

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Drevárska fakulta

Katedra protipožiarnej ochrany

**VÝSKUMNÁ SPRÁVA Z KOMPLEXNEHO POSÚDENIA
RIZÍK V EXPERIMENTÁLNOH ÚZEMÍ**

Projekt 09I01-03-V04-00088

Vývoj, testovanie, demonštrácia a validácia konceptuálnych metodologických a technologických riešení zvyšujúcich odolnosť porastov napadnutých lykožrútom smrekovým

Pracovný balík NV2 – Tvorba koncepcie monitoringu územia, mapovanie územia, kontinuálny bezpilotný letecký monitoring a komplexné posúdenie rizík

Zvolen, 2026

Komplexné posúdenie rizík v experimentálnom území Vydrovo bolo vykonané s cieľom zachytiť súčasné ohrozenia, ktoré vznikli v dôsledku rozsiahleho poškodenia lesných porastov, následného spracovania kalamity, zmeny porastovej štruktúry a súbežného využívania doliny na lesné hospodárstvo, výskum, environmentálne vzdelávanie a návštevnické aktivity. Hodnotenie bolo zamerané na prírodné, technologické, prevádzkové, biologické a antropogénne riziká a na ich vzájomné väzby.

Pri posúdení boli využité terénne zistenia, údaje získané bezpilotným leteckým monitoringom, priestorové analýzy reliéfu a povrchových štruktúr, projektová dokumentácia, návrh monitorovacej siete a odborné posúdenie mechanizmov vzniku jednotlivých nebezpečných javov. Hodnotenie nebolo založené iba na jednoduchej matici pravdepodobnosti a následku. Pri každom riziku boli posúdené iniciačné podmienky, priestorový prejav, exponované prvky, zraniteľnosť, čas nástupu, možnosť včasného zistenia, existujúce preventívne opatrenia, možné sekundárne následky a reziduálne riziko.

V území boli ako dominantné vyhodnotené štyri skupiny rizikových faktorov. Prvú skupinu tvorili prevádzkovo-bezpečnostné riziká spojené s kalamitnou ťažbou, pohybom lesných mechanizmov, pádom poškodených stromov a dočasnou reguláciou vstupu. Druhú skupinu predstavovali environmentálne dôsledky rozsiahleho spracovania kalamity, najmä zmena mikroklímy, odkrytie pôdneho povrchu, zmena odtokových dráh, vodná erózia a zníženie mechanickej stability porastových okrajov. Tretia skupina zahŕňala zvýšené nebezpečenstvo vzniku a šírenia lesného požiaru počas suchých, teplých a veterných období. Štvrtú skupinu tvorili biologické a návštevnické riziká vrátane možného stretu s veľkými šelmami.

Za najzávažnejšie kombinované scenáre boli považované: kalamitné poškodenie porastu – spracovanie kalamity – odkrytie pôdy – prívalový odtok – erózia – zanesenie odvodňovacieho profilu; sucho – pokles vlhkosti jemného paliva – vznik požiaru – strata ochranného krytu – erózia po požari; vznik novej porastovej steny – silný vietor – vývraty – zablokovanie prístupovej komunikácie – zhoršenie zásahu; a poškodenie lesnej cesty ťažbou alebo vodou – obmedzenie prejazdnosti – oneskorenie zásahu pri požari alebo úraze.

Výsledkom posúdenia bolo vymedzenie funkčných mikro-lokalít, v ktorých sa jednotlivé riziká prejavovali rozdielne. Boli rozlíšené: dolinné dno a koryto Vydrovského potoka, areál Lesníckeho skanzenu a návštevnické trasy, aktívne pracoviská kalamitnej ťažby, lesné cesty a približovacie linky, odlesnené a obnovované kalamitné plochy, strmé svahy a cestné zárezy, okraje zvyškových porastov, monitorovacie body a priestor pripravovanej protipožiarnej vodnej infraštruktúry.

Hodnotenie bolo spracované ako odborný výskumný podklad. Nenahrádzalo hydrologický výpočet, geotechnický posudok, projekt protipožiarnej bezpečnosti, povodňový plán ani dokumentáciu EIA. V prípadoch, v ktorých neboli k dispozícii presné merania alebo projektové parametre, boli závery formulované ako expertné posúdenie alebo scenár vyžadujúci následnú verifikáciu.

1. Úvod

Vydrovská dolina predstavovala v období riešenia projektu územie s výrazne zmenenou štruktúrou lesných porastov. Rozsiahle poškodenie smrekových porastov a následné spracovanie kalamitného dreva zmenili charakter povrchu, priestorové usporiadanie porastových okrajov, režim pohybu osôb a mechanizmov a podmienky pre vznik a rozvoj viacerých nebezpečných procesov. Zmena neprebíhala izolovane. Súčasne boli využívané lesné cesty, približovacie linky, návštevnícke trasy, objekty Lesníckeho skanzenu a plochy určené na monitoring a demonštráciu prírode blízkyh opatrení.

Pri hodnotení sa vychádzalo z predpokladu, že kalamitná ťažba sama osebe nebola živelnou pohromou. Bola však významným antropogénnym faktorom, ktorý modifikoval pravdepodobnosť a následky živelných udalostí. Odstránenie alebo výrazné preriedenie porastového krytu ovplyvnilo intercepciu zrážok, evapotranspiráciu, teplotný režim pôdy, rýchlosť vetra pri povrchu, stabilitu porastových stien, rozloženie vegetačného paliva a schopnosť územia spomaľovať povrchový odtok.

V území sa zároveň prekrývali hospodárske, výskumné, vzdelávacie a rekreačné funkcie. Prevádzka ťažby a odvoz dreva boli spojené s pohybom ťažkých mechanizmov, obmedzenou viditeľnosťou, hlukom, pádom stromov a dočasným uzatváraním častí územia. Lesnícky skanzen a náučné trasy vytvárali expozíciu návštevníkov, medzi ktorými sa mohli nachádzať deti, staršie osoby alebo osoby so zníženou pohyblivosťou. Z tohto dôvodu bolo potrebné posúdiť nielen pravdepodobnosť vzniku prírodného javu, ale aj možnosť bezpečného opustenia územia, dostupnosť varovania a priechodnosť zásahových trás.

Komplexnosť posúdenia bola založená na multirizikovom prístupe. Každý jav bol hodnotený samostatne a súčasne bolo posúdené, či mohol spustiť alebo zosilniť ďalší proces. Takýto prístup bol nevyhnutný najmä pri kombináciách sucha, požiaru a následnej intenzívnej zrážky; pri kombinácii kalamitnej ťažby, poškodenia cesty a zhoršenia zásahovej dostupnosti; a pri kombinácii vetra, vývratov a blokovania návštevníckych alebo zásahových trás.

2. Cieľ a rozsah výskumnej správy

Hlavným cieľom bolo vykonať komplexné posúdenie rizík v experimentálnom území Vydrovo a určiť lokality, v ktorých bolo potrebné pokračovať v monitorovaní, vykonať podrobnejšie odborné posúdenie alebo realizovať adaptačné, organizačné a prírode blízke opatrenia.

- bol charakterizovaný pokalamitný stav územia a súbežné formy jeho využívania;
- boli identifikované iniciačné mechanizmy hydrologických, erózných, svahových, meteorologických, požiarnych, biologických, technologických a prevádzkových rizík;
- boli určené exponované osoby, ekosystémové prvky, komunikácie, technické objekty a monitorovacie zariadenia;
- bola posúdená zraniteľnosť jednotlivých funkčných častí územia;
- boli analyzované kaskádové a domino efekty medzi jednotlivými nebezpečnými procesmi;
- bola vytvorená matica rizík a bolo vykonané slovné zdôvodnenie priradených stupňov pravdepodobnosti a následku;

- boli navrhnuté preventívne, adaptačné, organizačné a monitorovacie opatrenia;
- bolo určené reziduálne riziko a potreba následnej verifikácie.

3. Podklady a použité metódy

3.1. Zdrojové podklady

Komplexné posúdenie bolo spracované na základe kombinácie primárnych a sekundárnych zdrojov. Primárne zdroje predstavovali terénne zistenia, obrazová dokumentácia, údaje získané bezpilotným leteckým monitoringom a priestorové analýzy. Sekundárne zdroje tvorili projektové podklady, dostupné informácie o prevádzkovom režime územia, právne predpisy a odborné poznatky o mechanizmoch vzniku jednotlivých rizík.

Zdroj údajov	Spôsob využitia	Obmedzenie
Terénne obhliadky	identifikácia stavu povrchu, komunikácií, porastových okrajov, erózných prejavov, pracovísk ťažby a návštevníckej infraštruktúry	časovo obmedzený obraz aktuálneho stavu
Fotodokumentácia	porovnanie stavu lokalít, evidencia poškodenia a lokalizácia rizikových prejavov	závislosť od uhla záberu a dostupnosti
UAV monitoring	zachytenie priestorovej štruktúry územia, odkrytých plôch, povrchových línií a stavu vegetácie	obmedzený počet opakovaných letov
Digitálny model terénu a priestorové analýzy	interpretácia sklonu, odtokových dráh, depresných miest a väzieb medzi svahom, cestou a tokom	potreba terénnej verifikácie
IoT monitoring	sledovanie zrážok, teploty, relatívnej vlhkosti, vetra a pôdnej vlhkosti	krátkosť časového radu a možné výpadky
Projektové podklady	určenie cieľov monitoringu, plánovaných opatrení a väzby na projekt STAND_TECH_SOL	neobsahovali všetky realizačné parametre
Právne predpisy	vymedzenie povinností v oblasti ochrany pred povodňami, požiarom, civilnej ochrany, lesov a BOZP	potreba overenia aktuálneho znenia pri aplikácii

3.2. Postup hodnotenia

Každý výsledok bol doplnený slovným odôvodnením. V odôvodnení bolo uvedené, ktoré pozorované skutočnosti podporovali pridelenú úroveň rizika, ktoré súvislosti boli odvodené z mechanizmu

procesu a ktoré údaje zostali neoverené. Tým sa zabránilo tomu, aby bola matica rizík použitá bez analytického vysvetlenia.

Hodnotenie bolo vykonané v siedmich nadväzujúcich krokoch. Najskôr bol identifikovaný iniciačný jav a podmienky, ktoré mohli viesť k jeho vzniku. Následne bol určený priestorový prejav a exponované prvky. V treťom kroku bola posúdená zraniteľnosť a možné následky. Vo štvrtom kroku bola hodnotená rýchlosť nástupu javu, možnosť jeho zistenia a dostupný čas na reakciu. V piatom kroku boli posúdené existujúce preventívne a organizačné opatrenia. V šiestom kroku boli analyzované sekundárne a kaskádové následky. V siedmom kroku bolo určené reziduálne riziko po zohľadnení navrhovaných opatrení.

Pri hodnotení bolo dôsledne odlišované zistenie, odborná interpretácia a scenár. Za zistenie bol považovaný stav, ktorý bol zdokumentovaný v teréne alebo v dostupnom podklade. Odborná interpretácia bola založená na prepojení zisteného stavu s mechanizmom vzniku rizika. Scenár predstavoval možný vývoj pri splnení určitých spúšťacích podmienok. Tento spôsob bol zvolený preto, aby neboli hypotetické udalosti prezentované ako už preukázané javy.

3.3. Hodnotiaca škála

Stupeň	Pravdepodobnosť	Kritérium
1	veľmi nízka	jav bol možný iba za mimoriadnej kombinácie podmienok a neboli zistené bezprostredné prejavy
2	nízka	jav sa mohol vyskytnúť ojedinele; spúšťacie podmienky neboli bežné
3	stredná	jav bol reálne možný počas hodnoteného obdobia alebo pri sezónnom extrémne
4	vysoká	podmienky vzniku sa opakovane vyskytovali alebo boli priamo prítomné
5	veľmi vysoká	jav bol bezprostredný, opakovaný alebo prebiehajúci

Stupeň	Následok	Kritérium
1	zanedbateľný	bez významnej straty funkcie; lokálna a ľahko odstrániteľná porucha
2	malý	obmedzené poškodenie bez dlhodobého vplyvu
3	stredný	potreba odborného zásahu, lokálna strata funkcie alebo merateľný environmentálny vplyv

Stupeň	Následok	Kritérium
4	závažný	rozsiahle poškodenie, dlhšie prerušenie funkcie, ohrozenie osôb alebo vysoké náklady
5	kritický	možné usmrtenie alebo ťažké zranenie, rozsiahla strata funkcie alebo významné ekologické následky

Výsledné skóre bolo určené súčinom pravdepodobnosti a následku. Hodnoty 1 až 4 boli zaradené ako nízke riziko, 5 až 9 ako stredné riziko, 10 až 16 ako vysoké riziko a 17 až 25 ako kritické riziko. Skóre bolo použité na prioritizáciu opatrení. Nebolo interpretované ako exaktná pravdepodobnosť vzniku udalosti.

4. Charakteristika experimentálneho územia

4.1. Funkčné využitie územia

Experimentálne územie bolo súčasťou Vydrovskej doliny pri obci Čierny Balog. V území sa prekrývali lesohospodárska, výskumná, vzdelávacia, rekreačná a ochranná funkcia. Lesnícky skanzen a návštevnícke trasy vytvárali pravidelný pohyb verejnosti. Lesné cesty a približovacie linky boli využívané na spracovanie a odvoz kalamitného dreva. Vybrané plochy boli využité na monitoring, testovanie technických riešení a demonštráciu prírode blízkych opatrení.

Prevádzkový režim nebol v celom území rovnaký. Vstup do jednotlivých častí bol v závislosti od ťažby, odvozu dreva, obnovy infraštruktúry a bezpečnostných podmienok regulovaný. Pri hodnotení bolo preto rozlišované verejne prístupné územie, podmienené prístupné územie a aktívne pracovisko, do ktorého bol vstup možný iba po koordinácii s obhospodarovateľom.

4.2. Pokalamitná zmena porastov

Rozsiahle spracovanie kalamity viedlo k vytvoreniu otvorených plôch, nových porastových okrajov a lokálne aj izolovaných skupín stromov. Na otvorených plochách bolo očakávané zvýšenie priameho slnečného žiarenia, rýchlejší ohrev pôdneho povrchu a vyššia rýchlosť vetra pri zemi. V porovnaní so zapojeným porastom sa tým zmenili podmienky vysychania pôdy, vlhkosti vegetačného paliva a prirodzenej obnovy.

Odstránenie porastového krytu súčasne zmenilo zachytávanie zrážok korunami a rozloženie odtoku. Samotná zmena porastu neznamenal automatický vznik prívalovej povodne alebo zosuvu. Vytvorila však predpoklady pre rýchlejší povrchový odtok v miestach, kde bola pôda odkrytá, zhutnená alebo priamo prepojená s koľajou, cestnou priekopou či eróznou ryhou.

4.3. Lesná dopravná sieť

Lesné cesty a približovacie linky boli posúdené ako prvok s dvojitou funkciou. Na jednej strane zabezpečovali prístup pre mechanizmy, monitoring a zásahové zložky. Na druhej strane mohli

pri nevhodnom priečnom sklone, poškodení povrchu alebo zanesenom odvodnení sústredovať zrážkovú vodu a odvádzať ju na nestabilné alebo erodovateľné časti svahu.

Za rizikové boli považované najmä dlhé neprerušené úseky s pozdĺžnym sklonom, hlboké koľaje, miesta bez funkčného priečneho odvodnenia, výuste smerujúce na odkrytý svah a úseky s poškodenou prejazdnosťou.

4.4. Pripravovaná protipožiarna vodná infraštruktúra

V hodnotenom období prebiehal proces prípravy vodnej infraštruktúry určenej na podporu protipožiarnej ochrany. Táto skutočnosť bola zohľadnená ako plánované opatrenie zvyšujúce dostupnosť vody na hasenie. Kým neboli k dispozícii konečné projektové a prevádzkové parametre, nebola pripravovaná nádrž hodnotená ako už funkčný zdroj vody ani ako protipovodňové alebo retenčné opatrenie. Jej funkcia, objem, odberné miesto, prístupová komunikácia a prevádzkový režim mali byť prevzaté výhradne z projektovej dokumentácie a dokumentácie EIA.

5. Detailné posúdenie hydrologických rizík

5.1. Povrchový odtok z kalamitných plôch

Bolo posúdené, či odkryté alebo narušené plochy mohli vytvárať súvislé dráhy povrchového odtoku. Hodnotené boli sklon a dĺžka svahu, stav vegetačného krytu, prítomnosť zhutnených prejazdových pásov, orientácia ťažbových línii a priame napojenie plochy na cestu, priekopu alebo vodný tok.

Na plochách s obnoveným bylinným alebo krovinovým krytom bola očakávaná vyššia drsnosť povrchu a lepšie rozptýlenie vody. Na plochách s odkrytou pôdou, koľajami a súvislým sklonom bola pravdepodobnosť sústredenia odtoku vyhodnotená ako vyššia. Najzávažnejší mechanizmus vznikal vtedy, keď sa odtok zo svahu sústredil v koľaji a bol bez bezpečného rozptýlenia odvedený na nižšie položený svah.

Pravdepodobnosť bola hodnotená stupňom 4, pretože intenzívne zrážky a prítomnosť narušeného povrchu boli v podmienkach územia reálne. Následok bol hodnotený stupňom 4 v lokalitách s priamym napojením na komunikáciu, erózu ryhu alebo vodný tok. Výsledné riziko bolo vysoké.

Pri interpretácii povrchového odtoku bolo potrebné zohľadniť, že samotné odstránenie stromového etáže automaticky neznamenalo vznik súvislého plošného odtoku. Rozhodujúca bola kombinácia stavu pôdneho povrchu, pokryvnosti bylinnou a krovinovou vegetáciou, prítomnosti ťažbových zvyškov, zhutnenia pôdy a hydraulického prepojenia s koľajami alebo odvodňovacími líniami. Plocha s odkrytou minerálnou pôdou a s priamym napojením na koľajovú ryhu bola preto hodnotená odlišne od plochy s rovnakým sklonom, na ktorej zostala súvislá organická vrstva a povrchová drsnosť.

Za prakticky významný výsledok bolo považované rozlíšenie medzi miestami, kde sa voda iba krátkodobo akumulovala, a miestami, kde sa vytvorila súvislá transportná dráha. Prvá skupina lokalít vyžadovala najmä zachovanie infiltračnej schopnosti a vegetačného krytu. Druhá skupina si vyžadovala prerušenie hydraulickej konektivity, pretože práve dĺžka neprerušenej odtokovej dráhy určovala, či sa voda rozptýlila, alebo sa jej účinok kumuloval v nižšie položenom profile.

5.2. Sústredený odtok na lesných cestách

Bolo vykonané posúdenie lesných ciest a približovacích liniek z hľadiska ich schopnosti zachytávať a odvádzať povrchovú vodu. Boli sledované koľaje, pozdĺžny sklon, priečny profil, priepusty, odrážky, priekopy, poškodenie povrchu a stabilita výustí.

Za kritický spôsob poruchy bolo považované vedenie vody v jazdnej stope na dlhšom úseku bez priečného prerušenia. Pri zvyšovaní prietoku mohlo dochádzať k prehlbovaniu koľaje, odnosu materiálu a zníženiu prejazdnosti. Ak bola voda vyvedená na odkrytý svah bez rozptyľovacej alebo energetickej tlmiacej plochy, mohlo dôjsť k vzniku novej eróznej ryhy.

Riziko bolo vyhodnotené ako vysoké. Bolo odporúčané obnoviť priečny sklon, doplniť priečne rozptyľovacie prvky, stabilizovať výuste a vykonávať kontrolu po významnej zrážkovej udalosti.

Lesná cesta bola pri hodnotení chápaná ako lineárny prvok, ktorý mohol meniť prirodzené smerovanie vody. Voda zachytená na povrchu komunikácie alebo v pozdĺžnej priekope mohla byť odvádzaná mimo pôvodného mikropovodia. Z tohto dôvodu nebolo postačujúce hodnotiť iba stav samotnej vozovky. Posudzované bolo aj miesto vyústenia, stabilita prijímacej plochy a možnosť ďalšieho pokračovania odtoku po svahu.

Pri návrhu opatrení bolo potrebné vyhnúť sa riešeniam, ktoré by síce ochránili povrch cesty, ale presunuli problém na susedný svah. Priečny odvodňovací prvok bol preto považovaný za funkčný iba vtedy, ak bol ukončený bezpečným rozptýlením vody a ak pri výusti nevznikalo vymieľanie, podrezanie päty svahu alebo nová ryha.

5.3. Náhly vzostup hladiny a lokálne zaplavenie

Možnosť náhleho vzostupu vody bola posudzovaná pre koryto Vydrovského potoka, zúžené profily, priepusty, mostné objekty a lokality, do ktorých mohol byť sústredený odtok zo svahov a lesných ciest. Boli rozlišované štyri mechanizmy: zväčšenie prietoku v koryte, vyliatie vody z koryta, vzdutie pri čiastočnom alebo úplnom upchatí profilu a zaplavenie spôsobené povrchovým prítokom z priľahlého svahu.

Bez hydrologického modelovania a presných údajov o kapacite profilov nebolo možné určiť návrhový prietok ani rozsah záplavy. Na základe funkčných väzieb však bolo vyhodnotené, že lokality pri zúžených profiloch, priepustoch a miestach s možnou akumuláciou dreva a sedimentu si vyžadovali pravidelnú kontrolu. Riziko náhleho lokálneho zaplavenia bolo hodnotené ako vysoké, pričom kritická úroveň bola viazaná na kombináciu intenzívnej zrážky a upchatia prietochného profilu.

Pri hodnotení nebolo zamieňané zvýšenie prietoku vo vodnom toku s povodňou. Za povodňový mechanizmus bolo možné považovať až situáciu, pri ktorej by voda prekročila kapacitu koryta alebo iného odtokového profilu, prípadne by došlo k vzdutiu v dôsledku upchatia priepustu, mostného otvoru alebo lokálneho zúženia. Takéto rozlíšenie bolo dôležité pre správne určenie potrebných podkladov a zodpovednosti za následné technické posúdenie.

Veľká pozornosť bola venovaná transportu konárov, koreňových častí, kôry a sedimentu. Aj pri prietoku, ktorý by za bežných podmienok zostal v koryte, mohla prekážka znížiť prietochnosť profilu

a vyvolať lokálne vzdutie. Preto bola kontrola priechodnosti profilov hodnotená ako samostatné preventívne opatrenie, nie iba ako bežná údržba.

5.4. Transport dreva a splavenín

V podmienkach postkalamitného územia bolo posúdené riziko transportu konárov, zvyškov dreva, kameniva a erodovanej zeminy. Materiál mohol byť mobilizovaný na svahoch, v koľajach alebo v erózných ryhách a následne dopravený do priekop, priepustov a vodného toku.

Najzávažnejším následkom nebol samotný transport materiálu, ale sekundárne zníženie kapacity odvodňovacieho alebo prietochného profilu. Po jeho upchatí mohla voda opustiť pôvodnú dráhu a vytvoriť novú eróznou alebo záplavovú líniu. Preto bolo odporučené sledovať reťazec zdroj materiálu – transportná dráha – miesto akumulácie – ohrozený objekt.

6. Detailné posúdenie erózných a sedimentačných procesov

6.1. Plošná erózia

Plošná erózia bola posudzovaná na odkrytých a vegetačne slabo krytých plochách. Bola spojená s rozrušením pôdnych agregátov dopadom dažďových kvapiek a s následným odnosom jemných častíc tenkou vrstvou vody. Proces mohol prebiehať bez zreteľnej eróznej ryhy, preto boli za indikátory považované obnažené korene, presun jemného materiálu, povrchová krusta a sediment zachytený pri prekážkach.

Následkom bola strata humusovej vrstvy, zhoršenie infiltračnej schopnosti a zníženie podmienok pre prirodzenú obnovu. Riziko bolo hodnotené ako vysoké na plochách s odkrytou pôdou a dlhým neprerušným sklonom.

Plošná erózia bola hodnotená ako proces s prevažne difúznym prejavom, ktorý mohol zostať pri jednorazovej obhliadke málo nápadný. Jej význam sa prejavil kumulatívne stratou jemných častíc, organickej hmoty a živín. Z tohto dôvodu bola za vhodnejšiu metódu považovaná opakovaná dokumentácia rovnakých plôch a porovnanie povrchovej štruktúry po významných zrážkach.

Pri obnovovaných plochách nebolo cieľom dosiahnuť okamžité úplné zakrytie povrchu. Za rozhodujúce bolo považované, aby sa prerušili súvislé odkryté pásy a aby sa znížila energia dopadajúcich kvapiek a povrchového prúdenia. Aj čiastočná pokryvnosť mohla mať významný účinok, pokiaľ bola priestorovo vhodne rozložená.

6.2. Ryhová erózia a spätná erózia

Ryhová erózia bola hodnotená v miestach, kde bol povrchový odtok sústredený do úzkej dráhy. Pri pokračujúcom prúdení dochádzalo k prehĺbovaniu a rozširovaniu ryhy. V hornej časti mohla ryha postupovať proti smeru odtoku spätnou eróziou, čím sa zvyšovala príspevková plocha a produkcia sedimentu.

Za prioritné boli považované ryhy napojené na lesnú cestu, výust' alebo vodný tok. Navrhnuté boli malé dreveno-kamenné prehrádzky, stabilizácia dna a bočných stien, vegetačné pásy a bezpečné rozptýlenie vody nad začiatkom ryhy.

Ryha bola posudzovaná nielen podľa aktuálnej hĺbky, ale aj podľa aktivity jej čela. Ak bolo čelo ryhy ostré, podrezané a bez vegetácie, bolo predpokladané pokračovanie spätnej erózie smerom do svahu. Stabilizácia spodnej časti ryhy bez ošetrovania jej čela by preto nemusela zabrániť ďalšiemu postupu procesu.

Za významný diagnostický znak bolo považované napojenie ryhy na zdroj sústredeného odtoku. Ak ryha vznikla pod výust'ou alebo v pokračovaní koľaje, bolo potrebné najskôr odstrániť hydraulickú príčinu. Samotné zasypanie ryhy bolo hodnotené ako dočasné a nedostatočné opatrenie.

6.3. Erózia koľají a výustí

Koľaje vytvorené pohybom mechanizmov boli posúdené ako preferenčné dráhy odtoku. V závislosti od hĺbky a sklonu mohli viesť vodu na dlhú vzdialenosť. Pri výusti dochádzalo k náhlemu sústredeniu energie a k podmytiu svahu.

Bolo odporučené obnoviť priečny profil, prerušiť pozdĺžne vedenie vody, doplniť priečne prvky a na výusti vytvoriť stabilizovanú energeticky tlmiacu a rozptyľovaciu plochu.

6.4. Sedimentácia a zanášanie

Sedimentácia bola posudzovaná v priekopách, priepustoch, pri malých prehrádkach a v nižšie položených depresných miestach. Zachytávanie sedimentu bolo v primeranom rozsahu považované za očakávanú funkciu niektorých opatrení. Riziko vznikalo pri prekročení akumulačnej kapacity alebo pri zanesení prietochného profilu.

Pri kontrole opatrení bolo potrebné zaznamenať výšku sedimentu, priechodnosť prepadu, bočné obtekanie, podmytie päty a stav zaviazania do brehov.

7. Detailné posúdenie svahových a geodynamických rizík

7.1. Povrchová nestabilita a plytké zosúvanie

Bola hodnotená možnosť povrchového zosúvania zeminy na strmších, odlesnených alebo vodou zaťažených svahoch. Za spúšťacie faktory boli považované nasýtenie pôdy, podrezanie päty, sústredený odtok, strata koreňového spevnenia a prejazd mechanizácie.

Za indikátory boli považované čerstvé trhliny, stupňovité deformácie, nakláňanie stromov, vývery vody, vydúvanie päty a posun materiálu. V lokalitách bez týchto prejavov nebol hlboký zosuv označený za potvrdené riziko. Bol vedený iba ako scenár vyžadujúci samostatné geotechnické posúdenie.

V tejto časti bolo dôsledne rozlíšené medzi eróznym zosúvaním povrchovej vrstvy a skutočným zosuvným pohybom. Povrchové odtrhnutie vegetačnej vrstvy alebo zosunutie jemnej zeminy po svahu ešte nepreukazovalo existenciu hlbokéj šmykovej plochy. Pre zaradenie lokality medzi zosuvné územia by boli potrebné geologické, hydrogeologické a geotechnické podklady.

Praktický význam hodnotenia spočíval v identifikácii varovných príznakov. Opakované trhliny, vývery vody, stupňovité deformácie alebo dlhodobé posuny neboli interpretované ako bežný dôsledok erózie,

ale ako podnet na samostatné odborné posúdenie. Tým sa predišlo tomu, aby boli bioinžinierske opatrenia použité v podmienkach, na ktoré neboli určené.

7.2. Deformácia cestných zárezov a násypov

Cestné zárezy a násypy boli posúdené z hľadiska povrchového poškodenia, presakovania vody, podmytia a straty opory. Osobitná pozornosť bola venovaná úsekom, v ktorých bola na hrane zárezu alebo násypu vedená voda z koľaje či priekopy.

Riziko bolo hodnotené ako stredné až vysoké podľa lokálnych prejavov. Pri zistení trhliny, výveru alebo progresívnej deformácie bolo odporúčané obmedziť prejazd a zabezpečiť odborné geotechnické posúdenie.

7.3. Padanie kameňov, stromov a konárov

Bolo posúdené riziko pohybu jednotlivých úlomkov hornín, stromov a konárov zo svahu. Pri skalných úlomkoch bolo potrebné rozlíšiť prirodzené zvetrávanie od mechanického uvoľnenia počas ťažby. Pri stromoch boli posudzované odumreté kmene, poškodené koreňové systémy, náklon, praskliny a poloha voči chodníkom, cestám a monitorovacím bodom.

Následok bol hodnotený ako kritický tam, kde sa v dosahu pádu pohybovali osoby. Prevencia spočívala v bezpečnostnom posúdení stromov, vymedzení dopadovej zóny, dočasnom uzatvorení trasy a odstránení bezprostredne nebezpečných jedincov v súlade s príslušným režimom ochrany a hospodárenia.

8. Detailné posúdenie meteorologických a klimatických rizík

8.1. Dlhodobé sucho

Dlhodobé sucho bolo posudzované podľa priebehu zrážok, pôdnej vlhkosti, teploty a stavu vegetácie. Na odkrytých plochách bol očakávaný rýchlejší pokles vlhkosti povrchovej vrstvy pôdy. Následkom bolo oslabenie obnovy, zvýšenie mortality mladých drevín a zníženie vlhkosti jemného vegetačného paliva. Riziko bolo vyhodnotené ako vysoké.

Sucho bolo posudzované ako proces s oneskoreným a kumulatívnym účinkom. Krátkodobý pokles pôdnej vlhkosti nebol automaticky hodnotený ako kritický stav. Za závažnejšiu bola považovaná kombinácia dlhšieho zrážkového deficitu, vysokých teplôt, nízkej relatívnej vlhkosti a vetra, pri ktorej dochádzalo k opakovanému vysušovaniu povrchovej vrstvy a k obmedzeniu dostupnosti vody pre obnovu.

Pri interpretácii monitoringu bolo potrebné porovnávať priebeh vlhkosti v rôznych hĺbkach. Rýchly pokles v povrchovej vrstve mohol odzrkadľovať iba krátkodobú meteorologickú situáciu, zatiaľ čo súčasný pokles vo väčšej hĺbke poukazoval na dlhšie trvajúci deficit. Toto rozlíšenie bolo významné aj pre hodnotenie požiarného nebezpečenstva a vitality obnovy.

8.2. Extrémne teploty a tepelný stres

Vysoká teplota vzduchu a priame slnečné žiarenie zvyšovali tepelnú záťaž terénnych pracovníkov a návštevníkov. Na otvorených plochách bola posúdená možnosť dehydratácie, prehriatia a zníženia

pracovnej výkonnosti. Bolo odporučené plánovať terénne práce mimo najteplejšej časti dňa, zabezpečiť pitný režim a prerušiť prácu pri príznakoch tepelného vyčerpania.

8.3. Silný vietor a veterná smršť

Silný vietor bol hodnotený ako spúšťací faktor vývrátov a zlomov. Novovytvorené porastové steny a izolované stromy neboli dlhodobo adaptované na plné veterné zaťaženie. Riziko bolo vysoké najmä po nasýtení pôdy, pri poškodených koreňoch a v blízkosti trás.

Po spracovaní kalamity sa vytvorili nové porastové okraje, ktoré pred zásahom neboli dlhodobo vystavené priamemu náporu vetra. Stromy na takýchto hranách mohli mať jednostranne vyvinuté koruny, plytší koreňový systém alebo poškodenie vzniknuté pri ťažbe. Ich stabilita preto nemohla byť odvodená iba z priemeru kmeňa alebo výšky stromu.

Riziko vetrových vývrátov bolo hodnotené aj vo vzťahu k zásahovej dostupnosti. Vývraty na údolnej komunikácii alebo na jedinej prístupovej ceste mohli mať väčší bezpečnostný význam než rovnaký počet vývrátov vo vzdialenej časti porastu. Priestorové hodnotenie preto zahŕňalo aj funkciu komunikácie a dostupnosť alternatívnej trasy.

8.4. Búrka, blesk a krupobitie

Konvekčná búrka mohla spôsobiť súčasný výskyt intenzívnej zrážky, nárazového vetra, blesku a krupobitia. Ohrozené boli otvorené plochy, izolované stromy, hrebene a návštevnícke priestory. Blesk bol súčasne posúdený ako možný iniciačný zdroj požiaru.

8.5. Snehová a námrazová kalamita

Mokrý sneh a námraza mohli zaťažiť oslabené koruny a spôsobiť zlomy alebo vývraty. Riziko bolo hodnotené ako stredné, ale s možným vysokým lokálnym následkom na komunikáciách a monitorovacích bodoch.

9. Komplexné posúdenie požiarneho rizika

9.1. Palivový komplex

Požiarne riziko bolo hodnotené podľa množstva, usporiadania a kontinuity vegetačného paliva. Bolo rozlišované jemné povrchové palivo, hrabanka, trávnatý kryt, tenké konáre, ťažbové zvyšky, hrubé mŕtve drevo a živá vegetácia. Za rozhodujúce pre vznik a rýchly rozvoj požiaru bolo považované jemné palivo s rýchlou odozvou na zmenu vlhkosti.

Hrubé mŕtve drevo malo významnú ekologickú funkciu a nebolo automaticky považované za materiál, ktorý mal byť plošne odstránený. Riziko vznikalo vtedy, keď bolo prepojené s jemným palivom, nachádzalo sa pri zásahovej trase, monitorovacím bode alebo návštevníckej infraštruktúre a zvyšovalo intenzitu alebo trvanie horenia.

Palivový komplex nebol hodnotený iba podľa celkového množstva drevnej biomasy. Rozlišovalo sa jemné povrchové palivo, hrubé mŕtve drevo, ťažbové zvyšky, bylinná vegetácia a vertikálne palivá spájajúce povrch s korunami. Pre rýchlosť iniciácie a počiatočného šírenia bolo rozhodujúce najmä množstvo, suchosť a priestorová kontinuita jemného paliva.

Hrubé mŕtve drevo mohlo mať vysokú ekologickú hodnotu a nemuselo automaticky predstavovať dominantný zdroj rýchleho šírenia. Za problematické bolo považované najmä jeho umiestnenie v kombinácii s jemnými zvyškami, pri prístupových trasách, monitorovacích bodoch alebo v miestach, kde by komplikovalo zásah. Z toho dôvodu bol odporúčaný mozaikový, nie plošný manažment paliva.

9.2. Meteorologické podmienky požiaru

Boli hodnotené teplota, relatívna vlhkosť, vietor, zrážky, pôdna vlhkosť a dĺžka bezzrážkového obdobia. Kritická kombinácia vznikala pri dlhšom suchu, nízkej relatívnej vlhkosti, vysokej teplote a vetre. Vietor zvyšoval rýchlosť šírenia a mohol prenášať horiace častice cez komunikácie a menšie medzery v palive.

9.3. Iniciačné zdroje

Za možné iniciačné zdroje boli považované manipulácia s otvoreným ohňom, fajčenie, iskry z mechanizácie, horúce časti strojov, porucha elektrického zariadenia a blesk. Pravdepodobnosť antropogénneho zapálenia bola vyššia v návštevných priestoroch, pri cestách a na aktívnych pracoviskách.

9.4. Topografia a predpokladané šírenie

Sklon svahu bol posúdený ako faktor zrýchľujúci šírenie požiaru smerom nahor. V úzkych častiach doliny mohol lokálny vietor meniť smer a rýchlosť šírenia. Porastové okraje mohli vytvárať prechod medzi povrchovým palivom otvorenej plochy a vertikálne členeným palivom zvyškového porastu.

Topografia bola posudzovaná ako faktor ovplyvňujúci rýchlosť a smer šírenia, nie ako samostatný zdroj požiaru. Na svahu sa plamene a konvekčný tok približovali k palivu nad požiarom, čo mohlo urýchliť jeho predohrev. Úzke dolinné a žľabovité tvary mohli zároveň lokálne meniť smer a rýchlosť vetra.

Bez kalibrovaného modelu a aktuálnych údajov o palive nebol určovaný konkrétny čas postupu požiaru. Boli však vymedzené smery, v ktorých bolo potrebné pri zásahu očakávať zrýchlenie šírenia, a lokality, v ktorých mohla byť ústupová trasa ohrozená skôr než samotný objekt alebo porast.

9.5. Zásahová dostupnosť a voda na hasenie

Bola posúdená prejazdnosť hlavných prístupových ciest, šírka a únosnosť komunikácií, možnosti otáčania, blokovanie vývratmi a dostupnosť vodných zdrojov. Pripravovaná protipožiarna nádrž bola hodnotená ako budúce opatrenie, nie ako existujúca kapacita. Do uvedenia do prevádzky bolo potrebné vychádzať z aktuálne dostupných zdrojov vody a z reálnej dojazdovej možnosti techniky.

Pripravovaná protipožiarna nádrž bola v hodnotení vedená ako plánované zvýšenie zásahovej kapacity. Nebola započítaná ako existujúci zdroj vody, pokiaľ nebola prevádzkyschopná, prístupná zásahovej technike a vybavená vhodným odberným miestom. Samotný objem vody by nepostačoval, ak by nebola zabezpečená prejazdnosť, manipulačný priestor a možnosť bezpečného nasadenia čerpacej techniky.

Zásahová dostupnosť bola posudzovaná v celom reťazci od vstupu do doliny po konkrétnu lokalitu. Kritickým miestom mohol byť úzky úsek, poškodený povrch, nedostatočná únosnosť, chýbajúce miesto

na otočenie alebo strom ohrozujúci trasu. Preto bolo odporúčané hodnotiť nielen dĺžku príjazdu, ale aj jeho reálnu priechodnosť pre konkrétny typ techniky.

9.6. Evakuácia návštevníkov

V areáli Lesníckeho skanzenu bolo potrebné zohľadniť koncentráciu osôb, obmedzenú orientáciu návštevníkov v teréne a možné zníženie pohyblivosti niektorých osôb. Boli posúdené hlavné a alternatívne únikové smery, možnosť varovania, miesto zhromaždenia a riziko zablokovania trasy dymom, ohňom alebo vývratom.

9.7. Riziká po požiari

Požiar bol posúdený aj ako iniciačný jav pre následné hydrologické a erózne procesy. Po odstránení vegetačného a organického krytu mohla intenzívna zrážka vyvolať rýchly povrchový odtok, odnos popola a pôdy, zanesenie profilov a lokálny bahnotok. Z tohto dôvodu bola odporúčaná pripravenosť na bezprostredné protierózne opatrenia po požiari.

10 Prevádzkovo-bezpečnostné riziká kalamitnej ťažby

10.1. Pohyb lesných mechanizmov

Bolo posúdené riziko stretu osoby s harvestorom, približovacím prostriedkom, nakladačom alebo odvoznou súpravou. Riziko bolo zvýšené pri cúvaní, otáčaní, obmedzenom rozhlade, hluku a súbežnom pohybe návštevníkov alebo výskumných pracovníkov.

Aktívne pracovisko bolo hodnotené ako priestor s kritickým rizikom. Vstup mal byť vykonaný iba po dohode s vedúcim pracoviska alebo obhospodarovateľom. Pohyb v pracovnom priestore stroja bez potvrdeného prerušenia činnosti nebol prípustný.

Pri pohybe mechanizmov bolo za rozhodujúce považované oddelenie pracovného priestoru od priestoru, v ktorom sa mohli nachádzať nepovolané osoby. Riziko nevznikalo iba priamym nárazom. Zahŕňalo aj pritlačenie osoby medzi stroj a prekážku, pád alebo posun nákladu, odletujúce časti dreva a stratu stability mechanizmu na svahu.

Vzhľadom na hluk a obmedzený rozhľad nebolo možné spoliehať sa na verbálne upozornenie alebo očný kontakt. Vstup výskumného tímu do pracovnej zóny mal byť podmienený jednoznačným potvrdením obsluhy alebo zodpovednej osoby, že pracovný cyklus bol prerušený a mechanizmus bol zabezpečený.

10.2. Pád ťaženého alebo poškodeného stromu

Bolo posúdené ohrozenie v dopadovej zóne ťaženého stromu a pri spontánnom páde odumretého alebo poškodeného stromu. Riziko bolo kritické vzhľadom na možnosť usmrtenia alebo ťažkého zranenia. Bezpečná vzdialenosť mala byť určená podľa konkrétneho spôsobu ťažby a pracovného postupu, nie všeobecným paušálnym údajom.

10.3. Odvoz dreva a poškodenie komunikácií

Intenzívny odvoz dreva mohol viesť k tvorbe kolají, deformácii povrchu, zníženiu únosnosti a znečisteniu komunikácie. Následne sa zvyšovalo riziko šmyku, poškodenia vozidla, zníženia

prejazdnosti a sústredenia vody. Stav hlavných prístupových trás mal byť kontrolovaný priebežne a po intenzívnych zrážkach.

10.4. Regulácia vstupu

Regulácia vstupu bola posúdená ako preventívne organizačné opatrenie. Jej účinnosť závisela od jednoznačného označenia, aktuálnosti informácie, fyzického zabezpečenia vstupov a koordinácie medzi obhospodarovateľom, prevádzkovateľom skanzenu a výskumnými tímami.

Nebolo odporúčané plánovať vstup iba podľa všeobecného predpokladu, že počas dní pracovného pokoja sa ťažba nevykonávala. Pred každým výjazdom mal byť overený aktuálny režim pracovísk a obmedzení.

Regulácia vstupu bola hodnotená ako dynamické opatrenie. Jej účinnosť sa menila podľa aktuálneho rozsahu ťažby, stavu trás, meteorologických výstrah a prevádzky skanzenu. Jednorazové rozhodnutie alebo starší oznam preto nebolo možné automaticky považovať za aktuálny podklad pre ďalší terénny výjazd.

Za vhodný postup bolo považované overenie vstupu bezprostredne pred výjazdom a opätovné potvrdenie pri príchode do územia. Tento dvojstupňový postup znižoval riziko, že sa podmienky medzi plánovaním a samotným vstupom zmenili.

11. Biologické a zdravotné riziká

11.1. Výskyt medveďa hnedého

Riziko stretu s medveďom hnedým bolo posúdené ako prirodzené biologické riziko lesného územia. Pravdepodobnosť stretnutia bola ovplyvnená sezónou, potravnou ponukou, hustotou vegetácie, viditeľnosťou, pohybom osôb a rušením spôsobeným ťažbou.

Za rizikové boli považované menej frekventované časti, husté krovinové porasty, plochy s malinčím, lokality s obmedzeným rozhľadom a miesta s možným výskytom potravy alebo mláďat. Preventívne opatrenia zahŕňali pohyb v skupine, primerané akustické upozornenie na prítomnosť človeka v neprehľadnom teréne, zákaz ponechávania potravinového odpadu a dodržiavanie aktuálnych odporúčaní príslušných orgánov.

Riziko stretu s medveďom hnedým nebolo hodnotené ako trvalé a rovnomerne rozložené ohrozenie. Menilo sa podľa dennej doby, sezóny, dostupnosti potravy, viditeľnosti, návštevnosti a aktuálneho pohybu zveri. Vyššia opatrnosť bola potrebná v krovinatých a menej frekventovaných častiach, pri vodných tokoch a na plochách s potravnými zdrojmi.

Preventívne opatrenia boli založené na predchádzaní prekvapivému stretnutiu, pohybe v skupine, udržiavaní prehľadu o okolí, správnom nakladaní s potravinami a odpadom a na rešpektovaní aktuálnych upozornení. Správa nepredpisovala improvizované zásahy proti chránenému živočíchovi a nevytvárala vlastný zásahový režim.

11.2. Ostatná zver

Bolo posúdené riziko stretu s diviачou zverou, najmä pri vyrušení alebo prítomnosti mláďat. Riziko bolo stredné a lokálne. Súčasne bolo zohľadnené riziko poškodenia senzorov a káblov zverou.

11.3. Kliešte, bodavý hmyz a alergické reakcie

Terénni pracovníci boli vystavení kliešťom, bodavému hmyzu a alergickým rastlinám. Riziko bolo zvýšené pri dlhodobom pohybe v bylinnom a krovinovom kryte. Bolo odporučené používanie vhodného odevu, repelentu, kontrola tela po návrate a dostupnosť prvej pomoci.

11.4. Tepelný stres, dehydratácia a úrazy pri pohybe

Na otvorených plochách bolo posúdené riziko tepelného stresu a dehydratácie. Na strmých, podmáčaných alebo rozrušených plochách bolo hodnotené riziko pošmyknutia, pádu a poranenia. Organizácia terénnych prác mala zohľadniť počasie, fyzickú náročnosť, dostupnosť spojenia a plán návratu.

12. Riziká pre návštevníkov a Lesnícky skanzen

V návštevníckych priestoroch bolo vykonané samostatné posúdenie expozície osôb. Návštevníci nemuseli poznať prevádzkový režim, alternatívne trasy ani mechanizmy jednotlivých nebezpečenstiev. Bolo preto potrebné zabezpečiť zrozumiteľné informovanie pri vstupe, aktuálne označenie uzáver, dostupnosť varovania a organizovaný postup pri evakuácii.

Riziko	Špecifický prejav v návštevníckom priestore	Požadované opatrenie
Pád stromu alebo konára	ohrozenie na chodníku, pri expozícii alebo odpočívadle	pravidelná bezpečnostná kontrola stromov a dočasné uzatvorenie úseku
Lesný požiar	dym, znížená viditeľnosť, zablokovanie hlavnej trasy	varovanie, alternatívny únikový smer, miesto zhromaždenia
Búrka a blesk	návštevníci na otvorenej ploche alebo pri izolovanom strome	prerušenie prevádzky a presun do bezpečného priestoru
Prívalový odtok	zaplavenie nízko položenej časti alebo poškodenie mostíka	kontrola po výstrahe a dočasné obmedzenie vstupu
Ťažba a odvoz dreva	stret s mechanizmom alebo vstup do pracoviska	fyzické oddelenie a koordinácia pohybu
Veľká šelma	nečakaný stret na menej frekventovanej trase	informovanie, čistota areálu a režim pohybu

Návštevníci tvorili osobitnú skupinu exponovaných osôb, pretože nemohli byť považovaní za osoby oboznámené s pracovným režimom lesa. Medzi návštevníkmi sa mohli nachádzať deti, seniori a osoby so zníženou mobilitou. Hodnotenie preto zohľadnilo nielen pravdepodobnosť udalosti, ale aj schopnosť návštevníka včas rozpoznať nebezpečenstvo, reagovať na pokyn a opustiť ohrozený priestor.

Za významné bolo považované oddelenie bežnej návštevníckej trasy od pracovísk ťažby a od lokalít s nestabilnými stromami. V prípade požiaru, búrky alebo prívalovej zrážky musel byť k dispozícii zrozumiteľný spôsob varovania a smerovanie k bezpečnému priestoru. Všeobecný zákaz vstupu bez informácie o alternatívnej trase alebo bezpečnom mieste mohol zvyšovať neistotu a viesť k neorganizovanému pohybu.

13. Riziká monitorovacej a technickej infraštruktúry

Monitorovacie zariadenia boli posúdené z hľadiska mechanického poškodenia, pádu stromu, požiaru, zaplavenia, poškodenia zverou, vandalizmu, výpadku napájania a straty komunikácie. Výpadok jedného zariadenia mohol spôsobiť medzeru v časovom rade a znížiť schopnosť interpretovať extrémnu udalosť.

Bolo odporúčané, aby boli zariadenia umiestnené mimo dopadovej zóny nestabilných stromov, mimo aktívneho pracoviska a mimo priamej odtokovej dráhy. Pre každý bod mal byť vedený servisný záznam, stav napájania, kvalita signálu, posledný prijatý údaj a fotodokumentácia okolitého stavu.

Monitorovacie zariadenie bolo hodnotené ako prvok, ktorého porucha mohla ovplyvniť nielen hodnotu jednotlivého merania, ale aj interpretáciu celého rizikového procesu. Dlhšia medzera v údajoch počas extrémnej udalosti mohla viesť k nesprávnemu záveru o jej priebehu. Preto bola súčasťou hodnotenia aj kontrola dátovej úplnosti, časovej synchronizácie a prevádzkovej dostupnosti.

Umiestnenie senzora muselo vyvažovať reprezentatívnosť merania a fyzickú bezpečnosť. Bod umiestnený priamo v najrizikovejšej dráhe mohol poskytovať relevantné údaje, ale zároveň mohol byť poškodený prúdom vody, sedimentom, padajúcim stromom alebo mechanizmom. Pri návrhu bola preto odporúčaná kombinácia exponovaného meracieho bodu a bezpečnejšieho referenčného bodu.

14. Priestorová diferenciácia rizík

Mikro-lokalita	Dominantné riziká	Exponované prvky	Výsledné hodnotenie
L1 Dolinné dno a koryto Vydrovského potoka	náhly vzostup vody, transport dreva a sedimentu, upchatie profilu, podmytie	tok, priepusty, mostné profily, komunikácie a návštevnícke objekty	vysoké až kritické pri kombinácii intenzívnej zrážky a prekážky
L2 Lesnícky skanzen a hlavné návštevnícke trasy	pád stromu, požiar, búrka, stret s technikou, veľká šelma, evakuácia	návštevníci, zamestnanci, objekty a chodníky	vysoké
L3 Aktívne pracoviská kalamitnej ťažby	pád stromu, zásah mechanizmom, odlet materiálu, hluk, obmedzený rozhľad	pracovníci, výskumníci a neoprávnené osoby	kritické
L4 Lesné cesty a približovacie linky	sústredený odtok, ryhová erózia, poškodenie povrchu, strata prejazdnosti	zásahová dostupnosť, technika a odvodnenie	vysoké

Mikro-lokalita	Dominantné riziká	Exponované prvky	Výsledné hodnotenie
L5 Odlesnené a obnovované kalamitné plochy	sucho, prehrievanie, plošná erózia, požiar, neúspešná obnova	pôda, obnova a biodiverzita	vysoké
L6 Strmé svahy a cestné zárezy	povrchová nestabilita, podmytie, padanie materiálu	komunikácie, osoby a zariadenia	stredné až vysoké
L7 Okraje zvyškových porastov	vetrové vývraty, zlomy, presychanie, požiar	stromy, trasy a monitorovacie body	vysoké
L8 Monitorovacie body	pád stromu, požiar, zaplavenie, vandalizmus, výpadok spojenia	senzory, napájanie a dátová kontinuita	stredné
L9 Priestor pripravovanej vodnej infraštruktúry	stavebné, prevádzkové a prístupové riziká	pracovníci, komunikácia, budúci zdroj vody	vyžadovalo samostatné projektové posúdenie

15. Kaskádové a domino scenáre

ID	Sekvencia	Priorita
K1	Kalamitné poškodenie → spracovanie kalamity → odkrytie pôdy → sústredený odtok → ryhová erózia → zanesenie priepustu → lokálne zaplavenie	vysoká priorita
K2	Dlhodobé sucho → pokles vlhkosti jemného paliva → vznik požiaru → strata vegetačného krytu → intenzívna zrážka → postpožiarna erózia	kritická sezónna priorita
K3	Vznik novej porastovej steny → silný vietor → vývraty → zablokovanie prístupovej cesty → oneskorenie zásahu	vysoká priorita
K4	Ťažba → poškodenie cesty → zníženie únosnosti a prejazdnosti → nemožnosť prístupu ťažkej techniky HaZZ	vysoká priorita
K5	Poškodenie malého retenčného prvku → bočné obtekanie → nová erózna ryha → poškodenie nižšie položeného úseku	stredná až vysoká priorita
K6	Regulácia vstupu → presun návštevníkov na alternatívnu	stredná priorita

ID	Sekvencia	Priorita
	trasu → zvýšená expozícia v menej kontrolovanej časti	
K7	Silný vietor → pád stromu na senzor → strata údajov počas extrémnej udalosti → obmedzené vyhodnotenie mechanizmu	stredná priorita

Kaskádové scenáre boli spracované preto, že následky primárnej udalosti mohli byť závažnejšie než jej bezprostredný účinok. Požiar napríklad nemusel zasiahnuť objekty skanzenu, ale odstránením vegetačného krytu mohol výrazne zvýšiť eróziu odozvu pri nasledujúcej zrážke. Rovnako veterná udalosť mohla mať hlavný následok nie v poškodení porastu, ale v zablokovaní jedinej prístupovej komunikácie.

Pri každom scenári bolo preto potrebné identifikovať bod, v ktorom bolo možné reťazec prerušiť. Takýmto bodom mohla byť údržba priepustu, prerušenie palivovej kontinuity, odstránenie nebezpečného stromu pri trase alebo včasné uzavretie ohrozeného priestoru.

16. Súhrnná matica rizík

ID	Riziko	Pravdepodobnosť	Následok	Riziko	Úroveň
R1	stret osoby s lesným mechanizmom	5	5	25	kritické
R2	pád ťaženého alebo poškodeného stromu	4	5	20	kritické
R3	lesný požiar počas suchého a veterného obdobia	4	5	20	kritické
R4	náhly vzostup vody pri upchatí prietochného profilu	4	5	20	kritické
R5	sústredený odtok a ryhová erózia na lesnej ceste	4	4	16	vysoké
R6	plošná erózia odkrytej pôdy	4	4	16	vysoké
R7	veterné vývraty na porastových okrajoch	4	4	16	vysoké

ID	Riziko	Pravdepodobnosť	Následok	Riziko	Úroveň
R8	dlhodobé sucho a zlyhanie obnovy	4	4	16	vysoké
R9	lokálna plytká svahová deformácia	3	4	12	vysoké
R10	búrka, blesk a nárazový vietor	3	4	12	vysoké
R11	stret s medveďom hnedým	3	4	12	vysoké
R12	obmedzenie zásahovej dostupnosti	3	4	12	vysoké
R13	poškodenie prírode blízkeho opatrenia	3	3	9	stredné
R14	výpadok monitorovacieho bodu	3	3	9	stredné
R15	snehová a námrazová kalamita	3	3	9	stredné
R16	kliešte a vektorové ochorenia	4	2	8	stredné

17. Návrh opatrení

17.1. Organizačné opatrenia

- Pred každým terénnym výjazdom bol odporučený kontakt so správcom územia a overenie aktuálneho režimu vstupu, harmonogramu ťažby a prejazdnosti komunikácií.
- Aktívne pracoviská mali byť označené a fyzicky oddelené od návštevníckych trás.
- Pre návštevnícke priestory mal byť pripravený postup varovania, evakuácie a kontroly úplnosti osôb.
- Terénne tímy mali pracovať minimálne vo dvojici, s dostupným komunikačným prostriedkom, plánom trasy a časom návratu.
- Po významnej zrážke, silnom vetre, požiari alebo snehovej udalosti mala byť vykonaná mimoriadna kontrola kritických lokalít.

17.2. Hydrologické a protierózne opatrenia

- Bolo odporučené prerušiť dlhé dráhy sústredeného odtoku na lesných cestách priečnymi rozptyľovacími prvkami.
- Výuste mali byť vedené na stabilnú vegetovanú plochu alebo na kamenno-vegetačný energetický tlmič.
- V drobných erózných ryhách boli navrhnuté nízke dreveno-kamenné prehrádzky s kontrolovaným prepadom a ochranou päty.
- Na odkrytých svahoch boli navrhnuté vegetačné protierózne pásy, biologicky rozložiteľné rohože a bioinžinierske stabilizačné prvky.
- Prieputy, priekopy a kritické profily mali byť pravidelne čistené a kontrolované pred obdobím intenzívnych zrážok.

17.3. Protipožiarne opatrenia

- Bolo odporučené udržiavať zásahové a obslužné trasy bez nepriechodných vývratov a nadmernej akumulácie jemného paliva.
- Manažment paliva mal byť vykonaný mozaikovo, so zachovaním ekologicky hodnotného hrubého dreva mimo kritických koridorov.
- Počas obdobia zvýšeného požiarneho nebezpečenstva mala byť posilnená kontrola zdrojov zapálenia a informovanie návštevníkov.
- Dostupnosť vody na hasenie mala byť posudzovaná podľa skutočne prevádzkyschopných zdrojov; pripravovaná nádrž mala byť zahrnutá až po uvedení do prevádzky.
- Pre prípad požiaru mal byť pripravený postpožiarny protierózny postup.

17.4. Biologické a zdravotné opatrenia

- Pohyb v menej prehľadných častiach mal byť vykonaný v skupine a s primeraným upozornením na prítomnosť človeka.
- V areáli a počas terénnych prác nemali byť ponechávané potraviny alebo biologický odpad dostupný zveru.
- Terénni pracovníci mali byť vybavení vhodným odevom, repelentom, lekárničkou a dostatočnou zásobou vody.
- Po návrate z terénu mala byť vykonaná kontrola prítomnosti kliešťov a záznam prípadného poranenia alebo kontaktu so zverou.

17.5. Opatrenia na ochranu monitoringu

- Monitorovacie body mali byť umiestnené mimo aktívnych pracovísk, dopadových zón stromov a priamych odtokových dráh.
- Bol odporučený diaľkový dohľad nad napájaním, kvalitou signálu a kontinuitou údajov.
- Pre každý bod mala byť vedená servisná karta a fotodokumentácia.
- Konfigurácia a prístupové údaje mali byť spravované bezpečne a nemali byť zverejnené v správe.

18. Monitorovací plán

Oblasť	Ukazovateľ	Frekvencia
Povrchový odtok	zrážková intenzita, pôdna vlhkosť, fotodokumentácia odtokových dráh	kontinuálne; kontrola po významnej zrážke
Erózia	šírka a hĺbka ryhy, odkrytá plocha, objem alebo výška sedimentu	sezónne a po extrémnej udalosti
Svahová nestabilita	trhliny, vývery, posun, podmytie, zmena profilu	štvrt'ročne; bezodkladne po zistení prejavu
Sucho	pôdna vlhkosť vo viacerých hĺbkach, počet dní bez zrážok, vitalita obnovy	kontinuálne; mesačné vyhodnotenie
Požiarné podmienky	teplota, relatívna vlhkosť, vietor, stav jemného paliva	kontinuálne; sezónne vyhodnotenie
Veterné riziko	nárazy vetra, nové vývraty, stav porastových okrajov	po silnom vetre a sezónne
Priechodnosť ciest	koľaje, vývraty, priepustnosť, únosnosť a poškodenie	mesačne a po ťažbe alebo extrémne
Návštevnícke riziko	uzávery, označenie, evakuačné trasy a bezpečnostný stav stromov	pred otvorením a po udalosti
Monitorovacie body	napájanie, signál, posledný údaj, fyzické poškodenie	dial'kovo denne; fyzicky podľa servisného plánu

19. Legislatívny rámec

Hodnotenie bolo vykonané v súlade s vecným rámcom právnych predpisov Slovenskej republiky. Pri aplikácii konkrétneho opatrenia bolo potrebné overiť aktuálne účinné znenie a príslušnosť orgánov a správcov.

Oblasť	Právny predpis	Väzba na hodnotenie
Ochrana pred povodňami	zákon č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami	opatrenia na ochranu pred povodňami, hodnotenie a manažment povodňových rizík
Ochrana pred požiarmi	zákon č. 314/2001 Z. z. o ochrane pred požiarmi	ochrana života, zdravia, majetku a životného prostredia pred požiarmi
Civilná ochrana	zákon č. 42/1994 Z. z. o civilnej ochrane obyvateľstva	ochrana osôb a majetku pred následkami mimoriadnych udalostí, varovanie a evakuácia

Oblasť	Právny predpis	Väzba na hodnotenie
Lesné hospodárstvo	zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch	ochrana a obhospodarovanie lesov, využívanie lesov verejnosťou a obmedzenie vstupu
Ochrana prírody	zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny	ochrana druhov, biotopov a zásahy v chránenom území
Posudzovanie vplyvov	zákon č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie	posudzovanie pripravovaných stavieb a činností
BOZP	zákon č. 124/2006 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci	organizácia bezpečnej práce a ochrana terénnych pracovníkov
Vodné hospodárstvo	zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách	nakladanie s vodami, vodné stavby a ochrana vodných pomerov

20. Reziduálne riziko a obmedzenia posúdenia

Po realizácii navrhovaných opatrení zostávalo reziduálne riziko. Malé hydrologické a protierózne prvky nemohli garantovať bezpečnosť pri každej extrémnej zrážke. Vegetačné opatrenia potrebovali čas na vytvorenie funkčného krytu a počas sucha mohli zlyhať. Ani udržiavaná zásahová trasa nemohla úplne vylúčiť jej dočasné zablokovanie vývratom.

Posúdenie bolo obmedzené dostupnosťou dlhých časových radov, presných údajov o pôdnych a geotechnických vlastnostiach, hydrologických parametroch toku, kapacite jednotlivých profilov a konečných parametroch pripravovanej vodnej infraštruktúry. Z toho dôvodu neboli uvádzané nepodložené hodnoty koeficientu odtoku, hraničnej intenzity zrážky, stability svahov alebo počtu podkôrneho hmyzu.

Pre lokality s prejavmi svahovej deformácie bolo potrebné vykonať geotechnické posúdenie. Pre návrh kapacity priepustov, retenčných objektov alebo vodnej nádrže bolo potrebné hydrologické a vodohospodárske posúdenie. Pre plánovanie zásahu a zdrojov vody bolo potrebné samostatné posúdenie požiarnej bezpečnosti a operačnej dostupnosti.

Reziduálne riziko bolo chápané ako riziko zostávajúce po realizácii primeraných opatrení. Nebolo možné ho znížiť na nulovú hodnotu, pretože extrémna udalosť mohla prekročiť návrhové alebo prevádzkové podmienky opatrenia. Dreveno-kamenný prvok mohol byť poškodený, cesta mohla byť zablokovaná novým vývratom a vegetačné opatrenie mohlo počas dlhého sucha zlyhať.

Obmedzenia posúdenia neboli uvedené ako formálna výhrada, ale ako hranica použiteľnosti výsledkov. Správa poskytla rámec na určenie priorít a monitoringu. Neposkytla návrhové prietoky, geotechnické parametre, statiku jednotlivých stromov ani predikciu času šírenia požiaru. Tam, kde rozhodnutie záviselo od takýchto údajov, bolo odporúčané spracovať samostatný odborný podklad.

Záver

Komplexné posúdenie preukázalo, že rizikový profil Vydrovskej doliny bol výsledkom súbežného pôsobenia prírodných procesov a antropogénnych zásahov. Kalamitné poškodenie a následné spracovanie dreva zmenili podmienky odtoku, erózie, mikroklimy, stability porastových okrajov a šírenia požiaru. Súčasne vznikli významné prevádzkovo-bezpečnostné riziká pre pracovníkov, výskumné tímy a návštevníkov.

Najvyššia priorita bola priradená riziku stretu osoby s mechanizmom, pádu stromu, lesného požiaru a náhleho lokálneho zaplavenia pri kombinácii intenzívnej zrážky a obmedzenej kapacity profilu. Vysoká priorita bola priradená erózii lesných ciest a kalamitných plôch, veterným vývratom, dlhodobému suchu, zhoršeniu obnovy a obmedzeniu zásahovej dostupnosti.

Ako najúčinnější bol vyhodnotený kombinovaný prístup. Zahŕňal reguláciu vstupu, koordináciu s ťažbou, zachovanie prejazdnosti, priečne rozptýlenie odtoku, stabilizáciu výustí a erózných rýh, obnovu vegetačného krytu, mozaikový manažment paliva, kontinuálny monitoring a pravidelnú kontrolu po extrémnych udalostiach.

Výskumná správa vytvorila podklad pre lokalizáciu monitorovacích bodov, výber prírode blízkych opatrení a aktualizáciu registra rizík. Hodnotenie malo byť aktualizované po ukončení významnej etapy kalamitnej ťažby, po uvedení protipožiarnej vodnej infraštruktúry do prevádzky, po získaní dlhšieho časového radu IoT meraní a po opakovanom UAV mapovaní.

Príloha A Register rizík

ID	Lokalita	Nebezpečný jav	Spúšťacie podmienky	Exponovaný prvok	Úroveň	Navrhované opatrenie	Termín kontroly

Príloha B Karta rizikovej lokality

Položka	Záznam
Identifikátor lokality	
Názov / funkčná kategória	
Súradnice / mapový polygón	
Dátum obhliadky	
Zodpovedná osoba	
Dominantný nebezpečný proces	
Sekundárne procesy	
Exponované osoby a objekty	
Terénne prejavy	
Zdroj údajov	
Pravdepodobnosť (1–5)	
Následok (1–5)	
Výsledné skóre	
Navrhované opatrenie	
Spôsob monitorovania	
Termín následnej kontroly	

Príloha C Kontrolný list po extrémnej udalosti

Kontrolovaná položka	Zistenie	Opatrenie	Termín
priechodnosť hlavnej prístupovej cesty			
stav priepustov a priekop			
stav výustí a rozptyľovacích plôch			
nové erózne ryhy alebo podmytie			
stav malých prehrádzok a stabilizačných prvkov			
vývraty a zlomy pri trasách			
stav monitorovacích bodov			
stav návštevníckych trás a označenia			
fotodokumentácia a mapová lokalizácia			