

GEOTECHNICKÝ PRŮZKUM

č. zakázky 2021-01-11



**III/11515 Dolní Roblín, nestabilní
skalní masiv**



TIŠNOV, LEDEN 2021

Název zakázky: **III/11515 Dolní Roblín, nestabilní skalní masiv**

Odpovědný řešitel: **Mgr. Ing. Ondřej Holý, Ph.D.**
724 562 173, holy@geotechnikaholy.cz
ČKAIT pro obor geotechnika: 0012237
IČ: 70705330

Číslo zakázky: **2021-01-11**

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA

OBSAH:

1. Základní údaje	2
2. Přehled výchozích podkladů.....	2
3. Popis stavu vybraných skalních útvarů	2
4. Hodnocení stavu skalního svahu	5
5. Zhodnocení trajektorie a účinku pádu	6
6. Návrh opatření pro snížení rizika	8
7. Závěrečné zhodnocení	8
 PŘÍLOHA 01 MAPA KN.....	 10
PŘÍLOHA 02 FOTODOKUMENTACE.....	11

TIŠNOV, LEDEN 2021

1. Základní údaje

Naše společnost vypracovala na základě SoD č.S-3192/00066001/2020 ze dne 4.11. 2020 geotechnický průzkum stavu skalního útvaru, nacházejících se ve p.č.772 (obec Mořinka) a 629/1 (Lesy ČR) vedeném u Katastrálního úřadu pro Středočeský kraj, katastrální pracoviště Beroun viz Příloha 01. Se skalním svahem sousedí pozemky soukromých vlastníků i státu. Ze svahu došlo k pádu většího objemu horniny, která ohrozila přilehlou silniční komunikaci [3] a [4].

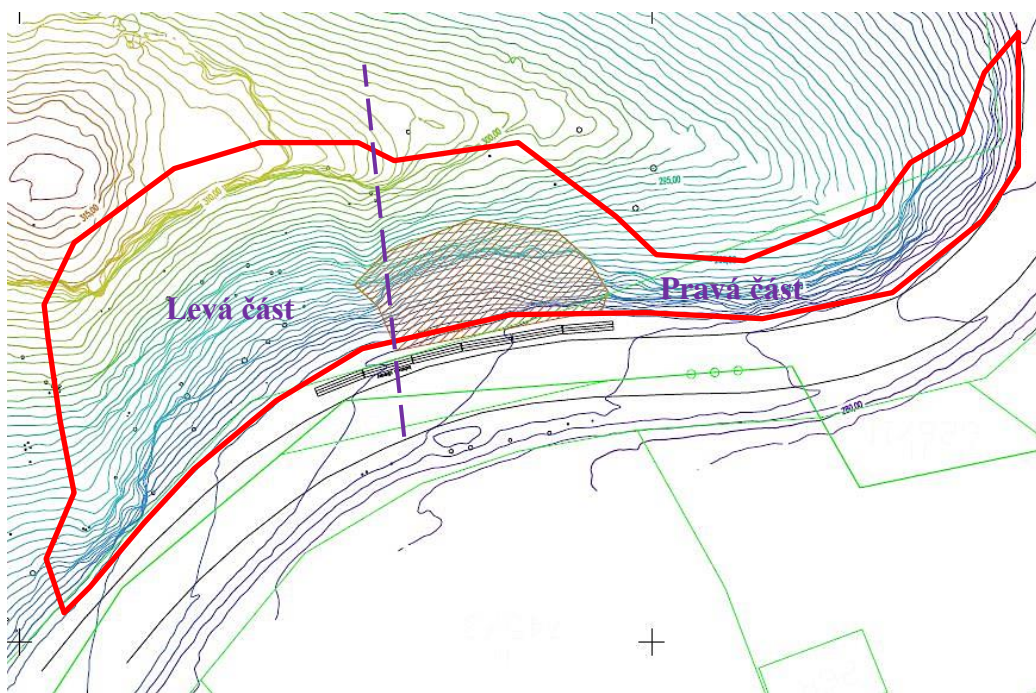
Geotechnické posouzení má za úkol vyšetřit stav vybraných skalních útvarů (charakter vzniku svahové nestability a stupně antropogenního zavinění), reálnou míru rizika skalního řícení na přilehlý pozemek (popis nebezpečnosti jevu), navrhnout rozsah možných opatření (s popisem zatížení životního prostředí realizací sanačních opatření s uvedením předpokládané udržitelnosti provedené stabilizace) jako podklad pro sanaci vybraných skalních útvarů.

2. Přehled výchozích podkladů

- [1] Vlastní rekognoskace, dokumentace a geodetické zaměření; 11/2020.
- [2] Řešení některých problémů stability horniny ve svazích a stěnách s optimalizací kotevních prvků.; DP; dr. Holý; 11/2019.
- [3] Rekognoskace a klasifikace rizika skalního řícení na silnici III/11515 z neděle 21. června 2020 za obcí Karlík v úseku „Karlické údolí“, ing. Aue, ČGS 06/2020.
- [4] Předání díla „III/11515 Kralické údolí – skalní sesuv“, dokladová část. AZ-Sanace, a.s. 11/2020.

3. Popis stavu vybraných skalních útvarů

Dotčený skalní stupeň je rozvinuté délky cca 88,0 m a vysoký až cca 21,0 m, generelní sklon je od 49° do 86°. Jedná se o přírodní svah, tvořený výchozy spodnodevonských vápenců zlíčovského souvrství barrandienu pražské pánve. Orientace svahu je k SSZ.

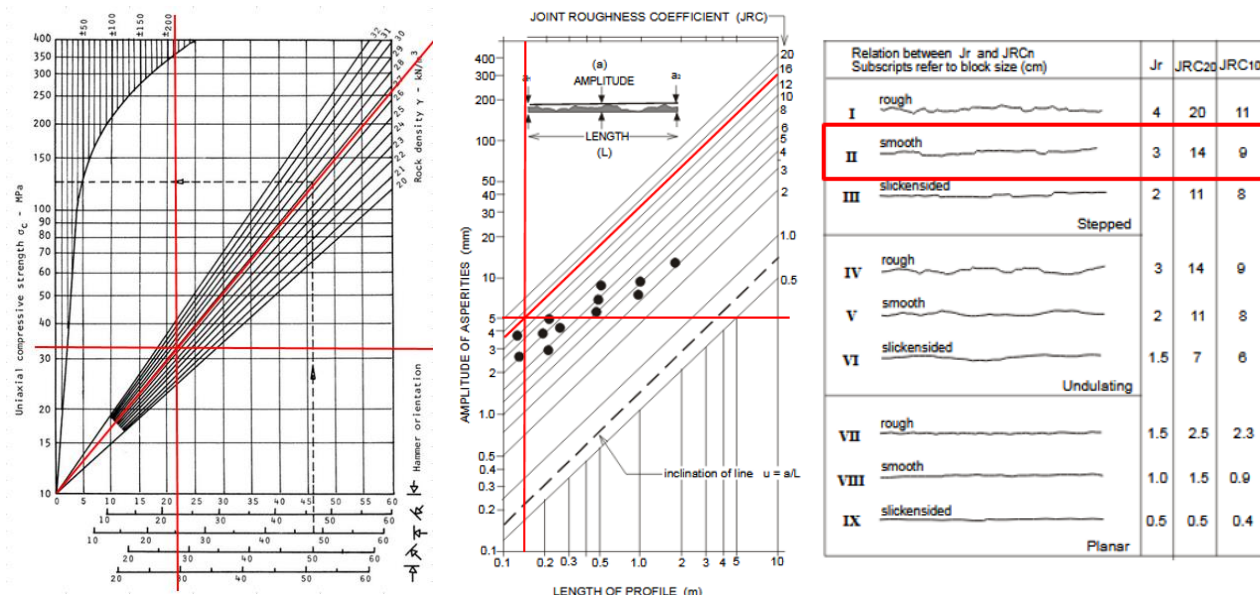


Obr.1 Obvod dotčeného skalního výchozu, zdroj [1]

Skalní stěna je tvořena dvěma logickými úseky (čelně) – levá a pravá část (Obr.1). Tyto části jsou rozdílné charakterem zvětrání, stabilitou, rizikem a trajektorií pádu.

Levá část

Horniny jsou světle šedé. Úlomky lze obvykle rozpojit jedním až více jak jedním úderem kladiva (odhadovaná pevnost R3 podle ČSN EN ISO 14689:2018), skleroskopickým měřením byla zjištěna korelovaná pevnost 51 MPa, pevnost JCS činí $33 \pm 18\%$ MPa (Obr.2a).



Obrázek 2a,b,c: Určení pevnosti masivu (vlevo), drsnosti diskontinuit

Horniny jsou porušeny generelně třemi systémy diskontinuit, které jsou k sobě kosé a vytínají typicky kostkovité, méně často deskovité úlomky. Pukliny jsou obvykle stupňovité a hladké.

Průběžnost puklin obvykle nepřesahuje dva metry. Je zřejmé, že vzhledem k obvyklé vzdálenosti diskontinuit mezi 0,1–0,8 m dochází k oddělování menších až středně velkých bloků s tvarovým indexem $\beta \approx 45$. Takové leží v patě svahu a pod svahem. Obecně dochází k opadávání a sesypávání úlomků hornin s následnou saltací, obvykle do velikosti 0,10 – 0,40 m. Ze strukturních dat lze vysledovat výsledovat potenciální překlopení či skluz po předurčených plochách (Obr.4). Exponovaná poloha stěny a suťový svah vůči ohroženému prostoru udělují volným úlomkům vysokou kinetickou rychlost.

Svah je pokryt vzrostlými stromy. Stromy jsou často nepravidelně rostlé, poraněné dopady kamenů, pokřivené, nebo hrozí vývraty s možností vyvalení fragmentů skalních hornin. Voda do stěny viditelně nevniká. Akumulační prostor v patě svahu není vytvořen a je pouze částečně proveden pomocí betonových svodidel. Pro navazující projektovou etapu byly stanoveny charakteristické hodnoty vlastností masivu a diskontinuit (Tab.1).

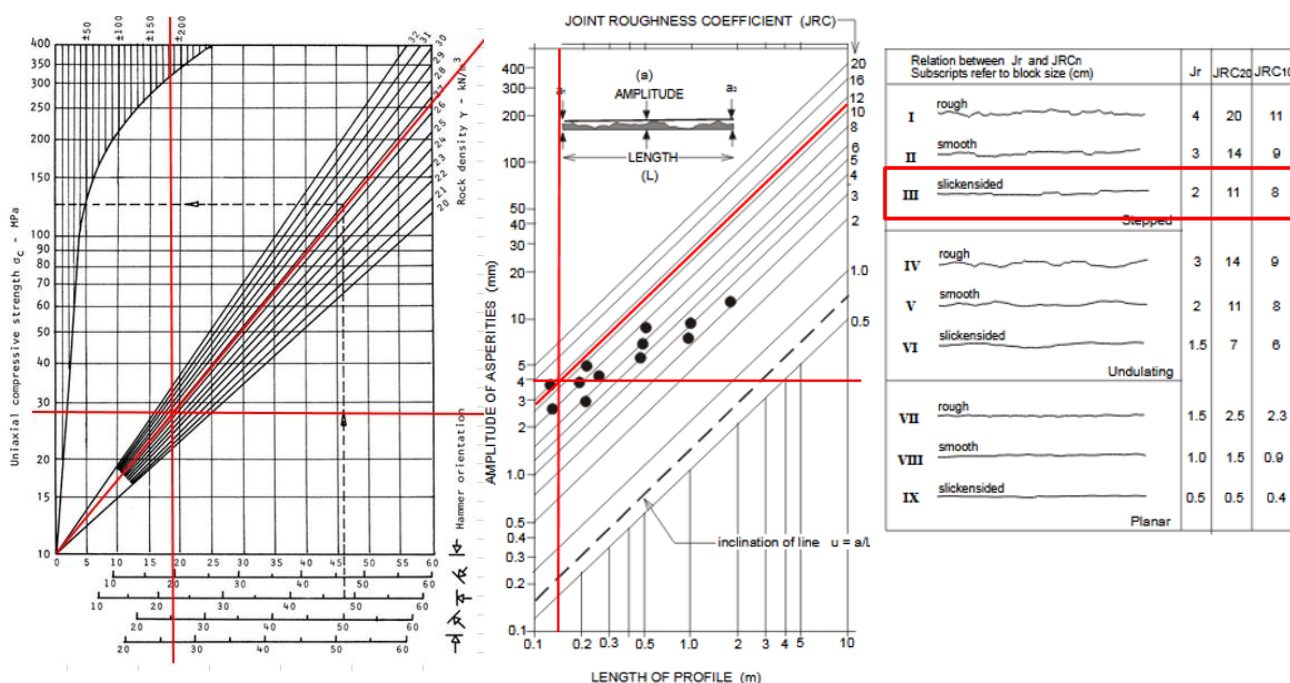
Tabulka 1: Charakteristické hodnoty vlastností masivu a diskontinuit

Objemová tíha	γ	26,7	kN
Jednoosá tlaková pevnost	UCS	51	MPa
Pevnost stěny diskontinuity	JCS	27 - 39	MPa
Koeficient drsnosti pukliny	JRC	14	-
Drsnost puklin	Jr	3	-

Alterace puklin	Ja	2	-
Rezid. úhel smyk. pevnosti diskontinuit	ϕ_{rez}	29	°
Tvarový index	β	45	-
Volumetrický počet spár	Jv	16,3	ks.m ⁻³
Blokovitost	Vb	0,01	m ³
Index kvality horniny	RQD	69	%
Index geologické pevnosti horniny	GSI	66	-
Plášťové tření kořen/hornina	tb	0,72 (injekt.)	MPa
		0,53 (záliv.)	

Pravá část

Horniny jsou světle šedé. Úlomky lze obvykle rozpojit jedním úderem kladiva (odhadovaná pevnost R4 podle ČSN EN ISO 14689:2018), skleroskopickým měřením byla zjištěna korelovaná pevnost 43 MPa, pevnost JCS činí $28 \pm 15\%$ MPa (Obr.3a).



Obrázek 3a,b,c: Určení pevnosti masivu (vlevo), drsnosti diskontinuit

Horniny jsou porušeny generelně třemi systémy diskontinuit, které jsou k sobě kosé a vytínají typicky kostkovité a deskovité úlomky. Pukliny jsou obvykle stupňovité a vyhlazené.

Průběžnost puklin obvykle nepřesahuje dva metry. Je zřejmé, že vzhledem k obvyklé vzdálenosti diskontinuit mezi 0,2–1,0 m dochází k oddělování středně velkých až velkých bloků s tvarovým indexem $\beta \approx 34$. Takové leží ve svahu, v patě svahu a pod svahem viz dokumentovaná havarijní událost [3]. Obecně dochází k opadávání a sesypávání úlomků hornin s následnou saltací, obvykle do velikosti 0,50 – 1,00 m. Ze strukturních dat lze vysledovat potenciální překlopení či skluz po předurčených plochách (Obr.4). Skalní stěna těsně sousedí s přilehlou krajnicí.

Svah je řídce pokryt vzrostlými stromy. Stromy jsou často nepravdělně rostlé, poraněné dopady kamenů, pokřivené, nebo hrozí vývraty s možností vyvalení fragmentů skalních hornin. Voda do stěny viditelně nevniká. Akumulační prostor v patě svahu absentuje a je dočasně vytvořen pomocí

betonových svodidel, ovšem omezené délky. Pro navazující projektovou etapu byly stanoveny charakteristické hodnoty vlastností masivu a diskontinuit (Tab.2).

Tabulka 2: Charakteristické hodnoty vlastností masivu a diskontinuit

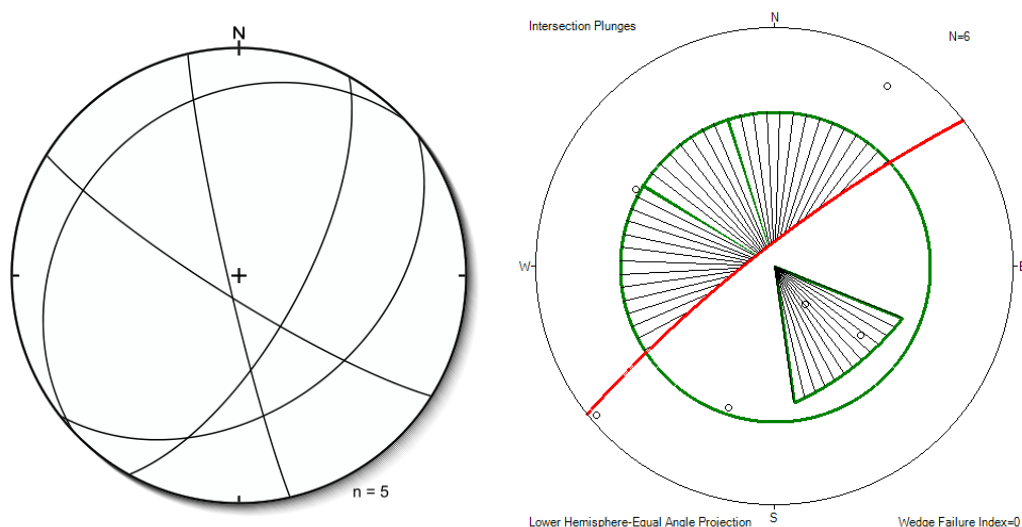
Objemová tíha	γ	26,7	kN
Jednoosá tlaková pevnost	UCS	43	MPa
Pevnost stěny diskontinuity	JCS	24 - 32	MPa
Koeficient drsnosti pukliny	JRC	11	-
Drsnost puklin	Jr	2	-
Alterace puklin	Ja	4	-
Rezid. úhel smyk. pevnosti diskontinuit	ϕ_{rez}	24	°
Tvarový index	β	34	-
Volumetrický počet spár	Jv	8,7	ks.m ⁻³
Blokovitost	Vb	0,05	m ³
Index kvality horniny	RQD	86	%
Index geologické pevnosti horniny	GSI	60,5	-
Plášťové tření kořen/hornina	tb	0,63 (injekt.)	MPa
		0,46 (záliv.)	

4. Hodnocení stavu skalního svahu

Hlavním erozním činitelem jsou exogenní činitelé. U tohoto skalního útvaru antropogenní zásah jako důvod zavinění nestability **není možný** – jedná se o přírodní skalní defilé. Na základě strukturního měření (Obr.4) byla provedena kinematická analýza.

Orientace hlavního puklinového systému je vůči ohroženému prostoru nepříznivá a to průměrně 300 až 350/80 (výslednice úpadní k SZ až SSZ).

Reziduální úhel tření na hlavním systému diskontinuit byl zjištěn skleroskopicky na zvětraném a zdravém povrchu. Jeho hodnota činí 24° až 29°. V kritické ploše třecího kužele se nachází průsečíky ploch bloků hrozcích **překlopením** (50%) a **skluzem po rovinných plochách** (25%) a tedy **pod mezí stability** ($F_s \leq 1,0$). Hlavním pohybem je gravitační opad.



Obr.4 Kinematická analýza stability

Kategorie rizika ohrožení prostoru pod skalní stěnou (Lysenko 1997) je **III** – vysoké riziko vzhledem k aktivitě opadávání a kinetické energii horninových úlomků.

Jako další je použito bodové hodnocení celkové stability svahu, uznávané (a používané) odbornou veřejností u nás i v zahraničí [2]:

Pravá část

- podle hodnocení **RMR = 60 b.** (Bieniawski 1973) je **stav masivu dobrý**,
- podle hodnocení **SMR_{min} = 56 b. tř. III** (Tomás et al. 2007) je **svah částečně stabilní**,
- podle hodnocení **Q_{slope} = 0,14** při maximálním stabilním sklonu **48,1°** (Barton a Bar 2015) je stávající svah **nestabilní** ($F_S = 0,60$),
- podle hodnocení **Rothovou metodou** (Roth 1954) je maximální stabilní sklon stěny **24,4°** a tedy stávající $F_S = 0,31$ – **svah je nestabilní** (nelze ovšem zohlednit více systémů odlučnosti).

Levá část

- podle hodnocení **RMR = 60 b.** (Bieniawski 1973) je **stav masivu dobrý**,
- podle hodnocení **SMR_{min} = 56 b. tř. III** (Tomás et al. 2007) je **svah částečně stabilní**,
- podle hodnocení **Q_{slope} = 2,30** při maximálním stabilním sklonu **72,2°** (Barton a Bar 2015) je stávající svah **kvazistabilní** ($F_S = 0,90$),
- podle hodnocení **Rothovou metodou** (Roth 1954) je maximální stabilní sklon stěny **88,1°** a tedy stávající $F_S = 1,10$ – **svah je stabilní** (nelze ovšem zohlednit více systémů odlučnosti).

5. Zhodnocení trajektorie a účinku pádu

Kinetický posudek používá k výpočtu pádové trajektorie metodu CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program, Pfeiffer&Bowen 1989) a umožňuje modelovat pády horninových bloků na předem definovaném reliéfu ve 2D řezu. Modelovanému prostředí jsou v řezu přiřazeny materiálové konstanty, které vyjadřují drsnost a typ povrchu. Pro jednotlivé bloky je možné zadat jejich objemovou tíhu a počáteční rychlost. Jednotlivé parabolické trajektorie jsou následně během modelového impaktu ovlivněny rotací bloku, jeho tíhou a drsností svahu (koeficienty restituce). Model uvažuje všechny tři možné pohyby bloku (volný pád, odskoky, rotace). Výpočet je možný jak statistickým přístupem, tak v tomto případě deterministicky (pro každý odraz byly počítány parametry přímo ze zadaných hodnot koeficientů restituce) dle základního kvadratického vztahu průsečíku přímky a paraboly:

$$\left[\frac{1}{2} g \right] t^2 + V_{y0} - q V_{x0} t + [Y_0 - Y_1 + q X_1 - X_0] = 0$$

kde q – směrový parametr; t – čas; V – rychlost, X, Y – poloha hmotného bodu a g – gravitační konstanta. Pro stanovení konkrétních účinků impaktu byl použit strojový výpočet pomocí SW RocFall.

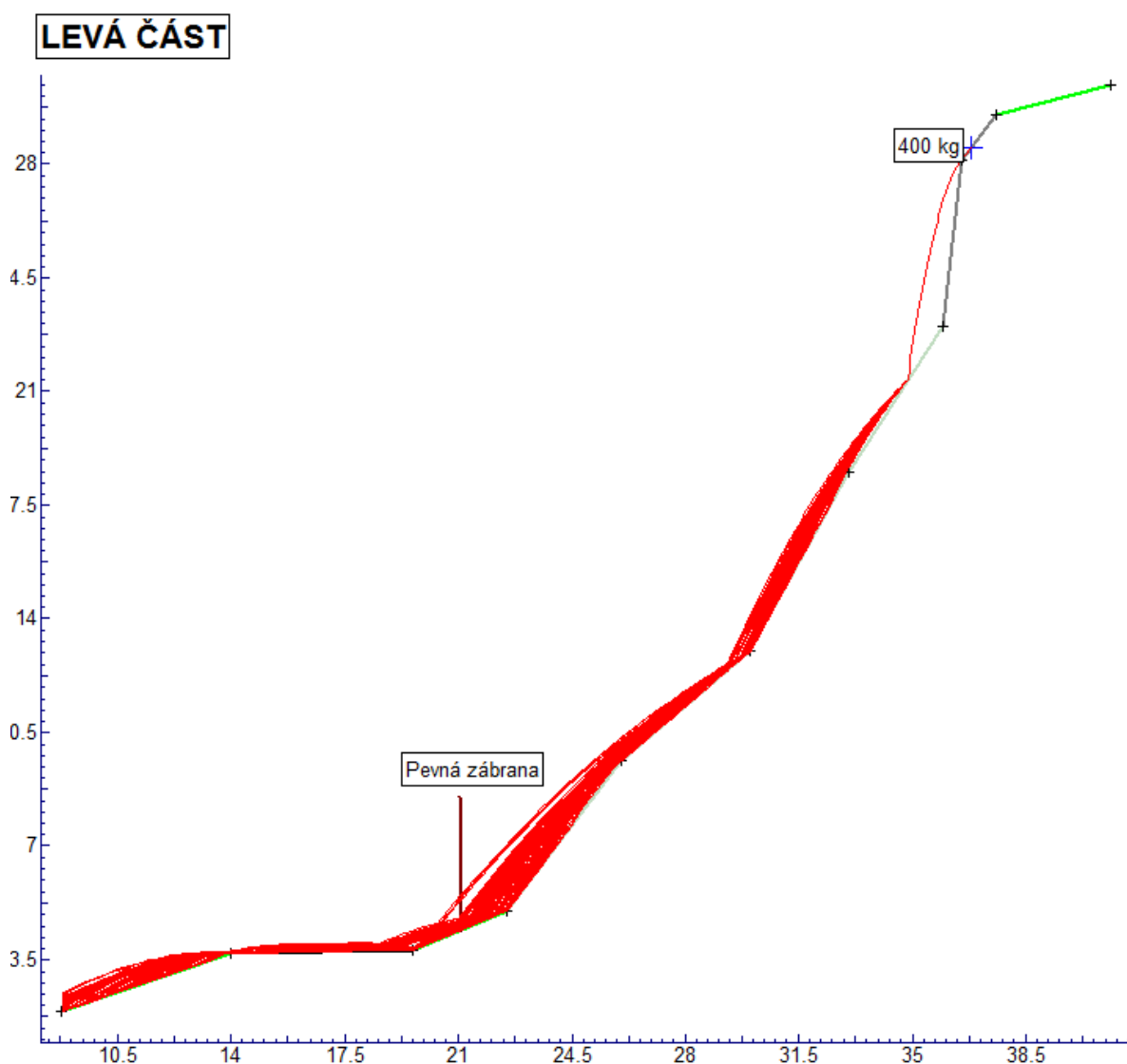
Konkrétní účinky zatížení byly stanoveny výpočtem – silovou metodou dle dopadové rychlosti. To umožňuje norma ČSN 73 0037, čl. 23 b) a 25. Při takovém postupu nemusí být (v souladu s čl. 27 normy ČSN 73 0037) v plném rozsahu dodrženo ustanovení normy (731000) ČSN

EN 1997-1 a výsledky řešení je možné vyhodnotit individuálně. Není tedy vhodné použít redukci vstupních parametrů hornin. Individuálním vyhodnocením je pak myšleno, že metodika mezních stavů musí být zavedena alternativním způsobem nebo musí být použit jiný systém posouzení spolehlivosti konzistentní s výsledky výpočtu (např. dovolená namáhání nebo stupně bezpečnosti).

Návrh energetické účinnosti byl proveden podle metodiky EAD pro mezní stav únosnosti MEL (extrémní zatížení) a mezní stav přetvoření SEL (provozní zatížení).

Ve výpočtu byly všechny vstupní veličiny uvažovány svými normovými hodnotami ve smyslu ČSN 73 0037, respektive charakteristickými hodnotami ve smyslu ČSN EN 1990 a ČSN EN 1997-1. Výsledné účinky zatížení pak byly individuálním způsobem posouzeny následovně:

- pro dimenzování minimální energetické účinnosti byly získané účinky zatížení převedeny na výpočtové účinky (ve smyslu ČSN EN 1990) pomocí koeficientů z normy ČSN EN 1997-1, návrhový přístup 2, poznámka 1.
- pro dimenzování minimální záchytné výšky a délky deformační zóny bylo použito stupně bezpečnosti 1,0 s redukcí návrhovými koeficienty podle UNI 11211



Kinetická analýza v levé části svahu potvrdila stávající stav a charakter skalního řícení. Dopadová výška v patě svahu je cca 2,0 m a u krajnice cca 0,7 m., dopadová rychlost $17,5 \text{ m.s}^{-1}$ a dopadová energie cca 61 kJ. Z číselných výsledků vyplývá, že opatření pro zachyt padajících úlomků nemusí být masivní, ale musí mít dostatečnou zachytnou výšku a to cca 2,0 m. Dalším z možných řešení je zpomalit úlomky již během transportu.

Pravá část nebyla z hlediska pádu posuzována, neboť zde není možné instalovat z prostorových důvodů pevnou zábranu. Jediným řešením tak zůstává pevná fixace stěny.

6. Návrh opatření pro snížení rizika

Ačkoliv umístění lokality vyžaduje v rámci CHKO řadu výjimek z ochrany a stejně tak přípustná míra rizika vyplývá i z Lesního zákona, doporučujeme pro snížení míry ohrožení dopravy pod skalním svahem provést dočasné opatření formou:

- 1] periodické prohlídky svahu a nejnutnější havarijní odstranění volných bloků v řádech měsíců
- **PROVEDENO** viz [4]

a trvalé opatření formou:

- 2] zajištění části stěn pomocí ocelových kotvených sítí v kombinaci se zachytnými zařízeními pod svahem (dřevěné palisády, zpomalovací kmeny apod.) vč. pravidelné údržby a kontroly

Charakter skalního svahu a jeho ochrana dovolují terénní úpravy a instalaci technických zařízení pouze v omezeném rozsahu. Podle zjištění stavu skalního svahu a vazby na přírodní hodnoty předkládáme návrh opatření, která jsou vzhledem k současnému i dlouhodobému stavu efektivní a udržitelná. Realizace opatření jsou navržena tak, aby nedošlo k neobnovitelnému poškození a došlo k maximálně **malému** zatížení životního prostředí.

- 1] Soupis prací pro trvalé snížení a udržení nižšího rizika s životností **25 let**:

Očištění skalní stěny	35 m ³
Odtěžení bloků	15 m ³
Instalace ocelových sítí	500 m ²
Instalace zachytných zařízení	150 m ²
Náklady (bez projektu, zaměření atd.)	cca 2,0 až 4,0 mil. Kč bez DPH

7. Závěrečné zhodnocení

Posuzovaný skalní svah jako celek je ve stavu **stabilním s přechodem k nestabilitě v pravé z. části** a náleží tak do kategorie rizika **III – vysoké riziko**. Doporučuji provedení výše uvedených opatření jako celku vzhledem k bezpečnosti pohybu osob a vozidel. V případě dlouhodobých či krátkodobých intenzivních srážek či střídání teplot však může dojít k náhlé změně stavu stability a může dojít k řícení horniny většího objemu než uvažují závěry tohoto průzkumu a stávající ochranná opatření mohou být překonána – z titulu valení značného rozsahu, nikoli rychlosti. Trvalé zajištění vyžaduje zpracování projektové dokumentace podle vyhl. 499/2006 Sb. ve znění pozdějších předpisů odborně způsobilou osobou v oboru Geotechnika.

Během realizace doporučujeme stálý geotechnický dozor odborně způsobilou osobou v oboru Geotechnika.

V Tišnově dne 22.1. 2021

Zpracoval:

MGR. ING. ONDŘEJ HOLÝ, PH.D.
Autorizovaný inženýr pro geotechniku

PŘÍLOHA 01 MAPA KN



Zdroj: ČÚZK

PŘÍLOHA 02 FOTODOKUMENTACE









Exponovaná
nestabilní část horní hrany

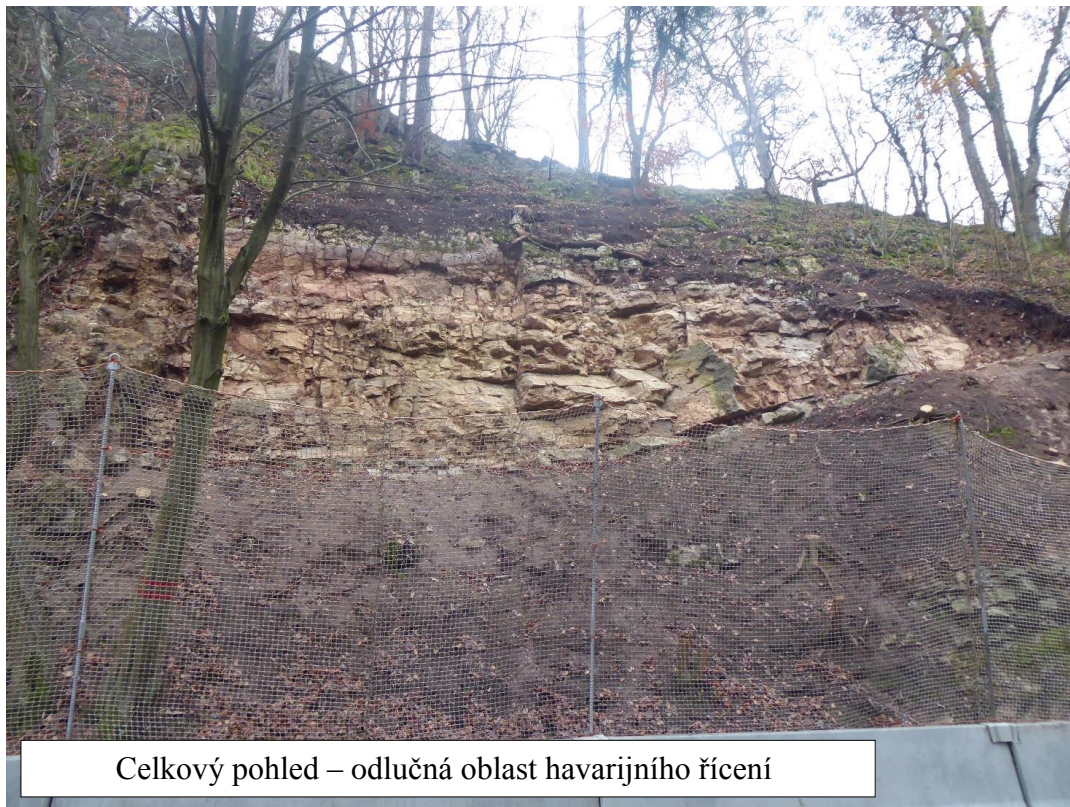




Pohled na z. část (pravou)



Dtto





Levá spodní část

