podepření. To je realizováno zakotvením. Kotvy se osazují co možná nejkolměji k plochám nespojitosti. Minimální s nimi sevřený úhel by neměl klesnout pod 45° . Z rovnovážné podmínky lze vypočítat nutné vnesené předpětí kotev. Stabilita dílčích klínů vyplývající z rozmístění kotev do etáží (klín 345) se posoudí stejným způsobem:

$$S - T - T_k - S_k = 0 \quad \Rightarrow Q_k \quad [3]$$

$$N_k = Q_k \cdot \cos \omega \quad [3]$$

$$S_k = Q_k \cdot \sin \omega \quad [3]$$

$$T_k = N_k \cdot \text{tg } \varphi \quad [3]$$

kde: γ objemová tíha horniny

α sklon ploch diskontinuit

φ úhle tření na plochách diskontinuity

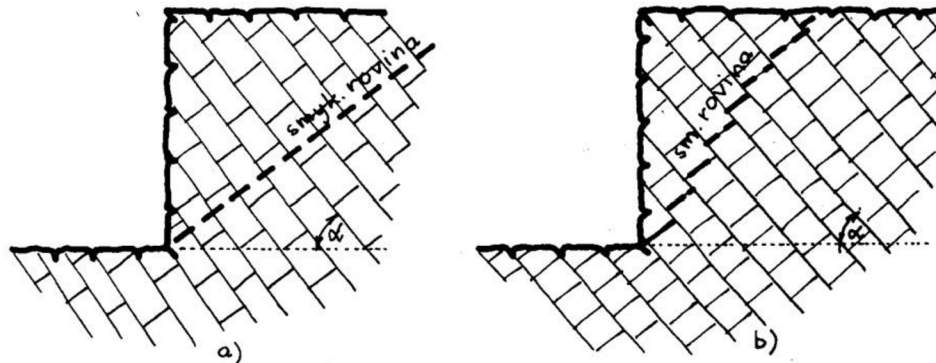
Q_k nutné celkové předpětí kotev

S_k tangenciální síla od vnesené kotevní síly (pasivní síla)

T_k tření na smykové ploše od vnesené kotevní síly (pasivní síla)

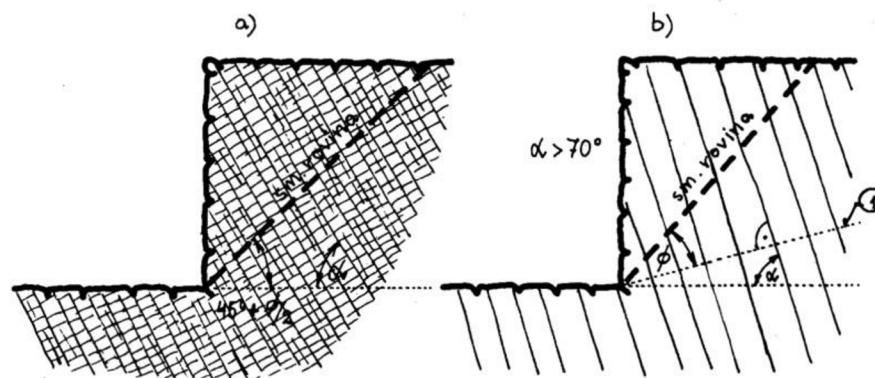
Plochy nespojitosti zapadající do horninového masívu systémem příčných neprůběžných ploch obr. 3-10, při prostoupení více systémy ploch nespojitosti a bločky horniny omezené těmito plochami diskontinuity jsou při porovnání s kubaturou masívu relativně malé; pak je vhodné sklon smykové plochy stanovit odvozením z aktivního horninového klínu (při odklonu od horizontály o úhel $45^\circ + \varphi/2$) obr. 3-11a a při velmi

strmě zapadajících ploch nespojitosti obr. 3-11b. Dtto platí pro víceméně celistvý masív.



5.1

Obr. 3-10 Určení nebezpečné smykové plochy při diskontinuitách zapadajících do masívu a systémem příčných neprůběžných ploch [3]



5.21

①-normála ke směru ploch diskontinuity.

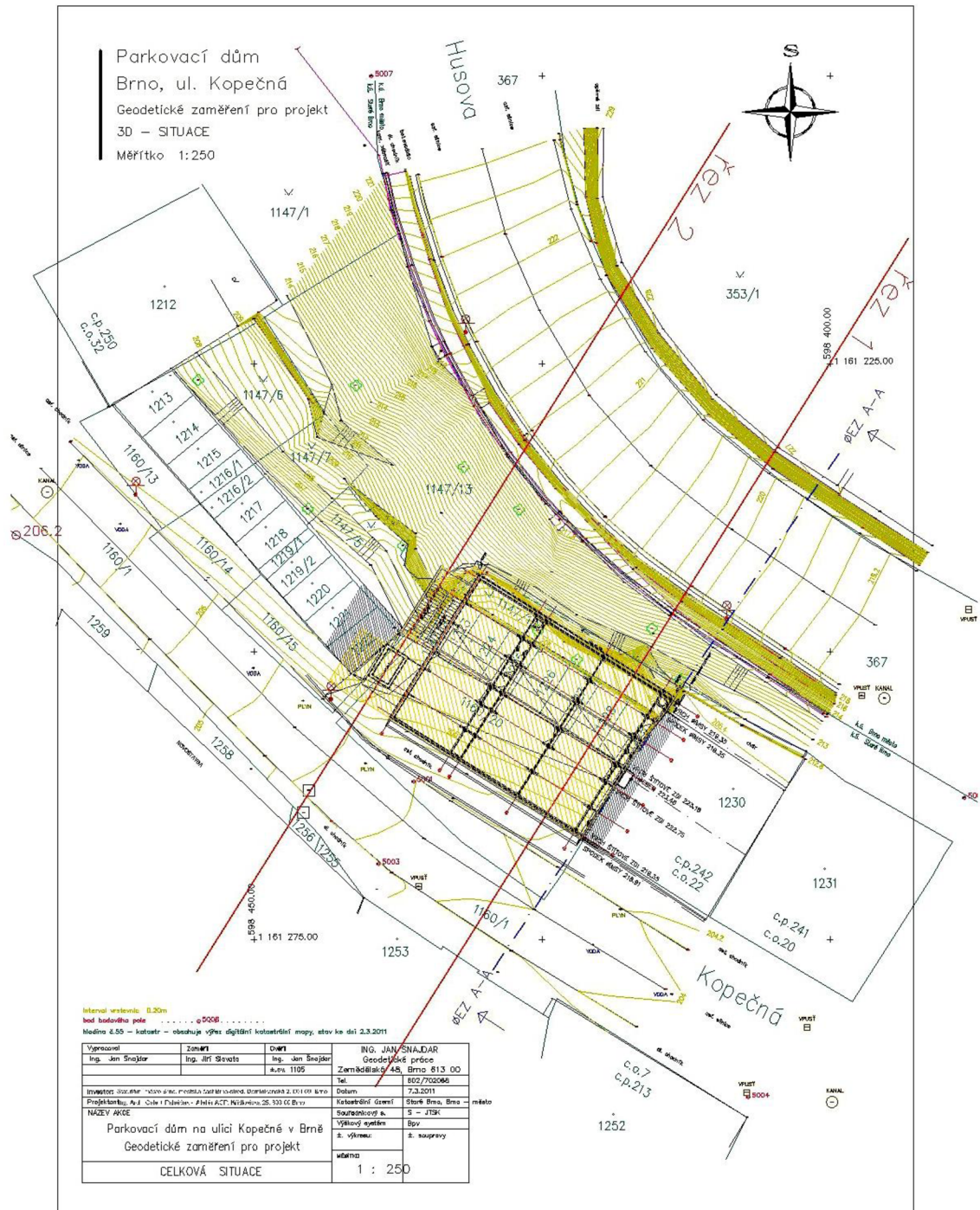
Obr. 3-11 a) Smyková plocha při prostoupení masívu více systémy ploch nespojitosti. b) Smyková plocha při velmi strmě zapadajících plochách nespojitosti.

1 ... normála ke směru ploch diskontinuity [3]

Určení nebezpečné smykové plochy je u skalních hornin prakticky ve všech případech obtížné až velmi obtížné. Je proto v takových případech vždy nezbytná úzká spolupráce inženýrského geologa a projektanta-statika. [3]

3.3 Statický výpočet klínovou metodou

Statický výpočet je proveden pro dva spádnicové řezy stěnou obr. 3-12, které odpovídají okrajům zájmové parcely. [6]



Obr. 3-12 Celková situace zájmového území, mezi ulicemi Husova a Kopečná [6]

3.3.1 Řez 1

V řezu 1 obr. 3-13 autor podle výšky stěny 10,6 m spočítal max. normálové napětí v patě stěny

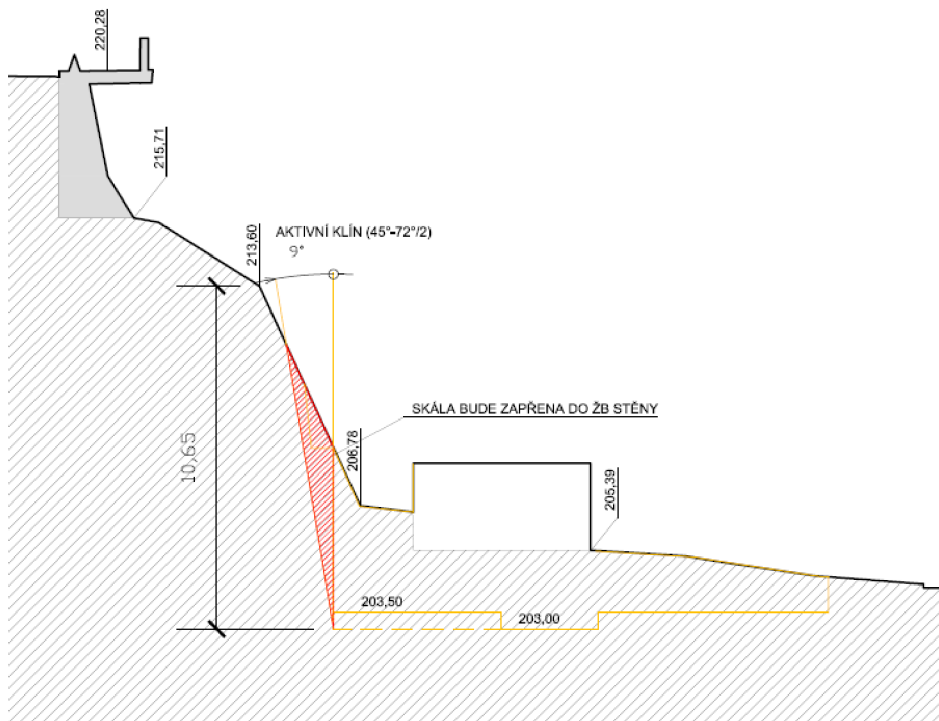
$$\sigma = \gamma h = 26 \text{ kNm}^{-3} \times 10,65 \text{ m} = 277 \text{ kPa} \quad [3]$$

Z obr 3-14 byl určen transformovaný úhel tření v prvním intervalu napětí 72° a pak odvodil úhel aktivního klínu ze vztahu:

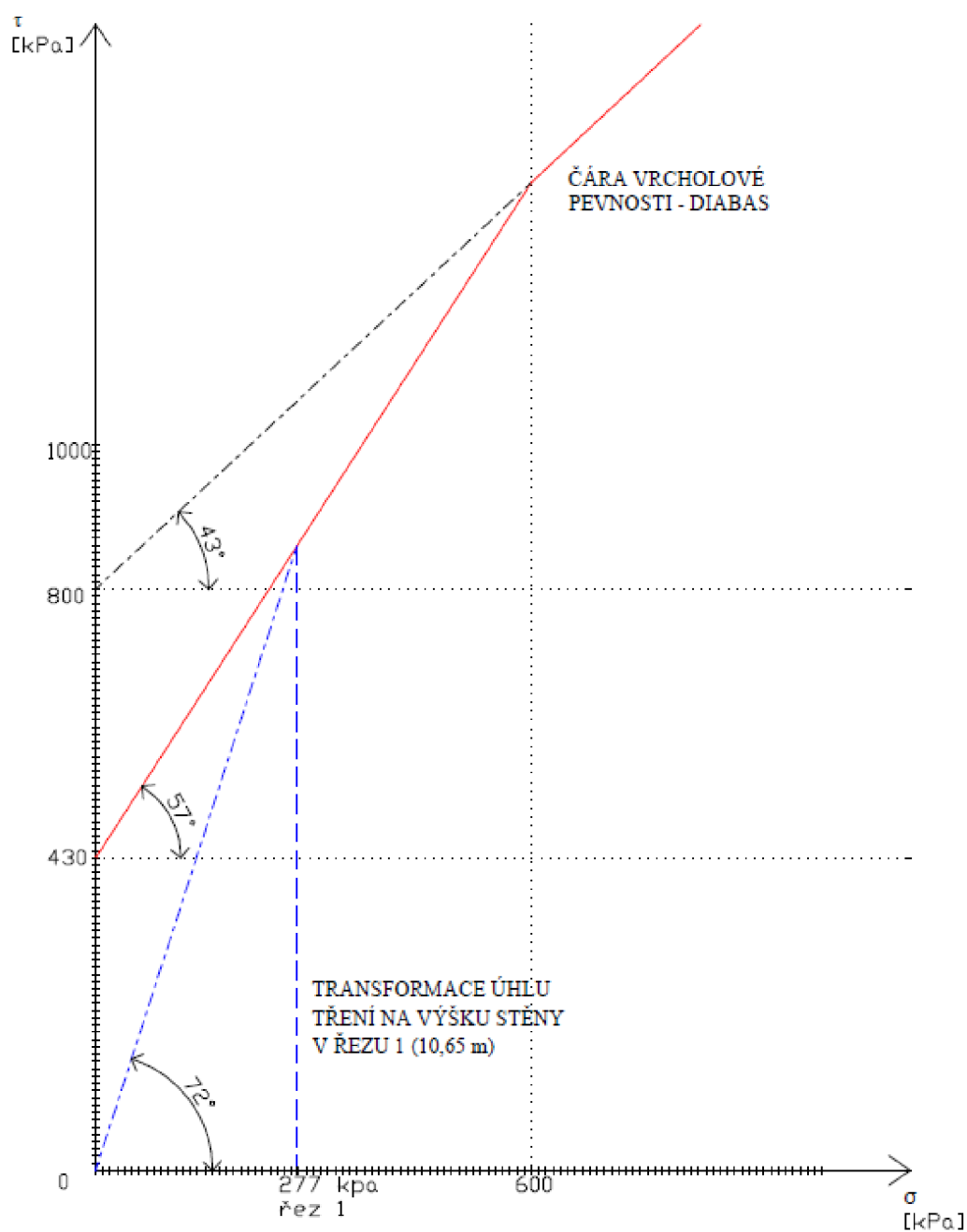
$$45^\circ - \varphi/2 = 45^\circ - 72^\circ/2 = 9^\circ \quad [3]$$

Když byly výše uvedené hodnoty (výška stěny 10,6 m, úhel aktivního klínu 9°) vykresleny do obr. 3-13, vznikl nám potenciálně nebezpečný aktivní horninový klín. V obr. 3-15 je nakreslena bilance sil na tomto klínu.

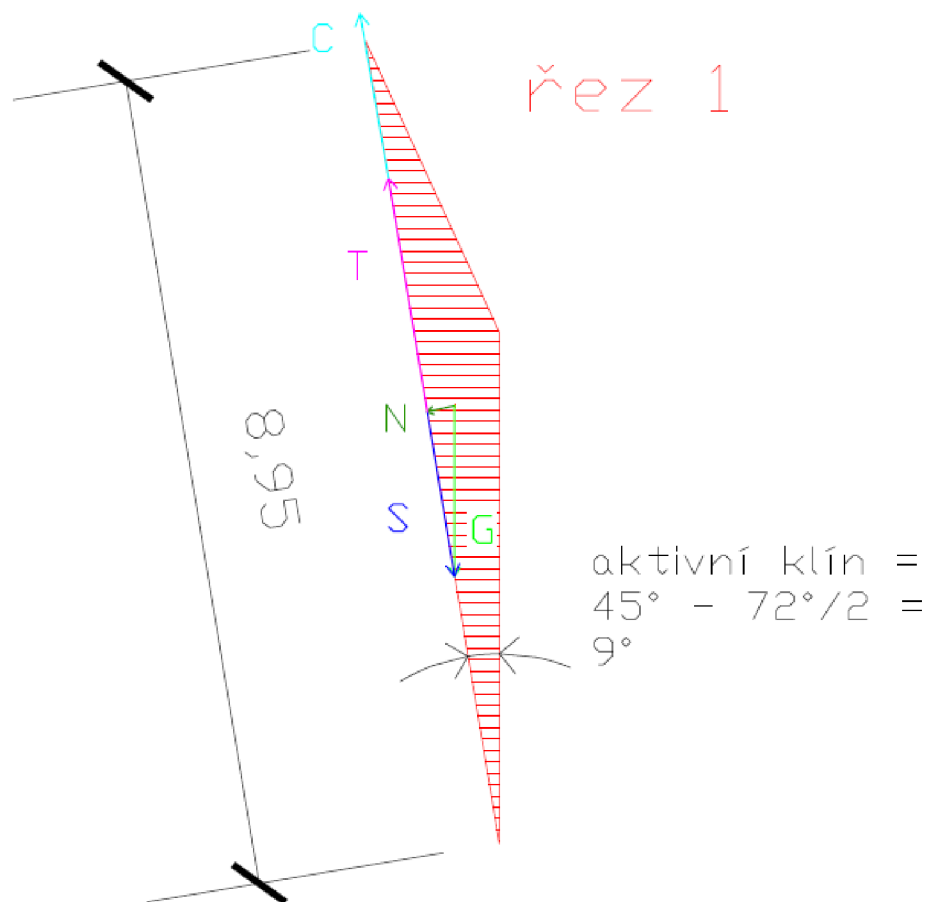
řez 1



Obr. 3-13 Řez 1 [Autocad 2013 T. Bíba]



Obr. 3-14 Čára vrcholové smykové pevnosti pro horninu (DIABAS) skalní stěny [Autocad 2013, T. Bíba]



Obr. 3-15 Bilance sil na potenciálně nebezpečném horninovém klínu [Autocad 2013 T. Bíba]

Podle vztahů uvedených v kapitole 3.2 je na aktivním horninovém klínu posouzena rovnováha sil na potenciaální smykové ploše.

Vlastní tíha bloku:

$$G = \gamma \times \text{plocha klínu} \times 1(\text{na } 1\text{bm stěny}) = 26 \text{ kNm}^{-3} \times 4,137 \text{ m}^2 \times 1\text{m}^1 = 107,6 \text{ kN} \quad [3]$$

Tangenciální síla aktivně porušující klín podél předurčené smykové plochy:

$$S = G \cdot \cos \alpha = 107,6 \text{ kN} \cdot \cos 9^\circ = 106,3 \text{ kN} \quad [3]$$

Tření na předurčené smykové ploše (pasivní síla):

$$T = G \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi = 107,6 \text{ kN} \cdot \sin 9^\circ \cdot \operatorname{tg} 57^\circ = 25,9 \text{ kN} \quad [3]$$

Dále může na předurčené smykové ploše působit soudržnost (pasivní síla):

$$C = c \cdot \text{dl. smyk. pl.} = 430 \text{ kPa} \cdot 8,95 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ (uvažováno je pouze 80\%)} \cdot 1 \text{ m} = 3849 \text{ kN} \quad [3]$$

Bilance sil na smykové ploše:

$$S - T - C = 106,3 - 25,9 - 3849 = -3768,6 \text{ kN} \quad [3]$$

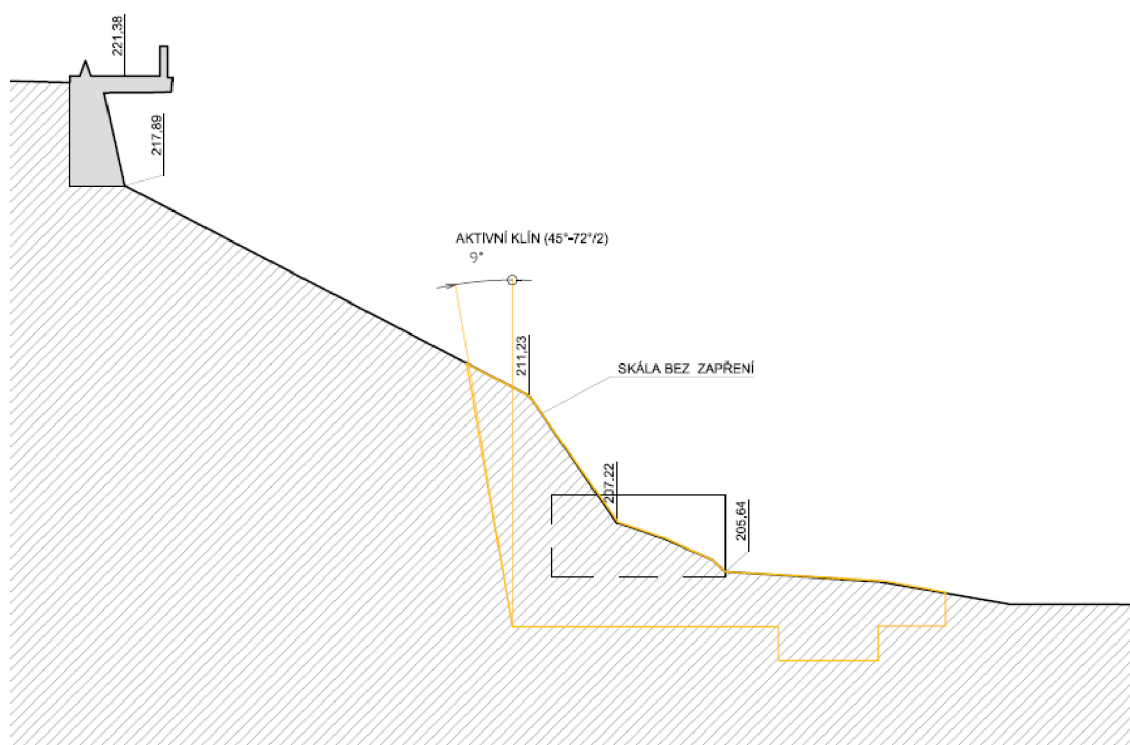
Jestli že si autor této práce zvolil stupeň stability $F=1,5$

$$F = \frac{\text{pasivní síly}}{\text{aktivní síly}} = \frac{(25,9+3849)}{106,3} = 36,45 \quad \Rightarrow \quad 36,45 \gg 1,5$$

Z výsledku stupně stability jasně vyplynulo, že potenciálně nebezpečný horninový klín je velmi stabilní.

3.3.2 Řez 2

řez 2



Obr. 3-16 Řez 2 [Autocad 2013, T. Bíba]

V hornině nevzniká potenciálně nebezpečný horninový klín viz Obr. 3-16., a proto není nutné stěnu v řezu 2 posoudit statickým výpočtem.

3.4 Statický výpočet v softwaru GEO5

3.4.1 Řez 1

Rozhraní stěny a sklon smykové plochy byly do softwaru GEO5 vloženy dle souřadnic z řezu 1 viz obr. 3-13 str. 41. Parametry horniny byly zadány v efektivních (návrhových) hodnotách. [1]

Výstup z programu je uveden v příloze B.

Stupeň stability $F = 30.72 \gg 1.5$ To znamená, že stabilita stěny vyhovuje.

3.4.1 Řez 2

Řez 2 nebyl autorem této práce posuzován, neboť v hornině nevzniká potenciálně nebezpečný horninový klín viz obr. 3-16 str. 41.

3.5 Vyhodnocení a závěr

Podle obou realizovaných metod statického výpočtu je zřejmé, že stabilita skalní stěny nebude porušena ani v jednom posuzovaném řezu. Stupeň stability F vypočítaný v softwaru GEO5 je o něco málo menší (30,72) než ten, který byl spočítán analyticky (36,45). **Nicméně, v principu, jsou obě hodnoty velmi blízké a potvrzují naprostou stabilitu skalní stěny.**

4. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knižní publikace:

- [1] Rech, S. /1982/: Inženýrskogeologický a geotechnický průzkum pro tramvajový tunel pod Špilberkem. Sborník přednášek „Brno a geologie“, str. 96-103, ČsVTS., Brno
- [2] Vladislav Horák, Z. Nováková, J. Grepl, *Koncept podzemních garáží pod vrchem Petrov ve středu města Brna, 2012*
- [3] Vladislav Horák, *Mechanika Hornin, stabilita skalních stěn a kotvení do horniny*, Brno 2006, str. 7 - 15
- [4] Rostislav Drochytka, Jiří Brožovský, *Postup úpravy zkušebních plochy obyčejných a vysokopevnostních betonů na hodnotu odrazu Schmidtova tvrdoměru*
- [5] HANÁK, Jaroslav. *Brno – Petrov, garáže*. GEOtest a. s. Brno, arch. č. 10 93 0061, 1993.
- [6] Jan Šnajdar, *Parkovací dům na ulici Kopečné v Brně*, Brno, Zadavatel: Roman Gale, 2011

WWW Zdroje

- [7] Brno – Petrov a jeho okolí [online], Dostupné z [www:http://maps.google.cz/](http://maps.google.cz/)
- [8] Brno - Husova [online], Dostupné z [www:
http://www.fotohistorie.cz/Jihomoravsky/Brno-mesto/Brno_-_mesto/Brno_-_Husova/Default.aspx](http://www.fotohistorie.cz/Jihomoravsky/Brno-mesto/Brno_-_mesto/Brno_-_Husova/Default.aspx)
- [9] Schmidtovo kladívko a brusný kámen [online] Dostupné z [www:.,www.gpprague.cz/sk/katalog/1321/Nivelacny_zapisnik.html](http://www.gpprague.cz/sk/katalog/1321/Nivelacny_zapisnik.html)

Normy a předpisy:

- [10] ČSN 73 1376 *Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*

[11] ČSN EN ISO 14689 – 1/2004 *Klasifikace hornin podle pevnosti horninového materiálu*

Prezentace:

[12] Vladislav Horák, Z. Nováková, J. Grepl, *FEASIBILITY STUDY OF UNDERGROUND GARAGE AT PETROV HILL IN THE CENTRE OF BRNO CITY*, PS Praha_(2013-duben-22-24),

Software:

AutoCAD 2013

GEO5

Seznam obrázků:

Obr. 1-1 Petrov a jeho okolí [8]	-10-
Obr. 1.2 Dobové zobrazení Petrova z míst dnešních Nových sadů 1818 [13]	-11-
Obr. 1-3 Historické foto:1907 Pohled na začátek Skalní ulice v místech dnešní křižovatky Nádražní a Husovi ulice [9]	-12-
Obr. 1-4 Historické foto:1940 Výstavba Husovi ulice [9]	-12-
Obr. 1-5 Historické foto:1941 Stavba tramvajového propojení s Nádražní ulicí pod Petrovem [9]	-13-
Obr. 1-6 Historické foto:1940 Stavba tramvajového propojení s Nádražní ulicí por Petrovem [9]	-13-
Obr. 1-7 Historické foto:1941-Pohle do míst zaniklé Skalní ulice [9]	-14-
Obr. 1-8 Zbytky starého zdiva u levé paty [Foto T. Bíba]	-14-
Obr. 1-9 Zbytky starého zdiva u pravé paty [Foto T. Bíba]	-15-
Obr. 1-10 Garáže z 50. nebo 60. let 20. Století [8]	-15-
Obr. 1-11 Historické foto:1940-Kvalita horninového prostředí [9]	-16-
Obr. 1-12 Kvalita horninového prostředí podzim 2012 [13]	-16-
Obr. 2-1. Inženýrskogeologický řez vrchem Petrov v Brně [6]	-17-
Obr. 2-2 Pohled na stěnu v letním období. [Foto T. Bíba]	-18-
Obr. 2-3 Skalní stěna zbavená dřevin, náletů a vyčnívající horniny [Foto T. Bíba]	-19-
Obr. 2-4 Detail místa A [Foto T. Bíba]	-19-
Obr. 2-5 Detail místa B [Foto T. Bíba]	-20-
Obr. 2-6 Detail místa C [Foto T. Bíba]	-21-
Obr. 2-7 Schmidtovo kladívko a brusný kámen [10]	-22-

Obr. 2-8 Rozmístění zkušebních míst na skalní stěně [Foto T. Bíba]	-23-
Obr. 2-9 Rozmístění zkušebních míst na skalní stěně [Foto T. Bíba]	-24-
Obr. 2-10 Zkušební místo I. [Foto T. Bíba]	-24-
Obr. 2-11 Zkušební místo II. [Foto T. Bíba]	-25-
Obr. 2-12 Zkušební místo III. [Foto T. Bíba]	-25-
Obr. 2-13 Zkušební místo IV [Foto T. Bíba]	-26-
Obr. 2.14 Kalibrační křivka pro Diabas v oblasti Petrova [T. Bíba]	-27-
Obr. 3-1 Porušení smykem [3]	-29-
Obr. 3-2 Porušení odtržením [3]	-30-
Obr. 3-3 Porušení překlopením [3]	-31-
Obr. 3-4 Hydrostatický tlak vody působící na blok horniny, F_w – boční přitížení, U – vztlak [3]	-32-
Obr. 3-5 Účinky změn teploty na horninový blok. 1 – původní stav, 2 – po oteplení, 3 – po ochlazení na původní teplotu. [3]	-33-
Obr. 3-6 Změna stavu napjatosti způsobená vyhloubením hlubokého zářezu v místě s vysokým reziduálním vodorovným napětím a výsledné poruchy. A – hranová, B – patní, C – bulging [3]	-34-
Obr. 3-7 Klínový účinek sousedících bloků – jeden blok vytlačuje druhý klínovým účinkem [4]	-34-
Obr. 3-8 Půdorysný tvar skalní stěny a) konkávní (vypuklá), b) přímá, c) konvexní (vydutá) [3]	-35-
Obr. 3-9 Řešení stability horninového klínu. Plochy nespojitosti vyházejí ze stěny. Stabilita stěny je zajištěna kotvením. [3]	-36-
br. 3-10 Určení nebezpečné smykové plochy při diskontinuitách zapadajících do masívu a systémem příčných neprůběžných ploch [3]	-38-

Obr. 3-11 a) Smyková plocha při prostoupení masívu více systémy ploch nespojitosti. b) Smyková plocha při velmi strmě zapadajících plochách nespojitosti. 1-normála ke směru ploch diskontinuity [3] -38-

Obr. 3-12 Celková situace zájmového území, mezi ulicemi Husova a Kopečná [1] -39-

Obr. 3-13 Řez 1 [Autocad 2013 T. Bíba] -40-

Obr. 3-14 Čára vrcholové smykové pevnosti pro horninu (DIABAS) skalní stěny [Autocad 2013 T. Bíba] -41-

Obr. 3-15 Bilance sil na potenciálně nebezpečném horninovém klínu [Autocad 2013 T. Bíba] -42-

Obr. 3-16 Řez 2 [Autocad 2013 T. Bíba] -44-

Seznam příloh:

A - Výpočet hodnot měření Schmidtovým kladívkem -51-

B – Statický výpočet v softwaru GEO5 -52-

Seznam použitých zkratek a symbolů:

Obr. -obrázek

J -Jižního

z r. - z roku

Dtto -rovněž, právě tak totéž

ISO - international Standards Organization

ČSN -Česká Státní Norma

EN -Evropská Norma

tzv. -takzvaně

A - Výpočet hodnot měření Schmidovým kladívkem

MĚŘENÉ MÍSTO I.

SCHMIDTOVO KLADÍVKO TYPU N													
ČÍSLO ÚDERU		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ODRAZ	R	60	33	48	42	38	54	36	42	48	42	50	30
PEVNOST(Mpa)	σ_c	97	23	49	36	29	67	27	36	49	36	54	19
NEJVYŠŠÍ PLATNÁ PEVNOST (Mpa)	σ_c	97											

$$a = 0,4061$$

$$b = 0,01246$$

$$\sigma_c = a / ((1/R) - b)$$

MĚŘENÉ MÍSTO II.

SCHMIDTOVO KLADÍVKO TYPU N													
ČÍSLO ÚDERU		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ODRAZ	R	20	34	37	35	25	30	42	34	33	56	35	33
PEVNOST(Mpa)	σ_c	11	24	28	25	15	19	36	24	23	75	25	23
NEJVYŠŠÍ PLATNÁ PEVNOST (Mpa)	σ_c	75											

$$a = 0,4061$$

$$b = 0,01246$$

$$\sigma_c = a / ((1/R) - b)$$

MĚŘENÉ MÍSTO III.

SCHMIDTOVO KLADÍVKO TYPU N													
ČÍSLO ÚDERU		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ODRAZ	R	50	33	40	25	42	35	36	28	32	30	30	47
PEVNOST(Mpa)	σ_c	54	23	32	15	36	25	27	17	22	19	19	46
NEJVYŠŠÍ PLATNÁ PEVNOST (Mpa)	σ_c	54											

$$a = 0,4061$$

$$b = 0,01246$$

$$\sigma_c = a / ((1/R) - b)$$

MĚŘENÉ MÍSTO IV.

SCHMIDTOVO KLADÍVKO TYPU N													
ČÍSLO ÚDERU		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ODRAZ	R	40	48	52	48	42	46	33	44	46	39	39	48
PEVNOST(Mpa)	σ_c	32	49	60	49	36	44	23	40	44	31	31	49
NEJVYŠŠÍ PLATNÁ PEVNOST (Mpa)	σ_c	60											

$$a = 0,4061$$

$$b = 0,01246$$

$$\sigma_c = a / ((1/R) - b)$$

$$\sigma_{c-I., II., III., IV.} = 71 \text{ Mpa}$$

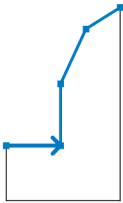
Výpočet stability svahu

Projekt


Akce : BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
 Část : 1
 Popis : stabilita skalní stěny
 Odběratel : Bíba Tomáš
 Autor : Bíba Tomáš
 Datum : 6.5.2013

Typ výpočtu : v efektivních parametrech

Rozhraní

Číslo	Umístění rozhraní	Souřadnice bodů rozhraní [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	0,00	5,00	0,00	5,00	5,63
		7,33	10,63	10,47	12,59		

Parametry zemin - efektivní napjatost

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Diabas		57,00	344,00	26,00

Parametry zemin - vztlak

Číslo	Název	Vzorek	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Diabas		26,00		

Parametry zemin

Diabas

Objemová tíha : $\gamma = 26,00 \text{ kN/m}^3$
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 57,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 344,00 \text{ kPa}$
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 26,00 \text{ kN/m}^3$

Přiřazení a plochy

Číslo	Umístění plochy	Souřadnice bodů plochy [m]				Přiřazená zemina
		x	z	x	z	
1		7,33	10,63	5,00	5,63	Diabas
		5,00	0,00	0,00	0,00	
		0,00	-5,00	10,47	-5,00	
		10,47	12,59			

Voda

Typ vody : Voda není

Tahová trhlina

Tahová trhlina není zadána.

Zemětřesení

Se zemětřesením se nepočítá.

Nastavení výpočtu

Nastavení výpočtu : Česká republika

Typ výpočtu : Stupeň bezpečnosti

Stupeň bezpečnosti : 1,50

Výsledky (Fáze budování 1)**Výpočet 1****Polygonální smyková plocha**

Souřadnice bodů smykové plochy [m]									
x	z	x	z	x	z	x	z	x	z
5,00	0,00	6,35	8,53						

Výpočet bez optimalizace smykové plochy.

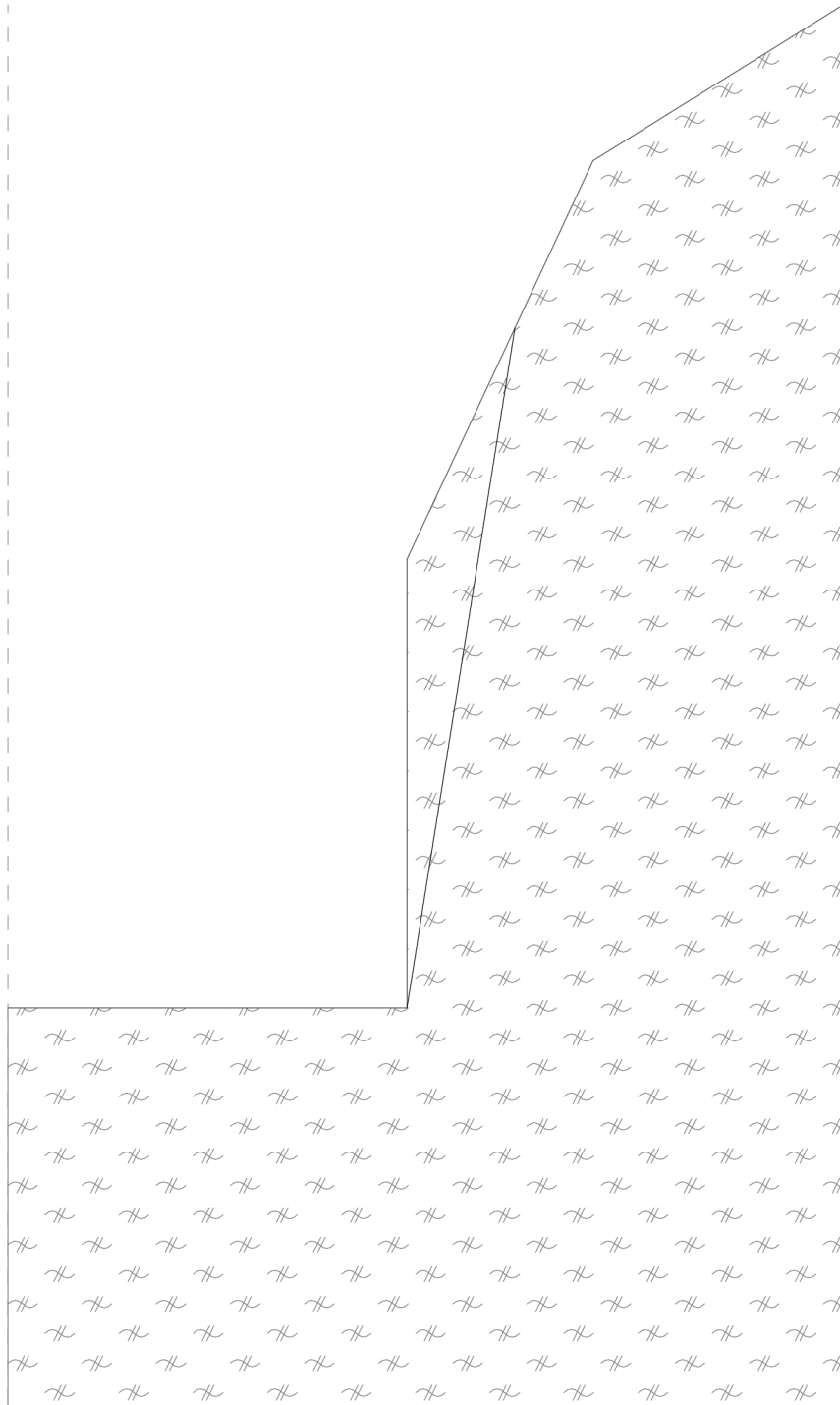
Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 30,72 > 1,50

Stabilita svahu VYHOVUJE

Název : Výpočet

Fáze - výpočet : 1 - 1



Výpočet bez optimalizace smykové plochy.

Posouzení stability svahu (Sarma)

Stupeň bezpečnosti = 30,72 > 1,50

Stabilita svahu VYHOVUJE