

Stabilita skalního svahu – rovinná smyková plocha

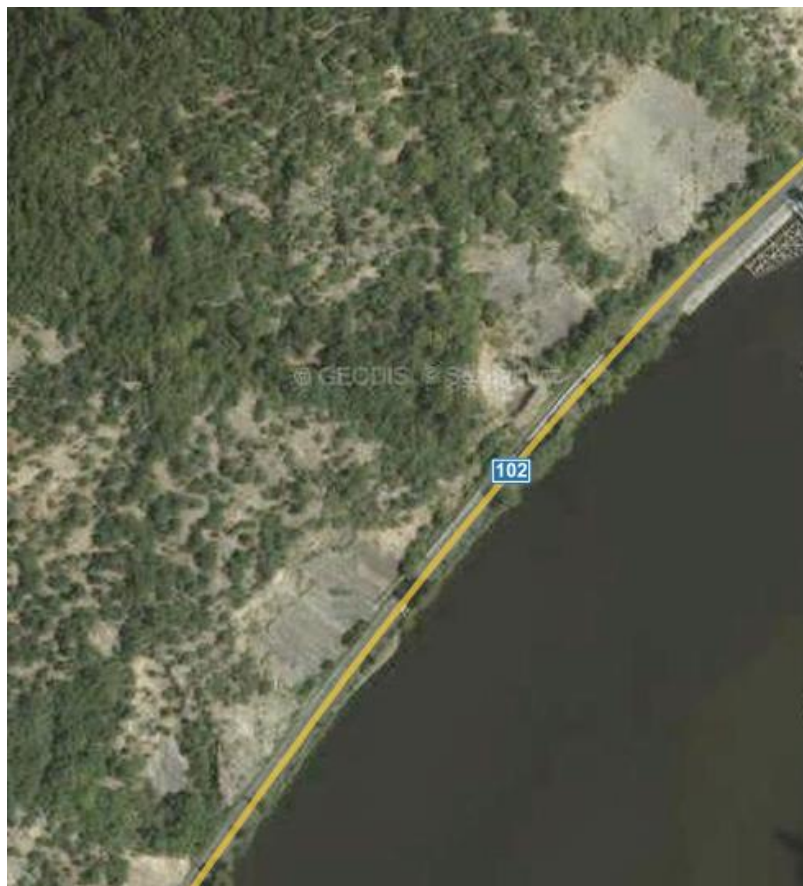
Program: Skalní svah

Soubor: Demo_manual_31.gsk

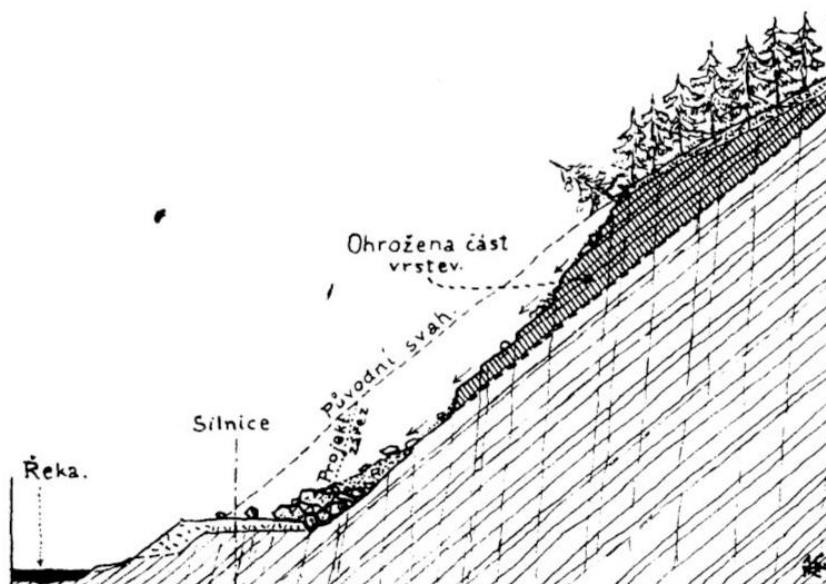
Tento inženýrský manuál popisuje určení stability skalního odřezu podél komunikace č II/102 Strnady – Štěchovice vedené při patě údolí podél řeky Vltavy. K nestabilitě skalní stěny dochází již od výstavby v roce 1931 (opadávání a vyjíždění vrstev, vývěry podzemní vody, špatný stav zabezpečení stěn) i přes postupně prováděné sanační opatření. K největšímu sesuvu došlo v roce 1924, kdy se zřítilo celkem 8000 m³ horniny, v roce 2011 spadl na silnici 2 tuny těžký blok horniny. Posuzován bude vybraný řez, kde dochází k porušení po rovinné (planární) ploše.



Pohled na nejrizikovější část – úsek Vrané nad Vltavou (foto S. Chamra).



Úsek Vrané nad Vltavou - ortofotomapa (Geodis, Seznam.cz)



GEOLOGICKÝ PROFIL PORUŠENÝM SVAHEM PŘI VÝSTAVBĚ SILNICE U ŠTĚCHOVIC V ROCE 1931 - In R. Kettner: Všeobecná geologie IV (1955)

Zadání

V zájmovém úseku je komunikace vedena při patě údolí podél levého břehu řeky Vltavy. Komunikace je vedena částečně v odřezu, částečně na opěrné zdi, jenž pod silnicí spadá k řece. Odřez dosahuje hloubky přes 10 m. Nad stěnou odřezu pokračuje prudký svah. Ve stěně vystupují prachovce a břidlice, které jsou vrstevnaté a rozpukané systémy puklin, které jsou kolmé na vrstevnatost. Často morfologii svahu určuje orientace a velikost sklonu vrstevnatosti. V několika místech ve spodní části stěny vyvěrá podzemní voda, migrující podél ploch vrstevnatosti. Řešení této úlohy je provedeno pro vybraný řez skalního svahu v místě, kde se očekává s největší pravděpodobností náhlé usmýknutí skalního bloku - viz obr.

Vzhledem k tomu, že se jedná o posouzení z dlouhodobého hlediska, je požadovaný výsledný stupeň bezpečnosti roven 1,5. Pokud bude spočten menší stupeň stability, musí se navrhnout způsob zabezpečení (sanace) tak, aby byl požadavek na bezpečnost splněn.



Blok s předpokládaným translačním pohybem (Vaníček 2009)

Na základě geologického průzkumu a archivních šetření byly určeny následující parametry horniny skalního svahu – břidlice: objemová tíha horniny $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$, úhel vnitřního tření na smykové ploše $\varphi' = 38^\circ$, soudržnost na smykové ploše $c' = 10 \text{ kPa}$ a modul přetvárnosti $E_0 = 10 \text{ MPa}$. Pevnost horniny v tlaku je $0,8 \text{ MPa}$ a byla určena měřením v laboratoři na vzorku z vrtného jádra.

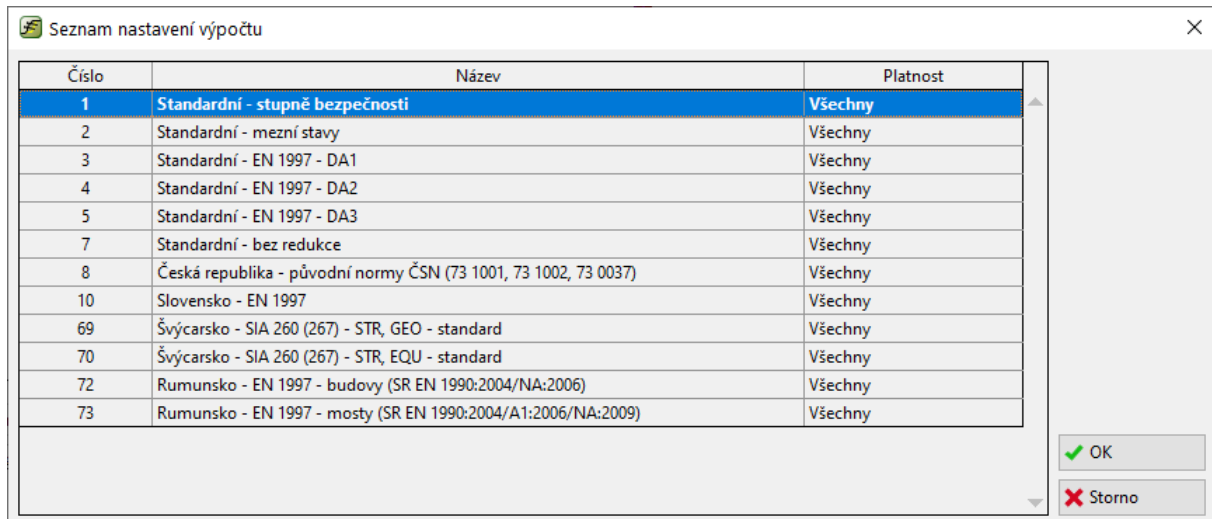
Řešení

Výpočet stability skalního svahu v daném řezu provedeme podle stupňů bezpečnosti (z důvodu budoucí kontroly numerickým modelem pomocí metody konečných prvků). Jednotlivé kroky zadání úlohy, vlastní výpočet a závěr k získanému řešení budou popsány v následujícím textu po jednotlivých krocích.

Zadání úlohy

1) Nastavení požadovaného výpočtu podle stupně bezpečnosti volba typu porušení skalní stěny.

V rámu „Nastavení“ klikneme na tlačítko „Vybrat nastavení“ a poté v Seznamu nastavení výpočtu zvolíme „Standardní – stupně bezpečnosti“ a potvrdíme tlačítkem OK.



Dialogové okno „Seznam nastavení výpočtu“

Dále v tomto rámu nastavíme typ výpočtu. Program Skalní svah umožňuje posoudit porušení skalní stěny smykem (skalní sesuvy) po rovinné či polygonální smykové ploše a stabilitu horninového klínu. Určení nebezpečné smykové plochy je u skalních hornin prakticky ve všech případech obtížné a vyžaduje spolupráci se strukturním geologem. V našem případě je z geologické zprávy a z fotodokumentace (navíc i z osobní návštěvy zájmového území) patrné, že plochy vrstevnatosti mají strmý sklon (40 - 50°) a bloky břidlice mohou po této vrstevnatosti vyjíždět na komunikaci při patě svahu. Z tohoto důvodu zvolíme typ výpočtu: rovinná smyková plocha.

2) Zadání geometrie terénu a skalní stěny

Geometrii posuzované skalní zadáme v rámu „Terén“. Před zadáním vlastního tvaru skalní stěny je možné upravit defaultní hodnoty bodu, odkud začíná zadávání geometrie skalní stěny (počátku zadávání). Jako počátek zadávání bývá vhodné zvolit patu skalního svahu popř. bod ležící v určité vzdálenosti na povrchu terénu před patou svahu. V našem případě bude počátek zadávání ležet na vodorovném terénu 5 m před patou svahu a bude mít ponechané defaultní souřadnice ($x = 0$, $y = 0$). Geometrie se zadává tak, že skalní masiv je vpravo.

V rámu „Terén“ pomocí tlačítka Přidat zobrazíme dialogové okno pro textové přidávání, pomocí kterého zadáme jednotlivé úseky terénu a skalní stěny (od zvoleného bodu počátku zadávání). Úseky terénu je možné zadávat kombinací z hodnot definujících geometrii úseku: sklon, celková délka, vodorovná výška a výška. Program nezadané hodnoty dopočítá.

Na základě odečtení souřadnic bodů „zlomů“ terénu z příčného řezu zadáme pomocí úseků terénu geometrii skalního svahu:

Číslo úseku	Sklon α [°]	Celková délka l [m]	Vodorovná délka l_h [m]	Výška l_v [m]
1	0	-	10,0	-
2	50	-	17	-
3	85	3	-	-
4	48	-	35	-
5	22	-	17	-

Program v grafickém okně vykresluje zadaný terén a v rámu „Terén“ zobrazuje tabulku zadaných úseků.

Způsob zadání: sklon a délka

Počátek: x = 0,00 [m] z = 0,00 [m]

Číslo	Sklon α [°]	Celková délka l [m]	Vodorovná délka l_h [m]	Výška l_v [m]
1	0,00	10,00	10,00	0,00
2	50,00	26,45	17,00	20,26
3	85,00	3,00	0,26	2,99
4	48,00	52,31	35,00	38,87
5	22,00	18,34	17,00	6,87

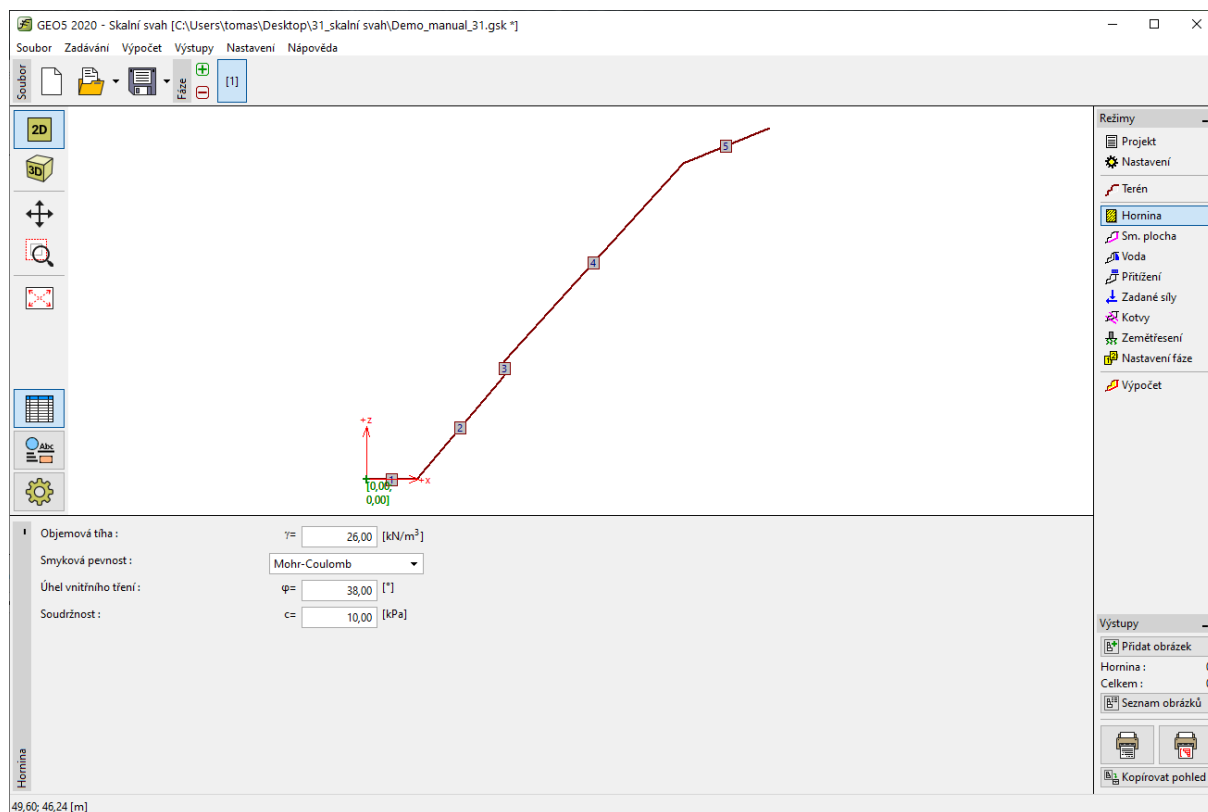
61,06; 45,87 [m]

Zadání úseku terénu a skalní stěny v rámu „Terén“

3) Zadání parametrů horniny

V rámu „Hornina“ zadáme parametry horniny tvořící horninový masiv skalní stěny (materiálové parametry). Na základě inženýrsko geologického průřezu byla určena objemová tíha a smykové parametry podle Coulombovy podmínky porušení horniny: Objemová tíha horniny $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$,

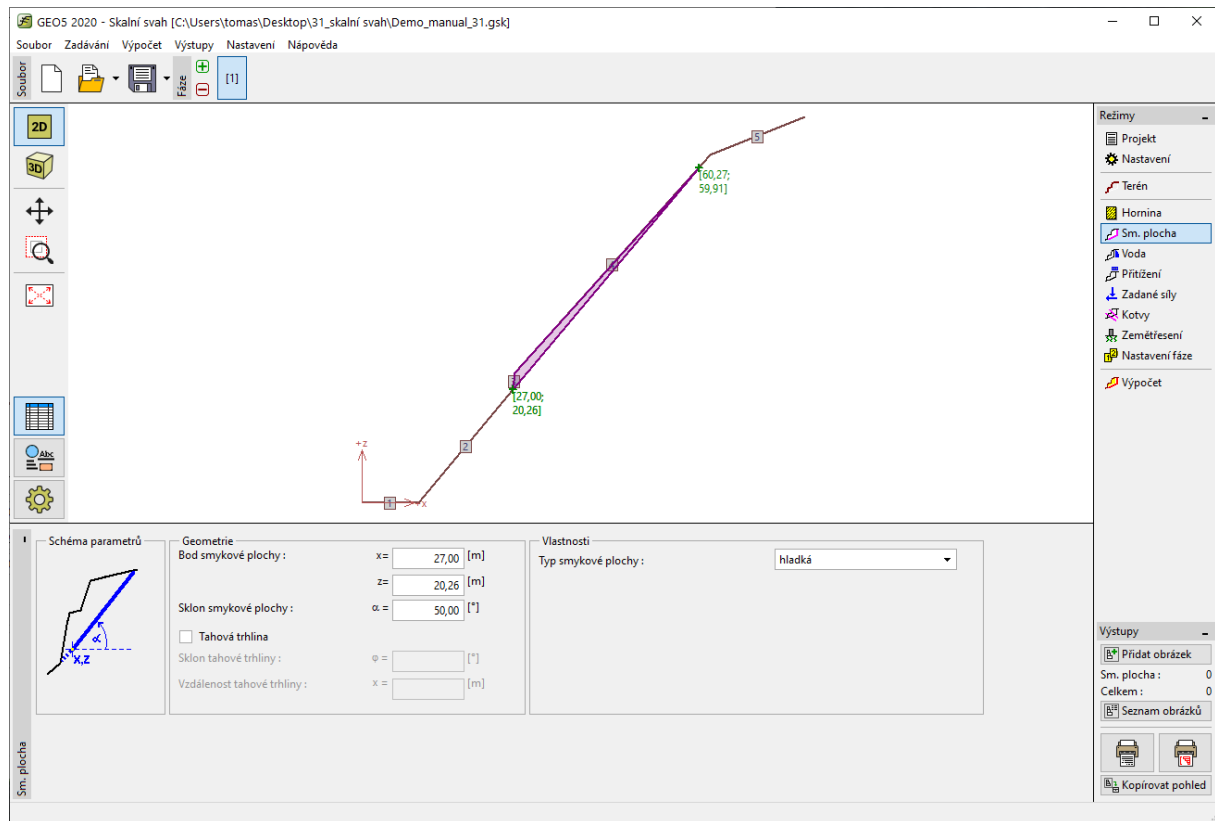
smykové parametry jsou reziduální po plochách vrstevnatosti – úhel vnitřního tření horniny $\varphi'_r = 38^\circ$, soudržnost horniny $c'_r = 10 \text{ kPa}$



Poznámka: Program umožňuje zadat i materiálové charakteristiky podle podmínek porušení dle Barton-Bandise a Hoek-Browna.

4) Zadání geometrie smykové plochy a jejích vlastností

Smyková plocha a její vlastnosti se zadávají v rámu „**Sm. Plocha**“. Bod smykové plochy je totožný se spodní hranou řešeného bloku, tj. $x = 27 \text{ m}$, $y = -20,26 \text{ m}$. Na základě průzkumu geologa bylo určeno, že smyková plocha bude mít sklon 50° .



Zadání smykové plochy v rámu „Sm. plocha“

5) Vliv podzemní vody

Vliv podzemní vody se zadává v rámu „**Voda**“. V několika místech ve spodní části stěny vyvěrá podzemní voda, především podél diskontinuit paralelních s vrstevnatostí. V zimě zamrzající voda následně rozevřívá pukliny a navíc dochází k akumulaci vody za promrzlými a tedy nepropustnými puklinami a ke zvyšování hydrostatického tlaku. Posuzovaný blok však leží nad touto částí ovlivněnou podzemní vodou a ani v době místního šetření nebyla patrná voda vytékající z plochy nespojitosti. Z tohoto důvodu je výpočet proveden bez vlivu podzemní vody.

6) Zadání přitížení

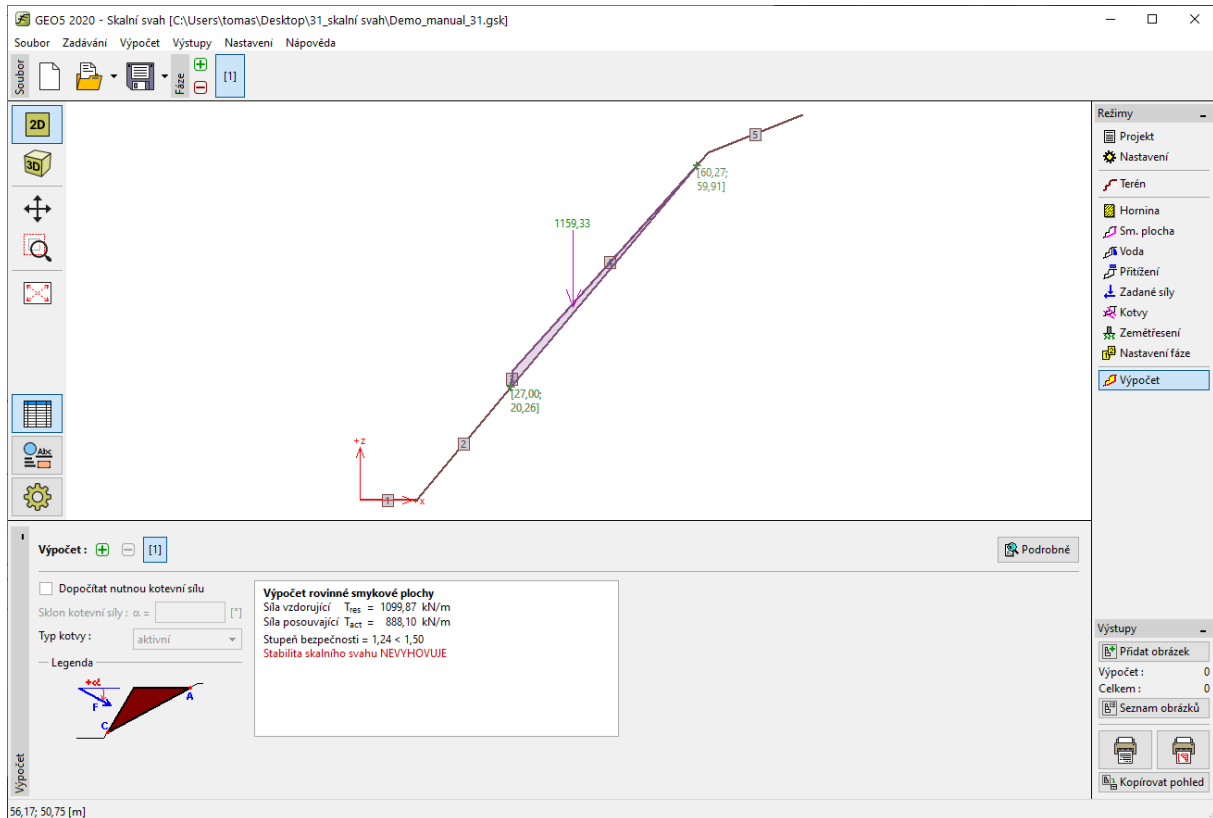
Přítížení působící na skalní stěnu se zadávají v rámu „**Přítížení**“. Na posuzovanou stěnu ani daný blok horniny nepůsobí vnější přitížení.

7) Nastavení návrhové situace

V rámu „Nastavení fáze“ volíme návrhovou situaci pro daný výpočet. V našem případě posuzujeme stabilitu svahu pro dobu životnosti zamýšlené stavby v místě odřezu svahu, proto volíme trvalou návrhovou situaci.

Výpočet úlohy

Výpočet zadané úlohy se spustí pomocí tlačítka „Výpočet“. Základní výsledky a další možné volby se objeví v rámu „Výpočet“. Pro naši zadanou úlohu vychází stupeň stability $F = 1.24 \ll 1.5$. Podrobnější výsledky je možné získat stlačením tlačítka „Podrobně“ popř. ve výpisu z programu.



Rám „Výpočet“

Mezivýsledky	
Délka smykové plochy	= 51,77 m
Sklon smykové plochy	= 50,00 °
Tíhová síla	$W_z = 1159,33 \text{ kN/m}$
Normálová síla na smykové ploše	$N = 745,20 \text{ kN/m}$
Smykové napětí na smykové ploše	$\tau = 21,25 \text{ kPa}$
Výpočet rovinné smykové plochy	
Síla vzdorující	$T_{res} = 1099,87 \text{ kN/m}$
Síla posouvající	$T_{act} = 888,10 \text{ kN/m}$
Stupeň bezpečnosti	= 1,24 < 1,50
Stabilita skalního svahu	NEVYHOVUJE

Podrobný výpis výsledků v okně „Výpočet“

Závěr

Pro naši zadanou úlohu vychází stupeň stability $F = 1.24 < 1.5$. To znamená, že stabilita posuzovaného bloku (skalní stěny) nevyhovuje požadovanému stupni bezpečnosti 1,5 pro dlouhodobou stabilitu a je tedy nutné dále navrhovat opatření pro zvýšení její stability. Zajistit

požadovanou stabilitu svahu (v daném řezu) jeho zmírněním je vzhledem k ohromné kubatuře nemožné. Zajištění pomocí kotev či svorníků je technicky velmi obtížně proveditelné z důvodu obtížné přístupnosti a umístění potřebného technického vybavení. Navrhované řešení spočívá v kombinaci částečné řízené desintegrace bloku a zavedení opatření, která by neumožnila pád bloků na komunikaci (dynamické bariéry a zadržující sítě).

Literatura:

VANÍČEK, I., HRUBÝ, V., CHAMRA, S., JIRÁSKO, D. (2009): *Posouzení geotechnických rizik v souvislosti s havarijním stavem skalního masivu a nebezpečím sesuvu na komunikaci II/102 v úseku Strnady – Štěchovice*, MS – Závěrečná zpráva, České učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha.

ZARUBA, Q., MENCL, V., 1957. *Engineering Geology*. (In Czech.) NCSAV, Prague, pp. 1—425.