



**Posouzení vlivu požáru a bezpečnostních zásahů na stabilitu skal a svahů**

**Studie A: Dopad požáru a bezpečnostních opatření na neživou přírodu**

Objednatel:

Správa Národního parku České Švýcarsko

Sídlo: Pražská 457/52, 407 46 Krásná Lípa

Zastoupena: Ing. Petr Bauer, ředitel odboru ochrany přírody

Zhotovitel:

Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.

Sídlo: V Holešovičkách 94/41, 182 09 Praha 8

Zastoupen: RNDr. Filip Hartvich, Ph.D., ředitel IČO: 67985891

Studii vypracovali:

Mgr. Jan Blahůt, Ph.D.

a

Mgr. Ondřej Racek

v Praze, říjen 2023

## Obsah

1. Úvod .....	2
2. Geologie a geomorfologie území, dlouhodobý vývoj.....	3
3. Obecné vlivy požáru na stabilitu svahů .....	3
4. Ochrana území proti následkům požáru .....	10
5. Ohrožení a riziko ze svahových pohybů .....	11
6. Lokalita Dlouhý důl .....	13
7. Lokalita Gabrielina stezka.....	14
8. Lokalita Soutěsky .....	15
9. Předpokládaný vývoj svahových procesů na území NPČS.....	15
10. Mapa náchylnosti území požářiště k erozi .....	16
11. Závěry a doporučení.....	19
12. Fotografická příloha.....	21
13. Literatura .....	25

## 1. Úvod

Na základě smlouvy o dílo č. SNPCS 05491/2023 byla vypracována tato studie s názvem „Posouzení vlivu požáru a bezpečnostních zásahů na stabilitu skal a svahů“, část A) Dopad požáru a bezpečnostních opatření na neživou přírodu. Cílem této studie je i posouzení vlivů ohně na vznik erozivních jevů a vývoj skalního reliéfu. Studie popisuje intenzitu eroze a dalších morfologických jevů iniciovaných požárem na skalních objektech a svazích a popíše možné rizikové jevy, v okolí předmětných turistických tras (Gabrielina stezka, soutěsky Kamenice) a jejich míru, která by musela být pro zajištění bezpečnosti řešena. Současně vyhodnotí vliv na stabilitu a vývoj georeliéfu a skalních útvarů po již realizovaných bezpečnostních zásazích ve stromovém patře a jiných.

Mezi podrobně hodnocené oblasti patří:

- Gabrielina stezka – dopady požáru na skalní svahy a svahové procesy, skalní objekty a změna morfologických struktur, posouzení potřeby stabilizačních zásahů v případě zpřístupnění
- Vliv bezpečnostních opatření na stabilitu skalních svahů nad Dlouhým dolem
- Soutěsky Kamenice – dopady požáru na skalní svahy, skalní objekty a vznik dynamických morfologických procesů, posouzení potřeby stabilizačních zásahů v případě zpřístupnění; vliv bezpečnostních opatření na stabilitu skalních svahů nad soutěskou Kamenice (pilotní zásah v Edmundově soutěsce)

Metodika hodnocení vychází z bezprecedentní situace po požáru v létě 2022 v NP České Švýcarsko (NPČS). V novodobé historii Česka se jedná o největší lesní požár, který zasáhl více než 1 600 ha plochy NP. Protože dosud neexistují odborné studie zabývající se vlivem požáru na stabilitu svahů v Česku byla pro rešeršní část použita relevantní odborná literatura, přednostně z oblastí mírného klimatu. Další částí studie bylo terénní šetření v hodnocených oblastech a vyhodnocení pilotních bezpečnostních zásahů v soutěsce Kamenice a v Dlouhém dole. Mezi podklady použitými pro vypracování studie byla data poskytnutá Správou NPČS: letecké snímky (multispektrální a v pravých barvách), digitální model terénu z roku 2008, digitální model povrchu po požáru) a obrys požářiště. V rámci zpracování

digitálních dat byl vypracován model náchylnosti území k erozním procesům. Součástí studie jsou i návrhy a doporučení pro Správu NPČS.

## 2. Geologie a geomorfologie území, dlouhodobý vývoj

Geologie celého území NPČS je popsána prostřednictvím více publikací (Zvelebil et al. 2005; Cílek 2010; Adamovič a Vařilová 2020). V námi zpracovávané zprávě přinášíme stručný popis geologické stavby a geomorfologického vývoje pro zpracovávané lokality, a to s důrazem na svahové procesy.

### Geologie

Pískovce ve zkoumaném území náleží k jizerskému souvrství (turon,  $93,5 \pm 0,8$  až  $89,3 \pm 1$  Ma). Toto souvrství tvoří naprostou většinu skalních výchozů v oblasti Pravčické brány, povodí Chřibské i Saské Kamenice. Souvrství je tvořeno směrem nahoru hrubnoucimi vrstvami pískovců. V rámci tohoto souvrství jsou rozlišovány tři sekvence pískovců. Ve spodních částech jsou vyvinuty prachovité jemnozrné pískovce, které vykazují přepracování prostřednictvím běžného vlnění. Tyto pískovce směrem na jihozápad přecházejí do prachovců a písčitých jílovců, s příměsí zuhelnatělé hmoty. Většinu každé z sedimentární sekvencí tvoří ovšem středně zrnité až hrubozrné křemenné pískovce s polohami slepenců. Jemnější pískovce ve spodní partii jsou citlivější ke zvětrávání a tvoří ústupové stupně, či plošinné prvky. Uvnitř nahoru hrubnoucích sekvencí o mocnosti desítek metrů, je možné pozorovat drobnější hrubnouce cykly o přibližně metrových mocnostech. Pod výchozy masivní horniny se nacházejí svahoviny a sutě. Tyto vznikaly zvětráváním a rozpadem skalních masivů a následným přemístěním a akumulací materiálu.

### Geomorfologie

Pro geomorfologický vývoj oblasti NPČS jsou rozhodujícími faktory mocnost pískovcové desky, blízkost aktivních zlomů a fluvialní eroze. Výsledný pískovcový reliéf vzniká v oblasti křížení Labské a Krušnohorské zlomové zóny. Dnešní podoba území se formovala od doby ústupu křídového moře, kdy byly akumulace mořských usazenin postupně rozrušovány a odnášeny. K výrazné přeměně tohoto reliéfu dochází v souvislosti s výzvihem Českého masivu a s nástupem střídání glaciálů a interglaciálů. V tomto období na povrch pískovcové desky intenzivně působí eroze. Na zdvih území je vázáno zahlubování říční sítě, které vede ke vzniku kaňonovitých údolí. V oblasti Kamenice tak došlo ke ztenčení pískovcového tělesa na pouhých 40 až 50 metrů. Porušený pískovcový masiv byl následně v průběhu stovek tisíc let formovaný vnějšími vlivy, což vedlo k vytvoření specifické členité pískovcové krajiny.

V pískovcovém reliéfu patří mezi aktivní geodynamické procesy zejména skalní řízení. Obvykle dochází k oddělování jednotlivých skalních bloků podél ploch vrstevnatosti, či podél puklin v masivu. Nestabilita skalních svahů, je obvykle způsobena spolupůsobením tektonické stavby, litologie, morfologické stavby a vnějšími vlivy na skalní svah, jako jsou například teplotní cykly nebo atmosférické srážky. Ke zvýšené četnosti dochází zejména během jarního období tání, či v podmínkách, kdy dochází k častému tání a zamrznání vody v puklinách, kdy tlak ledu dokáže oddělit nestabilní část skalní stěny a způsobit tak i poměrně rozsáhlé skalní řízení.

## 3. Obecné vlivy požáru na stabilitu svahů

Lesní požáry mají zásadní vliv jak na stabilitu svahu jako takového, tak přímo na stabilitu skalních útvarů. Ačkoliv je tato skutečnost známa poměrně dlouho (Thorsten a Othberg 1978; Johnson 1979; Gray a Megahan 1981; Neary et al. 1998), nebyla pro prostředí evropského mírného pásu do současnosti provedena komplexní studie věnující se této problematice. V této oblasti jsou rozsáhlé

lesní požáry méně časté a z tohoto důvodu jsou dostupné studie obvykle ze středomořského klimatu, kde je fenomén lesních požárů výrazně rozšířenější.

Tato část zprávy se věnuje rešerši dostupných informací, věnujících se vlivu lesních požárů na vývoj svahu, či konkrétně na stabilitu skalních útvarů. Vlivy jsou rozděleny do dvou skupin, zohledňující vlivy na svah jako celek a vlivy působící pouze na skalní části svahu způsobující změny stability skalních výchozů.

## Vlivy působící na svah jako celek

Svah je komplexní dynamický systém s mnoha vstupy a výstupy. Vstupy a výstupy se navzájem ovlivňují a jejich spolupůsobení definuje tvar svahu a jeho vývoj v čase. Svah jako takový se skládá z více částí, které mohou být tvořeny skalní horninou, svahovými sedimenty, případně půdou o rozdílné mocnosti. Jakýkoliv přírodní, případně umělý (antropogenně způsobený) zásah do systému svahu, vede ke změnám jeho vývoje a dynamiky v čase. Rozsáhlý lesní požár, je velkým zásahem a ovlivňuje veškeré procesy na svahu působící, má tedy výrazný vliv na dynamiku svahu v časovém úseku přímo navazujícím na lesní požár. Následující seznam prezentuje vlivy lesního požáru na dynamiku svahu, tak jak byly popsány v dostupné zahraniční literatuře, tímto fenoménem se zabývali: Neary et al. (1998); Curran et al. (2006); Bischeti et al. (2008); Robichaud et al. (2010); Esposito et al. (2013); Tulau a McInnes-Clarke (2015); Meltzner et al. (2019); Araújo Santos et al. (2020); Mansilha et al. (2020); Movasat a Tomac (2020); Shtober-Sisu a Wittenberg (2021); Abdollahi et al. (2023); Young et al. (2023).



Obr. 1: Stadia vývoje svahu během a po rozsáhlém lesním požáru.

Upraveno podle: Abdollahi et al. (2023).

- **Odstranění vegetace**

Rozsáhlý lesní požár vede k částečnému, případně úplnému odstranění vegetace. Jedná se jak o vzrostlé stromy, tak i o podrost, případně drobné dřeviny rostoucí přímo na skalní stěně, případně v diskontinuitách. Nepřítomnost vegetace akceleruje veškeré procesy spojené se srážkami, prouděním vzduchu a tím skokově mění mikroklima svahu. Tato změna přetrvává až do obnovy původní vegetace vyšší desítky až stovky let.

- **Změna skladby vegetace**

Poté, co dochází ke shošení vegetace přítomné na svahu, dochází k nové kolonizaci území rozdílnými druhy. Tento vliv je významný zejména v případě, že se na požářišti nacházel hospodářský les, a poté je území ponecháno přírodnímu vývoji.

- **Zvýšení mozaikovitosti území**

Rozsáhlý lesní požár nikdy nemá stejnou intenzitu na celém území, které postihuje. Toto ve výsledku vede ke vzniku mozaiky nesterjné zasažených území. V celkovém pohledu, se tedy jedná o významné zvýšení heterogenity zasaženého území.

- **Nepřítomnost kořenů/ohořelé kořeny**

Kořeny vegetace do určité míry působí jako protierozní a stabilizační svahu. Poté, co dojde k jejich odstranění, či ohoření dochází ke zvýšení náchylnosti svahů ke svahovým pohybům a erozi. V případě kořenů v diskontinuitách může, jejich náhlé odstranění vést k destabilizaci částí skalního svahu.

- **Zvýšený přínos materiálu pro vznik svahových pohybů**

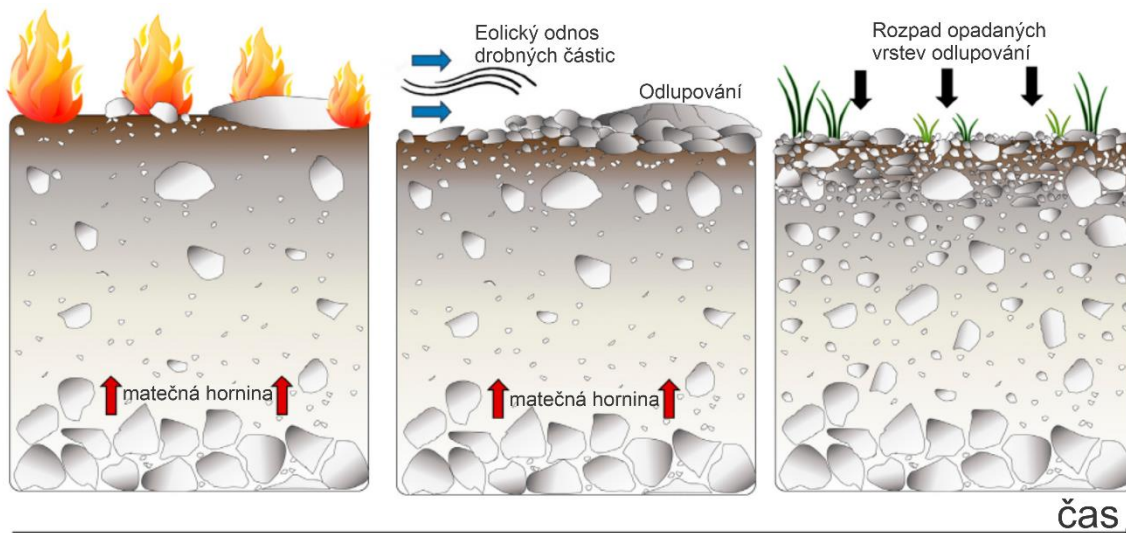
Bezprostředně po lesním požáru, dochází k odhalení povrchu svahu i na něj navazujících skalních stěn. Toto vede ke zvýšení eroze a většímu přínosu zvětralé/odlupané horniny do systému svahu. Dále dochází k akumulaci popela vznikajícího hořením vegetace.

- **Změna erodibility povrchu**

Povrch svahu, zbavený vegetace je obvykle výrazně náchylnější k erozi, jelikož nadále není krytý živou vegetací, případně jejími odumřelými zbytky v podobě hrabanky. Bezprostředně po požáru však může docházet ke snížení erodibility z důvodu cementace povrchu popelem, případně kůrami vzniklými z jílových minerálů během požáru. Změny erodibility jsou v obou případech dlouhodobé, vázané na změny ve vzrůstu vegetace. Nepropustné kůry se rozpadají až během nově obnoveného procesu pedogeneze.

- **Změna drsnosti povrchu svahu**

Během lesního požáru dochází ke snižování drsnosti povrchu, díky absenci vegetace a vyhlazování povrchu nově vzniklým popelem. Naopak, v určitých částech svahu, může docházet k nárůstu drsnosti díky akumulaci opadlých povrchových vrstev navazujícího skalního svahu, případně na svahu přítomných balvanů. Zároveň tyto nově vnesené úlomky horniny, vedou ke zvýšení skeletovitosti půdy.



Obr. 2: Vliv lesního požáru na skeletovitost půdy a drsnost povrchu.  
Upraveno podle: Shtober-Sisu a Wittenberg (2021).

- **Vznik depresí na svahu**

Poté co je lesní požár uhašen, vznikají díky mozaikovitosti území, rozdílným hodnotám erodibility, či díky vývratům na povrchu svahu nové deprese. Tyto deprese následně vedou k akumulaci povrchové vody a mění hydrologický režim svahu. Zároveň tyto deprese vedou k další heterogenizaci území z hlediska druhové skladby.

- **Zvýšení povrchového odtoku**

S výše zmiňovanými změnami povrchu, dochází k urychlení povrchového odtoku ze svahu. Návrat k původním hodnotám před požárem, je spojený s obnovou vegetace a trvá desítky let.

- **Změna kvality vody**

Vodní režim svahu, je úzce spjat s procesy působícími na povrchu svahu. Díky absenci vegetace a změně vlastností povrchu dochází ke změnám kvality jak podzemní, tak povrchové vody. Vyšší povrchový odtok z území, vede ke zvyšování transportu materiálu v suspenzi, případně rozpuštěného materiálu. Lesní požáry mají rovněž vliv na transport živin a nárůst transportu nitrátů prostřednictvím povrchového odtoku. V případě podzemní vody dochází k nárůstu koncentrace sulfátů, sloučenin fluoru, sloučenin dusíku a někdy i těžkých kovů. Návrat do normálních koncentrací, podle studií trvá vyšší jednotky let.

- **Změny infiltrace vody**

Změny aktivního povrchu způsobené lesním požárem vedou k rozsáhlým změnám infiltrace. Díky absenci kořenů, novým vývratům a vzniklým depresím, dochází na požářišti ke zvýšení infiltrace. Ke zvýšení infiltrace vedou i zuhelnatělé kořeny, které slouží jako preferenční cesty pro vsakování. Naopak, cementace povrchu svahu popelem, vede ke snižování infiltrace. Režim infiltrace se díky mozaikovitosti může na území výrazně lišit. Návrat k původním hodnotám infiltrace souvisí s obnovou přirozené druhové skladby a re-sukcesí vegetace. Z toho vyplývá, že změna je patrná i desítky let po požáru.

- **Změna obsahu organické hmoty v půdě**

Během požáru dochází k částečnému, či úplnému spálení organické hmoty na povrchu, ale i v přívěškových zónách půdního pokryvu. V případě organiky na povrchu dochází k úplnému shoření materiálu a v případě podpovrchové organické hmoty dochází k jejímu zuhelnatění. Návrat k původnímu obsahu půdní organiky je spojen s obnovou vegetace a pedogenetickými procesy. Obnovení na původní hodnoty může trvat až vyšší desítky let.

- **Změna obsahu prachových a jílových částic v půdě**

V případě půd, s vyšším obsahem jílových částic, dochází působením vysokých teplot k vypálení jílových částic a jejich rozpadu. Poté, co mobilizované částice jílu a prachu zaplní dostupné póry dochází k jejich odnosu. Ztráta jemnozrnného materiálu též souvisí se zvýšením erodibility a povrchového odtoku. Naopak v případě jílovitých půd, může docházet k cementaci povrchu a odnosu hrubších částic. V tomto případě dochází ke zvyšování procentuálního podílu jílových částic. Změny v obsahu jemných částic v půdě jsou dlouhodobé a návrat k původnímu obsahu je vázán na pedogenetické procesy trvající vyšší desítky let.

- **Snížení koheze půdy**

Díky rychlým změnám aktivního povrchu požářiště dochází k akumulaci popela a desintegraci přítomného půdního pokryvu. Tyto procesy vedou ke snižování koheze přívěškové vrstvy. V menším měřítku má na celkovou kohezi svahu vliv také odstranění kořenů vegetace, které zvyšují celkovou soudržnost svahu. Tyto změny na svah působí dlouhodobě, i když s obnovou vegetace a vrchních půdních horizontů dochází k průběžnému návratu k původním hodnotám koheze.

- **Změna pH**

Přítomnost popela na požářišti vede v kombinaci s přítomnou vodou ke vzniku roztoků s vysokým pH. Toto vede ke skokovému zvýšení půdního pH. K těmto změnám dochází až



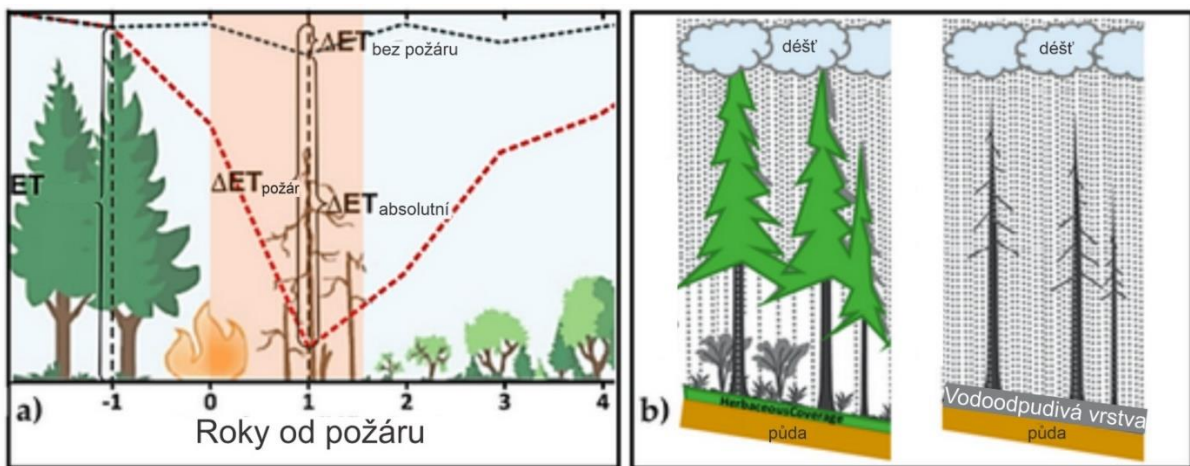
v případě lesních požárů s vysokou intenzitou. Původní hodnoty před požárem jsou dosaženy po obnově přirozeného pokryvu vegetací a obnově půdního vodního režimu.

- **Zvýšení vodoodpudivosti povrchu**

Zvýšení vodoodpudivosti povrchu požářiště souvisí s akumulací popela na povrchu. Dále v případě půd s vysokým obsahem jílovitých částic dochází k vypálení jílových minerálů a vzniku cementované vrstvy. Pro vznik takové vrstvy, je třeba vysoká intenzita lesního požáru, kdy jsou i v přízemní vrstvě vysoké teploty. Tato změna, je obvykle skoková a návrat k původnímu stavu trvá nižší desítky let a souvisí s odnosem vrstvy popela, re-sukcesí vegetačního krytu a následnými pedogenetickými procesy.

- **Snížení evapotranspirace**

Díky spálení většiny vegetace a cementaci povrchu vodoodpudivou vrstvou dochází v oblasti požářiště ke snížení evapotranspirace. Nejnižší hodnotu vykazuje evapotranspirace jeden rok po požáru. Na původní hodnotu se evapotranspirace vrací až poté, co vzrůstá nová vegetace. Jedná se o časové období cca 10 let.



Obr. 3: a) Vliv lesního požáru na evapotranspiraci (ET) z území. b) vliv lesního požáru na povrchový odtok. Upraveno podle: Abbate et al. (2019).

## Vlivy působící na skalní horniny

Následující výpis prezentuje vlivy lesních požárů na stabilitu svahu tvořeného čistě skalní horninou. Během lesního požáru dochází ke zvýšení teploty i přes 800 °C (Shtober-Sisu a Wittenberg 2021), to vede ke změnám ve vnitřní stavbě horniny a ke vzniku napětí, která mohou vést k překročení pevnosti masivní horniny. Následující seznam účinků lesních požárů vychází z dostupné zahraniční literatury (Esposito et al. 2013; Sygała et al. 2013; Secci et al. 2014; Abbate et al. 2019; Meltzner et al. 2019; Sarro et al. 2021). Každý vliv je stručně popsán z hlediska projevů a jejich vývoje v čase.

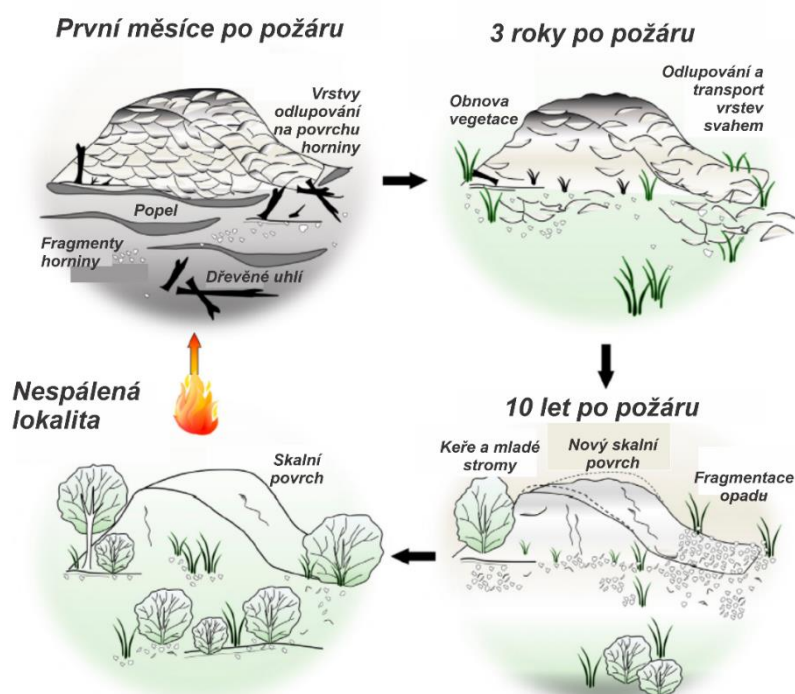
- **Odlupování**

Vlivem vysokých teplot dochází k porušení přípovrchové vrstvy horniny. Po překročení pevnosti horniny v tahu, dojde k odlupování deskovitých vrstev o rozměrech až desítek cm a tloušťce do pěti centimetrů (angl. spallation). K odlupování dochází bezprostředně během požáru a do přibližně tří let po něm je většinou odhalen nový skalní povrch. Úlomky se hromadí u paty výchozu, kdy jsou dále transportovány po svahu a k jejich úplnému rozpadu dochází v horizontu několika let. Nově obnažený skalní povrch vykazuje stejné mechanické vlastnosti jako povrch původní, který následkem požáru opadal. Ovšem návrat k mechanickým vlastnostem povrchu před požárem je dlouhodobý, vázaný na odnos požárem narušené povrchové vrstvy a vytvoření nové povrchové kůry.

- **Urychlení exfoliace**  
V případě masivních hornin typu žula dochází během lesních požárů k urychlení přirozeného procesu exfoliace. Jedná se o odlupování povrchových desek horniny do mocnosti prvních desítek centimetrů. Nejrychleji tento proces probíhá právě během požáru, nicméně tímto způsobená částečná destabilizace prvků skalního svahu přetrvává i nadále.
- **Přípovrchový opad**  
Bezprostředně a krátkodobě po požáru, dochází ke zvýšení drobného povrchového opadu, již dříve k tomu náchylných drobných částí skalního povrchu. Díky urychlení tohoto procesu se četnost drobného opadu z povrchu skalního svahu po požáru postupně snižuje.
- **Změna pevnosti horniny**  
Díky vystavení povrchu horniny vysokým teplotám, dochází ke změnám vnitřní stavby horniny. Tyto změny se projevují mimo jiné obvykle poklesem pevnosti horniny v přípovrchové vrstvě přímo zasažené požárem.
- **Změna elasticity**  
Díky stejnému působení, jako v případě tvrdosti, dochází ke změnám elastického modulu skalní horniny. Tyto změny dále v přípovrchové části modifikují následné chování horniny v horizontu let, až do té doby, kdy není zcela odhalen nový, požárem nezasažený povrch.
- **Zvýšení fragmentace**  
Vlivem termo-mechanického namáhání přípovrchové vrstvy horniny, dochází k překročení pevnosti horniny v tahu, což vede ke vzniku nových trhlin a zvýšení fragmentace povrchu. Toto má opět vliv v následujících letech, do okamžiku, kdy není zcela odhalen nový povrch.
- **Snížení tlakové a smykové pevnosti diskontinuit**  
Stejným způsobem jako na povrch skalního výchozu, působí vysoké teploty na plochu diskontinuit. Díky tomu dochází ke snižování zejména pevnosti ploch. Dále dochází ke změnám v případě výplně diskontinuit. Spolupůsobení těchto vlivů, vede ke snižování stability bloků, které tyto diskontinuity definují. Tento stav přetrvává i nadále po uhašení lesního požáru.
- **Vznik mikrotrhlin**  
Extrémním teplotním namáháním horniny během lesního požáru, dochází v přípovrchové vrstvě ke vzniku nových mikrotrhlin. Tyto nově vzniklé mikrotrhliny nevratně negativně ovlivňují mechanické vlastnosti horniny.
- **Rozšíření stávajících puklin**  
V krátkodobém měřítku je tento jev způsobován minerálními změnami popisovanými níže. Z dlouhodobého hlediska k tomuto jevu dochází také díky akceleraci eroze a postupnému odumírání kořenů shořelých stromů. Vliv tohoto procesu může být patrný i několik desítek let po požáru.
- **Zvýšení účinnosti regelačních cyklů**  
Díky absenci vegetace se výrazně zvyšuje infiltrace vody do puklin, což vede k vyšší intenzitě regelačních cyklů. Tento stav na požářišti trvá dlouhodobě a může přispívat k destabilizaci skalních bloků.
- **Dehydratace**  
Vlivem vysokých teplot během hoření, dochází k odparu vody obsažené v pórech mezi minerálními zrny. Tento efekt je však poměrně krátkodobý, kdy po uhašení požáru dochází k návratu k přirozené saturaci.
- **Dekarbonizace**  
Během požáru dochází k dekarbonizaci u hornin obsahujících uhlík. Toto následně vede ke změnám mechanických vlastností. Tato změna je nevratná a následný vliv na horninu je dlouhotrvající.



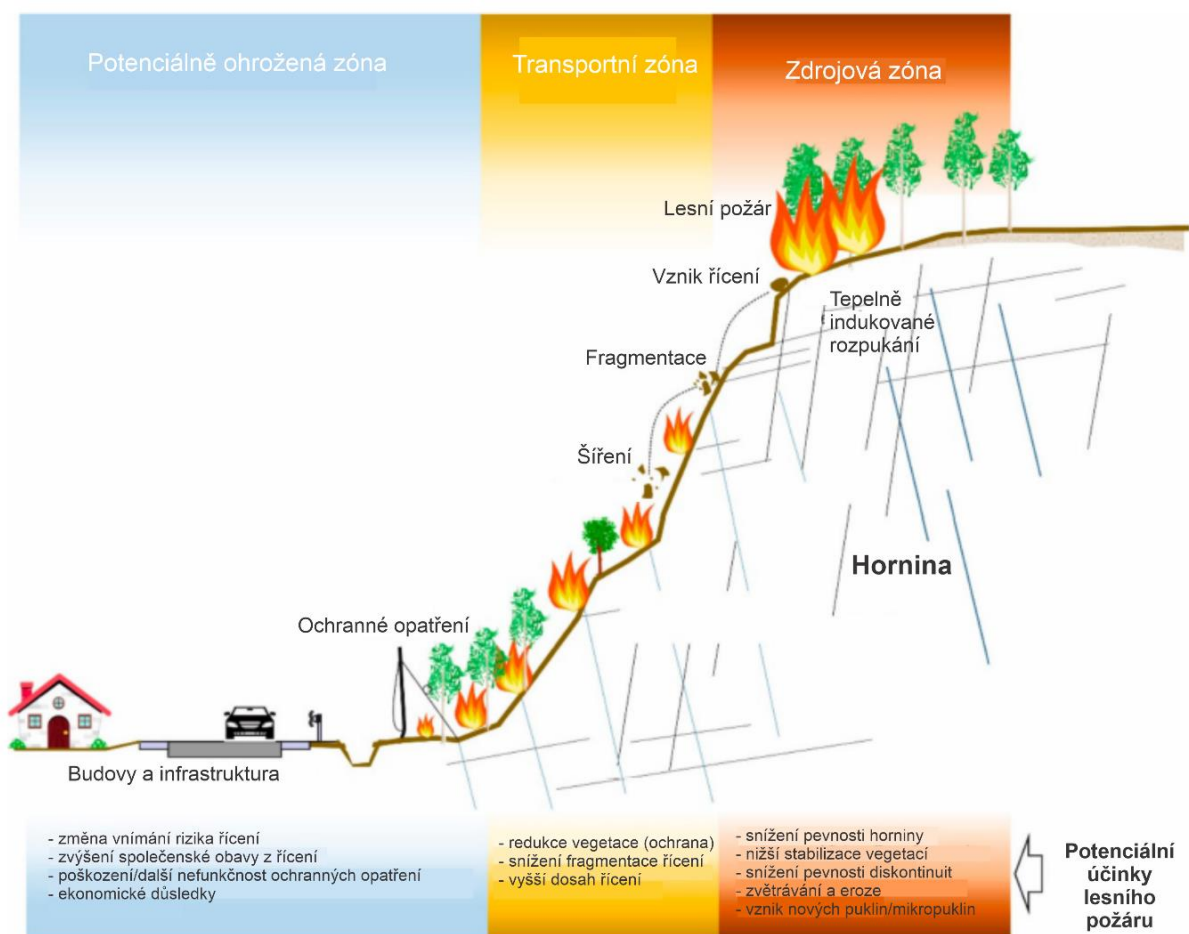
- **Roztavení minerálů**  
Působením vysokých teplot může v případě, že tyto teploty přesahují tavný bod specifických minerálů tvořících horninu, dojít k roztavení určitých minerálů. Toto vede k nevratným změnám mechanických vlastností horniny.
- **Úplné vypálení určitého minerálu**  
V případě extrémních teplot v případě lesního požáru může dojít k úplnému vypálení určitého minerálu z horniny, což vede k nevratným změnám jejích mechanických vlastností.
- **Změna tvaru kontaktních ploch minerálů**  
Výše zmiňované změny v matrix horniny mohou vyústit ve změnu tvaru kontaktních ploch mezi jednotlivými minerálními zrny. Jedná se o nevratnou změnu, která má vliv na mechanické vlastnosti horniny.
- **Přeměna minerálů**  
Vlivem vysokých teplot během požáru může v případě určitých minerálů tvořící horninu dojít k jejich částečné, případně úplné přeměně. Tato změna se váže se změnou mechanických vlastností horniny.
- **Únik plynu z hornin**  
Díky zahřátí skalní horniny, dochází k expanzi plynů v pórech. Tato expanze, vede k otevírání nových mikrotrhlin. To vede ke skokovému nevratnému zhoršení mechanických vlastností horniny.
- **Urychlení zvětrávání**  
Vlivem vysokých teplot dochází k porušení povrchové vrstvy horniny, a to výše zmíněnými procesy. To ve výsledku vede ke snížení geomorfologické hodnoty horniny a k akceleraci procesů chemického a mechanického zvětrávání. Návrat k původním hodnotám před požárem může trvat i několik desítek let.



Obr. 4: Vliv lesního požáru na skalní povrch a na bezprostředně navazující povrch svahu.  
Upraveno podle: Shtober-Sisu a Wittenberg (2021).

## Shrnutí vlivu lesních požárů na stabilitu svahu

Vliv lesních požárů na stabilitu a vývoj svahu v čase je komplexní problematika. Tvar a stavba svahu ovlivňuje šíření lesního požáru a zároveň se zejména intenzita požáru projevuje na každém svahu i v rámci jednoho rozsáhlejšího svahu jinak. Dle zahraničních studií je možné obecně definovat vliv lesních požárů jako významně skokově destabilizující faktor. Bezprostředně po lesních požárech jde na jimi ovlivněných svazích pozorovat vyšší četnost a vyšší dosah skalního řícení v případě svahů tvořených masivní skalní horninou. Při celkovém pohledu na svah dochází ke snižování stability svahu, která je zapříčiněna odlesněním a shořením vegetace na svahu. Toto způsobuje skokový nárůst eroze, a s tímto spojené zvýšené četnosti svahových pohybů. Dále díky snížení infiltrace a na to vázanému zvýšení povrchového odtoku, se zvyšuje pravděpodobnost například bleskových povodní. Vliv lesního požáru, je dlouho patrný a návrat lokality do původního stavu může trvat i desítky let.



Obr. 5: Potenciální účinky lesního požáru na zóny hypotetického svahu a na ně navazující infrastrukturní prvky, případně obydlené území. Upraveno podle: Shtober-Sisu a Wittenberg (2021).

## 4. Ochrana území proti následkům požáru

Poté co je lesní požár uhašen, je obvykle věnována pozornost směrem k obnově území do původního stavu. Zahraniční literatura v souvislosti s nápravou území zmiňuje zejména protierozní opatření, které zabraňují následné rozsáhlejší destabilizaci požářiště. V této části zprávy, přinášíme přehled těchto opatření.

- **Plošné osévání**  
Mezi nejjednodušší protierozní opatření, patří aktivní plošné osévání požářiště. Z ekonomického hlediska se jedná o vysoce efektivní protierozní opatření. Díky osázení území travinami, dochází k urychlení infiltrace, a vede ke snížení eroze půdy jak na svahu, tak i v blízkosti vodních toků. Tento efekt souvisí zejména s efektem kořenového systému.
- **Umělé zalesnění**  
Opětovné zalesnění území vede ke snižování eroze půdního krytu, rychlejší obnově vegetace a celkové stabilizaci požárem zasaženého svahu. Tento postup je však komplikované aplikovat v případě chráněných území a také je poměrně finančně náročný.
- **Zakrytí povrchu požářiště vrstvou mulče**  
Toto opatření vede k zakrytí povrchu, který je po lesním požáru vysoce náchylný k erozi. Díky překrytí mulčem, dochází ke snížení efektu dopadajících dešťových kapek a snížení náchylnosti povrchu k erozi.
- **Položení ohořelých kmenů po vrstevnici svahu**  
Pokud jsou padlé, či pokácené kmeny položeny na svah po vrstevnici a jednoduše upevněny, slouží jako jednoduchá bariera povrchového odnosu. Toto vede zároveň ke snížení rychlosti povrchového odtoku a tím i erozního účinku vody. Dále také dochází ke zvýšení infiltrace do svahu díky tomu, že kmeny působí jako drobné hrázky.
- **Vykopání příkopů po vrstevnici**  
V případě vykopání příkopů po vrstevnici, dochází k analogickému efektu, jako v případě použití kmenů. V tomto případě, se však jedná o výrazný zásah do přirozeného vývoje svahu, které je též poměrně finančně náročný. Tento zásah, je tak spíše nevhodný pro využití v rámci chráněného území NP.
- **Slaměné přehrázky**  
V případě erozních kanálů, kde dochází ke koncentraci povrchového odtoku, je třeba tento odtok účelně zpomalit z důvodu redukce jeho erozních účinků. Jednoduchým způsobem je využití uměle vytvořených přehrázek tvořených válcovými pytli naplněných například slámou. Tyto přehrázky vedou ke zpomalení odtoku, zachycování sedimentů a zadržení povrchového odtoku a k infiltraci v prostoru nad přehrázkou směrem do svahu.
- **Přehrázky z kmenů**  
Analogickým zásahem ke slaměným přehrázkám, je využití kmenů k přehrazení odtokových kanálů. Efekt je srovnatelný a výhodou je pak možnost využití materiálu, který se nachází přímo v oblasti požářiště.
- **Kamenné přehrázky**  
V případě silného povrchového odtoku, a jeho vysokého erozního účinku, je v případě ochrany infrastruktury možné použít gabionové, či kamenné přehrázky. Jedná se však o nákladné řešení, které je v případě chráněného území nevhodné a neopodstatněné.

## 5. Ohrožení a riziko ze svahových pohybů

Při hodnocení bezpečnostních zásahů a nebezpečí vyplývajících z uvolnění a pádů skal a eroze je nutné vyjasnit a definovat nejdůležitější pojmy, které jsou často, zejména laickou veřejností, nesprávně užívané a toto nesprávné užívání přechází i do odborných kruhů. Pojem **riziko** představuje dle mezinárodní nomenklatury „pravděpodobnost vzniku následků a škod, které jsou nepříznivé pro jednotlivce, lidskou společnost, infrastrukturu, ekonomiku nebo životní prostředí“. Oproti tomu pojem **ohrožení/hazard** je „pravděpodobnost výskytu nebezpečného jevu“ (Blahůt a Klimeš 2011). V této studii se tak zabýváme v neprosté většině jen ohrožením/hazardem a pouze částečně rizikem ze skalních řícení a dalších svahových a erozních procesů.

Riziko lze obecně vyjádřit následující rovnicí:

$$R = H \times V \times E,$$

kde: R – riziko; H – ohrožení/hazard; V – zranitelnost; E – ohrožené prvky/objekty (UNDRO 1979, Varnes 1984).

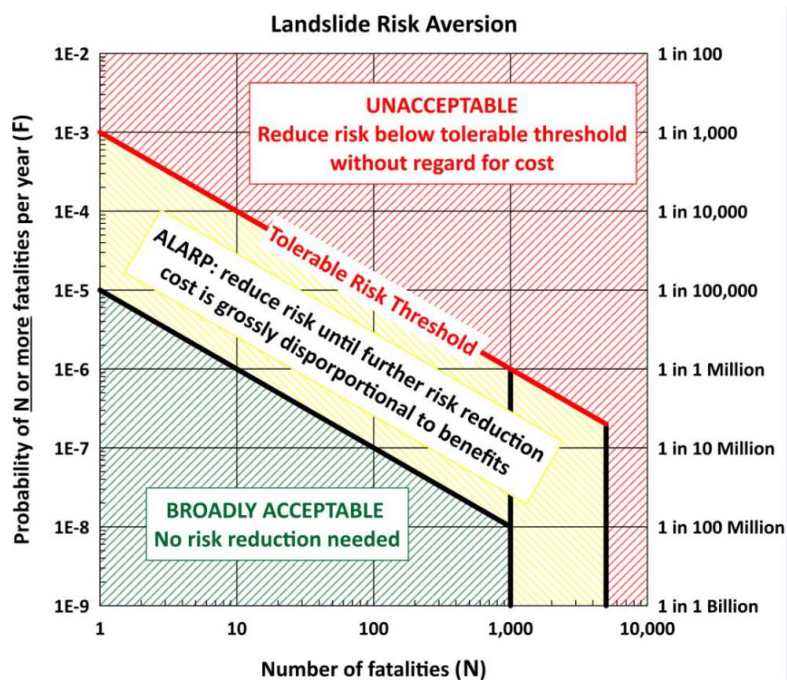
Riziko je tak velmi obtížné odborně stanovit bez dostatečného množství dat o časovém a prostorovém výskytu ohrožených prvků (turistů) a jejich zranitelnosti. Výskyt lze pouze kvalitativně odhadnout a následně navrhnout opatření ke snížení rizika, jak je tomu v závěrech a doporučeních této studie. Zde je na místě ještě zmínit koncept přijatelného (akceptovatelného) a přípustného (tolerovaného) rizika. Tyto pojmy jsou definovány následujícím způsobem (Blahůt a Klimeš 2011):

- **Přijatelné možné/akceptovatelné riziko** (Acceptable risk): Riziko, které je každý z možných zasažených subjektů ochoten akceptovat. Opatření pro další snížení tohoto rizika většinou nejsou požadována, pokud nejsou k dispozici rozumná praktická opatření, která jsou nenáročná finančně, časově nebo námahou.

**Přípustné/tolerované riziko** (Tolerable risk): Rozsah rizika, se kterým je společnost ochotna žít, aby mohla získávat určité výhody. Toto riziko není zanedbatelné a je potřeba ho sledovat a pokud možno snížit.

Koncept tolerovaného a akceptovatelného rizika je přehledně znázorněn na obr. 6. Na vodorovné ose je možný počet obětí ze svahových pohybů, na svislé ose potom pravděpodobnost obětí ze svahových pohybů. Zeleně je označena oblast, kdy je riziko obecně akceptováno a tolerováno. Žlutě je označena oblast, kdy je riziko tolerováno, ale ne akceptováno. Je třeba ho snižovat, pokud náklady na snižování nejsou disproporční k benefitům. Červeně je označena neakceptovatelná oblast, kdy je riziko spolu s pravděpodobností obětí příliš vysoké.

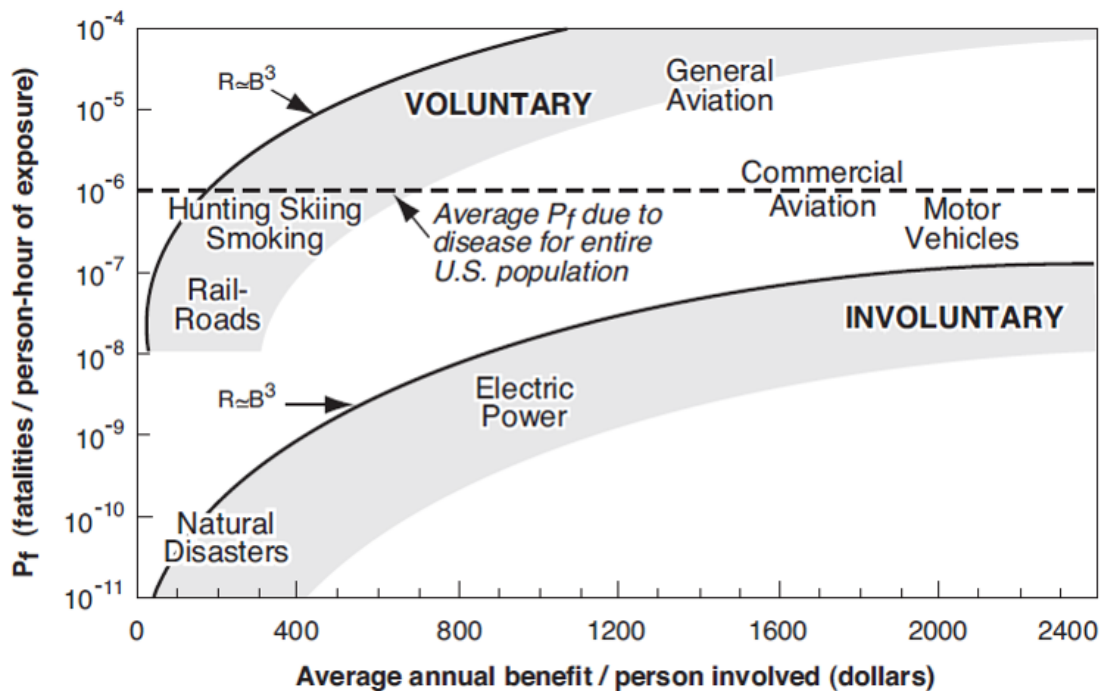
Na území Hřenska a blízkého okolí není od roku 1708 z dostupných písemných pramenů známo, že by skalní řícení (přes velmi exponovanou oblast) způsobilo zranění, natož oběti na životech (Woitsch 2017). Z území celého Česka jsou informace o celkem devíti obětech ze svahových pohybů od roku 1897. Jednalo se o sedm obětí přívalového proudu (mury) v Krkonoších v roce 1897 a dvě oběti přívalového proudu u Slapské přehrady v roce 2013 (Klimeš a Blahůt 2017). Škody na životech ze svahových pohybů jsou na našem území tak naprosto vzácné.



Obr. 6: Koncept akceptovatelnosti a tolerovatelnosti rizik ze svahových pohybů v praxi aplikovaný u svahových pohybů v Hong Kongu. Zdroj: Geotechnical Engineering Office (1999).

Pokusme se tedy stanovit, kde si s rizikem ze skalního řícení na území NPČS stojíme. V možném počtu obětí se pohybujeme v řádu jednotlivců (1-10). Časovou pravděpodobnost obětí ze skalního řícení za rok není možné exaktně určit, ale dle dostupných informací se limitně blíží 0, tedy řekněme na dolní hranici s pravděpodobností  $1e^{-9}$ . Pohybujeme se tedy bezpečně v akceptovatelném riziku. Pokud uvažujeme, že po požáru dojde k nárůstu pravděpodobnosti obětí o tři řády, stále se pohybujeme v akceptovatelném riziku (pravděpodobnost  $1e^{-6}$ ). Počet předpokládaných obětí by neměl v tomto případě růst, neboť skalní řícení je izolovaný jednorázový proces.

Je nicméně třeba rovněž zmínit, že ochota podstupovat oběti z přírodních ohrožení je řádově cca o tři řády (1000krát) nižší než ochota podstupovat rizika z dobrovolné činnosti, jako je například řízení auta (Smith a Petley 2009; obr. 7). Z obrázku vyplývá, že přestože jsou přírodní procesy obecně méně rizikové (o 2-3 řády), než např. řízení automobilu nebo kouření, lidé jsou ale méně ochotni je podstupovat.



Obr. 7: Porovnání rizika vzhledem k možným benefitům. V případě skalního řícení je benefitem návštěva národního parku. Zdroj: Smith a Petley (2009).

## 6. Lokalita Dlouhý důl

Dlouhý důl v prostoru od silnice, resp. rozcestí Tři prameny po Pravčickou bránu (červená turistická značka) patřil mezi nejvíce zasažené území požárem, a to jak z hlediska intenzity, tak i severity. V horní části údolí (od hranice klidového území NP) je často patrné úplné shoření vegetace i hrabanky. Skalní bloky ležící na svazích jsou silně zasažené, patrné je časté odlupování až několik centimetrů mocných desek pískovce. Vlastní skalní masivy byly zasaženy nerovnoměrně. Nejvíce zasažené skalní masivy jsou na východní straně údolí, na kterém se vine turistická cesta. Západní strana údolí není zasažena v celé délce a vyskytují se v ní i oblasti, kde skála prakticky není zasažena.

Z hlediska bezpečnosti se provedený zásah (pokácení shořelých a odumírajících stromů) jeví jako nutné rozhodnutí v případě, že má být stezka deklarována jako bezpečná. Z hlediska stability skal však nebyly nalezeny nestabilní bloky bezprostředně hrožící zřícením. Pokud by bylo cílem snížení eroze, což na území národního parku ale není hodnoceno jako negativní nýbrž přirozený proces, doporučujeme v exponovaných místech (žlaby, údolíčka) umístit pokácené a spadlé stromy po vrstevnici, napříč žlaby. Z hlediska bezpečnosti pro návštěvníky neshledáváme větší rizika.



V krátkodobém horizontu (1-3 roky) bude docházet k odlupování a opadu povrchových vrstev ohněm přímo zasažených pískovců. Po cca 10ti letech dojde k vytvoření nového povrchu skal, které budou vykazovat obdobné mechanické vlastnosti, jako před požárem. Opadané kusy se postupně rozloží na písek. Problém odlupování není prakticky možný vyřešit jakýmkoliv zásahem. V důsledku shoření vegetace a kořenů může docházet k akceleraci eroze k uvolňování dílčích bloků. Nicméně tyto nebyly dosud identifikovány. Vzhledem k pozvolnému charakteru procesu a jeho vazbě na lokální specifické podmínky nelze přesně určit, jaké bloky mohou být v budoucnu destabilizovány. Proto doporučujeme průběžné sledování (1-2 ročně) a případný zásah/monitoring u bloků, které by v budoucnu hrozily zřícením na turistickou trasu.

Z hlediska obecného vývoje svahů předpokládáme v případě situace bez zásahu krátkodobě (v 1-3 letém horizontu) vyšší erozi v oblasti soustředění povrchového odtoku (viz mapa náchylnosti k erozi). V případě provedení protierozních opatření, dojde ke snížení eroze v místech soustředění povrchového odtoku rychleji než v případě bez zásahu. Nicméně vzhledem k intenzitě a severitě požáru v této oblasti nelze aplikovat protierozní opatření v celém území plošně. Díky tomu bude k plošné erozi na svazích docházet v obdobné míře v případě zásahu i bez něj. V místech soustředěného odtoku, které ústí nad turistickou stezku doporučujeme zvážit využití jednoduchých protierozních opatření (např. klády položené po vrstevnici) pro prevenci zanesení stezky po příválových deštích (vyšší náklady na čištění stezky).

## 7. Lokalita Gabrielina stezka

Gabrielina stezka probíhá od Mezní Louky po Pravčickou bránu (červená turistická značka) a je po většinu své délky nyní uzavřená. Požár v této oblasti působil značně nerovnoměrně. Od východní strany uzávěry až přibližně po skalní útvar Věž křídelní stěny dosahoval požár až ke skalám, bylo pozorované odlupování na skalních blocích, nicméně nebyly identifikovány nestabilní skalní bloky způsobené požárem. V tomto prostoru se vyskytují dosud stojící ohořelé stromy. Ty budou v průběhu následujících let odumírat s možností zásahu prostoru stezky.

V oblasti dále na západ až po skalní věž Pevnost, požár ke skalám nezasáhl a není tedy třeba zvláštních opatření. Dále ve směru k Pravčické bráně požár sice dosahoval až ke skalám, ale s velmi nízkou intenzitou i severitou. V okolí cesty se vyskytuje drobný opad a odlupování povrchových vrstev pískovce, které ovšem nemá vliv na bezpečnost. V případě výskytu stojících shořelých stromů, které by mohly spadnout na cestu, hrozí z bezpečnostního hlediska uvolnění kamenů v důsledku vývrátů.

Z hlediska bezpečnosti, pokud bude cílem stezku udržet ve standardním režimu značené trasy s nízkou mírou rizika, doporučujeme u Gabrieliny stezky zasahovat zásadně selektivně, tam kde shořelé stromy mohou pádem zasáhnout cestu, nebo v místech, kde hrozí pád shořelých stromů z míst na skalní hraně nad stezkou.

Vzhledem k nižší intenzitě a severitě požáru, než v případě Dlouhého dolu nepředpokládáme výrazně odlišný vývoj skal v případě bez zásahu nebo se zásahem. K odlupování bude docházet jen lokálně, na přímo zasažených výchozech skal. Ty jsou nicméně v naprosté většině pod turistickou stezkou. V současnosti již došlo k odloupání a opadu většiny skalního materiálu.

Z hlediska obecného vývoje svahů, které leží pod turistickou stezkou je nejpravděpodobnější její možné ohrožení zpětnou erozí v místech soustředěného odtoku. Tato eroze bude větší v případě bez zásahu. Nicméně plošné zásahy proti erozi se jeví jako nereálné, a navíc jdou proti smyslu přirozeného vývoje území. Lokálně může docházet v případě vývrátů stromů k urychlení i zpomalení eroze. K urychlení dojde likvidací kořenů, které působí protierozně. Naopak terénní prohlubně po vývratech mohou sloužit jako sedimentární past a erozi snižovat. Zároveň v těchto prohlubních bude docházet ke zvyšování infiltrace povrchové vody a tím ke zpomalení a snížení jejího povrchového odtoku.



## 8. Lokalita Soutěsky

Lokalita soutěsky, opět představuje značně variabilní prostředí z pohledu vlivu požáru na skalní objekty a stabilitu svahů. V místech vyšší intenzity požáru se vyskytuje drobný opad ze skal a odlupování povrchových vrstev. V případě turistické cesty ze Hřenska po přístaviště v Edmundově soutěsce by vyžadoval zásah se zajištěním bezpečnosti na stezce selektivní kácení shořelých stromů, které stojí v blízkosti cesty. Nicméně neshledáváme nutné zasahovat plošně. Požár většinou do spodní etáže soutěsek nezasáhl, a tak nemohl výrazně zhoršit stabilitní poměry stěn soutěsky. Předpokládáme, že v následujících letech dojde ke zintenzivnění erozivních procesů se kterými je, zejména při vyústění žlabů do toku Kamenice, nutné počítat.

Pilotní zásah nad Edmundovou soutěskou v prostoru skalního výchozu přibližně nad dolním přístavištěm lodí je možné vyhodnotit jako masivní až naddimenzovaný. Plošné kácení dočasně vedlo ke snížení ohrožení pádem stromů a byly odstraněny, resp. stabilizovány skalní bloky, které hrozily pádem do soutěsky. Ze zjištění ČGS nicméně vyplývá, že nestabilní bloky byly často problematické již v období před požárem. Vlastní požár a navazující rozsáhlé kácení v komplikovaném terénu, pak procesy jen urychlil.

Z dlouhodobého pohledu dojde v následujících letech ke zintenzivnění erozivních procesů díky chybějícímu vegetačnímu krytu, jak je to ostatně patrné již nyní. To v konečném důsledku pravděpodobně povede v dlouhodobém horizontu (desítky let) ke zhoršování stabilitní situace (podemílání bloků ronem/vodní erozí, mrazové působení na otevřené pukliny).

Z hlediska bezpečnosti se zásah nad Edmundovou soutěskou jeví jako nutný, ale určitě je vhodné ho již nerozšiřovat. Je tomu tak zejména proto, že stabilitní situaci krátkodobě (v horizontu 3-5 let) zlepšil, ale dlouhodobě spíše zhoršil. Lokalita je navíc klimaticky extrémní (jižní svah, málo vody), takže bude docházet ke zpomalení sukcese než na jiných lokalitách.

V případě skalních výchozů v oblasti pilotního zásahu dojde ze stabilitního hlediska dlouhodobě ke zhoršení, neboť zásahem dojde postupně k rychlejšímu uvolňování bloků (podemíláním, vymíláním a erozí). Zároveň došlo k destabilizaci jednotlivých bloků přímo prováděnými pracemi. Skály mimo oblast pilotního zásahu byly ohněm zasaženy pouze ojediněle/lokálně. Nepředpokládáme proto zhoršení stabilitní situace v porovnání se stavem před požárem.

V případě obecného vývoje svahů dojde v oblasti bez zásahů k vyšší intenzitě eroze, a to zejména v oblastech strmých žlabů ústících do soutěsek Kamenice. Zejména v těchto lokalitách může docházet k druhotné destabilizaci již oddělených bloků ležících na svahu, výjimečně k oddělení náchylných bloků z masivu navazujícího na žlaby. Vzhledem ke komplikovanosti terénu se jeví plošný zásah jako nereálný. Vhodné bude řešit situaci lokálně, zejména při vyústění žlabů na turistickou stezku, kde je pravděpodobný vyšší přísun erodovaného materiálu. Rovněž v tomto případě doporučujeme území pravidelně sledovat a případné problémy operativně řešit.

## 9. Předpokládaný vývoj svahových procesů na území NPČS

Z hlediska vývoje svahových procesů je třeba rozlišit různá časová měřítka. V krátkodobém až střednědobém horizontu (do 10 let) bude na požárem zasažených svazích nejprve docházet ke zintenzivnění erozivních procesů. Odlupování skal bude postupně ustávat a po cca třech letech bude již odhalen nový skalní povrch, kdy po cca deseti letech bude již vykazovat stejné vlastnosti jako povrch před požárem. Odloupané desky se postupně rozpadnou, drobný opad bude rovněž ustávat, až se poté navrátí na původní hodnoty. Erozivní procesy budou v následujících letech narůstat, a to zejména po intenzivních a přivalových deštích. S obnoveným vegetačním krytem (v horizontu 5-10 let) bude erodibilita území postupně klesat, ovšem v územích, kde se bude vegetace vyvíjet pomalu (suchá exponovaná místa s menším množstvím půdy) nedojde ke stabilizaci tak rychle jako v oblastech s více vyvinutým půdním krytem. Řádově po prvních desítkách let bude již území stabilizované z hlediska eroze.

## 10. Mapa náchylnosti území požářiště k erozi

Jak bylo zmiňováno v předchozích částech studie, jedním z hlavních účinků lesního požáru na dynamiku svahu je zvýšení eroze díky absenci vegetace a urychlení povrchového odtoku. Tento fenomén, postihuje požářiště plošně, avšak jeho největší efekt je možné očekávat v již existujících místech soustředění povrchového odtoku. V případě těchto preferenčních kanálů jsou případná provedená protierozní opatření nejvíce účinná, je však na zváženu, do jaké míry tento přirozený a dočasný proces blokovat ve zvláště chráněném území, kde je dlouhodobým cílem zajistit nerušený průběh přírodních dějů. Pro malé požářiště by bylo možné území nejvíce náchylné k erozi vytipovat expertně přímo v terénu. V případě plošně rozsáhlého požáru a komplikovaného terénu, jako je tomu v případě NPČS, by bylo přímé mapování velmi časově náročné a mnohdy i nebezpečné.

Pro určení celkového odnosu půdního horizontu je celosvětově nejpoužívanější metoda USLE (RUSLE) (Wischmeier a Smith 1978, Renard et al. 1991). Výsledkem výpočtu je dlouhodobá ztráta půdy za rok na hektar. Do výpočtu, mimo jiné, vstupuje tzv. LS faktor, který za pomoci délky a sklonu svahu určuje místa, kde dochází ke koncentraci povrchového odtoku a nejintenzivnější erozi. V případě naší zpracované studie jsme přistoupili k výpočtu LS faktoru pro celé zájmové území požářiště NPČS, aby bylo možné identifikovat oblasti, kde dochází ke koncentraci povrchové eroze. Využili jsme metodiku výpočtu LS faktoru, jak byla prezentována v práci Moore a Burch (1986). Jedná se o bezrozměrný empiricky definovaný index, ovšem pokud je zobrazen pro plochu, je možné za jeho pomocí identifikovat lokality, kde dochází ke koncentraci eroze. LS faktor pro území požářiště byl vypočítán v prostředí ArcGIS za použití digitálního modelu terénu o rozlišení 1 m. Následná rastrová vrstva byla následně reklasifikována tak, aby hodnota vyšší než 0.05 odpovídala území náchylnému k povrchové erozi. K výsledné vrstvě, byl přidán pětimetrový buffer, aby bylo možné vyjádřit působení eroze v ploše. Informace je dostupná jak pro celé území (Obr. 8), tak pro v této studii zpracovávané dílčí lokality (Obr. 9-11).

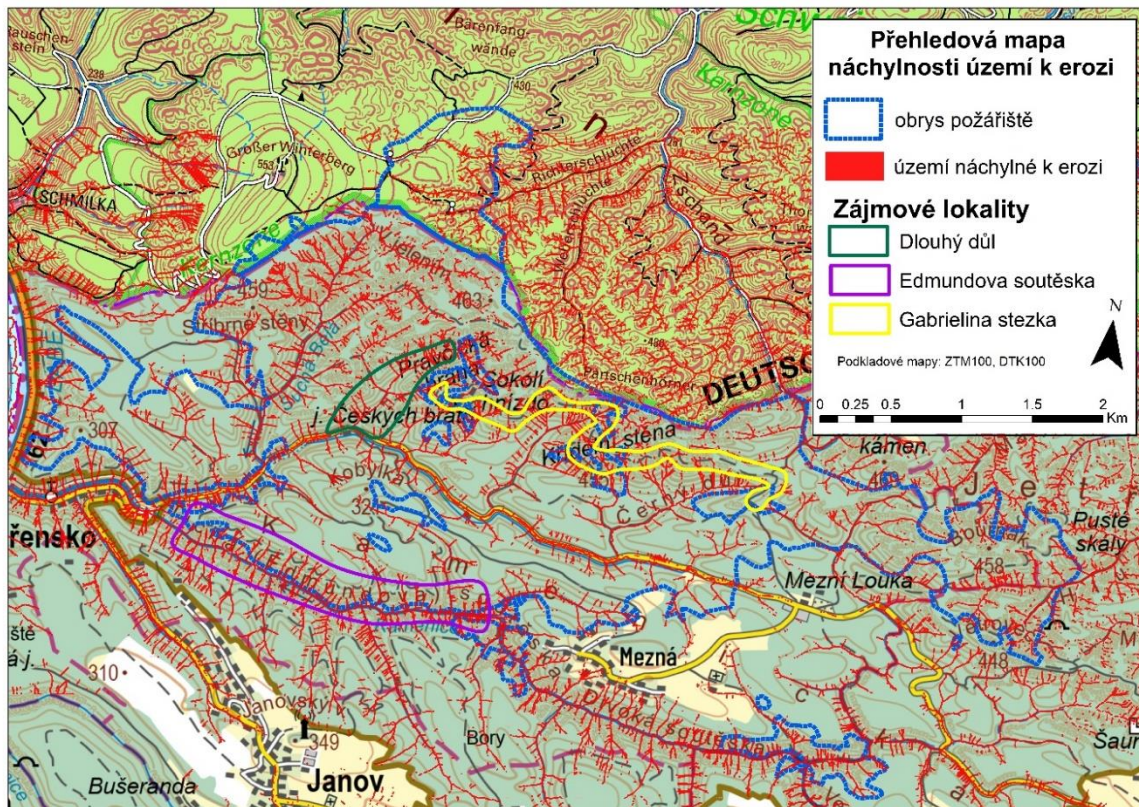
Pro celé území NPČS je patrné že ke koncentraci eroze podle metody LS faktor dochází na údolnici, a to jak v případě výrazných údolí, jako jsou Soutěsky Kamenice či údolí Suché Bělé. Velké procento k erozi náchylných lokalit spadá do požářiště a primárně do těchto lokalit by měly směřovat případné protierozní zásahy.

V případě lokality Dlouhý důl, je možné očekávat rapidní nárůst eroze, a to zejména díky vysoké intenzitě požáru. Ke koncentraci eroze bude docházet zejména na nezpevněných površích a při vyústění bočních údolí, jako je Spálený důl.

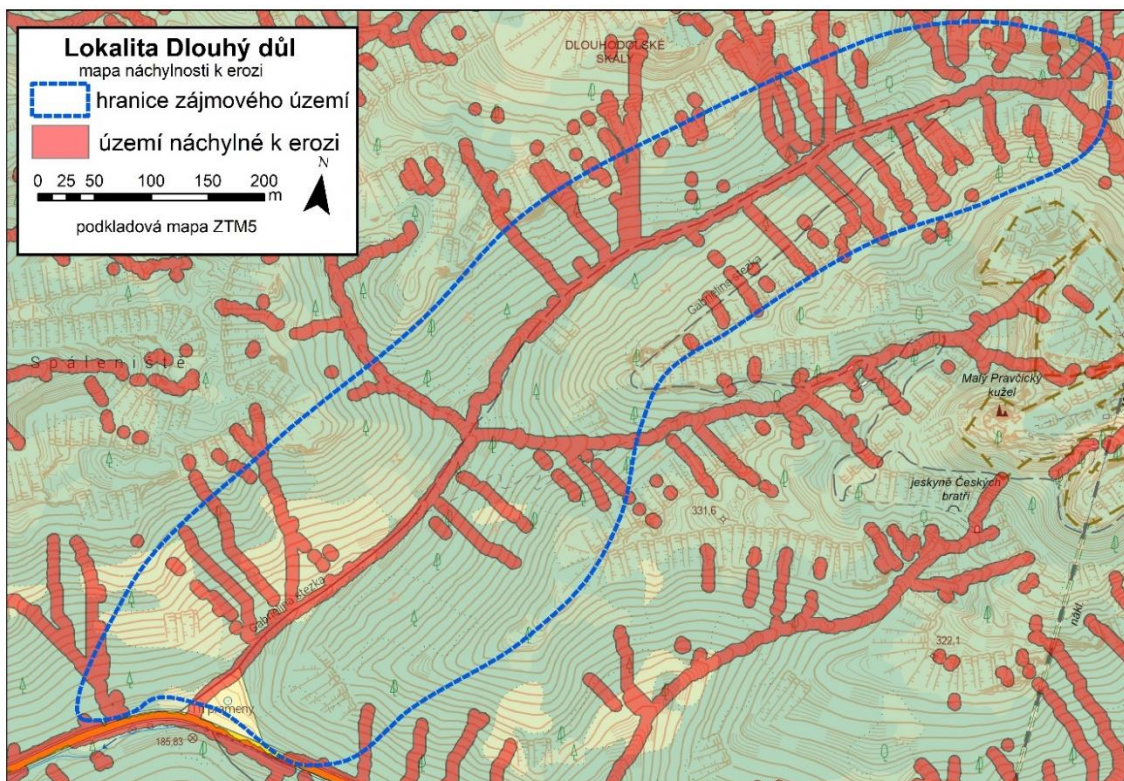
V případě lokality Gabrielina stezka lze očekávat zvyšování eroze v lokalitách s vyšší intenzitou požáru, které se však nachází v drtivé většině pod turistickou trasou. Jak je patrné z přiložené mapy (Obr. 10), ke koncentraci eroze při sbíhání údolnic dochází až ve spodních partiích.

Na lokalitě Edmundova soutěska bude docházet ke zvýšení eroze v případě na soutěsku navazujících žlebů. Ke zvýšení eroze bude docházet zejména na pravém břehu, který byl požárem zasažen výrazněji. V případě pilotního lesnického zásahu, očekáváme vyšší erozi, než v případě přirozeně vyvíjejících se (i když zasažených) svahů a žlebů nad soutěskou.



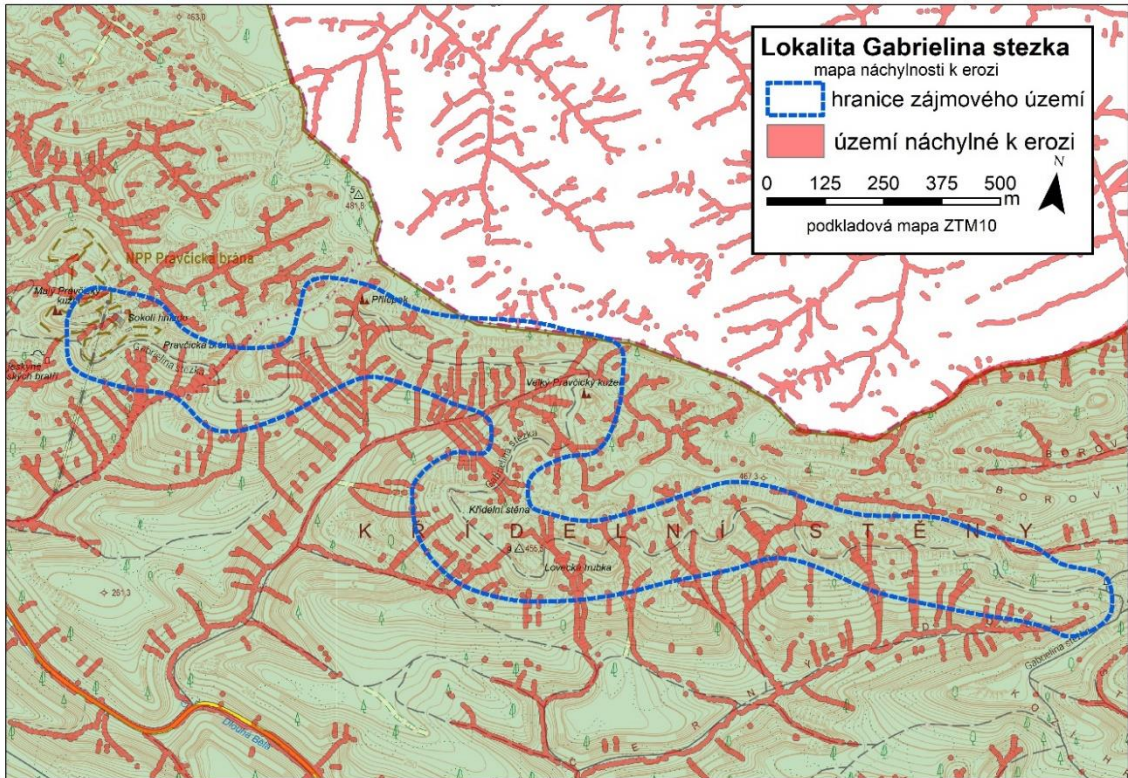


Obr. 8: Přehledová mapa náchylnosti území požářiště NPČS k erozi.

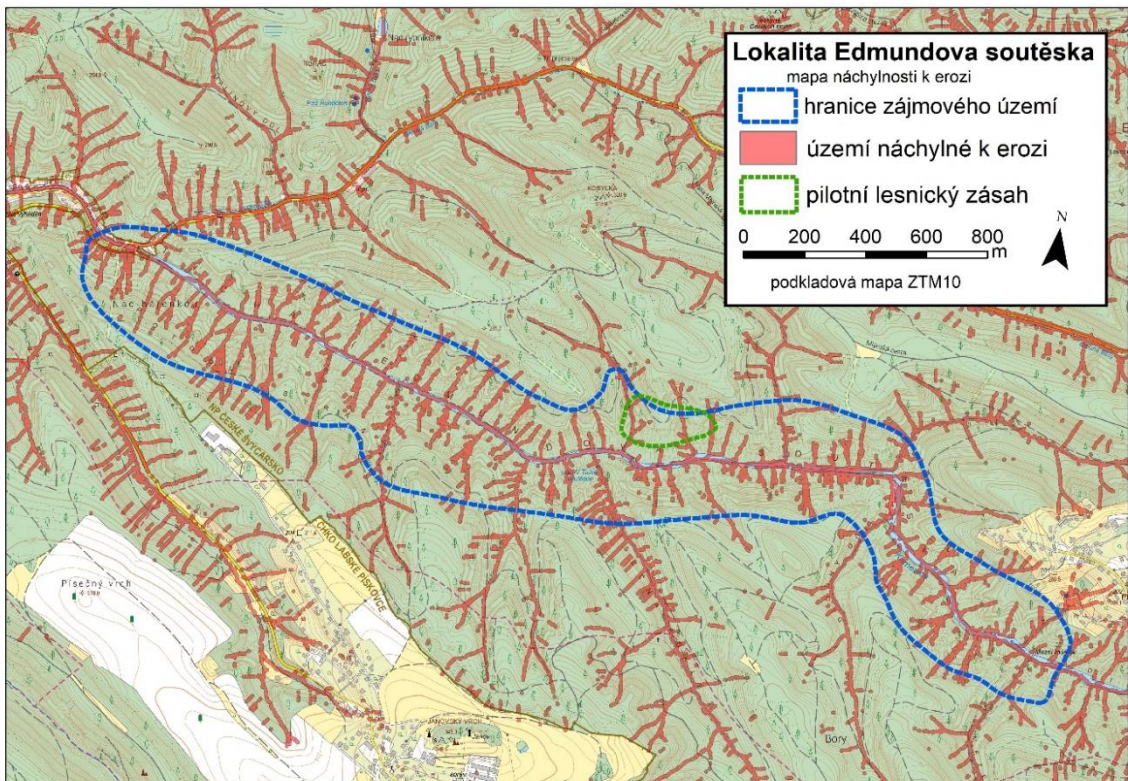


Obr. 9: Mapa náchylnosti lokality Dlouhý důl k erozi.





Obr. 10: Mapa náchylnosti k erozi na lokalitě Gabrielina stezka.



Obr. 11: Mapa náchylnosti k erozi na lokalitě Edmundova soutěska

## 11. Závěry a doporučení

Jak vyplývá z výše uvedeného, je třeba veškerá opatření a zásahy kvůli bezpečnosti provádět selektivně a po důsledném zvážení. Je tomu tak proto, že zásahy v širším prostoru požářiště jsou nereálné jak ekonomicky, tak i jdou proti smyslu národního parku. Vývoj svahů, resp. skal v případě zásahu a bez zásahu je možné shrnout v následujících tabulkách. Jak vyplývá z tabulek, zásahy sice krátkodobě vedou ke zvýšení bezpečnosti, ale dlouhodobě spíše situaci z bezpečnostního hlediska zhoršují. Nicméně konkrétní lokality se budou výrazně lišit v závislosti na expozici, množství vláh, intenzitě a severitě požáru. V území, kde se nebude intenzivně zasahovat, dojde ke stabilizaci z hlediska svahových procesů rychleji než v území, kde byly nebo budou prováděny rozsáhlé zásahy a těžba, která naruší současný stav půdního krytu (jako byl např. zásah nad Edmundovou soutěskou). Dále bude v případě zásahů docházet ke zvýšení eroze díky vývratům ponechaných vitálních stromů, které se ztrátou okolního krytu stromů exponují vůči větru a lesnickým pracím. Je nutné rovněž vzít v úvahu, že omezením eroze, tedy podporou přítomnosti písku a hrabanky na svazích vytvoří měkčí povrch a neumožní letícím skalním blokům se odrazit tolik, jako v případě holé skály.

V případě neprovedení zásahů se situace může krátkodobě zhoršit (1-3 roky), ale dlouhodobě povede k rychlejší stabilizaci než v případě s masivními zásahy. Jak ukázal zásah v případě svahu nad Edmundovou soutěskou, většina nestabilních bloků byla již predisponována před požárem. Proto doporučujeme turisticky exponované oblasti průběžně sledovat (1 až 2x ročně a po intenzivních srážkách nebo větrech). Rovněž na vytipovaných místech potenciálně zvýšené eroze (viz mapa) je vhodná průběžná kontrola. V případě uvažovaných zásahů je vhodnější se zaměřit na snížení eroze, která kromě okamžitého účinku pohybu hmot povede k odnosu půdního krytu a zpomalení sukcese.

	<b>zásah</b>	<b>bez zásahu</b>
<b>+</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- snížení ohrožení pádem stromů,</li> <li>- rychlejší snížení eroze (v případě aplikace protierozních opatření),</li> <li>- možný management povrchového odtoku</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- přirozený/přírodní vývoj,</li> <li>- postupný návrat k původním vlastnostem svahu,</li> <li>- postupné snižování ohrožení,</li> <li>- ekonomicky výhodné</li> </ul>
<b>-</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- další zásah do již disturbovaného svahu</li> <li>- možnost lokálně zvýšené eroze</li> <li>- v případě necitlivého zásahu, zpomalení přirozeného vývoje svahů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dočasně (v horizontu do 10 let) zejména lokálně vyšší eroze</li> </ul>

Tab. 1: Klady a zápory vývoje svahů v případě zásahů a bez zásahů

	<b>zásah</b>	<b>bez zásahu</b>
<b>+</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- krátkodobé zlepšení stability</li> <li>- detailní identifikace nestabilních bloků</li> <li>- znalost území</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- přirozený/přírodní vývoj</li> <li>- postupný návrat k původním vlastnostem výchozu</li> <li>- postupné snižování ohrožení</li> <li>- ekonomicky výhodné</li> </ul>
<b>-</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- výrazné narušení povrchu půdního krytu v okolí skal</li> <li>- zvýšená eroze</li> <li>- uvolnění bloků fixovaných kořeny</li> <li>- podemletí bloků erozí</li> <li>- snadnější zvětrávání skal při odstranění vegetace a půdního krytu</li> <li>- uměle indukované skalní řízení kmeny stromů nebo necitlivým zásahem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- méně detailní znalost lokality z hlediska řízení,</li> <li>- krátkodobě (1-3 roky) může být vyšší ohrožení skalním řízením</li> </ul>

Tab. 2: Klady a zápory vývoje skal v případě zásahů a bez zásahů

Jelikož požár a jeho dopady byl v českých podmínkách bezprecedentní a neexistuje k němu vhodný ekvivalent pro porovnání, je vhodné kontrolní sledování/monitoring eroze v oblasti zasažené a nezasažené požárem, sanované i nesanované

Pro zajištění bezpečnosti v oblasti Soutěsek doporučujeme kontrolovaný vstup. K pádům skal a stromů dochází nejčastěji v období při a krátce po intenzivních srážkách (dešťových i sněhových), rychlých změnách teplot okolo 0°C a při silném větru. Pro tyto situace existuje systém varování ČHMÚ a jako nejvhodnější se nám jeví v případě nastalého ohrožení oblast soutěsek uzavřít. Z pohledu bezpečnosti návštěvníků vždy existuje nějaké objektivní riziko při vstupu do lesa nebo do skal na území národního parku. S tímto rizikem je třeba běžně počítat. Snahy o jeho absolutní minimalizaci připomínají snahy o „poručení větru a dešti“ dle našeho názoru nejsou v souladu s principy péče a dlouhodobými cíli národního parku.

Z hlediska vyhodnocení zásahů, resp. zajištění bezpečnosti po požáru je třeba uvést, že žádné z možných řešení není ideální. Pokud se pohybujeme v rozmezí dvou extrémních stavů, tedy ponechat území úplně přirozenému vývoji, nebo se snažit vybrané oblasti stabilně zajistit („sanovat a vybetonovat“), kloníme se zcela určitě směrem k co nejmenším a selektivním zásahům. Což je rovněž naprosto v souladu s posláním NP, tedy tím, že *„veškeré využití národních parků musí být podřízeno zachování a zlepšení přírodních poměrů a musí být v souladu s vědeckými a výchovnými cíli sledovanými jejich vyhlášením“*. NP České Švýcarsko byl zřízen zejména za účelem *„ochrany jedinečných geomorfologických hodnot“* (Zák. č. 161/1999 Sb.). Geomorfologie NP je výsledkem dlouhodobého, většinou přirozeného, vývoje. Tento vývoj v sobě zahrnuje rovněž disturbance, jakým je i proběhlý požár z léta 2022. Bez dlouhodobých pomalých i krátkodobých intenzivních vlivů by nemohlo dojít ke vzniku typického pískovcového reliéfu, který vznikl v průběhu milionů let. Všechna opatření, která povedou ke snížení eroze, stabilizaci skal a svahů nutně tyto přirozené procesy narušují. Pro dlouhodobý stabilní vývoj **je proto žádoucí co nejmenší zasahování do přirozených procesů.**



## 12. Fotografická příloha



Foto 1: Příklad odlupování v blízkosti Gabriely stezky



Foto 2: Příklad odlupování v blízkosti Gabriely stezky





Foto 3: Svah v Dlouhém dole, který bude silně náchylný k erozi.



Foto 4: Skalní masivy v Dlouhém dole byly požárem zasaženy nerovnoměrně.





Foto 5: Požárem silně zasažený svah a skalní masiv v Dlouhém dole.



Foto 6: Sanační zásah a kácení nad Edmundovou soutěškou byl rozsáhlý a do značné míry naddimenzovaný.





Foto 7: Projevy zvýšené eroze v místě sanačního zásahu a kácení nad Edmundovou soutěskou jsou již dobře viditelné.



Foto 8: Ve vyústění žlabů do soutěsek lze očekávat zvýšené projevy eroze.



## 13. Literatura

1. Abbate A, Longoni L, Ivanov VI, Papini M (2019) Wildfire impacts on slope stability triggering in mountain areas. *Geosciences* 9(10):417.
2. Abdollahi M, Vahedifard F, Tracy FT (2023) Post-Wildfire Stability of Unsaturated Hillslopes Against Rainfall-Triggered Landslides. *Earth's Future* 11(3):e2022EF003213.
3. Adamovič J, Vařilová Z (2020) Geologická stavba. In: *Geologie Českosaského Švýcarska. Správa Národního parku České Švýcarsko*, s. 39-108.
4. Araújo Santos LM, Correia AJPM, Coelho PALF (2020) Post-wildfire slope stability effects and mitigation: A case study from hilly terrains with unmanaged forest. *Applied Sciences* 2(11):1883.
5. Bischetti GB, Epis T, Morlotti E (2008) Slope stability change in forested areas after a wildfire. *Geophysical Research Abstracts*, 10: EGU2008-A-06907.
6. Blahůt J, Klimeš J (2011) Příspěvek k české terminologii ve studiu rizik ze svahových deformací. *Geografie*, 116, č. 1, s. 79–90.
7. Cílek V (2010) Saxon-Bohemian Switzerland: sandstone rock cities and fascination in a romantic landscape. *Geomorphological Landscapes of the World*, Springer, s. 201-209.
8. Curran MP, Chapman B, Hope GD, Scott D (2006) Large-scale erosion and flooding after wildfires: Understanding the soil conditions. BC Ministry of Forests and Range, Forest Science Program, Victoria, BC, Technical Report 030, 18 s.
9. Esposito G, Esposito E, Matano F, Molisso F, Porfido S, Sacchi M (2013) Effects of a wildfire on rocks and soils in the Sarno Mountains, Campania, Southern Apennines. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 24:119-121.
10. Geotechnical Engineering Office (1999) Landslides and Boulder falls from natural terrain: interim risk guidelines. GEO Report No. 75. Homantin, Kowloon, Hong Kong.
11. Gray DH, Megahan WF (1981) Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station, Research Paper INT-271, 23 s.
12. Johnson R (1979) Factors That Influence the Stability of Slopes-a Literature Review. United States Federal Highway Administration, Office of Research, 132 s.
13. Klimeš J, Blahůt J (2017) Sesuvy z pohledu přírody a společnosti. In: Müllerová H et al.: *Sesuvy – podceňované nebezpečí*. SSČ AV ČR, s. 3-20.
14. Mansilha C, Melo A, Martins ZE, Ferreira I, Pereira AM, Espinha Marques J (2020) Wildfire effects on groundwater quality from springs connected to small public supply systems in a peri-urban forest area (Braga Region, NW Portugal). *Water* 12(4):1146.
15. Melzner S, Shtober-Zisu N, Katz O, Wittenberg Lea (2019) Brief communication: Post-wildfire rockfall risk in the eastern Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 19(12):2879-2885.
16. Moore ID, Burch GJ (1986) Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal* 50(5):1294-1298.
17. Movasat M, Tomac I (2020) Evaluation and remediation of post-wildfire slope stability. *E3S Web of Conferences* 205:04007
18. Neary DG, Gottfried GJ, DeBano LF, Ffolliott PF (1998) Post-Wildfire Erosion in the Southwest: Causes and Control. *Arizona-Nevada Academy of Science*, 67 s.

19. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP (1991) RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation* 46(1): 30-33.
20. Robichaud PR, Ashmun LE, Sims BD (2010) Postfire treatment effectiveness for hillslope stabilization. United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-240, 72 s.
21. Sarro R, Pérez-Rey I, Tomás R, Alejano LR, Hernández-Gutiérrez LE, Mateos RM (2021) Effects of wildfire on rockfall occurrence: a review through actual cases in Spain. *Applied Sciences* 11(6):2545.
22. Secci R, Calcina SV, Ranieri G, Uras G (2014) Analysis of the stability variation of a slope crossed by forest fire. *International Journal of Civil Engineering* 3(1): 41-50.
23. Shtober-Zisu N, Wittenberg L (2021) Long-term effects of wildfire on rock weathering and soil stoniness in the Mediterranean landscapes. *Science of The Total Environment* 762:143125.
24. Smith K, Petley DN (2009) *Environmental Hazards: Assessing Risk and reducing Disaster*. 5<sup>th</sup> Edition, Routledge, 416 s.
25. Sygała A, Bukowska M, Janoszek T (2013) High temperature versus geomechanical parameters of selected rocks—the present state of research. *Journal of Sustainable Mining* 12(4):45-51.
26. Thorsen GW, Othberg KL (1978) *Forest Slope Stability Pilot Project, Upper Deschutes River, Washington*. Department of Natural Resources, Division of Geology and Earth Resources, 43 s.
27. Tulau MJ, McInnes-Clarke S (2015) *Fire and Soils: A Review of the Potential Impacts of Different Fire Regimes on Soil Erosion and Sedimentation, Nutrient and Carbon Cycling, and Impacts on Water Quantity and Quality*. Office of Environment and Heritage, 87 s.
28. UNDRO (1979) *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*. Report of Expert Group Meeting. (9–12 July 1979), Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, Geneva.
29. Varnes DJ (1984) *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*. UNESCO, Paris, 63 s.
30. Wischmeier WH, Smith DD (1978) *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration, 58 s.
31. Woitsch J (2017) Řízení skal v Hřensku: historická sonda. In: Müllerová H et al.: *Sesuvy – podceňované nebezpečí*. SSČ AV ČR, s. 21-42.
32. Young K, Dohrenwend K, McEttrick M, Grover H (2023) *Controlling Soil Erosion After Wildfire and Guiding Recovery in Southern Utah*. Utah State University Extension, 9 s.
33. Zvelebil J, Vařilová Z, Paluš M (2005) Tools for rock fall risk integrated management in sandstone landscape of the Bohemian Switzerland National Park, Czech Republic (M121). *Landslides: Risk Analysis and Sustainable Disaster Management*, Springer, s. 119-126.