

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
DREVÁRSKA FAKULTA

Andrea Majlingová – Radovan Hilbert

METODICKÉ, TECHNOLOGICKÉ A APLIKAČNÉ ASPEKTY ZVYŠOVANIA ODOLNOSTI LESNÝCH PORASTOV PROSTREDNÍCTVOM PRÍRODE BLÍZKYCH RIEŠENÍ V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

Odborná knižná publikácia

Zvolen 2026



Táto publikácia vznikla v rámci realizácie projektu STAND_TECH_SOL – Štandardizácia technických a technologických riešení pre implementáciu prírode blízkych opatrení v lesnom prostredí, realizovaného ako Matching grant k projektu Horizon Europe NATURE-DEMO. Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR v rámci projektu č. 09I01-03-V04-00088.

Autor:

prof. Mgr. Ing. Andrea Majlingová, PhD et PhD., MSc. Technická univerzita vo Zvolene

RNDr. Radovan Hilbert, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

**METODICKÉ, TECHNOLOGICKÉ A APLIKAČNÉ ASPEKTY ZVYŠOVANIA
ODOLNOSTI LESNÝCH PORASTOV PROSTREDNÍCTVOM PRÍRODE BLÍZKYCH
RIEŠENÍ V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY**

Odborná knižná publikácia

Recenzenti:

doc. Ing. Martin Lieskovský, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

Ing. Maroš Sedliak, PhD.

Národné lesnícke centrum

I. – 2026, 203 s. (15,34 AH)

Forma dokumentu: elektronická (online PDF)

Vydavateľstvo: Technická univerzita vo Zvolene

Design: prof. Mgr. Ing. Andrea Majlingová, PhD. et PhD., MSc.

Schválené rektorom Technickej univerzity vo Zvolene číslo EP 93/2026 ako odborná knižná publikácia.

© Technická univerzita vo Zvolene

© prof. Mgr. Ing. Andrea Majlingová, PhD. et PhD., MSc.

Rukopis neprešiel jazykovou korektúrou. Za odbornú a jazykovú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti.

ISBN 978-80-228-3540-4

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľstva.



Financované
Európskou úniou
NextGenerationEU

PLÁN [OBNOVY]



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Drevárska fakulta

Andrea MAJLINGOVÁ – Radovan HILBERT

**METODICKÉ, TECHNOLOGICKÉ A APLIKAČNÉ
ASPEKTY ZVYŠOVANIA ODOLNOSTI LESNÝCH
PORASTOV PROSTREDNÍCTVOM PRÍRODE BLÍZKYCH
RIEŠENÍ V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY**

Odborná knižná publikácia

Zvolen 2026

OBSAH

Predhovor.....	6
Zoznam skratiek a značiek.....	8
1. Úvod.....	10
2. Súčasný stav riešenej problematiky	13
2.1. Klimatická zmena a jej vplyv na lesné ekosystémy	13
2.2. Disturbančné procesy v lesnom prostredí	17
2.3. Odolnosť, zraniteľnosť a reziliencia lesných porastov	22
2.4. Koncepcia prírode blízkyh riešení.....	27
3. Metodické prístupy k hodnoteniu odolnosti lesných porastov	31
3.1. Identifikácia a klasifikácia rizík	31
3.2. Hodnotenie zraniteľnosti a reziliencie.....	36
3.3. Terénny prieskum a dokumentácia východiskového stavu.....	39
3.4. Geoinformačné nástroje a metódy diaľkového prieskumu Zeme	42
3.5. Kontinuálny environmentálny monitoring	47
4. Typológia prírode blízkyh riešení v lesnom prostredí.....	52
4.1. Opatrenia na zadržiavanie vody	52
4.2. Protierózne opatrenia.....	56
4.3. Stabilizačné a bioinžinierske opatrenia	60
4.4. Opatrenia na lesných cestách a približovacích linkách	64
4.5. Pestovné a obnovné opatrenia	68
4.6. Opatrenia na znižovanie požiarneho rizika	73
5. Návrh a technické riešenie prírode blízkyh riešení	79
5.1. Kritériá výberu vhodného riešenia	79
5.2. Zásady lokalizácie opatrení.....	83
5.3. Materiálové riešenie	87
5.4. Konštrukčné a rozmerové zásady.....	91
5.5. Technologický postup realizácie	96
6. Prírode blízke riešenia v experimentálnom území Vydrovo	100
6.1. Charakteristika experimentálneho územia.....	100
6.2. Východiskový stav územia	104
6.3. Výber vhodných opatrení.....	107
6.4. Technické riešenie navrhovaných opatrení.....	111

6.5. Technická dokumentácia	117
7. Monitoring a hodnotenie účinnosti riešení.....	121
7.1. Návrh monitorovacieho systému	121
7.2. Meteorologický monitoring	124
7.3. Monitoring pôdnych podmienok	127
7.4. Bezpilotný letecký monitoring.....	130
7.5. Hodnotenie technickej účinnosti.....	132
7.6. Prevádzková validácia	135
8. Ekonomické a prevádzkové aspekty	137
8.1. Nákladové položky.....	137
8.2. Hodnotenie ekonomickej efektívnosti.....	140
8.3. Porovnanie prírode blízkych a konvenčných riešení.....	142
8.4. Udržateľnosť a správa opatrení.....	145
9. Aplikčné možnosti a odporúčania pre prax	147
9.1. Odporúčania pre vlastníkov a obhospodarovateľov lesov	148
9.2. Odporúčania pre orgány verejnej správy	150
9.3. Využitie v krízovom riadení a civilnej ochrane	153
9.4. Využitie pri manažmente lesných požiarov	156
9.5. Využitie vo vzdelávaní a odbornej príprave	159
9.6. Prenositel'nosť riešení do ďalších území	161
10. Syntéza poznatkov, limity a perspektívy rozvoja.....	166
10.1. Syntéza prínosov a limitov prírode blízkych opatrení	167
10.2. Neistoty a limity hodnotenia účinnosti opatrení	171
10.3. Otvorené otázky a perspektívy ďalšieho výskumu	175
11. Záver.....	181
12. Zoznam použitej literatúry	185
13. Terminologický slovník	196
14. Register pojmov	202

Predhovor

Táto monografia vznikla z potreby spojiť do jedného odborného rámca otázky, ktoré sa pri hodnotení odolnosti lesných porastov často riešia oddelene. Klimatická zmena mení podmienky, v ktorých sa lesné ekosystémy vyvíjajú a obhospodarujú. Dlhšie obdobia sucha sa striedajú s privalovými zrážkami, narastá význam erózných a svahových procesov a v mnohých lokalitách sa zvyšuje citlivosť vegetácie na vznik a šírenie požiaru. Tieto javy sa v území prekrývajú a ovplyvňujú nielen samotný porast, ale aj lesnú dopravnú sieť, vodohospodárske prvky a technickú infraštruktúru. Európske hodnotenie klimatických rizík upozorňuje, že viaceré riziká pre ekosystémy, vodné zdroje a infraštruktúru už dosiahli závažnú úroveň (European Environment Agency, 2024).

Práve skúsenosť s takto previazanými problémami bola dôvodom, prečo sme pri koncipovaní publikácie nechceli zostať pri všeobecnom opise prírode blízkyh riešení. Samotné pomenovanie opatrenia ešte nevypovedá o jeho vhodnosti pre konkrétnu lokalitu. Rozhodujúce je, na aký problém reaguje, aké prírodné a prevádzkové podmienky musí rešpektovať, ako bude technicky navrhnuté a podľa čoho sa bude posudzovať jeho účinnosť. Európske vymedzenie prírode blízkyh riešení pritom zdôrazňuje miestne prispôsobenie, systémový prístup a súbežné environmentálne, sociálne a ekonomické prínosy (European Commission, 2025a).

Monografia preto pracuje s prírode blízkyh riešeniami ako s nástrojmi manažmentu územia, nie ako s izolovanými technickými prvkami. Východiskom je identifikácia rizík a zraniteľnosti, terénny prieskum a dokumentácia východiskového stavu. Na tieto kroky nadväzuje využitie geoinformačných metód, vrátane diaľkového prieskumu Zeme a kontinuálneho environmentálneho monitoringu. Až na základe takto získaných informácií má zmysel rozhodovať o type opatrenia, jeho lokalizácii, materiálovom a konštrukčnom riešení či technologickom postupe. Rovnakú váhu prikladáme následnému hodnoteniu funkčnosti. Pri opatreniach súvisiacich s požiarnou odolnosťou je miestne prispôsobenie obzvlášť dôležité (European Environment Agency, 2025).

Osobitné miesto v publikácii má experimentálne územie Vydrovo. Nie je zaradené len ako ilustračný príklad na záver teoretickej časti, ale ako priestor, v ktorom možno metodický postup preverovať v konkrétnych podmienkach. Výber opatrení je tu spojený s poznaním reliéfu, pôdných a hydrologických pomerov, vegetácie a prístupnosti územia. Návrh riešení pokračuje technickou dokumentáciou a monitorovaním meteorologických a pôdných podmienok, ako aj bezpilotným leteckým monitoringom. Takéto prepojenie umožňuje sledovať rozdiel medzi predpokladaným účinkom opatrenia a jeho skutočným správaním v teréne.

Publikácia vznikla v rámci projektu STAND_TECH_SOL – *Štandardizácia technických a technologických riešení pre implementáciu prírode blízkyh opatrení v lesnom prostredí*, realizovaného ako Matching grant k projektu Horizon Europe NATURE-DEMO. Projekt NATURE-DEMO vytvára a overuje prírode blízke riešenia na zvyšovanie klimatickej odolnosti kritickej infraštruktúry v reálnych demonštračných lokalitách (CORDIS, 2026). Monografia však nie je projektovou správou. Jej cieľom je usporiadať metodické, technické a aplikačné

poznatky do podoby použiteľnej aj mimo riešených projektov, pričom prenos riešenia do iného územia musí vždy vychádzať z jeho vlastných podmienok.

Text je určený vlastníkom a obhospodarovateľom lesov, projektantom a odborníkom pôsobiacim v oblasti ochrany pôdy a vody, lesnej dopravnej siete, geoinformatiky, monitoringu, požiarnej ochrany, krízového riadenia a civilnej ochrany. Využitelný je aj vo vysokoškolskom vzdelávaní. Ambíciou autorov nie je predložiť univerzálny návod použiteľný bez zmeny v každom lesnom území. Za podstatné považujeme, aby návrh opatrenia vychádzal z poznania lokality, bol technicky zdôvodnený a jeho účinok bolo možné následne overiť. Spojenie terénneho pozorovania, merateľného údajov, technického návrhu a dlhodobej funkcie opatrenia považujeme za základ zvyšovania odolnosti lesných porastov v podmienkach klimatickej zmeny.

Zoznam skratiek a značiek

Skratka / značka	Význam
3D	Trojrozmerný; trojrozmerné údaje alebo záznam
ALS	Airborne Laser Scanning – letecké laserové skenovanie
BCR	Benefit–Cost Ratio – pomer prínosov a nákladov
BMP	Best Management Practices – osvedčené postupy obhospodarovania, najmä na ochranu pôdy a vody
CE	Cost Effectiveness – nákladová efektívnosť; ukazovateľ nákladovej efektívnosti
CO ₂	oxid uhličitý
CORDIS	Community Research and Development Information Service – informačný portál Európskej únie pre výskumné a inovačné projekty
DMT	digitálny model terénu; v rukopise sa používa aj anglická skratka DTM
DPZ	dialľkový prieskum Zeme
DSS	Decision Support System – systém podpory rozhodovania
DTM	Digital Terrain Model – digitálny model terénu; anglická skratka
EEA	European Environment Agency – Európska environmentálna agentúra
ESA	European Space Agency – Európska vesmírna agentúra
EU	European Union – Európska únia
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations – Organizácia Spojených národov pre výživu a poľnohospodárstvo
GIS	Geographic Information System – geografický informačný systém
GNSS	Global Navigation Satellite System – globálny navigačný satelitný systém
HLS	Harmonized Landsat and Sentinel-2 – harmonizované údaje Landsat a Sentinel-2
ICP Forests	International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests – Medzinárodný kooperatívny program hodnotenia a monitorovania vplyvu znečistenia ovzdušia na lesy
ID	identifikátor; identifikačný kód objektu, lokality, fotografie alebo prvku
IEC	International Electrotechnical Commission – Medzinárodná elektrotechnická komisia
IoT	Internet of Things – internet vecí
ISO	International Organization for Standardization – Medzinárodná organizácia pre normalizáciu
IUCN	International Union for Conservation of Nature – Medzinárodná únia na ochranu prírody
LiDAR	Light Detection and Ranging – technológia laserového skenovania a merania vzdialenosti
NATURE-DEMO	Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure – projekt Horizon Europe
NbS	Nature-based Solutions – prírode blízke riešenia
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index – normalizovaný diferenčný vegetačný index

NPV	Net Present Value – čistá súčasná hodnota
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development – Organizácia pre hospodársku spoluprácu a rozvoj
QA/QC	Quality Assurance / Quality Control – zabezpečenie kvality / kontrola kvality
RGB	Red–Green–Blue – červený, zelený a modrý farebný kanál
SAR	Synthetic Aperture Radar – radar so syntetickou apertúrou
SR	Slovenská republika
STAND_Tech_SOL	Štandardizácia technických a technologických riešení pre implementáciu prírode blízkyh opatrení v lesnom prostredí
UAV	Unmanned Aerial Vehicle(s) – bezpilotný letecký prostriedok / bezpilotné letecké prostriedky
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction – Úrad OSN pre znižovanie rizika katastrof
UNEA	United Nations Environment Assembly – Environmentálne zhromaždenie OSN
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe – Európska hospodárska komisia OSN
UTC	Coordinated Universal Time – koordinovaný svetový čas
WMO	World Meteorological Organization – Svetová meteorologická organizácia
B_t	prínosy v roku t
C_t	náklady v roku t
E	index zníženia sledovaného indikátora; $E = 1 - X_t/X_0$
r	diskontná miera
t	časový index; rok hodnotenia
T	hodnotený časový horizont
X_0	referenčná hodnota indikátora
X_t	hodnota indikátora po realizácii opatrenia alebo po udalosti
$X_{op,0}$	hodnota indikátora na ošetrenej ploche vo východiskovom stave
$X_{op,1}$	hodnota indikátora na ošetrenej ploche po realizácii alebo v následnom hodnotenom stave
$X_{ref,0}$	hodnota indikátora na referenčnej ploche vo východiskovom stave
$X_{ref,1}$	hodnota indikátora na referenčnej ploche v následnom hodnotenom stave
Δ	rozdiel zmien medzi ošetrovanou a referenčnou plochou
Σ	sumačný operátor; súčet hodnôt za hodnotené obdobie

1. Úvod

Riadenie lesného prostredia v podmienkach meniacej sa klímy sa čoraz menej dá založiť na oddelenom riešení jednotlivých škodlivých činiteľov alebo na obnove územia až po vzniku poškodenia. Lesný porast, pôda, vodný režim, svahové procesy, dopravná sieť a ďalšie prvky využívané pri obhospodarovaní lesa tvoria navzájom previazaný systém. Zmena jednej z jeho zložiek sa môže prejaviť v inej časti územia a účinok jedného disturbančného procesu môže vytvoriť podmienky pre ďalšie. Európske hodnotenie klimatických rizík preto neposudzuje riziká pre ekosystémy, vodné zdroje a infraštruktúru ako okrajové alebo navzájom nezávislé problémy. Viaceré z nich už dosahujú závažnú úroveň a pri nepriaznivom vývoji sa môžu ďalej zosilňovať (European Environment Agency, 2024).

Lesy pritom zostávajú priestorom, od ktorého sa súčasne očakáva produkčná, ekologická, vodohospodárska, pôdoochranná, klimatická aj spoločenská funkcia. Takéto súbežné požiadavky zvyšujú nároky na rozhodovanie o zásahoch do územia. Aktuálny prehľad stavu európskych lesov vychádza z harmonizovaných údajov jednotlivých krajín a z ukazovateľov trvalo udržateľného obhospodarovania; jeho význam spočíva aj v tom, že stav lesa nemožno hodnotiť iba podľa výmery alebo produkcie dreva, ale v širšom súbore charakteristík jeho kondície, využívania a schopnosti dlhodobo poskytovať požadované funkcie (FOREST EUROPE, 2026). Pre návrh adaptačných opatrení z toho vyplýva potreba pracovať s územím ako s funkčným celkom a zároveň rešpektovať miestne rozdiely, ktoré rozhodujú o skutočnom účinku zásahu.

Jednou z možností, ako túto požiadavku preniesť do praxe, sú prírode blízke riešenia alebo opatrenia. V európskom výskumnom a inovačnom rámci sa chápu ako lokálne prispôbosené a systémové zásahy inšpirované a podporované prírodnými procesmi, ktoré majú popri riešení konkrétneho problému prinášať environmentálne, sociálne a ekonomické prínosy a podporovať biodiverzitu a ekosystémové služby (European Commission, 2025a). Takéto vymedzenie je podstatné aj pre lesné prostredie. Prírode blízke riešenie nemožno stotožniť s každým opatrením využívajúcim vegetáciu, drevo, kameň alebo iný prírodný materiál. Rozhodujúca je väzba medzi identifikovaným problémom, ekologickými procesmi, technickým návrhom a overiteľným účinkom. Vývoj výskumu prírode blízkych riešení zároveň ukazuje, že dôkazová základňa je nerovnomerná a že popri klimatickej adaptácii a biodiverzite zostáva potrebné presnejšie hodnotiť ďalšie spoločenské, ekonomické a prevádzkové prínosy (Dunlop *et al.*, 2024).

V lesoch sa táto požiadavka premieta do veľmi praktických rozhodnutí. Pred realizáciou opatrenia treba vedieť, či je problém viazaný predovšetkým na odtok vody, eróziu, nestabilitu svahu, poškodenie lesnej cesty, stav vegetácie, zvýšené požiarne nebezpečenstvo alebo na súbeh viacerých procesov. Nasleduje otázka umiestnenia zásahu, jeho priestorových parametrov, materiálového a konštrukčného riešenia, spôsobu realizácie a údržby. Až následne možno posudzovať, či opatrenie zmenilo sledovaný proces požadovaným smerom. Pri lesných disturbanciách, vrátane požiarov a biotických činiteľov, sa preto v súčasných prístupoch

k prírode blízky riešeniam zdôrazňuje kombinácia prevencie, adaptácie, obnovy a priebežného hodnotenia účinnosti v konkrétnom územnom kontexte (Keesstra *et al.*, 2024).

Predmetom monografie sú metodické, technologické a aplikačné aspekty zvyšovania odolnosti lesných porastov prostredníctvom prírode blízky riešení v podmienkach klimate zmeny. Jej cieľom je vytvoriť ucelenú väzbu medzi poznaním východiskového stavu územia, identifikáciou rizík, výberom vhodného typu zásahu, jeho technickým návrhom, realizáciou

a následným overovaním účinku. Pozornosť sa preto nesústreďuje iba na opis jednotlivých opatrení. Rovnako dôležitá je postupnosť rozhodovacích krokov a určenie údajov, bez ktorých nemožno návrh technicky zdôvodniť alebo jeho výsledok neskôr vyhodnotiť.

Rozsah publikácie je zámerne orientovaný na problémy, pri ktorých možno prírodné procesy cielene využiť pri ochrane a stabilizácii lesného územia. Zahŕňa hospodárenie s vodou, obmedzovanie erózie, stabilizáciu svahov, úpravy na lesných cestách a približovacích linkách, pestovné a obnovné zásahy a opatrenia súvisiace so znižovaním požiarneho rizika. Tieto skupiny nie sú chápané ako samostatné katalógy riešení. V teréne sa často kombinujú, pretože príčina poškodenia a miesto, kde sa jeho následok prejaví, nemusia byť totožné. Z tohto dôvodu sa

v monografii spája terénne zisťovanie s geopriestorovou analýzou, diaľkovým prieskumom Zeme, environmentálnym monitoringom a technickým posudzovaním navrhovaných zásahov.

Metodická časť publikácie vychádza zo syntézy overených odborných poznatkov a z ich prevodu do postupov použiteľných pri konkrétnom území. Terénny prieskum slúži na dokumentovanie východiskového stavu a na overenie údajov, ktoré nemožno spoľahlivo odvodiť iba z dostupných databáz. Geoinformačné nástroje, vrátane metód diaľkového prieskumu Zeme umožňujú priestorovo prepájať reliéf, vegetáciu, vodný režim, infraštruktúru a ďalšie vrstvy potrebné pri lokalizácii opatrení. Kontinuálny monitoring dopĺňa jednorazové zisťovanie o časový rozmer a poskytuje podklady na hodnotenie reakcie územia na meniace sa meteorologické a pôdne podmienky. Technický návrh následne pracuje s parametrami, ktoré sú rozhodujúce pre realizovateľnosť a funkčnosť opatrenia, nie iba pre jeho formálne zaradenie do určitého typu.

Rovnako dôležité je od začiatku určiť, podľa čoho bude možné účinok opatrenia posúdiť. Pri zásahu do vodného režimu môže ísť o zmenu odtoku alebo retenčnej schopnosti, pri protieróznom opatrení o stabilitu povrchu a transport materiálu, pri vegetačných zásahoch o vývoj štruktúry porastu a pri opatreniach súvisiacich s lesnými požiarimi o charakteristiky paliva a podmienky šírenia požiaru. Hodnotenie sa preto nemôže opierať iba o vizuálny stav bezprostredne po realizácii. Potrebuje porovnateľný východiskový stav, zvolený súbor ukazovateľov a dostatočne dlhé pozorovanie na zachytenie reakcie na rozdielne meteorologické situácie. Monografia v tomto smere pracuje s monitoringom ako so súčasťou návrhu opatrenia, nie ako s dodatočnou aktivitou vykonanou až po jeho dokončení.

Takto formulovaný postup sa konkretizuje na experimentálnom území Vydrovo. Územie slúži na prepojenie diagnostiky, návrhu, realizačnej dokumentácie a monitorovania v jednom pracovnom rámci. Jeho úlohou v monografii nie je predstavovať jediný model správneho

riešenia, ale ukázať, ktoré vstupné údaje a rozhodnutia sa pri prenose všeobecných princípov do konkrétneho lesného prostredia stávajú podstatnými. Rovnaký význam má následné hodnotenie prevádzkovej a ekonomickej stránky opatrení, pretože dlhodobá funkcia riešenia závisí aj od možnosti kontroly, údržby, obnovy alebo úpravy po zistení nedostatočného účinku.

Štruktúra monografie zodpovedá tejto logike. Prvá kapitola poskytuje úvod do problematiky. Druhá kapitola vytvára pojmové a odborné východisko pre klimatickú zmenu, disturbančné procesy, odolnosť lesných porastov a koncepciu prírode blízkych riešení. Tretia kapitola rozpracúva postupy hodnotenia rizík a zraniteľnosti, terénneho prieskumu, geoinformačného spracovania, diaľkového prieskumu Zeme a kontinuálneho monitoringu. Štvrtá kapitola systematizuje typy opatrení podľa problémov, na ktoré reagujú. Piata sa sústreďuje na ich výber, lokalizáciu, materiálové a konštrukčné zásady a technologický postup realizácie. Šiesta a siedma kapitola prepájajú navrhované postupy s experimentálnym územím a s hodnotením účinnosti. Ôsma kapitola dopĺňa ekonomické a prevádzkové hľadisko, deviata rozoberá možnosti uplatnenia výsledkov v lesníckej praxi, verejnej správe, krízovom riadení, civilnej ochrane, manažmente lesných požiarov a vo vzdelávaní. Desiata kapitola poskytuje syntézu poznatkov, hodnotí limity a popisuje možnosti rozvoja navrhovaného prístupu.

Pracovným princípom celej publikácie je sledovateľnosť rozhodnutia od identifikovaného problému po výsledok, ktorý možno v území overiť. Prírode blízke riešenia majú význam vtedy, keď ich ekologický princíp zostáva zachovaný aj pri technickom návrhu a keď sú parametre realizácie odvodené z podmienok lokality. Monografia preto nekladie dôraz na množstvo možných zásahov, ale na kvalitu procesu, ktorým sa z dostupných údajov dospeje k výberu opatrenia, jeho technickému riešeniu a následnému hodnoteniu. Takýto prístup vytvára predpoklad, aby sa prírode blízke opatrenia nestali iba formálnou súčasťou adaptačných stratégií, ale overiteľným nástrojom zvyšovania odolnosti lesného prostredia.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Súčasný stav poznania o odolnosti lesných porastov nemožno postaviť na jednoduchú postupnosť „zmena klímy → poškodenie lesa → adaptačné opatrenie“. Lesný porast reaguje na klimatické podmienky cez vlastnosti stanovišťa, druhové a vekové zloženie, predchádzajúce zásahy aj históriu disturbancií. Rovnaký klimatický impulz preto môže viesť k rozdielnej odozve porastov, a naopak, podobný prejav poškodenia môže mať viac príčin. Pre odborné posúdenie je podstatné oddeliť klimatický alebo iný hnací faktor, konkrétny disturbančný proces, expozíciu porastu a jeho vnútornú citlivosť. Až ich spoločné pôsobenie určuje, či sa zmena prostredia prejaví ako krátkodobý stres, strata vitality, plošné poškodenie alebo prechod k inému vývojovému stavu.

Európske údaje zároveň ukazujú, že rastúci význam disturbancií nemožno vysvetľovať iba zmenou klímy. Seidl a Senf (2024) pri analýze zmien korunového zápoja v rokoch 1986–2020 preukázali dominantný podiel plánovaných zásahov súvisiacich s využívaním lesa, ale aj rast neplánovaných otvorení spôsobených vetrom, podkôrnym hmyzom a požiarmi. Zmeny oboch skupín boli priestorovo previazané. Tento výsledok je dôležitý pre interpretáciu rizika: klimatické podmienky menia pravdepodobnosť a intenzitu disturbancií, ich výsledný rozsah však spoluurčuje štruktúra porastu, jeho zloženie, manažment a priestorové usporiadanie krajiny.

V tejto kapitole sa preto odolnosť lesa chápe ako vlastnosť dynamického ekologického systému, nie ako nemenný stav. Rozlišuje sa okamžitá schopnosť odolať pôsobeniu disturbance, miera zraniteľnosti pri konkrétnej expozícii, schopnosť obnovy po poškodení a širšia reziliencia, ktorá zahŕňa zachovanie alebo opätovné nadobudnutie rozhodujúcich funkcií. Takéto rozlíšenie je nevyhnutné aj pri hodnotení prírode blízkych riešení. Opatrenie môže znižovať expozíciu, meniť citlivosť porastu, podporovať obnovu alebo pôsobiť na viac zložiek súčasne; jeho účinok preto nemožno vyjadriť jediným všeobecným ukazovateľom.

V tejto kapitole postupne prechádzame od klimatických faktorov cez disturbančné procesy k odolnosti, zraniteľnosti a reziliencii a napokon ku koncepcii prírode blízkych riešení. Takéto poradie umožňuje odlíšiť príčinu problému od vlastnosti systému a od typu zásahu, ktorý má daný problém riešiť.

2.1. Klimatická zmena a jej vplyv na lesné ekosystémy

Klimatická zmena v lesnom prostredí sa neprejavuje iba posunom priemernej teploty. Pre rast a prežívanie drevín sú rozhodujúce najmä zmeny vodnej bilancie, dĺžky a priebehu vegetačného obdobia, frekvencie horúcich a suchých epizód, intenzity zrážok, podmienok zimného pokoja a výskytu extrémov. Európske hodnotenie klimatických rizík uvádza ekosystémy medzi oblasťami, v ktorých už viaceré riziká dosiahli závažnú úroveň; očakávané zhoršovanie extrémneho tepla, sucha, požiarného počasia a povodňových javov pritom vytvára podmienky pre ich ďalšie zosilňovanie (European Environment Agency, 2024). Pre lesy je významná najmä kombinácia pomalého rastu dlhodobého klimatického tlaku s krátkymi, ale fyziologicky veľmi náročnými epizódami.

Strom ako dlhoveký organizmus reaguje na zmenu prostredia v inom časovom režime než jednoročná vegetácia. Porast založený alebo obnovený v klimatických podmienkach minulých desaťročí zostáva na stanovišti počas obdobia, v ktorom sa teplotný a zrážkový režim môže podstatne zmeniť. Vacek *et al.* (2023) v prehľade európskych lesov upozorňujú, že klimatická zmena ovplyvňuje rast priamo cez teplotu, dostupnosť vody a koncentráciu CO₂ a nepriamo prostredníctvom disturbancií, poškodenia a zmien konkurenčných vzťahov. Výsledkom preto nie je jednotná reakcia „rast klesá“ alebo „rast stúpa“, ale priestorovo a druhovo rozdielna odozva.

Najzreteľnejším obmedzením pre mnohé porasty sa stáva voda. Pri dlhšom deficite pôdnej vody sa obmedzuje transpirácia a fotosyntetická aktivita, klesá prírastok a pri prekročení fyziologických tolerancií rastie pravdepodobnosť poškodenia pletív a odumierania. Kontinentálna analýza Senfa *et al.* (2020) pre obdobie 1987–2016 spojila približne 500 000 ha nadmernej mortality korún stromov v Európe so suchom a ukázala nelineárny nárast pravdepodobnosti mortality pri výraznom negatívnom odchylení klimatickej vodnej bilancie. Takýto výsledok neznamena, že sucho je jedinou príčinou odumierania, potvrdzuje však jeho úlohu ako významného spúšťača alebo predispozičného faktora na rozsiahlej priestorovej úrovni.

Klimatický stres nemožno posudzovať iba podľa ročného úhrnu zrážok. Dostupnosť vody mení ich sezónne rozdelenie, retenčná schopnosť a hĺbka pôdy, sklon aj expozícia. Priestorové hodnotenie je preto nevyhnutné; regionálny priemer nenahrádza poznanie lokality.

Teplota ovplyvňuje lesný ekosystém súčasne viacerými cestami. Mierne oteplenie môže v chladnejších polohách predĺžiť vegetačné obdobie a dočasne zvýšiť rast, pokiaľ nie je limitujúcim faktorom voda alebo živiny. V teplejších a suchších polohách však rovnaký posun zvyšuje evapotranspiračný dopyt a môže urýchliť vyčerpanie pôdnej vody. Rozhodujúca nie je iba maximálna denná teplota, ale aj dĺžka teplej epizódy, nočné ochladenie, vlhkosť vzduchu a stav zásoby vody v pôde pred jej začiatkom. Vacek *et al.* (2023) preto opisujú klimatickú odozvu európskych lesov ako výsledok pôsobenia viacerých limitujúcich faktorov, ktorých význam sa mení podľa biogeografickej oblasti a stanovišťa.

Zmena zrážkového režimu má podobne dvojznačný charakter. Nedostatok zrážok počas vegetačného obdobia zosilňuje suchu, zatiaľ čo krátkodobé intenzívne zrážky nemusia deficit účinne doplniť, ak voda rýchlo odteká po povrchu alebo sa pôdny profil nedokáže v potrebnom čase nasýtiť. Na strmých svahoch, na zhutnených miestach a v okolí lesných ciest sa môže zvýšiť povrchový odtok a erózný účinok. Klimatický problém lesa sa tak môže preniesť z fyziológie drevín do stability pôdneho povrchu, prístupnosti územia a funkčnosti odvodňovacích prvkov. Tieto väzby sú dôležité pre ďalšie kapitoly venované vodnému režimu a protieróznym opatreniam; na tomto mieste je podstatné rozpoznať ich klimatický pôvod.

Zimné podmienky nemožno z hodnotenia vynechať. Menšia alebo časovo nestála snehová pokrývka mení tepelný režim pôdy a načasovanie jarného nasýtenia, zatiaľ čo opakované prechody teploty cez bod mrazu môžu ovplyvňovať koreňový priestor, stabilitu pôdy aj mechanické zaťaženie vegetácie. Skorší nástup vegetačnej aktivity môže navyše zväčšiť časové okno, v ktorom sú mladé pletivá vystavené neskorým mrazom. Takéto javy majú

zvyčajne lokálnejší a druhovo špecifický prejav než letné sucho, ich význam však rastie tam, kde sa mení dlhodobý ustálený sezónny rytmus stanovišťa.

Vplyv klímy sa preto prejavuje na viacerých organizačných úrovniach. Na úrovni stromu ide o prírastok, vodný režim, poškodenie alebo mortalitu; na úrovni porastu o zmenu zápoja, konkurencie a obnovy; na úrovni krajiny o priestorové preskupenie vhodných podmienok pre druhy, zmenu kontinuity paliva, hydrologických procesov a disturbancií. Rozdiel medzi týmito mierkami je dôležitý. Krátkodobá strata prírastku jedinca nemusí znamenať stratu funkcie porastu, ale opakovaný stres na veľkej ploche môže meniť štruktúru lesa a s ňou aj poskytovanie ekosystémových služieb.

Osobitnú pozornosť si vyžadujú kombinované a nadväzujúce klimatické extrémne (tabuľka 2.1). Epizóda vln horúčav po predchádzajúcom období sucha má iný účinok než rovnaká teplota pri dostatočne zásobenej pôde. Intenzívny dážď po dlhšom suchu môže dočasne zlepšiť vodnú bilanciu, ale na odkrytom alebo hydrofóbnom povrchu môže zároveň zvýšiť odtok a transport pôdneho materiálu. Klimatické faktory preto nemožno v hodnotení rizika mechanicky sčítavať. Ich účinok je podmienený poradím udalostí, ich trvaním a stavom ekosystému v okamihu pôsobenia.

Tabuľka 2.1 Hlavné klimatické faktory a typické mechanizmy ich pôsobenia v lesnom poraste

Klimatický faktor	Primárny mechanizmus	Možný prejav v poraste	Podmienky zosilňujúce účinok
Vysoká teplota a vysoký atmosférický dopyt po vode	rast evapotranspirácie a vodného stresu	pokles prírastku, strata vitality, poškodenie jemných pletív	nízka zásoba pôdnej vody, plytká pôda, južná expozícia
Meteorologické a pôdne sucho	dlhodobý deficit dostupnej vody	rednutie korún, zníženie obranyschopnosti, mortalita citlivých jedincov	opakované suché roky, vysoká konkurencia, nevhodná proveniencia
Intenzívne zrážky	rýchly prísun vody prevyšujúci infiltračnú schopnosť	povrchový odtok, erózia, lokálne podmáčanie a poškodenie komunikácií	strmý svah, zhutnenie, odkrytý povrch, nevhodné odvodnenie
Zmena snehového a mrazového režimu	zmena izolácie pôdy, času topenia a mechanického zaťaženia	mrazové poškodenie, zmena jarnej zásoby vody, snehové a ľadové poškodenie	kolísanie teploty, mokrý sneh, nevhodná štruktúra porastu
Kombinované horúce a suché epizódy	súbežný tepelný a vodný stres	nelineárne zhoršenie vitality a zvýšená predispozícia k ďalším disturbanciám	dlhé trvanie, opakovanie, predchádzajúce poškodenie porastu

Zdroj: Spracované podľa European Environment Agency (2024), Senf et al. (2020) a Vacek et al. (2023).

Tabuľka 2.1 nepredstavuje univerzálnu kauzálnu maticu. Jednotlivé faktory sa prekrývajú a ten istý prejav môže vzniknúť rozdielnymi cestami. Pri hodnotení konkrétneho porastu preto treba klimatický údaj vždy prepájať so stanovištnou charakteristikou a so stavom vegetácie; bez tejto väzby vzniká riziko, že sa následok nesprávne priradí jednej dominantnej príčine.

Klimatická zmena neznamená automatický pokles produkcie vo všetkých európskych lesoch. Rast môže byť v určitých obdobiach podporený dlhšou vegetačnou sezónou, vyššou teplotou

v chladných polohách alebo zvýšenou koncentráciou CO₂, pokiaľ ostatné zdroje nie sú limitujúce. Vacek *et al.* (2023) však upozorňujú, že pozitívne účinky sa môžu s postupujúcim oteplením vyčerpávať a že rastúci význam sucha a disturbancií zvyšuje neistotu dlhodobého vývoja. Hodnotenie klimatického vplyvu preto musí pracovať s časovým horizontom; krátkodobý rastový zisk nemožno bez ďalšieho výskumu interpretovať ako dôkaz vyššej odolnosti.

Rovnako problematické je používať jediný druhový alebo vekový znak ako zástupný ukazovateľ klimatickej vhodnosti. Druh môže mať široký ekologický areál, ale konkrétna proveniencia, pôvod porastu a lokálne stanovištné podmienky určujú jeho skutočnú reakciu. Pri drevinách pestovaných mimo optimálnej časti prirodzeného areálu sa klimatický stres môže kombinovať s pôdnymi podmienkami a s vyššou náchylnosťou na biotických škodcov. V strednej Európe je tento problém výrazný pri smreku obyčajnom v nižších a teplejších polohách, kde sa suché a teplé roky často spájajú s podkôrnikovými disturbanciami (Hlásny *et al.*, 2021).

Významnú úlohu má aj štruktúra porastu. Hustota, výšková diferenciácia, veľkosť korún a druhová skladba ovplyvňujú konkurenciu o vodu a svetlo, mikroklimu vnútri porastu aj spôsob, akým sa klimatický stres prenáša na jednotlivé stromy. Nie je však korektné predpokladať, že každé zvýšenie štrukturálnej alebo druhovej diverzity automaticky znižuje klimatické riziko. Účinok závisí od toho, či kombinované druhy a štruktúrne vrstvy využívajú zdroje komplementárne, alebo naopak zvyšujú konkurenciu v období nedostatku. Aktuálne európske analýzy nachádzajú významný pozitívny vzťah medzi štrukturálnou diverzitou a rezilienciou na veľkých plochách, ale zároveň ukazujú priestorovú variabilitu tejto väzby (Pickering *et al.*, 2025).

Dôsledok klimatickej zmeny sa navyše nemusí prejavíť v roku extrému. Znížený prírastok, poškodenie koreňov alebo strata jemných vetiev môže pretrvávať a ovplyvniť schopnosť stromu reagovať na ďalší stres. Takéto „dedičstvo“ predchádzajúcej udalosti je dôležité pri opakovaných suchých rokoch a pri následnom napadnutí hmyzom. Z hľadiska monitorovania preto nestačí porovnať stav bezprostredne pred a po jednej udalosti; potrebné je zachytiť aj oneskorenú odozvu a návrat k predchádzajúcej úrovni funkcie.

Klimatické vplyvy menia aj podmienky, v ktorých les poskytuje funkcie mimo samotnej produkcie dreva. Zmena zápoja a vitality ovplyvňuje mikroklimu, zadržiavanie vody, stabilitu pôdneho povrchu, zásobu uhlíka, kvalitu biotopov a v niektorých typoch lesa aj množstvo a kontinuitu horľavého materiálu. Priestorové prepojenie týchto funkcií je dôvodom, prečo sa klimatická adaptácia lesa nemôže redukovať na voľbu „odolnejšej dreviny“. Druhové zloženie

je podstatné, ale rovnako významné sú pôdne podmienky, obnova, priestorová štruktúra, vodný režim a schopnosť systému zvládnuť disturbančné udalosti bez dlhodobej straty rozhodujúcich funkcií.

Pri interpretácii klimatických projekcií treba odlišovať trend od konkrétnej udalosti. Dlhodobé oteplenie zvyšuje pravdepodobnosť určitých typov extrémov, ale neumožňuje priradiť každú vetrovú kalamitu, požiar alebo podkôrníkovú gradáciu priamo klimatickej zmene. Naopak, absencia extrémnej udalosti v krátkom pozorovanom období neznamena nízke budúce riziko. Odborné hodnotenie musí preto pracovať s pravdepodobnosťou, neistotou a časovou mierkou a nesmie nahrádzať klimatický scenár opisom posledných rokov.

Z pohľadu navrhovania adaptačných opatrení je rozhodujúce, ktoré z klimatických vplyvov možno ovplyvniť na úrovni porastu alebo územia. Lokálny zásah nezmení regionálny teplotný trend ani priebeh sucha, môže však meniť citlivosť systému: napríklad spôsob využitia vody, mikroklimatické podmienky, kontinuitu vegetácie, stabilitu pôdy alebo schopnosť obnovy po poškodení. Práve v tomto bode sa klimatická analýza prepája s pojmami zraniteľnosť a reziliencia, ktoré sú rozpracované v podkapitole 2.3.

Medzi klimatickým tlakom a výsledným stavom lesa však stojí ešte jeden rozhodujúci článok, t. j. disturbančné procesy. Vietor, sucho, podkôrny hmyz, požiar, snehové a ľadové poškodenie či patogény majú vlastnú dynamiku a často sa navzájom podmieňujú. Klimatická zmena preto nie je iba priamym stresorom drevín; mení aj disturbančný režim, teda frekvenciu, rozsah, intenzitu a následnosť udalostí, ktoré pretvárajú štruktúru porastov. Táto rovina problému je predmetom nasledujúcej podkapitoly.

2.2. Disturbančné procesy v lesnom prostredí

Disturbancia je udalosť alebo proces, ktorý v relatívne krátkom čase mení štruktúru ekosystému, dostupnosť zdrojov alebo fyzikálne podmienky prostredia. V lese môže ísť o odumretie jednotlivých stromov aj o rozsiahlu stratu korunového zápoja. Samotná prítomnosť disturbancií pritom nie je znakom nefunkčného ekosystému. Vietor, oheň, hmyz alebo lokálne poškodenie sú prirodzenou súčasťou vývoja mnohých lesov a vytvárajú priestorovú heterogenitu, mŕtve drevo a podmienky pre obnovu. Problém vzniká vtedy, keď sa mení disturbančný režim tak, že frekvencia, rozsah alebo závažnosť udalostí prekračujú schopnosť porastu obnoviť požadované funkcie v prijateľnom čase.

Pre hodnotenie sú preto dôležitejšie charakteristiky režimu než samotný názov činiteľa. K základným patrí typ disturbance, plošný rozsah, intenzita alebo závažnosť poškodenia, návratnosť udalosti, sezónnosť a priestorová konfigurácia. Rovnaký vietor môže v jednom poraste spôsobiť jednotlivé vývraty a v inom súvislú plochu s takmer úplnou stratou horného poschodia. Podobne požiar s nízkou intenzitou nemusí viesť k významnej mortalite stromov, zatiaľ čo vysoká intenzita a dlhé pôsobenie môže zmeniť vegetáciu aj pôdne vlastnosti. Bez rozlíšenia týchto parametrov je porovnávanie disturbancií medzi lokalitami nepresné.

Dlhodobé európske údaje potvrdzujú rast významu prirodzených disturbancií. Patacca *et al.* (2023) zostavili databázu viac ako 170 000 záznamov zo 34 európskych krajín za obdobie

1950–2019 a identifikovali významný rast ich dopadov. Priemerný objem poškodeného dreva v analyzovanom súbore dosahoval približne 43,8 milióna m³ ročne. Takéto agregované číslo však treba interpretovať opatrne: záznamy sa medzi krajinami a obdobiami líšia kvalitou a disturbancie nevytvárajú rovnomerný trend. Dôležitý je skôr spoločný smer zmeny a rastúci podiel rokov s veľkými udalosťami.

Disturbančný režim je výsledkom interakcie klímy, topografie, pôdy, zloženia a štruktúry lesa a ľudskej činnosti (tabuľka 2.2). Preto nie je vhodné deliť udalosti na „čisto prírodné“ a „čisto antropogénne“ bez ďalšieho vysvetlenia. Vietor je fyzikálny prírodný činiteľ, ale rozsah vývrátov môže zmeniť okraj vytvorený ťažbou; podkôrnik je biotický činiteľ, ale dostupnosť hostiteľov súvisí s druhovou skladbou a manažmentom; požiar môže mať prírodnú alebo antropogénnu iniciáciu, pričom jeho šírenie závisí od paliva, počasia a reliéfu. Práve táto previazaná povaha disturbancií je rozhodujúca pre ich prevenciu a hodnotenie následkov.

Tabuľka 2.2 Vybrané disturbančné procesy a ich väzby na stav lesného porastu

Proces	Hlavné predispozičné podmienky	Priamy účinok	Časté následné väzby
Vietor	výška a štíhlosť stromov, nestabilný koreňový priestor, okraje porastu, nasýtená pôda	vývraty, zlomy, otvorenie korunového zápoja	sekundárne napadnutie podkôrnym hmyzom, zmena okrajovej stability
Sucho a horúčava	nízka zásoba pôdnej vody, vysoký atmosférický dopyt, vysoká konkurencia	fyziológický stres, pokles prírastku, mortalita	zníženie obranyschopnosti, vyššia horľavosť jemného paliva
Podkôrny hmyz	dostatok hostiteľov, oslabené stromy, teplé podmienky, kalamitné drevo	odumieranie hostiteľských stromov a strata zápoja	nárast odumretého materiálu, sanitačné zásahy, nové okraje
Lesný požiar	suché palivo, vhodné požiarne počasie, spojitosť paliva, zdroj iniciácie	tepelná deštrukcia vegetácie, mortalita, spotreba organickej vrstvy	erózia po požiaroch, zmena obnovy, lokálne zvýšenie odtoku
Sneh a ľad	mokrý sneh, námraza, nevhodný tvar korún a štíhlostný pomer	zlomy vrcholcov, vetiev a kmeňov	vstupné brány patogénov, zmena zápoja
Patogény a ďalšie biotické činitele	citlivý hostiteľ, stres, vhodné mikroklimatické podmienky	poškodenie pletív, pokles vitality, mortalita	vyššia citlivosť na sucho a mechanické poškodenie

Zdroj: Syntéza podľa Hlásny et al. (2021), Patacca et al. (2023), Potterf et al. (2023) a Seidl a Senf (2024).

Tabuľka 2.2 zvyrazňuje predispozíciu a nadväznosť, nie deterministický sled. Napríklad poškodenie vetrom nemusí viesť k podkôrníkovej gradácii a sucho nemusí vyvolať plošnú mortalitu. Pravdepodobnosť následnej udalosti sa mení podľa veľkosti poškodenia, dostupnosti hostiteľského materiálu, počasia v ďalšej sezóne a rýchlosti obnovy. Z praktického hľadiska je preto užitočnejšie hovoriť o reťazci podmienok než o jedinom „spúšťači“.

Takéto chápanie je podstatné aj pri hodnotení účinku zásahu. Opatrenie, ktoré zníži pravdepodobnosť jednej udalosti, môže zmeniť expozíciu voči inej. Zníženie hustoty porastu napríklad mení konkurenciu o vodu, ale zároveň dočasne mení prúdenie vetra a mikroklimu; odstránenie poškodeného dreva môže obmedziť rozmnožovací substrát podkôrnika, no vytvára nové okraje a mení štruktúru paliva. Odborné posúdenie preto musí sledovať celý disturbančný kontext, nie iba bezprostredný cieľ zásahu.

Vetrové disturbancie patria v Európe medzi dlhodobý významné zdroje veľkoplošného poškodenia. Mechanická stabilita stromu závisí od rýchlosti a nárazov vetra, ale aj od výšky a tvaru koruny, štíhlosti kmeňa, koreňového systému a pevnosti pôdy. Nasýtená pôda znižuje ukotvenie koreňov, zamrznutá pôda môže naopak dočasne meniť typ poškodenia. Veľký význam má porastový okraj. Stromy dlhodobý chránené vnútornou štruktúrou porastu môžu po odkrytí reagovať na nové veterné zaťaženie inak než stromy vyvíjané na okraji od mladosti. Preto sa riziko vetra nedá spoľahlivo odvodiť iba z regionálnej mapy nárazov vetra.

Sucho je z hľadiska disturbančnej ekológie špecifické, pretože môže pôsobiť ako priama príčina mortality aj ako predispozičný faktor. Pri miernejšom alebo krátkom deficite vody sa prejaví poklesom prírastku a vitality, pri extrémnom alebo opakovanom strese môže viesť k odumieraní. Zároveň mení schopnosť stromu brániť sa biotickým činiteľom. V smrekových porastoch strednej Európy je väzba medzi suchom, teplotou a podkôrnikovými disturbanciami dobre zdokumentovaná; Hlásny *et al.* (2021) ju uvádzajú medzi kľúčové mechanizmy súčasných gradácií lykožrúta smrekového.

Dôležitý je aj časový sled. Po vetrovej udalosti vzniká veľký objem čerstvého oslabeného alebo odumretého hostiteľského materiálu. Ak nasleduje teplé obdobie vhodné pre vývoj podkôrnika a populácia škodcu sa zvýši, môže sa tlak preniesť aj na stojace stromy. Naopak, rýchly rozklad alebo odstránenie dostupného substrátu, chladnejší priebeh počasia a dostatočná vitalita okolitého porastu môžu reťazec prerušiť. V praxi preto nemožno hodnotiť riziko biotickej disturbancie bez informácie o predchádzajúcom poškodení a aktuálnych podmienkach hostiteľov.

Patacca *et al.* (2023) ukazujú, že európsky disturbančný obraz vzniká zo súbehu viacerých činiteľov a že ich význam sa v priestore líši. V severnej a strednej Európe majú veľký podiel vietor a podkôrny hmyz, zatiaľ čo v južnej Európe je významnejší oheň. Klimatické posuny však tieto hranice oslabujú. Teplé a suché podmienky môžu rozširovať časové okno vhodné pre vývoj hmyzu aj pre vznik a šírenie požiarov, takže regióny s historicky nízkou expozíciou nemusia zostať nízkorizikové v budúcnosti.

Lesný požiar sa od ostatných disturbancií odlišuje tým, že jeho priebeh je bezprostredne určený trojicou palivo – počasie – reliéf a zároveň potrebuje iniciáciu. Klimatická zmena ovplyvňuje najmä vlhkosť paliva, dĺžku období s priaznivým požiarnym počasím a rýchlosť vysychania jemného materiálu. Neurčuje však sama počet zapálení ani priestorovú kontinuitu paliva. EEA (2025) preto pri hodnotení prírody blízkyh riešení pre požiarnu odolnejšie európske lesy zdôrazňuje, že manažment vegetácie a štruktúry porastu musí byť prispôbený lokálnemu typu lesa a disturbančnému režimu.

Z hľadiska následkov nie je správne stotožňovať požiar s úplnou stratou lesa. Rozsah mortality závisí od intenzity, času pôsobenia, hrúbky kôry, výšky korún, stavu koreňov a predchádzajúceho stresu. Povrchový požiar s nízkou intenzitou môže mať úplne iný ekologický účinok než korunový požiar alebo dlhodobé tlenie organickej vrstvy. Pri hodnotení závažnosti treba preto odlišovať energetické charakteristiky požiaru od ekologickej odozvy porastu. Toto rozlíšenie bude neskôr dôležité pri opatreniach na znižovanie požiarneho rizika, kde sa nemá hodnotiť iba pravdepodobnosť zapálenia, ale aj potenciálny priebeh a následky.

Poškodenie snehom a námrazou býva pri celoeurópskych súhrnoch menej viditeľné, v horských a podhorských oblastiach však môže významne meniť štruktúru porastu. Mokrý sneh a námraza zvyšujú mechanické zaťaženie korún a kmeňov, pričom výsledok ovplyvňuje druh, tvar koruny, štíhlosť, hustota a predchádzajúce poškodenie. Zlomy nemusia viesť k okamžitej mortalite, môžu však zmeniť vitalitu a vytvoriť vstupné miesta pre patogény. Podobne pôsobia hubové ochorenia a ďalšie biotické činitele, ktorých význam často rastie v kombinácii s fyziologickým stresom.

Pri disturbančných procesoch je preto nepresné hovoriť o jednoduchom „súčte rizík“. Kombinácia dvoch činiteľov môže mať menší, rovnaký alebo väčší účinok než súčet ich samostatného pôsobenia. Sucho môže oslabiť strom a zvýšiť úspešnosť napadnutia hmyzom; otvorenie zápoja po vetre môže zmeniť vysychanie podrastu a mŕtveho dreva; požiar môže odstrániť vegetačný kryt a zvýšiť citlivosť povrchu na eróziu pri následnej intenzívnej zrážke. Takéto kaskády sú jedným z dôvodov, prečo sa odolnosť musí hodnotiť na úrovni funkčného systému, nie po jednotlivých škodlivých činiteľoch.

Slovenské podmienky poskytujú dobrý príklad rozdielnej odozvy porastov na rovnakú skupinu disturbancií. Potterf *et al.* (2023) porovnali dynamiku poškodenia smrekových lesov v hospodárskych porastoch a v prísne chránených rezerváciách na Slovensku v rokoch 2000–2017. Intenzita disturbancií v sledovanom období rástla vo všetkých kategóriách, pričom hospodárske porasty a nárazníkové zóny vykazovali vyššie hodnoty než prísne rezervácie. Výsledok nemožno interpretovať ako jednoduchý dôkaz „lepšieho“ alebo „horšieho“ manažmentu. Potvrdzuje skôr význam kontextu, rozdielnej štruktúry porastov a predchádzajúceho využívania.

Pri podkôrníkových gradáciách je táto kontextovosť mimoriadne výrazná. Hlásny *et al.* (2021) upozorňujú, že vhodné rozhodnutie závisí od cieľa obhospodarovania, priestorovej polohy, ochranného režimu, dostupnosti hostiteľov a fázy gradácie. Postup zameraný na produkčný les sa preto nemôže mechanicky preniesť do rezervácie a naopak. Rovnaký rozdiel platí aj pre hodnotenie následkov: strata smrekového zápoja môže byť v hospodárskom lese ekonomickou a prevádzkovou škodou, v prirodzenom vývojovom cykle chráneného územia však môže predstavovať súčasť sukcesie. Odborná kategória disturbance a spoločenské hodnotenie jej dopadu nie sú totožné.

Schéma na obrázku 2.1 zámerne neuvádza konkrétneho činiteľa. Rovnaká logika sa môže začať suchom, vetrom alebo poškodením spôsobeným človekom a v ďalšom kroku pokračovať odlišným disturbančným procesom. Rozhodujúcou vlastnosťou kaskády je, že prvá udalosť zmení podmienky pre udalosť nasledujúcu.



Obrázok 2.1 Typický reťazec kaskádovej disturbancie v lesnom poraste. Zdroj: Vlastné spracovanie na základe syntézy literatúry uvedenej v podkapitole 2.2.

Pri celoeurópskom hodnotení je potrebné zachovať ešte jednu dôležitú mieru opatrnosti. Seidl a Senf (2024) ukázali, že z celkovej plochy otvorenia korunového zápoja v Európe v rokoch 1986–2020 tvorili plánované zásahy súvisiace s využívaním lesa 82,2 %. Neplánované otvorenia spôsobené vetrom, podkôrnym hmyzom a požiarimi dosahovali v priemere 2 118 km² ročne.

Na začiatku 21. storočia bola priemerná ročne narušená plocha o 25 % vyššia než v období 1986–2000; plánované otvorenia vzrástli o 24 % a neplánované o 30 %. Tieto čísla pripomínajú, že zmena zápoja je výsledkom ekologických aj hospodárskych procesov a ich vzájomných väzieb.

Historické pozorovania však nevystihujú celý budúci rozsah problému. Grünig *et al.* (2026) použili súbor európskych lesných simulačných modelov v priestorovom rámci s rozlíšením 100 m a projektovali vývoj disturbancií počas 21. storočia. Pri scenári pokračujúcej nezmierňovanej klimatickej zmeny sa plocha disturbancií v porovnaní s nedávnou minulosťou viac než zdvojnásobila, pričom hlavnou zložkou budúcej zmeny boli požiare. Ide o modelovú projekciu, nie o predpoveď konkrétnych udalostí, jej význam však spočíva v tom, že narastajúca disturbancia môže meniť vekovú štruktúru európskych lesov a zvyšovať podiel mladších vývojových štádií.

Zmena disturbančného režimu preto nie je len otázkou väčšieho objemu poškodeného dreva. Ovplyvňuje kontinuitu produkcie, uhlíkovú bilanciu, ochranné funkcie, biodiverzitu, dostupnosť územia aj náklady na obnovu. Zároveň môže vytvárať nové ekologické príležitosti a heterogenitu, ktoré sú prirodzenou súčasťou obnovy. Hodnotenie musí vždy uviesť, ktorú funkciu a aký časový horizont považuje za rozhodujúci. Bez toho sa pojem „škoda“ mieša s pojmom „ekologická zmena“ a výsledok nie je porovnateľný medzi rôznymi typmi lesa.

Pre ďalšie metodické časti monografie z toho vyplýva potreba pracovať s disturbančným reťazcom, nie iba s jedným hazardom. Otázka už nezní iba „čo môže porast poškodiť“, ale aj „ako citlivo na daný proces reaguje, aké funkcie sa môžu stratiť a aká je schopnosť systému po udalosti pokračovať alebo sa reorganizovať“. Tým sa analýza disturbancií prirodzene presúva k zraniteľnosti, odolnosti a reziliencii.

2.3. Odolnosť, zraniteľnosť a reziliencia lesných porastov

Pojmy odolnosť, zraniteľnosť a reziliencia sa v lesníckej a ekologickej literatúre používajú v rôznych významoch a ich nepresné zamieňanie vedie k problémom pri návrhu ukazovateľov aj pri hodnotení účinnosti opatrení. V tejto monografii sa preto rozlišuje medzi schopnosťou porastu odolať okamžitému pôsobeniu disturbance, mierou nepriaznivého dopadu pri konkrétnej expozícii a schopnosťou systému po poškodení obnoviť alebo reorganizovať rozhodujúce funkcie. Toto rozlíšenie nie je terminologické samoúčelné; určuje, čo má byť v teréne merané a v akom časovom okamihu.

Odolnosť v užšom zmysle, často označovaná ako rezistencia, vyjadruje mieru, do akej sa stav systému zmení počas pôsobenia disturbance. Porast, ktorý pri rovnakej intenzite vetra stratí menší podiel korunového zápoja, možno voči tejto udalosti považovať za odolnejší než porast s rozsiahlym poškodením. Rovnaký porast však nemusí byť odolnejší voči suchu alebo požiaru. Odolnosť je teda vždy viazaná na typ disturbance a na zvolenú odpoveď systému; bez uvedenia týchto dvoch prvkov je tvrdenie o „odolnom lese“ príliš všeobecné.

Obnova opisuje, čo sa deje po odznení alebo zmiernení pôsobenia. Môže sa hodnotiť rýchlosť návratu sledovaného ukazovateľa, rozsah obnovej štruktúry alebo opätovné zabezpečenie funkcie. Návrat pritom nemusí znamenať obnovu pôvodného druhového zloženia. Ekosystém môže po silnej disturbancii nadobudnúť inú štruktúru a napriek tomu opäť plniť vybrané ekologické funkcie. Práve preto sa reziliencia nesmie automaticky stotožňovať s návratom do identického predchádzajúceho stavu.

Reziliencia v širšom ekologickom chápaní zahŕňa schopnosť absorbovať narušenie, reorganizovať sa a zachovať základnú identitu a funkcie systému. Pri lesoch je potrebné vždy uviesť priestorovú a časovú mierku: jedinec môže odumrieť, ale porast sa môže úspešne obnoviť; lokálny porast môže prejsť výraznou zmenou, zatiaľ čo krajina si zachová kontinuitu dôležitej funkcie. Rovnaký údaj preto môže mať odlišný význam podľa toho, či hodnotíme strom, porast, povodie alebo lesnú krajinu.

Zraniteľnosť odpovedá na inú otázku než reziliencia. Vyjadruje náchylnosť systému na nepriaznivé dôsledky pri pôsobení konkrétneho nebezpečenstva a vzniká zo vzťahu medzi expozíciou, citlivosťou a schopnosťou adaptovať sa alebo reagovať. V lesnom prostredí je expozíciou napríklad intenzita a pravdepodobnosť sucha, vetra alebo meteorologických podmienok, ktoré môžu viesť k vzniku požiaru. Citlivosťou sú vlastnosti porastu a stanovišťa, ktoré určujú rozsah poškodenia. Dve lokality s rovnakou expozíciou môžu mať rozdielnú zraniteľnosť a naopak, veľmi citlivý porast nemusí byť v danom období významne ohrozený, ak je jeho expozícia nízka.

Forzieri *et al.* (2021) pri celoeurópskom hodnotení klimaticky podmienených disturbancií ukázali, že zraniteľnosť lesov voči vetru, požiarom a hmyzu má odlišné priestorové vzorce a že potenciálne straty biomasy závisia od typu činiteľa. Ich výsledky zároveň upozorňujú na limit jednoduchých agregovaných indexov. Zraniteľnosť voči jednému hazardu nemožno bez ďalšieho preniesť na iný a spoločný index môže prekryť rozdiel medzi častou udalosťou s miernym následkom a zriedkavou udalosťou s veľmi vysokou závažnosťou.

Pri konštrukcii hodnotenia je preto potrebné oddeliť indikátory príčiny, stavu a následku. Meteorologický index sucha opisuje klimatickú expozíciu, nie priamo poškodenie stromov. Podiel odumretých stromov alebo strata listovej plochy opisuje následok, ale bez informácie o priebehu sucha nevysvetľuje jeho príčinu. Štruktúra porastu, druhové zloženie alebo pôdna hĺbka sú charakteristiky citlivosti, ktoré môžu modifikovať vzťah medzi expozíciou a poškodením. Spojenie týchto troch typov údajov je základom transparentného hodnotenia zraniteľnosti.

Pojem adaptačná kapacita sa pri lese uplatňuje na dvoch úrovniach. Ekologická adaptačná kapacita súvisí s genetickou variabilitou, prirodzenou obnovou, druhovou výmenou a schopnosťou systému reorganizovať sa. Manažérska adaptačná kapacita označuje možnosti vlastníka alebo správcu meniť spôsob obhospodarovania, zabezpečiť monitoring, realizovať zásahy a reagovať na nové informácie. Tieto úrovne nemožno zamieňať. Porast môže mať vysokú ekologickú schopnosť obnovy aj v podmienkach nízkej intenzity zásahov, zatiaľ čo technicky dobre vybavená správa územia nedokáže kompenzovať biologické limity nevhodného stanovišťa.

Reziliencia je často hodnotená nepriamo pomocou časových radov vegetačných alebo produkčných ukazovateľov. Forzieri *et al.* (2022) analyzovali dlhodobé satelitné údaje a identifikovali v mnohých oblastiach sveta signály klesajúcej reziliencie lesov, pričom pokles súvisel najmä s rastúcou ariditou a klimatickou variabilitou. Takéto metódy využívajú štatistické vlastnosti časového radu ako zástupné ukazovatele návratu systému po odchýlke. Ich sila spočíva v kontinuitnom priestorovom pokrytí, no výsledok nie je priamym meraním všetkých ekologických funkcií lesa.

Pri interpretácii je preto potrebná opatrnosť. Vegetačný index môže citlivo zachytiť zmenu zelenej biomasy, ale nemusí rozlíšiť druhové zloženie, kvalitu obnovy, stabilitu koreňového systému alebo vodohospodársku funkciu. Podobne rýchly návrat korunového zápoja po disturbancii môže znamenať úspešnú obnovu pôvodného porastu, rozvoj pionierskej vegetácie alebo zarastanie iným druhom. Hodnotenie reziliencie musí byť naviazané na konkrétnu funkciu a v ideálnom prípade kombinovať diaľkový prieskum s terénnymi údajmi.

Časová mierka môže výsledok dokonca obrátiť. Porast s vysokou okamžitou rezistenciou môže po extrémnej udalosti obnovovať funkciu pomaly, kým porast s výrazným počiatočným poškodením môže vďaka bohatej obnove funkciu nadobudnúť rýchlejšie. Pri krátkom monitoringu by prvý porast pôsobil odolnejšie, pri dlhšom horizonte môže byť rozdiel menší alebo opačný. Preto je vhodné oddeľovať minimálne tri fázy: stav pred disturbanciou, okamžitú zmenu počas alebo po udalosti a trajektóriu následnej obnovy.

Takéto členenie je využiteľné aj pri prírode blízkych opatreniach. Ak je cieľom znížiť eróziu po intenzívnej zrážke, rezistencia sa môže hodnotiť rozsahom okamžitého narušenia povrchu, kým reziliencia zahŕňa stabilizáciu a návrat vegetačného krytu v čase. Pri lesnom požiari môže byť jedným ukazovateľom podiel preživších stromov, iným rýchlosť obnovy a ďalším zachovanie pôdoochrannej funkcie. Jediný „index reziliencie“ bez väzby na cieľ opatrenia by tieto rozdiely pokrýl.

Empirické výsledky z Európy zároveň ukazujú, že obraz reziliencie lesa nie je jednostranne negatívny. Cerioni *et al.* (2024) analyzovali obnovu európskych temperátnych lesov po veľkých a závažných disturbanciách, pri ktorých došlo k strate viac ako 70 % korunového zápoja. Súbor lokalít poskytol dôkaz, že mnohé temperátne lesy sa dokázali po historických disturbanciách obnoviť a že prirodzená obnova predstavuje významný mechanizmus reziliencie. Výsledok však neznamená, že každá budúca disturbancia bude nasledovaná rovnako úspešnou obnovou. Podmienky počas regenerácie sa s klímou menia.

Rozdiel medzi historickou a budúcou rezilienciou je zásadný. Porast môže mať za sebou úspešnú obnovu po vetrovej kalamite v období s dostatočnými zrážkami, ale rovnaký postup regenerácie nemusí byť úspešný po disturbancii nasledovanej sériou suchých rokov. Klimatická zmena mení tzv. regeneračné okno, t. j. obdobie, v ktorom sa semenáčky a mladé stromy musia etablovať. Hodnotenie minulých reakcií preto poskytuje dôležitú informáciu o mechanizmoch, nie však automatickú záruku budúceho výsledku.

Prirodzená obnova môže navyše viesť k inému druhovému a štruktúrnemu usporiadaniu. Z pohľadu reziliencie je potrebné rozhodnúť, či je referenciou pôvodná skladba, pôvodná produkčná funkcia alebo širší súbor ekosystémových funkcií. V ochrannom lese môže byť prioritou stabilizácia svahu a kontinuita pôdneho krytu, v hospodárskom poraste aj budúca produkcia sortimentov, v rekreačnom lese bezpečnosť a prístupnosť. Rovnaká sukcesná trajektória sa preto môže hodnotiť odlišne podľa funkčného cieľa.

Reziliencia teda nie je absolútnou vlastnosťou, ktorú možno raz zmerať a priradiť porastu. Je vzťahom medzi disturbanciou, stavom systému, sledovanou funkciou a časom. Táto definícia je náročnejšia na dáta, ale zodpovedá reálnemu správaniu lesa. Zároveň zabráňuje nesprávnemu používaniu reziliencie ako všeobecného pozitívneho označenia pre akýkoľvek zmiešaný, prírode blízky alebo menej intenzívne obhospodarovaný porast.

Jednou z vlastností, ktoré môžu rezilienciu ovplyvniť, je heterogenita. Forzieri *et al.* (2024) pri celoeurópskej analýze odhadli, že väčšia ekosystémová heterogenita by mohla znížiť klimaticky podmienené straty biomasy približne o 18 %. Autori zároveň odhadli priemernú ročnú stratu biomasy spojenú s analyzovanými klimatickými disturbanciami na $41,6 \pm 5,3$ Mt a zaznamenali rastúci trend. Význam heterogenity spočíva v tom, že znižuje pravdepodobnosť jednotnej odozvy celej plochy na jeden typ stresu, nie v tom, že automaticky eliminuje disturbanciu.

Na úrovni štruktúry porastu priniesli Pickering *et al.* (2025) ďalší dôležitý výsledok. Pozitívny vzťah medzi štruktúrnou diverzitou a rezilienciou identifikovali približne v 80 % hodnotených európskych lesov, pričom významným prvkom bola komplexnosť korunovej

vrstvy. Tento výsledok podporuje snahu udržiavať variabilnejšiu štruktúru tam, kde to stanovištné a prevádzkové podmienky umožňujú. Neznamená však, že maximálna štruktúrna zložitosť je univerzálnym cieľom; pri konkrétnom riziku treba posudzovať aj druhovú kompatibilitu, konkurenciu o vodu, stabilitu a požiadavky na obnovu.

Heterogenita môže pôsobiť na viacerých mierkach. Vnútri porastu ide o rôzny vek, výšku, priestorové rozmiestnenie a druhové zloženie. Na úrovni krajiny ide o mozaiku porastových typov, otvorených plôch, vodných prvkov a rozdielných vývojových štádií. Krajinná heterogenita môže obmedziť priestorovú synchronizáciu poškodenia, ale pri niektorých procesoch môže vytvárať aj nové okraje alebo koridory. Preto je potrebné vždy uviesť, aký typ heterogenity sa hodnotí a voči akému disturbančnému procesu sa očakáva účinok.

Z hľadiska prírode blízkych riešení je dôležité, že zvýšenie reziliencie nemusí znamenať potlačenie všetkých zmien. Les schopný reagovať na meniace sa podmienky môže meniť svoje druhové zloženie, hustotu alebo priestorové usporiadanie. Ak sa manažment snaží udržať historickú štruktúru za každú cenu, môže paradoxne znižovať schopnosť adaptácie. Cieľom má byť udržanie rozhodujúcich funkcií a ekologických procesov v rozsahu zodpovedajúcom stanovištiu a spoločenským požiadavkám, nie konzervovanie statického obrazu porastu.

Rozlíšenie základných pojmov používaných pri hodnotení reakcie lesného porastu na disturbanciu je uvedené v tabuľke 2.3.

Tabuľka 2.3 Základné pojmy používaných pri hodnotení reakcie lesného porastu na disturbanciu

Pojem	Otázka, na ktorú odpovedá	Príklad ukazovateľa	Hlavné interpretačné obmedzenie
Rezistencia / okamžitá odolnosť	Ako veľmi sa systém zmenil počas pôsobenia?	podiel poškodených stromov, strata zápoja, zmena prírastku	je viazaná na konkrétny typ a intenzitu disturbancie
Zraniteľnosť	Aký nepriaznivý dôsledok možno očakávať pri danej expozícii?	kombinácia expozície, citlivosti a očakávaného dopadu	nemožno ju odvodiť iba zo stanoviskovej citlivosti alebo iba z hazardu
Obnova	Ako rýchlo a do akej miery sa sledovaný stav alebo funkcia obnovuje?	čas návratu zápoja, regenerácia, návrat produkčnej alebo ochrannej funkcie	návrat funkcie nemusí znamenať návrat pôvodnej štruktúry
Reziliencia	Dokáže systém absorbovať narušenie, reorganizovať sa a udržať rozhodujúce funkcie?	kombinácia rezistencie, trajektórie obnovy a stability funkcií	výsledok závisí od priestorovej a časovej mierky a od definovaného cieľa
Adaptačná kapacita	Aké možnosti má systém a jeho správa reagovať na meniace sa podmienky?	regeneračný potenciál, variabilita, možnosti manažmentu a monitoringu	ekologická a manažérska kapacita predstavujú odlišné zložky

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Forzieri et al. (2021, 2022), Cerioni et al. (2024), Forzieri et al. (2024) a Pickering et al. (2025).

Pre ďalšiu metodiku je rozhodujúce, aby každý ukazovateľ mal jednoznačne určenú väzbu na niektorý z uvedených pojmov. Ak sa napríklad vzdialenosť od vodného toku použije pri hodnotení zraniteľnosti, musí byť vysvetlené, akým mechanizmom mení expozíciu alebo citlivosť. Ak sa za ukazovateľ reziliencie použije rýchlosť obnovy vegetácie, musí byť uvedené, ktorú funkciu má táto obnova reprezentovať. Transparentnosť tejto väzby je dôležitejšia než počet premenných v indexe.

Koncepcia prírode blízkyh riešení na toto rozlíšenie priamo nadväzuje. Kvalitné opatrenie nemá byť vybrané preto, že sa všeobecne označuje za „rezilientné“, ale preto, že reaguje na identifikovanú zložku rizika a jeho účinok možno overiť vhodným ukazovateľom. V nasledujúcej podkapitole sa preto prírode blízke riešenia posudzujú ako rámec intervencie, ktorý spája spoločenskú výzvu, ekologický proces, biodiverzitu, technickú realizovateľnosť a adaptívne hodnotenie výsledku.

2.4. Koncepcia prírode blízkyh riešení

Pojem prírode blízke riešenia alebo opatrenia (angl. Nature-based Solutions – NbS) sa v európskej odbornej a politickej praxi rozšíril rýchlo, jeho obsah však nie je totožný s každým zásahom využívajúcim vegetáciu alebo prírodný materiál. Medzinárodne najvýznamnejší rámec priniesla rezolúcia UNEA 5/5 z roku 2022, ktorá prírode blízke riešenia vymedzila ako opatrenia na ochranu, zachovanie, obnovu, udržateľné využívanie a manažment prirodzených alebo modifikovaných suchozemských, sladkovodných, pobrežných a morských ekosystémov, ktoré účinne a adaptívne riešia sociálne, ekonomické a environmentálne výzvy a súčasne prinášajú prínosy pre ľudský blahobyť, ekosystémové služby, rezilienciu a biodiverzitu (United Nations Environment Programme, 2022).

Európska komisia kladie dôraz na riešenia inšpirované a podporované prírodou, ktoré sú miestne prispôbené, zdrojovo efektívne a systémové a súčasne vytvárajú environmentálne, sociálne a ekonomické prínosy. Súčasná definícia výslovne požaduje prínos pre biodiverzitu a podporu ekosystémových služieb (European Commission, 2025a). V lesnom prostredí je tento dodatok zásadný. Technické opatrenie z dreva alebo kameňa nie je prírode blízkym riešením iba preto, že používa prírodný materiál; musí pracovať s ekologickým procesom a prinášať preukázateľný prínos nad rámec samotnej technickej funkcie.

Koncepcia sa zároveň posúva od všeobecných deklarácií k požiadavke overiteľnej kvality. Druhé vydanie IUCN Global Standard for Nature-based Solutions z roku 2026 poskytuje rámec na posudzovanie, implementáciu a monitoring škálovateľných a riešení s vysokou integritou (IUCN, 2026). Štandard zdôrazňuje väzbu na spoločenskú výzvu, vhodnú priestorovú mierku, biodiverzitnú integritu, ekonomickú realizovateľnosť, inkluzívne riadenie, riadenie kompromisov, adaptívny manažment a dlhodobú udržateľnosť. Pre technické navrhovanie je dôležité, že ekologický princíp a realizačná disciplína sa v tomto rámci nevylučujú; naopak, kvalitné riešenie musí byť súčasne ekologicky zdôvodnené a prakticky uskutočniteľné.

Výskum NbS sa rýchlo rozširuje, no dôkazová základňa zostáva nerovnomerná. Dunlop *et al.* (2024) upozorňujú najmä na potrebu presnejšie hodnotiť dlhodobé sociálne a ekonomické výsledky. V lesníckom použití preto označenie „NbS“ nemá nahrádzať technické zdôvodnenie účinku, ale dopĺňať ho požiadavkou na ekologickú a spoločenskú integritu.

Prírode blízke riešenia sa čiastočne prekrývajú s viacerými staršími prístupmi. Ekosystémovo založená adaptácia využíva biodiverzitu a ekosystémové služby na adaptáciu ľudí a spoločnosti na klimatickú zmenu; ekologická obnova sa sústreďuje na obnovu degradovaných ekosystémov; zelená a modrá infraštruktúra pracuje so sieťou prírodných a poloprírodných prvkov; prírode blízke obhospodarovanie lesa sa usiluje o postupy bližšie prirodzeným procesom. Tieto prístupy môžu vytvárať prírode blízke riešenia, ale nie sú s nimi automaticky totožné. Rozhodujúcim znakom NbS je vedomé riešenie konkrétnej spoločenskej výzvy pri súčasnom zachovaní alebo posilnení biodiverzity a ekosystémových služieb.

V podmienkach Slovenskej republiky je prírode blízke hospodárenie v lesoch legislatívne upravené v § 24a vyhlášky č. 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesov a o ochrane lesa,

ktorý bol doplnený vyhláškou č. 537/2021 Z. z. Úprava vymedzuje vytváranie výberkových lesov, trvalo viacetážových a mozaikových lesných porastov, ako aj prebudovu lesa na prírode blízke hospodárenie. Prírode blízke hospodárenie v lesoch však nemožno stotožňovať s celou koncepciou prírode blízkyh riešení. Predstavuje predovšetkým lesnícky spôsob obhospodarovania porastov, zatiaľ čo prírode blízke riešenia zahŕňajú aj opatrenia zamerané na ochranu pôdy a vody, obmedzovanie erózie, stabilizáciu svahov a znižovanie požiarneho rizika.

V lesnom prostredí môže byť rozdiel praktický. Ponechanie mŕtveho dreva je významným opatrením na podporu biodiverzity, ale samo osebe nemusí byť formulované ako NbS voči konkrétnemu klimatickému riziku. Naopak, obnova ripariálneho porastu a drobných retenčných prvkov môže byť prírode blízkym riešením, ak cielene znižuje rýchlosť odtoku, stabilizuje brehy, podporuje biotopy a je navrhnutá podľa hydrologických a ekologických podmienok lokality. Rovnaký typ zásahu tak môže byť v jednej situácii súčasťou NbS a v inej iba bežným manažmentovým opatrením.

Seddon *et al.* (2020) upozorňujú, že NbS majú významné možnosti pri adaptácii na klimatickú zmenu, ale ich prínosy sú podmienené kvalitou návrhu a ekologickými limitmi. Riešenia založené na prírode nemajú slúžiť ako náhrada znižovania emisií ani ako ospravedlnenie poškodzovania biodiverzity na inom mieste. V adaptačnom kontexte je rovnako dôležité nepredpokladať, že príroda dokáže kompenzovať akúkoľvek intenzitu hazardu. Pri extrémnom prietoku, nestabilnom svahu alebo vysokom požiarom zaťažení môže byť potrebné kombinovať prírodné procesy s technickými prvkami a s organizačnými opatreniami.

Pre túto monografiu je preto vhodné pracovať s kontinuum riešení od prevažne ekologických zásahov po hybridné opatrenia. Kritériom nie je „čistota“ materiálu, ale zachovanie funkčného prírodného procesu a minimalizácia zásahov, ktoré by podkopávali ekologický cieľ. Drevený prah v odvodňovacej ryhe môže byť súčasťou NbS, ak spomaľuje odtok a podporuje infiltráciu bez vytvárania nového erózneho problému. Masívny technický objekt môže byť potrebný z bezpečnostných dôvodov, ale jeho samotná prítomnosť z neho prírode blízke riešenie nerobí.

Tabuľka 2.4 ukazuje, že kvalitné NbS má dve rovnocenné roviny. Prvou je ekologická integrita, t. j. väzba na funkčný proces, biodiverzitu a miestne podmienky. Druhou je realizačná integrita, teda jasný cieľ, technická uskutočniteľnosť, správa, monitoring a možnosť adaptívnej zmeny. Ak chýba jedna z nich, riešenie môže byť ekologicky atraktívne, ale prevádzkovo nefunkčné, alebo naopak technicky účinné, ale bez vlastností, ktoré odôvodňujú jeho zaradenie medzi NbS.

Tabuľka 2.4 Znaký vysokokvalitného prírode blízkeho riešenia v lesnom prostredí

Kritický znak	Význam pri lesnom opatrení	Čo samo osebe nestačí
Jasne definovaná výzva	zásah reaguje na konkrétny problém – napr. odtok, eróziu, nestabilitu, suchu alebo požiarne riziko	všeobecné tvrdenie, že opatrenie „zvyšuje odolnosť“
Väzba na ekologický proces	návrh využíva infiltráciu, sukcesiu, vegetačné spevnenie, mikroklimu alebo inú prirodzenú funkciu	použitie dreva, kameňa či vegetácie bez vysvetlenia mechanizmu
Biodiverzitná a ekosystémová integrita	opatrenie nepoškodzuje kľúčové biotopy a podľa možností zlepšuje funkcie ekosystému	jediný technický účinok bez posúdenia vedľajších dopadov
Miestne prispôsobenie a primeraná miera	parametre vychádzajú z reliéfu, pôdy, hydrológie, porastu a prevádzky	kopírovanie rozmerov alebo typu opatrenia z inej lokality
Realizovateľnosť a správa	sú známe náklady, prístup, údržba, zodpovednosť a životný cyklus	jednorazová realizácia bez následnej kontroly
Monitoring a adaptívne riadenie	vopred sú určené ukazovatele účinku a pravidlá úpravy riešenia	fotodokumentácia po dokončení ako jediný dôkaz funkčnosti

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa United Nations Environment Programme (2022), European Commission (2025) a IUCN (2026).

Tento rámec zároveň zabraňuje formálnemu „ozeleneniu“ tradičných technických zásahov. Pridaním vegetácie ku konštrukcii nevzniká automaticky prírode blízke riešenie. Musí byť zrejmé, aký proces vegetácia zabezpečuje, aké podmienky potrebuje na prežitie a ako sa jej funkcia bude meniť počas životného cyklu opatrenia. Pri bioinžinierskych riešeniach je práve časový vývoj významnou súčasťou návrhu: bezprostredne po realizácii môže technickú stabilitu zabezpečovať konštrukčný prvok, neskôr časť funkcie preberá zakorenená vegetácia.

Dôkazová základňa prírode blízkeho riešenia v lesoch sa v posledných rokoch rozširuje, stále však nie je rovnomerná pre všetky typy zásahov a všetky klimatické zóny. Keesstra *et al.* (2024) pri hodnotení NbS vo vzťahu k požiarom a škodcom rozlišujú opatrenia pred disturbanciou, počas obnovy a po nej a zdôrazňujú potrebu kombinovať prevenciu, adaptáciu a obnovu v krajinnom kontexte. EEA (2025) následne ukazuje, že pri požiarom riziku môžu mať význam úpravy štruktúry a druhového zloženia, obnova degradovaných lesov, manažment paliva a krajinná mozaika, avšak výsledok závisí od typu lesa, podnebia a dlhodobého manažmentu.

Pre vodné, protierózne a stabilizačné riešenia platí rovnaký princíp. Účinnosť nie je vlastnosťou názvu opatrenia, ale vzťahu medzi jeho konštrukciou a procesom, ktorý má meniť. Retenčný prvok je účinný iba vtedy, ak je umiestnený v hydrologicky relevantnom mieste a má primeranú kapacitu; vegetačné spevnenie funguje iba pri druhu a spôsobe založenia

zodpovedajúcom pôde, vlhkosti a mechanickému namáhaniu; úprava lesnej cesty znižuje eróziu len vtedy, keď vyrieši aj smerovanie odtoku. Prírode blízky charakter preto zvyšuje nároky na diagnostiku a návrh, nie ich znižuje.

Významným limitom je aj čas. Viaceré NbS nadobúdajú plnú funkciu postupne, pretože závisia od rastu vegetácie, vývoja pôdnej štruktúry alebo prirodzenej akumulácie organického materiálu. V prvých rokoch po realizácii môže byť účinok slabší alebo premenlivejší. Na druhej strane práve schopnosť vyvíjať sa a prispôsobovať môže byť ich výhodou oproti striktne statickému prvku. Hodnotenie musí preto rozlíšiť realizačnú úspešnosť, krátkodobú funkčnosť a dlhodobý ekologický účinok.

Súčasný stav poznania tak vytvára pomerne jasné východisko pre ďalší postup monografie. Klimatická zmena mení expozíciu lesov a disturbančné režimy; výsledný dopad závisí od zraniteľnosti porastu a jeho schopnosti odolat' a obnoviť sa. Prírode blízke riešenia môžu tieto vzťahy cielene ovplyvňovať, len ak vychádzajú z diagnostiky konkrétneho problému, rešpektujú ekologické limity a ich účinok je merateľný.

3. Metodické prístupy k hodnoteniu odolnosti lesných porastov

Predchádzajúca kapitola vymedzila klimatické a disturbančné súvislosti odolnosti lesa a ukázala, že odolnosť, zraniteľnosť a reziliencia majú význam iba vo vzťahu ku konkrétnemu činiteľu, časovému horizontu a funkcii porastu. Obsah tejto kapitoly preto nespočíva v ďalšom opisovaní týchto pojmov, ale v ich prevode na postup, podľa ktorého možno územie preskúmať, údaje zjednotiť, riziká rozlíšiť a pripraviť podklady pre výber prírode blízkyh opatrení.

Východiskom je zásada, že rozhodnutie o opatrení musí byť spätne dohľadateľné k údajom, z ktorých vzniklo. Ak sa napríklad určitý svah označí za erózne ohrozený, musí byť zrejmé, či toto hodnotenie vychádza zo sklonu, sústredeného odtoku, poškodenia pôdneho krytu, terénneho dôkazu odnosu pôdy alebo z kombinácie viacerých znakov. Rovnaká požiadavka platí pri suchu, vetrovom riziku, požari, poškodení lesnej cesty či zníženej schopnosti porastu zotaviť sa po disturbancii. Metóda má preto spájať terénny dôkaz, priestorovú informáciu a časové pozorovanie, nie nahrádzať jeden typ údajov druhým.

Integrovanú logiku hodnotenia, ktorú kapitola ďalej rozpracúva, znázorňuje schéma na obrázku 3.1.



Schéma 3.1 Logika metodického hodnotenia odolnosti lesného porastu. Zdroj: Vlastné spracovanie v nadväznosti na ISO 31000:2018, IEC 31010:2019 a metodické princípy ICP Forests.

Schéma na obrázku 3.1 vyjadruje poradie prác, nie jednorazový lineárny proces. Nový terénny nález alebo časový rad môže zmeniť pôvodnú klasifikáciu rizika a monitoring môže ukázať, že zvolený indikátor nereaguje na sledovaný proces. Metodika musí umožniť takúto spätnú väzbu bez toho, aby sa stratila porovnateľnosť medzi etapami hodnotenia.

3.1. Identifikácia a klasifikácia rizík

Identifikácia rizík začína vymedzením rozhodovacej otázky. V lesnom prostredí nestačí položiť všeobecnú otázku, či je územie „rizikové“. Potrebné je určiť, čo môže byť poškodené, akým procesom, v akom priestore a v akom časovom horizonte. Jedna lokalita môže mať súčasne vysokú náchylnosť na povrchový odtok, nízku pravdepodobnosť zosuvu, zvýšenú expozíciu vetru a sezónne rastúce požiarne nebezpečenstvo. Zlúčenie týchto javov do jednej neurčitej triedy by znižovalo použiteľnosť hodnotenia pri návrhu opatrenia.

Norma ISO 31000:2018 chápe posudzovanie rizika ako súčasť širšieho procesu riadenia rizika, v ktorom sa riziká identifikujú, analyzujú, hodnotia a následne ošetrojú, monitorujú a komunikujú. Norma IEC 31010:2019 dopĺňa tento rámec súborom techník použiteľných pri identifikácii zdrojov, príčin, následkov a neistôt. Pre lesné územie z toho vyplýva, že ešte pred samotným bodovaním treba stanoviť jednotku hodnotenia. Môže ňou byť porast, porastová skupina, mikropovodie, úsek lesnej cesty, svahový segment, plocha pripravovaného opatrenia alebo kombinácia týchto jednotiek podľa typu javu.

Rozhodovacia jednotka nesmie byť zvolená iba podľa dostupnosti mapovej vrstvy. Hranica porastu je vhodná pre druhové a štrukturálne charakteristiky, no odtokové dráhy alebo erózne procesy ju nerešpektujú. Naopak, hydrologicky odvodené mikropovodie je užitočné pre sústredený odtok, ale nemusí zodpovedať organizačnej jednotke hospodárenia. Preto sa odporúča viesť hodnotenie v dvoch rovinách: priestorové jednotky zodpovedajú procesu a evidenčné jednotky umožňujú priradenie vlastníckych, prevádzkových a hospodárskych údajov.

Prvým výstupom nie je mapa rizika, ale presná definícia posudzovaného problému. Pre každý jav sa zaznamená jeho názov, mechanizmus, priestorový rozsah, časová škála, možné následky a údaje, ktorými možno jeho prítomnosť potvrdiť alebo vyvrátiť. Takýto zápis bráni tomu, aby sa neskôr do jednej kategórie zmiešali napríklad deficit vody v pôde, fyziologický stres stromov a následná mortalita, hoci ide o odlišné články jednej kauzálnej reťaze.

Praktická identifikácia rizika má vychádzať z kombinácie kancelárskej prípravy a terénneho overenia. Pred výjazdom sa zhromaždia dostupné údaje o reliéfe, hydrografii, lesných porastoch, pôde, prístupovej sieti, predchádzajúcich disturbanciách, požiaroch, prívalových zrážkach, poškodeniach ciest a realizovaných zásahoch. Ich úlohou nie je „dokázať“ riziko, ale vytvoriť zoznam pracovných hypotéz a miest, kde treba v teréne hľadať potvrdzujúce alebo vyvracajúce znaky.

Pri terénnej obhliadke sa pracuje s reťazcom zdroj → dráha šírenia → exponovaný prvok → následok. Pri povrchovom odtoku môže byť zdrojom intenzívna zrážka na málo priepustnom alebo zhutnenom povrchu, dráhou koľaj alebo priekopa, exponovaným prvkom násyp lesnej cesty a následkom erózný výmol' alebo zanesenie priepustu. Pri vetrovej disturbancii je zdrojom meteorologický jav, expozíciu mení reliéf a okrajová poloha porastu, citlivosť ovplyvňuje výška, štíhlosť, koreňový priestor a predchádzajúce poškodenie a následkom môže byť vývrat alebo zlom. Takéto rozloženie pomáha odlíšiť miesto vzniku procesu od miesta, kde sa prejaví škoda.

Minimálny obsah registra identifikovaných rizík sumarizuje tabuľka 3.1.

Tabuľka 3.1 Odporúčany minimálny obsah registra identifikovaných rizík

Pole registra	Obsah	Príklad zápisu
Kód a názov rizika	jednoznačný identifikátor a stručné pomenovanie	R-ER-03 – sústredená vodná erózia
Posudzovaná jednotka	plocha, úsek alebo objekt, ku ktorému sa hodnotenie viaže	svahový segment a úsek približovacej linky
Zdroj / spúšťač	jav alebo podmienka iniciujúca proces	prívalová zrážka, topenie snehu
Dráha / mechanizmus	spôsob prenosu pôsobenia	koncentrácia odtoku v koľaji
Exponovaný prvok	čo môže byť zasiahnuté	pôdny kryt, cesta, priepust, porast

Pole registra	Obsah	Príklad zápisu
Terénny dôkaz	pozorovaný znak a jeho poloha	ryha, sediment, obnažené korene, GNSS bod
Dátový podklad	vrstva, meranie alebo záznam použitý pri analýze	DMT, ortofoto, zrážkový rad, inventarizácia
Neistota	obmedzenie údajov alebo interpretácie	neznáma reakcia pri zrážke s dobou opakovania > 10 rokov

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa normy ISO 31000:2018 a IEC 31010:2019.

Register je pracovným dokumentom, ktorý sa počas hodnotenia dopĺňa. Jeho výhodou je, že oddelí existenciu javu od jeho neskoršieho hodnotenia a zároveň uchová pôvod údajov. Ak sa klasifikácia zmení po ďalšom meraní alebo po extrémnej udalosti, zostáva zrejmé, na základe čoho bola pôvodná trieda pridelená.

Po identifikácii nasleduje analýza expozície a podmienok, ktoré môžu priebeh javu zosilniť alebo tlmiť. Priestorová expozícia sa má odvodiť z premenných, ktoré majú vzťah k mechanizmu. Samotná blízkosť vodného toku napríklad nevystihuje povrchový odtok na svahu; rozhodujúce môžu byť sklon, konkávnosť reliéfu, príspevková plocha, priechodnosť priepustov a stav povrchu. Podobne pri požiaroch nie je vhodné odvodiť riziko iba z druhu dreveniny bez informácie o dostupnom palive, jeho vlhkosti, vertikálnej a horizontálnej kontinuite a podmienkach šírenia.

Pri rizikách s výraznou časovou dynamikou treba odlíšiť stavové údaje a údaje o konkrétnej udalosti. Stavové údaje opisujú pomaly sa meniace vlastnosti, ako je reliéf, pôdny typ, druhová skladba alebo konštrukcia cesty. Údaje o udalosti zachytávajú konkrétnu zrážku, víchricu, obdobie sucha, požiar či zásah. Ich spoločné vyhodnotenie umožňuje rozlíšiť predispozíciu od spúšťača. Bez tohto rozlíšenia sa po jednej udalosti ľahko preceňuje význam náhodne zasiahnutého miesta a podceňuje plocha, ktorá má rovnaké predispozície, ale zatiaľ nebola vystavená porovnateľnému spúšťaču.

Pri kombinovaných rizikách sa odporúča viesť samostatné záznamy pre jednotlivé procesy a až následne dokumentovať ich väzby. Sucho môže znížiť vitalitu stromov, zvýšiť podiel suchého materiálu a pripraviť podmienky pre rýchlejšie šírenie požiaru; vetrová disturbancia môže vytvoriť veľké množstvo ležiaceho dreva a zároveň zmeniť prístupnosť územia. Takáto väzba však neznamená, že každé sucho vedie k požiaru alebo každý vývrat k podkôrnikovej kalamite. Metodika má preto opisovať možné kaskády ako podmienené reťazce, nie ako isté následky.

Pri mapovaní sa má pri každom odvodenom ukazovateli evidovať jeho pôvod, dátum, priestorové rozlíšenie, použitá transformácia a rozsah platnosti. Tým sa predchádza situácii, keď sa staršia vrstva považuje za aktuálny stav alebo keď sa detailný výsledok interpretuje presnejšie, než umožňujú vstupné dáta. Rovnaké pravidlo platí aj pre klasifikácie vytvorené modelom alebo expertným bodovaním.

Klasifikácia rizika má uľahčiť porovnanie a prioritizáciu, nie vytvoriť zdanie presnosti, ktorú údaje nemajú. V terénnych aplikáciách je často primerané použiť ordinálne triedy pravdepodobnosti alebo frekvencie a triedy závažnosti následku. Ich hranice však musia byť vopred definované. Označenie „vysoká pravdepodobnosť“ bez časového horizontu alebo bez väzby na pozorovanú frekvenciu sa nedá medzi lokalitami spoľahlivo porovnať.

Norma IEC 31010:2019 uvádza maticové techniky medzi nástrojmi hodnotenia rizika, zároveň však výber techniky viaže na účel, dostupné údaje a neistotu. Pre potreby tejto monografie sa riziková matica chápe iba ako triediaci nástroj. Nie je náhradou fyzikálneho modelu ani dôkazom pravdepodobnosti. Jej uplatnenie je vhodné vtedy, keď sú triedy zadefinované rovnakým spôsobom pre celé hodnotené územie a keď sa uchová aj pôvodná informácia, z ktorej bola trieda odvodená.

Príklad päťstupňovej klasifikácie, ktorú možno po prispôbení použiť na predbežné triedenie, uvádza tabuľka 3.2.

Tabuľka 3.2 Príklad pracovných tried pre predbežnú klasifikáciu rizika

Trieda	Pravdepodobnosť / frekvencia	Závažnosť následku	Význam pre ďalší postup
1 – veľmi nízka	jav nie je v dostupnom období doložený a chýbajú výrazné predispozície	lokálny, ľahko reverzibilný účinkok bez straty funkcie	evidovať; osobitné opatrenie spravidla nie je prioritné
2 – nízka	ojedinelý jav alebo slabé predispozície	malý rozsah, krátkodobé obmedzenie funkcie	overiť pri pravidelnej obhliadke
3 – stredná	opakovaný jav alebo kombinácia viacerých predispozícií	merateľná strata funkcie alebo potreba zásahu	zaradiť do porovnania variantov opatrení
4 – vysoká	častý jav, silné predispozície alebo preukázaná aktivita procesu	významná škoda, dlhšie obmedzenie funkcie alebo šírenie do okolia	prioritné terénne overenie a návrh opatrenia
5 – veľmi vysoká	aktívny proces alebo bezprostredne očakávaný jav pri bežnom spúšťaní	závažná alebo ťažko reverzibilná strata funkcie, ohrozenie objektu či bezpečnosti	bezodkladné riešenie, podrobnejšia analýza a monitoring

Zdroj: Vlastné spracovanie; princíp výberu techniky a práce s neistotou podľa IEC 31010:2019.

Hranice tried sa majú pre konkrétnu aplikáciu doplniť merateľnými kritériami. Pri erózii to môže byť hustota výmolu, zasiahnutá plocha alebo opakovaný výskyt sedimentu; pri ceste frekvencia poškodenia a nepriechodnosti; pri vodnom režime trvanie prekročenia vopred zvoleného prahu. Číselné hodnoty nemajú byť preberané z iného územia bez overenia ich významu v miestnych podmienkach.

Samostatnú pozornosť si vyžaduje neistota. V lesnom prostredí vzniká z neúplných časových radov, rôznej presnosti mapových vrstiev, neznámej histórie zásahov, sezónnosti terénnych pozorovaní aj z toho, že rovnaký pozorovaný stav môže mať viac príčin. Neistota sa

preto nemá „skryt“ do výslednej triedy, ale zaznamenať samostatne. Praktické je rozlišovať neistotu vstupných dát, neistotu modelu alebo pravidla a neistotu interpretácie.

Pri expertnom hodnotení je vhodné evidovať aj mieru zhody hodnotiteľov. Ak dvaja odborníci nezávisle zaradia ten istý úsek do odlišných tried, rozdiel nie je iba problémom osoby; môže signalizovať nejasné kritérium. Takéto miesta sa majú použiť na spresnenie metodiky. V automatizovanej klasifikácii je analogickým problémom neistota modelu a nevyvážené zastúpenie tried. V oboch prípadoch je dôležité zachovať možnosť dohľadať pôvodný údaj a dôvod rozhodnutia.

Pri prioritizácii sa odporúča oddeliť úroveň rizika od naliehavosti zásahu. Vysoké ekologické riziko nemusí vždy vyžadovať okamžitú technickú intervenciu; môže byť vhodnejšie obmedziť rušivý zásah a sledovať prirodzenú obnovu. Naopak, stredné riziko poškodenia malého priepustu môže mať vysokú prevádzkovú naliehavosť, ak jeho zlyhanie preruší jedinú prístupovú komunikáciu. Tieto dve roviny sa preto majú viesť samostatne: jedna vyjadruje charakter procesu a možný následok, druhá rozhodovaciu prioritu vzhľadom na ciele správy územia.

Výsledná mapa rizík má obsahovať aj miesta s nedostatkom údajov. „Neznáme“ nie je synonymom nízkeho rizika. Ak je napríklad horná časť povodia neprístupná alebo chýba záznam o stave priepustov, takáto plocha sa označí ako neistá a zaradí sa do terénneho overenia. Tento postup je dôležitý najmä pri použití automaticky odvodených vrstiev, ktoré môžu vytvárať vizuálne súvislý výstup aj tam, kde sú vstupné údaje slabé.

Metodickým výstupom podkapitoly 3.1 je teda nie jedna mapa rizika, ale súbor navzájom prepojených podkladov: register rizík, vrstva alebo súbor vrstiev priestorovej expozície, záznam z terénneho zisťovania, klasifikačné pravidlá a záznam neistoty. Tieto podklady musia používať spoločné identifikátory, aby bolo možné prejsť z mapového objektu k terénnemu formuláru a späť. Až takto pripravené údaje možno zmysluplne spojiť s hodnotením zraniteľnosti a reziliencie.

Pri aktualizácii sa nemení iba výsledná trieda. Ak nová udalosť ukáže, že pôvodne predpokladaná dráha šírenia nebola správna, upraví sa aj kauzálny opis. Ak sa zistí, že hranica hodnotenej jednotky nezodpovedá procesu, upraví sa geometria, pričom sa zachová história verzií. Verzionovanie je podstatné pre neskoršie hodnotenie účinnosti opatrení, pretože bez znalosti východiskového stavu nemožno spoľahlivo posúdiť, čo sa po realizácii skutočne zmenilo.

Hodnotenie rizika sa týmto stáva vstupom pre ďalšiu otázku: prečo má rovnaký vonkajší podnet na dvoch podobne exponovaných miestach odlišný dôsledok a akú schopnosť majú porasty alebo lokality následok absorbovať a zotaviť sa. Túto časť rieši hodnotenie zraniteľnosti a reziliencie. Na rozdiel od identifikácie rizika sa sústreďuje na vlastnosti hodnoteného systému a na jeho reakciu, nie iba na prítomnosť nebezpečného procesu.

Pre praktickú prácu je vhodné už v tejto fáze určiť, ktoré riziká sa budú hodnotiť podrobne a ktoré zostanú iba evidované. Rozhodnutie sa má opierať o význam následku, priestorový rozsah, možnosť ovplyvniť proces opatrením, dostupnosť údajov a potrebu ochrany konkrétnej

funkcie územia. Tým sa zabráni nadmernému zberu premenných bez jasného využitia a sústredia sa kapacity na indikátory, ktoré budú skutočne potrebné pri návrhu a monitorovaní opatrení.

3.2. Hodnotenie zraniteľnosti a reziliencie

Hodnotenie zraniteľnosti a reziliencie nadväzuje na konkrétne identifikované riziko. Nezačína tvorbou univerzálneho indexu, ale určením hodnotenej funkcie a referenčného stavu. Iný súbor ukazovateľov je potrebný pri posudzovaní schopnosti porastu udržať pôdoochrannú funkciu na strmom svahu a iný pri hodnotení jeho schopnosti zotaviť sa po suchu alebo vetrovej disturbancii. Základná otázka preto znie: ktorú vlastnosť systému chceme zachovať alebo obnoviť a aká zmena sa už považuje za neprijateľnú?

Referenčný stav nemusí znamenať historický „ideálny“ les. V aplikovanom hodnotení môže ísť o stav pred zásahom, priemer stabilného obdobia, porovnateľnú kontrolnú plochu alebo rozsah hodnôt definovaný odborným cieľom. Podstatné je, aby bol referenčný rámec zdokumentovaný

a aby sa nemenil podľa toho, ako vyzerajú neskoršie výsledky. Ak sa referenčná báza dodatočne posúva, zdanlivé zlepšenie alebo zhoršenie môže byť iba artefaktom hodnotenia.

Zraniteľnosť sa v tejto metodike neposudzuje ako jedna vlastnosť porastu. Rozkladá sa na znaky citlivosti k danému procesu a na faktory, ktoré zvyšujú alebo znižujú schopnosť reagovať. Pri suchu môže byť dôležitá zásoba využiteľnej pôdnej vody, hĺbka koreňového priestoru, druhová skladba a konkurencia; pri erózii pokryv pôdy, sklon, koncentrácia odtoku a narušenie povrchu; pri vetre štruktúra okraja, výška stromov a zakorenenie. Rovnaký indikátor preto nemá automaticky rovnakú interpretačnú váhu pri rôznych rizikách.

Reziliencia sa hodnotí časovo. Potrebné je zachytiť stav pred disturbanciou, veľkosť odchýlky počas alebo bezprostredne po udalosti a následnú trajektóriu. Jednorazová inventarizácia po udalosti môže opísať poškodenie, ale sama osebe neukazuje rýchlosť obnovy ani to, či sa systém vracia k pôvodnej funkcii, prechádza do nového stabilného stavu alebo ďalej degraduje. Preto sa výber ukazovateľov musí viazať aj na plán opakovaných meraní.

Ukazovatele sa majú usporiadať tak, aby sa nemiešali príčiny, vlastnosti systému a následky. Pre transparentné hodnotenie je užitočné rozlišovať ukazovatele expozície, citlivosti, reakcie a výsledného stavu. Expozícia opisuje intenzitu alebo prítomnosť podnetu, citlivosť vlastnosti, ktoré menia jeho účinok, reakcia zachytáva mechanizmus odpovede a výsledný stav vyjadruje dopad na sledovanú funkciu. Takéto členenie zároveň znižuje riziko dvojitého započítania toho istého procesu v komplexnom indexe.

Príklad pracovnej štruktúry indikátorov pre vybrané typy hodnotenia uvádza tabuľka 3.3.

Tabuľka 3.3 Príklad oddelenia typov indikátorov pri hodnotení zraniteľnosti a reziliencie

Hodnotená oblasť	Expozícia / spúšťač	Citlivosť systému	Reakcia / stav	Možný výsledkový ukazovateľ
Vodný stres porastu	deficit zrážok, vysoký výparový dopyt	zásoba pôdnej vody, hĺbka pôdy, hustota porastu	pôdna vlhkosť, prírastok, fenologická reakcia	zmena prírastku, defoliácia alebo mortalita voči referencii
Povrchová erózia	intenzívna zrážka, sústredený odtok	sklon, pokryv pôdy, zhutnenie, narušenie povrchu	vznik ryhy, prenos sedimentu	plocha/objem erózie alebo miera stabilizácie
Vetrová disturbancia	nárazový vietor, nasýtenie pôdy	výška, štihlosť, koreňový priestor, okrajová poloha	vývraty, zlomy, otvorenie zápoja	podiel poškodených stromov a následná obnova
Požiarne riziko	suché a teplé obdobie, zdroj iniciácie	množstvo a kontinuita dostupného paliva, prístupnosť	zmena vlhkosti paliva, lokálne poškodenie	rozsah zasiahnutia, čas obnovy krytu a funkcie
Funkčnosť lesnej cesty	prívalový odtok, mráz/topenie, doprava	odvodnenie, materiál, pozdĺžny a priečny sklon	erózia povrchu, zanesenie priepustu, deformácia	doba obmedzenia prejazdnosti a rozsah opravy

Zdroj: Vlastné spracovanie; metodické princípy harmonizácie a kvality merania podľa Ferretti et al. (2021), Cools a De Vos (2025) a Dobbertin et al. (2025).

Tabuľka 3.3 nie je katalógom povinných ukazovateľov. Jej účelom je ukázať logiku výberu. Do konkrétneho hodnotenia sa zaradia iba tie premenné, ktoré majú vysvetliteľnú väzbu na posudzovaný mechanizmus a ktoré možno zmerať s primeranou presnosťou a opakovateľnosťou.

Ak sa viac ukazovateľov spája do jedného indexu, transformácia musí zostať čitateľná. Najjednoduchší postup predstavuje normalizácia na spoločnú škálu a následné váženie, ale aj takýto výpočet je citlivý na voľbu minima, maxima, smeru indikátora a váhy. Hodnota indexu preto nemá byť prezentovaná ako priamo meraná vlastnosť lesa. Je to konštruovaný súhrnný ukazovateľ, ktorého význam závisí od pravidiel zostavenia.

V praxi sa odporúča uchovať popri súhrnnom skóre aj hodnoty jednotlivých ukazovateľov. Dve lokality môžu dosiahnuť rovnaké celkové skóre úplne odlišnou kombináciou príčin: jedna môže mať vysokú expozíciu a nízku citlivosť, druhá nízku expozíciu, ale veľmi vysokú citlivosť. Pre návrh opatrenia ide o zásadný rozdiel. Prvá lokalita si môže vyžadovať zásah do dráhy pôsobenia, druhá zmenu vlastností porastu alebo pôdy.

Váhy ukazovateľov majú vyjadrovať význam pre konkrétny cieľ, nie iba dostupnosť údajov. Ak nie je dostatočný podklad pre numerické váhy, je metodicky poctivejšie použiť kategórie

a expertné zdôvodnenie než pridelit' presné percentá bez opory. Pri expertnom vážení je vhodné vykonať citlivosťnú analýzu: zmenit' váhy v rozumnom rozsahu a sledovať, či sa poradie priorít výrazne mení. Ak sa výsledok pri malej zmene váhy prevráti, treba ho interpretovať ako nestabilný.

Podobne treba overovať prahové hodnoty. Prah môže vychádzať z fyziologického významu, technickej požiadavky, distribúcie miestnych dát alebo z porovnania s referenčnými plochami. Nemal by však byť zvolený iba preto, aby rozdelil mapu na vizuálne vyvážené triedy. Pri každom prahu sa zaznamená zdroj, spôsob odvodenia a rozsah, pre ktorý je použiteľný.

Pri hodnotení prírode blízkych opatrení je osobitne dôležité nespojiť ekologický cieľ s jediným indikátorom. Zvýšenie vlhkosti pôdy môže byť priaznivé pre vodný režim, ale samo osebe nedokazuje lepšiu stabilitu porastu; zníženie povrchového odtoku neznamená automaticky zlepšenie biodiverzity. Súbor indikátorov má preto pokryť priamy technický účinok opatrenia aj relevantnú ekologickú odpoveď, pričom sa jasne rozlíši, čo sa meria priamo a čo sa iba odvodzuje.

Časová zložka reziliencie sa dá prakticky opísať pomocou troch bodov: východiskovej úrovne funkcie, maximálnej alebo reprezentatívnej odchýlky po disturbancii a stavu po určenej dobe obnovy. Dôležitý je priebeh medzi nimi. Dve lokality môžu mať rovnakú hodnotu po piatich rokoch, ale jedna sa zotavila rýchlo a stabilizovala, kým druhá sa dlhodobo zhoršovala a zlepšila až po dodatočnom zásahu. Samotný koncový bod by tento rozdiel skryl.

Vzťah medzi odolnosťou voči bezprostrednému zásahu, obnovou a dlhodobějšíu trajektóriou znázorňuje schéma na obrázku 3.2.



Obrázok 3.2 Časové body hodnotenia reakcie a obnovy systému po disturbancii

Zdroj: Vlastné spracovanie; princípy opakovaného a porovnateľného merania podľa Ferretti et al. (2021) a Dobberty et al. (2025).

Schéma nepredpokladá, že cieľom je vždy návrat k identickému východiskovému stavu. Pri adaptácii môže byť žiaduci aj posun k inej štruktúre porastu, pokiaľ sa zachová alebo zlepši sledovaná funkcia. Preto sa pri hodnotení musia oddeliť štrukturálne zmeny od funkčného výsledku. Druhové zloženie sa môže meniť, zatiaľ čo pôdoochranná alebo hydrologická funkcia zostane zachovaná.

Pri veľmi pomalých procesoch nie je možné čakať na úplné zotavenie. Vtedy sa používajú včasné indikátory trajektórie: regenerácia, prírastok, stabilizácia pôdneho povrchu, opätovné zapojenie krytu alebo zmena frekvencie poškodenia. Ich interpretácia však musí zostať opatrná. Včasný pozitívny trend je dôkazom smeru vývoja, nie automaticky dôkazom dlhodobej reziliencie.

Konečné hodnotenie musí obsahovať neistotu a kvalitu údajov. Ferretti et al. (2021) pri systéme ICP Forests zdôrazňujú, že zabezpečenie kvality sa týka celého reťazca od cieľov

prieskumu cez porovnatelnosť v priestore a čase až po uloženie, spracovanie a reportovanie dát. Tento princíp je priamo použiteľný aj pri lokálnom hodnotení odolnosti: kvalitný indikátor nestačí, ak je raz meraný inou metódou, v inom termíne alebo na inom mieste bez dokumentácie zmeny.

Pri porovnávaní lokalít sa preto odporúča zaviesť samostatný atribút dôveryhodnosti výsledku. Môže vyjadrovať úplnosť časového radu, reprezentatívnosť vzorky, mieru priestorového pokrytia, kvalitu georeferencovania a istotu interpretácie. Výsledok „vysoká zraniteľnosť – nízka dôveryhodnosť“ má iný význam než „vysoká zraniteľnosť – vysoká dôveryhodnosť“ a vedie k odlišnému ďalšiemu kroku. V prvom prípade je prioritou doplnenie údajov, v druhom možno pristúpiť k návrhu opatrenia.

3.3. Terénny prieskum a dokumentácia východiskového stavu

Terénny prieskum má dve úlohy: overiť predpoklady vytvorené z dostupných podkladov a vytvoriť referenčný záznam, ku ktorému sa bude možné vrátiť po realizácii opatrenia alebo po ďalšej disturbancii. Preto musí byť opakovateľný. Nestačí uviesť, že lokalita bola „obhliadnutá“. Potrebné je zaznamenať kde, kedy, akou metódou a za akých podmienok bol údaj získaný, kto ho získal a aké obmedzenia pri meraní nastali.

Pred terénom sa pripraví pracovná mapa, zoznam plôch alebo úsekov, identifikátory objektov a súbor otázok vyplývajúcich z rizikového registra. Trasa prieskumu sa plánuje tak, aby obsiahla nielen predpokladané problémové miesta, ale aj porovnateľné nepoškodené alebo menej exponované lokality. Ak sa dokumentujú iba miesta s viditeľnou škodou, výsledný súbor dát je jednostranne zaťažený a nemožno z neho spoľahlivo odlíšiť typické podmienky od podmienok špecifických pre poškodenie.

Rozsah terénnej vzorky závisí od heterogenity územia a cieľa hodnotenia. Permanentné monitorovacie plochy sú vhodné tam, kde sa očakáva opakované meranie vegetácie, pôdy alebo rastu. Transekty môžu lepšie zachytiť gradient svahu, vzdialenosť od vodného toku alebo prechod od cesty do porastu. Línie a bodové objekty sa používajú pri cestách, priepustoch, výmoľoch, brehoch a technických prvkoch. Kombinácia týchto geometrií je často účelnejšia než snaha previesť všetky pozorovania na jeden typ plochy.

Medzinárodný kooperatívny program hodnotenia a monitorovania vplyvu znečistenia ovzdušia na lesy (angl. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests – ICP Forests) vo svojom súčasnom manuáli používa harmonizované postupy a dôraz na porovnatelnosť medzi miestami a obdobiami. Tento princíp sa pre lokálnu aplikáciu preberá bez mechanického kopírovania celej siete. Podstatné je vopred definovať rozmery plochy, výber meraných jedincov, hĺbky pôdneho odberu alebo umiestnenie opakovaných fotografických bodov a tieto pravidlá počas monitorovacieho obdobia svojvoľne nemeniť.

Georeferencovanie je základom prepájania terénu s GIS. Každá plocha, transekt, profil, senzor a dokumentovaný objekt dostane jednoznačný identifikátor a priestorovú polohu. Pri GNSS zázname sa okrem súradníc uchová dátum, použitý prístroj alebo režim merania

a odhad presnosti, ak ho zariadenie poskytuje. V hustých porastoch, strmých dolinách alebo pri skalných stenách sa má počítať so zhoršenou geometriou satelitov a odrazmi signálu; pri dôležitých bodoch je vhodné meranie zopakovať alebo polohu overiť voči inému podkladu.

Fotodokumentácia má byť reprodukovateľná, nie iba ilustračná. Fotografia sa viaže na objekt alebo plochu, smer snímania a približná výška kamery sa zapisujú do formulára. Pri opakovanom monitoringu sa používa rovnaké stanovisko a smer. Osobitne užitočné sú pevné fotobody pri erózných ryhách, drobných vodohospodárskych opatreniach, brehoch, priepustoch a plochách regenerácie, kde je zmena v čase vizuálne výrazná, ale ťažko opísateľná jednou veličinou.

Odporúčanú štruktúru terénneho formulára sumarizuje tabuľka 3.4.

Tabuľka 3.4 Odporúčaná štruktúra formulára pre dokumentáciu východiskového stavu

Blok formulára	Minimálne údaje	Poznámka k opakovateľnosti
Identifikácia	ID lokality/plochy, dátum, čas, hodnotiteľ	ID sa počas projektu nemení; zmena hranice sa verzionuje
Poloha	súradnice, výšková poloha, typ geometrie, presnosť	uviesť súradnicový systém a spôsob merania
Podmienky merania	počasie, stav pôdy/povrchu, viditeľnosť, recentná udalosť	dôležité pri porovnaní fotografií a senzorových údajov
Porast	dreviny, štruktúra, zápoj, regenerácia, poškodenie, mŕtve drevo podľa cieľa	použiť rovnaké definície a triedy pri opakovaní
Pôda a voda	povrchový stav, erózne znaky, vlhkosť/odber, odtokové dráhy	miesto odberu a hĺbka musia byť jednoznačné
Technické prvky	cesta, priekopa, priepust, prehrádzka, poškodenie a funkčnosť	rozlíšiť rozmer, stav a pozorovanú funkciu
Fotodokumentácia	ID fotografie, smer, objekt, poznámka	stály fotobod pri opakovaných snímkach
Neistota a odchýlka	neprístupnosť, porucha prístroja, zmena metódy	odchýlka sa nezamlčí; označí sa v dátach

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa princípov zabezpečenia kvality ICP Forests; Ferretti et al. (2021).

Merania porastu sa volia podľa hodnotenej funkcie. Základom býva druhová skladba, hrúbková a výšková štruktúra, zápoj, regenerácia a stav poškodenia; pri dlhodobom sledovaní sa dopĺňa prírastok. Dobbertin et al. (2025) rozlišujú periodické, permanentné a kontinuálne merania rastu a zdôrazňujú význam trvalo identifikovateľných plôch a jedincov. Pre túto monografiu je podstatný najmä princíp: ak sa má zmena prírastku alebo štruktúry použiť ako indikátor reakcie, musia sa opakovane merať tie isté objekty alebo musí byť presne definovaný spôsob výberu novej vzorky.

Mŕtve drevo, poškodenie korún či regenerácia sa nezaznamenávajú automaticky v maximálnom rozsahu. Ich význam závisí od riešenej otázky. Pri hodnotení požiarneho rizika je dôležité rozlíšiť polohu a rozmery horľavého materiálu a jeho kontinuitu; pri biodiverzitnom

cieli môže byť tá istá zložka žiaducim štrukturálnym prvkom. Terénny formulár preto nesmie vopred hodnotiť prvok ako „dobrý“ alebo „zlý“. Má ho opísať a interpretácia sa vykonáva vo vzťahu ku konkrétnemu cieľu.

Pri poškodení sa oddeľuje symptóm od predpokladanej príčiny. Zaznamená sa napríklad defoliácia, odumretie vrcholu, vývrat, zlom, poškodenie koreňových nábehov alebo mechanické narušenie kmeňa; príčina sa uvedie iba vtedy, ak ju možno rozumne podložiť. Tento postup je dôležitý pri kombinovaných disturbanciách, kde môže byť súčasný stav výsledkom viacerých po sebe nasledujúcich udalostí.

Priestorová reprezentatívnosť má prednosť pred veľkým počtom meraní sústredených na jednom ľahko prístupnom mieste. Plochy sa majú rozmiestniť tak, aby zachytili hlavné kombinácie expozície, stanovištných podmienok a zásahov. Ak to nie je možné, obmedzenie sa uvedie v metadátach a výsledky sa neextrapolujú mimo podobných podmienok.

Pôdny a hydrologický prieskum sa prispôsobuje mechanizmu, ktorý má vysvetliť. Cools a De Vos (2025) pri harmonizovanom monitoringu pôd zdôrazňujú jednotný spôsob odberu a analýzy a prácu s pevne definovanými hĺbkami, pretože bez nich nemožno porovnávať zmeny v čase a medzi lokalitami. Pre lokálne hodnotenie prírode blízkych opatrení je rovnaký princíp dôležitejší než rozsah laboratórnych analýz. Ak sa odoberá pôda na stanovenie vlhkosti, textúry, objemovej hmotnosti alebo chemických vlastností, miesto, hĺbka a spôsob odberu musia byť súčasťou záznamu.

Pri hydrologických znakoch sa dokumentuje, kadiaľ voda skutočne tečie, nie iba kadiaľ by mala tečť podľa mapy. Terénne stopy po sústredenom odtoku, sediment, nánosy konárov, podmytie, zamokrenie a nefunkčné odvodňovacie prvky poskytujú informáciu o procesoch, ktoré digitálny model reliéfu nemusí zachytiť. Zvlášť pri lesných cestách môžu násypy, rigoly, koľaje a priepusty meniť prirodzené dráhy odtoku v mierke menšej, než je rozlíšenie bežného terénneho modelu.

Pri erózii sa odporúča oddeliť mapovanie prítomnosti procesu od kvantifikácie jeho rozsahu. Prítomnosť možno doložiť bodom alebo líniou a fotografiou; rozsah sa podľa potreby meria dĺžkou, šírkou, hĺbkou profilu, plochou alebo opakovaným 3D záznamom. Takéto rozlíšenie umožňuje zaradiť do základného prieskumu väčší počet lokalít a podrobné merania sústrediť na reprezentatívne alebo kritické úseky.

Východiskový stav má zahŕňať aj zásahy, ktoré už územie ovplyvnili. Čerstvé približovacie linky, opravený priepust, ťažba po kalamite alebo obnova porastu menia interpretáciu neskoršej zmeny. Ak sa ich čas a rozsah nezaznamenajú, monitoring môže nesprávne pripísať výsledok novému prírode blízkemu opatreniu alebo naopak prehliadnuť jeho účinok.

Kvalita terénnych údajov sa nevytvára až pri čistení databázy. Ferretti *et al.* (2021) ju viažu na prípravu prieskumu, štandardné pracovné postupy, školenie, porovnávacie cvičenia, kontrolné merania a následné reakcie na zistenú nedostatočnú kvalitu. Pre menší projekt možno tento rámec zjednodušiť, nie však vynechať. Pred začiatkom zberu dát sa preto uskutoční

spoločné zaškolenie hodnotiteľov, skúšobné meranie na jednej ploche a kontrola, či sa jednotlivé položky formulára vykladajú rovnakým spôsobom.

Pri prístrojoch sa vedie evidencia kalibrácie alebo overenia, rozsahu merania a zmeny nastavenia. Ak sa počas projektu vymení senzor alebo GNSS zariadenie, zmena sa zapíše a podľa možnosti sa urobí súbežné meranie starým a novým prístrojom. Takýto prechodový interval umožní odlíšiť skutočnú zmenu prostredia od posunu spôsobeného technikou.

Dátová kontrola sa vykonáva čo najskôr po návrate z terénu. Kontroluje sa úplnosť identifikátorov, súradníc, časových údajov, jednotiek, väzieb na fotografie a logická konzistentnosť. Hodnota mimo obvyklého rozsahu sa automaticky nevymazáva; najprv sa označí a overí podľa pôvodného záznamu. Extrémna hodnota môže byť chybou, ale pri disturbancii môže predstavovať práve najdôležitejší údaj.

Výstupom terénneho prieskumu je verzovaný balík údajov obsahujúci priestorové objekty, tabuľkové merania, fotografie, metadáta a protokol kvality. Tento balík sa stáva referenciou pre diaľkový prieskum Zeme aj pre neskorší monitoring. Terén tak nie je samostatným blokom práce, ale referenčnou vrstvou, na ktorej sa overuje význam spektrálnych, výškových a modelovaných premenných.

3.4. Geoinformačné nástroje a metódy diaľkového prieskumu Zeme

Geoinformačné spracovanie má v hodnotení odolnosti dve odlišné úlohy. Prvou je organizácia údajov z rôznych zdrojov v spoločnom priestorovom rámci. Druhou je odvodenie nových informácií z reliéfu, obrazových časových radov a priestorových vzťahov. Tieto úlohy sa nemajú zamieňať: GIS vrstva je nosičom informácie, nie automaticky dôkazom procesu. Každý odvodený výstup musí byť možné prepojiť s jeho vstupmi, algoritmom a dátumom spracovania.

Základom je dátový model s jednotnými identifikátormi. Vektorové vrstvy plôch, línií a bodov sa prepájajú s terénnymi tabuľkami, zatiaľ čo rastrové dáta nesú súvislé polia ako nadmorská výška, sklon, spektrálne indexy alebo odvodené pravdepodobnosti. Pri každej vrstve sa eviduje súradnicový systém, priestorové rozlíšenie, čas platnosti, zdroj a verzia. Takéto metadáta sú nevyhnutné najmä pri dlhších projektoch, keď sa rovnaká tematická vrstva opakovane aktualizuje.

Pri výbere priestorového rozlíšenia platí zásada „tak podrobne, ako vyžaduje rozhodnutie, nie tak podrobne, ako umožňuje softvér“. Pre posúdenie odtokovej dráhy pri priepuste môže byť potrebný veľmi podrobný model reliéfu, kým pre regionálne porovnanie disturbancií postačuje hrubšie rozlíšenie. Resampling hrubých dát do menšieho pixelu nezvyšuje ich informačný obsah a nemá sa prezentovať ako zvýšenie presnosti.

Územné hranice sa majú považovať za analytické objekty. Porastová mapa, vlastnícka hranica, povodie a plocha snímky predstavujú rozdielne členenia priestoru. Pri prekrývacej (angl. overlay) analýze sa preto sleduje, či výsledná jednotka stále zodpovedá procesu. Ak nie,

výsledok sa agreguje alebo rozdelí podľa vhodnejšej logiky a táto transformácia sa zdokumentuje.

Digitálny model terénu umožňuje odvodiť sklon, orientáciu, lokálnu konkávnosť, povodné línie, príspevkové plochy a potenciálne odtokové dráhy. Tieto premenné sú užitočné pri predbežnom vyhľadávaní miest, kde sa môže koncentrovať voda, sediment alebo gravitačný proces. Ich interpretácia však závisí od kvality modelu a od toho, či sú v reliéfe zachytené cesty, priekopy, násypy a drobné terénne tvary. Pred rozhodnutím o technickom riešení sa preto kritické miesta overia v teréne.

Pri modelovaní odtoku je potrebné rozhodnúť, či sa používajú dáta reprezentujúce terén bez vegetácie alebo povrch vrátane objektov a vegetačných prvkov. Pre hydrologický tok sa spravidla preferuje model terénu, ale lokálne prehrádzky, násypy a stavebné prvky môžu byť pre skutočný smer toku rozhodujúce. Pri laserovom skenovaní (technológia LiDAR) je preto vhodné uchovať aj mračno bodov alebo odvodený model povrchu, aby sa v prípade potreby dalo overiť, čo bolo pri klasifikácii bodov odstránené.

Základné priestorové vrstvy a ich metodickú úlohu sumarizuje tabuľka 3.5.

Tabuľka 3.5 Základné geoinformačné vrstvy využiteľné pri hodnotení odolnosti lesného územia

Vrstva / údaj	Typický zdroj	Odvodené informácie	Metodická poznámka
Digitálny model terénu	letecké laserové skenovanie, národný DMT	sklon, orientácia, zakrivenie, dráhy odtoku	overiť rozlíšenie a vplyv ciest/násypov
Ortofoto / UAV ortomozaika	letecké snímkovanie, bezpilotný prostriedok	stav krytu, poškodenia, cesty, erózne tvary	dátum snímky musí zodpovedať interpretovanému stavu
Porastové údaje	lesnícka evidencia, terén	drevina, veková/štruktúrna informácia, hranice	aktualizácia po ťažbe alebo disturbancií
Hydrografia a technické prvky	oficiálne vrstvy + terénne mapovanie	toky, priepusty, rigoly, križovania	drobné prvky často treba doplniť terénom
Satelitný časový rad	Sentinel-2, Landsat/HLS	fenológia, zmena krytu, disturbancia, spektrálna odozva	vyžaduje maskovanie nekvalitných pozorovaní a validáciu
Terénne body/plochy	GNSS, inventarizácia, senzory	referenčné a validačné dáta	uchovať presnosť, čas a metodiku zberu

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Tabuľka zároveň ukazuje, že žiadna vrstva nemá byť používaná izolovane. Reliéf pomáha vysvetliť smer procesu, obrazové dáta jeho priestorový prejav a terén poskytuje fyzický dôkaz a referenciu pre interpretáciu.

Optické satelitné dáta sú vhodné najmä na sledovanie vegetačného krytu a jeho zmeny. Sentinel-2 používa multispektrálny senzor s trinástimi pásmami; časť pásiem je dostupná v priestorovom rozlíšení 10 m, ďalšie v 20 a 60 m (ESA, 2026). Pre analytické porovnávanie v čase je vhodné pracovať s produktmi, pri ktorých je jasne definovaná úroveň spracovania. Copernicus Data Space uvádza pri produkte Sentinel-2 Level-2A atmosféricky korigovanú

povrchovú odrazivosť, čo z neho robí vhodnejší východiskový produkt pre časové porovnania než nekorigované hodnoty na vrchole atmosféry, pokiaľ konkrétny postup nevyžaduje inak.

Radarové údaje, letecké ortofotomapy, laserové skenovanie a bezpilotné platformy dopĺňajú optické satelitné snímky odlišnými informáciami. Radar nie je závislý od oblačnosti rovnakým spôsobom ako optické snímky; LiDAR poskytuje 3D štruktúru a bezpilotné letecké prostriedky (angl. Unmanned Aerial Vehicles – UAV) môžu priniesť detailný záznam malej plochy v požadovanom termíne. Výber senzora sa preto viaže na otázku, nie na dostupnosť technológie. Ak je cieľom zmerať výšku eróznej hrany v centimetroch, pixel vzťahujúci sa k satelitným záznamom nie je vhodným meradlom; ak je cieľom zachytiť regionálnu disturbanciu, lokálny UAV prelet sám o sebe nestačí.

Porovnanie hlavných zdrojov údajov z hľadiska ich úlohy pri hodnotení sumarizuje tabuľka 3.6.

Tabuľka 3.6 Porovnanie zdrojov priestorových údajov pre hodnotenie lesného územia

Zdroj	Silná stránka	Typické využitie	Hlavné obmedzenie
Sentinel-2	multispektrálne časové rady a voľná dostupnosť	stav vegetácie, zmena krytu, disturbancie, sezónna dynamika	oblačnosť, tieňovanie, zmiešané pixely
Landsat / HLS	dlhý časový rad; pri HLS harmonizované Landsat–Sentinel pozorovania	dlhodobá zmena, porovnanie období, štrukturálne modely v kombinácii s referenciou	hrubšie priestorové rozlíšenie pre drobné objekty
Sentinel-1 / SAR	citlivosť na štruktúru a vlhkosť; prevádzka aj pri oblačnosti	doplnkové sledovanie zmien a štruktúry	zložitejšia interpretácia a geometrické efekty
ALS / LiDAR	presná 3D informácia o reliéfe a vegetácii	výška, vertikálna štruktúra, DMT, objemové charakteristiky	periodická dostupnosť a objem dát
UAV RGB/multispektrál/LiDAR	veľmi vysoké rozlíšenie a flexibilný termín	detail opatrenia, fotogrametria, lokálna validácia	malý rozsah, prevádzkové a legislatívne obmedzenia
Terénne meranie	priama interpretovateľnosť a fyzická referencia	kalibrácia/validácia, stav pôdy, mechanizmus poškodenia	časová a priestorová náročnosť

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa ESA; Copernicus Data Space; Viana-Soto a Senf (2025); Enguehard et al. (2026).

Časové rady vyžadujú dôsledné predspracovanie. Pri optických dátach sa odstraňujú alebo maskujú oblaky, tieňovanie a nekvalitné pixely, kontroluje sa geometrická registrácia a pri porovnávaní rôznych senzorov aj vzájomná konzistencia rádiometrie. V horskom teréne môže osvetlenie svahov meniť spektrálnu odozvu bez skutočnej zmeny vegetácie; pri dlhšom časovom rade treba zohľadniť aj sezónnosť a fenologický posun.

Jednorazový rozdiel dvoch snímok je citlivý na náhodné podmienky dátumu snímania. Preto je pri disturbanciách spravidla robustnejšie vyhodnocovať časový rad a hľadať trvalejšiu zmenu voči predchádzajúcej dynamike. Viana-Soto a Senf (2025) vytvorili European Forest Disturbance Atlas vytvorený z priestorovo a časovo konzistentného súboru údajov Landsat a pri výsledkoch explicitne uvádzajú nezávislé validačné charakteristiky. Ich prístup je dôležitý metodickým dôrazom na opakovateľný workflow, referenčné dáta a oddelenie detekcie disturbance od interpretácie jej pôvodu.

Pri lokálnom projekte nie je potrebné kopírovať kontinentálny algoritmus. Prenositel'ný je však princíp: zmena sa nemá považovať za potvrdenú iba preto, že sa javí na farebnej kompozícii. Vhodné je mať definovanú metriku zmeny, referenčné obdobie, minimálnu veľkosť objektu, pravidlo pre pretrvanie signálu a nezávislú kontrolnú vzorku. Pri analýze požiarov, vetrovej disturbance alebo ťažby môže byť užitočný aj rýchly vizuálny prehľad, ale ten sa označí ako interpretácia, nie ako automaticky validovaná klasifikácia.

Pri spektrálnych indexoch platí rovnaká opatrnosť. NDVI alebo iný vegetačný index môže reagovať na zmenu listovej plochy, fenológiu, vodný stres aj pozadie pôdy. Hodnota indexu sama neurčuje príčinu. Ak sa má použiť ako indikátor účinku opatrenia, treba vopred definovať očakávaný smer zmeny, obdobie porovnania a podporné terénne meranie, ktoré umožní biologickú interpretáciu.

Validácia priestorových výstupov musí zodpovedať tomu, na čo sa výstup používa. Reinosch *et al.* (2025) pri rozsiahlej validácii máp disturbanceí odvodených zo Sentinel-2 ukázali, že veľmi vysoká celková presnosť môže byť do veľkej miery daná dominantnou triedou neporušeného lesa. Pri rozhodovaní o disturbovaných plochách sú preto dôležitejšie presnosti používateľa a producenta pre samotnú cieľovú triedu, chyba plochy a reprezentatívnosť validačných lokalít. Tento príklad je priamo použiteľný pri každej klasifikácii s výrazne nevyváženými triedami.

Validačný súbor má byť nezávislý od údajov použitých na nastavenie algoritmu alebo prahov. Ak sa tie isté plochy použijú na „naučenie“ pravidla aj na jeho hodnotenie, presnosť bude optimistická. Pri malom počte dostupných plôch možno použiť priestorové krížové overovanie alebo rozdeliť referenčné objekty podľa lokalít, aby sa testovala prenositeľnosť mimo miest, na ktorých bol model nastavený.

Schiller *et al.* (2024) demonštrovali využitie transformátorového modelu nad časovými radmi Sentinel-2 pri detekcii lesných disturbanceí v strednej Európe. Pre metodiku tejto monografie nie je podstatný konkrétny algoritmus, ale fakt, že sofistikovanejší model neznižuje požiadavku na kvalitné referenčné dáta a transparentnú validáciu. Model môže byť vhodný na skrining veľkého územia, no pri návrhu lokálneho opatrenia musí byť výsledok interpretovaný v kontexte terénu.

Presnosť polohy je rovnako dôležitá ako tematická presnosť. Pri porovnaní UAV ortofotomozaiky, satelitného pixelu a terénneho bodu môže niekoľkometrový posun znamenať, že sa analyzuje iný strom, iný okraj porastu alebo susedná erózna ryha. Pri validácii sa preto

uvádza aj geometrická neistota a referenčná jednotka sa volí väčšia než očakávaná chyba registrácie, ak to charakter úlohy umožňuje.

Trojrozmerné údaje dopĺňajú spektrálne časové rady o štruktúru. Letecké laserové skenovanie umožňuje odvodiť digitálny model terénu pod vegetáciou, výšku porastu, vertikálnu distribúciu bodov a ďalšie metriky štruktúry. UAV-LiDAR môže tieto informácie poskytnúť na menšej ploche vo veľmi vysokom detaile a zároveň slúžiť ako referenčný údaj pre modely založené na satelitných dátach. Enguehard *et al.* (2026) ukázali možnosť využitia z UAV-LiDAR-odvođených štruktúrnych charakteristík pri modelovaní s harmonizovanými údajmi Landsat-Sentinel-2. Zároveň poukázali na obmedzenia spektrálneho odhadu v štruktúrálnom komplexnom prostredí.

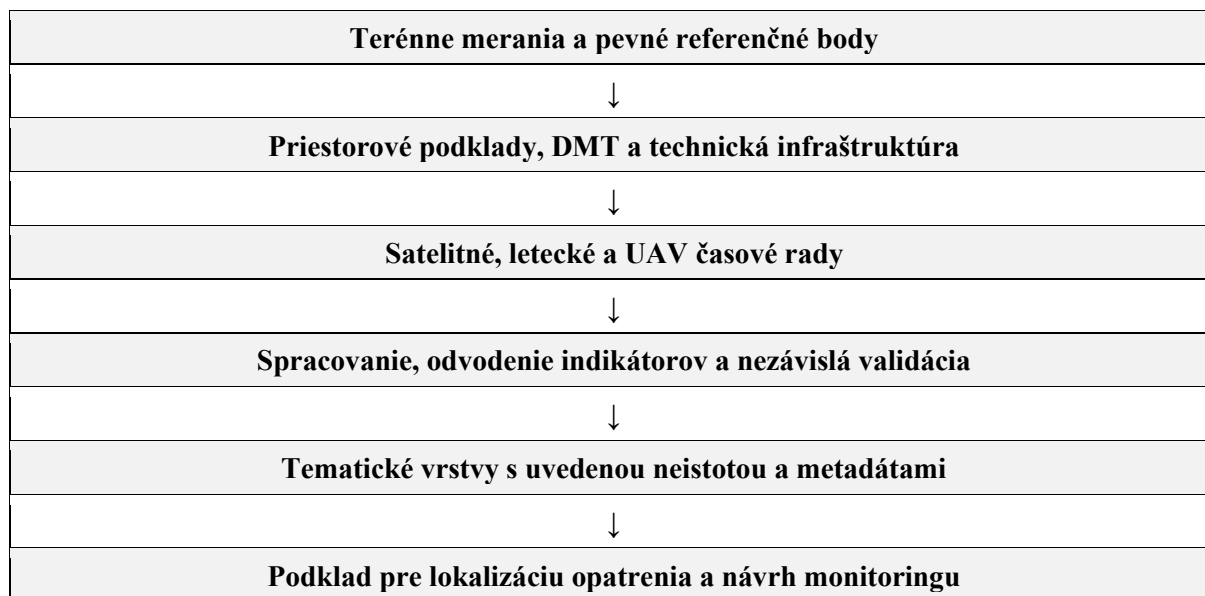
V aplikácii prírode blízkyh riešení je 3D záznam užitočný najmä tam, kde sa očakáva zmena mikroreliéfu alebo vegetačnej štruktúry: na erózných ryhách, v okolí prehrádzok, na obnovených svahoch, pri monitorovaní poškodenia ciest alebo pri dokumentovaní výšky a zápoja porastu. Opakované mračná bodov však musia byť veľmi dobre registrované. Inak sa zdanlivá výšková zmena môže vytvoriť iba posunom dátových súborov.

Pri fotogrametrii z UAV sa kontroluje prekryv snímok, geometria letu, kvalita orientácie a rozmiestnenie kontrolných bodov, ak sa používajú. Pre porovnanie v čase je vhodné zachovať podobnú výšku letu, uhol snímania a sezónne obdobie. V lesnom prostredí sa osobitne dokumentuje, či výsledný model predstavuje povrch korún alebo odkrytý terén; hustý zápoj môže významne obmedziť možnosť rekonštrukcie pôdy z obrazových dát.

Výhodou kombinácie satelitných a lokálnych 3D údajov je rozdielna mierka. Satelitný rad snímok poskytne pravidelnosť a širší kontext, UAV alebo LiDAR detail a terén fyzickú interpretáciu. Ich fúzia však má zmysel iba vtedy, ak je známe, čo presne reprezentuje každý údaj. Priestorová interpolácia alebo strojové učenie nemajú slúžiť na „dopĺňanie reality“ bez nezávislého overenia.

Výsledkom geoinformačného spracovania má byť rozhodovací podklad, nie súbor máp. Pre každý typ rizika sa pripraví sada vrstiev, ktoré priamo podporujú lokalizáciu opatrenia alebo monitoring: napríklad odtokové dráhy a kritické križovania ciest, zóny opakovanej disturbancie, plochy s odlišnou vitalitou vegetácie, potenciálne kontrolné lokality alebo trasy terénnych kontrol. Pri každom výstupe sa uvedie, či ide o priamo pozorovaný údaj, odvodenú veličinu, klasifikáciu alebo expertnú interpretáciu.

Vzťah medzi zdrojmi údajov a rozhodovacím výstupom znázorňuje schéma na obrázku 3.3.



Obrázok 3.3 Prepojenie geoinformačných zdrojov s rozhodovacím výstupom

Zdroj: vlastné spracovanie podľa princípov Viana-Soto a Senf (2025), Reinosch et al. (2025) a Copernicus Data Space.

Takto vytvorený systém zostáva aktualizovateľný. Nový satelitný záznam alebo opakovaný UAV let sa nepridáva ako samostatný obrázok, ale vstupuje do rovnakého dátového modelu. Zmena je preto porovnateľná s východiskom a možno ju priradiť k obdobiu pred a po realizácii opatrenia. Nástroje geoinformatiky tak vytvárajú technický rámec pre kontinuálny environmentálny monitoring, ktorý je predmetom nasledujúcej podkapitoly.

3.5. Kontinuálny environmentálny monitoring

Kontinuálny environmentálny monitoring sa v tejto kapitole chápe ako metodický princíp nadväzujúci na východiskový prieskum, nie ako detailný technický návrh senzorovej siete. Konkrétne monitorovacie zostavy, meteorologické, pôdne a bezpilotné merania budú rozpracované v kapitole 7. Na tomto mieste je potrebné určiť, aké podmienky musí monitoring spĺňať, aby bolo možné z jeho údajov posúdiť zmenu rizika a účinnosť opatrenia.

Prvým pravidlom je väzba meranej veličiny na rozhodovaciu otázku. Senzor sa neosádza preto, že je dostupný, ale preto, že jeho údaj zachytáva spúšťač, stav systému alebo reakciu, ktorú treba sledovať. Pri opatrení na zadržanie vody môže byť dôležitá zrážka, pôdna vlhkosť a prípadne hladina alebo prietok v definovanom profile; pri stabilizácii svahu posun kontrolných bodov a pôdna vlhkosť; pri obnove vegetácie časový vývoj krytu a rastu. Ak meraná veličina nemá vopred určenú interpretačnú úlohu, vzniká veľký dátový tok bez jasného významu.

Druhým pravidlom je časový rozsah. Monitoring má zachytiť bežný režim aj udalosti, ktoré skúšaný proces aktivujú. Krátky rad počas pokojného obdobia môže byť technicky bezchybný, ale neposkytne informáciu o správaní pri privalovej zrážke, suchu alebo mraze. Preto sa už pri návrhu určí minimálna dĺžka východiskového obdobia, interval po realizácii

opatrenia a spôsob predĺženia sledovania, ak sa počas plánovaného obdobia nevyskytne relevantný spúšťač.

Tretím pravidlom je porovnateľnosť. Ak je to možné, sleduje sa zásahová a referenčná plocha alebo sa využije dostatočne dlhý rad pred realizáciou. Referenčná lokalita nemusí byť identická, ale mala by zdieľať hlavné podmienky, ktoré ovplyvňujú sledovanú veličinu. Bez referencie sa napríklad zvýšenie pôdnej vlhkosti po opatrení môže mylne pripísať zásahu, hoci išlo o celkovo vlhkejší rok.

Meteorologické údaje tvoria interpretačný rámec pre väčšinu environmentálnych meraní. Raspe *et al.* (2025) v aktuálnom manuáli ICP Forests zdôrazňujú lokálnu reprezentatívnosť meteorologickej stanice, správne umiestnenie senzorov, údržbu, kalibráciu a častú kontrolu dát. Svetová meteorologická organizácia (World Meteorological Organisation – WMO) v *Guide to Instruments and Methods of Observation* (2024) poskytuje technický referenčný rámec pre meranie teploty, vlhkosti, vetra, zrážok, žiarenia a ďalších premenných. Pre túto monografiu z toho vyplýva, že „najbližšia stanica“ nie je automaticky reprezentatívna pre konkrétny lesný svah alebo dolinu.

Pri výbere meteorologického referenčného bodu sa posudzuje nadmorská výška, expozícia, horizont, vzdialenosť od porastu a účel merania. Otvorená stanica môže charakterizovať meteorologický vstup nad porastom, zatiaľ čo mikroklima pod korunovou vrstvou zachytáva podmienky, ktorým sú vystavené pôda a podrast. Tieto dva typy merania sa nemajú zamieňať. Ak sa používajú údaje z verejnej stanice mimo územia, zaznamenaná sa vzdialenosť a rozdiel základných polohových charakteristík a vhodnosť sa overí porovnaním aspoň počas prekryvného obdobia, ak je lokálny senzor dostupný.

Časový krok merania sa volí podľa dynamiky procesu. Denný súčet zrážok je vhodný pre klimatologický prehľad, ale môže skryť krátku intenzívnu epizódu zodpovednú za eróziu. Naopak, veľmi jemný interval pri pomaly sa meniacej veličine zvyšuje objem dát bez primeraného prínosu. Pri automatickom monitoringu sa preto rozlišuje interval snímania, interval agregácie a interval prenosu. Surové údaje sa podľa možnosti uchovávajú aj vtedy, keď sa pre bežné vyhodnotenie používajú hodinové alebo denné agregácie.

Dôležitým prvkom je synchronizácia času. Všetky dátové loggery, kamery a terénne záznamy používajú jednotný časový štandard a zaznamenaná sa zmena letného/zimného času alebo použitie koordinovaného svetového času (angl. Universal Time Coordinated – UTC). Bez časovej synchronizácie nemožno spoľahlivo spojiť zrážkový impulz s reakciou hladiny, pôdnej vlhkosti alebo iného senzora.

Pôdne a hydrologické merania majú vysokú priestorovú variabilitu. Cools a De Vos (2025) pri pôdnom monitoringu pracujú s definovanými hĺbkami a harmonizovaným odberom práve preto, aby sa obmedzila časť variability spôsobená metodikou. Pri kontinuálnych senzoroch je rovnaký problém: dve sondy umiestnené v odlišnom horizonte, pri korení alebo v kamenistom mieste môžu ukazovať odlišný režim, hoci sú od seba vzdialené iba niekoľko metrov.

Umiestnenie pôdnych senzorov sa preto dokumentuje hĺbkou, horizontom, lokálnym sklonom, vegetačným krytom a vzťahom k opatreniu. Ak má byť účinok opatrenia priestorovo interpretovaný, jedna sonda spravidla nestačí. Vhodnejšie je použiť malý počet reprezentatívne rozmiestnených bodov než veľký počet senzorov sústredených pri jednej ľahko dostupnej stanici. Pri každom senzore sa eviduje sériové číslo alebo iný identifikátor a dátum inštalácie a výmeny.

Hydrologický monitoring sa navrhuje podľa očakávanej odozvy. Pri krátkej povodňovej vlne musí mať meranie dostatočný časový krok a senzor nesmie byť umiestnený tak, aby sa pri udalosti ocitol mimo meracieho rozsahu alebo bol poškodený sedimentom a drevom. Pri malých prírode blízkych opatreniach je často dôležitejšie zachytiť relatívnu zmenu medzi profilmi alebo pred a po zásahu než sa usilovať o absolútnu hydrologickú bilanciu bez potrebných vstupov.

Pri erózii a sedimentácii je vhodné kombinovať kontinuálny alebo udalostný senzorový záznam s opakovaným geodetickým, fotogrametrickým alebo profilovým meraním. Senzor môže zachytiť moment udalosti, kým terénny alebo 3D záznam kvantifikuje jej morfológický následok. Takáto kombinácia je informačne hodnotnejšia než veľmi hustý časový rad jednej veličiny bez priestorového dokladu výsledku.

Biologické indikátory majú spravidla pomalšiu dynamiku než meteorologické alebo hydrologické veličiny. Rast stromov možno sledovať periodicky alebo pomocou dendrometrov; vegetačný kryt a regeneráciu opakovaným terénnym hodnotením, fotografiou alebo diaľkovým prieskumom. Dobbertin *et al.* (2025) rozlišujú periodické, permanentné a kontinuálne meranie rastu a poskytujú rámec pre ich kvalitu a spracovanie. Pri lokálnom monitoringu sa typ merania volí podľa toho, či potrebujeme dlhodobý trend, sezónnu reakciu alebo okamžitú odozvu na konkrétny stres.

Pri spektrálnom monitoringu sa musí zachovať porovnateľnosť obdobia. Snímky z rôznych fáz fenologického cyklu môžu vykazovať väčší rozdiel než samotný účinok opatrenia. Preto sa preferujú časové rady alebo opakované snímky v podobnom fenologickom okne a výsledky sa spájajú s meteorologickými podmienkami. Viana-Soto a Senf (2025) a Reinosch *et al.* (2025) ukazujú význam systematického časového spracovania a nezávislej validácie pri mapovaní disturbancií; rovnaká zásada platí aj pri menšej ploche.

Pri foto monitoringu sa stanoví pevný interval a zároveň možnosť snímania udalostí. Pravidelný mesačný alebo sezónny záznam ukazuje postupnú zmenu, zatiaľ čo fotografia bezprostredne po privalovej zrážke alebo vetrovej udalosti zachytí stav, ktorý môže byť pri nasledujúcej návšteve už čiastočne zmenený. Dátum a smer snímania sa ukladajú spolu so súborom a automaticky generované názvy fotografií sa nenahrádzajú bez zachovania jednoznačnej väzby na databázu.

Biologická odpoveď môže mať oneskorenie. Po zlepšení vodného režimu sa nemusí okamžite prejavíť zmena prírastku a po disturbancii môže regenerácia niekoľko rokov kolísť. Interpretácia preto rozlišuje technickú funkciu opatrenia, ktorú možno overiť rýchlo,

od ekologickej odpovede, ktorá vyžaduje dlhší horizont. Tieto dve úrovne sa v záverečnom hodnotení nemajú zlúčiť do jedného tvrdenia bez časového kontextu.

Dátová architektúra monitoringu musí počítať s poruchami. Výpadok komunikácie nie je to isté ako výpadok senzora a chýbajúci údaj nie je nula. V databáze sa preto uchová surová hodnota, čas, identifikátor zariadenia a príznak kvality. Ak sa hodnota opravuje, interpoluje alebo agreguje, pôvodný údaj sa neprepisuje; vytvorí sa spracovaná séria s dokumentovaným postupom. Tento princíp je v súlade s rámcom zabezpečenia kvality ICP Forests, ktorý pokrýva celý tok od zberu po reportovanie (Ferretti *et al.*, 2021).

Automatické kontroly môžu sledovať fyzikálne limity, náhle skoky, dlhé konštantné úseky, nesúlad medzi súvisiacimi senzormi a chýbajúce časové značky. Automatický príznak však neznamená automatické vymazanie. Hodnota po extrémnej udalosti môže byť mimo bežného rozsahu práve preto, že proces prekročil dovtedajšie podmienky. Kontrola má vyvolať overenie voči servisnému záznamu, susedným senzorom a terénnej situácii.

Servisný denník je rovnocennou súčasťou dát. Zaznamenáva čistenie zrážkomera, výmenu batérie, premiestnenie stanice, rast vegetácie v okolí, kalibráciu, poškodenie káblov a všetky zásahy, ktoré môžu zmeniť signál. Bez servisného denníka môže dlhodobý drift senzora vyzeráť ako environmentálny trend. Pri výmene zariadenia sa podľa možnosti realizuje prekryvné meranie, aby sa overila kompatibilita starej a novej série.

Zálohovanie a verzionovanie sa plánujú pred začiatkom merania. Minimálne sa oddelí surový archív, kontrolovaná pracovná databáza a publikovaný alebo odovzdaný výstup. Každá zmena skriptu, kalibračnej rovnice alebo pravidla kontroly má verziu. Tým sa zabezpečí, že výsledok možno neskôr reprodukovať z pôvodných dát aj v prípade, že sa metodika počas viacročného projektu zlepši.

Monitoring má reagovať aj na udalosti, nie iba na kalendár. Pre vybrané procesy sa preto vopred určia spúšťačie podmienky pre mimoriadnu kontrolu: prekročenie úhrnu alebo intenzity zrážok, dlhšie obdobie sucha, silný vietor, požiar v blízkosti, náhle zvýšenie hladiny alebo hlásená porucha technického prvku. Prahy sa nesmú zamieňať s univerzálnymi kritickými hodnotami; sú to prevádzkové podmienky, ktoré určujú, kedy je potrebné skontrolovať lokalitu alebo zvýšiť frekvenciu záznamu.

Základné väzby medzi typom veličiny, časovým krokom a účelom monitoringu sumarizuje tabuľka 3.7.

Tabuľka 3.7 Príklad časovej logiky environmentálneho monitoringu

Skupina veličín	Príklad	Typická časová logika	Úloha v hodnotení
Meteorologické	zrážka, teplota, vlhkosť vzduchu, vietor	minúty až hodiny; agregácia na hodiny/dni	spúšťač a kontext udalostí
Pôdne	pôdna vlhkosť, teplota pôdy	minúty až hodiny; dlhý kontinuálny rad	stav vodného a tepelného režimu

Skupina veličín	Príklad	Typická časová logika	Úloha v hodnotení
Hydrologické	hladina, prietok, stav profilu	jemný krok počas udalosti + dlhodobý záznam	odozva povodia/opatrenia
Morfologické	profil ryhy, objem sedimentu, 3D povrch	po udalosti a v pravidelných etapách	kumulovaný fyzický účinok
Vegetačné	prírastok, regenerácia, zápoj, spektrálna odozva	sezónne až ročne; podľa fenológie	ekologická odpoveď a trajektória obnovy
Prevádzkové	stav priepustu, cesta, zariadenie, servis	pravidelne + po udalosti	funkčnosť a udržateľnosť opatrenia

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Raspe et al. (2025), WMO (2024), Cools a De Vos (2025) a Dobbertin et al. (2025).

Frekvencia v tabuľke je zámerne uvedená ako rozsah, nie ako pevné číslo. Konkrétne intervaly sa stanovujú podľa dynamiky lokality, technických možností a požiadavky na rozhodovanie. Dôležitá je schopnosť prepojiť meranú reakciu s udalosťou a porovnať stav pred a po nej.

Metodické prístupy kapitoly tak vytvárajú jeden dátový reťazec: identifikované riziko určuje terénne a priestorové ukazovatele, východiskový prieskum poskytuje referenčný stav a monitoring pridáva časovú dimenziu potrebnú na overenie zmeny. Spoločným jadrom je reprodukovateľnosť postupu, dohľadateľnosť pôvodu údajov a explicitné uvedenie neistoty.

4. Typológia prírode blízkych riešení v lesnom prostredí

Predchádzajúca kapitola vytvorila metodický rámec na identifikáciu rizík, hodnotenie zraniteľnosti a dokumentovanie východiskového stavu. Typológia prírode blízkych riešení naň nadväzuje triedením zásahov podľa procesu, ktorý ovplyvňujú, a podľa dominantnej funkcie v lesnom ekosystéme. Takéto členenie je vhodnejšie než katalóg techník, pretože ten istý prvok môže zadržiavať vodu, obmedzovať eróziu alebo stabilizovať pôdu. Pre odborný návrh však musí byť zrejmé, ktorá funkcia je primárna a aký mechanizmus ju zabezpečuje (Seddon *et al.*, 2020; Dunlop *et al.*, 2024; IUCN, 2026).

V lesnom prostredí sa rozlišujú opatrenia na zadržiavanie vody, protierózne opatrenia, stabilizačné a bioinžinierske techniky, opatrenia na lesných cestách a približovacích linkách, pestovné a obnovné zásahy a opatrenia na znižovanie požiarneho rizika. Hranice medzi skupinami nie sú ostré: brehový porast ovplyvňuje odtok aj sediment, vegetovaný zrub spája mechanickú stabilizáciu s obnovou a pestovná úprava môže súčasne meniť vodnú bilanciu aj kontinuitu paliva (Keesstra *et al.*, 2024; IUCN, 2026).

Pre zaradenie opatrenia sú rozhodujúce tri úrovne: proces, na ktorý zásah pôsobí; forma realizácie; a priestorová a časová mierka účinku. Opatrenie účinné na jednotlivom svahu nemusí meniť odozvu povodia a prvok závislý od zakorenenia vegetácie nemožno hodnotiť rovnako

po realizácii a po niekoľkých vegetačných obdobiach. Typológia preto musí zachytiť nielen názov techniky, ale aj mechanizmus a časový vývoj jej funkcie (Bischetti *et al.*, 2021; Herath *et al.*, 2025).

Kapitola slúži ako odborný výberový rámec medzi diagnostikovaným problémom a návrhom. Uvádza mechanizmus účinku, podmienky použitia a hlavné obmedzenia jednotlivých skupín prírode blízkych riešení (NbS).

4.1. Opatrenia na zadržiavanie vody

Zadržiavanie vody v lesnom prostredí nemožno zúžiť na budovanie vodných plôch. Ide o zásahy, ktoré predlžujú čas pobytu vody v pôde a v povodí, znižujú rýchlosť povrchového odtoku, podporujú infiltráciu alebo vytvárajú bezpečný priestor na dočasnú akumuláciu vody. Účinok lesa na povodňový odtok pritom nie je univerzálny: závisí od veľkosti povodia, hydrologického stavu pred udalosťou, pôd, topografie, typu porastu a priestorového usporiadania lesa. Systematický prehľad Herath *et al.* (2025) preto odporúča hodnotiť lesné opatrenia ako kontextovo závislé prírode blízke riešenia, nie ako automatickú záruku zníženia povodňových kulminácií.

Typologicky možno odlíšiť opatrenia plošné, líniové a akumulačné. Plošné opatrenia chránia pôdu a podporujú infiltráciu; líniové prvky prerušujú alebo rozptyľujú sústredený odtok. Akumulačné prvky vytvárajú dočasný retenčný objem. V praxi sa tieto formy kombinujú, pretože účinnosť akumulačného prvku môže znižovať prísun sedimentu z erodujúcej prítokovej plochy a naopak, samotná ochrana povrchu nemusí postačovať pri koncentrovanom odtoku. Dôležitá je teda funkčná nadväznosť opatrení v smere toku vody.

Z praktického hľadiska je dôležité, aby opatrenie nevytváralo nový problém presunutím vody na nestabilnú časť svahu alebo k objektu, ktorý nebol na zvýšené zaťaženie navrhnutý. Prírode blízky charakter riešenia preto neznamená absenciu hydrologickej logiky. Aj malý prvok musí mať určenú funkciu, miesto bezpečného pretečenia pri prekročení kapacity a nadväznosť na nižšie položenú časť povodia. V opačnom prípade môže dôjsť k sústredeniu odtoku, podmáčaniu alebo erózii na výtok.

Pre lesné povodia je vhodné uvažovať o retenčnom systéme ako o priestorovo rozloženej sústave zásahov, ktorá zachytáva vodu bližšie k miestam vzniku odtoku. Zvyšovanie lesnatosti však súčasne mení evapotranspiráciu. Výstupy z európskeho modelovania poukazujú na fakt, že hydrologický prínos zalesňovania výrazne závisí od priestorového zacielenia, a preto rovnaký typ zásahu nemožno prenášať medzi lokalitami bez posúdenia vodnej bilancie (El Garroussi *et al.*, 2026).

Prvú skupinu tvoria opatrenia, ktoré podporujú infiltráciu a spomaľujú povrchový odtok bez vytvárania trvalej vodnej plochy. Patrí sem zachovanie súvislého organického horizontu, obmedzenie plošného zhutnenia, obnova vegetačného krytu na narušených plochách, priečne rozptýlenie vody z líniových trás a drobné depresie alebo vsakovacie prvky. Ich účinok je najväčší tam, kde je infiltračná kapacita pôdy zachovaná alebo obnoviteľná; na zamokrených alebo veľmi plytkých pôdach môže ďalšie sústreďovanie infiltrácie naopak zvýšiť lokálnu nestabilitu (Herath *et al.*, 2025).

Takéto riešenia sú zvlášť vhodné tam, kde je pôda schopná vodu prijať a hlavnou príčinou problému je rýchly povrchový odtok po zhutnenom alebo odkrytom povrchu. Naopak, na svahoch s veľmi nízkou infiltračnou kapacitou alebo v miestach, kde sa pod povrchom nachádza plytká nepriepustná vrstva, môže zvýšenie lokálneho nasýtenia viesť k nežiaducemu podmáčaniu. Predpoklad, že každé zvýšenie infiltrácie je automaticky priaznivé, preto nie je správny. Retencia vody musí byť posudzovaná spolu so stabilitou svahu a s odtokovými pomermi v nižšie položenej časti územia.

Pokiaľ je cieľom zachytiť vodu zo sústreďeného odtoku, jednoduché rozptýlenie nemusí postačovať. Vtedy sa uplatňujú bodové alebo líniové prvky, ktoré vytvoria malý retenčný objem alebo spomalia vodu pred vstupom do erózne citlivého úseku. Ich návrh musí zachovať bezpečný smer pretečenia a nesmie uzavrieť prirodzenú odtokovú cestu bez možnosti kontrolovaného prelivu.

Druhú skupinu predstavujú retenčné nádrže, jazierka a prirodzené alebo upravené terénne depresie. Ich funkciou je dočasne zachytiť vodu, znížiť rýchlosť odtoku a podľa geologických a pôdnych podmienok podporiť infiltráciu alebo evapotranspiráciu. Ekologický prínos môže zahŕňať vytvorenie mokradňových mikrohrabitatov a zvýšenie priestorovej heterogenity, no iba vtedy, ak návrh nepoškodí existujúce cenné biotopy a rešpektuje prirodzený vodný režim. Pri týchto prvkoch je nevyhnutná bezpečná prepadová trasa a posúdenie následkov pri naplnení alebo poruche (Herath *et al.*, 2025; NATURE-DEMO, 2025b).

Vhodná lokalita je miesto, kde možno vodu zachytiť bez vytvorenia neprijateľného rizika pri poruche alebo pretečení. Vylúčiť treba najmä polohy, v ktorých by sa prípadné pretrhnutie

hrádzky alebo náhle vyprázdenie nádrže prejavilo priamo na ceste, stavbe alebo inom zraniteľnom objekte. Rovnako je potrebné preveriť prítok sedimentu. Malá nádrž situovaná pod aktívnou eróznou ryhou sa môže rýchlo zaplniť a prestať plniť retenčnú funkciu; v takom prípade má zmysel kombinovať ju s prvkami na zachytenie sedimentu vyššie v povodí.

Vodná plocha môže mať okrem hydrologickej funkcie aj ekologický význam. Vegetácia na okraji zvyšuje stabilitu brehu, obmedzuje priamy odnos pôdy a vytvára prechod medzi vodným a suchozemským prostredím. Tento prínos však nevznikne automaticky. Nevhodne zvolená poloha môže poškodiť existujúce biotopy, zmeniť vodný režim mokrade alebo vytvoriť bariéru

v prirodzenom toku. Typológia preto pracuje s retenčnými nádržami ako s jednou z možností, nie ako s univerzálnym riešením sucha alebo povodňového rizika.

Tretiu skupinu tvoria vegetačné a lesné prvky viazané na vodné toky, údolnice a zóny prirodzenej akumulácie. Brehové pásy znižujú sedimentové prepojenie narušenej plochy s tokom, spevňujú brehy a vytvárajú ekologicky významné prechodové prostredie. Účinok závisí od šírky, zloženia, topografie a charakteru prítoku. Hasselquist *et al.* (2024) preukázali, že šírka brehového pásu ovplyvňuje sedimentovú konektivitu aj následky vetrových vývratov; jednotná šírka preto nemôže nahradiť lokálne posúdenie.

V lesnom prostredí má brehový pás osobitný význam pri križovaní vodných tokov cestami a pri vyústení odvodnenia. Ak voda z priekopy alebo priečného odvodňovacieho prvku vstúpi priamo do toku, vegetačný pás už nemôže plniť filtračnú funkciu. Účinnejšie je, ak sa odtok rozptýli na stabilnú vegetovanú plochu v dostatočnej vzdialenosti od koryta. Toto pravidlo sa bude podrobnejšie uplatňovať pri opatreniach na lesných cestách, viď podkapitolu 4.4.

Samostatným typom je retenčný les, teda porast umiestnený v priestore, kde jeho kmene, podrast, mŕtve drevo a pôdny povrch zvyšujú hydraulickú drsnosť, spomaľujú prúdenie alebo podporujú zachytávanie sedimentu. Rozhodujúca je poloha v reálnej transportnej dráhe, nie samotná existencia lesa. Pri navrhovaní sa preto posudzuje hydrologická konektivita, stabilita stromov, možnosť zachytenia hrubého materiálu a potenciálne riziko jeho ďalšieho transportu k infraštruktúre (Herath *et al.*, 2025; NATURE-DEMO, 2025j).

Retenčný les môže byť účinný iba v priestore, do ktorého sa voda alebo sediment reálne dostane. Porast na svahu mimo aktívnej odtokovej dráhy nemá retenčnú funkciu iba preto, že sa nachádza v rovnakom povodí. Pri návrhu sa preto sleduje napojenie na tok, povodňový rozliv, údolnicový priebeh a možné trajektórie sedimentu. Ak je potrebné prúd do retenčného priestoru cielene odvieť, vzniká hybridné riešenie, ktorého technické prvky musia byť navrhnuté s rovnakou starostlivosťou ako pri konvenčnej vodohospodárskej stavbe.

Štvrtú skupinu tvoria malé priečne bariéry a prehrádzky v erózných ryhách, drobných odtokových líniiach alebo malých tokoch. Znižujú pozdĺžny energetický spád, spomaľujú prúdenie a podporujú ukladanie sedimentu. Môžu byť kamenné, drevené alebo vegetované; výber materiálu sa podriaďuje hydraulickému namáhaniu a požadovanej životnosti. Dlhodobé

hodnotenie potvrdzuje potrebu sledovať nielen zachytený sediment, ale aj vývoj koryta, vegetácie a stabilitu prvkov (Martínez Hontecillas *et al.*, 2024; NATURE-DEMO, 2025g).

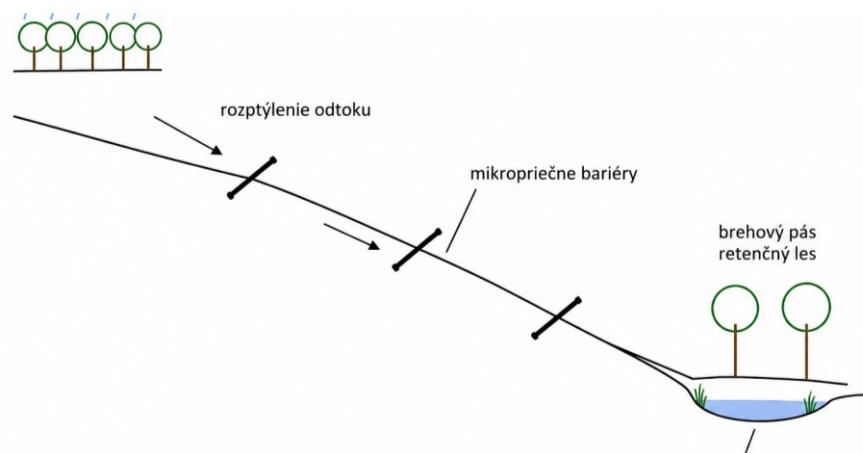
Ich najväčšou výhodou je možnosť riešiť erózný proces priamo v mieste, kde sa koncentruje. Zároveň však ide o prvky, pri ktorých sa ľahko prekročí hranica medzi malou bioinžinierskou úpravou a technickou priečnou stavbou. Pri väčšom povodí, výraznom prietoku, možnosti transportu hrubého dreva alebo pri riziku zanesenia musí byť kapacita a stabilita prvku overená výpočtom. V drobnej eróznej ryhe môže stačiť séria nízkych bariér, kým v trvalom vodnom toku nemožno rovnaký typ zásahu preniesť bez ďalšieho posúdenia.

Dlhodobejšie údaje o účinku malých kamenných prehrádzok prináša štúdia Martínez Hontecillas *et al.* (2024) z lesných mikropovodí v stredovýchodnom Španielsku po závažnom požiari. Autori hodnotili stav približne desať rokov po realizácii a porovnávali upravené a neupravené kanály. Výsledky potvrdzujú, že účinok prehrádzky treba posudzovať nielen podľa okamžitého zachytenia sedimentu, ale aj podľa dlhodobej zmeny koryta, vegetácie a pôdných vlastností. Pre návrh v lesnom prostredí je to dôležitá pripomienka: opatrenie sa stáva súčasťou geomorfologického vývoja lokality a nemá zostať izolovaným „objektom“ bez následnej kontroly.

Výber retenčného opatrenia sa odvíja od miesta vzniku odtoku, jeho dráhy, objemu a rýchlosti a od typu následku, ktorý má byť znížený. Na rozvodniciach a miernych svahoch sa uplatňujú najmä plošné opatrenia, v odtokových líniách rozptyľovacie a priečne prvky a vo vhodných konkávných polohách akumulčné riešenia. Vždy sa hodnotí aj bilancia prínosov a kompromisov: opatrenie zvyšujúce infiltráciu môže byť nevhodné nad aktívnym zosuvom a rozsiahle zalesnenie môže pri nedostatku vody zvyšovať evapotranspiračné straty (Herath *et al.*, 2025; El Garroussi *et al.*, 2026).

Typologické väzby medzi hlavnými funkčnými skupinami opatrení schematicky znázorňuje obrázok 4.1. Podrobnejšie členenie potom uvádza tabuľka 4.1.

Opatrenia na zadržanie vody slúžia najmä na zvýšenie infiltrácie a drsnosti povrchu, spomalenie a rozptýlenie povrchového odtoku a dočasnú akumuláciu vody a sedimentov.



Obrázok 4.1 Typologická schéma opatrení na zadržiavanie vody v lesnom prostredí. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Herath *et al.* (2025), Hasselquist *et al.* (2024), Martínez Hontecillas *et al.* (2024) a NATURE-DEMO (2025a, 2025b, 2025g, 2025j).

Tabuľka 4.1 Typy opatrení na zadržiavanie vody a ich dominantná funkcia

Typ opatrenia	Dominantný mechanizmus	Vhodné použitie	Kľúčové obmedzenie
Plošná obnova krytu a mikrozdrže	spomalenie odtoku, infiltrácia	narušené a mierne svahy, rozptýlený odtok	nevhodné pri riziku nežiaduceho nasýtenia svahu
Brehové vegetačné pásy	filtrácia, infiltrácia, stabilizácia brehu	okolie tokov a výtokov z odvodnenia	nižšia účinnosť pri koncentrovanom prúde obchádzajúcom pás
Retenčné nádrže a jazierka	dočasná akumulácia vody	prirodzené depresie a bezpečné akumulčné polohy	potreba bezpečného prelivu a kontroly sedimentácie
Retenčný les	zvýšenie drsnosti, zachyt vody a sedimentu	údolnice, rozlivové a sedimentačné priestory	musí ležať v reálnej trajektórii vody alebo sedimentu
Malé drevené/kamenné bariéry	spomalenie prúdu, zachytenie sedimentu	ryhy a malé odtokové línie	pri väčšom hydraulickom zaťažení je nutné technické posúdenie

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Herath et al. (2025), El Garroussi et al. (2026), Hasselquist et al. (2024) a NATURE-DEMO (2025a, 2025b, 2025g, 2025j).

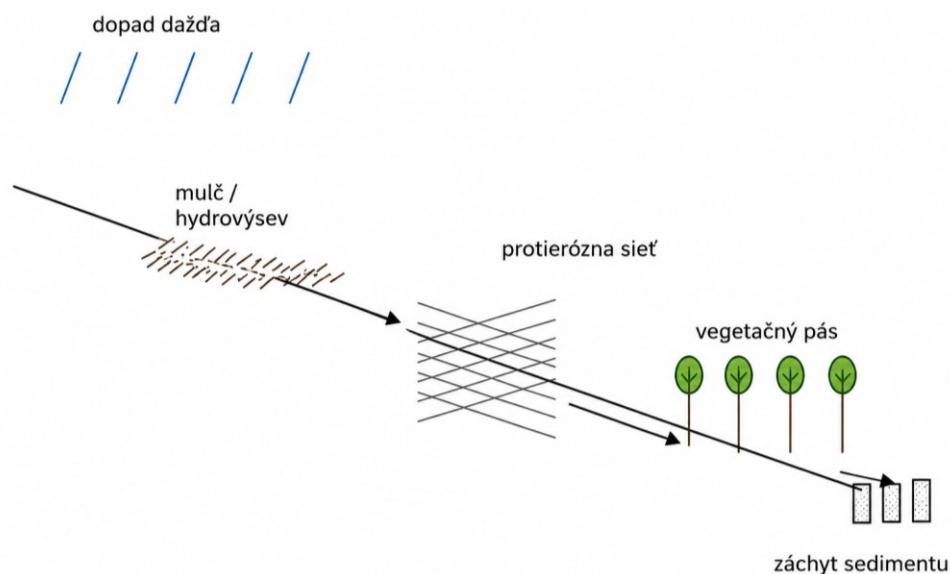
4.2. Protierózne opatrenia

Erózia v lesnom prostredí sa prejavuje od plošného odnosu jemných častíc až po ryhovú a výmoľovú eróziu. Lesný kryt spravidla znižuje erózny potenciál, no riziko prudko rastie na odkrytých, zhutnených alebo opakovane prejazdovaných plochách, na približovacích linkách

a pri sústreďenom odtoku z ciest. Hodnotenia ťažbových plôch potvrdzujú, že kvalita realizácie opatrení na ochranu pôdy a vody je významným prediktorom erózie a že dostatočný zvyškový kryt môže významne obmedziť odnos pôdy (Hawks et al., 2023; Parajuli et al., 2024).

Základným princípom je zabrániť vzniku zdroja sedimentu skôr, než sa začne riešiť jeho transport. Prvá úroveň ochrany preto zachováva alebo obnovuje povrchový kryt a minimalizuje zhutnenie. Druhá úroveň prerušuje hydraulickú konektivitu a znižuje rýchlosť povrchového odtoku. Tretia zachytáva už mobilizovaný sediment pred vstupom do vodného toku alebo iného citlivého objektu. Takéto poradie je účinnejšie než sústrediť všetky zásahy až do spodnej časti svahu (Hawks et al., 2023; Parajuli et al., 2025).

Typologická schéma protieróznych opatrení v lesnom prostredí je znázornená na obrázku 4.2.



Obrázok 4.2 Typologická schéma protieróznych opatrení v lesnom prostredí. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Herath *et al.* (2025), Hasselquist *et al.* (2024), Martínez Hontecillas *et al.* (2024).

Protierózne opatrenie má byť úmerné intenzite procesu. Na povrchovej erózii stačí často rýchla obnova krytu, mulč alebo biodegradovateľná sieť. Pri ryhovej erózii je nutné súčasne znížiť dĺžku a sklon odtokovej dráhy. Pri výmoľovej erózii môže byť potrebná séria priečných prvkov a stabilizácia bočných svahov. Ak je erózia prejavom hlbšej nestability alebo pohybu svahu, protierózne prvky už neriešia príčinu a lokalita patrí do geotechnického posúdenia.

Pri všetkých typoch je dôležitá kontinuita ochrany. Malý odkrytý pás nad stabilizovanou plochou môže pri intenzívnej zrážke vytvoriť koncentrovaný odtok, ktorý poškodí celé opatrenie. Preto sa pred návrhom identifikujú vstupné body vody, smer pohybu po svahu a miesta, kde sa môže odtok sústrediť. Táto logika nadväzuje na metodiku kapitoly 3, ale tu už smeruje k voľbe konkrétnej skupiny opatrení.

Najjednoduchšou protieróznou stratégiou je obnova a zachovanie povrchového krytu. Organický materiál tlmí kinetickú energiu dažďových kvapiek, zvyšuje drsnosť a obmedzuje transport jemných častíc; vegetácia navyše postupne stabilizuje povrch koreňmi. Pri ťažbových operáciách je preto dôležité ponechať dostatok zvyškového organického materiálu na miestach, kde plní ochrannú funkciu, a zároveň nevytvárať dlhé odkryté dráhy sústredeného odtoku. Empirické výsledky Hawks *et al.* (2023) a Parajuli *et al.* (2024) podporujú význam kvalitne realizovaných BMP a zachovaného krytu pri obmedzovaní erózie.

V lesnom prostredí však treba rozlišovať medzi využitím miestneho organického materiálu na ochranu pôdy a plošným navázaním cudzorodého materiálu. Hrubá vrstva štiepky môže meniť teplotný a vlhkosťný režim pôdy, ovplyvniť obnovu a v požiarne exponovaných lokalitách pridať horľavý materiál. Preto sa mulč nehodnotí iba podľa okamžitého protierózneho účinku. Zohľadňuje sa pôvod materiálu, hrúbka vrstvy, rozklad, kontakt so semenáčikmi a väzba na požiarne riziko.

Hydrovýsev a mulčovací výsev sú vhodné najmä na plochách, kde prirodzená obnova krytu nebude dostatočne rýchla (obrázok 4.2). Technika využíva kombináciu semena, vody, mulču a podľa potreby pomocných zložiek, ktoré umožňujú rovnomernejšie založenie vegetácie na narušených svahoch (NATURE-DEMO, 2025d). V lesnej krajine má prednosť zmes zodpovedajúca miestnym stanovištným podmienkam; cieľom nemá byť vytvoriť vizuálne „zelený“ povrch za každú cenu, ale založiť kryt, ktorý sa môže začleniť do ďalšieho vývoja vegetácie.

Ochrana krytom je časovo citlivá. Najväčší erózný účinok môže nastať krátko po zemných prácach, keď vegetácia ešte nie je vyvinutá. Preto je vhodné spájať biologické založenie krytu s dočasnou mechanickou ochranou povrchu. Práve v tomto prechodnom období sa uplatňujú biodegradovateľné siete a rohože, ktorých úlohou nie je trvalo spevniť svah, ale preklenúť obdobie do zakorenenia vegetácie.

Biodegradovateľné protierózne siete a rohože vytvárajú dočasnú ochrannú vrstvu, ktorá obmedzuje odnos jemných častíc a súčasne umožňuje prerastanie vegetácie. Využívajú sa materiály na báze juty, kokosového vlákna alebo iných biologicky rozložiteľných vlákien, najmä na svahoch, brehoch a násypoch (NATURE-DEMO, 2025e). Rozdiel medzi sieťou a súvislejšou rohožou je funkčný: otvorená sieť predovšetkým stabilizuje povrch a kotví krycí materiál, kým hustejšia rohož poskytuje väčšiu okamžitú ochranu pred dažďom a povrchovým prúdením.

Účinnosť závisí od kontaktu s pôdou. Voľne položená sieť, pod ktorou voda vytvorí koncentrované dráhy, môže pôsobiť iba opticky. Materiál musí kopírovať povrch, byť primerane ukotvený a na hornom okraji nesmie umožniť podtekanie. Mimoriadne dôležité sú napojenia jednotlivých pásov a ukončenie pri päte svahu. Ak je očakávaný prietok väčší než schopnosť rohože chrániť povrch, musí sa voda najprv rozptýliť alebo bezpečne odvieť.

Siete a rohože nemožno považovať za riešenie hlbokkej stability svahu. Ich pôsobenie je povrchové a protierózne. Ak sa na svahu objavujú trhliny, vývery vody, deformácie alebo pohyb väčších blokov, ide o iný mechanizmus než povrchový odnos. Vtedy môže byť biodegradovateľný kryt doplnkom po stabilizácii, nie hlavným opatrením.

Vegetačné pásy a filtračné zóny zvyšujú drsnosť, spomaľujú rozptýlený povrchový odtok a zachytávajú časť transportovaného sedimentu. Ich účinnosť však prudko klesá, ak voda prichádza koncentrovane jednou ryhou; vtedy sa musí prúd najprv rozptýliť. Pri brehových pásoch treba okrem filtrácie sedimentu zohľadniť stabilitu stromov a možnosť, že vývraty vytvoria priame sedimentové prepojenie so streamom. Terénne výsledky Hasselquist *et al.* (2024) potvrdzujú, že šírka a priestorové usporiadanie pásu majú funkčný význam, takže ich nemožno určovať iba formálne podľa jednotnej hodnoty.

Filtračný pás funguje iba pri plošnom alebo slabo koncentrovanom prítoku. Ak voda prichádza úzkou ryhou, prúd si môže cez vegetáciu vytvoriť vlastnú dráhu a väčšina plochy pásu zostane nevyužitá. V takom prípade je potrebné pred pásom zaradiť rozdeľovací prvok alebo upraviť výtok tak, aby sa voda rozptýlila. Šírku pásu nemožno určovať jedinou

univerzálnou hodnotou; závisí od sklonu, dĺžky prítokovej plochy, pôdy, hustoty vegetácie a požadovanej filtračnej funkcie.

Výhodou vegetačných pásov je ich multifunkčnosť. Okrem zachytenia sedimentu môžu vytvárať ekologické spojenia, stabilizovať mikroklimu, zvyšovať infiltračnú kapacitu pôdy a pri vhodnom manažmente chrániť brehy. Pri výbere drevín a krovín sa však musí zohľadniť ich správanie pri povodni, možnosť vývratu a potenciál vytvárať drevnú hmotu, ktorá by mohla upchať priepust alebo mostný otvor. Ochranná funkcia vegetácie preto nie je totožná s maximálnou hustotou porastu.

Ak sa plošná alebo ryhová erózia rozvinie do výmoľa, samotné zakrytie povrchu už spravidla nestačí. Cieľom je znížiť pozdĺžny sklon eróznej dráhy, obmedziť energiu prúdu a vytvoriť podmienky na postupné ukladanie sedimentu. V malých lesných ryhách možno použiť vegetované drevené alebo kamenné bariéry, nízke prehrádzky a kombinované bioinžinierske prvky (NATURE-DEMO, 2025g).

Pri eróznom výmole je potrebné riešiť tri miesta: hlavu výmoľa, dno a bočné svahy. Ak sa stabilizuje iba dno, spätná erózia môže pokračovať v hornej časti. Ak sa riešia iba bočné svahy, koncentrovaný prúd môže ďalej prehlbovať koryto. Systém opatrení preto začína obmedzením prítoku alebo bezpečným prevedením vody, pokračuje stabilizáciou pozdĺžneho profilu a končí zabezpečením výtoku v mieste, kde už voda nespôsobí ďalšiu eróziu.

Prehrádzky z miestneho kameňa alebo dreva majú výhodu materiállovej dostupnosti a možnosti začlenenia do vegetácie. Drevo však podlieha rozkladu a môže byť poškodené transportovaným materiálom. Kameň má dlhšiu životnosť, ale pri nevhodnom založení môže dôjsť k podmytiu. Ani jeden materiál teda nie je „bezúdržbový“. Pri živých prvkoch sa navyše počíta s tým, že ich funkcia sa v čase mení: po zakorenení rastie biologické spevnenie, kým technická časť môže postupne degradovať.

Dlhodobé hodnotenie malých kamenných prehrádzok po požiari ukazuje, že ich účinok sa nedá vyjadriť jediným ukazovateľom zadržaného sedimentu (Martínez Hontecillas *et al.*, 2024). Pri odbornom posudzovaní sa preto sleduje aj stabilita uloženého materiálu, vegetačná obnova, nové erózne dráhy a stav prvku po väčšej zrážkovej udalosti.

Protierózne opatrenia sa volia podľa dominantného mechanizmu: ochrana povrchu, prerušenie odtokovej dráhy, zachytenie sedimentu alebo stabilizácia vyvinutej eróznej formy. V praxi sa často kombinuje rýchla dočasná ochrana – mulč, rohož alebo hydrovýsev – s dlhodobjšou vegetačnou stabilizáciou a s kontrolovaným odvedením vody. Úspech preto nemožno hodnotiť iba podľa percenta vegetačného krytu; relevantný je aj vývoj rýh, množstvo transportovaného sedimentu a stabilita výtokov (Hawks *et al.*, 2023; Martínez Hontecillas *et al.*, 2024; Parajuli *et al.*, 2025).

Prehľad funkčného použitia sumarizuje tabuľka 4.2.

Tabuľka 4.2 Funkčné skupiny protieróznych opatrení v lesnom prostredí

Erózný problém	Vhodná skupina opatrení	Dominantný účinok	Hranica použitia
odkrytý povrch, dažďový rozstreč	mulč, hydrovýsev, rýchla obnova krytu	ochrana agregátov, zvýšenie drsnosti	nepostačuje pri koncentrovanom prúde
plošný a plytký ryhový odtok	biodegradovateľné siete a rohože	dočasná stabilizácia povrchu do zakorenenia	nenahrádza riešenie hlbokej stability
transport jemného sedimentu	vegetačné a brehové filtračné pásy	spomalenie a zachytenie častíc	prítok musí byť rozptýlený
výmol' a sústredený odtok	nízke vegetované/drevené/kamenné bariéry	zníženie energie prúdu, sedimentácia	vyžaduje stabilný preliv a výtok
deformácia alebo hlboký pohyb svahu	geotechnické posúdenie + následný bioinžiniering	riešenie príčiny stability	samotné protierózne krytie nie je postačujúce

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Hawks *et al.* (2023), Martínez Hontecillas *et al.* (2024), Parajuli *et al.* (2024, 2025) a NATURE-DEMO (2025d, 2025e, 2025g, 2025k; 2026c).

Prednosť má prevencia vzniku eróznej dráhy pred jej neskoršou sanáciou. Po zemných alebo ťažbových prácach preto treba bez zbytočného odkladu obnoviť kryt, prerušiť dlhé sklony a stabilizovať výtoky. Neskorší zásah do už vyvinutého výmol'a býva technicky náročnejší, vyžaduje väčší objem materiálu a môže mať vyššie ekologické náklady. Tento princíp je v súlade s výsledkami hodnotenia osvedčených postupov obhospodarovania lesa, ktoré spájajú lepšiu implementáciu ochranných opatrení s nižšou eróziou (Hawks *et al.*, 2023; Parajuli *et al.*, 2024).

4.3. Stabilizačné a bioinžinierske opatrenia

Stabilizačné a bioinžinierske opatrenia využívajú živý rastlinný materiál samostatne alebo v kombinácii s drevom, kameňom, zeminou a biodegradovateľnými prvkami. Ich funkcia sa vyvíja v čase: technická časť poskytuje bezprostrednú ochranu alebo oporu, zatiaľ čo rastúce korene postupne zvyšujú mechanické spevnenie pôdy a vegetácia mení infiltráciu, evapotranspiráciu a povrchový odtok. Práve časová zmena nosných a hydrologických mechanizmov odlišuje bioinžinierske riešenia od statickej konštrukcie a musí byť súčasťou návrhu aj kontroly (Bischetti *et al.*, 2021; Lann *et al.*, 2024).

V lesnom prostredí sa bioinžinierske techniky uplatňujú najmä pri povrchovej a plytkej stabilizácii svahov, brehov, násypov, zárezov a erózných línii. Vegetácia môže zvyšovať šmykovú odolnosť koreňovým vystužením a ovplyvňovať pórové tlaky prostredníctvom vodného režimu, no účinok je závislý od druhu, hustoty a hĺbky koreňov, pôdy, vlhkosti a času od založenia. Pri hlboko založenom zosuve alebo skalnej nestabilite preto biologická zložka nemôže nahradiť geotechnické posúdenie a potrebnú nosnú konštrukciu (Lann *et al.*, 2024).

Typologicky možno bioinžinierske riešenia rozdeliť na živé vegetačné prvky, plošné vegetované systémy, kombinované oporné prvky a priečne stabilizačné konštrukcie. Do prvej

skupiny patria živé kolíky, fašiny a vrstvené výsadby. Druhá zahŕňa kefové matrace, prútené plôtiky a vegetované rohože. Tretiu predstavujú vegetované zrubové oporné steny alebo kombinácie dreva a kameňa s vegetáciou. Štvrtá skupina zahŕňa nízke prehrádzky a bariéry v ryhách a drobných tokoch.

Výber techniky sa nezačína materiálom, ale mechanizmom poruchy. Najprv sa určí, či treba chrániť povrch, zvýšiť súdržnosť plytkej vrstvy, stabilizovať päť, znížiť hydraulické namáhanie alebo kontrolovať podpovrchovú vodu. Až potom sa volí kombinácia živých a inertných prvkov. Bischetti *et al.* (2021) upozorňujú, že pri bioinžinierskych konštrukciách je nevyhnutné explicitne pracovať s vývojom vlastností v čase; projekt, ktorý predpokladá okamžitú koreňovú funkciu alebo trvalú únosnosť degradujúceho dreva, je metodicky chybný.

Živé kolíky, fašiny a vrstvené techniky využívajú vegetatívnu schopnosť vybraných drevín zakoreňovať z odrezkov a vytvárať priestorovo rozvetvený koreňový systém. Ich význam nespočíva iba v „zazelenení“ svahu; korene môžu postupne zvyšovať odolnosť povrchovej vrstvy voči erózii a plytkému zosúvaniu, zatiaľ čo nadzemná časť mení mikroklima a zachytávanie zrážok. Mechanický a hydrologický účinok však nie je rovnaký pri všetkých druhoch a musí sa posudzovať vo vzťahu k pôde a dostupnosti vody (Lann *et al.*, 2024; Keybondori *et al.*, 2025).

Živé fašiny sú zväzky prútov ukladané čiastočne do pôdy, spravidla po vrstevnici alebo v smere požadovaného usmernenia vody. Vhodné sú na povrchovú stabilizáciu, zachytávanie jemného materiálu a ochranu brehov, ak je zabezpečený kontakt so zemínou a dostatočná vlhkosť pre ujetie. Ich funkcia sa má chápať ako kombinácia dočasnej mechanickej bariéry a následného koreňového spevnenia, nie ako náhrada vysokej opornej konštrukcie (Bischetti *et al.*, 2021).

Pri ukladaní v smere vrstevníc môžu fašiny zachytávať povrchový materiál a skracovať odtokovú dráhu. Pri šikmom alebo zvislom usporiadaní môžu pomôcť usmerniť vodu. Výška fašinových stien je obmedzená aj podmienkami osvetlenia a prežívania vegetačného materiálu; pri väčšej výške sa zhoršujú podmienky pre spodné časti konštrukcie (NATURE-DEMO, 2025f). V typológii sa preto fašina chápe ako nízky biologický stabilizačný prvok, nie ako náhrada vysokej opornej konštrukcie.

Živé vrstvené techniky vkladajú rady prútov alebo sadeníc do vrstiev zeminy. Ich výhodou je priestorové rozloženie koreňov a možnosť kombinovať biologické spevnenie s terénou úpravou. Nevýhodou je vyšší zásah do svahu počas realizácie a potreba kvalitného kontaktu živého materiálu so zemínou. Pri čerstvom násype môžu byť vhodné, pri nestabilnom prírodnom svahu sa však najprv musí potvrdiť, že samotné rozrušenie povrchu počas stavby nezvýši riziko poruchy.

Plošné bioinžinierske techniky chránia väčšiu časť povrchu a sú vhodné pri plošnom rozrušovaní, drobných erózných dráhach alebo veľmi plytkej nestabilite. Prútené plôtiky, kefové matrace, vegetované rohože a kombinované kryty majú za cieľ preklenúť najcitlivejšie obdobie po narušení povrchu a vytvoriť podmienky, v ktorých môže biologická zložka postupne prevziať ochrannú funkciu. Experimentálne hodnotenia lesných cestných svahov

ukazujú, že lokálne rastlinné a bioinžinierske riešenia môžu zlepšiť stabilizáciu a obnovu povrchu, účinok je však silne viazaný na stanovište a spôsob realizácie (Keybondori *et al.*, 2025).

Pri brehoch je osobitne dôležitá päta svahu. Ak je podmývaná, horná vegetačná stabilizácia môže zostať bez účinku. V takom prípade sa bioinžiniersky prvok kombinuje s odolnejším materiálom v spodnej časti, napríklad s drevom, koreňovými balmi alebo kameňom, a s vegetáciou vyššie. Takéto hybridné riešenie zachováva prírodný charakter povrchu, ale priznáva, že v zóne priameho hydraulického namáhania je potrebná okamžitá mechanická odolnosť.

Prútené a kefové techniky majú výhodu v lokálnych materiáloch a v rýchlom vegetačnom prekrytí. Ich životnosť sa však nehodnotí podľa životnosti vetiev ako konštrukčného materiálu. Cieľom je, aby sa po zakorenení zmenil mechanizmus stabilizácie: od počiatočného kotvenia k živému koreňovému systému. Ak sa vegetácia neujme, degradácia dreva znamená stratu funkcie. Preto je kontrola ujatia po prvej vegetačnej sezóne rovnako dôležitá ako kontrola mechanického stavu bezprostredne po realizácii.

Kombinované oporné prvky spájajú priestorovú konštrukciu z dreva alebo kameňa s vegetáciou. Typickým príkladom je vegetovaná zrubová oporná stena, pri ktorej drevená konštrukcia vytvorí počiatočnú stabilitu a vnútorný priestor sa vyplní zeminou s živým rastlinným materiálom. Po zakorenení vegetácia postupne preberá časť stabilizačnej a protieróznej funkcie. Takéto riešenie je vhodné najmä na menšie svahy, päty násypov a lokálne poruchy, kde je potrebná výraznejšia geometrická úprava než pri jednoduchom vegetačnom kryte.

Výhodou drevených konštrukcií je dobré začlenenie do lesného prostredia a možnosť použiť lokálny materiál. Nevýhodou je konečná životnosť dreva. Návrh musí preto vychádzať z predpokladu, že po určitom čase nebude konštrukčný účinok drevených prvkov rovnaký. Ak stabilita svahu závisí od ich trvalej únosnosti, nejde o vhodné riešenie. Bioinžinierske opatrenie má zmysel tam, kde sa očakáva, že koreňový systém a stabilizovaný zemný profil postupne nahradia počiatočnú mechanickú podporu.

Pri brehoch a erózných líniiach sa uplatňujú aj koreňové baly, vegetované kamenné opevnenia a kombinácie hrubého dreva s vegetáciou. Tieto prvky zvyšujú drsnosť a vytvárajú mikrohabitaty, ale súčasne môžu zachytávať plávajúci materiál. V blízkosti priepustov, mostov alebo úzkych profilov je preto potrebné posúdiť, či sa ochranný prvok nestane zdrojom upchatia. Prírode blízke riešenie musí byť kompatibilné s hydraulickou bezpečnosťou susednej infraštruktúry.

Na strmších svahoch možno stabilizačné prvky kombinovať do viacstupňového systému. Jednotlivé stupne znižujú dĺžku svahu a umožňujú postupné zakladanie vegetácie. Takýto systém sa približuje terasovaniu, ktoré predstavuje samostatný typ zemnej úpravy. Rozhodnutie medzi lokálnym bioinžinierskym prvkom a plošným terasovaním závisí najmä od rozsahu poruchy a od toho, či je potrebné zásadne meniť geometriu svahu.

Terasovanie mení svah na sústavu stupňov s menším lokálnym sklonom. Môže spomaľovať odtok, zvyšovať infiltráciu a obmedzovať eróziu; podľa podmienok lokality sa kombinuje so suchým murivom, drevenými zrubovými prvkami alebo vegetáciou. V lesnom prostredí však terasovanie nemožno vnímať ako bežnú plošnú úpravu každého strmého svahu. Ide o výrazný zásah do reliéfu, ktorý mení odtokové dráhy a lokálne zaťaženie pôdy.

Vhodné je najmä na antropogénne narušených svahoch, pri sanácii starších zárezov alebo v lokalitách, kde je možné vytvoriť stabilné stupne bez otvorenia novej hlbkej poruchy. Pri prirodzených lesných svahoch s vysokou ekologickou hodnotou môže plošné terasovanie spôsobiť väčší zásah než pôvodný problém. Alternatívou môže byť menší počet lokálnych stupňov, vegetačných pásov alebo drevených priečnych prvkov, ktoré zachovávajú väčšiu časť pôvodného mikroreliéfu.

Každá terasa musí bezpečne nakladať s vodou. Vodorovná plošina, na ktorej sa voda bez kontroly akumuluje pri hrane svahu, môže zvýšiť infiltráciu práve v mieste, kde je nežiaduca. Naopak, príliš veľký pozdĺžny sklon môže vytvoriť novú eróznú dráhu. Technický návrh preto určí priečny a pozdĺžny sklon, spôsob odvedenia prebytku vody a stabilitu hrany. V bioinžinierskom variante sa tieto požiadavky dopĺňajú o založenie vegetácie.

Z pohľadu typológie je dôležité odlišovať terasu ako zemnú konštrukciu od vegetačného stupňa, ktorý iba lokálne znižuje rýchlosť odtoku. Prvý typ si vyžaduje výraznejšie geotechnické posúdenie, druhý môže byť súčasťou protierózneho a vegetačného systému. V oboch prípadoch však platí, že zásah má byť primeraný mierke problému.

Bioinžinierske opatrenie nie je dokončené okamihom stavebného odovzdania. V prvých rokoch sa mení podiel technickej a biologickej funkcie; kontroluje sa ujetie vegetácie, podmytie, odhalenie koreňov, deformácie, zachytený sediment a nové odtokové dráhy. Bischetti *et al.* (2021) považujú časový vývoj za jednu z kľúčových návrhových otázok pôdneho bioinžinierstva. Údržba preto musí sledovať, či degradáciu dočasných prvkov skutočne nahrádza rastúca koreňová a vegetačná funkcia.

Údržba musí zachovať funkciu, nie pôvodný vzhľad. Ak sa vegetácia prirodzene rozvíja a pritom nenaruša hydraulický profil ani infraštruktúru, nie je potrebné udržiavať prvok v stave bezprostredne po realizácii. Naopak, samovoľný rast drevín môže byť nežiaduci pri priepuste, rozhládovom poli cesty alebo tam, kde koreňový systém ohrozuje konštrukciu. Manažment je preto selektívny a vychádza z funkcie konkrétneho miesta.

V ochranných lesoch a na svahoch nad infraštruktúrou má význam prepájať lokálne bioinžinierske prvky s manažmentom porastu. Dlhodobá ochranná funkcia závisí od štruktúry porastu, druhového zloženia a cielenej starostlivosti. Stabilizácia jedného erózneho miesta preto nenahrádza manažment celého svahového systému.

Výber stabilizačnej techniky musí vychádzať z mechanizmu poruchy, dostupnosti vody pre vegetáciu, požadovanej počiatočnej mechanickej funkcie a očakávaného vývoja v čase. Pri návrhu sa osobitne oddeľuje povrchová ochrana, plytké koreňové spevnenie a nosná geotechnická stabilizácia; tieto úrovne sa môžu kombinovať, ale nesmú sa terminologicky

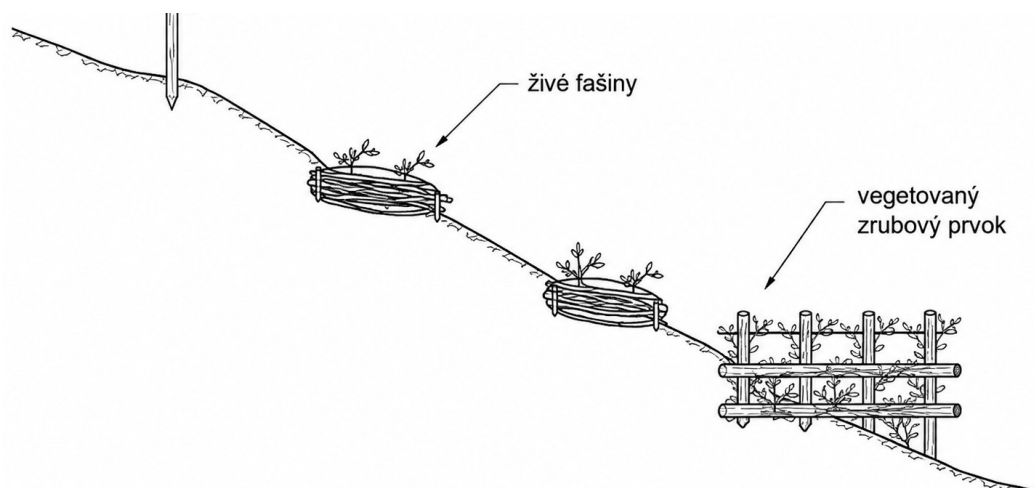
zamieňať (Bischetti *et al.*, 2021; Lann *et al.*, 2024; Keybondori *et al.*, 2025). Základné rozdiely medzi technikami sumarizuje tabuľka 4.3.

Tabuľka 4.3 Typy stabilizačných a bioinžinierskych opatrení

Typ	Typická funkcia	Biologická podmienka	Najdôležitejšie obmedzenie
živé kolíky a fašiny	lokálne spevnenie, ochrana brehu, zachytenie materiálu	schopnosť zakoreniť, dostatok vlhkosti	účinnosť je obmedzená na povrchovú/plytkú zónu
živé vrstvenie, prútené plôtky	plošná stabilizácia a vytvorenie vegetačných stupňov	kontakt živého materiálu so zeminou	realizácia narušá povrch a vyžaduje správnu sezónu
kefové matrace a vegetované rohože	rýchla ochrana povrchu	rýchle ujetie vegetácie	nevhodné pre vysokú hydraulickú energiu
vegetovaný zrub/oporný prvok	počiatočná mechanická podpora + následné zakorenenie	vegetácia musí prevziať časť funkcie	drevo má konečnú životnosť
terasovanie a stupňovanie	zmena geometrie svahu, skrátenie odtokovej dráhy	stabilná vegetácia na stupňoch	výrazný zásah do reliéfu; nutné riešiť odvodnenie

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Bischetti *et al.* (2021), Lann *et al.* (2024), Keybondori *et al.* (2025) a NATURE-DEMO (2025c, 2025e, 2025f, 2025g).

Vybrané typologické vzťahy medzi stabilizačnými a bioinžinierskymi opatreniami schematicky znázorňuje obrázok 4.3.



Obrázok 4.3 Schematické príklady stabilizačných a bioinžinierskych opatrení. Zdroj: World Meteorological Organisation lastné spracovanie podľa Bischetti *et al.* (2021), Lann *et al.* (2024), Keybondori *et al.* (2025), Pohle a Jaeger (2025).

4.4. Opatrenia na lesných cestách a približovacích linkách

Lesná cesta mení prirodzený pohyb vody v svahovom systéme tým, že vytvára zhutnený povrch, preruší podpovrchové a povrchové dráhy a často sústreďuje vodu do priekop

a priepustov. Opatrenia preto nemajú chrániť iba vozovku, ale obnovovať čo najkratšiu a hydraulicky bezpečnú väzbu medzi zachytenou vodou a stabilným lesným povrchom. Systematický prehľad medzinárodných smerníc ukazuje, že práve rozstupy odľahčovacích prvkov priekop, typ priekopy, vzdialenosť výtokov od tokov a dimenzie križovaní patria medzi parametre s najväčším adaptačným významom pri meniacej sa zrážkovej intenzite (Pohle a Jaeger, 2025).

Empirické výsledky z ťažbových plôch potvrdzujú, že najvyšší erózný potenciál sa často viaže na cesty, približovacie linky a križovania tokov. Parajuli et al. (2024) identifikovali tieto prvky ako erózne výraznejšie než samotné ťažbové plochy a novšia kombinácia UAV, hlbokého učenia a GIS opäť ukázala význam cestnej siete pri priestorovom odhade erózie (Parajuli *et al.*, 2025). Výsledky z Virgínie zároveň ukazujú, že kvalita realizácie BMP významne súvisí s odhadovanou eróziou (Hawks *et al.*, 2023). Prenositel'ný je najmä mechanizmus: zhutnenie a dlhá koncentrovaná odtoková dráha zvyšujú potenciál odnosu.

Typológia opatrení na lesnej dopravnej sieti vychádza zo štyroch otázok: ako obmedziť vznik odtoku na povrchu, ako skrátiť dĺžku sústredeného prúdenia, kam vodu bezpečne odvieť a ako stabilizovať násypy, zárezy a križovania tokov. Jednotlivé prvky musia fungovať ako sústava, pretože nadmerne dlhá priekopa môže znehodnotiť dobre navrhnutý výtok a poddimenzované križovanie môže zlyhať aj pri stabilných príľahlých svahoch (Pohle a Jaeger, 2025, 2026).

V prírode blízkom prístupe sa technická funkcia cesty nemení. Nejde o nahradenie priepustu vegetáciou ani o ponechanie vody bez usmernenia. Cieľom je minimalizovať rozsah tvrdých zásahov, využiť vegetáciu a lokálne materiály tam, kde sú funkčne vhodné, a rozptýliť odtok späť do stabilného lesného prostredia skôr, než dosiahne eróznou energiu.

Prvou skupinou sú opatrenia na prerušenie a rozptýlenie pozdĺžneho odtoku. Priečne odvodňovacie prvky, tvarovanie priečneho profilu a vhodné rozmiestnené výtoky skracujú vzdialenosť, počas ktorej voda na ceste získava objem a rýchlosť. Kľúčový parameter nie je iba existencia odvodnenia, ale jeho rozstup, sklon, údržba a bezpečnosť miesta vyústenia. Pohle a Jaeger (2025) práve tieto parametre identifikujú ako rozhodujúce pre adaptáciu lesných ciest na meniaci sa zrážkový režim.

Výtok sa preto považuje za súčasť opatrenia. Ak priečny prvok končí na odkrytom strmom svahu, problém sa iba presunie z vozovky pod cestu. Vhodné výtokové miesto má vegetačný kryt, dostatočnú plochu na rozptýlenie a nie je priamo hydraulicky prepojené s vodným tokom. Tam, kde prirodzená vegetácia nestačí, možno použiť vegetované kamenné alebo drevené rozptyľovacie prvky, biodegradovateľnú rohož alebo lokálne stabilizovanú výtokovú plochu.

Pri pozdĺžnych priekopách sa uprednostňuje obmedzenie dĺžky úseku s koncentrovaným prúdením a viacnásobné bezpečné vyústenie tam, kde to terén umožňuje. Priekopa nemá bezdôvodne zbierať vodu z veľkej časti svahu a prevádzať ju do jedného bodu. Zároveň nemožno stanoviť univerzálny rozstup odľahčovacích prvkov; závisí od sklonu, erodovateľnosti materiálu, intenzity zrážky a kapacity výtokovej plochy (Pohle a Jaeger, 2025).

V miestach, kde je potrebné vodu krátkodobo spomaliť pred výtokom, možno vytvoriť malé sedimentačné alebo rozptyľovacie priestory. Ich úlohou nie je nahradiť dimenzovaný priepust, ale zachytiť jemný materiál a znížiť rýchlosť vody pred vstupom do vegetácie. Údržba musí počítať s odstraňovaním sedimentu; ak sa prvok zaplní, voda si vytvorí novú cestu.

Druhou skupinou sú protierózne a stabilizačné opatrenia na násypoch a zárezoch. Pri povrchovom probléme sa uplatňuje rýchle obnovenie krytu, hydrovýsev, mulčovanie alebo biodegradovateľné rohože; pri plytkej nestabilite možno doplniť bioinžinierske prvky. Ak je príčinou priesak alebo hlbšia šmyková plocha, vegetácia nemôže nahradiť drenáž alebo geotechnické riešenie (Lann *et al.*, 2024; Keybondori *et al.*, 2025; NATURE-DEMO, 2025d; 2025e).

Na lokálne nestabilných miestach možno doplniť živé fašiny, vegetačné stupne alebo nízke zrubové prvky. Ich umiestnenie však nesmie obmedziť funkciu priekopy ani zmenšiť bezpečný priestor cesty. Pri násype je dôležité stabilizovať päť a zabrániť tomu, aby sa voda z povrchu vozovky sústredila na jediný bod svahu. Pri záreze sa navyše sleduje priesaková voda; vegetácia nemôže nahradiť drenáž tam, kde je destabilizujúcim faktorom tlak vody v zeminovom profile.

Výber vegetácie sa prispôsobuje prevádzke. Husté kríky tesne pri hrane môžu znižovať rozhl'ad a komplikovať údržbu, zatiaľ čo nízky bylinný kryt môže byť vhodný na povrchovú ochranu. Na svahoch vzdialenejších od jazdného priestoru možno použiť dreviny s hlbším koreňovým systémom, ak neohrozujú konštrukciu. Prírode blízke riešenie cesty preto neznamená maximálne zazelenenie každého povrchu, ale funkčne diferencovanú vegetáciu.

Pri obnove územia po ťažbe je dôležité nezabudnúť na dočasné približovacie trasy. Po skončení prevádzky môžu zostať zhutnené a hydraulicky aktívne. Ak sa iba prestanú používať, voda môže ďalej odtekať v koľajach a prehlbovať ich. Sanácia zahŕňa prerušenie pozdĺžneho odtoku, lokálne prekyprenie zhutneného povrchu tam, kde je to vhodné, rozptýlenie vody a obnovu vegetácie.

Treťou skupinou sú opatrenia pri križovaní vodných tokov a v okolí priepustov. Ide o kritické miesta, pretože spájajú hydraulické zaťaženie, dopravnú funkciu a riziko transportu sedimentu a dreva. Priepust musí bezpečne previesť návrhový prietok a jeho vstup nesmie byť ľahko upchateľný. Prírode blízke prvky možno využiť na stabilizáciu brehov, rozptýlenie vody mimo toku a filtráciu sedimentu, nie však ako náhradu nedostatočnej hydraulickej kapacity.

Brehové vegetačné pásy môžu medzi cestou a tokom zachytiť časť sedimentu a stabilizovať breh, ak odtok prichádza rozptýlene. Pri sústredenom výtoku sa najprv musí znížiť energia vody a obnoviť plošnejší charakter prúdenia. Šírka pásu sa neurčuje iba administratívne; zohľadňuje sklon, pôdu, transport sedimentu, stabilitu stromov a hydrologickú konektivitu. Terénne výsledky Hasselquist *et al.* (2024) ukazujú, že šírka a stabilita brehového porastu ovplyvňujú sedimentové prepojenie s tokom (NATURE-DEMO, 2025a).

Dôležitá je aj kontinuita vodného toku. Nevhodne osadený priepust môže vytvoriť výškový stupeň, zmeniť rýchlosť prúdenia alebo sťažiť migráciu vodných organizmov. Pri rekonštrukcii je preto vhodné posudzovať nielen kapacitu potrubia, ale aj jeho polohu voči prirodzenému dnu a stabilitu koryta na vstupe a výstupe. Ak je možné zachovať prirodzené dno alebo použiť širšie riešenie, môže sa znížiť hydraulický kontrast medzi cestou a tokom.

V horskom prostredí treba počítať aj s transportom hrubého materiálu. Konáre, kmene a kamene môžu pri prívalovej udalosti zablokovat' profil skôr, než sa vyčerpá jeho hydraulická kapacita. Vegetačný manažment v bezprostrednom okolí priepustu preto musí zohľadniť nielen stabilitu brehu, ale aj riziko materiálu, ktorý by sa mohol uvoľniť a upchať otvor.

Štvrtou skupinou sú opatrenia na dočasných približovacích linkách, zväžniciach a manipulačných plochách. Ich špecifikom je vysoký stupeň zhutnenia, lokálne poškodenie pôdneho profilu a koľaje, ktoré sa po ukončení prevádzky môžu stať odtokovými kanálmi. Cieľom sanácie je prerušiť túto hydraulickú kontinuitu a obnoviť schopnosť povrchu prijímať vodu a vegetáciu.

Na svahových trasách je účinné vytvoriť priečne prerušenia koľají v miestach, kde možno vodu vyviešť na stabilnú plochu. Ak je povrch extrémne zhutnený, môže byť potrebné lokálne prekyprenie, ale nie plošné rozrušenie bez kontroly erózie. Prekyprený materiál je po prvej intenzívnej zrážke ľahko odnositeľný, preto sa spája s krytom z miestneho organického materiálu alebo s vegetačnou obnovou.

Význam krytu potvrdzujú aj práce Parajuli et al. (2024, 2025), v ktorých boli plochy s vegetáciou a ochranné pásma erózne menej výrazné než dopravné prvky. Pre slovenské podmienky nemožno mechanicky preberať namerané hodnoty z iných regiónov, ale rozdiel medzi zhutnenou cestnou plochou a vegetovaným povrchom je metodicky relevantný. Opatrenie sa preto orientuje na obnovu povrchovej funkcie a na odstránenie dlhých súvislých odtokových dráh.

Pri opustených trasách treba rozhodnúť, či sa majú úplne renaturalizovať, alebo zostať priechodné pre zásah, hospodársku činnosť či protipožiarnu ochranu. Úplná obnova vegetácie je vhodná iba tam, kde sa nepredpokladá ďalšia dopravná funkcia. Trasy dôležité pre zásahové vozidlá musia zostať technicky prejazdné; prírode blízke opatrenia sa vtedy sústredia na odvodnenie, stabilizáciu povrchu a okrajov, nie na zrušenie cesty.

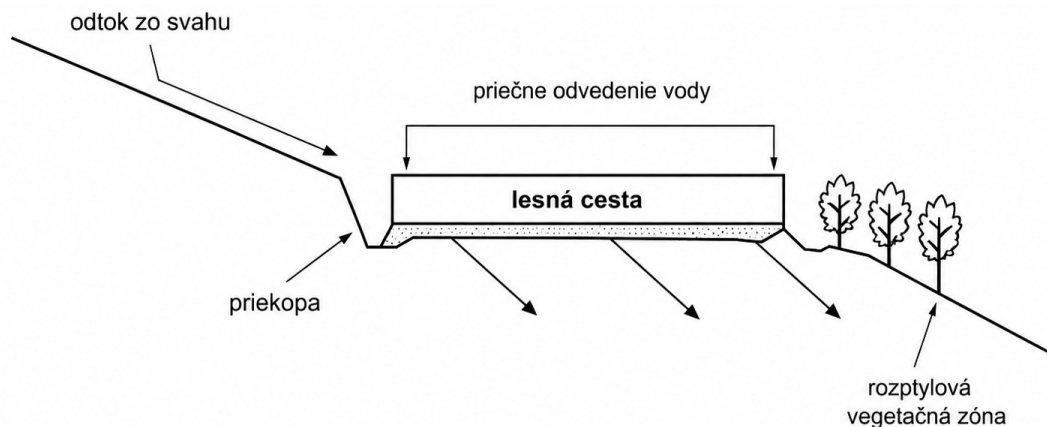
Súbor opatrení na lesnej dopravnej sieti musí byť navrhnutý ako jeden hydrologický systém. Klimatická adaptácia pritom neznamená iba zväčšovanie priepustov, ale aj skracovanie odtokových dráh, lepšie rozptýlenie vody, ochranu výtokov a preventívnu údržbu. Aktuálny odborný prieskum medzi nemeckými expertmi potvrdzuje význam úprav vodného manažmentu lesných ciest v reakcii na meniace sa zrážkové podmienky (Pohle a Jaeger, 2026). Prehľad typických problémov a vhodných skupín opatrení uvádza tabuľka 4.4.

Tabuľka 4.4 Opatrenia na lesných cestách a približovacích linkách podľa miesta problému

Miesto/problém	Typ opatrenia	Úloha prírody blízkej zložky	Kontrolný bod
dlhý pozdĺžny odtok po vozovke	priečne odvodnenie, rozptýlenie výtoku	vegetovaná výtoková plocha tlmí energiu a filtruje sediment	voda nesmie vytvoriť novú ryhu pod cestou
násyp alebo zárez bez krytu	hydrovýsev, rohož, sieť, lokálne fašiny	rýchla ochrana povrchu a zakorenenie	najprv vylúčiť hlbšiu nestabilitu
priekopa a priepust	viac bezpečných vyústení, stabilizovaný vstup/výstup	vegetácia a lokálne materiály znižujú eróziu mimo profilu	zachovať hydraulickú kapacitu a údržbový prístup
križovanie toku	stabilizácia brehov, brehový pás, primeraný priechod	filtrácia sedimentu a obnova brehovej vegetácie	neohroziť kontinuitu toku a nezvýšiť riziko upchatia
opustená približovacia linka	prerušenie koľají, rozptýlenie odtoku, obnova krytu	renaturalizácia a zvýšenie infiltrácie	zohľadniť prípadnú budúcu zásahovú funkciu

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Pohle a Jaeger (2025, 2026), Hawks et al. (2023), Parajuli et al. (2024, 2025) a NATURE-DEMO (2025a, 2025d, 2025e, 2025f, 2025g).

Vybrané typologické vzťahy medzi riešeniami na lesných cestách a približovacích linkách schematicky znázorňuje obrázok 4.4.



Obrázok 4.4 Schematické príklady opatrení na lesných cestách a približovacích linkách. Zdroj: World Meteorological Organisation lastné spracovanie podľa Bischetti et al. (2021), Lann et al. (2024), Keybondori et al. (2025), Pohle a Jaeger (2025).

4.5. Pestovné a obnovné opatrenia

Pestovné a obnovné opatrenia predstavujú zásahy, ktorými sa mení druhové zloženie, hustota, veková a výšková štruktúra, priestorové rozmiestnenie stromov a spôsob obnovy porastu. Ich cieľom nie je vytvoriť abstraktne „najpestrejší“ porast, ale znížiť citlivosť voči relevantným disturbanciám pri zachovaní požadovaných funkcií lesa. Európske analýzy ukazujú priaznivú väzbu heterogenity a štrukturálnej diverzity na rezilienciu, zároveň však

potvrdzujú, že výsledok závisí od klímy, druhového zloženia a konkrétneho typu stresu (Forzieri *et al.*, 2024; Barrere *et al.*, 2024; Pickering *et al.*, 2025).

Základnou zásadou je vyhnúť sa tvrdeniu, že vyššia druhová alebo štrukturálna rozmanitosť je automaticky optimálnym riešením. Pri suchu môže byť rozhodujúca funkčná komplementarita druhov a mykorízny typ, nie samotný počet druhov. Experimentálne údaje z obdobia sucha 2018-2020 ukazujú, že rezistencia a zotavenie rastu sa medzi zmesami významne líšia a účinok diverzity závisí od identity a funkčných vlastností druhov (Sachsenmaier *et al.*, 2024). Pri vetrových disturbanciách je obdobne podstatná funkčná skladba a klimatický kontext (Barrere *et al.*, 2024).

Druhým princípom je časový horizont. Strom založený dnes má plniť funkciu počas desaťročí, v ktorých sa klimatické podmienky budú meniť. Wessely *et al.* (2024) ukázali, že ak sa vyžaduje klimatická vhodnosť dreveniny počas celého 21. storočia, výber druhov dostupných pre hospodárenie sa v Európe výrazne zužuje. Pestovná adaptácia preto musí pracovať s neistotou, diverzifikáciou rizika a priebežným overovaním, nie s jednorazovým zoznamom „budúcich vhodných drevín“.

Pestovné opatrenia majú zároveň nadväzovať na prirodzené procesy. Tam, kde sa prirodzená obnova vytvára z dostatočne pestrého a vhodného zdroja reprodukčného materiálu, môže byť najefektívnejším spôsobom adaptácie. Inde je potrebná asistovaná obnova, podsadba alebo doplnenie druhov, ktoré v okolí chýbajú. Typológia preto rozlišuje prirodzenú obnovu, asistovanú obnovu a cieľené zalesnenie ako tri odlišné režimy zásahu.

Voľba drevín je dlhodobým rozhodnutím s vysokou mierou neistoty. Posudzuje sa súčasná stanovištná kompatibilita, budúci teplotný a vodný režim, citlivosť na dominantné disturbancie a požadované funkcie lesa. Klimaticky vhodný druh nemusí byť zároveň optimálny z hľadiska biodiverzity, pôdy, hospodárskeho cieľa alebo požiarnej bezpečnosti. Preto sa rozhodnutie opiera o kombináciu klimatickej vhodnosti, lokálnych stanovištných poznatkov a funkčnej diverzifikácie (Wessely *et al.*, 2024; Forzieri *et al.*, 2024).

Výsledky Wessely *et al.* (2024) sú dôležité práve preto, že ukazujú obmedzovanie priestoru voľby. Ak sa vyžaduje, aby drevena bola klimaticky vhodná nielen dnes alebo na konci storočia, ale počas celého životného cyklu porastu, počet možností klesá. Praktickým dôsledkom je potreba kratšieho adaptačného cyklu rozhodovania: porast sa priebežne vyhodnocuje a ďalšie zásahy sa prispôbujú pozorovanej odozve namiesto toho, aby sa na desaťročia fixovala jediná predstava o cieľovom stave.

Na heterogénnom svahu nemusí byť rovnaká drevinová skladba vhodná v celej ploche. Chladnejšia údolnica, suchý hrebeň a exponovaný južný svah predstavujú odlišné mikrostanojšia. Pestovný návrh môže túto heterogenitu využiť a vytvoriť priestorovú mozaiku druhov alebo skupín namiesto rovnomerného zmiešania. Takýto prístup znižuje riziko, že jedna nepriaznivá kombinácia podmienok zasiahne celý porast rovnakým spôsobom.

Štrukturálna diverzita zahŕňa rozdiely vo výške, priemere, zápoji, vertikálnom členení korún a priestorovom usporiadaní stromov. Európske lidarové hodnotenie Pickering *et al.* (2025) zistilo pozitívny vzťah medzi kombinovanou štrukturálnou diverzitou a rezilienciou

vo väčšine analyzovanej plochy južnej a strednej Európy, pričom komplexnosť korunovej vrstvy bola informatívnejšia než samotná variabilita výšky. Tento výsledok podporuje pestovné postupy vytvárajúce primeranú priestorovú komplexnosť, ale neznamená, že maximálna hustota alebo viacvrstvosť je optimálna pri každom hazarde.

Barrere *et al.* (2024) poukazujú na pozitívnu väzbu druhovej a funkčnej rozmanitosti k zotaveniu po vetrovej disturbancii v európskom kontexte. Prakticky to podporuje kombinovanie funkčne odlišných drevín a obmedzenie veľkoplošnej uniformity. Zároveň však treba strážiť stabilitu prechodov. Náhle otvorenie porastovej steny alebo vytvorenie exponovaného okraja môže dočasne zvýšiť vetrové riziko, hoci dlhodobým cieľom zásahu je vyššia štrukturálna pestrosť.

Redukcia hustoty môže v niektorých porastoch znížiť konkurenciu o vodu a zlepšiť dostupnosť zdrojov pre zostávajúce stromy, no silné presvetlenie môže zvýšiť teplotu a vysušovanie povrchu alebo zmeniť veterné zaťaženie. Výsledok je preto podmienený druhom, stanovišťom, intenzitou zásahu a časom od zásahu. V zmiešaných porastoch sa navyše rezistencia a zotavenie po suchu viažu na funkčné vlastnosti zložiek zmesi, nie iba na počet druhov (Sachsenmaier *et al.*, 2024).

Pri dlhodobej adaptácii má výhodu postupná obnova, ktorá umožňuje reagovať na vývoj porastu a klimatických podmienok. Nie je však vhodná automaticky v každom hospodárskom alebo ochrannom lese. Rozhodujúce sú dreviny, svetelné nároky obnovy, stav pôdy, zver, zdravotný stav materského porastu a riziko, že predĺžená obnova ponechá nestabilné stromy vystavené ďalšej disturbancii. Typológia preto pracuje s postupnosťou zásahov, nie s jedným preferovaným hospodárskym spôsobom.

Pri uplatňovaní prírody blízkeho hospodárenia v podmienkach Slovenskej republiky je potrebné zohľadniť aj požiadavky § 24a vyhlášky č. 453/2006 Z. z. Pri podrastovom hospodárskom spôsobe sa posudzuje forma obnovnej ťažby, zabezpečenie následnej obnovy alebo neprítomnosť holín pri jednotlivom a hlúčikovom výbere a spravidla najmenej 50-ročná obnovná doba, pričom pri prebudove lesa sa uplatňujú ustanovené výnimky. Prebudova lesa na prírode blízke hospodárenie sa môže uskutočňovať výchovou porastu, jeho obnovou alebo prostredníctvom následnej generácie lesného porastu. Konkrétny postup preto musí rešpektovať nielen stanovištné podmienky a adaptačné ciele, ale aj požiadavky príslušného právneho predpisu.

Prirodzená obnova využíva lokálny reprodukčný potenciál a môže zachovať genetickú kontinuitu populácie. Je vhodná tam, kde je zdroj semena alebo vegetatívnej obnovy dostatočný a výsledná skladba zodpovedá adaptačnému cieľu. Ak po disturbancii prirodzene nastupuje iba druh, ktorý je dlhodobo ohrozený očakávanou zmenou klímy, pasívne ponechanie vývoja nemusí byť najodolnejšou voľbou. V takom prípade prichádza do úvahy asistovaná prirodzená obnova, t. j. ochrana existujúcich semenáčikov, regulácia konkurencie a doplnenie chýbajúcich druhov.

Pri pestovných a obnovných opatreniach treba rozlišovať opätovné zalesnenie plôch, ktoré boli lesom, a zalesňovanie dlhodobo nelesných plôch. Obe intervencie môžu mať význam

pre obnovu funkcií a konektivity, ale ich hydrologický a ekologický účinok závisí od polohy, pôvodného biotopu a drevinovej skladby. Zalesnenie preto nemožno automaticky považovať za priaznivé riešenie v každej lokalite; musí byť priestorovo optimalizované a nesmie nahrádzať hodnotné nelesné ekosystémy (Seddon *et al.*, 2020; El Garroussi *et al.*, 2026; NATURE-DEMO, 2025h).

Štúdia El Garroussi *et al.* (2026) ukazuje, že pri zalesňovaní je priestorová optimalizácia zásadná: vhodne zvolené plochy môžu priaznivo ovplyvniť povodňový odtok a súčasne obmedziť negatívne straty vody, zatiaľ čo necielené zalesnenie prináša slabší hydrologický účinok a väčšie kompromisy. Pre lesnú prax z toho vyplýva, že zalesnenie nie je samo osebe „vodoretenčným“ opatrením; jeho prínos sa musí preukázať na úrovni povodia a stanovišťa.

Po rozsiahlej disturbancii sa rozhoduje aj o rýchlosti a miere zásahu. Ponechanie časti prirodzenej sukcesie môže zvýšiť štrukturálnu heterogenitu a zachovať biologické dedičstvo, zatiaľ čo cielená výsadba môže urýchliť obnovenie ochrannej funkcie na svahu alebo nad infraštruktúrou. Rozhodnutie preto vychádza z priority funkcie: iný postup je vhodný v produkčnom poraste a iný v ochrannom lese, kde čas bez dostatočnej stabilizačnej funkcie predstavuje priamy rizikový faktor.

Ochranný les je typom prírode blízkeho opatrenia vtedy, keď sa jeho štruktúra a manažment cielene udržiavajú vzhľadom na konkrétny hazard alebo chránený objekt. Ochranná funkcia sa môže viazať na eróziu, zosuvy, padanie skál, lavíny, povodne alebo transport sedimentu a vyžaduje cielenú starostlivosť o druhové zloženie a porastovú štruktúru (NATURE-DEMO, 2025i). Samotná existencia stromov na svahu teda nestačí na tvrdenie, že ochranná funkcia je optimálna.

Pri ochrane pred eróziou a plytkými svahovými procesmi je dôležitá trvalosť koreňového systému a minimalizácia období, keď zostáva pôda bez krytu. Pri ochrane pred padaním skál sa uplatňuje hustota, priemer a priestorové rozmiestnenie kmeňov; pri vodnom a sedimentačnom režime zase drsnosť pôdneho povrchu, priepustnosť a priestor pre rozliv. Pestovné opatrenia preto musia byť viazané na funkčný model ohrozenia, nie iba na všeobecnú predstavu „stabilného lesa“.

Zvláštnu pozornosť si vyžaduje obnova po veľkej disturbancii v ochrannom lese. Ak sa odumreté stromy odstránia plošne, môže sa dočasne znížiť drsnosť svahu a narušiť pôda technikou. Ak sa ponechajú bez zásahu, môžu po páde meniť trajektórie pohybu materiálu alebo zvyšovať požiarne palivo. Optimálny postup preto často kombinuje selektívne spracovanie, ponechanie vhodnej časti dreva, ochranu pôdy a urýchlenie obnovy tam, kde je ochranná funkcia časovo kritická.

Ochranný porast je zároveň potrebné priestorovo prepojiť s lokálnymi bioinžinierskymi opatreniami. Fašina alebo zrubová stena rieši konkrétny porušený úsek, kým manažment porastu udržiava stabilizačný a hydrologický účinok celej plochy. Tento viacúrovňový prístup je podstatou prírode blízkeho riešenia v horskom lesnom prostredí.

V tejto kapitole sa pojem retenčný les používa v hydrologickom a sedimentačnom význame, teda pre porast podporujúci zadržanie vody alebo sedimentu (NATURE-DEMO,

2025j). „Retenčné lesníctvo“ naopak označuje pestovný prístup, pri ktorom sa pri zásahu ponechávajú vybrané živé stromy, mŕtve drevo alebo iné štrukturálne prvky z dôvodu biodiverzity a kontinuity habitatov. Tieto dva významy sa nemajú zamieňať. Ponechávanie štruktúr môže byť súčasťou pestovnej adaptácie, ale samo osebe nevytvára retenčný les na zachytávanie vody alebo sedimentu.

Mŕtve drevo a habitatové stromy majú významnú ekologickú funkciu a môžu podporovať mikrohabitaty, kolobeh živín a štrukturálnu heterogenitu. Z pohľadu odolnosti však treba pracovať aj s kompromismi. V blízkosti ciest a objektov sa posudzuje prevádzková bezpečnosť. V požiarnie exponovaných porastoch množstvo, rozmery a priestorová spojitosť suchého dreva ovplyvňujú dostupnosť paliva. Cieľom preto nie je plošne minimalizovať ani maximalizovať mŕtve drevo, ale prispôbiť jeho ponechávanie funkčnej zóne a riziku.

Pestovná adaptácia je proces priebežného vyvažovania funkcií a rizík. Druhovú zloženie, hustota, obnova a ponechávanie biologických prvkov sa posudzujú spoločne s dominantnými hazardmi a s časom potrebným na vytvorenie novej štruktúry. Heterogenita môže znižovať synchronizáciu poškodenia na úrovni krajiny a štrukturálna komplexnosť podporovať rezilienciu, ale oba účinky sú podmienené ekologickým kontextom (Forzieri *et al.*, 2024; Pickering *et al.*, 2025). Typológia preto nepredpisuje univerzálny model porastu, ale súbor pestovných smerov viazaných na konkrétny cieľ.

Základné pestovné a obnovné prístupy z hľadiska ich príspevku k odolnosti sumarizuje tabuľka 4.5. Uvedené účinky predstavujú potenciál, nie automatický výsledok. Zmes drevín musí byť funkčne kompatibilná, štrukturálna diverzita sa musí prispôbiť typu disturbance a obnova musí zohľadniť budúcu klimatickú vhodnosť (Barrere *et al.*, 2024; Sachsenmaier *et al.*, 2024; Wessely *et al.*, 2024; Pickering *et al.*, 2025).

Tabuľka 4.5 Pestovné a obnovné opatrenia relevantné pre zvyšovanie odolnosti

Prístup	Hlavný cieľ	Možný prínos	Riziko nesprávnej aplikácie
prirodzená/asistovaná obnova	využiť lokálnu regeneráciu a doplniť chýbajúce zložky	genetická kontinuita, nižší zásah do pôdy	obnova môže reprodukovať klimaticky nevhodnú alebo málo pestrú skladbu
cielená druhová a provenienčná voľba	zvýšiť dlhodobú stanovištnú vhodnosť	nižšia citlivosť na budúce klimatické stresy	nesprávny prenos proveniencií alebo druhov môže vytvoriť nové riziká
zmiešanie a štrukturálna diferenciácia	znižovať plošnú uniformitu reakcie na disturbance	vyššia funkčná rozmanitosť a možnosť zotavenia	nevhodná kombinácia alebo náhle otvorenie môže zvýšiť konkurenciu či vetrové riziko

Prístup	Hlavný cieľ	Možný prínos	Riziko nesprávnej aplikácie
ochranný lesný manažment	udržať ochrannú funkciu svahu/objektu	stabilizácia pôdy, tlmenie hazardov, kontinuita krytu	zanedbanie obnovy môže viesť k súčasnému rozpadu ochranného porastu
zalesňovanie/opätovné zalesňovanie	obnoviť alebo vytvoriť lesnú funkciu	obnova krytu, uhlík, podľa polohy aj hydrologický účinok	necielené zalesnenie môže zvýšiť spotrebu vody alebo byť stanovištne nevhodné

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Wessely et al. (2024), Barrere et al. (2024), Forzieri et al. (2024), Sachsenmaier et al. (2024), Pickering et al. (2025), El Garroussi et al. (2026) a NATURE-DEMO (2025h, 2025i, 2025k).

4.6. Opatrenia na znižovanie požiarneho rizika

Opatrenia na znižovanie požiarneho rizika musia rozlišovať pravdepodobnosť iniciácie, dostupnosť a kontinuitu paliva, potenciálne správanie požiaru, expozíciu chránených hodnôt a schopnosť krajiny obnoviť sa po požiari. Prírode blízky prístup preto nie je synonymom úplného odstránenia paliva. Cieľom je upraviť množstvo, usporiadanie a vlastnosti vegetácie tak, aby sa znížila pravdepodobnosť vysoko intenzívneho šírenia a súčasne sa zachovali pôdne, biodiverzitné a ďalšie funkcie lesa (Keesstra *et al.*, 2024; European Environment Agency, 2025).

Základom je manažment množstva a spojitosti horľavého materiálu. Rozhodujúca je horizontálna kontinuita povrchového paliva aj vertikálne prepojenie medzi povrchom, podrastom a korunovou vrstvou. Redukcia hustoty stromov bez úpravy povrchového paliva môže ponechať významný potenciál šírenia a naopak, samotné odstránenie podrastu nemusí dostatočne zmeniť korunovú kontinuitu. Meta-analýza Davis *et al.* (2024) ukazuje, že kombinované zásahy do štruktúry a paliva majú spravidla väčší potenciál znížiť následnú závažnosť požiaru než jednotlivé opatrenia izolovane.

Na krajinnej úrovni je vhodné vytvárať mozaiku porastov a otvorených alebo menej horľavých prvkov, ktorá znižuje súvislosť paliva a súčasne rešpektuje ekologickú konektivitu. Priestorové plánovanie palivových pásov má väčší význam než ich mechanické rovnomerné rozmiestnenie; línie majú nadväzovať na cesty, lúky, vodné toky, skalné plochy alebo plánované obnovné zásahy. Optimalizačné práce ukazujú, že siete palivových pásov možno navrhovať spolu s obnovou krajiny tak, aby sa obmedzila duplicita zásahov a zlepšila ich funkčná nadväznosť (Aparício *et al.*, 2024).

Pri opatreniach sa musí súčasne chrániť ekologická funkcia lesa. Plošné odstránenie podrastu alebo mŕtveho dreva môže znížiť určitú zložku paliva, ale zároveň zhoršiť biotopové podmienky, poškodiť pôdu a znížiť retenciu organického materiálu. Európske hodnotenia preto odporúčajú kombinovať cieleň manažment paliva s druhovou a štruktúrnou adaptáciou, obnovou degradovaných plôch a krajinovou mozaikou, pričom konkrétny postup sa prispôsobuje typu lesa a historickému požiarnemu režimu (Keesstra *et al.*, 2024; European Environment Agency, 2025).

Pri líniových protipožiarnych opatreniach je vhodné rozlišovať pás s odstránenou alebo výrazne redukovanou horľavou vegetáciou a pás, v ktorom sa palivová kontinuita znižuje vhodne usporiadanou vegetáciou s priaznivejšími požiarnymi vlastnosťami. Funkcia pásu závisí od jeho šírky, orientácie voči dominantnému vetru a sklonu, typu okolitých palív, údržby a možnosti bezpečného zásahu. Ide preto o priestorový prvok stratégie manažmentu paliva, nie o univerzálnu bariéru, ktorá zastaví každý požiar (Aparício *et al.*, 2024; NATURE-DEMO, 2025l).

Šírka a poloha pásu nemôžu byť univerzálne. Rozhoduje sklon, dominantný vietor, očakávaná intenzita požiaru, typ paliva a cieľ ochrany. Pás na prudkom svahu nad objektom môže byť pri požiarnej konvekcii a vetre prekonaný, hoci rovnaká šírka na rovine pôsobí účinnejšie. Firebreak ani firestrip preto nie sú „zastavovacie línie“ s garantovaným účinkom; sú prvkom, ktorý znižuje dostupnosť paliva, vytvára priestor pre zásah a môže zmeniť dynamiku šírenia.

Vhodné je nadväzovať na existujúce prvky krajiny, t. j. cesty, vodné toky, skalné plochy, lúky alebo už riedke porasty, a nevytvárať nové línie bez funkčného dôvodu. Tak sa minimalizuje záber a údržba. Pri cestách je možné kombinovať bezpečný prejazd, protieróziu ochranu svahu a požiarnu funkciu okrajového pásu, avšak vegetácia nesmie znižovať viditeľnosť ani brániť zásahovej technike.

Výber drevín a rastlín s nižšou horľavosťou môže dopĺňať palivové pásy a okraje chránených objektov, ale samotný druhový názov nezaručuje nízke požiarne riziko. Rozhoduje obsah vlhkosti, podiel jemných mŕtvych častí, obsah prchavých látok, štruktúra koruny, hustota podrastu a spôsob údržby. Druhová zmena má preto význam najmä v kombinácii s kontrolou biomasy a priestorovej kontinuity paliva (European Environment Agency, 2025; NATURE-DEMO, 2025m).

Druh s priaznivými vlastnosťami môže pri zanedbanej údržbe vytvoriť hustý suchý podrast a stratiť očakávanú funkciu. Naopak, aj bežná drevina môže byť v riedkom, udržiavanom a vlhšom páse menej problematická než rovnaký druh v súvislom suchom poraste. Výber vegetácie sa preto spája s reguláciou hustoty, odstraňovaním suchého materiálu a udržiavaním medzier medzi jednotlivými palivovými vrstvami.

Kontrolovaná pastva je ďalším nástrojom na redukciju jemného paliva a vegetačnej biomasy spojenej s možným šírením požiaru (NATURE-DEMO, 2026a). V lesnom prostredí je použiteľná iba tam, kde je pastva zlučiteľná s obnovou lesa, ochranou pôdy a ďalšími funkciami. Nevhodná intenzita môže poškodiť semenáčky, zhutniť pôdu alebo vytvoriť erózne miesta. Pastva preto nie je „bezúdržbový“ spôsob čistenia, ale riadený režim s určeným zaťažením a obdobím.

Integrovaný prístup na rozhraní lesa a poľnohospodárskej krajiny môže spájať pastvu, nízkohorľavú vegetáciu, mozaikové využitie krajiny a ďalšie zásahy znižujúce kontinuitu paliva (NATURE-DEMO, 2026b). V kontakte lesa s poľnohospodárskou krajinou môže takáto mozaika vytvárať pásy s menšou kontinuitou paliva. Pre vnútro lesného porastu však treba

vyberať iba tie zložky konceptu, ktoré sú kompatibilné s lesníckym režimom a ochranou stanovišťa.

Mechanická redukcia hustoty porastu a predpísané spaľovanie patria medzi zásahy s najlepšie zdokumentovaným účinkom na následnú závažnosť požiaru, hoci veľká časť experimentálnych dôkazov pochádza zo severoamerických ihličnatých lesov. Brodie *et al.* (2024) preukázali nižšiu závažnosť požiaru po kombinácii preriedenia a spaľovania a metaanalýza Davis *et al.* (2024) potvrdila všeobecný prínos palivových zásahov, najmä keď sa znižuje povrchové aj korunové palivo. Prenos do európskych lesov však musí rešpektovať odlišný požiarový režim, legislatívu, pôdy a ciele ochrany (Keesstra *et al.*, 2024).

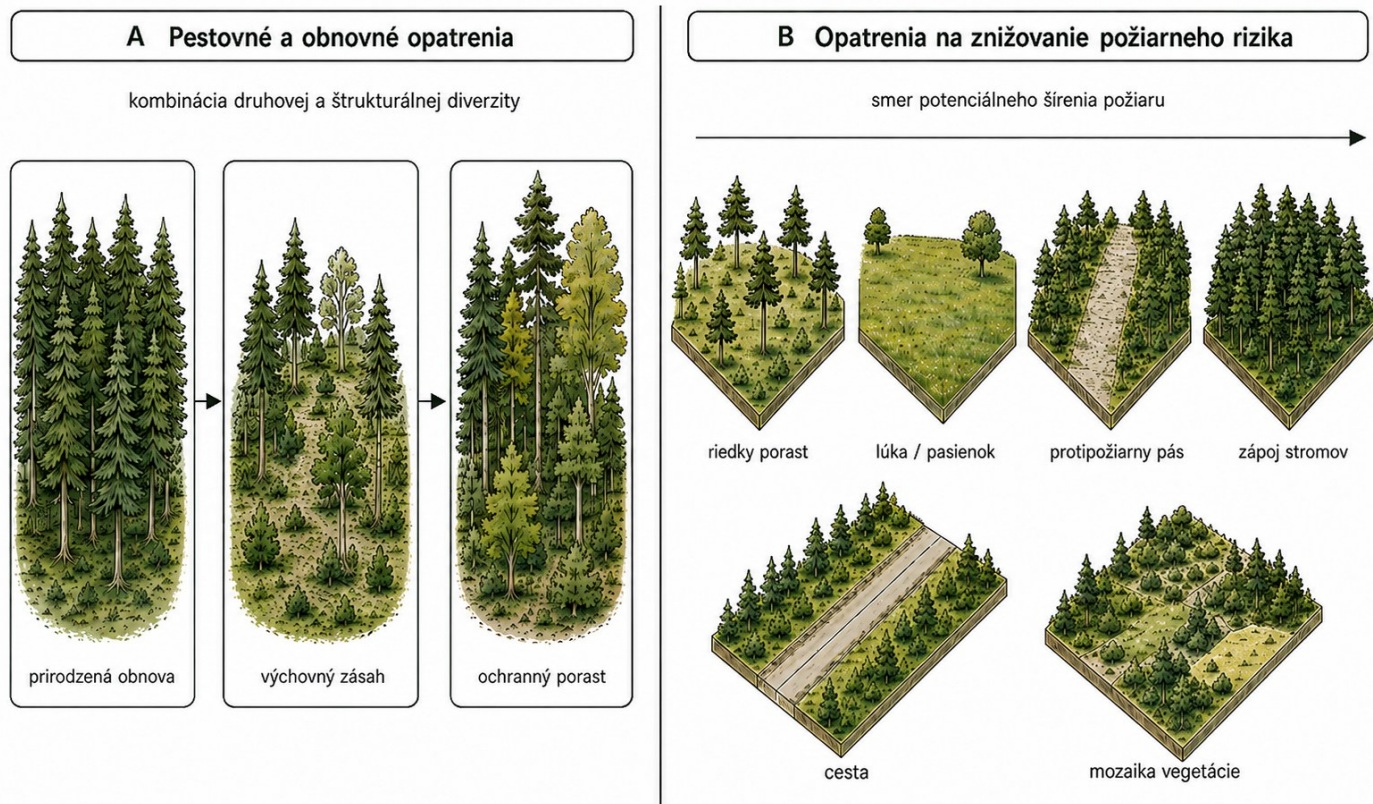
Predpísané spaľovanie nemožno zaradiť medzi rutinné opatrenia bez zohľadnenia právneho rámca, meteorologického okna, vlhkosti paliva, dymu, erózneho rizika a odbornej kapacity na bezpečné vedenie ohňa. V niektorých typoch lesa môže byť vhodnou súčasťou palivového manažmentu, inde môže byť ekologicky alebo prevádzkovo nevhodné. Typológia ho preto uvádza ako špecializovaný nástroj, ktorý sa posudzuje spolu s mechanickými zásahmi, pastvou, krajinovou mozaikou a obnovou porastovej štruktúry (Davis *et al.*, 2024; European Environment Agency, 2025).

Vzťahy medzi pestovnými a obnovnými opatreniami a priestorovým usporiadaním opatrení na znižovanie požiarneho rizika schematicky znázorňuje obrázok 4.5. Ich funkčné rozdiely sumarizuje tabuľka 4.6.

Tabuľka 4.6 Typy opatrení na znižovanie požiarneho rizika v lesnom prostredí

Opatrenie	Primárny mechanizmus	Vhodná úloha	Hlavné obmedzenie
palivové pásy a protipožiarne priesečky	prerušenie horizontálnej kontinuity paliva	strategické línie pri cestách, objektoch a hranách porastov	vyžadujú pravidelnú údržbu a nemajú garantovanú účinnosť pri extrémnom požiari
vegetačné protipožiarne pásy	pás s nižšou horľavosťou pri zachovaní krytu	kontaktné a ochranné zóny	horľavosť je dynamická a závisí od stavu a údržby
riadená pastva	odber jemnej bylinnej a krovinej biomasy	vybrané otvorené a silvopastorálne plochy	riziko poškodenia obnovy a pôdy pri nesprávnej intenzite
preried'ovanie + spracovanie zvyškov	zníženie korunovej a povrchovej kontinuity	porasty s vysokou hustotou a palivovými rebríkmi	samotné preried'ovanie môže zvýšiť povrchové palivo
predpísané spaľovanie	kontrolovaná redukcia povrchového paliva	iba vhodné lokality a podmienky	legislatívne, bezpečnostné, dymové a ekologické limity

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Davis *et al.* (2024), Brodie *et al.* (2024), Aparício *et al.* (2024), Keesstra *et al.* (2024), European Environment Agency (2025) a NATURE-DEMO (2025l, 2025m; 2026a, 2026b).



Obrázok 4.5 Vzťahy medzi pestovnými a obnovnými opatreniami a opatreniami na znižovanie požiarneho rizika.

Zdroj: Spracovanie v ChatGPT ver. 5.6 podľa vlastného zadania, vychádzajúc z prác Wessely et al. (2024), Pickering et al. (2025), Davis et al. (2024), European Environment Agency (2025) a vybraných technických listov (NATURE-DEMO, 2025h, 2025i, 2025k, 2025l, 2025m; 2026a, 2026b).

5. Návrh a technické riešenie prírode blízkych riešení

Typológia uvedená v predchádzajúcej kapitole odpovedá na otázku, aké skupiny prírode blízkych riešení možno v lesnom prostredí uplatniť. Návrhová fáza má inú úlohu: musí z typologicky vhodného riešenia vytvoriť technicky realizovateľný zásah viazaný na konkrétny proces, konkrétne miesto a definovaný cieľ. Za postačujúce preto nemožno považovať samotné pomenovanie opatrenia. Retenčný prvok, fašina, vegetačný pás, protierózna rohož alebo úprava porastovej štruktúry nadobúdajú odborný význam až po určení návrhových vstupov, funkčných požiadaviek, obmedzení, spôsobu realizácie a podmienok prevádzky.

Pri prírode blízkych riešeniach je návrh náročnejší tým, že časť funkcie zabezpečujú živé zložky a prírodné procesy. Ich vlastnosti sa v čase menia. Koreňový systém sa rozvíja, vegetačný kryt sa zapája, drevené prvky degradujú, sediment sa akumuluje a odtokové dráhy sa môžu po výraznej udalosti preskupiť. Návrh preto nemá opisovať iba stav bezprostredne po realizácii, ale aj prechodné fázy a predpokladaný životný cyklus. Bischetti *et al.* (2021) a Tardío a Mickovski (2016) pri bioinžinierskych konštrukciách upozorňujú práve na časovo premenlivé spolupôsobenie živých a inertných zložiek a na potrebu zahrnúť túto zmenu do technického posúdenia.

Základom zostáva bezpečnosť. Prírode blízky charakter nesmie byť dôvodom na znižovanie požiadaviek na stabilitu, hydraulickú priechodnosť, ochranu komunikácií alebo bezpečné správanie pri prekročení návrhových podmienok. Ak sa riziko týka kritickej infraštruktúry alebo následky poruchy môžu byť závažné, biologická alebo nízko-inžinierska zložka sa kombinuje s prvkom, ktorého únosnosť a spôsob poruchy možno spoľahlivo posúdiť. Takýto hybridný prístup je v súlade s odbornou literatúrou o pôdnom a vodnom bioinžinierstve, ktorá nekladie prírodné a technické riešenia do protikladu, ale pracuje s ich funkčne odôvodnenou kombináciou (Rauch *et al.*, 2022; Lann *et al.*, 2024).

Nasledujúce podkapitoly preto postupujú od kritérií výberu cez lokalizáciu a materiálové riešenie ku konštrukčným zásadám a technologickému postupu realizácie. Uvádzané princípy sú návrhovým rámcom pre lesné prostredie; nenahrádzajú projektovú dokumentáciu, hydraulický alebo geotechnický výpočet tam, kde je podľa charakteru zásahu potrebný.

5.1. Kritériá výberu vhodného riešenia

Výber vhodného riešenia začína formulovaním funkčnej požiadavky. Výraz „zvýšenie odolnosti“ je na úrovni technického návrhu príliš všeobecný. Potrebné je určiť, aká zmena sa má dosiahnuť: znížiť rýchlosť povrchového odtoku, obmedziť odnos pôdy, zachytiť sediment, stabilizovať päť svahu, prerušiť kontinuitu horľavého materiálu, zlepšiť podmienky obnovy porastu alebo kombinovať viac účinkov. Rovnaký typ riešenia môže byť vhodný pre jeden z týchto cieľov a nevhodný pre iný. Funkcia sa preto zapisuje spolu s merateľným alebo aspoň overiteľným prejavom očakávaného účinku.

Prvým filtrom sú vylučovacie kritériá. Patria sem podmienky, pri ktorých by zvolená technika nemohla bezpečne alebo dlhodobo fungovať: hlboká svahová nestabilita pri opatrení určenom iba na povrchovú eróziu, trvalé hydraulické namáhanie presahujúce schopnosť vegetačného prvku, nedostatok vody pre zakorenenie, nevhodný substrát, nemožnosť údržby alebo riziko, že porucha prvku ohrozí cestu či iný objekt. Odborné práce o bioinžinierskych zásahoch opakovane spájajú úspešnosť s geologickými, geotechnickými, hydrologickými a biologickými podmienkami miesta, nie s formálnym výberom techniky (Miele *et al.*, 2021; Keybondori *et al.*, 2025).

Druhým filtrom je primeranosť mierky. Prírode blízke riešenia bývajú účinné najmä vtedy, keď zasahujú proces v mieste jeho vzniku alebo počas jeho rozvoja. Pri veľkom povodňovom, zosuvnom alebo požiarom scenári však lokálny prvok nemôže byť hodnotený ako samostatná náhrada systémových opatrení. Rozsah zásahu sa preto porovnáva s rozsahom procesu, ktorý má ovplyvniť. Pri povodňovom riziku je významná plošná a priestorovo cieleňá kombinácia retenčných zásahov; pri požiari rozhoduje usporiadanie paliva a dostupnosť zásahových línii v krajinnom kontexte (Herath *et al.*, 2025; Aparício *et al.*, 2024).

Výber sa uzatvára až po posúdení technickej uskutočniteľnosti, ekologickej integrity, prístupnosti pre realizáciu a následnú správu, nákladov počas životného cyklu a zvyškového rizika. Globálny štandard IUCN pre prírode blízke riešenia zdôrazňuje väzbu riešenia na konkrétnu spoločenskú výzvu, biodiverzitu, ekonomickú realizovateľnosť, riadenie kompromisov a adaptívny manažment. V technickej praxi to znamená, že riešenie s vysokým ekologickým potenciálom nemožno uprednostniť, ak nie je možné bezpečne realizovať alebo udržiavať jeho základnú funkciu (IUCN, 2026).

Kritériá sa pri rozhodovaní nemajú miešať do jedného neurčitého „indexu vhodnosti“. Praktickejšie je oddeliť kritériá povinné, porovnávacie a optimalizačné. Povinné kritérium musí splniť každý variant; typicky ide o bezpečnosť, priestorové obmedzenia, právnu realizovateľnosť alebo minimálnu funkčnú kapacitu. Porovnávacie kritérium odlišuje varianty, ktoré sú technicky možné, napríklad zásah do pôdy, potreba materiálu alebo rozsah údržby. Optimalizačné kritérium pomáha vybrať medzi rovnocennými riešeniami podľa miestnych priorít, napríklad podľa podpory biodiverzity, uhlíkovej stopy alebo využitia lokálnych materiálov.

Pri hydrologických a protierózných opatreniach sa medzi povinné kritériá zaraďuje bezpečné prevedenie vody pri udalosti, ktorú prvok nemá zachytiť. Retenčný priestor bez definovaného prelivu alebo rozptýlenia nadbytočného odtoku môže pri prekročení kapacity vytvoriť sústredený prúd a zvýšiť škodu. Pri svahových opatreniach sa posudzuje hĺbka potenciálnej poruchy a poloha šmykovej plochy. Vegetačné spevnenie je relevantné pre povrchové a plytké mechanizmy. Pri hlbšej nestabilite musí byť súčasťou širšieho geotechnického riešenia (Lann *et al.*, 2024; Bischetti *et al.*, 2021).

Pri živých prvkoch sa posudzuje biologická realizovateľnosť rovnako prísne ako geometria. Druh musí byť schopný prežiť podmienky lokality, zakoreniť v dostupnom čase a vytvoriť

vlastnosť, ktorú návrh využíva. Pri výbách určených na bioinžinierske použitie sa medzi technicky relevantné znaky zaraďuje schopnosť zakorenenia z odrezkov, rozvoj koreňovej biomasy a tvorba nadzemných výhonkov. Rousset *et al.* (2025a) ukázali, že aj blízke druhy sa v týchto vlastnostiach líšia, preto druh nemožno voliť iba podľa dostupnosti materiálu.

Pri protipožiarnych opatreniach sa výber nesmie redukovať na „šírku pásu“. Najskôr sa určuje účel: podpora zásahu, zníženie intenzity požiaru, ochrana konkrétneho objektu, oddelenie palivových komplexov alebo vytvorenie nízkoohorľavej vegetačnej zóny. Potom sa posudzuje topografia, dominantné smery šírenia, správanie paliva, údržba a ekologické dopady. Výsledky priestorovej optimalizácie palivových pásov ukazujú, že poloha a nadväznosť siete môžu byť rovnako významné ako samotné lokálne parametre zásahu (Aparício *et al.*, 2024).

Pre porovnanie variantov je účelné viesť kritériá v jednej návrhovej matici. Takáto matica nepredstavuje automatický výpočet „najlepšieho“ prírode blízkeho riešenia, ale dokumentuje, prečo bol variant prijatý alebo vyradený. Základné skupiny kritérií sumarizuje tabuľka 5.1.

Tabuľka 5.1 Základné skupiny kritérií pri výbere prírode blízkeho opatrenia

Skupina kritérií	Otázka pri návrhu	Príklady overovaných znakov
Funkčné	Ovplyvní zásah mechanizmus, ktorý spôsobuje problém?	odtok, erózna energia, stabilita päty, kontinuita paliva, obnova vegetácie
Bezpečnostné	Aký je spôsob poruchy a čo nastane pri prekročení kapacity?	bezpečný preliv/obtok, stabilita, zaistenie výtoku, reziduálne riziko
Stanovištné	Zodpovedá riešenie reliéfu, pôde, vode a porastu?	sklon, substrát, vlhkostný režim, expozícia, dostupnosť živého materiálu
Ekologické	Zachová alebo posilní zásah ekologickú integritu?	biotopy, konektivita, pôvodné druhy, invázne riziká, zásah do toku/pôdy
Prevádzkové	Je možné riešenie zrealizovať a udržiavať?	prístup techniky, sezónnosť, servis, čistenie, obnova vegetácie
Životný cyklus	Ako sa funkcia a náklady zmenia v čase?	degradácia dreva, rast koreňov, zanášanie, obnova krytu, periodicita údržby

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Bischetti *et al.* (2021), IUCN (2026), Parkinson *et al.* (2025) a Rauch *et al.* (2022).

Pri použití matice treba zachovať hierarchiu. Bezpečnostný alebo funkčný nedostatok nemožno „vykompenzovať“ vysokým skóre biodiverzity. Bodové hodnotenie má význam až medzi variantmi, ktoré spĺňajú povinné podmienky. Rovnaké pravidlo platí pri ekonomike: nízka realizačná cena nie je výhodou, ak riešenie vyžaduje časté zásahy alebo má krátku funkčnú životnosť.

Osobitným kritériom je čas. Pri technických prvkoch sa zvyčajne predpokladá, že po realizácii dosiahnu projektovanú funkciu okamžite a postupne ju strácajú opotrebením. Pri bioinžinierskom prvku môže byť vývoj opačný: bezprostredne po realizácii je vegetačná zložka slabá a jej príspevok rastie až so zakorenением. Tardío a Mickovski (2016) preto navrhujú uvažovať

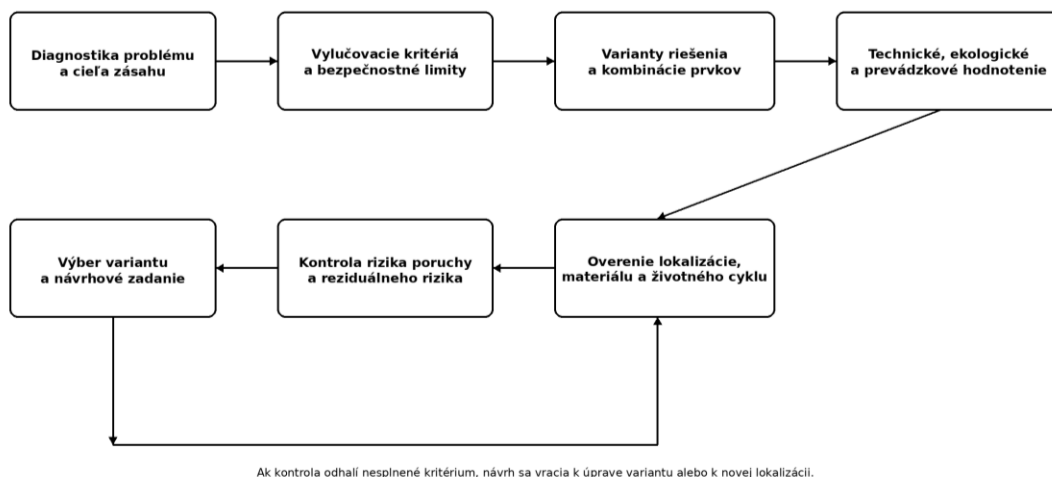
o meniacom sa podiele drevenej a koreňovej zložky počas životnosti. Kritické obdobie môže nastať v prechode, keď inertný prvok už degraduje, ale vegetácia ešte neprevzala očakávanú funkciu.

Toto časové kritérium mení aj spôsob výberu materiálu. Dočasná biodegradovateľná rohož je vhodná vtedy, ak sa predpokladá rýchle zapojenie vegetácie; na stanovišti s nízkou pravdepodobnosťou vzídenia môže rozpad ochrany predchádzať vytvoreniu biologickej funkcie. Podobne fašina potrebuje pri brehu dostatočnú ochranu päty v počiatočnej fáze. Leblois *et al.* (2025) pri terénnych a experimentálnych pozorovaniach identifikovali podomieľanie ako častý mechanizmus zlyhania fascín, čo potvrdzuje potrebu vyhodnotiť počiatočnú hydraulickú odolnosť nezávisle od neskoršieho rastu vegetácie.

Ďalším kritériom je robustnosť voči neistote. Presný budúci priebeh klímy, rast vegetácie ani frekvenciu extrémnych udalostí nemožno určiť bez neistoty. Prednosť preto majú riešenia, ktorých porucha nie je náhla a katastrofická, ktoré možno kontrolovať a opravovať a ktorých funkciu možno adaptívne zosilniť. Pri lesných cestách je napríklad výhodné decentralizovať odvodnenie a skracovať úseky sústredeného odtoku, pretože porucha jedného výtoku potom nezaťažuje celý systém (Pohle a Jaeger, 2025; 2026).

Rozhodnutie má zároveň rešpektovať kompromisy. Zvýšenie retencie vody môže na nevhodnom mieste zvýšiť nasýtenie svahu; ponechanie vegetácie môže podporiť biodiverzitu, ale v určitom požiarnom scenári aj kontinuitu paliva; hustý brehový porast môže stabilizovať breh, ale meniť hydraulický profil. Návrh preto nehodnotí opatrenie izolovane, ale vo vzťahu k funkciám a rizikám, ktoré sa jeho realizáciou menia.

Praktický postup výberu je vhodné viesť iteratívne. Po diagnostike sa najprv uplatnia vylučovacie kritériá, následne sa vytvoria varianty a až potom sa podrobnejšie porovnávajú ich technické, ekologické a prevádzkové vlastnosti. Ak sa pri overení lokality alebo životného cyklu ukáže nesplnené kritérium, návrh sa vracia k úprave variantu. Túto logiku znázorňuje obrázok 5.1.



Obrázok 5.1 Výber prírode blízkeho opatrenia ako iteratívny návrhový proces. Zdroj: vlastné spracovanie podľa IUCN (2026), Bischetti *et al.* (2021) a Parkinson *et al.* (2025).

Takéto usporiadanie je dôležité najmä pri hybridných opatreniach. Kombinácia vegetácie, dreva, kameňa a drobných zemných úprav môže vytvoriť viac variantov s podobným cieľom. Rozhodnutie sa potom opiera o odlišný spôsob prenosu zaťaženia, nároky na údržbu a mieru zásahu do prostredia, nie o vizuálnu podobnosť opatrení.

Výstupom výberu nemá byť iba názov riešenia / opatrenia, ale stručné návrhové zadanie. Musí byť dostatočne presné na to, aby v ďalšom kroku bolo možné preveriť lokalizáciu, materiál a rozmery bez opakovaného vracania sa k základnej otázke, čo má zásah dosiahnuť. Minimálny obsah takéhoto zadania sumarizuje tabuľka 5.2.

Tabuľka 5.2 Minimálny obsah návrhového zadania pre ďalšie technické rozpracovanie

Položka	Obsah návrhového zadania
Identifikovaný problém	proces, rozsah, časová dynamika a dokumentovaný východiskový stav
Primárna funkcia	jedna hlavná funkcia, voči ktorej sa bude posudzovať úspešnosť
Sekundárne funkcie	žiaduce vedľajšie prínosy a prípustné kompromisy
Návrhové podmienky	hydrologické, geotechnické, biologické a prevádzkové vstupy
Vylučovacie podmienky	stavy, pri ktorých sa zvolený typ riešenia nesmie použiť bez doplnenia
Očakávaný spôsob poruchy	scenár prekročenia funkcie a požadované bezpečné správanie
Kontrolný ukazovateľ	parameter alebo pozorovanie, podľa ktorého sa overí účinok

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Návrhové zadanie vytvára hranicu medzi typológiou a technickým riešením. Ak niektorý z uvedených bodov nie je možné vyplniť, chýba podklad pre ďalšie dimenzovanie. V praxi je výhodnejšie vrátiť sa k terénnemu prieskumu alebo k analýze rizika, než technicky rozpracovať opatrenie na základe nejasej funkčnej požiadavky.

5.2. Zásady lokalizácie opatrení

Lokalizácia určuje, či technicky správne opatrenie zasiahne proces v mieste, kde môže byť účinné. V lesnom prostredí sa preto nevychádza iba z dostupnosti plochy alebo z bezproblémového prístupu techniky. Rozhodujúca je priestorová väzba medzi zdrojom problému, transportnou dráhou a chráneným prvkom. Pri erózii môže byť zdrojom odkrytá plocha, dráhou koľaj alebo priekopa a receptorom vodný tok či cestné teleso. Pri požiari je zdrojom palivový komplex a potenciálne iniciačné miesta, dráhou priestorové šírenie a receptorom porast, infraštruktúra alebo územie s vysokou hodnotou.

Najvyššiu prioritu má zásah pri zdroji, ak je proces možné ovplyvniť bez vytvárania nového rizika. Ochrana pôdneho povrchu, skrátenie dĺžky sústreďeného odtoku alebo úprava palivovej kontinuity znižujú zaťaženie celého nižšie položeného systému. Zásah na transportnej dráhe je vhodný, keď už proces vznikol, ale možno znížiť jeho energiu alebo zmeniť smer. Ochrana pri receptore je poslednou líniou a musí byť navrhnutá na zaťaženie, ktoré po účinku predchádzajúcich opatrení zostáva.

Takéto členenie zabraňuje častej chybe, keď sa malý retenčný alebo protierózny prvok umiestni tesne pri chránenom objekte, hoci hlavný objem vody a sedimentu vzniká vyššie v povodí. Pri lesných cestách obdobne nestačí dimenzovať jeden priepust, ak pozdĺžna priekopa sústreďuje vodu z dlhého úseku. Pohle a Jaeger (2025) pri porovnaní medzinárodných odporúčaní pre lesné cesty poukazujú na význam decentralizovaného odvodnenia a obmedzovania sústredeného odtoku ako súčasti adaptácie na intenzívnejšie zrážky.

Lokalizácia sa vždy overuje v teréne. Digitálny model reliéfu, ortofotomapa a hydrologická analýza sú výborným filtrom, ale nedokážu spoľahlivo zachytiť zanesenú priekopu, lokálne zhutnenie, koreňový vývrat, podzemný výver alebo čerstvú eróznú dráhu. Konečné miesto sa preto vytyčuje až po prepojení priestorovej analýzy s terénnym pozorovaním a s informáciou o prevádzke územia.

Pri vodohospodárskych opatreniach sa najprv určuje, kde sa voda generuje a kde sa koncentruje. Depresia v reliéfe nemusí byť automaticky vhodným miestom na retenciu: môže ísť o trvalo zamokrenú plochu, aktívnu transportnú dráhu alebo miesto s nestabilným podložím. Retenčný priestor musí mať definovaný prítok, bezpečný odtok pri naplnení a dostatočnú vzdialenosť od objektu, ktorý by mohla ohroziť porucha hrádzky alebo preliatie. Pri plošných opatreniach sa naopak hľadajú úseky, kde možno odtok rozptýliť ešte pred vytvorením eróznej koncentrácie.

Pri zalesňovaní alebo úprave porastovej štruktúry sa lokalizácia nesmie odvodzovať iba z voľnej plochy. El Garroussi *et al.* (2026) pri celoeurópskej modelovej analýze ukázali, že hydrologický prínos zalesnenia závisí od priestorového zacielenia a že nevhodná lokalizácia môže zvýšiť straty vody evapotranspiráciou. Pre technický návrh z toho vyplýva, že opatrenie ovplyvňujúce vodný režim treba hodnotiť v kontexte celého svahu alebo malého povodia, nie iba na úrovni jednotlivého pozemku.

Brehové a filtračné pásy sa lokalizujú podľa skutočnej konektivity sedimentu k toku. Hasselquist *et al.* (2024) poukazujú na to, že účinnosť ripariálneho pásma nemožno vysvetliť iba jeho nominálnou šírkou; význam má topografia, vetrové poškodenie, prítomnosť transportných dráh a kontinuita porastu. Úzky, ale súvislý pás v mieste plošného prítoku môže fungovať lepšie než širší pás prerušený cestou alebo ryhou, ktorá odvádza sediment priamo do koryta.

V miestach sústredeného odtoku je vhodné posúdiť aj možné presmerovanie vody pri extrémnej udalosti. Opatrenie nesmie vytvoriť nový tok smerujúci k ceste, budove alebo na nestabilný svah. Terénna lokalizácia preto zahŕňa sledovanie potenciálnej dráhy vody po prekročení kapacity, nie iba polohy za bežného režimu.

Pri svahových a bioinžinierskych opatreniach sa poloha odvodzuje od mechanizmu nestability. Vegetácia môže zvýšiť povrchovú drsnosť, redukovať eróziu, meniť hydrologický režim pôdy a koreňmi prispievať k mechanickému spevneniu, účinok však závisí od polohy koreňovej zóny voči potenciálnej šmykovej ploche (Lann *et al.*, 2024). Ak je porucha hlboká,

lokálne zakorenenie povrchu nemusí ovplyvniť rozhodujúci mechanizmus. Preto sa bioinžiniersky prvok lokalizuje až po rozlíšení povrchovej erózie, plytkého zosuvu a hlbšej geotechnickej nestability.

Na brehu vodného toku má kritický význam päta. Fašina osadená vyššie na svahu môže obmedziť povrchovú eróziu, ale nezastaví podomieľanie. Experimentálne a terénne výsledky ukazujú, že podomieľanie pod bioinžinierskym prvkom patrí medzi dominantné mechanizmy jeho zlyhania (Recking *et al.*, 2019; Leblois *et al.*, 2025). Lokalizácia preto musí rešpektovať hydraulicky najnamáhanejšiu časť profilu a v meandroch aj rozdiel medzi vnútornou a vonkajšou stranou oblúka.

Pri navrhovaní opatrení na horských tokoch je vhodné vychádzať aj z pozorovania prirodzených úsekov s podobnými hydrologickými a geomorfologickými podmienkami, ktoré si dlhodobo zachovávajú stabilitu koryta. Ich usporiadanie môže slúžiť ako podklad pri návrhu kamenných a drevených stabilizačných prvkov.

Rousset *et al.* (2025b) pri biogeomorfologickom hodnotení alpských brehov ukázali význam kombinácie hrubých častíc a lokálnej drevinovej vegetácie v stabilných brehových štruktúrach. Takýto prístup neznamena kopírovanie prírodného tvaru, ale identifikáciu procesov a materiálových kombinácií, ktoré sa na porovnateľnom stanovišti dlhodobo udržali.

Na svahu sa zároveň posudzuje prístupnosť pre realizáciu. Prílišná snaha dostať mechanizáciu k lokalite môže vyvolať väčšie narušenie než samotné opatrenie. Ak je možné použiť ľahšiu techniku, ručnú realizáciu alebo materiál získaný priamo na mieste, znižuje sa potreba dočasných prístupových trás a s nimi spojené riziko zhutnenia a erózie.

Lesné cesty a približovacie linky predstavujú osobitný lokalizačný problém, pretože sú súčasne zdrojom, transportnou dráhou aj chráneným objektom. Voda z horného svahu sa zachytí na záreze, priekopa ju vedie pozdĺžne a následne ju treba bezpečne odviesť cez alebo mimo cestné teleso. Kľúčovým pravidlom je skrátiť dĺžku úseku, v ktorom sa prietok akumuluje, a výtok umiestniť na plochu schopnú vodu rozptýliť bez tvorby novej eróznej ryhy (Pohle a Jaeger, 2025).

Pri výbere miesta priečného odvodnenia sa zohľadňuje pozdĺžny sklon, prítok z horného svahu, povrch cesty, stabilita násypu a cieľová plocha pod výtokom. Pravidelné geometrické rozstupy bez väzby na reliéf sú nevhodné. Lokálny zlom sklonu, prirodzená depresia alebo prítok zo svahu môže vyžadovať kratší interval, zatiaľ čo na stabilnom miernom úseku môže byť rozhodujúca skôr ochrana výtoku než počet prvkov.

Novšie expertízne hodnotenie adaptácie lesných ciest na klimatickú zmenu potvrdzuje posun od centralizovaného odvádzania vody k väčšiemu počtu menších výtokov, rozptyľovaniu odtoku a kombinácii tradičnej cestnej techniky s opatreniami zvyšujúcimi infiltráciu v okolí komunikácie (Pohle a Jaeger, 2026). Tento princíp je kompatibilný s prírodou blízky prístupom, pokiaľ sa nerozptyľuje voda na nestabilné alebo ekologicky citlivé miesto.

Pri križovaní toku sa lokalizácia priepustu alebo brodu viaže na prirodzenú trasu koryta a na požiadavku zachovať hydraulickú a podľa možností aj ekologickú kontinuitu. Presúvanie toku do nevhodného uhla kvôli jednoduchšej trase cesty zvyšuje dĺžku opevnenia a riziko erózie na vtokovej a výtokovej strane.

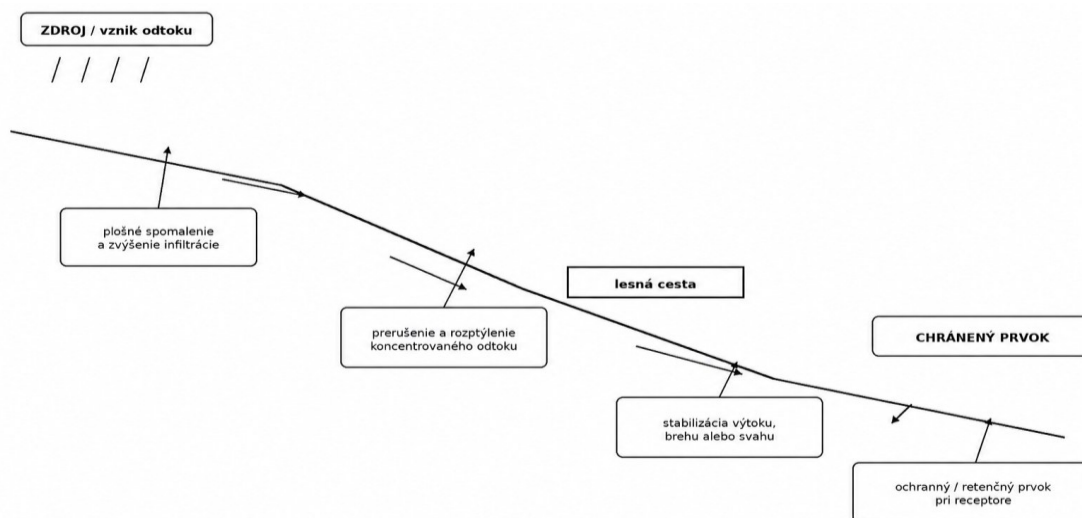
Pri protipožiarnych opatreniach sa lokalizácia posudzuje na úrovni porastu aj krajiny. Pás so zníženým množstvom paliva má význam najmä vtedy, keď je umiestnený na pravdepodobnej dráhe šírenia, nadväzuje na existujúce cesty, bezpalivové plochy alebo vodné prvky a je dostupný pre zásah. Samostatný izolovaný pás v mieste, ktoré požiar obchádza, neposkytuje očakávaný systémový účinok.

Aparício *et al.* (2024) pri optimalizácii palivových pásov ukazujú význam priestorového zosúladenia znižovania požiarneho rizika s obnovou lesnej krajiny. Lokalizácia môže súčasne zlepšiť zásahovú dostupnosť, obnovu porastovej štruktúry a prerušenie palivovej kontinuity. Takéto spolupôsobenie je vhodnejšie než vytvárať paralelné siete opatrení pre každý cieľ osobitne.

Zelené protipožiarné pásy založené na vegetácii s nižšou horľavosťou predstavujú špecifický variant. Marshall *et al.* (2024) ukázali, že pri vhodnom usporiadaní môžu priniesť prínosy pre biodiverzitu a sekvestráciu uhlíka bez automatického zvýšenia požiarneho rizika. Ich lokalizácia však musí vychádzať z modelovaného alebo odborne odhadnutého správania požiaru a z dlhodobej schopnosti udržiavať stav založený na nízkom množstve paliva. Bez údržby môže pôvodne priaznivá vegetačná zóna vytvoriť nový súvislý palivový komplex.

Pri ochrane infraštruktúry je vhodné uvažovať v zónach: bezprostredná zóna musí minimalizovať prenos plameňa a sálania na objekt, širšia zóna znižuje intenzitu a podporuje zásah a krajinná zóna ovplyvňuje pravdepodobný prístup frontu požiaru. Presné rozmery sa určujú podľa lokálnych podmienok; pevná univerzálna šírka bez väzby na palivo, sklon a vietor nie je technicky obhájiteľná.

Priestorovú logiku lokalizácie možno zjednodušene vyjadriť väzbou zdroj – transportná dráha – chránený prvok. Obrázok 5.2 ukazuje, že opatrenia možno umiestniť na viacerých miestach reťazca a ich kombinácia má spravidla väčšiu robustnosť než jediný koncový prvok.



Obrázok 5.2 Lokalizácia opatrení podľa väzby zdroj – transportná dráha – chránený prvok. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Pohleho a Jaegera (2025), Herath et al. (2025) a Hasselquist et al. (2024).

Konečné vytýčenie sa dokumentuje súradnicami, väzbou na stabilné terénne body, fotodokumentáciou a stručným zdôvodnením polohy. Ak sa počas realizácie miesto zmení pre neočakávanú terénnu prekážku, zmena sa nesmie chápať ako drobná stavebná odchýlka bez posúdenia. Pri prírode blízkyh opatreniach môže posun o niekoľko metrov znamenať prechod do inej odtokovej dráhy alebo do odlišného pôdneho a vlhkostného režimu.

Lokalizačné rozhodnutie sa preto uzatvára až po kontrole, že miesto je funkčne relevantné, realizovateľné, bezpečné pri prekročení návrhových podmienok a prístupné pre následnú kontrolu. Tieto zásady sa prenášajú do výberu materiálu a do konštrukčného riešenia v ďalších podkapitolách.

5.3. Materiálové riešenie

Materiál prírode blízkeho riešenia sa volí podľa funkcie, životnosti a podmienok prostredia. Použitie dreva, kameňa alebo vegetácie samo osebe neurčuje prírode blízky charakter riešenia. Podstatné je, akú úlohu materiál plní, ako sa jeho vlastnosti menia a či jeho získanie, doprava, zabudovanie a údržba nenarúšajú ekologický cieľ. Pri hybridných prvkoch treba osobitne sledovať kompatibilitu materiálov a prechod funkcie medzi nimi.

Z praktického hľadiska možno rozlišovať živé materiály, biodegradovateľné pomocné materiály, drevo, kameň a zeminu a nevyhnutné technické spojovacie alebo kotviace prvky. Každá skupina má inú časovú logiku. Živý materiál potrebuje obdobie na rozvoj, drevo začína s vysokou mechanickou funkciou a postupne degraduje, kameň zostáva relatívne stabilný a biodegradovateľná sieť má ochrannú funkciu iba dočasne. Návrh musí zabezpečiť, aby sa pokles jednej zložky neobjavil skôr, než funkciu prevezme iná.

Lokálny pôvod materiálu môže znižovať dopravu a uľahčiť údržbu, nie je však absolútnym kritériom. Miestne drevo nevhodného priemeru alebo s výraznou hnilobou nemožno použiť na prvok, ktorý má počas počiatočnej fázy prenášať mechanické zaťaženie. Podobne lokálny kameň s nevhodnou odolnosťou alebo tvarom nemusí vytvoriť stabilnú konštrukciu. Materiálová vhodnosť má prednosť pred symbolickým používaním „prírodného“ materiálu.

Pri environmentálnom hodnotení materiálov je vhodné uvažovať celý životný cyklus. Parkinson *et al.* (2025) pri ekologicky orientovanom inžinierskom navrhovaní infraštruktúry zdôrazňujú potrebu prepájať materiálové rozhodnutia s údržbou, ekologickým výkonom a dlhodobou udržateľnosťou. V lesnom prostredí sa tento princíp prejavuje najmä minimalizáciou ťažkej dopravy, využívaním obnoviteľných alebo opätovne použiteľných materiálov tam, kde sú technicky vhodné, a obmedzením prvkov, ktorých odstránenie by po skončení životnosti vyžadovalo nový zásah do územia.

Živý rastlinný materiál je konštrukčným prvkom iba vtedy, keď sú jeho biologické vlastnosti súčasťou návrhu. Pri odrezkoch a prútoch sa sleduje druh, pôvod, zdravotný stav, vek alebo hrúbka použiteľnej časti, fenologická fáza, čas medzi odberom a osadením a schopnosť udržať vitalitu počas manipulácie. Rauch *et al.* (2022) zdôrazňujú, že správny výber druhu, odber, skladovanie a implementácia rastlín sú zásadné pre ekologickú aj technickú úspešnosť pôdneho a vodného bioinžinierstva.

Druh sa vyberá podľa stanovišťa a požadovanej funkcie, nie podľa tradičného zoznamu „bioinžinierskych drevín“. Vlhkostné pomery, nadmorská výška, dĺžka vegetačného obdobia, periodicita zaplavovania, zatienenie a zrnitostné zloženie substrátu určujú, či rastlina prežije. Rousset *et al.* (2025a) pri subalpínskych vrbach preukázali rozdiely medzi druhmi v tvorbe koreňovej a nadzemnej biomasy, čo priamo súvisí s ich vhodnosťou pre rôzne funkcie brehovej ochrany.

Pri výbere sa uprednostňuje lokálne vhodný a ekologicky kompatibilný materiál. Použitie nepôvodného alebo invázneho druhu môže síce krátkodobo zabezpečiť rýchly kryt, ale vytvoriť dlhodobý problém. Rovnako nevhodné je prenášať rastlinný materiál z lokality s odlišnými ekologickými podmienkami bez posúdenia jeho adaptácie. Pri chránených územiach alebo cenných biotopoch sa pôvod materiálu koordinuje s požiadavkami ochrany prírody.

Rastlinný materiál sa počas skladovania chráni pred vyschnutím a prehrievaním. Pri živých odrezkoch je kritický kontakt s vlhkou pôdou po osadení. Čas realizácie sa preto viaže na fenológiu a na predpokladané podmienky zakorenenia; technický harmonogram stavby sa prispôbuje biologickému oknu, nie naopak. Ak to nie je možné, volí sa iná technika alebo sa dočasná mechanická funkcia navrhne na dlhšie obdobie.

Drevo sa v prírode blízkych opatreniach uplatňuje ako priečna bariéra, zrubový prvok, kotvenie, výstuž alebo pomocná konštrukcia. Jeho výhodou je dobrá spracovateľnosť, relatívne nízka hmotnosť a možnosť lokálneho získania. Nevýhodou je biologická degradácia, ktorej

rýchlosť závisí od dreviny, vlhkosti, kontaktu so zeminou, striedania mokrého a suchého stavu a konštrukčného detailu.

Pri návrhu sa preto nepoužíva predpoklad konštantnej únosnosti počas celej životnosti. Tardío a Mickovski (2016) opisujú drevenú zložku ako prvok s postupne klesajúcim účinným prierezom, zatiaľ čo koreňová zložka môže svoju funkciu zvyšovať. Ak je drevo jediným prvkom zabezpečujúcim stabilitu, musí byť životnosť riešená ako pri bežnej drevenej konštrukcii. Ak má byť dočasnou oporou vegetácie, rozhodujúce je prekrytie časových intervalov funkcie.

Konštrukčné drevo sa kontroluje na hnilobu, trhliny, mechanické poškodenie a rozmery potrebné na spoj. Pri prvkoch v kontakte s tokom alebo sedimentom sa počíta aj s obrusom, nárazom unášaného materiálu a s možnosťou vyplavenia. Umiestnenie a kotvenie sa navrhuje tak, aby uvoľnený prvok nevytvoril sekundárne nebezpečenstvo v priepuste alebo pri infraštruktúre.

Chemická ochrana dreva sa pri ekologicky citlivých vodných a lesných lokalitách neposudzuje automaticky ako výhoda. Ak by použitie impregnačnej látky zvyšovalo environmentálne riziko, môže byť vhodnejšie navrhnúť neošetrené drevo s vedome obmedzenou životnosťou a s plánovaným prechodom funkcie na vegetáciu. Takéto rozhodnutie však musí byť explicitné v dokumentácii, aby degradácia nebola neskôr mylne považovaná za neočakávanú poruchu.

Kameň a minerálne materiály poskytujú okamžitú mechanickú stabilitu a vysokú odolnosť voči biologickej degradácii. V bioinžinierskych kombináciách sa využívajú najmä na ochranu päty, výtokov, prelivov a miest s koncentrovaným hydraulickým namáhaním. Ich funkcia však závisí od zrnitosti, tvaru, vzájomného zakliesnenia, filtračnej vrstvy a založenia. Náhodná vrstva kameňa bez riešenia podložia môže byť odplavená alebo môže urýchliť lokálnu eróziu na svojom konci.

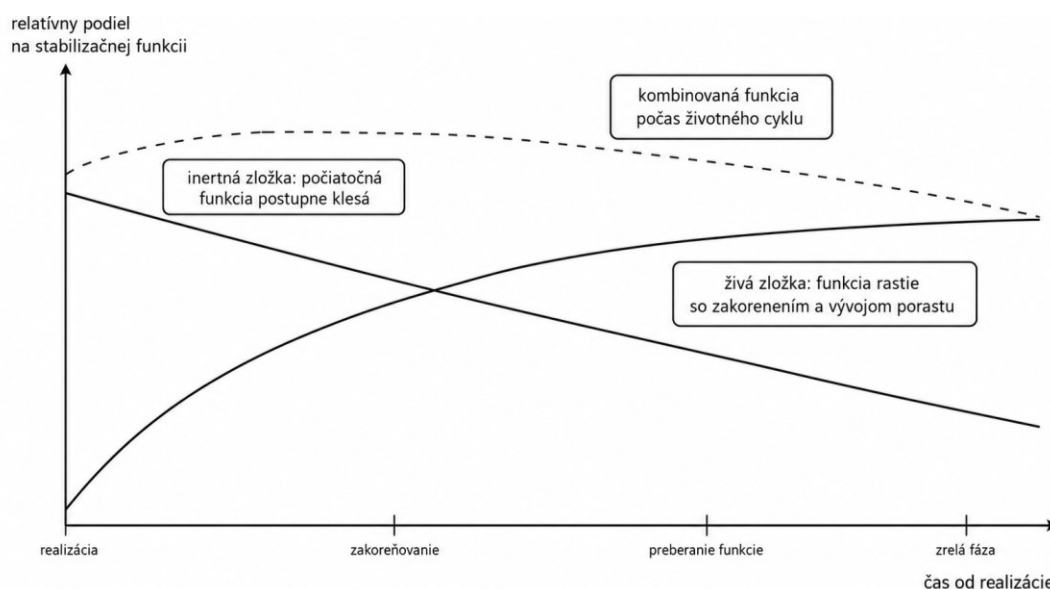
Pri horských tokoch je vhodné materiálovo nadväzovať na prirodzenú štruktúru koryta a brehu, ak je stabilná a dostupná ako referenčný vzor. Rousset *et al.* (2025b) ukazujú, že prirodzená kombinácia hrubých častíc a drevinovej vegetácie môže poskytovať užitočný návrhový model. To neznamena, že veľkosť kameňa možno prevziať vizuálne; pri technickej ochrane päty sa musí posúdiť hydraulické zaťaženie a riziko podomieľania.

Biodegradovateľné siete, rohože a mulče majú predovšetkým dočasnú ochrannú funkciu. Obmedzujú priamy účinok dažďa, znižujú odnos častíc a vytvárajú mikroprostredie pre klíčenie. Musia ležať v kontakte s povrchom a byť ukotvené tak, aby pod nimi nevznikali sústredené prúdy. Ich rozpad je výhodou iba vtedy, keď vegetácia prevezme ochrannú funkciu včas. Pri návrhu sa preto spája životnosť materiálu s očakávanou rýchlosťou zapojenia krytu (NATURE-DEMO, 2025a).

Zemina použitá na zásypy a terasy musí byť kompatibilná s vegetáciou aj s mechanickou funkciou. Príliš jemný materiál môže byť erózne citlivý, veľmi hrubý alebo kamenitý substrát môže obmedziť kontakt živých odrezkov s vlhkou pôdou. Ak sa používa zemina z výkopu, jej

vhodnosť sa posúdi pred zabudovaním; presun kontaminovaného alebo inváznymi rastlinami zasiahnutého materiálu je neprípustný.

Materiály sa v jednom opatrení kombinujú podľa toho, ktorú fázu funkcie majú zabezpečiť. Kameň môže chrániť pätu pred počiatočným hydraulickým namáhaním, drevo vytvoriť priestorovú konštrukciu a vegetácia postupne spevniť povrch a zeminu koreňmi. Časový vývoj takéhoto spolupôsobenia schematicky znázorňuje obrázok 5.3.



Obrázok 5.3 Časový vývoj funkcie hybridného bioinžinierskeho prvku. Schéma je konceptná, nejde o kvantitatívnu krivku únosnosti. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Tardía a Mickovského (2016) a Bischetti et al. (2021).

Kľúčová je kompatibilita kontaktov. Medzi kameňom a jemnou zeminou môže byť potrebná filtračná vrstva; medzi dreveným prvkom a svahom musí byť kontakt bez dutín, v ktorých by sa sústreďovala voda; živý materiál musí mať dostatočnú časť v pôde a nesmie byť oddelený nepriepustnou vrstvou od vlhkostného zdroja. V návrhu sa preto detail kontaktu materiálov považuje za rovnako významný ako ich samotné rozmery.

Pre systematickú voľbu materiálu je vhodné porovnať nielen počiatočnú mechanickú funkciu, ale aj časový vývoj, ekologické obmedzenia a nároky na kontrolu. Základné rozdiely sumarizuje tabuľka 5.3.

Tabuľka 5.3 Materiálové skupiny a ich úloha v prírode blízkyh opatreniach

Materiálová skupina	Typická úloha	Časový vývoj	Kritické návrhové otázky
Živý rastlinný materiál	spevnenie koreňmi, kryt, drsnosť, obnova počiatočná opora, bariéra, zrubová konštrukcia	funkcia rastie; závisí od ujatia a rastu mechanická funkcia spravidla klesá degradáciou	druh, vitalita, fenológia, voda, kontakt so substrátom drevina, prierez, kontakt so zeminou, kotvenie, sekundárne riziko
Drevo			

Kameň / štrk	ochrana päty, výtoku, filtračná a stabilizačná funkcia	relatívne stabilný, môže sa premiestniť hydraulickým zaťažením	veľkosť, tvar, založenie, filtračná vrstva, lokálna erózia
Biodegradovateľná sieť / mulč	dočasná protierózna ochrana	funkcia klesá rozpadom mení sa	čas do zapojenia vegetácie, kotvenie, kontakt s pôdou
Zemina / miestny substrát	výplň, tvarovanie, médium pre korene	konsolidáciou, eróziou a biologickým vývojom	zrnitostné zloženie, erodovateľnosť, zhutnenie, kontaminácia

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Rauch et al. (2022), Tardía a Mickovského (2016), Lanna et al. (2024) a NATURE-DEMO (2025a, 2025b, 2025c).

Materiálové riešenie sa uzatvára kontrolou dostupnosti, nahraditeľnosti a vstupnej kvality. Pri živom materiáli sa overuje druh, vitalita a poškodenie, pri dreve rozmery a stav, pri kameni veľkosť a tvar a pri rohožiach neporušenosť a typ materiálu. Náhrada, ktorá mení rozhodujúcu funkčnú vlastnosť, sa neposudzuje ako bežná zámennosť materiálu, ale ako zmena návrhu. Živé a biodegradovateľné materiály sa zároveň skladujú tak, aby pred zabudovaním nestratili vlastnosti, od ktorých závisí ich funkcia.

5.4. Konštrukčné a rozmerové zásady

Rozmer prírode blízkeho riešenia sa odvodzuje od funkcie a zaťaženia, nie z univerzálnej tabuľky rozmerov. Rovnaká fašina, priečna bariéra alebo retenčná depresia môže byť v jednom mieste primeraná a o niekoľko desiatok metrov ďalej nedostatočná. Návrh preto začína určením rozhodujúceho mechanizmu: hydraulické zaťaženie, erózna energia, tlak zeminy, plytká nestabilita, mechanické namáhanie dopravou alebo očakávané správanie požiaru.

Pri konštrukčnom návrhu sa rozlišuje normálny prevádzkový stav, návrhová udalosť a stav prekročenia. Prírode blízky prvok nemusí pri extrémnej udalosti zachovať plnú funkciu, musí však zlyhať predvídateľne a bez neprimeraného zvýšenia následkov. Retenčný prvok má mať bezpečný preliv, priečna bariéra nesmie pri poškodení vytvoriť sústredený prúd na nestabilný svah a drevený prvok v toku nesmie po uvoľnení bez kontroly ohroziť priepust nižšie po prúde.

Bischetti *et al.* (2021) pri bioinžinierskych štruktúrach odlišujú tradičné inžinierske posúdenie stability od časového vývoja vegetácie a inertných prvkov. V praxi to znamená, že počiatočná fáza sa musí overiť samostatne. Nie je prípustné počítať s budúcou koreňovou výstužou v období, keď korene ešte nemajú požadovaný rozsah. Naopak, v dlhodobej fáze treba preveriť, či degradácia dreva nezníži stabilitu pod prípustnú úroveň.

Konštrukčný detail má minimalizovať koncentráciu vody. Medzery pod bariérou, nevhodne ukončená rohož, dutina za zrubovým prvkom alebo ostrý prechod na konci kamenného opevnenia

môžu vytvoriť lokálne erózne maximum. Veľa porúch preto nevzniká z nedostatočného „hlavného rozmeru“, ale z detailu založenia, kontaktu a výtoku.

Hydrologické dimenzovanie vychádza z veľkosti prispievajúcej plochy, sklonu, infiltrácie, druhu povrchu a charakteru zrážkového impulzu. Pri malých lesných povodiach môže byť reakcia veľmi rýchla a krátkodobá. Návrh má preto rozlišovať celkový objem vody a špičkový prietok. Riešenie určené na dočasnú retenciu potrebuje objem; výtok alebo preliv potrebuje hydraulickú kapacitu. Jeden parameter nemôže nahradiť druhý.

V prípade sústavy menších prvkov sa posudzuje ich kumulatívne správanie. Horná bariéra môže zadržať sediment a znížiť zaťaženie nižšej, ale pri preliatí môže koncentrovať prúd. Rozstup sa preto viaže na pozdĺžny profil a na to, aký spád má zostať medzi prvkami. Martínez Hontecillas *et al.* (2024) pri dlhodobom hodnotení malých kamenných prehrádzok ukazujú, že účinok sa prejavuje súčasne v morfológii koryta, vegetácii a pôdných vlastnostiach; technická funkcia preto nie je iba okamžitým zachytením sedimentu.

Pri retenčných terénnych depresiách a jazierkach sa okrem objemu rieši stabilita hrádzky alebo okraja, filtrácia, bezpečný preliv a možnosť zanášania. Sediment znižuje účinný objem, preto sa už pri návrhu určuje, či bude možné jeho odstránenie. Ak je prvok v blízkosti cesty, preliv sa nesmie orientovať na násyp ani do erózne citlivej priekopy. Súhrn technických princípov retenčných nádrží a jazierok poskytujú aj technické podklady pre prírodu blízke riešenia (NATURE-DEMO, 2025d), ich konkrétne rozmery však musia vychádzať z miestnych hydrologických vstupov.

Pri plošných retenčných opatreniach je často účinnejšie meniť drsnosť a dĺžku odtokovej dráhy než vytvárať jeden veľký akumulčný objekt. Herath *et al.* (2025) pri systematickom prehľade lesného krytu ako protipovodňového riešenia upozorňujú, že účinok lesa je podmienený mierkou, antecedentnou vlhkosťou a veľkosťou udalosti. Rovnaká opatrnosť platí pri technickom dimenzovaní malých prírode blízke opatrení: lokálne opatrenie má definovaný rozsah účinnosti a nemožno mu pripísať ochrannú kapacitu pre udalosti mimo tohto rozsahu.

Priečne bariéry a prehrádzky v ryhách sa zakladajú do bokov a dna tak, aby voda neobtekala konštrukciu po rozhraní s pôdou. Koruna alebo prelivová časť sa tvaruje tak, aby prebytočný prietok smeroval do stabilnej centrálnej dráhy alebo na chránený výtok. Ak je najnižšie miesto pri okraji, voda si vytvorí novú eróznou ryhu mimo konštrukcie a účinok bariéry sa môže obrátiť proti pôvodnému cieľu.

Výška bariéry sa volí s ohľadom na stabilitu, objem zachytávaného sedimentu a pozdĺžny profil. Malý počet vysokých stupňov môže vytvárať výrazný hydraulický skok a hlboké výmole pod prepadom; väčší počet nízkych stupňov môže znížiť lokálnu energiu, ale zvýšiť zásah do koryta a údržbu. Preto sa posudzuje celý profil sústavy. Pri vegetačných dreveno-kamenných bariérach a živých alebo kamenných priečných prehrádzkach sa kombinácia živých a inertných

zložiek využíva najmä na postupný prechod od okamžitej fyzickej bariéry k vegetačnej stabilizácii (NATURE-DEMO, 2025c).

Päť a výtok je potrebné chrániť pred podomieľaním. Hĺbka a rozsah ochrany závisia od lokálnej hydrauliky a erodovateľnosti podložia. Ak sa kameň použije iba tesne pod prepacom bez plynulého prechodu na prirodzené dno, erózia sa môže presunúť na koniec opevnenia. Pri drevenom prvku je navyše potrebné zabezpečiť kotvenie proti vztlaku a nárazu unášaného materiálu.

V projektovej dokumentácii sa preto zakresľuje nielen pohľad na bariéru, ale aj pozdĺžny a priečny profil, založenie do bokov, preliv, ochrana päty a predpokladaný smer vody pri prekročení kapacity. Rozmer bez týchto detailov nie je dostatočným podkladom pre realizáciu.

Pri fašinách a brehových bioinžinierskych prvkoch je základným konštrukčným problémom stabilita päty a kontakt so substrátom. Recking *et al.* (2019) pri fyzikálnych experimentoch ukázali význam infiltrácie a lokálnej hydrauliky pri zlyhaní fašín. Neskoršie terénne a experimentálne hodnotenie Leblois *et al.* (2025) identifikovalo podomieľanie ako konzistentný mechanizmus poruchy. Z návrhového hľadiska z toho vyplýva, že zväzok živého materiálu nemožno posudzovať iba podľa priemeru a počtu kotiev; rozhodujúca je ochrana proti odnosu materiálu pod ním.

Na vonkajšom brehu oblúka alebo pri vysokom šmykovom napätí môže byť potrebné kombinovať fašinu s hlbšie založeným inertným prvkom alebo s kamennou päťou. Takéto riešenie zostáva prírode blízke, ak inertná zložka rieši nevyhnutnú počiatočnú mechanickú funkciu a vegetácia zabezpečuje dlhodobú stabilizáciu a ekologické prínosy. Rauch *et al.* (2022) práve integráciu technickej a ekologickej funkcie považujú za jadro pôdneho a vodného bioinžinierstva.

Rozmery živého prvku sa viažu aj na schopnosť materiálu prežiť. Príliš veľký priemer zväzku môže zhoršiť kontakt vnútorných prútov so zeminou a vodou; príliš malý prvok nemusí odolať počiatočnému prúdeniu. Dôležité je uloženie tak, aby podstatná časť živého materiálu mala trvalý alebo periodický prístup k vlhkému substrátu, ale zároveň nebola počas zakoreňovania vystavená mechanickému vymývaniu.

Pri horských a podhorských lokalitách treba zohľadniť aj mráz, sneh a sezónne kolísanie vodnej hladiny. Technika úspešná v nížinnom toku nemusí byť bez úpravy prenesiteľná do subalpínskeho prostredia. Rousset *et al.* (2025a) preto zdôrazňujú potrebu druhovo a stanovištne špecifického výberu rastlinného materiálu.

Na svahoch sa konštrukčné rozmery odvíjajú od sklonu, hĺbky potenciálne nestabilnej vrstvy a od funkcie jednotlivých prvkov. Terasa mení geometriu svahu, fašina alebo vegetačný stupeň skracuje odtokovú dráhu a koreňový systém zvyšuje súdržnosť v zóne zakorenenia. Tieto účinky nemožno mechanicky sčítat bez znalosti pôdných vlastností a polohy koreňov. Lann *et al.* (2024) upozorňujú, že vegetácia pôsobí mechanicky aj hydrologicky a v určitých situáciách môže nadzemná biomasa zvyšovať zaťaženie svahu.

Pri plytkej nestabilite sa kontroluje, či koreňová zóna pretína potenciálnu šmykovú plochu. Ak nie, vegetácia môže obmedziť eróziu, ale nie rozhodujúci mechanizmus zosuvu. Pri technickom návrhu sa preto oddeľuje „protierózna“ a „stabilizačná“ funkcia, hoci vizuálne môže ísť o rovnaký vegetačný prvok. Bischetti *et al.* (2021) považujú toto rozlíšenie za kľúčové pre kvantifikovateľný návrh bioinžinierskych opatrení.

Terasovanie sa používa iba tam, kde zmena geometrie nenaruší hlbšiu stabilitu a kde je možné bezpečne odvieť vodu. Vodorovná plocha nesmie fungovať ako nekontrolovaná infiltračná vaňa nad šmykovou plochou. Sklon terasy a spôsob odvodnenia sa preto navrhujú spoločne. Terasovanie sa v prírode blízkom navrhovaní uplatňuje najmä na zníženie lokálneho sklonu a obmedzenie erózie; nenahrádza geotechnickú stabilizáciu tam, kde rozhoduje hlbší mechanizmus poruchy (NATURE-DEMO, 2025e).

Pri vegetačných zrubových alebo oporných prvkoch sa kontroluje založenie, priestorová väzba jednotlivých vrstiev, odvádzanie vody za konštrukciou a časový vývoj dreva. Výplň musí umožniť zakorenenie, ale nesmie sa vyplavovať cez medzery. Ak je za konštrukciou trvalý prítok podzemnej vody, riešenie drenáže je rovnako významné ako samotná nosná kostra.

Pri lesných cestách sa konštrukčné zásady sústreďujú na povrch, priečny profil, pozdĺžne odvodnenie, priepusty a výtoky. Pohle a Jaeger (2025) ukazujú, že medzinárodné odporúčania používajú rozdielne technické detaily, spoločným menovateľom je však potreba zabrániť dlhému sústredenému odtoku a odvieť vodu na stabilné miesto. Prírode blízky prístup teda nemení požiadavku na funkčnú cestu; mení spôsob, akým sa voda začleňuje späť do okolitého svahu.

Priečny sklon cesty musí zabezpečiť odvodnenie povrchu bez vytvárania erózie na okraji. Pri korunkovom profile sa voda delí na obe strany, pri jednostrannom sklone sa sústreďuje na jednu. Výber závisí od terénu a od toho, či je možné na výtokovej strane vodu bezpečne rozptýliť. Pozdĺžna priekopa sa nemá navrhovať ako zberač veľkej plochy bez dostatočného počtu výtokov.

Priepust sa dimenzuje podľa prietoku a materiálu, ktorý môže voda prinášať. V lesnom prostredí je rizikom najmä upchatie konármi, listím, sedimentom alebo kameňmi. Čistá hydraulická kapacita potrubia preto nie je jediným kritériom. Vtok musí byť prístupný na kontrolu a výtok chránený proti erózii. Pri významnom riziku upchatia sa posudzuje aj bezpečná dráha vody po povrchu cesty.

Pohle a Jaeger (2026) pri prieskume medzi odborníkmi zdôrazňujú potrebu častejšieho odvádzania vody a úpravy existujúcich ciest na meniace sa zrážkové podmienky. Pri rekonštrukcii preto nemusí byť najlepším riešením iba zväčšenie jedného priepustu; účinnejšie môže byť znížiť plochu, ktorú jeden prvok odvádza, doplniť výtoky a stabilizovať miesta rozptýlenia.

Rozmery protipožiarnych pásov a zón sa nemajú preberať ako pevná hodnota bez kontextu. Účinnosť závisí od typu paliva, jeho výšky a množstva, sklonu, vetra, očakávanej dĺžky plameňa, cieľa zásahu a možnosti aktívneho hasenia. Pás určený ako zásahová línia má iné požiadavky než vegetačný pás s nižšou horľavosťou alebo mozaiková úprava porastu na zníženie intenzity požiaru.

Aparício *et al.* (2024) ukazujú, že palivové pásy majú najvyšší systémový význam vtedy, keď tvoria prepojenú sieť a sú koordinované s ďalšími obnovnými zásahmi. Konštrukčný návrh preto zahŕňa aj napojenie na cestu, existujúcu plochu bez paliva alebo ďalší upravený porast. „Šírka“ bez informácie o konektivite a údržbe poskytuje neúplný obraz o funkcii.

Pri zelených protipožiarnych pásoch sa posudzuje druhové zloženie, vertikálna štruktúra, množstvo jemného odumretého materiálu a sezónna vlhkosť. Marshall *et al.* (2024) upozorňujú na potenciál takýchto pásov kombinovať zníženie požiarneho rizika s biodiverzitnými a uhlíkovými prínosmi. Konštrukčný parameter preto nie je iba geometrický; patrí sem aj hustota a spôsob udržiavania vegetácie.

Úprava porastu musí počítat s opätovným rastom. Ak sa požadovaná palivová medzera po niekoľkých rokoch uzavrie, účinok sa stratí. Súčasťou návrhu je preto cieľový stav po zásahu a interval kontroly alebo obnovy. Výsledky Brodie *et al.* (2024) potvrdzujú, že kombinácia redukcie hustoty a následného ošetrenia povrchového paliva môže znižovať závažnosť požiaru; samotné preriedenie bez riešenia zvyškového paliva môže mať odlišný efekt.

Kontrola konštrukčného návrhu sa uzatvára súborom otázok, ktoré sa vzťahujú na normálny stav, prekročenie kapacity a životný cyklus. Základné kontroly pre vybrané skupiny opatrení sumarizuje tabuľka 5.4.

Tabuľka 5.4 Kontrolné otázky pri konštrukčnom a rozmerovom návrhu

Typ opatrenia	Kľúčové kontroly
Retenčný prvok	objem a prietok; stabilita okraja/hrádzky; bezpečný preliv; zanášanie; prístup na čistenie
Priečna bariéra / prehrádzka	založenie do bokov a dna; smer prelivu; ochrana päty; kotvenie; nadväznosť sústavy
Fašina / brehový prvok	ochrana proti podomieľaniu; kontakt s vlhkom pôdou; kotvenie; hydraulické zaťaženie; ujatie rastlín
Svahový bioinžiniersky prvok	mechanizmus poruchy; hĺbka koreňovej zóny; drenáž; počiatková a dlhodobá stabilita
Lesná cesta a odvodnenie	prispievajúca plocha; interval výtokov; riziko upchatia; ochrana výtoku; bezpečný povrchový obtok
Protipožiarny pás	palivový komplex; sklon a vietor; napojenie na sieť; zásahová dostupnosť; dlhodobá údržba paliva

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Recking *et al.* (2019), Pohleho a Jaegera (2025), Aparícia *et al.* (2024) a Bischetti *et al.* (2021).

Ak na niektorú kontrolnú otázku nie je možné odpovedať z dostupných údajov, návrh sa nepovažuje za dokončený. Chýbajúci údaj sa doplní prieskumom, meraním alebo výpočtom. Práve táto disciplína odlišuje technický návrh od orientačného opisného odporúčania.

Konštrukčné výkresy majú uvádzať aj tolerancie a rozhodujúce detaily. Pri prírodných materiáloch nemožno očakávať presnosť bežného prefabrikátu, ale musí byť jasné, ktoré rozmery

sú funkčne kritické a ktoré možno prispôbiť terénu. Tým sa vytvára priestor pre adaptívnu realizáciu bez straty technickej kontroly.

5.5. Technologický postup realizácie

Realizácia prírode blízkeho riešenia nie je iba prenesením výkresu do terénu. Stavebná činnosť sama mení pôdny povrch, odtok, vegetáciu a prístupové trasy. Technologický postup preto musí minimalizovať dočasné riziká a zachovať tie prvky lokality, na ktorých je založená budúca funkcia. Prvým krokom je prevzatie a vytýčenie miesta vrátane ochranných pásiem, hraníc zásahu, odtokových dráh a plôch, ktoré sa nesmú narušiť.

Pred začatím zemných prác sa určuje spôsob dočasného riadenia vody. Ak sa výkop realizuje počas zrážky alebo v aktívnej odtokovej dráhe bez obtoku, môže vzniknúť erózia ešte pred osadením prvku. Pri vodných a brehových opatreniach sa podľa potreby pracuje po etapách, s dočasným odklonením prúdu alebo v období vhodného vodného stavu. Pri cestných zásahoch sa zachováva funkčný odtok počas celej realizácie.

Organizácia staveniska má rešpektovať únosnosť pôdy. Pohyb ťažkej techniky po mokrej pôde môže vytvoriť koľaje, zhutnenie a nové odtokové dráhy. Ak je možné materiál pripraviť mimo citlivej plochy a dopraviť ho menšou technikou, znižuje sa rozsah sekundárneho zásahu. Pri práci na strmom svahu sa zároveň rieši bezpečnosť pracovníkov a stabilita dočasných výkopov.

Technologický plán obsahuje aj poradie materiálov. Živý materiál sa nemá na lokalitu dovážať skôr, než je možné ho v krátkom čase osadiť. Naopak, kamenné alebo drevené prvky potrebné na stabilizáciu päty musia byť pripravené skôr, než sa odkryje erózne citlivá časť brehu. Správne poradie znižuje čas, počas ktorého je lokalita v nestabilnom prechodnom stave.

Príprava podkladu sa vykonáva v rozsahu potrebnom pre funkciu opatrenia. Nadmerné odstránenie vegetácie alebo humusovej vrstvy zvyšuje erózne riziko a predlžuje obnovu. Pri protieróznej rohoži sa povrch urovná natoľko, aby materiál ležal v kontakte s pôdou; pri fascine sa vytvorí ryha požadovaného tvaru; pri zrubovom prvku sa pripraví stabilné založenie. Plochy mimo bezprostrednej konštrukcie sa ponechávajú bez zásahu.

Pri zemných prácach sa oddelene nakladá s vhodnou vrchnou pôdou, ak sa má znovu použiť na vegetačnú obnovu. Materiál sa neskladuje v odtokovej dráhe ani na mieste, kde by mohol byť pri daždi splavený. Pri výkope sa priebežne kontroluje skutočné zloženie podložia; výrazný rozdiel oproti prieskumu môže vyžadovať zmenu detailu založenia.

Na svahoch sa postupuje od stabilných častí a podľa potreby po kratších úsekoch. Dlhé otvorenie povrchu pred osadením ochrany je nevhodné. Pri terasách a stupňoch sa súčasne vytvára definitívne alebo dočasné odvodnenie, aby sa voda počas stavby nehromadila za novým prvkom. Každý výtok sa chráni ešte pred očakávanou zrážkou.

Pri cestách sa dočasná doprava organizuje tak, aby nepoškodila novovybudované odvodnenie. Priečny prvok, ktorý je bezprostredne po osadení prejazdený ťažkým mechanizmom bez zodpovedajúcej ochrany, môže stratiť geometriu skôr, než je stavba dokončená. Technologické fázy sa preto koordinujú s pohybom mechanizácie a s uzáverou alebo obmedzením premávky.

Živý rastlinný materiál sa osádza čo najskôr po odbere alebo po kontrolovanom skladovaní. Pri prútoch a odrezkoch je potrebné zabezpečiť dostatočnú časť v kontakte s vlhkou pôdou, odstrániť veľké vzduchové dutiny a chrániť materiál pred vyschnutím. Pri fascine sa zväzok priebežne fixuje a zasypáva tak, aby voda nemohla voľne prúdiť pod ním. Povrchová časť zostáva v polohe umožňujúcej rast a následnú kontrolu.

Kotvenie živých prvkov musí odolať počiatočnému zaťaženiu, kým nevznikne koreňová výstuž. Počet a rozmiestnenie kotiev sa viažu na geometriu prvku a na očakávané hydraulické alebo gravitačné sily; univerzálny rozstup nie je vhodný. Ak sa počas realizácie ukáže, že podklad neposkytuje dostatočný odpor, nekompensuje sa to náhodným pridávaním kratších kolíkov, ale upraví sa detail kotvenia.

Rastlinný materiál sa pri osadzovaní nemá mechanicky rozdrviť alebo nadmerne ohýbať. Poškodenie kôry a pletív znižuje vitalitu a môže zmeniť budúcu funkciu. Pri použití viacerých druhov sa ich rozmiestnenie zaznamená, aby bolo pri monitoringu možné vyhodnotiť rozdielnu úspešnosť. Rousset *et al.* (2025a) ukazujú, že rozdiely v koreňovej a nadzemnej reakcii môžu byť medzi druhmi významné.

Ak je po realizácii obdobie sucha, technologický plán musí počítať s prvotnou zálievkou alebo iným opatrením na udržanie životaschopnosti. Takáto podpora však nemá maskovať nevhodnú lokalizáciu. Ak by dlhodobá funkcia vyžadovala permanentné zavlažovanie, treba znovu posúdiť, či je zvolený druh alebo technika pre lokalitu primeraná.

Drevené a kamenné prvky sa osádzajú tak, aby vytvorili súvislý kontakt s podkladom a aby ich spoje prenášali zamýšľané zaťaženie. Pri zrubových konštrukciách sa kontroluje vodorovné a priečne previazané uloženie, kotvenie a výplň. Dutiny sa vyplňajú materiálom, ktorý nebude pri prvom daždi vyplavený. Ak má do konštrukcie prerastať vegetácia, výplň musí súčasne vytvoriť podmienky pre korene.

Pri kamennej ochrane päty alebo výtoku sa najprv pripraví založenie a prípadná filtračná vrstva. Kameň sa ukladá od spodnej časti a tak, aby sa jednotlivé kusy vzájomne zakliesnili. Nasypenie kameňa z výšky bez kontroly môže poškodiť živé prvky a vytvoriť nestabilné medzery. Rozhranie medzi kameňom a neopevneným povrchom sa tvaruje plynulo, aby sa erózia neposunula na koniec ochrany.

Biodegradovateľné rohože a siete sa kladú na pripravený povrch bez veľkých dutín. Horný okraj sa zabezpečí proti podtekaniu a presahy sa orientujú podľa smeru odtoku. Kotvenie musí udržať materiál počas prvých zrážok a počas klíčenia vegetácie. Pri vegetačných

biodegradovateľných protieróznych sieťach sú rozhodujúce najmä kontakt s podloží, primerané kotvenie a následné prerastanie vegetácie (NATURE-DEMO, 2025a).

Po osadení inertných prvkov sa skontrolujú výšky, sklony a výtoky ešte pred zakrytím alebo vegetačnou úpravou. Neskoršia oprava detailu pod zeminou alebo rohožou by znamenala opätovné narušenie hotovej plochy. Kontrolné meranie počas realizácie je preto lacnejšie a spoľahlivejšie než oprava po prvej udalosti.

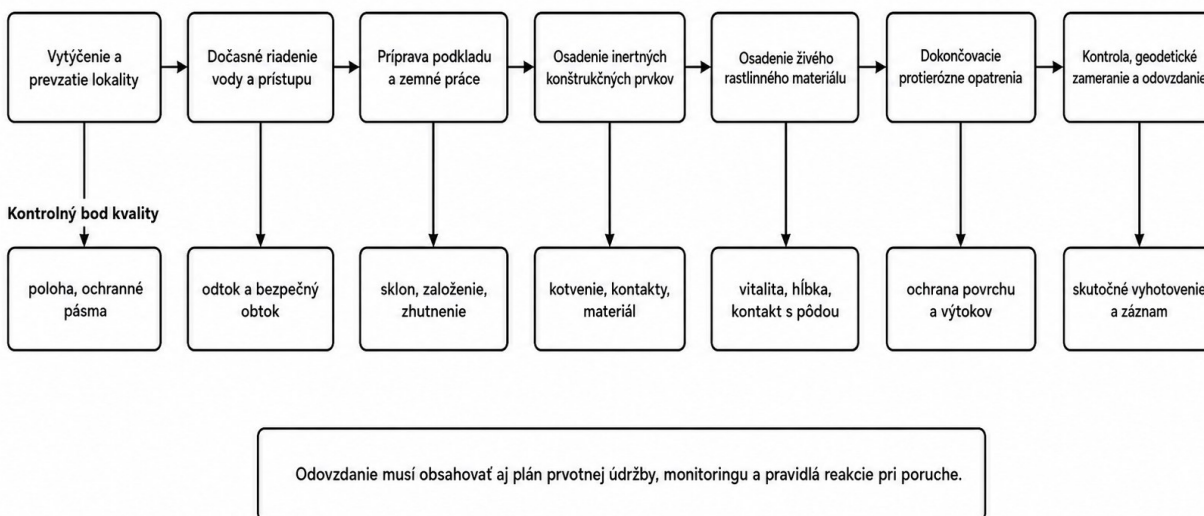
Dokončovacie práce sa sústreďujú na ochranu všetkých narušených plôch. Stavenisko nesmie zostať s holou zeminou mimo samotného opatrenia, pretože nová erózia môže prekryť jeho účinok. Povrch sa podľa podmienok mulčuje, osieva, prekryje dočasnou protieróznou ochranou alebo sa obnoví pôvodná organická vrstva. Súčasne sa odstránia dočasné koľaje a odtokové dráhy vytvorené mechanizáciou.

Všetky výtoky sa kontrolujú v reálnom smere spádu. Vizuálne „ukončenie“ priekopy pri vegetácii nestačí, ak voda pri väčšom prietoku preskočí ochrannú plochu a sústreďí sa nižšie. Výtok sa preto napojí na dostatočne širokú rozptylovú zónu alebo na stabilnú prirodzenú dráhu. Pri retenčnom prvku sa pred odovzdaním overí priechodnosť prelivu a absencia prekážok, ktoré by vodu odklonili k hrádzke.

Pri lesných cestách sa po dokončení obnoví požadovaný priečny profil a vyčistia sa priekopy a priepusty. Parajuli *et al.* (2024) pri hodnotení ťažbových plôch ukazujú význam dôslednej realizácie osvedčených postupov hospodárenia na obmedzenie erózie; výsledný stav preto musí byť hodnotený ako systém povrchu, odvodnenia a vegetačného krytu, nie iba ako kvalita jedného prvku.

Protipožiarne opatrenia sa dokončujú odstránením alebo bezpečným rozmiestnením zvyškového paliva. Biomasa vytvorená prerezávkou alebo preriedením nesmie zostať v súvislej vrstve, ktorá by zvýšila povrchové palivo. Pri zelených pásmach sa zabezpečí počiatočná starostlivosť o výsadbu a zároveň sa nastaví spôsob budúcej redukcie suchej biomasy.

Kontrola kvality sa vykonáva počas realizácie, nie až pri odovzdaní. Každá fáza má mať svoj kontrolný bod: poloha a vytýčenie, podklad, založenie, kotvenie, materiál, živé prvky, výtoky a konečná úprava. Obrázok 5.4 sumarizuje odporúčanú technologickú postupnosť a kontrolné body.



Obrázok 5.4 Technologická postupnosť realizácie a kontroly prírode blízkeho opatrenia. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Miele et al. (2021), Rauch et al. (2022) a Bischetti et al. (2021).

Kontrola má byť zdokumentovaná pomocou fotodokumentácie, krátkeho záznamu a pri geometricky významných prvkoch aj meraním. Pri odchýlke sa uvedie dôvod a spôsob nápravy. Pri odovzdaní sa zaznamená skutočná poloha, rozhodujúce rozmery, použité materiály a druhy, zmeny oproti návrhu a plán prvotnej údržby. Dokumentácia skutočného vyhotovenia tvorí referenčný stav pre následný monitoring. Po významnej udalosti sa preto overuje najmä priebeh vody, stabilita kotiev a výtokov, zanášanie a stav živých prvkov.

6. Prírode blízke riešenia v experimentálnom území Vydrovo

Predchádzajúce kapitoly vytvorili typologický a návrhový rámec prírode blízkych riešení. V tejto kapitole sa tento rámec prenáša do konkrétneho lesného územia Vydrovo vo Vydrovskej doline pri obci Čierny Balog. Zmyslom aplikačnej časti nie je dokazovať univerzálnu účinnosť jedného opatrenia, ale ukázať, ako sa priestorové, hydrologické, porastové a prevádzkové podmienky premietnu do výberu kombinácie riešení. Experimentálne územie je preto chápané ako prípadová lokalita, na ktorej sa prepájajú diagnostika problému, výber zásahu, technické riešenie, dokumentácia a následné overovanie funkcie.

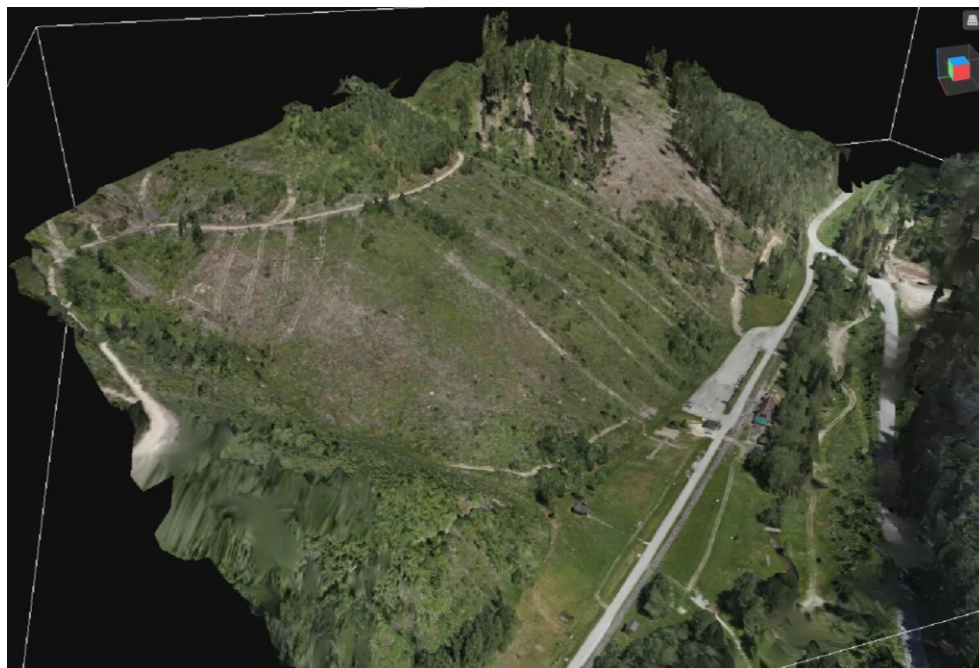
Aplikačný charakter kapitoly zároveň vyžaduje prísne oddelenie troch úrovní informácie. Prvou sú skutočnosti doložené terénnymi a technickými podkladmi územia, napríklad narušenie porastov lykožrútovou kalamitou, existencia lesnej dopravnej siete, erózných dráh a vytvoreného monitorovacieho systému. Druhou sú návrhové riešenia pripravené pre identifikované typy lokalít. Treťou sú všeobecné technické zásady podopreté odbornou literatúrou. Ak pri konkrétnom prvku nie je k dispozícii úplný realizačný výkaz, presná súradnica alebo dokumentovaný skutočný rozmer, kapitola taký údaj nevytvára a neprezentuje návrh ako hotové terénne vykonanie.

Takéto rozlíšenie je dôležité aj z hľadiska vedeckej interpretácie. Územie zasiahnuté biotickou disturbanciou nie je statický objekt: po rozpade zápoja sa mení porastová štruktúra, mikroklima, hydrologické dráhy, dostupnosť paliva aj schopnosť prirodzenej obnovy. Európske poznatky o lykožrútových disturbanciách preto zdôrazňujú kontextové rozhodovanie a prepojenie ochrany lesa, obnovy a manažmentu následkov disturbance (Hlásny *et al.*, 2021). Vydrovo – Čierny Balog poskytuje vhodný rámec na praktickú aplikáciu tohto princípu.

Prípadová aplikácia má aj metodický význam pre prenos riešení do ďalších lesných území. Rozhodujúce nie je kopírovanie konkrétnej konštrukcie, ale zachovanie rozhodovacieho postupu: identifikovať proces, určiť jeho priestorovú mierku, vyhodnotiť dôsledky poruchy a až potom zvoliť technický prvok. Takto možno výsledky z Vydrova využiť aj mimo Čierneho Balogu.

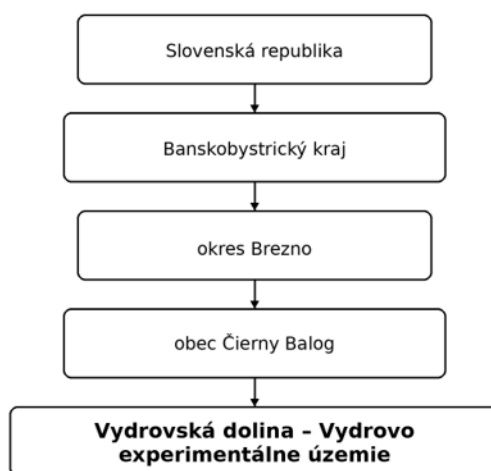
6.1. Charakteristika experimentálneho územia

Experimentálne územie sa nachádza v lokalite Vydrovo vo Vydrovskej doline pri obci Čierny Balog v okrese Brezno, Banskobystrickom kraji. Priestorové vymedzenie experimentálneho územia Vydrovo – Čierny Balog a jeho polohu v rámci Vydrovskej doliny znázorňuje obrázok 6.1.



Obrázok 6.1 Priestorové vymedzenie záujmového územia Vydrovo – Čierny Balog s vyznačením hraníc experimentálnej plochy. Zdroj: Vlastné spracovanie z podkladov UAV monitoringu.

Priestorové zaradenie experimentálneho územia sumarizuje obrázok 6.2. Takéto hierarchické označenie je vhodné aj pre technickú dokumentáciu, pretože pri mapových a fotografických záznamoch sa lokalita identifikuje nielen miestnym názvom, ale aj obcou a administratívnym územím.



Obrázok 6.2 Priestorové zaradenie experimentálneho územia Vydrovo – Čierny Balog. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa LESY SR (2026) a podkladov experimentálneho územia.

Širšie územie Vydrovská dolina je morfológicky členité a tvorené svahmi, bočnými zárezmi, údolnicami a líniami lesnej dopravnej siete. Pre návrh prírody blízkych opatrení je rozhodujúca práve táto priestorová heterogenita. Voda sa po intenzívnej zrážke nepohybuje rovnomerne po celej ploche, ale využíva lokálne depresie, koľaje, priekopy, výusty a prirodzené odtokové dráhy. Rovnaká heterogenita ovplyvňuje presychanie pôdy, osvetlenie, obnovu vegetácie a požiarne podmienky. Preto sa experimentálne územie nehodnotí ako jeden homogénny svah, ale ako sústava funkčných zón.

Lesnícky skanzen vo Vydrovskej doline sa podľa údajov LESY SR rozprestiera v nadmorskej výške približne 525–850 m n. m. na oboch stranách Vydrovského potoka. Tento údaj charakterizuje reliéfny rámec širšej lokality, nie automaticky výškový rozsah každej experimentálnej plochy. Pre technický návrh je podstatnejšie lokálne zameranie sklonu, smeru odtoku, päty svahu a výtokového miesta než použitie jednej reprezentatívnej nadmorskej výšky pre celé územie (LESY SR, 2026).

Horský reliéf zvyšuje význam bezpečného vedenia vody. Pri sústredenom odtoku rastie erózna energia a nesprávne umiestnený retenčný alebo rozptyľovací prvok môže presunúť problém na nižšie položenú časť svahu. V lesnom prostredí sa preto hydrologická poloha opatrenia posudzuje spolu s jeho príspevkovou plochou a s miestom, na ktoré voda po prekročení kapacity bezpečne odtече. Systematický prehľad lesných protipovodňových opatrení potvrdzuje, že účinok lesa a drobných retenčných zásahov silne závisí od mierky, antecedentnej vlhkosti a priestorového usporiadania (Herath *et al.*, 2025).

Pri terénnom členení je užitočné rozlišovať horné zberné časti svahov, stredné transportné úseky a dolné akumulčné alebo výtokové zóny. Rovnaká zrážka môže v týchto polohách vyvolať odlišnú odozvu. V hornej časti môže byť prioritou zachovanie infiltrácie a pôdneho krytu, v strednej časti prerušenie sústredeného odtoku a v dolnej zachytávanie sedimentu, bezpečné rozptýlenie odtoku a stabilizácia výtokových úsekov s cieľom zabrániť vzniku ďalšej erózie a poškodeniu nižšie položených častí územia.

Porastový kontext experimentálneho územia je ovplyvnený lykožrútovou kalamitou v smrekových porastoch. Narušenie zápoja mení charakter povrchu aj okrajov porastu: zvyšuje priame slnečné žiarenie na pôdu a bylinné poschodie, mení veterné pomery a vytvára kontrast medzi otvorenými, čiastočne krytými a zachovanými časťami lesa. Tieto zmeny sa premietajú do vysychania povrchových horizontov, dynamiky obnovy, stability zvyšných stromov a do priestorového rozloženia vegetačného paliva. Východiskové projektové podklady preto uvádzajú zníženie mikroklimatickú stabilitu a vyššie presychanie ako jednu z hlavných charakteristík narušených porastov.

Lykožrútová disturbancia sa v aplikačnom návrhu nechápe iba ako problém ochrany stromov. Je to zmena štruktúry celého funkčného systému. Hlásny *et al.* (2021) poukazujú na to, že manažment lykožrútových kalamít musí byť viazaný na cieľ hospodárenia, ekologický kontext a následné riziká. Pre Vydrovo z toho vyplýva, že opatrenia sa nemajú sústrediť iba na sanitárny

zásah, ale na obnovu krytu, vodného režimu, pôdnej ochrany, diverzifikáciu budúceho porastu a zachovanie bezpečnej priechodnosti územia.

Pri obnove je zároveň potrebné rešpektovať budúce klimatické podmienky. Wessely *et al.* (2024) ukázali, že počet druhov drevín, ktoré zostanú klimaticky vhodné počas celého životného cyklu novo založeného porastu, sa v Európe môže výrazne zúžiť. To podporuje prístup založený na kombinácii prirodzenej obnovy, asistovaného doplnenia a funkčnej diverzifikácie, nie na mechanickej rekonštrukcii pôvodného homogénneho smrekového porastu.

Kalamitné narušenie zároveň mení časový charakter zásahov. Bezprostredne po odstránení alebo rozpade stromovej vrstvy je kritická ochrana pôdy a zachovanie regenerácie; neskôr sa zvyšuje význam konkurencie medzi obnovujúcimi sa drevinami, štrukturálnej diferenciácie a prevencie opätovnej koncentrácie zraniteľnosti. Preto sa v technickej dokumentácii rozlišujú krátkodobé opatrenia s účinkom v.

Významnou zložkou experimentálneho územia je lesná dopravná sieť a dočasné približovacie trasy. Cesty a koľaje menia prirodzenú hydrologickú konektivitu svahu tým, že zhutňujú povrch, prerušujú priečne prúdenie a sústreďujú vodu do priekop a výustí. V dostupných technických podkladoch sú práve cesty, erózne ryhy a výusty označené ako miesta, kde môže dochádzať k rozrušovaniu povrchu, transportu sedimentu a lokálnemu podmáčaniu alebo destabilizácii.

Tento problém nie je špecifický iba pre Vydrovo. Parajuli *et al.* (2024) pri hodnotení ťažbových lokalít identifikovali cesty, približovacie linky a križovania tokov ako miesta s výrazným eróznym potenciálom. Pohle a Jaeger (2025) vo svojom prehľade smerníc pre lesné cesty zdôrazňujú potrebu skracovať vzdialenosť sústredeného odtoku, vhodne dimenzovať priečne odvodnenie a smerovať výtok na stabilný povrch. Tieto princípy sú pre Vydrovo priamo použiteľné, pretože technická reakcia musí súčasne zachovať prejazdnosť komunikácie a znížiť hydrologické zaťaženie svahu.

Dostupnosť územia má aj prevádzkový rozmer. Vydrovska dolina je využívaná lesným hospodárstvom, rekreáciou a návštevnosťou Lesníckeho skanzenu; technické riešenia preto nemôžu vytvárať nebezpečné hrany, neprehľadné bariéry alebo nestabilné objekty v dosahu návštevníkov a techniky. Pri výbere lokality opatrenia sa zohľadňuje nielen ekologická vhodnosť, ale aj prístup na údržbu, možnosť kontroly po významnej zrážke a bezpečný spôsob poruchy.

Viacúčelové využívanie doliny ovplyvňuje aj voľbu materiálu a spôsob realizácie. V blízkosti frekventovaných trás sa obmedzuje používanie prvkov, ktoré by po uvoľnení mohli zasiahnuť komunikáciu, a uprednostňuje sa ľahko kontrolovateľná geometria. V menej prístupných bočných svahoch je naopak dôležité minimalizovať budúcu potrebu ťažkej mechanizácie. Prevádzková dostupnosť sa preto zohľadňuje už pri návrhu a lokalizácii opatrení, pričom spôsob realizácie, kontrol a následnej údržby musí zodpovedať prístupnosti konkrétnej lokality a predpokladanému zaťaženiu počas životnosti opatrenia.

Charakter experimentálneho územia možno z hľadiska návrhu zhrnúť do niekoľkých funkčných zložiek. Ich význam nespočíva v úplnom inventarizačnom opise lokality, ale v určení, ktoré vlastnosti vstupujú do výberu a technického riešenia opatrení. Súhrn uvádza tabuľka 6.1.

Tabuľka 6.1 Funkčné zložky experimentálneho územia Vydrovo – Čierny Balog relevantné pre návrh opatrení.

Zložka územia	Charakteristika relevantná pre návrh	Dôsledok pre prírodu blízke riešenie
Narušené lesné porasty	znížený zápoj, meniaci sa mikroklima, obnova po lykožrútovej kalamite	podpora obnovy, diverzifikácie a pôdneho krytu; kontrola palivovej kontinuity
Svahy a lokálne depresie	členitý reliéf a priestorovo premenlivý smer odtoku	opatrenia lokalizovať podľa príspevkovej plochy a bezpečného výtok
Lesné cesty a približovacie linky	zhutnený povrch, pozdĺžny odtok, priekopy a výusty	priečne rozptýlenie vody, stabilizácia výustí, obnova nepoužívaných trás
Erózne ryhy	koncentrovaný odtok a transport sedimentu	nízke priečne bariéry, ochrana päty, rozptýlenie energie
Narušené svahy	odkrytý povrch, plytká erózia alebo lokálna nestabilita	bioinžinierske a vegetačné prvky po overení mechanizmu poruchy
Funkčné a návštevnícke zóny	potreba bezpečnej priechodnosti a kontroly	obmedzenie rizika poruchy, prístup na údržbu a jednoznačné označenie objektov
Monitorované body	meteorologické, pôdne a environmentálne merania	vytvorenie referenčného rámca pre následné hodnotenie účinnosti

Zdroj: Vlastné spracovanie.

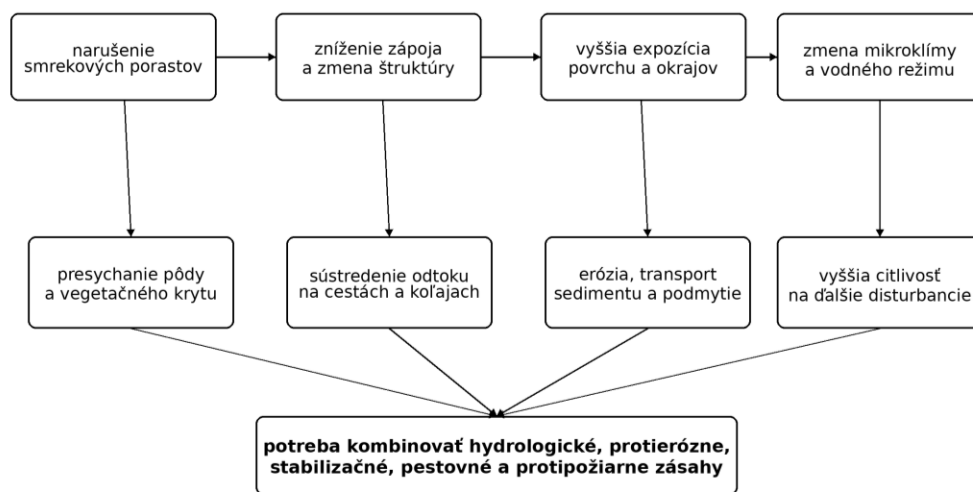
6.2. Východiskový stav územia

Východiskový stav experimentálneho územia predstavuje referenciu, voči ktorej sa neskôr posudzuje zmena. Nie je totožný s jedným dátumom ani s jednou mapou. Pri dynamickom území po kalamitnom narušení je potrebné kombinovať terénne pozorovanie, fotografickú dokumentáciu, mapové vrstvy, údaje o stave porastov a kontinuálne merania. Každý typ údajov zachytáva inú zložku systému a má inú mieru neistoty. Kapitola preto pracuje s dokumentovanými znakmi územia a nepremieňa krátky časový rad alebo jednorazové pozorovanie na dlhodobý trend.

Základným pravidlom je oddeliť stav, proces a riziko. Odkrytý svah je stav; povrchový odtok a odnos častíc sú procesy; poškodenie cesty alebo zanesenie toku je možný následok. Podobne odumreté stromy predstavujú stav porastu, ale požiarne riziko závisí od množstva, vlhkosti, priestorovej kontinuity paliva, počasia a zdrojov iniciácie. Toto rozlíšenie zabráňuje tomu, aby sa opatrenia vyberali podľa vizuálne najvýraznejšieho znaku namiesto mechanizmu, ktorý skutočne spôsobuje problém.

V dostupných podkladoch sa opakovane objavujú štyri hlavné okruhy: narušenie porastovej štruktúry, koncentrácia povrchového odtoku na lesnej dopravnej sieti, erózne a lokálne stabilné problémy na svahoch a potreba zachovať protipožiarnu priechodnosť a kontrolu paliva. Ich vzájomné väzby znázorňuje obrázok 6.3. Schéma nepredstavuje kauzálny model s kvantifikovanými väzbami, ale pracovný rámec pre orientáciu terénneho hodnotenia.

Východiskové hodnotenie má byť opakovateľné. Pri terénnom prieskume sa preto používajú stabilné referenčné body, rovnaké fotografické smery, jednotné triedy intenzity poškodenia a jednoznačné kódy lokalít. Pri zmenách, ktoré nemožno spoľahlivo kvantifikovať, sa uprednostní stručný opis s fotografickým dôkazom pred nepresnou číselnou hodnotou. Takýto postup znižuje riziko, že rozdiel medzi východiskovým stavom a následnými pozorovaniami bude spôsobený odlišným spôsobom dokumentácie alebo subjektívnym hodnotením, a nie skutočnou zmenou stavu územia.



Obrázok 6.3 Väzby medzi narušením porastu a procesmi relevantnými pre výber opatrení vo Vydrove – Čiernom Balogu. Zdroj: Vlastné spracovanie vychádzajúc z práce Hlásny et al. (2021).

Schéma ukazuje, prečo sa opatrenia nemôžu navrhovať izolovane. Zníženie zápoja môže zvýšiť osvetlenie a vysychanie pôdy; prejazd techniky a zhutnenie môžu vytvoriť odtokovú dráhu. Koncentrovaná voda následne zvyšuje eróziu a môže poškodiť svah alebo cestu. Zároveň obnova vegetácie, ktorá je žiaduca z hľadiska pôdnej ochrany, mení požiarne palivo a prístupnosť. Pri každom zásahu sa preto posudzuje hlavná funkcia a súčasne nežiaduce vedľajšie účinky.

Pri porastovej zložke je potrebné rozlišovať medzi okamžitou obnovou krytu a dlhodobou obnovou reziliencie. Rýchle zazelenenie odkrytej pôdy môže znížiť eróziu, ale nevypovedá o budúcej stabilite stromovej vrstvy. Naopak, výber drevín a štruktúry budúceho porastu je rozhodnutie na desaťročia. Výskum európskych lesov ukazuje, že vyššia štrukturálna diverzita môže podporovať rezilienciu v mnohých podmienkach, jej účinok však zostáva závislý od klímy, druhovej skladby a typu disturbance (Pickering et al., 2025).

Hydrologicko-erózný východiskový stav sa sústreďuje na miesta, kde sa voda z plošného odtoku mení na sústredený prúd. Typickými bodmi sú koľaje na približovacích linkách, pozdĺžne priekopy, výtoky priepustov, ostré zmeny sklonu a hlavy erózných rýh. V týchto miestach sa dokumentuje smer prítoku, šírka a hĺbka dráhy, stav povrchu, prítomnosť sedimentu, podmytie a stabilita nižšieho úseku. Samotný údaj o sklone cesty bez znalosti výtoku nie je dostatočný.

Medzinárodné empirické výsledky potvrdzujú, že lesné cesty a približovacie linky môžu byť disproporčne významným zdrojom sedimentu. Parajuli *et al.* (2024) zaznamenali vyšší erózný potenciál na cestách a križovaniach tokov než na mnohých samotných ťažbových plochách. Pre Vydrovo je dôležitý mechanizmus, nie prenos konkrétnej číselnej hodnoty: zhutnený povrch a dlhá neprerušená odtoková dráha zvyšujú koncentráciu vody, a preto je vhodné skrátiť jej dráhu a rozptýliť ju na stabilnej ploche.

Pri erózných ryhách sa okrem aktuálnej hĺbky sleduje aj aktivita. Čerstvé ostré hrany, obnažené korene, nový sediment pod ryhou alebo poškodenie po nedávnej zrážke indikujú aktívny proces. Staršia ryha s vegetáciou môže byť stabilizovaná a nevyžadovať stavebný zásah. Cieľom východiskového prieskumu preto nie je maximalizovať počet identifikovaných „problémov“, ale rozlíšiť aktívne procesy od stabilných foriem reliéfu.

Pri cestnej sieti sa odporúča doplniť jednoduchý inventár všetkých miest, kde sa voda z komunikácie vracia na svah. Každá výusť sa hodnotí podľa príspevkovej dĺžky cesty, stavu povrchu, sklonu nižšieho svahu, prítomnosti vegetácie a vzdialenosti od toku. Takýto inventár často odhalí, že rozhodujúcim problémom nie je samotná cesta.

Pri svahoch je zásadné odlíšiť povrchovú eróziu a plytké deformácie od hlbšej nestability. Vegetácia môže zvyšovať mechanické spevnenie koreňmi a meniť vodný režim pôdy, jej účinok však závisí od hĺbky koreňového systému, pôdy, nasýtenia a geometrie svahu. Súčasný prehľad hydro-mechanických účinkov vegetácie ukazuje, že biologická stabilizácia je účinná najmä v zóne, ktorú koreňový systém reálne ovplyvňuje; pri hlbšej šmykovej ploche je potrebné geotechnické posúdenie (Lann *et al.*, 2024).

Pre Vydrovo to znamená, že bioinžinierske opatrenie sa nesmie predpísať iba na základe pohľadu na „strmý svah“. Pred jeho výberom sa hľadajú trhliny, vývery vody, deformácie päty, naklonené stromy, pohyb blokov a ďalšie znaky, ktoré môžu indikovať hlbšiu poruchu. Ak sú prítomné, vegetačná rohož, fašina alebo výsadba môže byť doplnkom až po posúdení stability, nie hlavným stabilizačným opatrením. Tento prístup je konzistentný s návrhovou logikou bioinžinierstva (Bischetti *et al.*, 2021; Rauch *et al.*, 2022).

Požiar na zložke východiskového stavu sa hodnotí funkčne. Sleduje sa dostupnosť jemného paliva, mŕtve drevo, kontinuita bylinného a krovinného poschodia, palivové rebríky, priechodnosť ciest a možnosť bezpečného prístupu. Narušenie porastu samo osebe neznamena vysoké požiarne riziko v každom čase; rozhodujúca je kombinácia paliva a meteorologických podmienok. Preto sa

terénna inventarizácia paliva prepája s meteorologickým monitoringom, ktorý bude rozpracovaný v kapitole 7.

Pri požiarnej hodnote sa osobitne zaznamenáva časová premenlivosť paliva. Jemná bylinná biomasa môže byť po zrážkach málo zápalná a o niekoľko týždňov neskôr predstavovať súvislú suchú vrstvu. Hrubé mŕtve drevo má odlišnú úlohu pri iniciácii a pri dlhodobom dohorievaní. Preto sa pri terénnej dokumentácii rozlišujú aspoň hlavné palivové kategórie podľa druhu, množstva, priestorového usporiadania a aktuálnej vlhkosti, pričom sa osobitne hodnotí ich horizontálna a vertikálna súvislosť a možný vplyv na vznik, šírenie a intenzitu lesného požiaru.

Východiskový stav je vhodné uzatvoriť pracovnou maticou: problém – dôkaz – návrhová otázka. Jej účelom je zabrániť skoku od pozorovania priamo k opatreniu bez vysvetlenia mechanizmu. Pre experimentálne územie možno túto logiku zhrnúť podľa tabuľky 6.2.

Tabuľka 6.2 Prepojenie východiskového stavu s návrhovými otázkami.

Pozorovaný alebo doložený znak	Proces, ktorý treba overiť	Návrhová otázka
narušený smrekový porast a znížený zápoj	zmena mikroklimy, regenerácie a priestorovej kontinuity paliva	kde podporiť obnovu, kde ponechať sukcesiu a kde upraviť palivo/priechodnosť?
koľaje a pozdĺžny odtok na ceste	koncentrácia vody a erózna energia	kde prerušiť odtok a kam ho bezpečne rozptýliť?
erózna ryha alebo sediment pod výtokom	aktívny transport pôdy a podmyvanie	je potrebné znížiť energiu prúdu, stabilizovať výtok alebo obmedziť prítok?
odkrytý svah	povrchová erózia alebo plytká/hlbšia deformácia	ide o povrchový proces vhodný pre bioinžinierstvo alebo o geotechnický problém?
husté suché bylinné/krovinné palivo	vyššia kontinuita jemného paliva	kde je redukcia paliva účelná bez poškodenia obnovy a pôdy?
krátky časový rad IoT údajov	nedostatočný podklad pre dlhodobý trend	ktoré údaje možno použiť ako referenčný stav a ktoré až po dlhšom monitorovaní?

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Posledný riadok je metodicky dôležitý. Monitorovací systém je funkčný a vytvára časové rady, dostupné obdobie je však zatiaľ krátke a neumožňuje spoľahlivo odvodiť sezónne alebo medziročné trendy. V tejto kapitole sa preto údaje používajú ako podklad na vytvorenie referenčného rámca, nie ako dôkaz dlhodobej účinnosti opatrení.

6.3. Výber vhodných opatrení

Výber opatrení pre Vydrovo – Čierny Balog vychádza zo zásady, že dominantný proces sa má ovplyvniť čo najbližšie k miestu jeho vzniku a bez presunutia rizika na inú časť územia.

Preto sa nevyberá jeden „najlepší“ typ prírode blízkeho riešenia pre celú dolinu. Zostavuje sa portfólio menších zásahov, ktorých funkcie sa dopĺňajú: rozptýlenie vody na cestách znižuje zaťaženie nižších erózných rýh, stabilizované výusty chránia svahy, vegetačné pásy zachytávajú sediment a pestovné opatrenia obnovujú dlhodobú kryciu a regulačnú funkciu porastu.

Rozhodovanie sa riadi tromi filtrami. Prvý overuje, či je identifikovaný proces aktívny a významný. Druhý posudzuje, či navrhované opatrenie dokáže proces ovplyvniť v danej mierke. Tretí hodnotí následok poruchy. Malá drevená bariéra v dočasnej ryhe môže byť primeraná tam, kde prípadná porucha nespôsobí ohrozenie, ale nie v profile, ktorého zlyhanie by mohlo poškodiť cestu, objekt alebo bezpečnosť osôb. Takéto profily vyžadujú samostatné hydraulické alebo geotechnické posúdenie.

Kritériá sa neopierajú iba o lokálny technický stav. Pri lesných cestách sa zohľadňuje aj ich budúce využitie a údržba, pri vegetačných prvkoch biologická životaschopnosť, pri pestovných zásahoch klimatická vhodnosť a pri požiarnych opatreniach kontinuita siete a dostupnosť zásahu. Princíp adaptívnej voľby je v súlade so súčasnou literatúrou o prírode blízkejších a bioinžinierskych riešeniach, ktorá kladie dôraz na funkciu, mierku, životný cyklus a bezpečný spôsob poruchy (Bischetti *et al.*, 2021; Pohle a Jaeger, 2025; Herath *et al.*, 2025).

Výber je potrebné dokumentovať aj v prípadoch, keď sa rozhodne opatrenie nerealizovať. Dôvodom môže byť nízka aktivita procesu, vysoké reziduálne riziko, nevhodná biologická sezóna, konflikt s dopravnou funkciou alebo potreba podrobnejšieho výpočtu. Evidencia zamietnutých variantov je dôležitá pre transparentnosť postupu a zabráňuje opakovaniu už posúdeného nevhodného riešenia pri ďalšom plánovaní zásahov v danej lokalite alebo pri aktualizácii návrhu opatrení.

Prvou prioritnou skupinou sú opatrenia, ktoré znižujú hydrologickú konektivitu lesných ciest a približovacích liniek. Ich cieľom je zabrániť tomu, aby sa dlhý úsek cesty správal ako umelý zberač vody. V praxi to znamená obnoviť priečny sklon, rozdeliť pozdĺžny odtok priečnymi prvkami, častejšie vyviesť vodu z priekopy a každý výtok ukončiť na stabilnej ploche. Rozstup priečných prvkov sa neurčuje jednou hodnotou; zmenšuje sa s rastúcim sklonom, erodovateľnosťou a príspevkovou plochou (Pohle a Jaeger, 2025).

Druhou skupinou sú malé retenčné a prehradzovacie prvky v dočasných erózných dráhach. Ich cieľom je znížiť lokálnu energiu prúdu, zachytiť časť sedimentu a predĺžiť kontakt vody s povrchom. Nejde o malé priehrady na trvalých tokoch. Vhodnosť je viazaná na drobné ryhy a profily, v ktorých možno zabezpečiť bočné zaviazanie, kontrolovaný preliv a stabilný výtok. Dlhodobé hodnotenie malých kamenných prehrádzok po požiari potvrdzuje, že ich účinok treba hodnotiť podľa stability, sedimentácie a vegetačnej obnovy, nie iba podľa objemu zachyteného sedimentu (Martínez Hontecillas *et al.*, 2024).

Tretím hydrologickým prvkom sú rozptyľovacie a vegetačné zóny pod výustami. Ich funkcia je často menej nápadná, ale zásadná: premeniť sústredený prúd na plošnejšie prúdenie

pred vstupom do erózne citlivého svahu alebo vodného toku. Ak voda z technického výtoku vstupuje priamo do ryhy, problém sa iba presunie. Preto sa technický návrh výustu posudzuje spolu s nižšie položenou vegetovanou plochou.

Pri retenčných a prehradzovacích prvkoch sa pred výberom overuje, či je možné problém riešiť vyššie v povodí. Ak sa koncentrovaný prítok vytvára na ceste, prednosť má úprava cesty a výustu pred stavbou série bariér v ryhe pod ňou. Bariéra má byť posledným článkom reťazca tam, kde prítok nemožno účinne obmedziť alebo rozptýliť vyššie v povodí a kde je potrebné znížiť energiu prúdenia, zachytiť sediment a stabilizovať eróznou ryhu.

Stabilizačné a bioinžinierske opatrenia sa vyberajú iba pre svahy, pri ktorých je dominantný povrchový alebo plytký mechanizmus poruchy. Vhodné môžu byť živé kolíky, fašiny, vegetované rohože, vrstvené výsadby alebo kombinované dreveno-kamenné prvky. Ich technickou výhodou je prechod od okamžitej fyzickej ochrany k rastúcemu biologickému účinku. Zároveň však vytvárajú časovo citlivé obdobie: vegetácia ešte nemusí byť zakorenená a dočasný prvok už môže byť poškodený eróziou alebo degradáciou (Bischetti *et al.*, 2021).

Pri výbere vegetačného materiálu sa neposudzuje iba schopnosť rýchlo vytvoriť zelený kryt. Rozhoduje kontakt so zeminou, vlhkosť stanovišťa, expozícia, schopnosť zakorenenia a kompatibilita s miestnou vegetáciou. Výsledky experimentov a terénnych aplikácií ukazujú, že účinnosť bioinžinierstva je výrazne stanovištne podmienená (Keybondori *et al.*, 2025). Preto je vhodné uprednostňovať miestne vhodný materiál a prispôbiť termín realizácie fenologickému oknu.

Pri svahu s možným hlbším pohybom sa výber zastaví pred technickým rozpracovaním. Takýto profil sa zaradí na doplňujúce geotechnické posúdenie. Prírode blízke opatrenie môže neskôr stabilizovať povrch alebo podporiť vegetačnú obnovu, ale nesmie zakryť základnú príčinu poruchy. Tento princíp je mimoriadne dôležitý v experimentálnej lokalite, kde je cieľom overovať použiteľnosť riešení, nie demonštrovať ich za každú cenu.

Bioinžiniersky zásah sa môže skladať z viacerých fáz. Najprv sa upraví odvodnenie a stabilizuje päta, následne sa osadia živé prvky a povrch sa dočasne chráni rohožou alebo mulčom. Až po overení ujatia vegetácie možno technickú časť považovať za podporenú biologickou funkciou. Takéto etapovanie je vhodné aj experimentálne, pretože umožňuje samostatne sledovať účinnosť jednotlivých fáz, vyhodnotiť ich vzájomnú nadväznosť a určiť, do akej miery postupne zakoreňujúca vegetácia preberá stabilizačnú funkciu technických prvkov.

Pestovné a obnovné opatrenia majú dlhší časový horizont než hydrologické a protierózne zásahy. Ich úlohou je obnoviť stabilný vegetačný kryt a vytvárať porastovú štruktúru, ktorá nebude opakovať rovnakú koncentráciu zraniteľnosti ako pred disturbanciou. Výber medzi prirodzenou obnovou, asistovanou obnovou a doplnením druhov sa preto viaže na stav regenerácie, semenný zdroj, zver, mikrostanovištia a očakávanú klimatickú vhodnosť.

Vo Vydrove nie je cieľom plošne nahradiť smrek jednou „odolnou“ drevinou. Takýto postup by iba presunul riziko do inej podoby. Wessely *et al.* (2024) ukazujú zužovanie klimaticky vhodného druhového priestoru a Pickering *et al.* (2025) priaznivú väzbu štrukturálnej diverzity na rezilienciu vo veľkej časti európskych lesov. Pre aplikáciu to znamená pracovať s funkčnou zmesou, priestorovou heterogenitou a postupnou obnovou, pričom konkrétna skladba musí vychádzať z miestnych stanovištných podmienok.

Požiarne opatrenia sa viažu na funkčné zóny: okolie ciest, prístupové trasy, miesta s vysokou kontinuitou jemného paliva a rozhrania, kde by šírenie požiaru mohlo ohroziť návštevníkov, technickú infraštruktúru alebo cenné porasty. Znižovanie paliva sa spája s udržiavaním priechodnosti, spracovaním zvyškov po pestovných zásahoch a vytváraním priestorovej diskontinuity. Experimentálne výsledky z iných lesných typov potvrdzujú, že kombinácia prered'ovania a redukcie povrchového paliva môže znižovať následnú závažnosť požiaru, účinok však závisí od počasia a stavu paliva (Brodie *et al.*, 2024).

Pestovné zásahy sa pri výbere posudzujú aj podľa možného vplyvu na vodu a pôdu. Náhle plošné otvorenie porastu môže zvýšiť radiačnú záťaž a presychanie, zatiaľ čo príliš hustá obnova môže zvyšovať konkurenciu o vodu a v určitých zónach aj kontinuitu paliva. Optimálny smer preto nemusí byť rovnaký na všetkých stanovištiach.

Výber opatrení sa preto uskutočňuje po funkčných zónach, nie podľa administratívneho členenia pozemku. Na jednej trase môže byť potrebné obnoviť priečny sklon cesty, o niekoľko desiatok metrov nižšie stabilizovať výust', v eróznej ryhe zaradiť nízku bariéru a na odkrytom svahu obnoviť vegetačný kryt. Tieto zásahy sa posudzujú ako jeden hydrologický reťazec. Ak sa vynechá výust' alebo stabilizácia nižšieho úseku, úspešný zásah na ceste môže zvýšiť zaťaženie ďalšieho miesta.

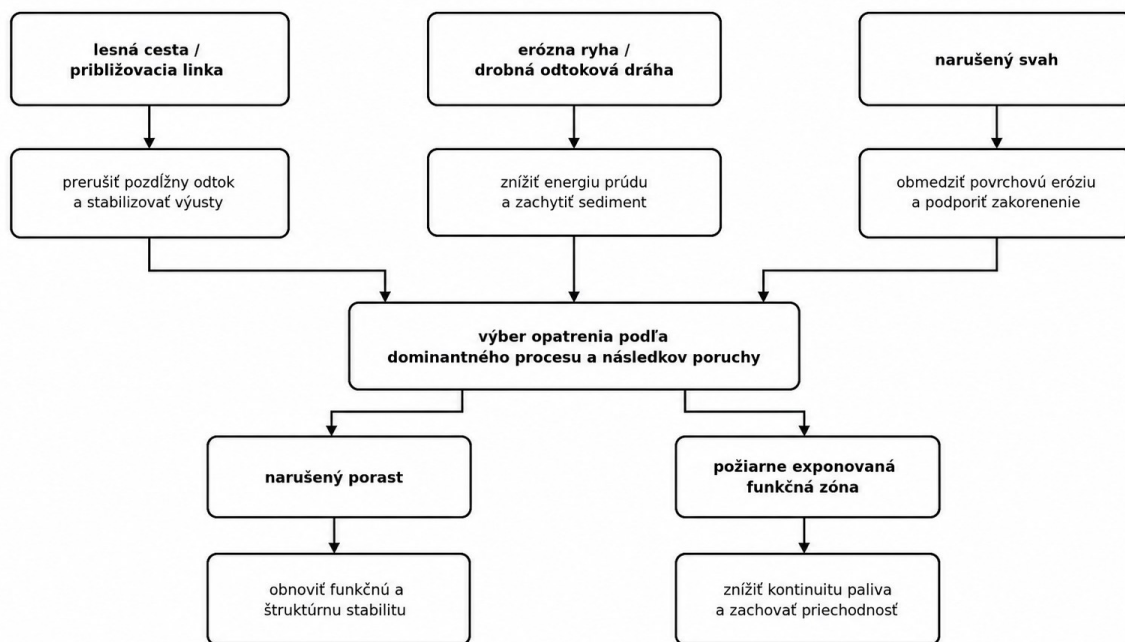
Podobne sa prepája pestovná a požiarne funkcia. Ponechanie prirodzenej obnovy môže byť vhodné z hľadiska pôdnej ochrany, ale pri hustej krovinnej vrstve v tesnom kontakte s cestou môže znižovať priechodnosť a zvyšovať kontinuitu jemného paliva. Riešením nie je plošné odstránenie vegetácie, ale diferenciácia: pri komunikácii sa udržiava bezpečný a priechodný pás, zatiaľ čo vo vnútri porastu sa podporuje obnova a štrukturálna pestrosť.

Pri prioritizácii má prednosť opatrenie, ktoré rieši aktívny proces a súčasne znižuje zaťaženie ďalších prvkov. Preto sú často vysoko prioritné úpravy odtoku na cestách a stabilizácia výustí. Malé retenčné prvky v ryhách majú význam až po overení, že prítok nie je možné rozptýliť vyššie. Bioinžinierstvo sa nasadzuje tam, kde vegetačná zložka môže reálne prevziať funkciu. Pestovné opatrenia tvoria dlhodobú vrstvu, ktorá má znižovať potrebu opakovaných technických zásahov.

Pri kombinovaných zásahoch sa posudzuje aj poradie realizácie. Najprv sa riešia procesy, ktoré by mohli poškodiť neskoršie opatrenia: nekontrolovaný odtok, nestabilná päta alebo aktívna erózna ryha. Až potom má zmysel zakladať vegetačný pás alebo vysádzať dreviny v priestore, ktorý by ďalšia erózna udalosť mohla zničiť. Technologická postupnosť tým obmedzuje riziko

sekundárneho poškodenia následne realizovaných prvkov a zvyšuje stabilitu, funkčnosť a dlhodobú účinnosť celého súboru opatrení.

Priestorovú logiku výberu základných skupín opatrení znázorňuje obrázok 6.4. Schéma zdôrazňuje, že rovnaká vizuálna forma poškodenia môže viesť k odlišnému opatreniu podľa dominantného procesu a následkov poruchy.



Obrázok 6.4 Funkčné zóny a logika výberu opatrení v experimentálnom území Vydrovo – Čierny Balog. Zdroj: Vlastné spracovanie.

Výsledkom výberu je súbor siedmich technických skupín: malé dreveno-kamenné retenčné a prehradzovacie prvky; priečne rozptyľovacie prvky na lesných cestách; stabilizované výuste a rozptyľovacie pásy; biotechnická stabilizácia svahov; vegetačné protierózne pásy; prírode blízke pestovné a obnovné opatrenia; a manažment vegetačného paliva a priechodnosti. Ich technické rozpracovanie uvádza podkapitola 6.4.

6.4. Technické riešenie navrhovaných opatrení

Technické riešenia TR-01 až TR-07 predstavujú návrhové skupiny prírode blízkyh opatrení vypracované pre podmienky experimentálneho územia Vydrovo – Čierny Balog. V čase spracovania publikácie neboli tieto opatrenia realizované. Uvedené technické parametre a technologické postupy majú preto návrhový charakter a nepredstavujú dokumentáciu skutočného vyhotovenia.

Technické riešenie vybraných opatrení nadväzuje na všeobecné zásady kapitoly 5, ale viaže ich na typické situácie identifikované vo Vydrove. Uvádzané rozmery a konštrukčné princípy predstavujú návrhový rámec pre príslušný typ lokality. Ak nie je doložený realizačný záznam konkrétneho objektu, nemožno ich interpretovať ako skutočne vykonaný rozmer. Každý realizovaný prvok musí byť následne prepojený s mapovým zákresom, realizačnou kartou a fotografickou dokumentáciou.

Spoločným princípom všetkých hydrologických opatrení je bezpečné správanie pri prekročení kapacity. Voda sa nesmie uzavrieť v priestore bez definovaného prepadu ani vyvieť na nestabilný svah. Spoločným princípom bioinžinierskych opatrení je časový prechod funkcie: technická časť musí zabezpečiť počiatočnú stabilitu dovtedy, kým sa vegetácia neujme. Pri pestovných zásahoch je obdobným princípom kontinuita krytu a minimalizácia plošného narušenia pôdy.

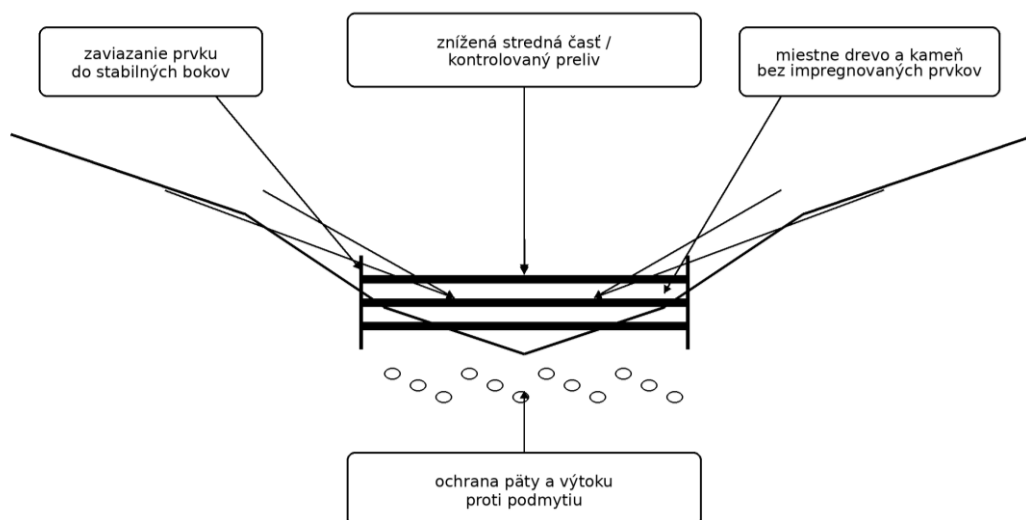
Materiálovo sa uprednostňuje miestne drevo, kameň a zemina, ak sú technicky vhodné a environmentálne bezpečné. Impregnované drevo sa do pôdy a vodných dráh nezaraďuje. Živý rastlinný materiál sa vyberá podľa stanovišťa a termínu realizácie. Rauch *et al.* (2022) upozorňujú, že ekologická vhodnosť druhu, spôsob odberu, skladovanie a kontakt s pôdou sú rovnako dôležité ako samotná geometria bioinžinierskeho prvku.

Pred realizáciou sa pre každý prvok stanoví kontrolný bod kvality. Pri bariére je to najmä založenie, bočné zaviazanie a preliv; pri ceste priečny profil a výtok; pri bioinžinierstve kontakt živého materiálu s pôdou; pri vegetačnom páse spojitosť krytu a spôsob prítoku. Kontrola kritického detailu je praktickejšia než všeobecné.

TR-01 – malé dreveno-kamenné retenčné a prehradzovacie prvky, je určené do drobných erózných rýh a dočasne aktívnych odtokových dráh. Účelom nie je vytvoriť nepriepustnú hrádzu, ale znížiť rýchlosť prúdenia, zachytiť časť sedimentu a vytvoriť stabilnejší pozdĺžny profil. V technickom návrhu pre experimentálne územie sa pri nízkych prvkoch uvažuje spravidla s výškou približne 0,3–0,8 m nad dnom; vyšší prvok vyžaduje individuálne statické a hydraulické posúdenie.

Prvok sa zaviaže do stabilných bokov a založí tak, aby sa obmedzilo podtekávanie. Stredná časť sa tvaruje ako kontrolovaný preliv, ktorý drží hlavný prúd mimo bočných kontaktov. Pri päte a pod prepacom sa navrhuje ochrana proti podmytiu – miestny kameň, drevená rohož alebo iný rozptyľovací prvok. Rozstup série bariér sa určuje podľa sklonu a pozdĺžneho profilu; praktickým cieľom je, aby jednotlivé stupne nevytvárali vysoké hydraulické skoky a hlboké výmole.

Konštrukčnú logiku schematicky znázorňuje obrázok 6.5. Ide o princíp, nie o výrobný výkres. Konkrétny profil musí zohľadniť šírku ryhy, únosnosť bokov, prítok, erodovateľnosť dna a prítomnosť transportovaného dreva alebo kameňa.



Obrázok 6.5 Schematický priečny profil malého dreveno-kamenného prehradzovacieho prvku pre drobnú eróznú dráhu. Zdroj: Vlastné spracovanie.

TR-02 – priečne rozptyľovacie prvky na lesných cestách, prerušujú pozdĺžny odtok po jazdnej stope alebo priekope a vyvádzajú vodu na stabilnú vegetovanú plochu. Môžu mať podobu zemného priečneho prahu, plytkého šikmého žľabu, drevenej odrážky alebo kamenného stabilizovaného prechodu. Výber formy sa prispôsobuje intenzite prevádzky a typu vozidiel. Prvok nesmie vytvoriť ostrú hranu, ktorá by zhoršovala prejazdnosť alebo zvyšovala riziko nehody.

Orientácia je šikmá voči osi cesty tak, aby voda plynule opustila jazdnú stopu. Rozstup sa znižuje s rastúcim pozdĺžnym sklonom, erodovateľnosťou povrchu a veľkosťou príspevkovej plochy. Pohle a Jaeger (2025) ukazujú, že práve rozstup odľahčovacích prvkov, typ odvodnenia a umiestnenie výtokov patria medzi kľúčové adaptačné parametre lesných ciest. Pre Vydrovo je preto vhodnejšie používať viac menších a kontrolovateľných výtokov než sústrediť odtok z dlhého úseku do jedného profilu.

Každý priečny prvok sa končí funkčným výtokom. Ak voda opustí cestu na odkrytý alebo nestabilný svah, technicky správna odrážka môže spustiť novú eróziu. Pred realizáciou sa preto preverí smer vody po výstupe, vegetačný kryt, vzdialenosť od toku a možnosť pravidelnej kontroly. Na dočasných približovacích trasách po ukončení využívania sa navyše odporúča obnoviť priečnu drenáž, lokálne uvoľniť zhutnenie tam, kde je to vhodné, a podporiť vegetačné zakrytie.

Údržba TR-02 spočíva najmä v obnove priečneho profilu a odstránení sedimentu alebo konárov, ktoré bránia odtoku. Pri frekventovanej ceste je potrebné sledovať aj mechanické rozjazdenie prvku. Ak sa voda opakovane vracia do koľaje, príčinou nemusí byť nedostatočná kapacita, ale deformácia vozovky alebo nevhodný uhol odrážky. Kontrola sa preto nemá obmedzovať iba na priechodnosť odvodňovacieho prvku, ale musí zahŕňať aj stav povrchu vozovky, zachovanie priečneho sklonu a správne smerovanie vody mimo komunikácie.

TR-03 – stabilizované výuste a rozptyľovacie pásy, nadväzuje na priečne odvodnenie. V mieste, kde voda opúšťa priekopu, priepust alebo žľab, má často najvyššiu lokálnu rýchlosť. Výusť preto musí prejsť z technického profilu na stabilný prírodný povrch bez náhleho vytvorenia eróznej ryhy. Riešenie môže kombinovať kamenný zához, hrubé drevo, vegetačný pás a rozptyľovaciu plochu.

Kritická je prechodová zóna medzi opevnením a prirodzeným povrchom. Ak sa kameň skončí ostrou hranou, erózia sa môže presunúť na koniec opevnenia. Preto sa zrnitosť a drsnosť menia postupne a prúd sa rozkladá na väčšiu šírku. Vegetačný pás funguje ako filtračný prvok iba pri rozptýlenom prítoku; pri úzkom sústreďenom prúde si voda vytvorí vlastnú dráhu a väčšina vegetácie zostane nevyužitá.

Rozptyľovacie pásy sa umiestňujú tak, aby voda nevstupovala priamo do Vydrovského potoka alebo iného recipientu s vysokou koncentráciou sedimentu. Šírka pásu sa neurčuje univerzálne; závisí od sklonu, pôdy, prítoku a hustoty vegetácie. Hydrologický účinok lesného krytu je mierkovo a stavovo podmienený, preto ani vegetačný pás nemá byť považovaný za automatickú náhradu správneho hydraulického riešenia výustu (Herath *et al.*, 2025).

Pri TR-03 sa sleduje, či sa rozptýlený prúd po niekoľkých metroch opäť nesústredí. Vegetačný povrch môže mať lokálne depresie alebo vyjazdené stopy, ktoré obnovia koncentrovaný odtok. Preto sa kontrola nekončí na hranici kamenného záhozu, ale pokračuje po dráhe vody až po stabilný povrch. V blízkosti recipientu sa osobitne posudzuje, či odtok nespôsobuje eróziu brehu, priamy prenos sedimentu do vodného toku alebo podmývanie výtokového úseku.

TR-04 – biotechnická stabilizácia svahov, je určená na povrchovú eróziu a lokálne plytké poruchy. Vhodnými prvkami sú živé kolíky, fašiny, vegetované rohože, vrstvené výsadby, keľové matrace a v odôvodnených prípadoch vegetované zrubové alebo kamenno-drevené prvky. Ich výber sa riadi mechanizmom poruchy a dostupnosťou vody pre rastlinnú zložku. Na suchom odkrytom svahu bez možnosti ujatia vegetácie nie je živý prvok vhodný iba preto, že je materiálovo dostupný.

Pri fascínach a živých prvkoch je rozhodujúci kontakt s pôdou a ochrana päty. Ak je spodná časť podmývaná, zakorenenie vyššie na svahu nemusí zabrániť poruche. Preto sa pri hydraulicky exponovaných miestach kombinuje vegetácia s odolnejšou inertnou päťou. Bischetti *et al.* (2021) zdôrazňujú potrebu časovo diferencovaného návrhu a Lann *et al.* (2024) ukazujú súčasné mechanické aj hydrologické účinky vegetácie. V praxi to znamená, že projekt musí popísať počiatočnú aj očakávanú dlhodobú funkciu.

Úspech závisí aj od termínu realizácie. Živé odrezky a prúty sa nesmú počas skladovania vysušiť a po osadení musia mať kontakt s vlhkým substrátom. Pri nevhodnom biologickom okne sa môže zvoliť dočasný mechanický kryt a vegetačná zložka doplniť neskôr. Terénne výsledky z lesných cestných svahov potvrdzujú, že bioinžinierske riešenia môžu znižovať eróziu, ale ich účinnosť je výrazne závislá od podmienok lokality a techniky realizácie (Keybondori *et al.*, 2025).

Pri TR-04 sa dokumentuje aj percento ujatia živých prvkov a priestorové rozloženie neúspechu. Rovnomerné odumretie môže indikovať nevhodný termín alebo nedostatok vody. Lokálne odumretie môže súvisieť s nedostatočným kontaktom so zeminou alebo s eróznym prúdom. Tento rozdiel je dôležitý pre nápravu: v prvom prípade sa mení biologická stratégia.

TR-05 – vegetačné protierózne pásy, sa využívajú na ochranu odkrytého povrchu, spomalenie plošného odtoku a zachytávanie jemného sedimentu. V experimentálnom území sú vhodné najmä pod cestnými násypmi, medzi narušenou plochou a vodnou dráhou a v miestach, kde sa voda po stabilizovanom výtoku rozptýli. Pás môže byť tvorený existujúcou vegetáciou, podporenou prirodzenou sukcesiou alebo cieľenou výsadbou.

Zásadnou podmienkou je plošný alebo slabo koncentrovaný prítok. Pri prúde sústreďenom v ryhe vegetačný pás neplní funkciu rovnomerne. V takom prípade sa najprv zaradi rozptyľovací prvok alebo sa upraví geometria výtoku. Vegetácia sa vyberá podľa pôdy, vlhkosti, svetla a predpokladanej údržby. V blízkosti ciest sa zároveň kontroluje rozhlád, priechodnosť a riziko vývratu alebo pádu drevín.

Pri dočasnej ochrane povrchu možno kombinovať vegetáciu s biodegradovateľnou rohožou alebo mulčom. Úlohou rohože je preklenúť obdobie pred zapojením vegetácie, nie trvalo niest ochrannú funkciu. Ak sa predpokladá pomalé klíčenie alebo extrémne vysychanie, degradácia materiálu môže predbehnúť biologickú stabilizáciu. Preto sa životnosť dočasného materiálu viaže na reálnu schopnosť lokality vytvoriť vegetačný kryt.

Vegetačný pás sa pri kontrole neposudzuje iba podľa pokryvnosti. Sleduje sa, či sediment vstupuje do pásu po celej šírke, kde sa ukladá a či nevzniká prierazová dráha. Pri dlhodobom vývoji sa môže účinnosť meniť s výškou vegetácie, akumuláciou organického materiálu a tvorbou mikrotopografie. Ak sa pás stane príliš hustým alebo sa v ňom nahromadí nadmerné množstvo sedimentu, môže dochádzať k sústreďovaniu odtoku a obtekaniu jeho okrajov. V takom prípade je potrebné obnoviť rovnomerné rozptýlenie prítoku, prípadne upraviť vegetáciu a odstrániť nadmerné nánosy bez narušenia ochrannej funkcie pásu..

TR-06 – prírode blízke pestovné a obnovné opatrenia, predstavuje dlhodobú časť návrhu. V kalamitou narušených častiach sa najprv hodnotí potenciál prirodzenej obnovy. Ak je dostatočná, druhovo a priestorovo vhodná, zásah môže spočívať v jej ochrane a diferencovanej starostlivosti. Ak je obnova chudobná, homogénna alebo tvorená druhmi s nízkou perspektívou, dopĺňa sa asistovaná obnova a cieľným výberom drevín.

Druhovú voľbu sa neopiera o jednu klimatickú projekciu ani o jednoduché nahradenie smreka. Wessely *et al.* (2024) ukazujú, že klimatická vhodnosť drevín sa počas životnosti porastu môže výrazne meniť. Pre Vydrovo je preto vhodná stratégia diverzifikácie rizika: viac druhov s odlišnými funkčnými vlastnosťami, priestorová heterogenita a postupná obnova, ktorá zachováva pôdny kryt. Štrukturálna diverzita môže zvyšovať rezilienciu, ale iba ak zodpovedá miestnemu ekologickému kontextu (Pickering *et al.*, 2025).

Pestovné opatrenia sa koordinujú s hydrologickými zásahmi. Pri výsadbe v blízkosti rozptyľovacích pásov sa volí vegetácia, ktorá stabilizuje pôdu a neblokuje prietok; v okolí ciest sa zachováva priechodnosť; v miestach s vysokou eróznou citlivosťou sa minimalizuje prejazd techniky. Mŕtve drevo sa ponecháva diferencovane podľa ekologickej funkcie, bezpečnosti a požiarneho rizika, nie plošne podľa jedného pravidla.

Obnovné plochy je vhodné rozdeliť na mikrostanovištia podľa vlhkosti, expozície, krytu a konkurencie. Hodnotenie úspechu sa potom nevykonáva iba priemernou hustotou obnovy za celú plochu, ale porovnaním jednotlivých mikrostanovišť. Takýto postup pomáha rozlíšiť, či neúspech súvisí s druhovou voľbou, so stanovištným stresom alebo s lokálnym narušením. Pre adaptívne riadenie obnovy je preto dôležité priebežne vyhodnocovať úspešnosť jednotlivých mikrostanovišť a na základe zistených príčin neúspechu upravovať druhové zloženie, spôsob obnovy a následnú starostlivosť.

TR-07 – manažment vegetačného paliva a priechodnosti, sa viaže na zóny, kde je potrebné znížiť kontinuitu paliva, umožniť kontrolu územia a zachovať prístup pre hospodársku alebo zásahovú techniku. Nejde o plošné „vyčistenie“ lesa. Cieľom je selektívne upraviť jemné palivo, palivové rebríky a zvyšky po zásahoch tam, kde ich priestorová poloha zvyšuje riziko alebo obmedzuje zásah.

V okolí ciest a prístupových trás sa udržiava prejazdny profil, kontroluje sa vegetácia pri výustiach a obmedzuje sa hromadenie ľahko zápalných zvyškov. Pri obnove porastu sa sleduje vznik súvislej krovinnej vrstvy, ktorá môže prepájať povrchové a korunové palivo. Zásah však nesmie zbytočne odkryť pôdu, zvýšiť eróziu alebo odstrániť biologicky cenné mŕtve drevo v častiach, kde nepredstavuje funkčný problém.

Výskum palivových zásahov ukazuje, že samotné preriedovanie bez spracovania vzniknutého povrchového paliva nemusí priniesť očakávané zníženie závažnosti požiaru. Brodie *et al.* (2024) preukázali najvýraznejší efekt kombinácie zníženia stromovej hustoty a redukcie povrchového paliva. Hoci ide o iný typ lesného ekosystému, princíp je prenositeľný: každá pestovná intervencia sa vo Vydrove hodnotí aj podľa toho, aké palivo po sebe zanechá a ako ovplyvní priechodnosť.

Pri TR-07 sa vedenie zásahových a kontrolných trás koordinuje s odvodnením. Pruh udržiavaný pre priechodnosť sa nesmie stať novou eróznou líniou. Ak sa vegetácia odstraňuje mechanicky, zvyšky sa nesústredia do priekopy alebo na výtok. Z požiarnebezpečnostného hľadiska je dôležité, aby redukcia paliva nevytvárala súvislé hromady jemného materiálu.

Technické skupiny sa v území nekombinujú mechanicky. Každá z nich má svoju primárnu funkciu, podmienku použitia a typický mechanizmus zlyhania. Pre realizačné rozhodovanie je preto vhodné používať súhrnnú technickú kartu, ktorej základnú logiku uvádza tabuľka 6.3.

Tabuľka 6.3 Súhrn technických skupín navrhovaných pre experimentálne územie Vydrovo – Čierny Balog.

Označenie	Primárna funkcia	Kľúčová podmienka	Hlavné riziko nesprávnej aplikácie
TR-01	spomalenie odtoku a zachytenie sedimentu v drobnej ryhe	bočné zaviazanie, kontrolovaný preliv, stabilná päta	obtekanie, podmytie alebo vytvorenie nepriepustnej hrádze
TR-02	prerušenie pozdĺžneho odtoku po ceste	bezpečný výtok na stabilný povrch	presun erózie z cesty na svah
TR-03	rozptýlenie koncentrovaného prúdu	plynulý prechod na vegetovaný/odolný povrch	erózia na konci opevnenia
TR-04	povrchová a plytká stabilizácia svahu	overený mechanizmus poruchy a ujatie vegetácie	použitie pri hlbokej nestabilite alebo podmytej päte
TR-05	ochrana povrchu a filtrácia sedimentu	plošný alebo rozptýlený prítok	prerazenie pásu koncentrovaným prúdom
TR-06	dlhodobá obnova odolnosti porastu	stanovištne a klimaticky vhodná obnova	reprodukcia homogénnej a zraniteľnej štruktúry
TR-07	zníženie palivovej kontinuity a zachovanie prístupu	funkčné zónovanie a pravidelná údržba	nadmerné odkrytie pôdy alebo ponechanie zvyškov ako nového paliva

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Tabuľka zároveň určuje, čo sa musí kontrolovať po realizácii. Údržba nie je samostatná neskoršia fáza, ale návrhová požiadavka. Prvok, ku ktorému nie je možné bezpečne prísť, vyčistiť ho alebo zdokumentovať po významnej udalosti, nie je vhodný pre lokalitu, hoci môže byť konštrukčne realizovateľný.

6.5. Technická dokumentácia

Technická dokumentácia je nevyhnutnou súčasťou aplikácie prírode blízkeho opatrenia. Bez jednoznačného prepojenia polohy, návrhu a skutočného vyhotovenia nie je možné neskôr rozlíšiť, či zmena v území súvisí s opatrením, prirodzeným vývojom alebo iným zásahom. V experimentálnom území preto dokumentácia neslúži iba ako realizačný doklad, ale aj ako referenčný vstup pre monitoring a odborné vyhodnotenie.

Minimálny dokumentačný súbor obsahuje identifikátor opatrenia, typ technického riešenia, lokalitu a súradnice, dátum realizácie, východiskový stav, rozhodujúce rozmery, použité materiály a množstvá, spôsob založenia alebo kotvenia, odchýlky od návrhu, fotografie pred realizáciou, počas nej a po dokončení, termín následnej kontroly a výsledok kontroly. Takáto štruktúra zodpovedá realizačnej karte uvedenej v technických podkladoch územia.

Pri hydrologických prvkoch sa navyše zaznamenáva smer prítoku a výtok, poloha prepadu a ochrany päty. Pri cestných opatreniach sa dokumentuje priečny a pozdĺžny sklon a miesto vyústenia. Pri bioinžinierstve sa zaznamenáva druh a pôvod živého materiálu, termín odberu

a osadenia a stav pri preberaní. Pri pestovných opatreniach sa dokumentuje priestorový rozsah, spôsob obnovy a intenzita zásahu.

Jednotný identifikátor opatrenia má byť použitý v názve fotografie, v atribútovej tabuľke GIS vrstvy aj v databáze kontroly. Praktický formát môže spájať typ riešenia, poradové číslo a rok realizácie. Cieľom nie je administratívna formalita, ale možnosť automaticky prepojiť rôzne dátové zdroje. Pri neskoršej analýze sa tak ku konkrétnemu.

Rozsah dokumentácie sa prispôsobuje typu opatrenia, ale musí umožniť jeho neskoršiu identifikáciu bez závislosti od osobnej pamäti realizátora. Pre experimentálne územie je vhodné používať jednotnú realizačnú kartu, ktorej základné polia sumarizuje tabuľka 6.4.

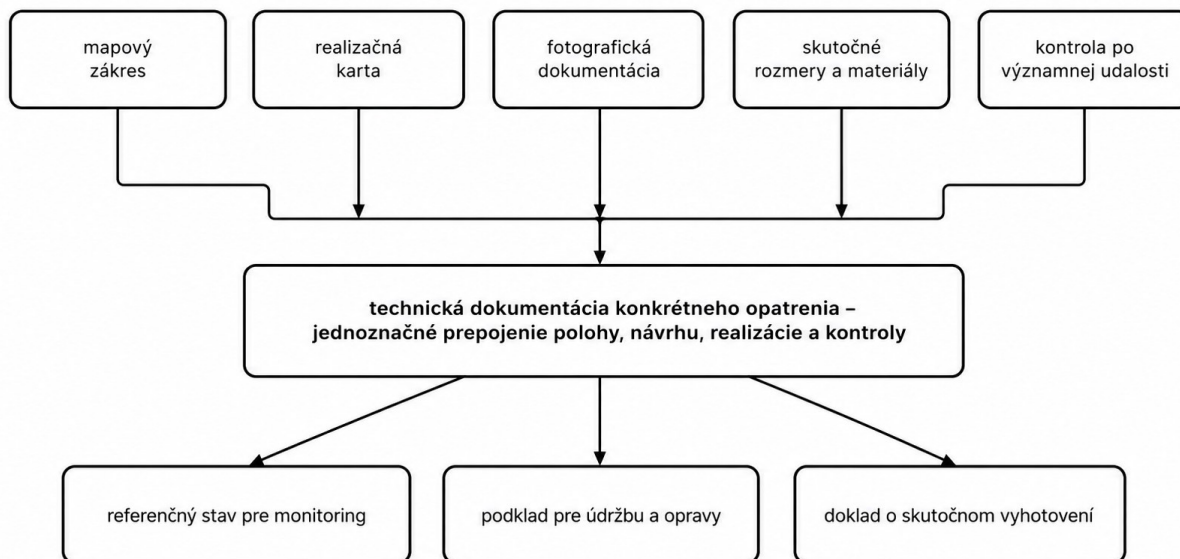
Tabuľka 6.4 Odporúčaná štruktúra realizačnej karty opatrenia.

Skupina údajov	Povinný obsah
Identifikácia	jedinečný kód, typ opatrenia, lokalita, súradnice, dátum
Východiskový stav	stručný opis procesu, fotografie, relevantné rozmery alebo profil
Návrh	účel, hlavná funkcia, konštrukčný princíp, očakávaný spôsob bezpečného prepadu/poruchy
Realizácia	skutočné rozmery, materiály a množstvá, založenie/kotvenie, použitá technológia
Odchýlky	zmena oproti návrhu, dôvod zmeny a odborné zdôvodnenie
Fotodokumentácia	pred realizáciou, počas kritických fáz, po dokončení; rovnaké referenčné smery
Kontrola	termín, zistený stav, podmytie/obtekanie/deformácia, sediment, vegetácia, potreba opravy
Väzba na monitoring	identifikátor najbližšieho monitorovacieho bodu alebo mapovej vrstvy, ak je relevantný

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Pri dokumentovaní sa nesmie zamieňať návrhový rozsah s údajom skutočného vyhotovenia. Napríklad návrhová výška TR-01 „spravidla 0,3–0,8 m“ nenahrádza záznam reálnej výšky konkrétného prvku. Rovnaké pravidlo platí pre počty, dĺžky, objemy materiálu a druhové zloženie vegetačnej časti.

Vzťah jednotlivých dokumentačných vrstiev znázorňuje obrázok 6.6. Kľúčové je, aby mapový zakres, realizačná karta a fotografie používali rovnaký identifikátor. Tým sa vytvorí sledovateľnosť od návrhu cez realizáciu až po kontrolu a monitoring.



Obrázok 6.6 Väzba mapovej, realizačnej, fotografickej a kontrolnej dokumentácie konkrétneho opatrenia.
Zdroj: vlastné spracovanie.

Fotografie sa robia z opakovateľných stanovišť. Pri erózných ryhách je vhodný pohľad proti smeru prúdenia a zhora na preliv; pri cestných výustiach pohľad na napojenie na cestu aj na nižší svah; pri vegetačných opatreniach detail zakorenenia a celkový pohľad na plochu. Ak sa využíva bezpilotné letecké snímkovanie, ortofoto alebo model povrchu sa prepojí s identifikátormi opatrení. Podrobnejšie požiadavky na bezpilotný monitoring sú predmetom kapitoly 6.

Kontrola po významnej zrážke sa sústreďuje na mechanizmy poruchy, ktoré boli predpokladané pri návrhu: bočné obtekanie, podmytie, deformáciu, zanesenie prepadu, akumuláciu dreva alebo sedimentu, poškodenie výtoku a stav vegetačnej časti. Výsledok sa eviduje bez ohľadu na to, či bola zistená porucha; aj záznam „bez zmeny“ je dôležitý pre časový rad.

Technická dokumentácia zároveň chráni interpretáciu experimentu pred nadmerným zovšeobecnením. Ak je opatrenie iba navrhnuté alebo demonštrované v modelovej podobe, musí byť tak označené. Ak bolo zrealizované, ale chýba skutočné zameranie alebo materiálový výkaz, výsledok monitoringu sa nemôže bez výhrady pripísať presne definovanej konštrukcii. Dostupné technické podklady preto správne požadujú, aby sa všeobecné technické rozsahy doplnili mapovými zakresmi, realizačnými kartami a fotografickými dôkazmi.

Rovnaká opatrnosť platí pri environmentálnom monitoringu. IoT systém vo Vydrove prepája meteorologické, pôdne a environmentálne požiarne merania a umožňuje vytvárať časové rady. Doteraz však dostupné obdobie nepostačuje na robustné sezónne alebo medziročné hodnotenie, preto sa v kapitole 5 nepoužívajú krátke rady ako dôkaz dlhodobej účinnosti. Slúžia na vytvorenie východiskovej databázy a na prevádzkové overenie monitorovacej infraštruktúry.

Experimentálne územie Vydrovo – Čierny Balog tak plní v monografii úlohu aplikačného premostenia. Ukazuje, ako sa typológia opatrení z kapitoly 3 a návrhové zásady z kapitoly 4 menia na konkrétny súbor technických rozhodnutí viazaných na terén. Ďalším krokom už nie je rozširovanie zoznamu opatrení, ale overovanie ich funkcie. Kapitola 7 preto nadväzuje návrhom monitorovacieho systému, meteorologickým a pôdnym monitoringom, bezpilotným leteckým sledovaním a kritériami technickej a prevádzkovej validácie.

Aplikačný rámec súčasne ostáva otvorený adaptívnej korekcii. Ak monitoring preukáže nové odtokové dráhy, opakované podmytie, slabé ujetie vegetácie alebo zmenu porastovej štruktúry, opatrenie sa nepovažuje za nemenný objekt. Upraví sa jeho geometria, údržba, vegetačná zložka alebo lokalizácia. Takýto postup zodpovedá základnej logike prírody blízkyh riešení: technický zásah sa musí vedieť prispôbiť dynamike živého systému a meniaceho sa zaťaženia.

7. Monitoring a hodnotenie účinnosti riešení

Realizáciou prírode blízkeho opatrenia sa návrhový proces nekončí. Jeho funkcia sa vyvíja spolu s vegetáciou, pôdnym prostredím, hydrologickými podmienkami a pôsobením opakovaných disturbancií. Monitoring preto nemožno chápať iba ako zber údajov o stave lokality. Predstavuje súčasť technického a environmentálneho riadenia opatrenia, ktorá má preukázať, či sa dosahuje očakávaný účinok, včas odhaliť vznikajúcu poruchu a poskytnúť podklady na údržbu alebo úpravu návrhu. V lesnom prostredí je osobitne dôležité zachovať porovnateľnosť medzi jednotlivými termínmi, pretože pozorované zmeny môžu byť výsledkom sezónnosti, rastu porastu, extrémnej udalosti alebo samotného zásahu. Harmonizované monitorovacie programy preto zdôrazňujú trvalú identifikáciu meracích miest, dokumentovanie metodiky a kontrolu kvality údajov (Ferretti *et al.*, 2021; UNECE ICP Forests, 2026).

Hodnotenie účinnosti musí spájať viac úrovní informácie. Meteorologické údaje opisujú podmienky, za ktorých opatrenie pracovalo; pôdne merania zachytávajú zmeny vodného a tepelného režimu a fyzikálnych vlastností; terénne prehliadky poskytujú informáciu o technickej integrite; bezpilotné letecké merania umožňujú sledovať priestorové zmeny povrchu a vegetácie. Samotný indikátor bez kontextu je nedostatočný. Napríklad zvýšená vlhkosť pôdy môže predstavovať želaný retenčný účinok, ale pri nevhodnom umiestnení aj prejav zamokrenia a straty stability. Rovnakým spôsobom nemusí pokles množstva sedimentu pod opatrením automaticky znamenať zníženie erózie, ak sa sediment iba dočasne akumuluje v inej časti systému.

V tejto kapitole je preto rozpracované monitorovanie ako integrovaný systém založený na východiskovom stave, opakovaných meraniach, dokumentácii významných udalostí a prevádzkovej validácii. Neurčuje univerzálnu súpravu zariadení ani jedinú frekvenciu merania. Rozsah monitoringu sa odvodzuje od dominantného procesu, cieľa opatrenia, následkov možnej poruchy a od časovej dynamiky ukazovateľa. Tento prístup nadväzuje na metodiku hodnotenia rizík a východiskového stavu z kapitoly 3, na typológiu opatrení z kapitoly 4 a na návrhové a technické zásady uvedené v kapitolách 5 a 6.

7.1. Návrh monitorovacieho systému

Monitorovací systém sa navrhuje od rozhodovacej otázky, nie od dostupného senzora. Prvým krokom je určiť, akú zmenu má opatrenie vyvolať a podľa akého dôkazu bude možné túto zmenu odlíšiť od prirodzenej variability. Pri retenčnom opatrení môže byť primárnym cieľom zníženie rýchlosti alebo koncentrácie odtoku, pri protieróznom opatrení obmedzenie odnosu pôdy, pri bioinžinierskom prvku udržanie stability do času, kým časť funkcie prevezme vegetácia. V každom prípade sa osobitne definujú ukazovatele stavu, ukazovatele procesu a ukazovatele výsledku. Takéto členenie znižuje riziko, že sa úspech bude posudzovať iba podľa vizuálneho vzhľadu opatrenia.

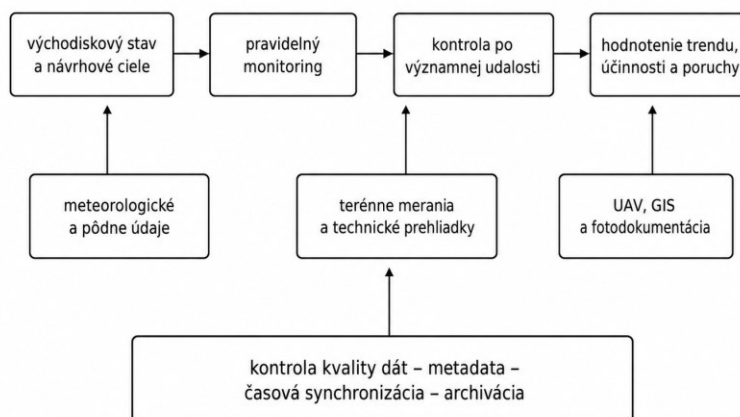
Východiskový stav musí byť zaznamenaný pred realizáciou alebo, ak to nie je možné, rekonštruovaný z najspoľahlivejších dostupných podkladov. Jeho úlohou je vytvoriť referenčný

rámec pre neskoršie porovnanie. Na trvalých monitorovacích plochách je výhodou opakované meranie tých istých bodov a objektov, čím sa znižuje časť variability spôsobená rozdielnou polohou vzorkovania. Tento princíp je pevnou súčasťou európskeho monitoringu lesov: meracie plochy, stromy a vzorkovacie miesta sa označujú tak, aby boli identifikovateľné v čase a aby bolo možné interpretovať opakované merania vo vzťahu k rovnakému objektu (Dobbertin *et al.*, 2025; Cools a De Vos, 2025).

Druhým rozhodnutím je priestorová mierka. Lokálny technický prvok môže vyžadovať centimetrovú dokumentáciu deformácie alebo odnosu, zatiaľ čo zmena vegetačného krytu či porastovej štruktúry sa hodnotí na ploche desiatok až stoviek metrov. Monitorovací návrh preto kombinuje bodové merania, transekty, plochy a priestorové snímkovanie. Dôležité je, aby mierka indikátora zodpovedala mierke procesu. Jediný pôdny senzor nemožno považovať za reprezentatívny pre heterogénny svah a jedna fotografia nemôže nahradiť priestorové hodnotenie eróznej siete.

Z časového hľadiska je účelné vytvoriť tri navzájom prepojené režimy: kontinuálny alebo vysokofrekvenčný záznam, pravidelné opakované merania a kontrolu vyvolanú významnou udalosťou. Kontinuálny záznam je vhodný pre rýchlo sa meniace veličiny, napríklad zrážky, teplotu, pôdnu vlhkosť alebo vodný stav. Pravidelné kampane sú primerané pre zmeny vegetačného krytu, priestorovú dokumentáciu povrchu, rast a technický stav prvkov. Kontrola viazaná na udalosť sa aktivuje po intenzívnej zrážke, povodni, silnom vetre, požiari, prudkom topení snehu alebo inom jave, ktorý mohol prekročiť bežné zaťaženie opatrenia. Meteorologický monitoring tak nie je samostatným výstupom, ale časovým kľúčom k interpretácii ostatných pozorovaní (Raspe *et al.*, 2025).

Vzťahy medzi jednotlivými vrstvami monitorovania schematicky znázorňuje obrázok 7.1. Jeho jadrom je prepojenie východiskového stavu s pravidelnými kontrolami a kontrolami po každej udalosti. Meteorologické a pôdne údaje, terénne merania a diaľkový prieskum vstupujú do spoločného hodnotenia až po kontrole kvality, časovej synchronizácii a priradení metadát.



Obrázok 7.1 Základná architektúra monitorovacieho systému na hodnotenie účinnosti prírody blízkyh opatrení. Zdroj: Vlastné spracovanie.

Kvalita údajov sa riadi počas celého životného cyklu merania. Kontrola nezačína až pri analýze dát, ale už pri definovaní meracej metódy, výbere zariadenia, kalibrácii, inštalácii, školení obsluhy a dokumentovaní zmien v konfigurácii. Ferretti *et al.* (2021) rozlišujú preventívnu zložku zabezpečenia kvality a následnú kontrolu splnenia požiadaviek na údaje. Pre monitorovanie prírody blízkych opatrení z toho vyplýva povinnosť viesť záznamy o polohe senzora, jeho výške alebo hĺbke, type merania, jednotke, časovom intervale, kalibračnom stave a každom zásahu, ktorý mohol ovplyvniť časovú radu.

Pri automatizovanom zbere sa musia priebežne kontrolovať výpadky, nereálne skoky, dlhodobé konštantné hodnoty, drift a časová nezhoda medzi zariadeniami. Pri terénnych meraniach je rovnako dôležité zaznamenať osobu, metódu, podmienky a prípadnú odchýlku od protokolu. Chýbajúca hodnota sa nesmie bez označenia nahradiť interpoláciou a údaj z poruchového senzora sa nesmie ponechať v časovej rade ako platné meranie. Harmonizované postupy ICP Forests spájajú kontrolné medze vierohodnosti s overovaním úplnosti údajov a dokumentovaním ich kvality, aby bolo možné rozlíšiť skutočnú extrémnu hodnotu od chyby merania (Raspe *et al.*, 2025; Ferretti *et al.*, 2021).

Pre návrh konkrétneho systému je užitočné vytvoriť maticu, v ktorej sa pre každý cieľ priradí indikátor, metóda, priestorová jednotka, interval, spúšťacia udalosť a spôsob kontroly kvality. Základnú štruktúru takejto matice uvádza tabuľka 7.1. Nejde o univerzálny zoznam povinných meraní; tabuľka ukazuje, aký typ dôkazu je potrebný na to, aby bolo možné interpretovať technickú a environmentálnu funkciu opatrenia v čase.

Tabuľka 7.1 Základné vrstvy monitorovacieho systému a ich úloha.

Vrstva monitoringu	Typické indikátory	Časové rozlíšenie	Hlavná úloha
Meteorologická	zrážka, teplota, vlhkosť vzduchu, vietor, žiarenie	minúty až hodiny; denná agregácia	charakterizovať zaťaženie a klimatický kontext
Pôdna	vlhkosť, teplota, matricový potenciál, fyzikálne vlastnosti	minúty až hodiny / periodické odbery	hodnotiť vodný režim a zmeny pôdneho prostredia
Technická	deformácia, zanesenie, erózia, stav výtokov a kotvenia	pravidelne a po udalosti	overiť integritu a funkčnosť prvku
Vegetačná	pokryvnosť, ujatosť, vitalita, štruktúra porastu	sezónne až ročne	sledovať preberanie biologickej funkcie
Priestorová	ortofotomapa, model povrchu, zmena reliéfu, koruny	periodické kampane	dokumentovať plošné zmeny a prepojiť bodové merania

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Ferretti *et al.* (2021), Raspe *et al.* (2025) a Cools a De Vos (2025).

Monitorovací plán musí obsahovať aj pravidlá zmeny vlastnej metodiky. Dlhodobý program sa nemá meniť pri každej novej technológii, pretože kontinuita meraní je sama osebe hodnotou. Zmena senzora, platformy alebo analytického postupu je prípustná, ak sa zdokumentuje prechod a podľa možnosti sa určitý čas prevádzkujú obe metódy paralelne. Tým vznikne prekryv potrebný na posúdenie systematického rozdielu. Podobný princíp harmonizácie je rozhodujúci aj v európskych monitorovacích sieťach, kde sa porovnateľnosť medzi rokmi a lokalitami považuje za základnú podmienku interpretácie (UNECE ICP Forests, 2026; Clarke *et al.*, 2011).

Pri hodnotení účinku treba od začiatku rozlišovať medzi detekciou zmeny a jej atribúciou opatreniu. Ak sa po realizácii zníži erózia, nemusí byť príčinou iba zásah; rozdiel môže súvisieť so slabšími zrážkami alebo s prirodzeným zarastením plochy. Ak je to možné, používajú sa referenčné plochy alebo porovnateľné úseky bez zásahu a vyhodnocujú sa súbežne s ošetrovanou lokalitou. Ak kontrola nie je možná, rastie význam kvalitného východiskového stavu a podrobného záznamu meteorologických podmienok. Monitorovací systém má preto zabezpečiť nielen čo najviac údajov, ale najmä údaje potrebné na správne vysvetlenie zmeny.

Výstupom návrhu monitorovacieho systému je monitorovací protokol. Obsahuje mapu meracích miest, identifikáciu zariadení, intervaly merania, pravidlá manuálnych kontrol, zoznam metadát, postup pri výpadku, formát archivácie a zodpovednosť za kontrolu údajov. Súčasťou má byť aj zoznam udalostí, po ktorých sa vyžaduje mimoriadna obhliadka. Takto nastavený systém vytvára základ pre nasledujúce špecializované vrstvy: meteorologický monitoring, monitoring pôdných podmienok, bezpilotné letecké merania a následné hodnotenie technickej účinnosti.

7.2. Meteorologický monitoring

Meteorologické podmienky predstavujú vstupné zaťaženie, voči ktorému sa účinnosť mnohých prírode blízkyh opatrení hodnotí. Bez informácie o zrážke, teplote, vlhkosti vzduchu a vetre nie je možné správne porovnávať obdobia s rozdielnym klimatickým priebehom. Pri opatreniach zameraných na vodný režim má osobitný význam intenzita a trvanie zrážky; pri vegetačnej obnove sa k nej pripája teplotný a vlhkosťný režim; pri požiarnom riziku vstupuje do interpretácie vietor, teplota a vysušovanie jemného paliva. Metodika preto sleduje nielen priemerné podmienky, ale aj extrémny a udalosti, ktoré môžu vyvolať poruchu alebo naopak preukázať funkčnosť opatrenia.

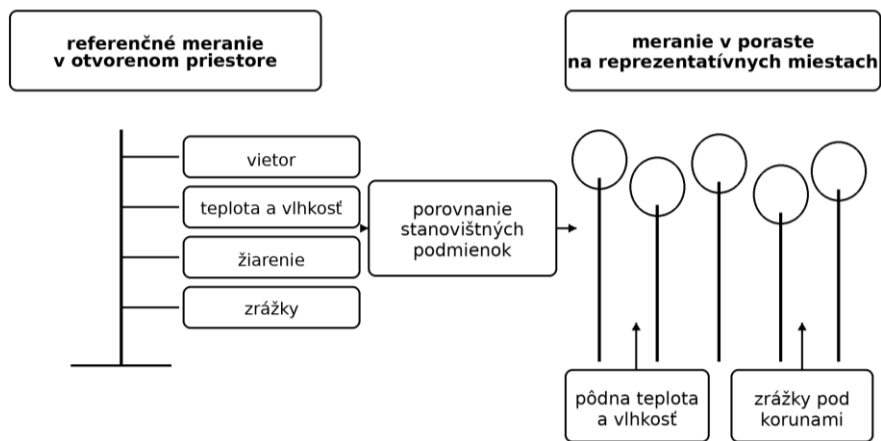
Miestna reprezentatívnosť je pri lesnom monitoringu zásadná. Meteorologická stanica vzdialená niekoľko kilometrov môže zachytiť regionálny priebeh počasia, ale nemusí reprezentovať nadmorskú výšku, expozíciu, reliéf ani mikroklimu konkrétneho lesného svahu. ICP Forests preto odporúča situovať meteorologické meranie čo najbližšie k sledovanej ploche pri zachovaní primeraného umiestnenia a dokumentovať rozdiely v nadmorskej výške a expozícii. Pri meraniach v poraste treba súčasne počítať s horizontálnou a vertikálnou heterogenitou, ktorá je výrazná najmä pri žiarení, vetre, zrážkach pod korunami a pôdnej vlhkosti (Raspe *et al.*, 2025).

Pre potreby hodnotenia opatrení je preto vhodné rozlíšiť referenčné meteorologické meranie a stanovištné meranie. Referenčná stanica charakterizuje atmosférické podmienky, ktoré pôsobia na lokalitu ako celok. Stanovištné snímače zachytávajú lokálne prostredie pod korunovým zápojom alebo priamo pri opatrení. Rozdiel medzi nimi je informačne cenný: ukazuje modifikáciu mikroklimy porastom a pomáha rozlíšiť, či zmena pôdnej vlhkosti súvisí s regionálnou zrážkou, s lokálnou redistribúciou vody alebo so zmenou vegetácie.

Základný súbor meteorologických veličín zahŕňa množstvo zrážok, teplotu vzduchu, relatívnu vlhkosť, globálne žiarenie, rýchlosť a smer vetra; podľa cieľa sa dopĺňa tlak vzduchu, zrážky pod korunami, teplota pôdy a pôdna vlhkosť. Aktuálna metodika ICP Forests zároveň stanovuje požiadavky na rozlíšenie a ciele kvality pre jednotlivé veličiny a odkazuje na zásady WMO pre výber prístrojov, umiestnenie, kalibráciu a údržbu (Raspe *et al.*, 2025; WMO, 2024). Pri aplikácii v menšom experimentálnom území je vhodnejšie zachovať stabilnú konfiguráciu a dobrú údržbu menšieho počtu kvalitných senzorov než prevádzkovať rozsiahlu sieť bez pravidelnej kontroly.

Zrážkomer sa umiestňuje tak, aby bol minimalizovaný vplyv prekážok, odstrelu a vetrom podmienenej chyby zachytenia. V lese môže byť potrebná paralelná informácia o zrážke v otvorenom priestore a o zrážke prenikajúcej cez koruny. Teplota a relatívna vlhkosť vyžadujú vhodný radiačný kryt a dostatočné prúdenie vzduchu; priame oslnenie snímača vedie k systematickému nadhodnoteniu teploty. Veterné meranie je citlivé na okolité prekážky a jeho interpretácia pod korunami je odlišná od merania nad porastom. Žiarenie sa pri hodnotení vegetačných procesov uplatňuje ako vstup do energetickej bilancie a evapotranspirácie.

Principiálne usporiadanie referenčného a stanovištného meteorologického merania znázorňuje obrázok 7.2. Schéma nepredpisuje konkrétny typ stanice ani výšku osadenia; tie sa určujú podľa sledovanej veličiny, lokality a platnej metodiky. Dôležitý je vzťah medzi referenčným atmosférickým signálom a mikroklimatickou odozvou v poraste.



Obrázok 7.2 Prepojenie referenčného meteorologického merania s meraním podmienok v lesnom poraste.

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa WMO (2024) a Raspe *et al.* (2025).

Samotné okamžité hodnoty meteorologických veličín majú obmedzenú interpretačnú hodnotu. Pre hodnotenie účinnosti opatrení sa z nich odvádzajú udalostné a integračné charakteristiky: úhrn a maximálna krátkodobá intenzita zrážky, počet po sebe nasledujúcich dní bez významnej zrážky, teplotné extrémny, priebeh relatívnej vlhkosti, veterné maximum a súhrnné energetické podmienky. Pri vodnom režime je potrebné spájať meteorologické údaje s pôdnou vlhkosťou a s informáciou o stave vegetácie. Raspe *et al.* (2025) zdôrazňujú využitie meteorologických časových radov na výpočet stresových indikátorov a vodnej bilancie, pričom na interpretáciu extrémov je potrebná dostatočná kvalita a úplnosť vstupných údajov.

Pri posudzovaní účinnosti sa odporúča definovať udalostné okná. Zrážková udalosť sa hodnotí spolu s predchádzajúcim stavom pôdy, pretože rovnaký úhrn môže pri suchej a nasýtenej pôde vyvolať rozdielnu odozvu. Podobne sa účinok vetra posudzuje vo väzbe na fenologický stav porastu a pôdnú vlhkosť. Cieľom nie je vytvárať všeobecný klimatologický archív, ale vybrať z meteorologických dát tie charakteristiky, ktoré vysvetľujú zaťaženie konkrétneho opatrenia a umožnia porovnať jeho správanie pri rôznych podmienkach.

Základné meteorologické veličiny a ich význam pre hodnotenie prírode blízkych opatrení sumarizuje tabuľka 7.2.

Tabuľka 7.2 Meteorologické veličiny relevantné pre interpretáciu účinnosti opatrení.

Veličina	Význam pre hodnotenie	Príklad odvodeného ukazovateľa
Zrážka	spúšťa odtok, eróziu, plnenie retenčných priestorov	úhrn udalosti, maximálna intenzita, predchádzajúci interval bez dažďa
Teplota vzduchu	ovplyvňuje evapotranspiráciu, fenológiu a vysušovanie	denné minimum/maximum, počet teplotne extrémnych dní
Relatívna vlhkosť	charakterizuje atmosférický deficit vody	kombinácia s teplotou pri hodnotení vysušovania
Vietor	zaťažuje porast a ovplyvňuje požiarne správanie	maximálna rýchlosť, smer pri významnej udalosti
Globálne žiarenie	ovplyvňuje energetickú bilanciu a vegetačnú aktivitu	denný súčet žiarenia
Zrážka pod korunami	vyjadruje modifikáciu zrážky porastom	pomer zrážky v poraste k referenčnej zrážke

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa WMO (2024) a Raspe *et al.* (2025).

Prevádzková kvalita meteorologickej siete sa kontroluje prostredníctvom pravidelných obhládok, čistenia, kontroly horizontality a upevnenia snímačov, overovania napájania, komunikácie a časovej synchronizácie. Kalibrácia a porovnanie s referenčným prístrojom sú potrebné najmä po výmene senzora alebo pri podozrení na drift. Zmena okolia stanice, napríklad dorastanie vegetácie, výrub, poškodenie porastu alebo nová prekážka, sa zaznamenáva ako metadátová udalosť, pretože môže meniť reprezentatívnosť merania bez zjavnej poruchy zariadenia (WMO, 2024; Raspe *et al.*, 2025).

Automatická validácia môže odhaliť hodnoty mimo fyzikálneho rozsahu, náhle skoky a neobvykle dlhé konštantné série, nemá však nahradiť odbornú kontrolu. Extrémna hodnota môže byť práve informáciou, ktorú monitoring potrebuje zachytiť. Preto sa pred vyradením vždy porovnáva s ďalšími veličinami, susednými stanicami a terénnym záznamom. Pri intenzívnej zrážke sa napríklad kontroluje súčasný nárast pôdnej vlhkosti, stav retenčných prvkov a fotodokumentácia po udalosti. Takéto prepojenie dátových vrstiev výrazne znižuje riziko nesprávnej interpretácie.

Pre ďalšie hodnotenie je vhodné uchovávať pôvodné vysokofrekvenčné údaje a oddelene vytvárať agregované denné súbory alebo súbory udalostí. Pôvodná séria umožňuje späť preveriť spracovanie a analyzovať krátke extrémny, zatiaľ čo agregované údaje uľahčujú porovnanie s terénnymi a bezpilotnými kampaniami. Meteorologický monitoring tak poskytuje časovú os, voči ktorej sa interpretujú zmeny pôdných podmienok, technickej integrity a vegetačnej odozvy.

7.3. Monitoring pôdných podmienok

Pôda je médiom, v ktorom sa pri mnohých prírode blízky opatreniach prejavuje hydrologický aj stabilizačný účinok. Zmena infiltrácie, akumulácie vody, zhutnenia alebo povrchovej erózie môže ovplyvniť úspešnosť vegetácie aj technickú bezpečnosť prvku. Monitoring preto kombinuje dynamické veličiny, ktoré sa menia v priebehu hodín až dní, s fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami meniacimi sa pomalšie. K prvej skupine patrí pôdna vlhkosť, teplota a podľa potreby maticový potenciál; k druhej objemová hmotnosť, zrnitosť, zloženie, retenčné vlastnosti, organický uhlík, pH a ďalšie parametre potrebné na interpretáciu stanovišťa (Cools a De Vos, 2025).

Návrh siete musí vychádzať z priestorovej heterogenity. Senzor umiestnený v terénnej depresii, pri kmeni alebo v bezprostrednej blízkosti výtoku môže vykazovať systematicky odlišné hodnoty od okolitej plochy. Preto sa meracie body rozmiestňujú tak, aby reprezentovali funkčné zóny: prítokovú časť, samotné opatrenie, priestor bezprostredne pod ním a referenčnú plochu. V prípade svahov sa zohľadňuje poloha po spádnicu, expozícia, hĺbka pôdy a kamenitosť. Harmonizované pôdne protokoly zdôrazňujú opakovateľnosť polohy a dokumentáciu odberových miest, pretože zmena miesta vzorkovania môže byť väčšia než skutočná časová zmena (Cools a De Vos, 2025).

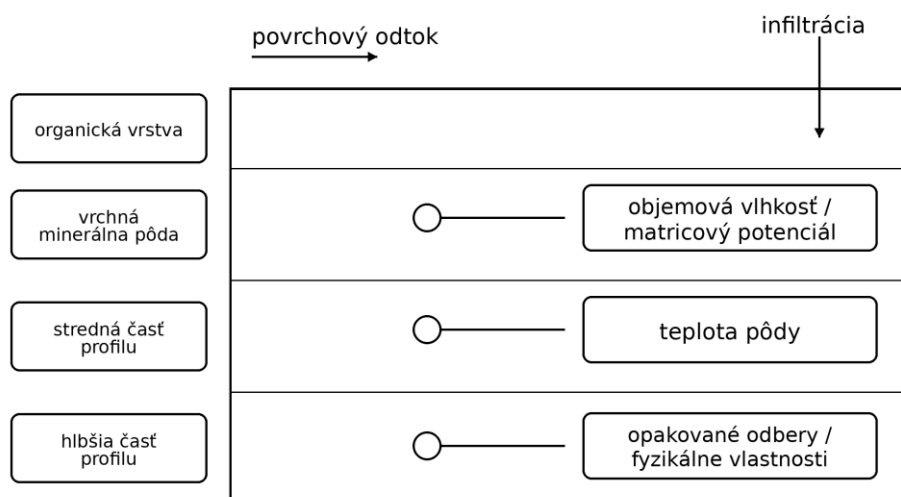
Pre hodnotenie vodného režimu je dôležité, aby merané hĺbky zodpovedali cieľu. Plytké snímače zachytávajú rýchlu odozvu na zrážku a vysychanie povrchu, hlbšie merania lepšie opisujú zásobu vody dostupnú koreňom a presun vody profilom. Univerzálna hĺbka preto nie je vhodná. Sensory sa umiestňujú podľa pôdneho profilu, koreňovej zóny a predpokladanej dráhy vody a ich poloha sa uvádza v metadátach spolu s typom pôdy a spôsobom inštalácie.

Objemová pôdna vlhkosť poskytuje informáciu o množstve vody v pôde, ale jej interpretačný význam závisí od textúry, objemovej hmotnosti a retenčnej charakteristiky. Rovnaká hodnota objemovej vlhkosti môže v piesočnatej a ílovitej pôde predstavovať odlišnú dostupnosť vody.

Matricový potenciál naopak vyjadruje energetický stav vody a je vhodný na posúdenie vodného stresu a smeru pohybu vody, pričom jednotlivé typy snímačov majú rozdielny rozsah a citlivosť. Pre podrobnejšie hodnotenie je preto vhodné kombinovať terénne meranie vlhkosti s laboratórnym alebo terénnym určením retenčných vlastností pôdy (Cools a De Vos, 2025).

Kontinuálne senzory musia byť inštalované s dobrým kontaktom s pôdou a bez vytvorenia preferenčnej dráhy vody pozdĺž výkopu alebo kábla. Po inštalácii sa zaznamená poloha, hĺbka, orientácia a miestne podmienky. Pri kamenitých pôdach sa uvádza aj miera, do akej bol bod reprezentatívny pre okolie. Zmena hodnoty sa posudzuje spolu s teplotou pôdy a zrážkou, pretože niektoré snímače môžu byť ovplyvnené teplotou alebo vysokým obsahom solí. V dlhých časových radoch sa kontroluje drift, neprirodzené skoky a rozdiel medzi paralelnými senzormi.

Schému kombinácie kontinuálnych meraní a opakovaných odberov v pôdnom profile znázorňuje obrázok 7.3. Zmyslom viacúrovňového prístupu nie je maximalizovať počet senzorov, ale zachytiť vertikálny gradient a zároveň vytvoriť podklady na fyzikálnu interpretáciu meraných hodnôt.



Obrázok 7.3 Koncepčné usporiadanie monitoringu pôdneho profilu. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Cools a De Vos (2025) a Raspe et al. (2025).

Pri protierózných a stabilizačných opatreniach sa monitoring pôdy rozširuje o fyzikálny stav povrchu. Sleduje sa vznik rýh, obnaženie koreňov, presun jemných častíc, sedimentácia, vývoj krusty, poškodenie ochranného krytu a lokálne zhutnenie. Na lesných cestách a približovacích linkách sa osobitne dokumentujú koľaje, funkcia odvodnenia a stabilita výtokov. Výsledky po ťažbových zásahoch ukazujú, že pokryv pôdy a priestorové usporiadanie ciest a približovacích trás výrazne ovplyvňujú eróznou odozvu, preto je potrebné kombinovať bodové merania s plošnou dokumentáciou (Parajuli et al., 2024, 2025).

Objemová hmotnosť a penetračný odpor môžu slúžiť ako indikátory zhutnenia, ale pri interpretácii treba zohľadniť prirodzené rozdiely medzi horizontmi a vlhkosť v čase merania. Zrinitostné zloženie je zvyčajne stabilnou vlastnosťou a používa sa najmä ako vysvetľujúci parameter. Organický uhlík, pH a živiny sa menia pomalšie a nie sú vhodné ako krátkodobý ukazovateľ technickej účinnosti; ich význam rastie pri dlhodobom hodnotení ekologických dopadov a obnovy pôdných funkcií. ICP Forests preto oddeľuje periodické pôdne prieskumy od kontinuálnych meraní pôdnej teploty a vody (Cools a De Vos, 2025).

Ak je cieľom hodnotiť retenčný účinok, vhodné je porovnávať dynamiku vlhkosti pred a za opatrením alebo medzi ošetrovou a referenčnou plochou. Dôležitá nie je iba maximálna hodnota po daždi, ale aj rýchlosť nárastu, doba zotrvania zvýšenej vlhkosti a následné vysychanie. Pri svahovej stabilite môže nadmerná a dlhotrvajúca saturácia predstavovať negatívny signál, preto sa retenčný efekt nikdy neposudzuje izolovane od odvodnenia a mechanizmu možnej poruchy.

Základnú zostavu pôdných indikátorov je potrebné prispôbiť dominantnému procesu. Pri vodnom režime sú kľúčové vlhkosť, teplota a retenčné vlastnosti; pri erózii pokryv povrchu, morfológia erózných foriem a množstvo zachyteného sedimentu; pri vegetačnej obnove sa k nim pridáva hĺbka zakorenenia a stav organickej vrstvy. Tabuľka 7.3 ukazuje praktické prepojenie indikátora s interpretačnou otázkou, nie univerzálnu povinnú schému merania.

Tabuľka 7.3 Pôdne indikátory a ich význam pri hodnotení účinnosti opatrení.

Indikátor	Metóda / forma záznamu	Interpretačný význam	Hlavné obmedzenie
Objemová pôdna vlhkosť	kontinuálny senzor v definovanej hĺbke	odozva na zrážku, retencia, vysychanie	silná priestorová variabilita; závislosť od pôdných vlastností
Matricový potenciál	tenziometrický alebo iný vhodný snímač	dostupnosť a energetický stav vody	obmedzený rozsah podľa typu senzora
Teplota pôdy	kontinuálne meranie	mikroklima, vegetačná aktivita, kontrola senzorov	závislosť od hĺbky a zatienenia
Objemová hmotnosť / zhutnenie	opakovaný odber alebo terénne meranie	vplyv prejazdu a obnovy pôdnej štruktúry	vysoká variabilita a citlivosť na metodiku
Erózne formy a sediment	profil, fotodokumentácia, odber, 3D model	účinnosť ochrany povrchu a záchytu sedimentu	udalostná povaha; presun sedimentu mimo meraný úsek
Chemické vlastnosti	laboratórny rozbor v dlhšom intervale	dlhodobý stav pôdných funkcií	pomalá odozva; nevhodné na krátkodobú technickú validáciu

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Cools a De Vos (2025), Parajuli et al. (2024, 2025).

Pri každom indikátore sa archivuje aj informácia o kvalite merania. Pôdny monitoring má najväčšiu výpovednú hodnotu vtedy, keď je časovo synchronizovaný s meteorologickými údajmi

a priestorovo previazaný s terénou alebo bezpilotnou dokumentáciou. Takto možno rozlíšiť, či zmena vyplýva z atmosférického zaťaženia, zo zmeny povrchu alebo zo samotnej funkcie opatrenia.

7.4. Bepilotný letecký monitoring

Bepilotné letecké prostriedky (UAV) dopĺňajú bodové merania o priestorovo súvislú dokumentáciu. Ich hlavnou výhodou pri monitorovaní lesných opatrení je veľmi vysoké priestorové rozlíšenie a možnosť opakovať zber nad rovnakou lokalitou po realizácii, po vegetačnej sezóne alebo po významnej udalosti. RGB snímkovanie je vhodné na tvorbu ortofotomáp a fotogrametrických modelov povrchu; multispektrálne senzory rozširujú hodnotenie o spektrálnu odozvu vegetácie; bepilotný LiDAR poskytuje trojrozmerné údaje o štruktúre porastu a terénu aj tam, kde fotogrametria naráža na nedostatok textúry alebo na komplikovaný zápoj.

UAV monitoring však nenahrádza terénnu validáciu. Vysoké rozlíšenie môže vytvárať dojem presnosti, ktorý nezodpovedá skutočnej geometrickej alebo tematickej správnosti produktu. Pri lesnom monitoringu sa preto musí oddeľovať rozlíšenie obrazu od presnosti polohy a od presnosti odvodeného indikátora. Leidemer *et al.* (2025) pri opakovanom diaľkovom monitorovaní zdravotného stavu lesa ukazujú význam presného priestorového zberu pre porovnávanie časových etáp; Reinosch *et al.* (2025) zároveň na veľkoplošných produktoch Sentinel-2 preukazujú, že hodnotenie presnosti musí pokrývať rozdielne typy, veľkosti a intenzity disturbancií.

Pre monitorovanie opatrení je preto rozhodujúca reprodukovateľnosť letu a spracovania. Opakované kampane by mali mať porovnateľnú výšku letu, prekryv, smer línií, konfiguráciu kamery, georeferenčný systém a podľa možnosti podobné svetelné a fenologické podmienky. Zmenu metodiky je potrebné zdokumentovať, inak môže byť časť zistenej zmeny artefaktom rozdielného zberu. Pri porovnávaní vegetácie je osobitne dôležitý fenologický termín; pri hodnotení reliéfu alebo erózných foriem môže byť výhodné obdobie s obmedzeným vegetačným krytom.

Plán letu sa odvodzuje od požadovaného výsledného produktu. Pre detailnú dokumentáciu technického prvku alebo eróznej ryhy je potrebné menšie priestorové rozlíšenie než pri mapovaní porastovej štruktúry na väčšej ploche. Nadbytočne nízky let zvyšuje počet snímok, nároky na spracovanie a riziko geometrických problémov bez primeraného informačného zisku. Pri fotogrametrii sa zabezpečuje dostatočný pozdĺžny a priečny prekryv, aby bolo možné spoľahlivo rekonštruovať povrch. V členitom lesnom teréne sa zohľadňuje zmena výšky nad povrchom a bezpečná vzdialenosť od korún.

Georeferencovanie sa rieši kombináciou palubnej polohy a nezávislých referenčných bodov alebo kontrolných bodov podľa požadovanej presnosti. Ak sa hodnotí centimetrová deformácia, nestačí, že dva ortofotoplány vizuálne vyzerajú správne; musí sa preukázať ich vzájomná registrácia. Pri dlhodobej časovej rade sa uchováva stabilná sústava referenčných bodov mimo

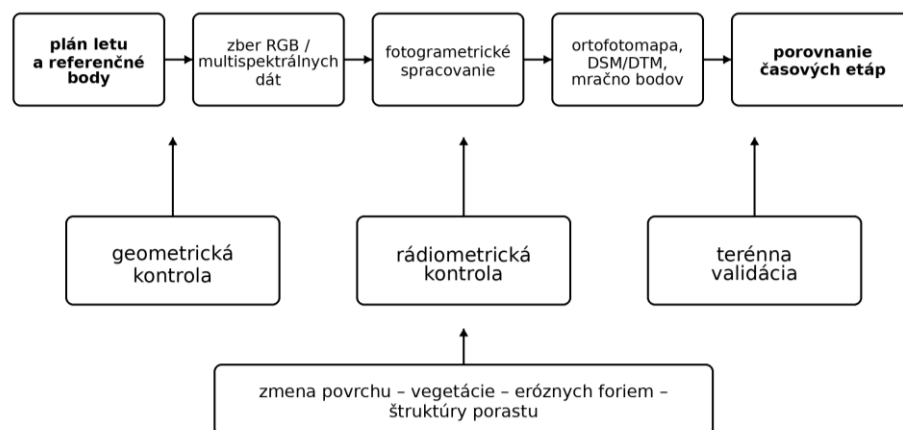
zóny očakávanej deformácie. Pri spektrálnom monitoringu sa navyše zaznamenávajú svetelné podmienky a používa sa vhodná rádiometrická kalibrácia, aby rozdiel medzi letmi nebol spôsobený iba zmenou osvetlenia.

Optické družicové údaje môžu UAV kampane dopĺňať na väčšej priestorovej a časovej škále. Sentinel-2 poskytuje 13 spektrálnych pásiem, 10 až 60 m priestorové rozlíšenie podľa pásma a vysokú frekvenciu opakovania, čo umožňuje sledovať širší kontext zmien vegetácie a disturbancií (ESA, 2026). Schiller *et al.* (2024) ukázali využiteľnosť časových radov Sentinel-2 na detekciu lesných disturbancií v strednej Európe. Pre lokálnu technickú validáciu však satelitné údaje spravidla neposkytujú potrebný detail, a preto plnia skôr doplnkovú úlohu.

Spracovanie RGB snímok typicky zahŕňa fotogrametrickú rekonštrukciu, aerotrianguláciu, tvorbu hustého mračna bodov, digitálneho modelu povrchu a ortofotomapy. Ak je dostupný spoľahlivý model terénu, rozdiel modelu povrchu a terénu možno použiť na odvodenie výšky vegetácie. Pri LiDAR-e vzniká mračno bodov priamo meraním vzdialenosti a následne sa klasifikujú body terénu a vegetácie. V oboch prípadoch je potrebné dokumentovať parametre filtrácie, interpolácie a rozlíšenie výsledného rastra, pretože zmena týchto nastavení ovplyvňuje porovnateľnosť medzi kampaňami.

Pri hodnotení erózie a technických prvkov je účinná analýza rozdielu digitálnych modelov povrchu. Pred odčítaním dvoch epoch sa však musí overiť ich geometrická zhoda a odhadnúť minimálna zmena, ktorú je možné spoľahlivo odlíšiť od chyby modelu. Pri vegetácii sa z RGB a multispektrálnych údajov môžu odvodzovať pokryvnosť, medzery v zápoji, spektrálne indexy alebo segmentácia korún. Tieto indikátory majú význam iba vtedy, ak sú kalibrované a validované terénnymi pozorovaniami a ak sa pri interpretácii zohľadní fenológia.

Celý pracovný postup od plánovania letu po zmenu medzi dvoma časovými etapami znázorňuje obrázok 7.4. V schéme sú geometrická, rádiometrická a terénna kontrola zaradené ako paralelné podmienky kvality, nie ako voliteľný krok na konci spracovania.



Obrázok 7.4 Pracovný postup bezpilotného leteckého monitoringu pre opakované hodnotenie zmien.
Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Leidemer *et al.* (2025), Schiller *et al.* (2024) a Reinosch *et al.* (2025).

Tematická presnosť je pri automatizovanom spracovaní rovnako dôležitá ako geometrická presnosť. Ak algoritmus klasifikuje poškodenú vegetáciu, eróznou plochu alebo koruny stromov, výsledok sa overuje na nezávislej vzorke. Celková presnosť sama osebe môže byť zavádzajúca pri výrazne nevyvážených triedach. Reinosch *et al.* (2025) ukázali, že veľmi vysoká celková presnosť mapy disturbancií môže súvisieť s dominanciou neporušenej triedy, zatiaľ čo presnosť pre samotnú disturbanciu je nižšia a mení sa podľa typu a veľkosti poškodenia. Rovnaká zásada platí aj pri lokálnych UAV produktoch.

Pri opakovanom monitoringu je preto vhodné archivovať nielen finálne ortofotomapy, ale aj pôvodné snímky, letový protokol, súradnice kontrolných bodov, parametre spracovania, mračno bodov a informácie o presnosti. Takýto archív umožňuje v budúcnosti spracovanie zopakovať alebo zjednotiť staršie dáta s novou analytickou metódou. V prípade zmeny softvéru sa pri dôležitých časových radoch odporúča preveriť, či nový postup nevytvára systematický posun v modeloch výšky alebo v spektrálnych produktoch.

Bezpilotný monitoring je najhodnotnejší pri prepojení s ostatnými vrstvami. Zmena eróznej ryhy sa interpretuje spolu so zrážkovou udalosťou a pôdnou vlhkosťou; vývoj vegetácie sa porovnáva s terénou vitalitou a s technickým stavom opatrenia; zmena porastovej štruktúry sa viaže na záznam zásahov a disturbancií. Takto vzniká priestorovo a časovo zosúladený dôkaz, ktorý možno použiť pri hodnotení technickej účinnosti.

7.5. Hodnotenie technickej účinnosti

Technická účinnosť vyjadruje, do akej miery opatrenie plní funkciu, pre ktorú bolo navrhnuté, pri zachovaní prijateľného technického stavu a bez vzniku neakceptovateľných vedľajších účinkov. Pri prírode blízkyh riešeniach sa preto posudzuje viac než neporušenosť konštrukcie. Drevená prehrádzka môže zostať mechanicky stabilná, ale ak sa tok presmeruje do nestabilného brehu, funkčný výsledok je nevyhovujúci. Naopak, čiastočná deformácia biologického prvku nemusí byť poruchou, ak sa vegetácia úspešne zakorenila a systém si zachoval požadovanú retenčnú alebo protieróznou funkciu.

Hodnotenie sa odporúča rozdeliť na tri úrovne: technickú integritu, procesnú účinnosť a biologickú alebo ekosystémovú odozvu. Technická integrita zahŕňa stabilitu, kotvenie, prietočnosť, stav výtokov, opotrebenie a poškodenie. Procesná účinnosť sleduje zníženie rýchlosti odtoku, erózie, transportu sedimentu, koncentrácie paliva alebo iného dominantného procesu. Biologická odozva hodnotí ujatosť a vitalitu vegetácie, tvorbu koreňového systému a postupné preberanie funkcie živou zložkou. Oddelenie týchto úrovní umožňuje rozlíšiť, či problém vznikol technickou poruchou alebo pomalším ekologickým vývojom.

Pri každom indikátore sa vopred definuje referenčný stav a smer žiaducej zmeny. Ak je možné vytvoriť kontrolnú plochu, zvyšuje sa schopnosť oddeliť účinok opatrenia od regionálnych podmienok. Pri procesoch výrazne ovplyvnených vzniknutou udalosťou sa porovnávajú podobne silné udalosti alebo sa hodnotí odozva voči veľkosti zaťaženia. Dlhodobé štúdie malých

kamenných prehrádzok po požiaroch ukazujú, že účinnosť sa môže meniť v čase a prejavovať sa súčasne v morfológii koryta, sedimente, pôde aj vegetácii; jediný indikátor preto nedokáže vystihnúť celý účinok (Martínez Hontecillas *et al.*, 2024).

Súbor ukazovateľov sa odvodzuje od typu opatrenia a mechanizmu jeho pôsobenia. Retenčné opatrenie sa neposudzuje iba podľa prítomnosti vody, ale aj podľa bezpečného pretečenia, sedimentácie a stability brehov. Protierózne riešenie sa hodnotí podľa zmeny odkrytej pôdy, dĺžky a objemu erózných foriem a podľa transportu sedimentu pod lokalitou. Pri lesnej ceste sa sleduje súvislosť pozdĺžneho odtoku, stav priepustov, priečných odvodnení a výtokov. Požiarne opatrenia sa posudzujú podľa kontinuity a množstva paliva, priechodnosti a udržateľnosti údržby, nie iba podľa jednorazového vyčistenia pásu (Brodie *et al.*, 2024).

Pri technickom hodnotení je vhodné oddeliť okamžitú funkciu po realizácii od funkcie po čase. Bioinžinierske riešenie môže mať v prvej sezóne väčšiu závislosť od inertnej zložky a neskôr od vegetácie. Kontrolný protokol preto nesmie používať identické kritériá v každej fáze životného cyklu. V prvých mesiacoch sa dôraz kladie na osadenie, kontakt s pôdou, kotvenie a ujatnosť; neskôr na stabilitu, eróziu okolia, vývoj vegetácie a degradáciu dočasných prvkov.

Príklady indikátorov technickej účinnosti sumarizuje tabuľka 7.4.

Tabuľka 7.4 Príklady indikátorov technickej účinnosti podľa dominantnej funkcie opatrenia.

Skupina opatrenia	Primárny proces	Indikátory účinnosti	Signál možnej poruchy
Retenčné a vodohospodárske	spomalenie a akumulácia vody	doba retencie, rozsah zaplavenia, sedimentácia, stabilita výtoku	nekontrolované pretečenie, erózia hrádze alebo brehu, trvalé zamokrenie
Protierózne	obmedzenie odnosu pôdy	pokryvnosť, zmena ryhy, objem sedimentu, stabilita povrchu	nové ryhy, podtečenie rohože, koncentrácia odtoku
Bioinžinierske	stabilizácia povrchu a plytkej vrstvy	deformácia, zakorenenie, vitalita, stav päty a kotvenia	odtrhnutie, podmytie, odumieranie živých prvkov
Lesné cesty	prerušenie a bezpečné odvedenie odtoku	funkcia priečných prvkov, priekop a výtokov	zanesenie, sústredený odtok, erózia výtoku
Požiarne	zníženie kontinuity paliva	pokryv a výška paliva, štruktúra pásu, priechodnosť	zarastanie, akumulácia suchej biomasy, nepriechodnosť

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Martínez Hontecillas *et al.* (2024), Parajuli *et al.* (2024, 2025) a Brodie *et al.* (2024).

Kvantitatívne hodnotenie môže používať relatívnu zmenu indikátora, ak má ukazovateľ jednoznačný smer a nenulovú referenčnú hodnotu. Praktický index zníženia možno zapísať ako $E = 1 - X_I/X_0$, kde X_0 predstavuje referenčnú hodnotu a X_I hodnotu po realizácii

alebo po udalosti. Kladná hodnota potom vyjadruje zníženie sledovaného javu. Takýto index však nesmie byť používaný mechanicky. Ak je napríklad cieľom udržať určitú pôdnu vlhkosť, pokles nie je automaticky pozitívny; smer žiadanej zmeny musí byť stanovený pre každý indikátor samostatne.

Ak je dostupná referenčná plocha, účinok možno posudzovať ako rozdiel zmien: $\Delta\Delta = (X_{op,1} - X_{op,0}) - (X_{ref,1} - X_{ref,0})$. Tento postup pomáha odstrániť časť regionálnej zmeny, ktorá zasiahla ošetrovanú aj referenčnú plochu. Výsledok však ostáva závislý od toho, či je referenčná plocha skutočne porovnateľná. V heterogénnom lesnom teréne sa preto pred realizáciou dokumentujú pôdne, topografické a porastové rozdiely a pri interpretácii sa uvádza neistota.

Pre priestorové indikátory sa vyhodnocuje plocha, objem alebo dĺžka zmeny. Rozdiel digitálnych modelov môže poskytnúť objem erózie a akumulácie sedimentu, pokiaľ je geometrická chyba podstatne menšia než sledovaná zmena. Pri vegetačných ukazovateľoch je možné sledovať pokryvnosť alebo výšku, ale výsledok sa viaže na fenologický termín a na kvalitu klasifikácie. Technická účinnosť sa preto nevyjadruje jedným percentom pre celé opatrenie; výsledkom je súbor ukazovateľov s uvedenou mierou neistoty a s vysvetlením, ku ktorej funkcii sa vzťahujú.

Najvyššiu výpovednú hodnotu má hodnotenie po udalosti, ktorá opatrenie reálne zaťažila. Po intenzívnej zrážke sa porovnáva záznam zrážkomera, predchádzajúca pôdna vlhkosť, rozsah odtoku, erózne zmeny a technický stav. Po vetrovej udalosti sa dokumentuje poškodenie porastu a prístupových trás. Po požiari sa hodnotí strata vegetačného krytu, zmena palivového prostredia, erózne riziko a funkčnosť ochranných pásov. Brodie *et al.* (2024) ukázali, že účinok palivových zásahov treba posudzovať aj pri náročných podmienkach požiarneho počasia; analogicky aj pri hydrologických opatreniach je rozhodujúce, ako sa systém správa pri udalosti blízkej návrhovému zaťaženiu.

Pri erózných opatreniach majú význam kombinované dôkazy. Parajuli *et al.* (2024) hodnotili pôdny kryt, eróziu a realizáciu opatrení po ťažbe, zatiaľ čo Parajuli *et al.* (2025) využili vysokorozlišovacie snímkovanie, GIS a hlboké učenie na priestorové odhady erózie. Takéto spojenie terénneho a diaľkového monitoringu je vhodné aj pri lokálnych prírode blízkyh zásahoch: UAV ukáže priestorový rozsah zmeny, terénne meranie poskytne fyzikálnu alebo technickú interpretáciu a meteorologický záznam definuje zaťaženie.

Výsledok hodnotenia sa formuluje tak, aby bol použiteľný pre rozhodovanie. Nestačí konštatovať, že opatrenie je „účinné“ alebo „neúčinné“. Uvedie sa, pri akom zaťažení bolo pozorované, ktoré funkcie boli splnené, ktoré indikátory zostali bez zmeny, aké poruchy sa objavili a či si vyžadujú údržbu alebo zmenu návrhu. Takto pripravené hodnotenie vytvára podklad pre prevádzkovú validáciu.

7.6. Prevádzková validácia

Prevádzková validácia overuje, či je opatrenie schopné dlhodobo fungovať v reálnych podmienkach, nielen bezprostredne po realizácii. Zahŕňa odovzdávaciu kontrolu, pravidelné prehliadky, mimoriadne kontroly po významných udalostiach a spätnú väzbu do údržby a návrhu. Pri prírode blízkyh riešeniach je osobitne dôležité rozlišovať medzi prirodzeným vývojom a poruchou. Rast vegetácie, sedimentácia alebo čiastočná zmena tvaru môžu byť súčasťou očakávaného vývoja, kým zmena odtokovej dráhy, podmytie, strate kotvenia alebo odumretie kľúčovej vegetácie predstavujú signál potreby zásahu.

Prvá validácia sa vykonáva po dokončení opatrenia. Overí sa skutočná poloha, rozmery, použité materiály, bezpečné napojenie na okolie, stav výtokov, vegetačné osadenie a súlad s realizačnou dokumentáciou. Tento stav sa fotograficky a geodeticky zdokumentuje ako referenčná etapa. Následná prehliadka po prvom významnom zaťažení je obzvlášť cenná, pretože odhalí problémy, ktoré pri odovzdaní nemusia byť viditeľné: presakovanie, lokálne podmytie, usadzovanie sedimentu, poškodenie povrchu alebo presmerovanie vody.

Rutinný interval prehliadok sa určuje podľa následkov možnej poruchy, dostupnosti lokality a rýchlosti zmien. Kritický prvok nad cestou alebo inou infraštruktúrou vyžaduje vyššiu frekvenciu než opatrenie s malým následkom poruchy. Naopak, udalostná kontrola sa viaže na definovaný spúšťač jav, nie na kalendár. Prevádzkový plán preto obsahuje zoznam udalostí a prahov, po ktorých sa vykoná mimoriadna kontrola, a zároveň určuje, kto kontrolu vyhodnotí a ako sa výsledok zaznamená.

Porucha sa klasifikuje podľa závažnosti a podľa toho, či ohrozuje funkciu, bezpečnosť alebo iba znižuje životnosť. Menšia lokálna erózia môže byť riešená pri bežnej údržbe, zatiaľ čo progresívne podmytie, strata stability alebo zablokovanie bezpečného pretečenia vyžadujú okamžitú reakciu. Pri vegetačných prvkoch sa hodnotí, či výpadok rastlín prekračuje schopnosť prirodzenej obnovy a či tým zaniká plánovaná funkcia. Rozhodovanie sa má opierať o trend a príčinu, nie iba o vizuálnu závažnosť jednej fotografie.

Praktický rámec prevádzkovej reakcie môže využívať tri úrovne: bez zásahu, plánovaná údržba a okamžitá nápravná intervencia. Zaradenie sa odvodzuje od rozsahu poruchy, pravdepodobnosti ďalšieho rozvoja a následkov zlyhania. Tabuľka 7.5 uvádza príklad takejto rozhodovacej logiky.

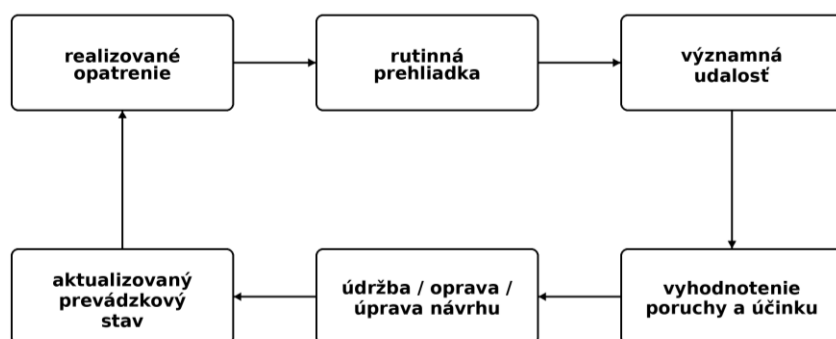
Tabuľka 7.5 Príklad klasifikácie prevádzkového stavu a reakcie na zistenú poruchu.

Stav	Charakteristika	Prevádzková reakcia	Dokumentácia
Vyhovujúci	funkcia zachovaná, iba bežný prirodzený vývoj	bez zásahu; pokračovať v monitoringu	štandardný záznam a fotografia
Zhoršujúci sa	lokálna porucha alebo trend so schopnosťou ďalšieho rozvoja	naplánovať údržbu, skrátiť interval kontroly	záznam rozsahu, príčiny a termínu nápravy

Nevyhovujúci	strata funkcie, bezpečnostný problém alebo rýchlo progresívna porucha	okamžitá nápravná intervencia a technické prehodnotenie	podrobný záznam, meranie, fotodokumentácia, rozhodnutie o oprave
Po oprave	funkcia obnovená, zmenená konfigurácia	nový referenčný stav a následná kontrola	aktualizovaná dokumentácia skutočného vyhotovenia

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Spätnú väzbu medzi prehliadkou, udalosťou, hodnotením a údržbou schematicky znázorňuje obrázok 7.5.



Obrázok 7.5 Cyklus prevádzkovej validácie a aktualizácie stavu opatrenia. Zdroj: Vlastné spracovanie.

Validácia sa uzatvára protokolom, ktorý prepája technický stav s dôkazmi z monitoringu. Záznam obsahuje dátum a dôvod kontroly, meteorologický kontext, identifikáciu kontrolovaných prvkov, zistené poruchy, porovnanie s predchádzajúcim stavom, rozhodnutie o údržbe a termín ďalšej kontroly. Ak sa použili UAV alebo GIS podklady, archivuje sa odkaz na príslušnú dátovú vrstvu a verzia spracovania. Tým sa zabráni oddeleniu technickej dokumentácie od monitorovacích dát a vytvára sa sledovateľná história opatrenia.

Dlhodobá prevádzková validácia má význam aj pre zlepšovanie budúcich návrhov. Opakovane sa vyskytujúca erózia na výtoku môže poukázať na nedostatočné rozptýlenie vody; rýchle zanášanie retenčného priestoru na nadmerný prísun sedimentu z povodia; nízka ujatnosť vegetácie na nevhodný druh, termín realizácie alebo vodný režim. Ak sa tieto pozorovania zaznamenávajú systematicky, monitoring sa mení z kontrolného nástroja na zdroj návrhového poznania.

Účinnosť prírode blízkych riešení je preto potrebné hodnotiť ako časovo premenlivú vlastnosť systému. Meteorologické zaťaženie, pôdny režim, stav vegetácie, technická integrita a priestorová odozva sa interpretujú spoločne. Kvalitný monitoring nevytvára iba časové rady, ale dôkazovú reťaz umožňujúcu vysvetliť, prečo opatrenie fungovalo, kedy prestalo plniť časť funkcie a aký zásah je potrebný.

8. Ekonomické a prevádzkové aspekty

Ekonomické posúdenie prírode blízkyh opatrení nemá byť redukované na porovnanie obstarávacích cien. Opatrenia pracujú s prírodnými procesmi, ich funkcia sa vyvíja v čase a náklady vznikajú v rôznych fázach životného cyklu. Z ekonomického hľadiska je preto podstatné sledovať nielen počiatočnú investíciu, ale aj prípravu, údržbu, monitoring, obnovu poškodených prvkov, prípadné náklady na zmenu manažmentu územia a zostatkové riziko. Rovnaký princíp platí pri porovnaní s konvenčnými technickými riešeniami: obe alternatívy musia byť hodnotené vo vzťahu k rovnakej funkcii, rovnakej úrovni ochrany a porovnateľnému časovému horizontu (Sartori, 2022; OECD, 2024).

Prírode blízke riešenia môžu poskytovať viacero súbežných prínosov, ktoré nie sú priamo zachytené v rozpočte vlastníka alebo správcu. Ide napríklad o zníženie škôd pri extrémnych udalostiach, podporu retenčnej schopnosti územia, stabilizáciu pôdy, zlepšenie mikroklimatických podmienok, biodiverzitu alebo vyššiu adaptačnú kapacitu krajiny. Ak sa hodnotí iba investičná cena, časť týchto prínosov zostáva mimo rozhodovania. Na druhej strane nemožno automaticky predpokladať, že prírode blízke riešenie je lacnejšie alebo hospodárnejšie. Výsledok závisí od lokality, rozsahu zásahu, požadovaného stupňa ochrany, doby nábehu biologickej funkcie, údržby a od toho, ktoré prínosy a náklady sú do hodnotenia zahrnuté (Dumitru a Wendling, 2021; van Zanten *et al.*, 2023).

Kapitola preto rozlišuje štyri úrovne ekonomicko-prevádzkového posúdenia. Najskôr sa identifikujú nákladové položky v celom životnom cykle opatrenia. Následne sa volí metóda ekonomického hodnotenia primeraná rozhodovacej otázke a dostupným údajom. Tretia úroveň porovnáva prírode blízke, konvenčné a hybridné riešenia bez predpokladu, že jedna skupina je všeobecne nadradená druhej. Posledná časť sa sústreďuje na dlhodobú správu, zodpovednosti, údržbu a adaptívne rozhodovanie, pretože ekonomická efektívnosť opatrenia sa môže počas prevádzky zásadne zmeniť.

8.1. Nákladové položky

Nákladová analýza sa začína v okamihu, keď sa definuje potreba zásahu, nie až pri samotnej realizácii. Predinvestičné náklady zahŕňajú diagnostiku problému, terénny a geodetický prieskum, hydrologické alebo geotechnické posúdenie podľa povahy rizika, projektovú prípravu, majetkovoprávne preverenie, povoľovacie postupy a koordináciu dotknutých subjektov. Pri menších opatreniach môže byť absolútna hodnota týchto položiek nízka, ich podiel na celkových nákladoch však býva významný. Pri veľkoplošných alebo priestorovo rozptýlených riešeniach sa naopak zvyšujú náklady na lokalizáciu, prístup a koordináciu viacerých vlastníkov alebo správcov.

Investičné náklady zahŕňajú materiál, prácu, mechanizáciu, dopravu, dočasné zabezpečenie staveniska, manipuláciu s vodou počas realizácie a opatrenia na ochranu pôdy. Pri bioinžinierskych prvkoch sa osobitne oceňuje živý rastlinný materiál, jeho odber alebo nákup, skladovanie, transport

a osadenie v období vhodnom na zakorenenie. Ak sa používa lokálne drevo alebo kameň, nízka obstarávacia cena materiálu ešte neznamená nízky celkový náklad; významnú položku môže tvoriť ťažba, triedenie, presun, opracovanie a bezpečná manipulácia. Preto sa v rozpočte oddeľuje cena materiálu od nákladov potrebných na jeho uvedenie do použiteľného stavu.

Prehľad základných nákladových skupín v životnom cykle sumarizuje tabuľka 8.1.

Tabuľka 8.1 Nákladové skupiny podľa fázy životného cyklu opatrenia.

Fáza	Typické nákladové položky	Poznámka pre ekonomické hodnotenie
Príprava	prieskum, diagnostika, návrh, povoľovanie, koordinácia, geodetické práce	zahrnúť aj náklady na variantné posúdenie a získanie vstupných údajov
Realizácia	materiál, práca, mechanizácia, doprava, dočasné opatrenia, prístup	oddeliť jednorazové investičné náklady od budúcich obnovovacích zásahov
Ustanovenie biologickej funkcie	rastlinný materiál, ochrana, zavlaženie podľa potreby, náhrada neujatých jedincov	kritické najmä v prvých vegetačných obdobiach
Prevádzka a údržba	prehliadky, čistenie, orez, odstraňovanie sedimentu, opravy, monitoring	náklady časovo priradiť k reálnej periodicite zásahov
Obnova po udalosti	mimoriadna kontrola, oprava, doplnenie materiálu, obnova vegetácie	pracovať so scenármi pravdepodobnosti a následkov poškodenia
Ukončenie alebo prestavba	demontáž, bezpečné ponechanie, rekultivácia, nahradenie prvku	zohľadniť zostatkovú hodnotu a náklady na prechod do novej funkcie

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Sartori (2022), van Zanten et al. (2023) a OECD (2024).

Prevádzkové náklady majú pri prírode blízkych opatreniach často iný časový profil než pri konvenčných konštrukciách. Počiatočné obdobie môže vyžadovať intenzívnejšie zásahy na podporu vegetácie, kontrolu kotvenia alebo ochranu pred poškodením. Po úspešnom zakorenení sa časť nákladov môže znižovať, iné sa však objavujú v dlhších intervaloch: odstránenie sedimentu, selektívny orez, obnova priechodnosti odvodnenia, lokálne doplnenie materiálu alebo obnova po mimoriadnej udalosti. Analýza preto pracuje s reálnym harmonogramom zásahov a neprevádza všetku údržbu mechanicky na rovnakú ročnú sadzbu.

Samostatnou kategóriou sú náklady monitoringu. Tie sa nemajú vnímať iba ako administratívna požiadavka. Ak monitoring umožní včas identifikovať poruchu, podporuje ochranu pôvodnej investície a znižuje pravdepodobnosť rozsiahlej opravy. Rozsah monitoringu však musí byť primeraný hodnote a následkom poruchy. Pri jednoduchom vegetačnom páse môže postačovať pravidelná vizuálna kontrola a fotodokumentácia; pri prvku nad cestou alebo inou významnou infraštruktúrou sa môže vyžadovať podrobnejšie geodetické, hydrologické alebo diaľkové sledovanie. Náklady monitoringu sa preto viažu na konkrétnu rozhodovaciu potrebu definovanú v kapitole 7.

Do celkových nákladov patria aj transakčné a organizačné položky, ktoré sa v stavebnom rozpočte často nezobrazia. Ide o komunikáciu s vlastníkmi, zmeny zmluvných vzťahov, zabezpečenie prístupu, administráciu dotácií, obstarávanie, odborný dohľad alebo školenie pracovníkov. OECD (2021) upozorňuje, že širšiemu uplatneniu prírode blízkych riešení často nebráni len samotná cena, ale aj nedostatočné technické kapacity, fragmentované zodpovednosti a finančné mechanizmy. Pri ekonomickom hodnotení preto treba oddeliť technologický náklad od nákladov vyvolaných spôsobom správy a rozhodovania.

Pri zásahoch, ktoré menia využívanie plochy, sa posudzujú aj alternatívne náklady. Môžu vzniknúť ponechaním širšieho ochranného pásu, obmedzením produkčného využitia, zmenou prístupovej trasy alebo požiadavkou na ponechanie priestoru pre prirodzené rozliatie toku a sedimenty. Alternatívny náklad nie je automaticky dôvodom na odmietnutie riešenia; predstavuje ekonomickú hodnotu alternatívneho využitia, ktorú treba zahrnúť do transparentného porovnania variantov.

Presnosť rozpočtu rastie s úrovňou rozpracovania návrhu. V koncepcnej fáze sa používajú intervalové alebo jednotkové odhady, ktoré slúžia najmä na porovnanie variantov. Pred realizáciou sa už vyžaduje výkaz množstiev a ceny viazané na konkrétne materiály, technológiu, prístupové podmienky a miestny trh práce. Po realizácii sa rozpočet nahrádza údajmi skutočného vyhotovenia. Tým vzniká databáza, ktorá umožňuje spresňovať budúce návrhy a porovnávať plánované a skutočné náklady.

V lesnom prostredí je nevyhnutné pracovať s neistotou. Náklady môžu meniť výkyvy cien dreva, kameňa a pohonných hmôt, dostupnosť špecializovanej mechanizácie, počasie, poškodenie prístupovej komunikácie alebo potreba dodatočného zabezpečenia pracoviska. Neisté sú aj biologické náklady: neujatie vegetácie, poškodenie zverou, sucho alebo invázne druhy môžu vyvolať opakované zásahy. V ekonomickom modeli sa preto nepoužíva iba jedna suma, ale minimálne základný, priaznivý a nepriaznivý scenár alebo citlivostné rozpätie najvýznamnejších položiek.

Pri evidencii sa odporúča rozlišovať náklady priamo priraditeľné jednotlivému prvku od spoločných nákladov lokality. Geodetické zameranie, prístupová cesta alebo meteorologické meranie môže slúžiť viacerým opatreniam. Ak sa celý spoločný náklad priradí každému prvku osobitne, výsledok sa nadhodnotí; ak sa naopak spoločné náklady vynechajú, hospodárnosť sa umelo zlepši. Rozpočtová štruktúra preto obsahuje pravidlo alokácie spoločných nákladov podľa plochy, času využitia, rozsahu prác alebo iného transparentného kľúča.

Výstupom podkapitoly nie je univerzálna cena konkrétneho typu prírode blízkeho opatrenia. Ekonomicky použiteľným výstupom je úplný zoznam položiek, ich množstvá, čas vzniku, neistota a väzba na funkciu opatrenia. Takto pripravené údaje možno následne diskontovať a porovnávať s prínosmi alebo s inými variantmi riešenia.

8.2. Hodnotenie ekonomickej efektívnosti

Ekonomická efektívnosť vyjadruje vzťah medzi zdrojmi použitými na opatrenie a výsledkom, ktorý opatrenie prináša spoločnosti, vlastníkovi alebo správcovi územia. Nie je totožná s finančnou návratnosťou. Opatrenie môže nemať priamy príjem, ale napriek tomu môže byť ekonomicky opodstatnené, ak znižuje očakávané škody, predlžuje životnosť infraštruktúry, znižuje náklady na zásahy po udalosti alebo poskytuje ďalšie hodnotné ekosystémové služby. Európska metodika ekonomickeho hodnotenia preto rozlišuje analýzu nákladov a prínosov, analýzu nákladovej efektívnosti, metódu najnižších nákladov a multikriteriálne hodnotenie podľa povahy projektu a dostupnosti monetárnych údajov (Sartori, 2022).

Prvým krokom je definovanie referenčného variantu, teda situácie bez navrhovaného zásahu. Referenčný variant nemá byť fiktívnym stavom „bez nákladov“. Zahŕňa bežnú údržbu, očakávaný vývoj porastu, pravdepodobné poškodenia a prípadné nevyhnutné konvenčné zásahy. Ekonomický prínos sa potom určuje ako rozdiel medzi vývojom s opatrením a bez opatrenia. EEA (2023) tento princíp formuluje cez porovnanie nákladov nečinnosti, nákladov adaptácie a prínosov adaptácie. V podmienkach lesných opatrení to znamená napríklad porovnávať očakávanú eróziu, škody na ceste, zanášanie priepustov alebo náklady na obnovu po požiaroch medzi variantmi, nie iba porovnávať stavebné rozpočty.

Druhým krokom je určenie časového horizontu. Musí byť dostatočne dlhý na zachytenie nábehu biologickej funkcie, významných údržbových zásahov a obnovy prvkov. Príliš krátky horizont znevýhodní riešenie, ktorého prínosy rastú s vývojom vegetácie; naopak, nevhodne zvolený dlhý horizont môže zakryť potrebu výmeny alebo prestavby. Časový horizont sa preto viaže na reálny životný cyklus porovnávaných alternatív a pri odlišných životnostiach sa používa zostatková hodnota alebo opakovanie obnovovacích investícií.

Pri analýze nákladov a prínosov sa budúce peňažné toky prepočítavajú na súčasnú hodnotu. Základným ukazovateľom je čistá súčasná hodnota, ktorá vyjadruje rozdiel medzi diskontovanými prínosmi a nákladmi počas hodnoteného obdobia:

$$NPV = \sum_{t=0}^T (B_t - C_t) / (1 + r)^t$$

kde B_t predstavuje prínosy v roku t , C_t náklady v roku t , r diskontnú mieru a T hodnotený horizont. Kladná čistá súčasná hodnota znamená, že monetizované spoločenské prínosy v zvolenom modeli prevyšujú náklady. Druhým často používaným ukazovateľom je pomer prínosov a nákladov:

$$BCR = [\sum_{t=0}^T B_t / (1 + r)^t] / [\sum_{t=0}^T C_t / (1 + r)^t]$$

Výsledok však nemožno interpretovať bez znalosti zahrnutých položiek a predpokladov. EEA (2023) upozorňuje, že hodnota pomeru prínosov a nákladov závisí od časového horizontu, scenára, diskontnej miery a od toho, či sú do prínosov zahrnuté vedľajšie účinky, napríklad biodiverzita, voda alebo zdravie. V prípade prírody blízkych opatrení je tento problém ešte

výraznejší, pretože časť účinkov nemá trhovú cenu a monetizácia môže byť neistá. Preto sa pri prezentácii výsledku uvádza aj zoznam významných nemonetizovaných prínosov a nákladov.

Diskontná miera sa nepoužíva na „zníženie“ budúcich ekologických prínosov podľa ľubovôle, ale ako konzistentný parameter ekonomického hodnotenia. Musí byť zvolená podľa pravidiel, ktoré platia pre daný typ investície alebo verejného rozhodovania, a vždy sa testuje citlivosť výsledku na jej zmenu. Pri dlhodobých adaptačných opatreniach môže malá zmena diskontnej miery výrazne meniť súčasnú hodnotu vzdialených prínosov, preto je transparentnosť predpokladov rovnako dôležitá ako samotný výpočet.

Ak prínosy nie je možné spoľahlivo monetizovať, vhodnejšia môže byť analýza nákladovej efektívnosti (*CE*). Porovnáva, aký náklad je potrebný na dosiahnutie definovanej jednotky účinku. Pri protierózných opatreniach môže ísť o náklad na zníženie odnosu pôdy alebo na stabilizáciu určitej dĺžky eróznej dráhy; pri retenčných opatreniach o náklad na jednotku zadržaného objemu alebo na zníženie špičkového odtoku; pri požiarom manažmente o náklad na úpravu plochy alebo na dosiahnutie definovaného zníženia kontinuity paliva. Podmienkou je, aby porovnávané alternatívy dosahovali rovnaký alebo porovnateľný cieľ.

$$CE = \text{diskontované náklady životného cyklu} / \text{merateľná jednotka účinku}$$

Qiu, Schertzer a Tchiguirinskaia (2021) ukazujú význam prepojenia hydrologického účinku s nákladmi počas životného cyklu pri porovnávaní scenárov prírode blízkyh riešení. Pre lesné prostredie z toho vyplýva praktická zásada: nákladovú efektívnosť nemožno odvodiť iba z plochy alebo počtu realizovaných prvkov. Menší počet vhodne lokalizovaných prvkov môže dosiahnuť väčší účinok než rozsiahlejší, ale priestorovo nevhodne rozmiestnený systém. Ekonomická optimalizácia preto musí nadväzovať na lokalizačné pravidlá z kapitoly 4 a na údaje o skutočnej účinnosti z kapitoly 7.

Ak nie je možné účinky previesť na jednu spoločnú jednotku, využíva sa multikriteriálne hodnotenie. V ekonomickej časti monografie má doplnkovú úlohu: umožňuje uviesť vedľa nákladov aj ukazovatele technickej spoľahlivosti, biodiverzity, reversibility zásahu, priestorových nárokov alebo spoločenskej prijateľnosti. Nepeňažné kritériá však nemajú slúžiť na skryté nahradenie ekonomickej analýzy. Váhy a spôsob bodovania musia byť zdokumentované a výsledok sa má testovať na zmenu váh.

Monetizácia prínosov sa opiera prednostne o priamo pozorovateľné ekonomické dôsledky. Najrobustnejším príkladom sú odvrátené škody: menšie poškodenie lesnej cesty, zníženie nákladov na čistenie priepustov, obmedzenie straty pôdy alebo zníženie potreby obnovy po udalosti. Pri ekosystémových službách možno použiť trhové ceny, náklady náhrady, náklady obnovy, produkčné funkcie alebo metódy založené na preferenciách, vždy však s uvedením metodologickej neistoty. Van Zanten *et al.* (2023) odporúčajú prepájať metódu oceňovania s konkrétnou fázou rozhodovania a s dostupnosťou údajov, aby ekonomická analýza nebola nákladnejšia a presnejšia, než vyžaduje samotné rozhodnutie.

Pri viacnásobných prínosoch hrozí dvojité započítanie. Napríklad zníženie škody na infraštruktúre a zvýšenie hodnoty služby ochrany pred povodňou môžu predstavovať dve vyjadrenia toho istého efektu. Rovnako nemožno súčasne započítať cenu náhrady ekosystémovej služby a plnú trhovú hodnotu všetkých následných efektov, ak sa prekrývajú. Každý prínos preto musí mať jasnú kauzálnu väzbu na opatrenie a musí byť zaradený iba raz.

Súčasná literatúra zároveň upozorňuje, že tradičné analýzy nákladov a prínosov často podhodnocujú environmentálne a distribučné účinky. Akhter *et al.* (2025) pri prehľade analýz protipovodňových opatrení zistili, že environmentálne externality a sociálna zraniteľnosť sú často iba spomenuté, nie kvantifikované alebo monetizované. Pri prírode blízkyh opatreniach preto nestačí uviesť jediný výsledný ukazovateľ. Súčasťou hodnotenia má byť citlivostná analýza, zoznam nezahrnutých účinkov a jasné rozlíšenie medzi kvantifikovanými, monetizovanými a kvalitatívne posúdenými prínosmi.

Pre praktické rozhodovanie sa odporúča používať viacvrstvový výstup: náklady životného cyklu, ekonomickú NPV alebo BCR tam, kde je monetizácia obhájiteľná, ukazovateľ nákladovej efektívnosti pre hlavný technický cieľ a kvalitatívny alebo multikriteriálny prehľad významných vedľajších účinkov. Takýto výstup je transparentnejší než snaha previesť každú ekologickú a spoločenskú hodnotu na jednu peňažnú sumu.

8.3. Porovnanie prírode blízkyh a konvenčných riešení

Porovnanie prírode blízkeho a konvenčného riešenia musí začínať funkčnou ekvivalenciou. Nie je korektné porovnávať náklady malej vegetačnej úpravy s masívnou technickou konštrukciou, ak obe alternatívy neposkytujú rovnakú úroveň ochrany. Najskôr sa definuje požadovaný výkon: napríklad bezpečné prevedenie návrhového prietoku, zníženie erózie na akceptovateľnú úroveň, stabilizácia svahu s určeným následkom poruchy alebo zníženie pravdepodobnosti šírenia požiaru v konkrétnej funkčnej zóne. Až potom sa porovnávajú varianty, ktoré tento cieľ realisticky plnia.

Konvenčné technické riešenia spravidla poskytujú definovanú funkciu bezprostredne po dokončení a ich návrh sa opiera o materiálové parametre, geometriu a výpočtové modely. Prírode blízke opatrenia môžu mať časť funkcie dostupnú okamžite a časť sa rozvíja s vegetáciou alebo úpravou pôdneho režimu. Táto odlišná časová dynamika sa musí premietnuť do hodnotenia. Ak je kritická ochrana potrebná od prvého dňa, môže byť vhodný hybridný variant, v ktorom technický prvok zabezpečí počiatočný výkon a biologická zložka postupne preberá časť stabilizačnej alebo regulačnej funkcie.

OECD (2024) uvádza prírode blízke riešenia ako možné náhrady, doplnky alebo ochranné prvky konvenčnej infraštruktúry. Pre lesné prostredie je táto formulácia dôležitá, pretože odstraňuje falošnú dichotómiu „prírodné verzus technické“. V mnohých lokalitách je najvhodnejšia kombinácia: technicky dimenzovaný priepust s vegetačne stabilizovaným výtokom, cesta doplnená retenčnou a rozptylovou zónou, nízka drevená konštrukcia s živými fašinami alebo protipožiarna infraštruktúra prepojená s manažmentom paliva a porastovej štruktúry.

Pri porovnaní investičných nákladov môžu prírode blízke riešenia využívať lokálne materiály a menšiu stavebnú náročnosť, ale to nie je univerzálne pravidlo. Komplikovaný prístup, potreba ručnej práce, špecializované bioinžinierske techniky alebo opakované zásahy počas zakoreňovania môžu cenu zvýšiť. Konvenčná konštrukcia môže byť pri malej ploche lacnejšia a prevádzkovo jednoduchšia, najmä ak existuje štandardizovaný návrh a dodávateľský reťazec. Naopak, pri rozsiahlych plochách alebo pri potrebe znižovať riziko v celom povodí môže byť sústava menších prírode blízkych zásahov hospodárnejšia než jediný veľký technický objekt.

Prevádzkové náklady závisia od mechanizmu fungovania. Betónový alebo oceľový prvok vyžaduje kontrolu materiálovej degradácie, spojov, podmytia a funkčnej kapacity. Vegetačný alebo hybridný prvok vyžaduje kontrolu vitality, zarastania, sedimentu, erózných dráh a konkurencie nežiaducich druhov. Obe skupiny teda potrebujú údržbu, len iného typu. Ekonomické hodnotenie sa nesmie opierať o predpoklad, že prírode blízke riešenie je „bezúdržbové“. Capobianco *et al.* (2024) práve nedostatok praktických usmernení pre návrh, realizáciu a údržbu označujú za jednu z bariér širšieho používania prírode blízkych opatrení pri infraštruktúre.

Porovnávací rámec hlavných ekonomicko-prevádzkových charakteristík sumarizuje tabuľka 8.2.

Tabuľka 8.2 Všeobecný rámec porovnania prírode blízkych, konvenčných a hybridných riešení.

Kritérium	Prírode blízke riešenie	Konvenčné technické riešenie	Hybridné riešenie
Nástup funkcie	časť funkcie môže rásť s vývojom vegetácie	požadovaný výkon sa očakáva bezprostredne po realizácii	technická časť kryje počiatočné obdobie, biologická sa rozvíja
Investičný profil	citlivý na lokalitu, prístup, živý materiál a manuálnu prácu	silnejšia väzba na materiál, rozmery a mechanizáciu	kombinuje oba profily; vyššie nároky na koordináciu
Údržba	vegetácia, sediment, obnova funkčných dráh, udalostné opravy	materiálová degradácia, čistenie, opravy konštrukcie	spoločná údržba technickej aj biologickej zložky
Vedľajšie účinky	potenciálne významné ekosystémové a adaptačné prínosy	často užšie zameranie na jednu technickú funkciu	možnosť zachovať technickú istotu a súčasne získať časť spolupôsobení
Reverzibilita	často vyššia pri mäkkých a vegetačných zásahoch	môže byť nízka pri masívnych stavebných objektoch	závisí od podielu a typu technickej zložky

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa OECD (2024), Capobianco *et al.* (2024) a van Zanten *et al.* (2023).

Významný rozdiel vzniká pri vedľajších účinkoch. Konvenčný objekt môže spoľahlivo riešiť presne definovanú hydraulickú alebo stabilizačnú funkciu, ale nemusí zlepšovať biodiverzitu, mikroklimu alebo ekologickú konektivitu. Prírode blízke opatrenie môže tieto prínosy poskytovať súčasne, no ich veľkosť je podmienená kvalitou návrhu a stavom ekosystému. Dumitru a Wendling

(2021) preto odporúčajú hodnotiť účinky prírode blízkych riešení v širšom súbore environmentálnych, sociálnych a ekonomických indikátorov, nie iba cez jednu cieľovú funkciu.

Vedľajšie účinky však môžu byť aj negatívne. Retenčný priestor môže obmedziť využitie územia, nesprávne navrhnutá vegetácia môže zhoršiť rozhl'ad alebo prístup, zanedbaný vegetačný pás môže zvýšiť množstvo jemného paliva a opatrenie v toku môže nevhodne ovplyvniť kontinuitu alebo sedimentačný režim. Pri ekonomickom porovnaní sa preto používajú čisté prínosy po odpočítaní relevantných negatívnych externalít, nie súčet deklarovaných ekosystémových služieb bez posúdenia kompromisov.

Ďalším kritériom je adaptabilita. Prírode blízke a hybridné opatrenia bývajú často modulárne a možno ich rozširovať, dopĺňať alebo presúvať podľa výsledkov monitoringu. To môže mať ekonomickú hodnotu v podmienkach neistého budúceho zaťaženia. Naopak, technická konštrukcia môže poskytovať vyššiu predvídateľnosť výkonu v známom návrhovom rozsahu. Hodnota flexibility preto závisí od charakteru neistoty: pri veľmi vysokom následku poruchy môže byť rozhodujúca konzervatívna technická kapacita, pri postupne sa meniacom riziku môže byť výhodná etapizácia a adaptívna úprava systému.

Pri porovnávaní variantov sa odporúča uvádzať aj reziduálne riziko. Žiadne opatrenie neodstraňuje riziko úplne. Ak lacnejšie riešenie ponecháva podstatne vyššiu pravdepodobnosť alebo následok poruchy, rozdiel sa musí premietnuť do očakávaných škôd alebo do samostatného bezpečnostného kritéria. Ekonomická efektívnosť preto nikdy nemá rušiť minimálne technické a bezpečnostné požiadavky definované v kapitole 5.

Hybridné riešenia sú ekonomicky zaujímavé najmä tam, kde technický prvok možno dimenzovať na kritickú funkciu a prírode blízke prvky znižujú bežné zaťaženie, eróziu, sedimentáciu alebo frekvenciu zásahov. Takáto kombinácia môže znižovať náklady počas životného cyklu, ale iba ak sú systémy navzájom funkčne kompatibilné. Vegetácia nesmie obmedziť hydraulickú kapacitu, biologický prvok nesmie byť založený na konštrukcii, ktorá mu neumožní zakorenenie, a technický výtok nesmie koncentrovať energiu do nechráneného povrchu.

Agnew *et al.* (2024) pri ekonomickom prioritizovaní obnovy riečnych koridorov ukazujú význam smerovania zdrojov do úsekov, kde je vysoký potenciál prirodzenej obnovy a kde možno dosiahnuť lepší environmentálny výsledok na jednotku nákladov. Hoci ich štúdia nie je priamo lesníckou aplikáciou, princíp je prenositeľný: ekonomická efektívnosť nevzniká iba výberom lacnejšieho typu opatrenia, ale najmä správnym zacielením zásahu na miesto, kde môže využívať prirodzené regeneračné procesy.

Pri rozhodnutí medzi alternatívami je preto vhodné použiť postup v štyroch krokoch. Najprv sa vyradia varianty, ktoré nespĺňajú bezpečnostný alebo environmentálny limit. Zostávajúce varianty sa porovnávajú podľa nákladov životného cyklu a hlavného merateľného účinku. Následne sa doplnia významné ekosystémové, prevádzkové a spoločenské účinky, ktoré nemožno spoľahlivo monetizovať. Posledným krokom je citlivostná analýza na zmenu cien, údržby, životnosti,

diskontnej miery a účinnosti. Výsledok sa prezentuje ako podklad na rozhodnutie, nie ako automatický výber „najlacnejšieho“ riešenia.

Z porovnania vyplýva, že vhodnosť prírode blízkeho, konvenčného alebo hybridného variantu je lokálne podmienená. Odborná monografia preto neformuluje všeobecné poradie týchto skupín. Za ekonomicky racionálne sa považuje riešenie, ktoré pri splnení bezpečnostných a ekologických požiadaviek dosahuje požadovaný účinok s prijateľnými nákladmi počas celého životného cyklu a s transparentne vyhodnoteným reziduálnym rizikom.

8.4. Udržateľnosť a správa opatrení

Dlhodobá udržateľnosť opatrenia závisí od toho, či je po realizácii jasne určený správca, rozsah jeho povinností a finančné krytie údržby. Technicky správne zrealizovaný prvok môže stratiť funkciu, ak sa neodstraňuje sediment, nevykonáva sa kontrola po udalosti, vegetácia prerastie do priestoru, kde obmedzuje prevádzku, alebo naopak zlyhá biologická zložka a nie je obnovená. Správa opatrenia preto začína jeho zaradením do evidencie majetku alebo prevádzkových objektov s jednoznačným identifikátorom, polohou, dokumentáciou skutočného vyhotovenia a väzbou na monitorovací protokol.

Údržba sa delí na pravidelnú, preventívnu a po udalosti. Pravidelná údržba zahŕňa činnosti vykonávané v plánovaných intervaloch, napríklad kontrolu priechodnosti, orez, čistenie alebo doplnenie ochranného krytu. Preventívna údržba reaguje na zistený trend ešte pred stratou funkcie, napríklad na postupné podmývanie, uvoľňovanie kotvenia alebo rast sedimentu. Údržba po udalosti sa spúšťa po zrážke, povodni, požiari, vetrovej kalamite alebo inom zaťažení, ktoré mohlo prekročiť bežný prevádzkový stav. Prepojenie s kapitolou 6 umožňuje viazať zásah na pozorovaný stav namiesto výlučne kalendárneho intervalu.

Pri každom opatrení sa určujú kritériá zásahu. Namiesto neurčitých formulácií typu „podľa potreby“ sa zapisuje, aká zmena vyžaduje kontrolu, opravu alebo obnovu: zanesenie funkčného profilu, vznik obchádzajúcej eróznej dráhy, poškodenie určitého podielu vegetácie, deformácia, strata kotvenia alebo zhoršenie priechodnosti. Prahová hodnota nemusí byť vždy numerická, musí však byť opísaná tak, aby rôzni pracovníci rozhodovali porovnateľným spôsobom.

IUCN (2020) zdôrazňuje potrebu adaptívneho riadenia a dlhodobej životaschopnosti prírode blízkych riešení. V prevádzkovej praxi to znamená, že údržba nemá zachovávať pôvodný vzhľad za každú cenu, ale funkciu. Ak sa vegetácia prirodzene vyvíja a súčasne plní požadovanú stabilizačnú, retenčnú alebo ekologickú úlohu, zásah nemusí smerovať k návratu do stavu bezprostredne po realizácii. Naopak, esteticky priaznivý stav bez požadovanej funkcie nemožno považovať za úspešnú správu.

Organizačná udržateľnosť vyžaduje jasné rozdelenie zodpovednosti medzi vlastníka, obhospodarovateľa, správcu komunikácie alebo toku, dodávateľa a prípadné orgány verejnej správy. Pri opatreniach na hranici pozemkov alebo pri prvkoch, ktoré ovplyvňujú vodu

nadväzujúcu na iné územie, sa zodpovednosť nemá odvodiť iba od fyzickej polohy konštrukcie. Rozhodujúca je funkčná väzba na územie a dohoda o prístupe, údržbe a riešení škôd. Chýbajúca kompetencia býva v praxi rovnakým rizikom ako technická porucha.

Finančný plán údržby má byť vytvorený už pri návrhu. Nejde o rezervu s pevnou univerzálnou percentuálnou sadzbou, ale o harmonogram očakávaných úkonov, ich jednotkové náklady a rezervu na neistotu a mimoriadne udalosti. Pri viacročných programoch sa rozlišuje bežný prevádzkový rozpočet od obnovovacích investícií. Ak je opatrenie financované z projektu alebo dotácie, musí byť vopred určené, z akého zdroja sa bude udržiavať po skončení obdobia financovania. OECD (2021, 2024) uvádza stabilné finančné a inštitucionálne podmienky ako jeden zo základných predpokladov širšieho a dlhodobého využívania prírody blízkyh riešení.

Minimálny obsah prevádzkového plánu sumarizuje tabuľka 8.3.

Tabuľka 8.3 Základné prvky dlhodobej správy prírody blízkyh opatrení.

Prvok správy	Minimálny obsah	Väzba na rozhodovanie
Identifikácia	ID prvku, poloha, vlastníč/správca, dokumentácia skutočného vyhotovenia	jednoznačné priradenie zodpovednosti a histórie
Kontrolný režim	pravidelné kontroly a kontroly po udalostiach, metóda, zodpovedná osoba	včasná identifikácia zmeny funkcie alebo poruchy
Prahy zásahu	stav alebo hodnota vyžadujúca údržbu, opravu či odborné posúdenie	zjednotenie rozhodovania medzi kontrolami
Údržba	typ zásahu, periodicita, prístup, materiál, bezpečnostné podmienky	udržanie funkcie počas životného cyklu
Financovanie	bežný rozpočet, obnova, rezerva po udalosti	zníženie rizika odloženej údržby
Evidencia	náklady, zásahy, fotografie, merania, zmeny dokumentácie	podklad na ex-post hodnotenie a zlepšenie budúcih návrhov

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa IUCN (2020), OECD (2021, 2024) a Capobianco et al. (2024).

Ekonomická a prevádzková udržateľnosť sa napokon overuje ex-post. Skutočné náklady údržby, porúch a obnovy sa porovnávajú s pôvodnými predpokladmi a s dosiahnutou účinnosťou. Tým sa uzatvára spätná väzba medzi návrhom, monitoringom a hospodárnosťou.

9. Aplikačné možnosti a odporúčania pre prax

Aplikačný význam prírode blízkych riešení sa nepreukazuje tým, že sa určitý typ opatrenia objaví v projektovej dokumentácii alebo v strategickom materiáli. Rozhodujúce je, či sa poznatky o riziku, stanovišti, technickom návrhu, monitoringu a prevádzke premietnu do opakovateľného rozhodovacieho postupu. Predchádzajúce kapitoly preto vytvárajú jednotlivé časti jedného reťazca: od identifikácie problému a jeho priestorového kontextu cez výber a návrh opatrenia až po kontrolu skutočného účinku. V praxi sa tento reťazec uzatvára až vtedy, keď je jasné, kto rozhodnutie vykoná, z akých podkladov bude vychádzať, ako sa výsledok zaznamená a za akých podmienok sa riešenie upraví.

Prírode blízke riešenie nemožno chápať ako univerzálnu náhradu technických, organizačných alebo zákonom vyžadovaných opatrení. Jeho miesto je v súbore nástrojov, ktoré menia zraniteľnosť územia, obmedzujú vznik alebo rozvoj nepriaznivého procesu a podporujú schopnosť lesa obnoviť požadované funkcie. Pri niektorých problémoch postačuje lokálny vegetačný alebo bioinžiniersky zásah, pri iných je potrebná kombinácia s hydraulickým, geotechnickým, dopravným alebo protipožiarnym riešením. Rozhodnutie preto začína funkčnou požiadavkou a hranicami použiteľnosti, nie výberom názvu opatrenia. Tento princíp zodpovedá aj aktuálnemu globálnemu štandardu IUCN, ktorý spája ekologickú integritu, finančnú a ekonomickú opodstatnenosť, riadenie kompromisov a adaptívny manažment (IUCN, 2026).

Aplikačná fáza musí zároveň odlišovať tri roviny. Prvou je samotný princíp riešenia, napríklad spomalenie odtoku, obmedzenie sedimentovej konektivity, stabilizácia povrchu koreňovým systémom alebo prerušenie kontinuity horľavého materiálu. Druhou je technická konfigurácia, teda poloha, geometria, materiál, spôsob založenia a väzba na okolité prvky. Tretou sú prevádzkové parametre: periodicita kontroly, údržba, hranice prijateľného stavu a reakcia po mimoriadnej udalosti. Zatiaľ čo princíp býva prenositeľný medzi viacerými lokalitami, technická konfigurácia a prevádzkové parametre sú vždy podmienené miestom.

Odporúčania v tejto kapitole sú preto formulované podľa skupín používateľov a rozhodovacích situácií. Vlastník alebo obhospodarovateľ lesa potrebuje začleniť opatrenie do bežného hospodárenia, rozpočtu, údržby a evidencie. Orgán verejnej správy potrebuje vytvárať podmienky pre koordináciu, financovanie, povoľovanie a hodnotenie výsledkov. Krízové riadenie a civilná ochrana pracujú s inou časovou logikou: využívajú informácie o území pred udalosťou, počas nej aj pri obnove. Manažment lesných požiarov vyžaduje navyše väzbu medzi vegetáciou, požiarom počasím, reliéfom, prístupnosťou a taktickými možnosťami zásahu. Vo vzdelávaní musí byť výsledkom schopnosť rozhodovať, nie iba zapamätať si typológiu opatrení.

Spoločným menovateľom všetkých aplikačných oblastí je dokumentovateľnosť rozhodnutia. Európsky rámec hodnotenia prírode blízkych riešení zdôrazňuje potrebu prepojiť očakávaný účinok s teóriou zmeny, vhodnými indikátormi a údajmi umožňujúcimi posúdiť účinnosť aj možnosti rozšírenia riešenia (European Commission, 2021). V lesnom prostredí má táto

požiadavka veľmi praktický význam: po niekoľkých rokoch musí byť možné rozlíšiť, či sa zmenil proces, ktorý mal zásah ovplyvniť, či opatrenie zostáva funkčné a či jeho účinok nebol vykúpený novým problémom v inom mieste.

9.1. Odporúčania pre vlastníkov a obhospodarovateľov lesov

Pre vlastníka a obhospodarovateľa lesa má najväčšiu hodnotu taký systém, ktorý možno začleniť do existujúcich pracovných postupov. Samostatný projekt prírode blízkeho opatrenia môže byť vhodný pri väčšej investícii, no dlhodobý účinok závisí od toho, či sa po realizácii stane súčasťou bežnej správy územia. Kontrola odvodňovacieho prvku, vegetačného pásu alebo stabilizačnej konštrukcie má byť previazaná s obhliadkami ciest, pestovnými zásahmi, ťažbovými operáciami a kontrolami po významných zrážkach, vetre, požiaroch alebo inej disturbancii. Oddelenie „projektového“ a „prevádzkového“ režimu vedie k situácii, keď sa opatrenie po skončení realizácie prestane systematicky sledovať.

Prvým krokom je zostavenie priestorového obrazu problémov, nie zoznamu želaných opatrení. Vlastník potrebuje vedieť, kde vzniká sústredený povrchový odtok, kde sa sediment pripája na vodný tok, ktoré úseky ciest sú opakovane poškodzované, kde sa vyskytujú svahové poruchy, kde je znížená stabilita alebo vitalita porastu a v ktorých častiach vzniká významná kontinuita horľavého materiálu. Terénna obhliadka sa má prepájať s digitálnym modelom reliéfu, sieťou komunikácií, porastovou mapou, hydrografiou a podľa potreby s údajmi diaľkového prieskumu Zeme. Cieľom nie je vytvoriť čo najviac vrstiev, ale vyznačiť miesta, v ktorých rozhodnutie o zásahu mení riziko alebo prevádzkovú spoľahlivosť územia.

Priorita zásahu sa má určovať z kombinácie pravdepodobnosti nepriaznivého vývoja, závažnosti následkov a možnosti proces reálne ovplyvniť. Miesto s častou drobnou eróziou nemusí mať vyššiu prioritu než zdanlivo stabilný priepust, ktorého zablokovanie by presmerovalo vodu na cestu alebo do obývaného územia. Podobne pri lesnom požiari nemožno prioritu odvodiť len z množstva biomasy; dôležitá je jej priestorová kontinuita, sklon, expozícia, pravdepodobné smery šírenia a väzba na hodnoty, ktoré treba chrániť. Takéto poradenie pomáha sústrediť zdroje na miesta, kde má zásah najväčší funkčný význam.

Pri každom vybranom mieste je vhodné vytvoriť stručný prevádzkový záznam. Nemusí mať formu rozsiahlej technickej správy, má však obsahovať identifikátor lokality, problém, cieľ zásahu, rozhodujúce návrhové parametre, dátum realizácie, fotodokumentáciu, zodpovednosť za kontrolu, plán údržby a podmienky mimoriadnej kontroly. Pri prvkoch s meraním sa doplní identifikácia snímača a väzba na meranú veličinu. Pri vegetačných zásahoch sa zaznamená druhové zloženie, spôsob založenia a kritérium, podľa ktorého sa bude posudzovať ujetie alebo strata plánovanej funkcie. Takýto záznam vytvára spojenie medzi technickou dokumentáciou a každodenným hospodárením.

Výber variantu sa nemá zužovať na najnižšiu obstarávaciu cenu. Vlastník znáša náklady počas celého obdobia funkcie: prístup, čistenie, odstránenie sedimentu, orez, dopĺňanie materiálu,

obnovu vegetácie, mimoriadne kontroly a opravy po udalostiach. Riešenie s nižšou počiatočnou cenou môže byť nevýhodné, ak vyžaduje častú manuálnu údržbu v ťažko dostupnom teréne alebo ak jeho porucha vytvára vysoké následkové náklady. Preto sa pri rozhodovaní odporúča porovnávať varianty v životnom cykle a osobitne zaznamenať náklady, ktoré vzniknú aj vtedy, keď opatrenie zostáva funkčné.

Realizácia prírode blízkeho opatrenia má byť koordinovaná s ostatnými zásahmi v poraste. Ťažba alebo približovanie môže zmeniť odtokové dráhy, poškodiť vegetačný kryt a vytvoriť nový zdroj sedimentu. Pestovný zásah môže zmeniť mikroklimu a palivový komplex. Rekonštrukcia lesnej cesty môže zmeniť prístupnosť pre údržbu aj zásahové vozidlá. Ak sa tieto činnosti plánujú oddelene, jedna investícia môže znížiť účinok druhej. Vhodnejší je spoločný harmonogram, v ktorom sa najprv určia procesné väzby a až potom poradie prác.

Preberanie hotového opatrenia by nemalo končiť kontrolou množstva zabudovaného materiálu. Overuje sa poloha, geometria, nadväznosť na terén, bezpečné odvedenie prebytočnej vody, kvalita ukotvenia, stav vegetačnej zložky a prístup pre budúcu údržbu. Pri vodohospodárskych a protierózných prvkoch je užitočné skontrolovať aj trasu, ktorou bude voda pokračovať po prekročení návrhovej kapacity. Pri stabilizačných prvkoch sa overuje, či zodpovedajú skutočnému mechanizmu poruchy. Prevádzkový záznam sa po preberaní doplní o skutočné vyhotovenie, aby sa neskoršia kontrola neopierala o návrh, ktorý sa v teréne zmenil.

Údržba má reagovať na stav, nie iba na kalendár. Pevný interval je vhodný ako minimálna kontrolná povinnosť, ale rýchlo sa meniace prvky vyžadujú aj režim udalostí. Intenzívna zrážka, náhle topenie snehu, silný vietor, požiar alebo ťažbová činnosť v bezprostrednom okolí môžu zmeniť funkciu v priebehu jedného dňa. Preto sa vopred stanovujú spúšťače mimoriadnej obhliadky. Ak sa opakujú rovnaké poruchy, údržba nemá iba obnovovať pôvodný stav; je signálom na technické prehodnotenie návrhu.

Z pohľadu adaptívneho manažmentu je dôležité zachovať históriu zmien. Ak sa prvok rozšíril, premiestnil alebo sa zmenila vegetačná zložka, zaznamená sa dôvod. V opačnom prípade sa pri budúcom hodnotení stráca informácia, či zlepšenie vzniklo pôvodným návrhom alebo až následnou korekciou. IUCN Global Standard kladie adaptívny manažment na dôkazy a priebežné overovanie predpokladov, čo je pri dynamických lesných podmienkach mimoriadne relevantné (IUCN, 2026).

Praktická organizácia týchto krokov nemusí vytvárať novú paralelnú administratívu. Vhodnejšie je prepojiť údaje s existujúcou hospodárskou evidenciou, GIS pracoviskom alebo interným systémom správcu. Slovenský zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch tvorí základný právny rámec hospodárenia v lesoch; konkrétne technické riešenie však musí rešpektovať aj ďalšie predpisy podľa charakteru zásahu, napríklad požiadavky ochrany prírody alebo ochrany pred požiarmi. Odporúčania tejto kapitoly preto nenahrádzajú posúdenie právnej prípustnosti konkrétneho zásahu, ale určujú spôsob, ako jeho odborné zdôvodnenie a následnú funkciu transparentne evidovať.

Odporúčanú postupnosť rozhodnutí vlastníka alebo obhospodarovateľa lesa sumarizuje tabuľka 9.1.

Tabuľka 9.1 Odporúčaný rozhodovací cyklus pri prírode blízkom opatrení v lesnom hospodárení

Fáza	Kľúčová otázka	Minimálny podklad	Výstup pre prax
Diagnostika	Aký proces spôsobuje problém a kde vzniká?	terénna obhliadka, topografia, stav porastu, infraštruktúra, dostupné historické záznamy	lokalizovaný problém a predpokladaný mechanizmus
Prioritizácia	Kde má zásah najväčší význam vzhľadom na následky?	pravdepodobnosť, expozícia, význam ohrozených funkcií a objektov	poradie lokalít a zdôvodnenie priority
Výber variantu	Ktorý princíp a konfigurácia sú pre miesto technicky a ekologicky vhodné?	vyučovacie kritériá, alternatívy, prístupnosť, životný cyklus	vybraný variant a zvyškové riziko
Realizácia	Ako zabrániť tomu, aby práce vytvorili nový problém?	technologický postup, koordinácia s ťažbou a dopravou, ochrana pôdy a vody	kontrolovaný priebeh realizácie
Preberanie	Zodpovedá skutočné vyhotovenie plánovanej funkcie?	zameranie, fotodokumentácia, kontrola geometrie a väzieb na terén	referenčný stav a dokumentácia skutočného vyhotovenia
Prevádzka	Je funkcia zachovaná a aká údržba je potrebná?	pravidelné obhliadky a obhliadky po udalosti, vybrané indikátory	bez zásahu / plánovaná údržba / nápravná intervencia
Revízia	Treba po opakovanej poruche zmeniť návrh alebo manažment?	história porúch, náklady, monitorovacie údaje, zmena podmienok	adaptívna úprava a nový referenčný stav

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Tabuľka 9.1 zvyrazňuje, že rozhodovací cyklus sa neuzatvára realizáciou. Najdôležitejším praktickým posunom je prijať prevádzku a revíziu ako plnohodnotnú súčasť opatrenia. Zodpovednosť vlastníka alebo obhospodarovateľa tak nespočíva v udržiavaní prvku v nemennom vizuálnom stave, ale v zachovaní jeho plánovanej funkcie pri meniacich sa podmienkach.

9.2. Odporúčania pre orgány verejnej správy

Verejná správa ovplyvňuje zavádzanie prírode blízkyh riešení najmä prostredníctvom pravidiel, financovania, plánovania, sprístupňovania údajov a koordinácie medzi sektormi. Jej úlohou nie je predpisovať jedinou technickú konfiguráciu pre rôzne lokality. Takýto postup by

popieral miestnu podmienenosť riešení. Vhodnejšie je definovať výsledok, ktorý má byť dosiahnutý, minimálne požiadavky na odborné zdôvodnenie a spôsob overenia účinku. Projekt potom môže zvoliť rozdielnu kombináciu ekologických, bioinžinierskych, technických a organizačných prvkov podľa podmienok územia.

Pri strategickom plánovaní sa odporúča prepájať lesnícke, adaptačné, vodohospodárske, protierózne, dopravné, protipožiarne a krízové ciele. Hranice kompetencií zostávajú zachované, ale riziko v území sa nimi neriadi. Povrchový odtok z lesnej cesty môže poškodiť miestnu komunikáciu, požiar v lese môže ohroziť sídlo alebo energetickú infraštruktúru a svahová porucha môže obmedziť jedinú prístupovú trasu pre záchranné zložky. Ak sa každá časť posudzuje izolovane, vznikajú medzery, v ktorých nie je zodpovednosť za zníženie rizika zrejmá. Verejná správa môže tieto medzery zmenšovať spoločnými územnými analýzami a koordinovanými prioritami.

Rozhodnutia o podpore alebo financovaní majú byť založené na funkčnom výsledku. Počet vysadených stromov, dĺžka vybudovaného pásu alebo počet prehrádzok sú ľahko vykazovateľné, ale samy osebe nedokazujú zníženie rizika. Výkonovým ukazovateľom môže byť napríklad stabilizovaný úsek, znížená sedimentová konektivita, udržiavaná priechodnosť odvodnenia, zmena kontinuity paliva alebo preukázaná obnova vegetačnej funkcie. Európske usmernenia pre hodnotenie vplyvu NbS odporúčajú odvodzovať indikátory od predpokladaného mechanizmu zmeny a používať údaje, ktoré umožňujú rozhodovať aj o replikácii a rozširovaní riešení (European Commission, 2021).

Pri verejnom obstarávaní a dotačných schémach je vhodné vyžadovať plán prevádzky už pri návrhu. Ak sú financované iba investičné náklady bez zabezpečenia kontroly a údržby, verejný zdroj môže vytvoriť opatrenie, ktorého účinok sa po niekoľkých rokoch stratí. Súčasťou hodnotenia by preto mala byť dostupnosť lokality pre údržbu, predpokladané prevádzkové zásahy, životnosť jednotlivých komponentov a spôsob financovania mimoriadnej obnovy. Pri vegetačných prvkoch sa navyše musí počítať s časom potrebným na vytvorenie biologickej funkcie; krátke projektové obdobie nemusí zachytiť výsledný stav.

V oblasti povoľovania je dôležité rozlišovať medzi odborným posúdením funkcie a právnou príslušnosťou. Zaradenie zásahu medzi prírode blízke riešenia ho nezaväzuje povinnosti rešpektovať príslušné požiadavky lesného hospodárstva, ochrany prírody, vodného režimu, výstavby alebo ochrany pred požiarmi. Naopak, kvalita návrhu sa zvyšuje, keď sa konfliktné požiadavky identifikujú včas a riešia sa variantne. Z pohľadu verejnej správy je preto užitočné podporovať predbežnú koordináciu pri komplexných lokalitách, najmä ak opatrenie zasahuje viac vlastníkov, vodný tok, chránené územie, dopravnú infraštruktúru alebo priestor významný pre zásah záchranných zložiek.

Osobitnú hodnotu má vytváranie spoločného dátového základu. Verejne dostupné údaje o reliéfe, hydrografii, pôdach, chránených územiach, lesnej dopravnej sieti, historických disturbanciách a relevantných hazardoch výrazne znižujú náklady na prípravu. Zároveň však treba

rozlišovať údaj určený na regionálny skrining od podkladu, podľa ktorého sa navrhne konkrétny prvok. Verejná správa môže zvýšiť kvalitu projektov tým, že pri datasetoch poskytne metadáta o rozlíšení, aktuálnosti, pôvode a obmedzeniach a pri významných rozhodnutiach vyžaduje terénne overenie.

Pri hodnotení výsledkov je vhodné vytvárať porovnateľné minimálne jadro informácií. Nemusí ísť o jednotný súbor senzorov pre všetky opatrenia. Spoločný môže byť identifikátor lokality, problém, cieľ, typ zásahu, dátum realizácie, náklady, stav pri preberaní, vybrané indikátory, záznam významných udalostí a vykonaná údržba. Takáto štruktúra umožňuje neskôr porovnávať, v ktorých podmienkach sa riešenia osvedčili a kde sa opakovane objavujú poruchy. Výskum NbS pritom poukazuje na pretrvávajúcu nerovnomernosť dôkazovej základne a potrebu lepšieho prepojenia ekologických, sociálnych, ekonomických a riadiacich výsledkov (Dunlop *et al.*, 2024).

Koordinácia je obzvlášť potrebná pri udalostiach, ktoré prekračujú hranice jedného vlastníka. Povodie, požiarne ohrozená krajina ani svahový systém sa nekončia na parcele. Verejná správa môže podporiť dohody o spoločnej údržbe, prístupe, dátach alebo postupoch pri udalostiach. Pri rozptýlenom vlastníctve môže mať väčší účinok niekoľko navzájom nadväzujúcich opatrení než technicky kvalitný, ale priestorovo izolovaný prvok. IUCN Global Standard preto pri NbS zdôrazňuje systémové myslenie, riadenie medzi zainteresovanými stranami a podmienky umožňujúce dlhodobé uplatnenie riešení (IUCN, 2026).

Orgány verejnej správy by mali pri podpore škálovania rozlišovať medzi štandardizáciou procesu a štandardizáciou parametra. Štandardizovať možno postup diagnostiky, minimálne náležitosti návrhu, dokumentáciu skutočného vyhotovenia, spôsob evidencie a zásady monitoringu. Nemožno však bez overenia preniesť rovnakú šírku pásu, rozstup prvkov, druhové zloženie alebo kapacitu odvodnenia do rozdielnych stanovišť. Práve takáto diferenciacia chráni verejné zdroje pred formálnym opakovaním opatrení bez preukázanej vhodnosti.

V slovenskom prostredí sa aplikačný rámec dotýka viacerých právnych oblastí. Základné kompetencie a povinnosti v lesnom hospodárstve upravuje zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch; podľa lokality sa uplatňujú aj pravidlá ochrany prírody podľa zákona č. 543/2002 Z. z. a ďalšie osobitné predpisy. Pri opatreniach s významom pre ochranu obyvateľstva alebo požiare vstupujú do úvahy aj predpisy civilnej ochrany a ochrany pred požiarmi. Verejná správa má preto vytvárať podmienky pre vecnú koordináciu bez toho, aby sa odborné rozhodnutie nahradilo administratívnou kategóriou.

Rozdelenie úloh verejnej správy podľa fázy rozhodovania sumarizuje tabuľka 9.2.

Tabuľka 9.2 Odporúčané úlohy verejnej správy pri podpore prírode blízkyh riešení

Úroveň rozhodovania	Hlavná úloha	Čo vyžadovať alebo podporovať	Postup, ktorému sa vyhnúť
Strategická	prepájať adaptačné, lesnícke, vodné, požiarne a krízové ciele	spoločné rizikové priority, priestorové väzby, zodpovednosti a dlhodobé ciele	samostatné sektorové zoznamy opatrení bez väzby na rizikový proces
Programová a finančná	smerovať zdroje na preukázateľný výsledok	funkčný cieľ, životný cyklus, údržbu, indikátory a zvyškové riziko	hodnotenie úspechu iba podľa počtu alebo rozmeru zrealizovaných prvkov
Povoľovacia a koordinačná	včas identifikovať právne a územné konflikty	variantné posúdenie, vlastnícke a prístupové vzťahy, relevantné osobitné predpisy	automatické považovanie NbS za bezkonfliktný alebo bez povolenia realizovateľný zásah
Dátová	zabezpečiť použiteľné a interpretovateľné podklady	metadáta, aktuálnosť, rozlíšenie, interoperabilitu, terénne overenie pri detailnom návrhu	prenášanie regionálnych máp priamo do lokálneho návrhu bez validácie
Hodnotiaca	zbierať skúsenosti a vytvárať spätnú väzbu	referenčný stav, skutočné vyhotovenie, monitoring, udalosti, údržbu a náklady	archivovanie iba úspešných príkladov bez záznamu porúch a korekcií

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Dôležitým výstupom verejnej správy nie je jednotný katalóg parametrov, ale prostredie, v ktorom možno kvalitné riešenie navrhnuť, prevádzkovať a porovnať s inými zásahmi. Ak sa podmienky podpory viažu na merateľný účinok a na transparentnú dokumentáciu, vytvára sa zároveň databáza skúseností použiteľná pri ďalších rozhodnutiach.

9.3. Využitie v krízovom riadení a civilnej ochrane

Vzťah prírode blízkyh riešení ku krízovému riadeniu je potrebné vymedziť presne. Opatrenie v lese nie je zásahovou kapacitou a nenahrádza varovanie, evakuáciu, uzávery, záchranné práce ani činnosť zložiek integrovaného záchranného systému. Jeho prínos vzniká skôr, nakoľko znižuje časť rizika, stabilizuje vybrané procesy, zlepšuje prístupnosť alebo vytvára informácie použiteľné pri rozhodovaní. V tomto zmysle patrí najmä do prevencie a pripravenosti, pričom po udalosti môže podporiť obnovu a znížiť pravdepodobnosť následných kaskádových javov.

Sendaiský rámec znižovania rizika katastrof spája porozumenie riziku, riadenie rizika, investovanie do odolnosti a pripravenosť na účinnú reakciu s princípom obnovy typu *Build Back Better* (UNDRR, 2015). Prírode blízke riešenia možno do tohto cyklu zaradiť len vtedy, ak je

známe, akú časť rizika ovplyvňujú. Retenčný alebo protierózny prvok môže znížiť lokálne zaťaženie, ale nemá sa v krízovom pláne interpretovať ako garancia, že pri extrémnej udalosti nedôjde k zaplaveniu alebo poškodeniu. Krízové plánovanie musí pracovať aj s reziduálnym rizikom a so scenárom prekročenia funkčnej kapacity opatrenia.

V etape prevencie je najdôležitejší spoločný priestorový obraz. Lesné komunikácie, priepusty, vodné toky, svahy, miesta akumulácie horľavého materiálu, zdroje vody, objekty, sídla a kritické prístupové trasy majú byť posudzované v jednom referenčnom systéme. Takáto vrstva môže slúžiť na výber lokalít pre opatrenia, ale aj na prípravu zásahových variantov. Údaj má byť čitateľný aj pre používateľa, ktorý sa nepodieľal na jeho vzniku: musí obsahovať aktuálnosť, mierku a vysvetlenie významu. Bez týchto informácií môže detailná mapa vytvárať falošný pocit presnosti.

Pripravenosť znamená nielen mať údaje, ale vedieť podľa nich konať. Pre vybrané lokality je preto vhodné definovať spúšťače kontroly alebo operačného upozornenia. Môže ísť o prekročenie zrážkového úhrnu, rýchlu zmenu pôdnej vlhkosti, dlhé obdobie sucha, extrémny vietor alebo vyhlásenie zvýšeného požiarneho nebezpečenstva. Prahová hodnota nemá byť zvolená len podľa technickej možnosti snímača; musí byť naviazaná na rozhodnutie. Ak prekročenie nevytvára žiadnu zmenu v postupe, nejde o operačný prah, ale iba o analytickú hodnotu.

Počas udalosti sa z monitorovacích dát využívajú iba údaje, ktoré sú dostatočne spoľahlivé, aktuálne a interpretovateľné. Krízový štáb nepotrebuje kompletný časový rad každého senzora. Potrebuje informáciu, či je komunikácia prejazdná, či hrozí zablokovanie priepustu, či je svah v stave vyžadujúcom obmedzenie vstupu, kde sú bezpečné prístupové trasy a aké zmeny boli potvrdené. Predpripravené mapové vrstvy a stručné stavové kategórie skracujú čas potrebný na preklad odborných dát do operačného rozhodnutia.

Prírode blízke opatrenie môže byť počas mimoriadnej udalosti samo predmetom rizika. Zachytávacia konštrukcia sa môže upchať, drevený prvok môže byť mechanicky poškodený, vegetácia môže vyhorieť a dočasná stabilizačná funkcia sa môže znížiť. Krízové postupy preto nemajú predpokladať nemennú kapacitu. Pri prvkoch, ktorých zlyhanie môže ovplyvniť prístupovú trasu alebo bezpečnosť osôb, je vhodné mať pripravený alternatívny postup a po udalosti vykonať prioritnú kontrolu.

Obnova po udalosti je vhodným okamihom na prehodnotenie príčin, nie iba na obnovenie pôvodného stavu. Ak extrémna zrážka opakovane presmeruje vodu cez cestu, rekonštrukcia identického odvodnenia reprodukuje známy problém. Ak požiar ukáže nefunkčnú priestorovú konfiguráciu vegetácie a prístupových línií, obnova porastu má zohľadniť budúce požiarne riziko. Princíp *Build Back Better* sa v lesnom prostredí prejavuje tým, že sa pri obnove využije dôkaz o skutočnom mechanizme zlyhania a upraví sa usporiadanie územia tak, aby sa nezachovala rovnaká zraniteľnosť (UNDRR, 2015).

Európska stratégia únie pripravenosti (angl. European Preparedness Union Strategy) posilňuje prístup založený na anticipácii, celospoločenskej pripravenosti a pravidelnom cvičení spolupráce medzi sektormi (European Commission, 2025b). Pre lesné územia to podporuje spoločné štábne a terénne cvičenia vlastníkov, obhospodarovateľov, obcí, hasičov, civilnej ochrany a ďalších správcov infraštruktúry. Scenár môže kombinovať požiar s obmedzenou priechodnosťou lesnej cesty, intenzívnou zrážkou po požari alebo poruchou energetickej infraštruktúry. Prínosom nie je simulovať čo najväčšiu katastrofu, ale overiť rozhodovacie rozhrania a dostupnosť informácií.

V slovenskom právnom prostredí tvorí základ civilnej ochrany zákon č. 42/1994 Z. z. o civilnej ochrane obyvateľstva; problematika riadenia štátu v krízových situáciách mimo času vojny a vojnového stavu je upravená zákonom č. 387/2002 Z. z. Prírode blízke opatrenia nevytvárajú samostatnú kompetenciu podľa týchto predpisov. Môžu však poskytovať podklady pre analýzu ohrozenia, preventívne plánovanie, pripravenosť a obnovu, ak sú ich údaje a limity prepojené s rozhodovacími postupmi príslušných orgánov.

Z pohľadu civilnej ochrany je preto vhodné hodnotiť opatrenie aj podľa jeho informačnej použiteľnosti. Úspešný monitoring nie je ten, ktorý vytvorí najväčší objem údajov, ale ten, z ktorého možno včas odvodiť stav relevantný pre ochranu života, zdravia, majetku alebo sprístupnenia územia. Takto chápaná väzba medzi environmentálnym monitoringom a krízovým riadením môže zvýšiť hodnotu investície bez toho, aby sa z ekologického opatrenia robil prvok záchranného systému.

Väzbu prírode blízkyh riešení na jednotlivé fázy krízového cyklu sumarizuje tabuľka 9.3.

Tabuľka 9.3 Uplatnenie prírode blízkyh riešení v krízovom riadení a civilnej ochrane

Fáza	Možný prínos riešenia	Operačne využiteľný výstup	Hlavné obmedzenie
Prevenencia	zníženie expozície alebo citlivosti, stabilizácia vybraných procesov	riziková mapa, priorita lokalít, scenár reziduálneho rizika	lokálny účinok nemožno zamieňať za elimináciu hazardu
Pripravenosť	monitoring, prístupové a zásahové plánovanie, vopred určené spúšťače kontroly	stavové kategórie, prahové hodnoty, aktualizované prístupové trasy	údaje musia byť validované, zrozumiteľné a časovo aktuálne
Reakcia	podpora situačného prehľadu a rozhodovania o bezpečnom prístupe	informácia o prejazdnosti, stave prvku, potvrdenom poškodení alebo obmedzení	opatrenie samo môže byť poškodené alebo prekročené
Obnova	zníženie sekundárnych rizík a úprava zraniteľných miest podľa dôkazov z udalosti	post-event záznam, nový návrh, aktualizovaný referenčný stav	obnova identického stavu môže reprodukovať pôvodnú zraniteľnosť

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Tabuľka 9.3 ukazuje, že najväčší prínos prírode blízkyh riešení pre krízové riadenie sa nachádza pred udalosťou a po nej. Počas reakcie majú význam najmä informácie o aktuálnom stave a o bezpečnosti prístupu. Tým sa predchádza nesprávnemu očakávaniu, že preventívny prvok dokáže v extrémnej situácii nahradiť operačné opatrenia.

9.4. Využitie pri manažmente lesných požiarov

Manažment lesných požiarov je oblasťou, v ktorej sa význam prírode blízkyh riešení musí posudzovať v celom rizikovom cykle. Európska komisia v roku 2026 prijala rámec integrovaného manažmentu rizika lesných požiarov, ktorý výslovne prepája prevenciu, pripravenosť, reakciu a obnovu a zdôrazňuje potrebu dlhodobého krajinného prístupu (European Commission, 2026). Podobne FAO chápe integrovaný manažment požiarov ako kombináciu manažmentu paliva a krajiny, pripravenosti, zásahu, obnovy a sociálno-ekologických súvislostí (FAO, 2024). Pre lesnícku prax z toho vyplýva, že požiarna odolnosť nevzniká jedným pásom alebo jedným pestovným zásahom.

Prvým predpokladom je odlišiť pravdepodobnosť iniciácie od potenciálu šírenia a od následkov. Mnohé lesné požiare v Európe sú iniciované ľudskou činnosťou, zatiaľ čo ich ďalší priebeh zásadne ovplyvňuje vlhkosť, množstvo a kontinuita paliva, počasie a reliéf. Prírode blízke riešenia môžu ovplyvňovať predovšetkým palivový komplex, priestorovú štruktúru vegetácie, mikroklimu, schopnosť obnovy a v niektorých prípadoch prístupnosť pre zásah. Nemajú sa preto hodnotiť ako nástroje eliminácie zapálenia, pokiaľ priamo nemenia zdroj iniciácie alebo správanie ľudí.

Na úrovni porastu je rozhodujúca horizontálna a vertikálna kontinuita horľavého materiálu. Hustý podrast, nízko nasadené živé koruny, nahromadené jemné suché palivo a súvislá krovinná vrstva môžu vytvárať podmienky pre prechod povrchového požiaru do vyšších vrstiev. Cieľom však nemá byť plošné odstránenie všetkej biomasy. Mŕtve drevo, podrast a štruktúrna heterogenita majú ekologický význam a ich účinok na požiarne režim závisí od rozmeru, vlhkosti a priestorového usporiadania. Odborný zásah preto odlišuje jemné a rýchlo vysychajúce zložky od materiálu, ktorého odstránenie by prinieslo malý protipožiarne efekt a veľkú ekologickú stratu.

Redukcia paliva môže mať podobu selektívneho preriedenia, odstránenia časti krovinovej vrstvy, riadenej pastvy, spracovania jemných zvyškov alebo iného cieleného zásahu. Predpísané spaľovanie je v medzinárodnej literatúre významným nástrojom integrovaného manažmentu, jeho použitie však podlieha miestnym právnym, ekologickým, meteorologickým a odborným podmienkam a nemožno ho automaticky prenášať do všetkých európskych lesov. Podstatnejší než názov techniky je výsledok: zníženie pravdepodobnosti vysoko intenzívneho šírenia pri zachovaní požadovaných funkcií lesa (Oliveras Menor *et al.*, 2025; FAO, 2024).

Na úrovni krajiny sa opatrenia posudzujú podľa toho, či menia spojitosť paliva a vytvárajú priestory, v ktorých sa môže správanie požiaru zmeniť alebo kde je možné bezpečnejšie vedenie zásahu. Takúto úlohu môžu mať vhodne spravované lesné cesty, lúky, vodné toky, skalnaté plochy,

agroforezné alebo silvopastorálne plochy a cielene udržiavané vegetačné pásy. Európska environmentálna agentúra uvádza medzi prírode blízkymi možnosťami okrem diverzifikácie a adaptívneho lesného hospodárstva aj zelené protipožiarne pásy a nárazníkové zóny, pričom upozorňuje na potrebu štandardizácie implementácie a monitoringu (European Environment Agency, 2025).

Vegetačný protipožiarny pás nemožno interpretovať ako nepreniknuteľnú bariéru. Jeho účinok sa mení s druhovým zložením, množstvom suchej biomasy, údržbou, šírkou, orientáciou voči očakávanému smeru postupu, sklonom a vetrom. Pás, ktorý je pri miernych podmienkach účinným prerušením jemného paliva, môže pri extrémnom požiarom počasí stratiť taktický význam. Preto sa má navrhovať ako časť siete opatrení a vopred sa má určiť, akú funkciu má plniť, t. j. spomalenie, zníženie intenzity, ochranu konkrétnej hodnoty alebo vytvorenie lepších podmienok pre zásah.

Význam lesnej dopravnej siete je dvojitý. Cesty môžu vytvárať diskontinuitu paliva a umožniť prístup, zároveň však môžu zvyšovať počet potenciálnych iniciácií a pri nevhodnom odvodnení zhoršovať eróziu. Pri požiarom plánovaní sa preto neposudzuje len existencia cesty, ale jej šírka, nosnosť, prejazdnosť, možnosti otočenia, obmedzenia pre ťažké vozidlá, vegetácia v bezprostrednom okolí a alternatívne únikové smery. Údržba vegetácie pri kľúčových trasách má byť cieľená na bezpečnosť a taktické využitie, nie na plošné vytváranie širokých odlesnených koridorov bez posúdenia ekologických a erózných dôsledkov.

Zdroje vody v lesnom území môžu podporiť pripravenosť, no ich operačná hodnota musí byť overená. Malá retenčná nádrž alebo mokrad' vytvorená primárne na ekologickú a hydrologickú funkciu nemusí mať dostatočný objem, prístup alebo bezpečné odberné miesto pre zásah. Ak sa má uvádzať v zásahových podkladoch, treba samostatne overiť použiteľný objem, sezónnosť, prístup a technickú možnosť čerpania. Hydrologická funkcia NbS a funkcia zdroja hasiacej vody sú dve rozdielne požiadavky, ktoré sa môžu prekrývať len po technickom overení.

Meteorologický a pôdny monitoring má pri požiarom manažmente význam predovšetkým ako kontext pre stav vegetácie a paliva. Teplota, relatívna vlhkosť, vietor a zrážky pomáhajú interpretovať vysychanie jemných palív; pôdna vlhkosť a vegetačné ukazovatele dopĺňajú obraz dlhšieho stresu. Lokálny senzor však nenahrádza zavedený systém hodnotenia požiarneho nebezpečenstva. V praxi je vhodné kombinovať regionálne alebo národné predpovedné informácie s miestnym pozorovaním, pričom miestne údaje sa používajú na spresnenie rozhodnutí o údržbe, obhliadke alebo obmedzení rizikových činností.

Bezpilotný letecký monitoring môže podporiť mapovanie kontinuity vegetácie, kontrolu stavu pásov, dokumentáciu kalamitných plôch a hodnotenie následkov požiaru. Pri jeho použití pre operačné rozhodovanie musí byť zrejмый čas získania údajov a ich presnosť. Ortofotomapa z predchádzajúcej vegetačnej sezóny môže byť vhodná na plánovanie, ale nie na potvrdenie aktuálnej prejazdnosti trasy alebo čerstvého poškodenia. Pri požiaru je preto dôležitá hierarchia

údajov: strategické vrstvy pre prípravu, aktuálne pozorovania pre situáciu a následná detailná dokumentácia pre obnovu.

Po požiari sa mení hydrologický a erózný režim územia. Strata vegetačného krytu, poškodenie organickej vrstvy, tvorba vodoodpudivého povrchu a množstvo voľného materiálu môžu zvýšiť odtok a transport sedimentu. Opatrenia po požiari sa preto nevyberajú iba podľa spálenej plochy. Prioritu majú svahy a odtokové dráhy, pri ktorých by následná zrážka mohla ohroziť cestu, vodný tok, sídlo alebo inú hodnotu. EEA uvádza NbS aj v obnove územia po požiari. Výber musí zostať citlivý na prirodzenú regeneráciu a nesmie plošne nahrádzať ekologické procesy technickou stabilizáciou (European Environment Agency, 2025).

Integrovaný prístup zahŕňa aj organizačné a spoločenské opatrenia. Prevencia iniciácie, informovanie návštevníkov, koordinácia vlastníkov, zdieľanie prístupových údajov a spoločné cvičenia môžu mať rovnaký význam ako samotná úprava vegetácie. Oliveras Menor *et al.* (2025) zdôrazňujú, že integrovaný manažment požiarov je kontextovo závislý a musí prepájať ekologické, sociálno-ekonomické a riadiace podmienky. V oblastiach s fragmentovaným vlastníctvom je preto potrebné pracovať v krajinnom rozsahu a dohodnúť udržiavanie strategických línií naprieč hranicami parciel.

Z hľadiska ochrany pred požiarmi sa uplatňuje zákon č. 314/2001 Z. z. o ochrane pred požiarmi a vykonávacie predpisy v ich aktuálnom znení. Prírode blízke riešenie nemôže byť použité na obchádzanie povinností stanovených týmto rámcom. Jeho úlohou je dopĺňať prevenciu a krajinný manažment tam, kde možno ekologickými a lesníckymi zásahmi znížiť podmienky pre nežiaduce šírenie požiaru alebo zlepšiť pripravenosť územia. Pri každom prvku sa preto odporúča uviesť aj reziduálne riziko a podmienky, pri ktorých jeho účinok nemožno považovať za dostatočný.

Prevod jednotlivých cieľov požiarneho manažmentu do praktických opatrení a spôsobu ich kontroly sumarizuje tabuľka 9.4.

Tabuľka 9.4 Aplikačný rámec prírode blízkyh riešení pri manažmente lesných požiarov

Cieľ	Príklad prístupu	Čo hodnotiť	Prevádzková požiadavka	Reziduálne riziko
Znížiť kontinuitu jemného paliva	selektívny manažment podrastu, pastva alebo iný cielený zásah podľa stanovišťa	výšku a spojitosť paliva, suchú biomasu, nadväznosť na koruny	opakovaná kontrola podľa rastu a sezónnej dynamiky	obnova paliva môže byť rýchla; pri extrémnom počasí účinok klesá
Vytvoriť strategickú diskontinuitu	vegetačný pás, lúka, cesta, vodný tok alebo mozaika udržiavaných plôch	polohu voči smerom šírenia, šírku, sklon, palivo na oboch stranách	udržiavať bez nežiaduceho nahromadenia suchej biomasy	preskok žeravých častíc a korunový požiar môžu líniu prekonať

Cieľ	Príklad prístupu	Čo hodnotiť	Prevádzková požiadavka	Reziduálne riziko
Zlepšiť zásahovú prístupnosť	údržba kľúčových lesných ciest a okolia, bezpečné miesta na otočenie	nosnosť, prejazdnosť, šírku, sklon, alternatívny výjazd	kontrola po vetre, zrážkach, ťažbe a počas sezóny zvýšeného rizika	cesta môže byť pri požiari alebo povodni nebezpečná alebo nepriechodná
Podporiť dostupnosť vody	využitie overených vodných bodov alebo vhodne navrhnutých retenčných prvkov	použiteľný objem, sezónnosť, prístup a spôsob odberu	udržať prístup a technicky overiť odber	ekologická retenčná funkcia automaticky neznamená zdroj hasiacej vody
Obmedziť sekundárne škody po požiari	cielená stabilizácia erózných dráh, ochrana pôdy a prirodzenej obnovy	závažnosť poškodenia, sklon, odtok, sedimentovú konektivitu	kontrola pred a po intenzívnych zrážkach	nevhodný plošný zásah môže narušiť prirodzenú obnovu a pôdu

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Účinnosť opatrení uvedených v tabuľke 9.4 závisí od ich priestorovej kombinácie. Najväčšou chybou je hodnotiť jednotlivý pás, cestu alebo pestovný zásah bez vzťahu k očakávanému správaniu požiariu a k možnostiam zásahu. Integrovaný manažment preto spája prácu s vegetáciou, priestorové plánovanie, pripravenosť, monitoring a obnovu do jedného cyklu.

9.5. Využitie vo vzdelávaní a odbornej príprave

Vzdelávanie v oblasti prírode blízkych riešení nemá zostať pri typológii a vizuálnom rozpoznávaní opatrení. Odborník potrebuje vedieť, prečo sa dané riešenie použilo, aký proces má ovplyvniť, podľa čoho sa dimenzovalo, ako sa overí jeho účinok a kde sú hranice použiteľnosti. Rovnaký názov techniky môže byť v jednom mieste primeraný a v inom nefunkčný alebo rizikový. Preto je vhodnejšie stavať výučbu na rozhodovacom probléme než na katalógu hotových príkladov.

Základná úroveň prípravy má vytvoriť spoločný jazyk medzi lesníkmi, projektantmi, pracovníkmi verejnej správy, odborníkmi na ochranu pôdy a vody, geoinformatikmi, hasičmi a pracovníkmi krízového riadenia. Obsahuje pojmy hazard, expozícia, zraniteľnosť, reziliencia, reziduálne riziko, funkčný cieľ, indikátor, referenčný stav a adaptívny manažment. Bez spoločného významu týchto pojmov sa pri interdisciplinárnom rozhodovaní ľahko stáva, že každý účastník hodnotí „účinnosť“ podľa iného kritéria.

Aplikačná úroveň má byť terénna. Účastník dostane konkrétnu lokalitu a musí najprv zdokumentovať proces, nie navrhnúť riešenie. Sleduje reliéf, odtok, stav pôdy, vegetáciu, infraštruktúru, možné mechanizmy zlyhania a prístupnosť. Až následne vytvorí varianty a zdôvodní výber. Tento postup odhaľuje najčastejšiu chybu v praxi: snahu prispôbiť problém

vopred zvolenej technike. Terénne cvičenie má obsahovať aj situácie, v ktorých je správnym výsledkom konštatovanie, že prírode blízke opatrenie samo osebe nestačí.

Digitálna časť prípravy má prepájať GIS, diaľkový prieskum Zeme, UAV a časové rady monitoringu. Cieľom nie je ovládanie jedného softvéru, ale schopnosť posúdiť vhodnosť údajov pre rozhodnutie. Účastník má vedieť rozlíšiť regionálny skrining od detailného návrhu, vyhodnotiť priestorové rozlíšenie, skontrolovať časovú aktuálnosť a rozpoznať, kedy je nevyhnutné terénne overenie. Pri klasifikačných výstupoch má chápať, že vysoká celková presnosť nemusí znamenať spoľahlivú detekciu malej, ale rozhodujúcej triedy.

Monitoring je vhodné vyučovať ako experimentálnu logiku. Študent alebo účastník odbornej prípravy najprv sformuluje otázku, potom vyberie indikátor, navrhne referenčný stav, periodicitu a spôsob kontroly kvality. Až potom sa rozhoduje o senzore. Takýto postup vedie k pochopeniu, že technológia je prostriedkom, nie cieľom. Súčasťou hodnotenia má byť aj interpretácia nejednoznačného výsledku, napríklad situácie, keď sa po realizácii zlepšil jeden ukazovateľ, ale zhoršila sa prístupnosť alebo vznikla erózia v inom mieste.

Pre krízové riadenie a manažment lesných požiarov sú vhodné veliteľsko-štábne a taktické cvičenia. Účastníci pracujú s časovo postupujúcim scenárom a musia rozhodnúť, ktoré údaje potrebujú, kto ich poskytne a čo sa zmení po prekročení určitej podmienky. Európska stratégia únie pripravenosti podporuje pravidelné cvičenia naprieč sektormi ako nástroj pripravenosti (European Commission, 2025b). V lesnom scenári možno preverovať súbeh požiaru, obmedzenej priechodnosti, poškodenia komunikácie alebo následnej intenzívnej zrážky, aby sa testovala schopnosť pracovať s kaskádovým rizikom.

Vzdelávanie má pracovať aj s neúspešnými a upravenými riešeniami. Ukážka dokončeného opatrenia bez histórie porúch vytvára skreslený obraz. Oveľa väčšiu hodnotu má prípad, pri ktorom možno sledovať pôvodný predpoklad, realizáciu, prvú poruchu, diagnostiku príčiny, korekciu a nový stav. Takýto materiál učí adaptívny manažment a zároveň znižuje stigmú technickej revízie; úprava opatrenia na základe dôkazov nie je automaticky zlyhaním, ale súčasťou práce s dynamickým systémom.

Experimentálne územie môže plniť funkciu dlhodobého výučbového pracoviska. Účastníci sa vracajú na rovnaké body v rôznych obdobiach, porovnávajú dokumentáciu, merania a stav vegetácie a vidia, že účinok prírode blízkych riešení sa mení v čase. Lokalita Vydrovo môže v tomto zmysle slúžiť ako príklad prepojenia terénnej diagnostiky, technického návrhu a monitoringu; pedagogická hodnota však nespočíva v kopírovaní konkrétneho riešenia, ale v opakovaní rozhodovacieho postupu na inom mieste.

Odborná príprava pracovníkov z praxe má byť kratšia a rolovo orientovaná. Vlastník alebo obhospodarovateľ potrebuje rozpoznať poruchu a vedieť, kedy objednať odborné posúdenie. Verejná správa potrebuje hodnotiť kvalitu podkladov a výsledkov. Projektant potrebuje prepojiť ekologický princíp s návrhovými parametrami. Hasič alebo pracovník civilnej ochrany potrebuje

z environmentálnych vrstiev získať informácie relevantné pre pripravenosť a bezpečnosť. Spoločné jadro sa preto dopĺňa modulmi podľa rozhodovacích právomocí.

Hodnotenie vzdelávacieho výsledku by malo byť založené na dôkaze výkonu. Test pojmov môže overiť základné vedomosti, no aplikovanú kompetenciu lepšie preukáže terénny protokol, mapa, návrh monitoringu, obhajoba variantu alebo vyhodnotenie scenára. Takýto model zároveň umožňuje prepájať vysokoškolské vzdelávanie s celoživotnou odbornou prípravou a vytvárať spoločné zadania pre účastníkov z rôznych profesií.

Odporúčanú kompetenčnú štruktúru pre vzdelávanie a odbornú prípravu sumarizuje tabuľka 9.5.

Tabuľka 9.5 Kompetencie pre vzdelávanie a odbornú prípravu v oblasti prírody blízkyh riešení

Kompetencia	Odporúčaná forma	Dôkaz zvládnutia	Primárni používatelia
Rozpoznanie rizikového procesu	prednáška + terénna diagnostika	správne oddelená príčina, prejav a následok	lesníci, projektanti, verejná správa, študenti
Výber a zdôvodnenie riešenia	prípadová štúdia s variantmi	obhájený výber vrátane vylučovacích kritérií a reziduálneho rizika	projektanti, obhospodarovatelia, verejná správa
Priestorová analýza a dáta	GIS/UAV laboratórium + terénne overenie	mapový výstup s uvedením rozlíšenia, aktuálnosti a limitov	geoinformatika, lesníctvo, monitoring
Monitoring a validácia	návrh meracieho plánu a interpretácia časového radu	prepojenie indikátora na rozhodovaciu otázku a referenčný stav	výskum, správcovia, projektanti
Krízová pripravenosť	stolové a terénne cvičenie	správne použitie operačných vrstiev, prahov a komunikačných väzieb	civilná ochrana, hasiči, samospráva, vlastníci
Adaptívna správa	rozbor poruchy a návrh korekcie	odlíšenie údržby od potreby technického prehodnotenia	vlastníci, obhospodarovatelia, projektanti

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Kompetenčný prístup umožňuje meniť hĺbku výučby bez straty spoločnej logiky. Každá profesijná skupina môže pracovať s iným rozsahom detailu, ale rovnakou postupnosťou: problém, dôkaz, rozhodnutie, realizácia, overenie a adaptácia. To je podstatné aj pre medziodborovú komunikáciu pri zložitejších lokalitách.

9.6. Prenositel'nosť riešení do ďalších území

Prenositel'nosť je často zamieňaná s opakovateľnosťou. Ak opatrenie fungovalo na jednej lokalite, neznamená to, že možno jeho rozmery, materiály alebo druhové zloženie bez zmeny

použiť inde. Prenositel'ný býva predovšetkým princíp a rozhodovací postup. Technická konfigurácia je viazaná na rozsah procesu, topografiu, pôdu, hydrológiu, vegetáciu, klímu, požiarne podmienky, dostupnosť materiálu, vlastnícke vzťahy a schopnosť údržby. Replikácia bez novej diagnostiky môže viesť k presnému zopakovaniu riešenia v podmienkach, pre ktoré nebolo navrhnuté.

Prenos sa preto začína opisom zdrojovej lokality. Nestačí fotografia hotového prvku. Dokumentácia musí uviesť problém, mechanizmus, návrhové predpoklady, rozhodujúce vstupné parametre, podmienky realizácie, skutočné vyhotovenie, monitorovaný výsledok, udalosti počas prevádzky, vykonanú údržbu a zistené limity. Až takýto súbor umožňuje rozlíšiť, čo bolo pre úspech podstatné a čo bolo iba miestnou okolnosťou. Bez tejto informácie sa prenáša objekt, nie poznatok.

Cieľová lokalita sa následne hodnotí rovnakým diagnostickým postupom ako lokalita pôvodná. Porovnáva sa typ a veľkosť procesu, pôdny a hydrologický režim, sklon a expozícia, charakter vegetácie, budúci klimatický vývoj, disturbancie, prístupnosť, režim ochrany a prevádzkové kapacity. Pri požiarnych opatreniach sa dopĺňa palivový komplex, požiarny režim, pravdepodobné smery šírenia a vzťah k zásahovým líniam. Pri vodných opatreniach sa osobitne posudzuje povodie a bezpečný režim pretečenia pri prekročení kapacity.

Praktické je rozdeliť prenos na tri úrovne. Pri vysokej zhode možno preniesť princíp aj základnú konfiguráciu, ale parametre sa overia miestnym výpočtom alebo terénnym posúdením. Pri strednej zhode sa prenáša iba princíp; geometria, materiál alebo druhová skladba sa navrhnu nanovo. Pri nízkej zhode je vhodné považovať skúsenosť len za inšpiráciu a vytvoriť nový koncept. Takéto rozdelenie zabraňuje tomu, aby bol „pilotný príklad“ interpretovaný ako typový projekt.

Škálovanie z bodového prvku na väčšie územie prináša ďalšiu neistotu. Viac rovnakých opatrení nemusí vytvoriť lineárne väčší účinok. Pri retencii sa mení súčet príspevkov z čiastkových povodí a synchronizácia odtoku, pri protieróznych prvkoch sedimentová konektivita, pri požiarnych opatreniach priestorová kontinuita paliva a pri pestovných zásahoch mikroklima a štruktúra krajiny. Rozšírenie preto potrebuje nové hodnotenie na úrovni, na ktorej sa očakáva výsledok. Lokálne účinný prvok nemožno bez ďalšieho označiť za riešenie krajinného rizika.

Pri prenose sa má posudzovať aj čas. Vegetačné opatrenie môže v prvých rokoch poskytovať menšiu mechanickú alebo protieróznu funkciu a neskôr sa stabilizovať. Naopak, zanedbaný vegetačný protipožiarny pás môže s rastom biomasy postupne stratiť požadovanú vlastnosť. Výsledok zo zdrojovej lokality je preto potrebné vzťahovať k veku opatrenia a udalostiam, ktorým bolo vystavené. Jedna priaznivá sezóna neposkytuje rovnakú dôkazovú hodnotu ako niekoľkoročné pozorovanie zahŕňajúce relevantné zaťažovacie situácie.

Ekonomická prenositeľnosť je samostatná otázka. Lokálny materiál, dostupná pracovná sila, dopravná vzdialenosť, vlastnícka štruktúra alebo možnosť spoločnej údržby môžu zásadne zmeniť životné náklady. Opatrenie s priaznivým pomerom nákladov a prínosov na demonštračnej lokalite

nemusi byť rovnako výhodné tam, kde je zložitý prístup alebo vysoké transakčné náklady. Európsky rámec hodnotenia NbS preto spája posúdenie účinnosti s nákladmi a s otázkou, či sú podmienky pre škálovanie a replikáciu dostatočne podobné (European Commission, 2021).

Inštitucionálna a právna prenositeľnosť môže byť rovnako limitujúca ako fyzické podmienky. Zásah, ktorý bol na jednom mieste realizovaný na pozemku jedného vlastníka, môže v inom povodí vyžadovať dohodu viacerých vlastníkov, správcu toku, orgánu ochrany prírody alebo správcu komunikácie. Pri požiarnom manažmente môže byť rozhodujúca schopnosť udržiavať opatrenia na hraniciach vlastníctva. Preto sa ešte pred technickým návrhom preveruje, kto môže o zásahu rozhodnúť, kto ho bude udržiavať a kto bude niesť náklady pri oprave po udalosti.

Dôležitým princípom je skúšobné zavedenie tam, kde je neistota významná. Pilot nemá slúžiť ako marketingová ukážka, ale ako riadený test predpokladov. Vopred sa určí, čo sa overuje, aké sú kritériá úspechu a čo sa stane pri nepriaznivom výsledku. Po prvom období sa parametre upravujú a až následne sa rozhodne o rozšírení. IUCN Global Standard viaže škálovanie na dôkazovú základňu, adaptívny manažment a dokumentovanie podmienok umožňujúcich úspech, čo je priamo použiteľné pri prenose prírode blízkeho riešenia vhodných do lesného prostredia (IUCN, 2026).

Pri prenose poznatku sa majú archivovať aj poruchy, neočakávané účinky a zamietnuté varianty. Informácia, že fašina v určitej hydraulikej polohe bola opakovane podmyvaná alebo že vegetačný pás vyžadoval neúmernú údržbu, je pre ďalšie územie rovnako cenná ako fotografia úspešného riešenia. Databáza obsahujúca len dokončené a vizuálne priaznivé príklady vedie k selektnému skresleniu a neposkytuje podklad na realistické rozhodovanie.

Prenositeľnosť preto možno chápať ako audit predpokladov. Pri každom významnom parametri sa položí otázka, či je v cieľovom území zachovaný mechanizmus, ktorý podmienil funkciu zdrojového riešenia. Ak nie, parameter sa musí znovu navrhnuť alebo sa zvolí iný princíp. Takto sa skúsenosť z jednej lokality mení na všeobecne použiteľnú metodiku bez toho, aby sa z nej vytvoril univerzálny typový detail.

Kľúčové skupiny podmienok, ktoré sa majú pri prenose porovnať, sumarizuje tabuľka 9.6.

Tabuľka 9.6 Matica preverenia prenositeľnosti prírode blízkeho riešenia

Skupina podmienok	Otázka pre cieľové územie	Minimálny dôkaz	Dôsledok pre prenos
Funkčný problém	Je mechanizmus a rozsah problému rovnaký alebo porovnateľný?	terénna diagnostika, história udalostí, rozsah procesu	ak sa mechanizmus líši, neprenášať technickú konfiguráciu
Topografia a hydrologia	Sú sklon, odtokové dráhy, povodie a režim pretečenia porovnateľné?	DTM, terénne overenie, hydrologické údaje podľa typu zásahu	nové dimenzovanie a lokalizácia

Skupina podmienok	Otázka pre cieľové územie	Minimálny dôkaz	Dôsledok pre prenos
Pôda a geotechnika	Má podklad podobnú erodovateľnosť, infiltráciu a stabilitu?	pôdny profil, terénne skúšky alebo odborné posúdenie	upraviť založenie, materiál alebo zvoliť iný princíp
Vegetácia a biologická funkcia	Sú druhy a podmienky zakorenenia vhodné pre cieľové miesto?	stanovištné podmienky, vegetačný prieskum, dostupnosť vody	nový výber druhov a časového režimu založenia
Požiarne podmienky	Zodpovedá palivový komplex, reliéf a požiarne počasie zdrojovej skúsenosti?	mapa paliva, terénna inventarizácia, klimatické a požiarne údaje	nové priestorové usporiadanie a údržbový režim
Infraštruktúra a prístup	Je možné opatrenie bezpečne realizovať, kontrolovať a opravovať?	prístupové trasy, obmedzenia mechanizácie, zásahová dostupnosť	zmena technológie alebo vylúčenie neprístupného variantu
Vlastnícke a inštitucionálne podmienky	Je jasné, kto rozhoduje, financuje a udržiava?	vlastnícke vzťahy, dohody, kompetencie	bez zabezpečenej správy nerealizovať škálovanie
Právne a ochranné podmienky	Je zásah prípustný v danom režime a s potrebnými súhlasmi?	relevantné právne posúdenie a stanoviská	upraviť variant alebo zvoliť inú lokalitu
Dôkaz účinnosti	Bol zdrojový výsledok overený pri relevantnom zaťažení a dostatočne dlho?	monitoring, post-event kontroly, záznam údržby a porúch	pri slabej evidencii najprv pilotné overenie

Zdroj: Vlastné spracovanie.

Matica v tabuľke 9.6 nehodnotí prenos binárne. Jej účelom je ukázať, ktoré časti skúsenosti možno prevziať a ktoré treba znovu odvodiť. Najvyššiu prenositeľnosť má spravidla funkčný princíp a metodika rozhodovania, najnižšiu konkrétny rozmer alebo druhový detail bez väzby na miestne podmienky.

Aplikačné odporúčania uvedené v tejto kapitole vedú k spoločnému záveru: prírode blízke riešenie je potrebné spravovať ako súčasť dynamického územného systému. Vlastník a obhospodarovateľ zodpovedajú za jeho začlenenie do prevádzky; verejná správa za podmienky umožňujúce koordinované a preukázateľné uplatnenie; krízové riadenie a civilná ochrana môžu využívať výsledky rizikových analýz a monitoringu; manažment lesných požiarov ich začleňuje do dlhodobého cyklu prevencie, pripravenosti, reakcie a obnovy. Vzdelávanie vytvára schopnosť tieto väzby rozpoznať a prenositeľnosť určuje, do akej miery možno skúsenosť uplatniť v inom území.

Najdôležitejšou podmienkou použiteľnosti je zachovanie sledovateľnosti od problému k dôkazu. Ak nie je zrejmé, aký proces sa mal zmeniť, nemožno neskôr presvedčivo rozhodnúť, či opatrenie fungovalo. Ak nie sú zdokumentované hranice použiteľnosti, nie je bezpečné riešenie

škálovať. A ak nie je zabezpečená údržba a spätná väzba, počiatočná technická kvalita nezaručuje dlhodobú účinnosť. Práve táto rozhodovacia disciplína odlišuje prírode blízke riešenie ako overiteľný nástroj adaptácie od izolovaného prvku, ktorého prínos sa iba predpokladá.

10. Syntéza poznatkov, limity a perspektívy rozvoja

Predchádzajúce kapitoly vytvorili súvislý rámec od identifikácie klimatických a disturbančných rizík cez diagnostiku lokality, výber a technický návrh prírode blízkeho riešenia až po monitoring, ekonomické hodnotenie a aplikačné odporúčania. Záverečná syntéza preto nemá opakovať jednotlivé typy opatrení ani ich technické detaily. Jej úlohou je posúdiť, ktoré závery možno považovať za všeobecne použiteľné, ktoré zostávajú podmienené konkrétnym stanoviskom a ktoré otázky zatiaľ nemožno uzavrieť bez ďalšieho dlhodobého overovania.

Východiskom syntézy je rozlíšenie medzi potenciálom a preukázaným účinkom. Prírode blízke riešenie (NbS) môže mať dobre vysvetlený mechanizmus, napríklad zvyšovať drsnosť povrchu, spomaľovať odtok, stabilizovať pôdu koreňovým systémom, meniť štruktúru porastu alebo prerušovať kontinuitu paliva. Samotná existencia takého mechanizmu však ešte nepreukazuje, že zvolená konfigurácia dosiahne požadovaný výsledok v konkrétnej lokalite. Účinok vzniká až v interakcii medzi intenzitou zaťaženia, vlastnosťami stanovišťa, technickými parametrami, biologickým vývojom a spôsobom údržby. Práve preto medzinárodné rámce NbS kladú rovnaký dôraz na návrh, monitorovanie, adaptívny manažment a škálovanie založené na dôkazoch (European Commission, 2021; IUCN, 2026).

Druhou základnou tézou je, že prírode blízke riešenia neznižujú všetky zložky rizika rovnakým spôsobom. Nemôžu odstrániť regionálny trend otepľovania, zastaviť extrémnu zrážku ani vylúčiť zdroj zapálenia. Môžu však zmeniť expozíciu, citlivosť a schopnosť územia obnoviť funkciu: napríklad rozptýliť odtok, znížiť eróziu konektivitu, stabilizovať povrch, zvýšiť štrukturálnu heterogenitu porastu alebo vytvoriť menej priaznivé podmienky pre vysoko intenzívne šírenie požiaru. Hodnotenie ich prínosu preto musí byť viazané na konkrétny proces a na mierku, v ktorej sa výsledok očakáva.

Tretím východiskom je rastúca neistota budúcich podmienok. Európske lesy už vykazujú výrazné zmeny disturbančného režimu a dostupné analýzy upozorňujú na zvyšovanie vplyvu vetra, podkôrneho hmyzu a požiarov, na signály poklesu reziliencie aj na možný výrazný rast disturbancií počas 21. storočia (Patacca *et al.*, 2023; Forzieri *et al.*, 2022; Grünig *et al.*, 2026). Opatrenie navrhnuté iba podľa historického priemeru preto nemusí zostať primerané počas celej svojej životnosti. Syntéza musí pracovať nielen s otázkou, či riešenie funguje dnes, ale aj s tým, či je možné jeho funkciu udržať, upraviť alebo bezpečne doplniť pri zmene zaťaženia.

Z týchto dôvodov sa kapitola sústreďuje na tri navzájom prepojené roviny. Podkapitola 10.1 sumarizuje hlavné prínosy a hranice použiteľnosti prírode blízkeho opatrení. Podkapitola 10.2 rozlišuje zdroje neistoty pri hodnotení účinnosti a navrhuje spôsob, ako ich transparentne dokumentovať. Podkapitola 10.3 formuluje otvorené výskumné otázky tak, aby nadväzovali na praktické rozhodnutia vlastníkov, obhospodarovateľov, projektantov, verejnej správy a ďalších používateľov výsledkov.

10.1. Syntéza prínosov a limitov prírode blízkyh opatrení

Najvýznamnejším spoločným prínosom prírode blízkyh opatrení je schopnosť zasahovať do procesov, ktoré vytvárajú alebo zosilňujú zraniteľnosť územia. Pri vodnom režime ide o zmenu rýchlosti a smeru odtoku, podporu infiltrácie a zníženie hydrologickej konektivity. Pri erózii a stabilizácii svahov sa pracuje s krytom pôdy, drsnosťou povrchu, zachytávaním transportovaného materiálu a koreňovým spevnením. Pri lesných porastoch možno meniť druhovú a štrukturálnu skladbu, pri požiarnom riziku množstvo, vlastnosti a priestorové usporiadanie paliva. Spoločným znakom je snaha upraviť funkciu systému skôr, než dôjde k poškodeniu, nie iba odstraňovať následky po udalosti.

Takýto procesný prístup je zároveň hlavným rozdielom oproti formálnemu používaniu pojmu NbS. Prírodný materiál sám osebe nezaručuje prírode blízky charakter riešenia. Drevený prvok, vegetačný pás alebo výsadba sú vhodné iba vtedy, ak sú previazané s identifikovaným problémom, ekologickým procesom a merateľnou funkciou. Seddon *et al.* (2020) upozorňujú, že prínosy NbS sú podmienené kvalitou návrhu a ekologickými limitmi; IUCN (2026) preto spája integritu riešenia so spoločenskou výzvou, biodiverzitou, ekonomickou realizovateľnosťou, riadením kompromisov a adaptívnym manažmentom. V lesnom prostredí sa tieto požiadavky premietajú do potreby zdôvodniť nielen to, čo sa má vybudovať alebo vysadiť, ale aj prečo má zvolený prvok ovplyvniť konkrétny rizikový proces.

Druhým prínosom je možnosť vytvárať viacnásobné funkcie v jednom zásahu. Stabilizovaný a vegetačne obnovený svah môže súčasne znižovať eróziu, podporovať infiltráciu, chrániť prístupovú cestu a vytvárať vhodnejšie mikrostaništné podmienky. Úprava štruktúry porastu môže meniť konkurenciu o vodu, priestorovú synchronizáciu poškodenia aj podmienky šírenia požiaru. Takéto súbežné účinky sú jedným z hlavných dôvodov rastúceho záujmu o NbS, nemožno ich však automaticky považovať za synergické. Jeden cieľ môže zosilňovať iný, ale môže s ním byť aj v konflikte.

Práve kompromisy predstavujú jednu z najdôležitejších hraníc použiteľnosti. Ponechávanie mŕtveho dreva podporuje biodiverzitu a kolobeh živín, no v určitom priestorovom usporiadaní môže zvyšovať časť palivového zaťaženia. Hustý vegetačný kryt môže chrániť pôdu pred eróziou, ale pri zanedbanej údržbe môže zvyšovať kontinuitu jemného paliva. Otvorenie porastu môže znížiť konkurenciu o vodu, ale dočasne meniť veterné zaťaženie a vysychanie podrastu. Prírode blízky prístup preto nemá maximalizovať jednu ekologickú vlastnosť bez ohľadu na ostatné, ale vyvažovať funkcie podľa dominantných a kaskádových rizík konkrétnej lokality.

Významným prínosom je aj podpora heterogenity. Európske analýzy ukazujú, že heterogenita ekosystému môže obmedzovať klimaticky podmienené riziká a že vyššia štrukturálna diverzita je v rozsiahlej časti európskych lesov pozitívne spojená s rezilienciou (Forzieri *et al.*, 2024; Pickering *et al.*, 2025). Tieto výsledky podporujú diverzifikáciu druhovej, vekovej a priestorovej štruktúry tam, kde zodpovedá stanovištiu a cieľom hospodárenia. Neumožňujú však odvodiť univerzálny „optimálny“ stupeň diverzity. Rovnaká štruktúra môže mať

odlišný význam pri suchu, vetre, požiari alebo pri ochrane pôdy a jej prínos sa mení podľa druhovej kompatibility, dostupnosti vody a priestorovej konfigurácie.

Pestovné a obnovné opatrenia majú navyše dlhý časový horizont. Wessely *et al.* (2024) poukazujú na klimaticky podmienené zužovanie vhodnosti drevín počas životnosti budúcich porastov. Rozhodnutie o drevinovej skladbe preto nemožno optimalizovať iba podľa súčasného stavu. Súčasne však nie je možné s istotou určiť budúce lokálne podmienky na desaťročia dopredu. Praktickým dôsledkom je diverzifikácia rizika, postupná obnova a priebežné overovanie reakcie porastu. Limitom je, že biologická adaptácia potrebuje čas a výsledok sa často nedá potvrdiť v trvaní jedného projektu alebo jedného plánovacieho obdobia.

Pri retenčných, protierózných a bioinžinierskych opatreniach je silnou stránkou možnosť decentralizovane ovplyvňovať proces priamo v mieste jeho vzniku alebo rozvoja. Malé zásahy rozmiestnené v hydrologicky alebo erózne významných polohách môžu znižovať koncentráciu odtoku, zachytávať sediment a podporovať stabilizáciu povrchu. Ich limitom je kapacita. Pri extrémnom prietoku, hlbkej geotechnickej poruche alebo intenzívnom transportnom procese nesmie lokálny biologický či drevený prvok nahrádzať riešenie, ktoré musí bezpečne previesť návrhové zaťaženie. Základnou zásadou je primeranosť mierky zásahu k mierke procesu.

Rovnaká zásada platí pri manažmente lesných požiarov. Prírode blízke opatrenia môžu meniť štruktúru vegetácie, vlhkostné a mikroklimatické pomery, kontinuitu paliva a obnovu po požiari, ale ich účinok je podmienený požiarom počasím, reliéfom, stavom paliva a údržbou. Európske hodnotenia preto zdôrazňujú lokálne prispôbený manažment paliva, vegetácie a krajinného usporiadania, nie univerzálne použiteľný protipožiarový pás (Keesstra *et al.*, 2024; European Environment Agency, 2025). Pri extrémnom požiari nemožno účinnosť žiadneho vegetačného alebo palivového opatrenia interpretovať ako garanciu zastavenia šírenia. Jeho úlohou je zmeniť pravdepodobný priebeh a vytvoriť priaznivejšie podmienky pre prevenciu, zásah alebo obnovu.

Dôležitou vlastnosťou prírode blízkych opatrení je ich vývoj v čase. Živý prvok sa môže zakorenením a rastom zlepšovať, na rozdiel od čisto pasívnej konštrukcie však môže aj stratiť požadovanú funkciu v dôsledku mortality, sukcesie, poškodenia alebo zmeny podmienok. To vytvára možnosť adaptívneho manažmentu, ale zároveň potrebu dlhodobej správy. Opatrenie bez zabezpečenej kontroly a údržby preto nemožno hodnotiť ako plne implementované riešenie. Prevádzková zodpovednosť je súčasťou jeho funkčnej integrity rovnako ako počiatkový návrh.

Ekonomický prínos NbS sa často spája s využitím miestnych materiálov, nižšou materiálovou náročnosťou a súbežnými ekosystémovými prínosmi. Takéto výhody sú však podmienené životným cyklom. Počiatčne lacný prvok môže byť nevýhodný, ak vyžaduje časté opravy, intenzívnu údržbu alebo opakované dopĺňanie biologického materiálu. Naopak, riešenie s vyššími prípravnými nákladmi môže byť výhodné, ak znižuje škody, predlžuje životnosť cesty alebo obmedzuje potrebu opakovaných sanácií. Porovnanie preto musí zahŕňať prípravu, realizáciu, biologické ustanovenie funkcie, údržbu, obnovu po udalosti a prípadné nahradenie opatrenia.

Škálovanie predstavuje samostatný limit. Funkčný prvok na malej ploche nemusí mať rovnaký účinok po jednoduchom znásobení počtu realizácií. V povodí sa mení synchronizácia odtoku, v krajine kontinuita paliva, v porastoch interakcia medzi štruktúrou a mikroklimou a pri sieti lesných ciest priestorové prepojenie odvodnenia. Účinnosť na úrovni objektu preto nemožno automaticky preniesť na úroveň porastu, povodia alebo krajiny. Prenositelný je predovšetkým mechanizmus a rozhodovací postup; parametre sa musia v novej mierke znovu overiť.

Syntéza ukazuje aj význam hybridných riešení. V podmienkach, kde čisté biologické alebo prírodné opatrenie nedokáže zabezpečiť potrebnú počiatočnú stabilitu, hydraulickú kapacitu alebo bezpečnostnú spoľahlivosť, môže byť vhodné kombinovať technický prvok s vegetáciou a prirodzenými procesmi. Takáto kombinácia nie je zlyhaním konceptu NbS. Naopak, môže byť odborne primeranou odpoveďou na situáciu, v ktorej bezpečnostná funkcia a ekologická integrita musia byť riešené súčasne. Limitom je tendencia označiť každý hybridný prvok za NbS bez posúdenia, či prírodný proces skutočne tvorí podstatnú časť mechanizmu a prínosu.

Pre celkové hodnotenie je preto vhodné rozlišovať medzi prínosom, podmienkou účinnosti a hranicou použiteľnosti. Toto rozlíšenie sumarizuje tabuľka 10.1.

Tabuľka 10.1 Syntéza hlavných prínosov, podmienok účinnosti a limitov prírode blízkych opatrení

Oblasť	Hlavný prínos	Podmienka účinnosti	Kľúčový limit / riziko nesprávnej interpretácie
Vodný režim	spomalenie, rozptýlenie a lokálna retencia odtoku; podpora infiltrácie	lokalizácia podľa skutočných odtokových dráh, vhodná pôda a bezpečný prepad alebo odvedenie vody	lokálny prvok nenahrádza hydraulickú kapacitu potrebnú pri extrémnom prietoku
Erózia a sediment	zníženie energie povrchového odtoku, zachytenie sedimentu, ochrana pôdneho krytu	zásah do zdroja alebo transportnej dráhy sedimentu, funkčný vegetačný kryt, kontrola po udalostiach	presun erózneho problému do iného miesta; zanesenie alebo podmytie prvku
Stabilizácia svahov	povrchové a plytké spevnenie, regulácia vody, dlhodobé koreňové pôsobenie	správne rozlíšenie mechanizmu poruchy a hĺbky nestability	bioinžiniersky prvok nemožno zamieňať s riešením hlbokkej geotechnickej nestability
Lesná dopravná sieť	zníženie erózie a poškodenia odtokom, stabilizácia okrajov a výtokov	prepojenie s kapacitným odvodnením, pravidelná kontrola priechodnosti a prístup na údržbu	upchatie, sústredenie vody alebo poškodenie môže zvýšiť riziko pre cestu aj nižšie položené objekty
Pestovné a obnovné zásahy	diverzifikácia rizika, podpora heterogenity a obnovy funkcií	druhovú a funkčnú kompatibilitu, budúca klimatická vhodnosť, postupná adaptácia	žiadna druhová ani štrukturálna konfigurácia nie je univerzálne odolná voči všetkým disturbanciám

Oblasť	Hlavný prínos	Podmienka účinnosti	Kľúčový limit / riziko nesprávnej interpretácie
Požiarne riziko	úprava množstva a kontinuity paliva, podpora požiarnej odolnosti a obnovy	lokálna analýza paliva, požiarneho počasia, reliéfu, prístupnosti a údržby	účinnosť nie je garantovaná pri extrémnom požiari; zanedbaná vegetácia môže stratiť funkciu
Biodiverzita a ekosystémové služby	možnosť súbežných ekologických prínosov nad rámec jednej technickej funkcie	zachovanie ekologickej integrity a explicitné riadenie kompromisov	maximalizácia jednej služby môže zhoršiť inú funkciu alebo zvýšiť iný typ rizika
Ekonomika a prevádzka	potenciál využitia miestnych zdrojov a zníženia opakovaných škôd	hodnotenie celého životného cyklu a zabezpečená správa	nízka investičná cena môže zakrývať vysoké náklady na údržbu alebo obnovu
Škálovanie a prenos	možnosť prenášať funkčný princíp a rozhodovací postup	nová diagnostika cieľového územia a overenie mierky procesu	mechanické kopírovanie rozmerov alebo druhov bez miestneho prehodnotenia

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa Seddon et al. (2020), European Commission (2021), Forzieri et al. (2024), Keesstra et al. (2024), European Environment Agency (2025) a IUCN (2026).

Tabuľka 10.1 potvrdzuje, že účinnosť prírode blízkeho riešenia nie je vlastnosťou názvu opatrenia, ale vzťahom medzi mechanizmom, lokalitou, zaťažením a správou. Najväčšia odborná hodnota NbS preto spočíva v schopnosti cielene meniť procesy a súčasne zachovať alebo podporiť ekologické funkcie. Najväčším rizikom je opačný postup: najprv vybrať atraktívny typ riešenia a až následne hľadať problém, ktorý by sa k nemu dal priradiť.

Rovnako dôležité je rozlišovať medzi odolnosťou voči jednej udalosti a širšou rezilienciou systému. Cerioni *et al.* (2024) pri hodnotení obnovy európskych temperátnych lesov po veľkých disturbanciách ukazujú, že zotavenie je podmienené predchádzajúcim stavom, typom disturbance a následným vývojom. Prírode blízke opatrenie preto môže znížiť bezprostredný dopad, urýchliť obnovu alebo zmeniť budúcu zraniteľnosť, ale tieto tri účinky nemusia nastať súčasne. Kvalitná syntéza musí vždy uviesť, ktorú zložku odolnosti alebo reziliencie hodnotí.

Z pohľadu budúceho manažmentu je významný aj rozdiel medzi robustnosťou a adaptabilitou. Robustné opatrenie zostáva funkčné v širšom rozsahu zaťaženia bez zásadnej zmeny. Adaptabilné opatrenie možno po zistení nových podmienok upraviť. Pri živých a hybridných systémoch je vhodné sledovať oba princípy. Nie je realistické predpokladať nemennosť návrhových podmienok počas desaťročí; rovnako však nie je prijateľné spoliehať sa na budúcu úpravu tam, kde by prvé prekročenie kapacity mohlo viesť k neprijateľnému bezpečnostnému následku.

Výsledkom tejto podkapitoly preto nie je hierarchia, v ktorej sú prírode blízke opatrenia nadradené konvenčným riešeniam. Výsledkom je rozhodovací rámec. Ak možno rizikový proces ovplyvniť ekologicky vhodným a technicky spoľahlivým spôsobom, NbS môže predstavovať vhodnú možnosť. Ak bezpečnostný alebo kapacitný limit presahuje jeho schopnosť, vhodná je hybridná konfigurácia alebo technické riešenie doplnené ekologickou stabilizáciou. Kritériom je preukázaná funkcia pri zachovaní primeranej ekologickej integrity, nie kategória použitá v názve projektu.

10.2. Neistoty a limity hodnotenia účinnosti opatrení

Hodnotenie účinnosti je kritickým miestom celého aplikačného rámca. Pri prírode blízkych opatreniach sa pozorovaný stav mení aj bez zásahu v dôsledku počasia, fenológie, sukcesie, disturbancií a bežného hospodárenia. Ak sa po realizácii zlepší pôdna vlhkosť, zníži množstvo sedimentu alebo zvýši vegetačný kryt, ešte to automaticky neznamená, že zmenu spôsobilo opatrenie. Naopak, nepriaznivý výsledok po extrémnej udalosti nemusí znamenať, že riešenie bolo neúčinné, ak bola intenzita zaťaženia výrazne vyššia než návrhová. Úlohou hodnotenia je preto oddeliť stav, zmenu, príčinu a mieru dôvery v interpretáciu.

Prvým zdrojom neistoty je východiskový stav. Bez referenčného merania alebo dostatočne zdokumentovaného stavu pred realizáciou nemožno spoľahlivo určiť veľkosť zmeny. Fotografia z jedného miesta alebo všeobecný opis lokality má nízku dôkazovú hodnotu, ak sa neskôr porovnáva s meraným výsledkom. Referenčný stav má používať rovnaké jednotky, priestorové vymedzenie a metodiku ako následný monitoring. Pri biologických ukazovateľoch je potrebné zohľadniť sezónnosť; pri hydrologických a erózných procesoch aj predchádzajúce meteorologické podmienky.

Druhým problémom je otázka, ako by sa územie vyvíjalo bez realizácie opatrenia. V experimentálnych podmienkach ju možno posudzovať pomocou kontrolnej plochy, v podmienkach reálneho lesného hospodárstva však často nie je možné vytvoriť plne porovnateľnú lokalitu bez zásahu. Praktickým riešením je preto kombinácia porovnania stavu pred realizáciou a po nej, referenčnej lokality s podobnými podmienkami a odborného vysvetlenia mechanizmu pozorovanej zmeny. Pri dostatočnom počte lokalít možno využívať aj porovnávanie území s podobnými stanovištnými charakteristikami alebo overovanie výsledkov na priestorovo oddelených lokalitách. Žiadny z týchto postupov neistotu úplne neodstráni, zvyšuje však dôveryhodnosť posúdenia, do akej miery možno pozorovanú zmenu pripísať realizovanému opatreniu.

Tretím zdrojom neistoty je výber indikátora. Ukazovateľ má byť citlivý na proces, ktorý opatrenie ovplyvňuje, ale nesmie zamieňať príčinu s následkom. Vegetačný index z diaľkového prieskumu môže zachytiť zmenu listovej plochy alebo vitality, neurčuje však sám, či ju spôsobila voda, poškodenie, fenológia alebo zásah. Objemová pôdna vlhkosť informuje o vodnom stave v mieste senzora, nie automaticky o retenčnej funkcii celého svahu. Množstvo sedimentu na jednom profile môže podhodnotiť transport mimo meranú líniu. Preto sa majú

kombinovať indikátory mechanizmu, stavu a výsledku a ich význam musí byť definovaný ešte pred začiatkom merania.

Pri technicko-biologických opatreniach je vhodné oddeliť počiatočnú technickú funkciu a neskoršiu biologickú funkciu. Fašina alebo drevená konštrukcia môže bezprostredne po realizácii zachytávať materiál, zatiaľ čo koreňové spevnenie sa vytvorí až po zakorenení. Naopak, technický prvok môže časom degradovať a rastúca vegetácia preberá väčšiu časť funkcie. Hodnotenie vykonané iba v jednom termíne môže preto nesprávne označiť opatrenie za úspešné alebo neúspešné. Časový plán monitoringu musí zodpovedať očakávanej trajektórii funkcie.

Štvrtou skupinou neistôt sú chyby merania a kvalita dát. Senzor môže driftovať, byť nesprávne umiestnený alebo vypadnúť práve počas významnej udalosti. Manuálne hodnotenie sa môže líšiť medzi pozorovateľmi. Poloha opakovaného bezpilotného snímkovania môže byť nepresná a automatická klasifikácia môže mať vysokú celkovú presnosť len preto, že dominantná trieda je ľahko rozpoznateľná. Reinosch *et al.* (2025) pri validácii máp disturbancií ukazujú význam triedovo špecifických mier presnosti a nezávislej validácie. Pre monitoring NbS z toho vyplýva potreba dokumentovať neistotu merania, kontrolovať kvalitu údajov a nespájať zdanlivú numerickú presnosť s presnosťou interpretácie.

Zabezpečenie kvality musí pokrývať celý dátový reťazec. Ferretti *et al.* (2021) pri harmonizovanom monitoringu lesov zdôrazňujú štandardizáciu metodiky, školenie, kontrolné merania, správu údajov a dokumentovanie zmien postupu. Rovnaký princíp platí pri lokálnom monitoringu opatrenia. Ak sa v treťom roku zmení typ senzora, výška letu alebo spôsob spracovania modelu terénu, zmena musí byť evidovaná a jej vplyv na porovnateľnosť posúdený. Chýbajúci údaj sa nesmie nahradiť nulou a korekcia nespoľahlivej série musí byť spätne dohľadateľná.

Piatym zdrojom neistoty je priestorová heterogenita. Pôdna vlhkosť, erózia, ujatie vegetácie aj palivové charakteristiky sa môžu meniť na vzdialenosti niekoľkých metrov. Bodové meranie preto nemusí reprezentovať celý objekt a plošný diaľkový prieskum nemusí zachytiť podzemný proces. Najvyššiu výpovednú hodnotu má kombinácia mierok: kontinuálny bodový monitoring pre časovú dynamiku, terénne transekty alebo plochy pre lokálnu variabilitu a bezpilotné alebo satelitné dáta pre priestorový kontext. Výber miest musí byť založený na procesnom modeli lokality, nie iba na dostupnosti priestoru pre senzor.

Šiestym problémom je nedostatok relevantných zaťažovacích udalostí. Retenčné alebo protierózne opatrenie môže byť niekoľko rokov bez významnej prívalovej zrážky a protipožiarne opatrenie nemusí byť počas životnosti vystavené požiaru. Absencia poruchy v takom období nie je dôkazom účinnosti pri extrémne. Hodnotenie má preto rozlišovať medzi bežnou prevádzkovou funkciou, funkciou pri pozorovanom zaťažení a extrapolovanou funkciou pri udalosti, ktorá ešte nenastala. Tam, kde nie je možné čakať na extrém, sa využíva modelovanie, laboratórne alebo menšie experimenty, analógové lokality a odborné posúdenie, vždy s explicitným uvedením neistoty extrapolácie.

Siedmym zdrojom neistoty je nestacionarita klímy. Návrhové podmienky odvodené z historického obdobia nemusia reprezentovať budúcu frekvenciu sucha, požiarneho počasia, privalových zrážok alebo kombinovaných extrémov. European Environment Agency (2024) upozorňuje na rast závažných klimatických rizík pre ekosystémy, vodné zdroje a infraštruktúru a Grünig *et al.* (2026) projektujú rast disturbancií v európskych lesoch počas 21. storočia. Hodnotenie účinnosti preto nemá byť uzavreté jednorazovým konštatovaním „funguje/nefunguje“. Musí sledovať, či sa mení expozícia a či pôvodná bezpečnostná alebo funkčná rezerva zostáva dostatočná.

Ôsmym problémom je mierka atribúcie. Lokálna prehrádzka môže znížiť eróziu bez toho, aby merateľne zmenila odtok na výstupe z veľkého povodia. Pestovný zásah môže zvýšiť heterogenitu jedného porastu, ale krajinný efekt vznikne až pri určitej priestorovej konfigurácii. Palivový pás môže meniť potenciálne správanie požiaru na konkrétnej línii, no jeho účinok na celkovú plochu požiarov nemožno odvodiť bez zohľadnenia iniciácií, počasia a krajinného usporiadania. Indikátor sa preto musí hodnotiť v tej mierke, v ktorej môže zásah kauzálné pôsobiť.

Deviatym zdrojom neistoty sú kaskádové a nepriame účinky. Opatrenie môže úspešne splniť primárnu funkciu, ale vytvoriť nový problém. Rozptýlenie vody môže zvýšiť zamokrenie nevhodného miesta, stabilizačný prvok môže zadržiavať materiál až do náhleho preplnenia, hustejšia vegetácia môže meniť palivovú kontinuitu a otvorenie zápoja môže zvyšovať vysychanie jemného paliva. Hodnotenie preto nemá sledovať iba cieľový indikátor, ale aj vopred definované neželané účinky a reziduálne riziko. To je obzvlášť dôležité pri multi-hazard situáciách, ktoré monografia chápe ako reťazce navzájom podmienených procesov.

Desiatou neistotou je selekčné skreslenie dôkazov. V odbornej komunikácii sa častejšie prezentujú úspešné realizácie než poruchy, zamietnuté varianty alebo opatrenia s neutrálnym výsledkom. Dunlop *et al.* (2024) upozorňujú na nerovnomernú dôkazovú základňu NbS a potrebu ďalších dlhodobých terénnych overení. Pre prax z toho vyplýva potreba archivovať aj neúspechy, príčiny opráv a zmeny konfigurácie. Databáza bez negatívnych výsledkov vedie k optimistickému odhadu účinnosti a sťažuje realistické škálovanie.

Neistotu nemožno odstrániť, možno ju však riadiť. Kľúčové je oddeliť neistotu merania od neistoty modelu, neistotu budúceho zaťaženia od neistoty samotného mechanizmu a neznalosť od prirodzenej variability. Namiesto jediného čísla má byť pri rozhodovaní uvedený rozsah, kvalitatívna trieda dôvery alebo scenáre. Ak je neistota vysoká, reakciou nemá byť automatické zamietnutie NbS, ale konzervatívnejší návrh, pilotné overenie, hustejší monitoring, hybridná konfigurácia alebo jasne stanovený bod, pri ktorom sa riešenie prehodnotí.

Pre praktické hodnotenie možno zdroje neistoty a primerané reakcie zhrnúť do matice uvedenej v tabuľke 10.2.

Tabuľka 10.2 Hlavné zdroje neistoty pri hodnotení účinnosti a odporúčané spôsoby ich riadenia

Zdroj neistoty	Možný dôsledok pre interpretáciu	Odporúčaný postup	Výstup, ktorý má byť dokumentovaný
Nedostatočný referenčný stav	nie je možné spoľahlivo určiť veľkosť zmeny	zber porovnateľných údajov pred realizáciou; archivácia fotografií, meraní a priestorového rozsahu	východiskový protokol a referenčná databáza
Chýbajúci kontrafaktúal	zmena sa môže nesprávne pripísať opatreniu	referenčná lokalita, časové porovnanie, párovanie plôch alebo procesné vysvetlenie	popis porovnávacej stratégie a jej limitov
Nevhodný indikátor	meraná veličina nereprezentuje cieľovú funkciu alebo má viac príčin	kombinovať indikátor mechanizmu, stavu a výsledku; vopred definovať očakávaný smer zmeny	matica cieľ – mechanizmus – indikátor – interpretačné obmedzenie
Chyba merania a zmena metodiky	zdanlivý trend vznikne technickou zmenou alebo driftom	kalibrácia, kontrolné merania, evidencia výmeny senzora a verzie spracovania	QA/QC záznam a história metodiky
Priestorová heterogenita	bodové meranie sa nesprávne generalizuje na celý objekt	stratifikovaný výber miest, kombinácia bodových, terénnych a plošných dát	mapa reprezentatívnosti meraní a rozsahu extrapolácie
Nedostatok extrémnych udalostí	dlhodobá bezporuchovosť sa zamieňa za overenie pri extrémne	oddeliť prevádzkovú validáciu od validácie pri zaťažovacej udalosti; modelovanie alebo analógové lokality	trieda dôkazu podľa typu a intenzity pozorovaného zaťaženia
Klimatická nestacionarita	historicky primeraný návrh stráca rezervu	scenárové posúdenie, pravidelná aktualizácia expozície a prahov pre prehodnotenie	záznam návrhových scenárov a dátum ich revízie
Nezhoda mierok	lokálny účinok sa nesprávne vydáva za porastový alebo krajinný výsledok	hodnotiť indikátor na úrovni, kde zásah môže kauzálne pôsobiť; osobitne posudzovať škálovanie	explicitné priestorové a časové hranice tvrdenia o účinnosti
Kaskádové a vedľajšie účinky	primárny prínos zakrýva nové alebo presunuté riziko	monitorovať definované neželané účinky a reziduálne riziko	register vedľajších účinkov, porúch a nápravných zásahov
Selekčné skreslenie	dôkazová základňa nadhodnocuje úspešnosť	archivovať aj neúspešné varianty, opravy, neutralitu výsledku a dôvody ukončenia	úplný záznam životného cyklu a rozhodnutí

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa European Commission (2021), Ferretti et al. (2021), Dunlop et al. (2024), Reinosch et al. (2025) a IUCN (2026).

Matica v tabuľke 10.2 má dôležitý interpretačný dôsledok: kvalitu hodnotenia neurčuje počet meraných premenných, ale schopnosť prepojiť údaje s rozhodnutím. Rozsiahly monitoring bez referenčného stavu a bez jasnej väzby na mechanizmus môže mať nižšiu dôkazovú hodnotu než menší, ale dobre navrhnutý súbor údajov. Rovnako nie je potrebné merať všetky možné ekosystémové služby pri každom opatrení. Minimálnym jadrom má byť cieľová funkcia, bezpečnostne významné vedľajšie účinky, stav technických a biologických komponentov a údaje potrebné na rozhodnutie o údržbe alebo zmene návrhu.

Výsledok hodnotenia by preto nemal byť formulovaný ako absolútny verdikt. Vhodnejšie je rozlíšiť, či bol mechanizmus potvrdený, pri akom zaťažení bola funkcia pozorovaná, ako dlho bola sledovaná, aká je kvalita dát a ktoré podmienky zostávajú neoverené. Takéto hodnotenie umožňuje porovnať lokality, transparentne škálovať dôkaz a určiť, kde už je možné riešenie štandardizovať a kde je stále potrebný pilotný alebo experimentálny režim.

Osobitnú opatrnosť vyžaduje používanie modelov a diaľkového prieskumu. Model môže rozšíriť hodnotenie na scenáre, ktoré neboli pozorované, a bezpilotné alebo satelitné dáta umožňujú sledovať veľké územie. Ani jeden nástroj však neodstraňuje potrebu terénnej interpretácie. Modelová neistota, parametre odvodené z iného regiónu alebo klasifikačná chyba sa môžu pri prenose do rozhodovania zosilniť. Najspoľahlivejší rámec preto spája terénny dôkaz, kontinuálne alebo opakované meranie, priestorovú informáciu a model ako navzájom kontrolujúce sa zdroje, nie ako vzájomné náhrady.

Napokon treba odlíšiť vedeckú neistotu od rozhodovacej neistoty. Veda nemusí vedieť presne predpovedať hodnotu budúceho prietoku alebo pravdepodobnosť konkrétneho požiaru, ale rozhodnutie môže byť napriek tomu robustné, ak je riešenie bezpečné v širšom rozsahu scenárov, má nízke negatívne dôsledky pri omyle a možno ho neskôr upraviť. Práve tento princíp je kľúčový pre adaptívny manažment v podmienkach klimatickej zmeny.

10.3. Otvorené otázky a perspektívy ďalšieho výskumu

Výskum prírode blízkych riešení sa v poslednom desaťročí rýchlo rozšíril, jeho dôkazová základňa však zostáva nerovnomerná medzi typmi opatrení, regiónmi a hodnotenými prínosmi. Dunlop *et al.* (2024) identifikujú rastúci vedecký záujem, ale zároveň potrebu dlhodobých terénnych skúšok, lepšieho hodnotenia spoločenských a ekonomických účinkov a systematickejšieho prepájania dôkazov. V lesnom prostredí je tento problém ešte výraznejší, pretože čas vývoja porastu, návratnosť disturbancií a životnosť opatrení často presahujú trvanie výskumného projektu. Perspektíva ďalšieho rozvoja preto nespočíva iba v nových technológiách, ale najmä v kvalitnejších dlhodobých dátach a v experimentálnych dizajnoch schopných zachytiť dynamiku systému.

Prvou prioritou je dlhodobé a viaclokálne overovanie. Jedna demonštračná lokalita môže presvedčivo ukázať technickú realizovateľnosť, ale len obmedzene vypovedá o prenositeľnosti. Potrebné sú súbory lokalít rozložené pozdĺž gradientov nadmorskej výšky, pôd, zrážok, drevinovej

skladby, manažmentu a disturbančnej histórie. Spoločné jadro indikátorov by umožnilo porovnávať reakcie, zatiaľ čo lokálne moduly by zachytili špecifické procesy. Takáto sieť by mala sledovať nielen priemerné podmienky, ale aj udalosti, pri ktorých sa opatrenie približuje k funkčnému limitu.

Druhou prioritou je určovanie prahov a mechanizmov zlyhania. Mnohé súčasné hodnotenia odpovedajú na otázku, či opatrenie prinieslo priaznivú zmenu, menej často však určujú, pri akej intenzite zaťaženia prestáva byť účinné alebo prechádza do iného režimu. Pri retenčných a erózných prvkoch treba poznať kapacitu pred pretečením, podmytím alebo zanesením. Pri bioinžinierskych zásahoch vývoj počiatočnej a koreňovej stability. Pri palivových úpravách čas, za ktorý opätovný rast biomasy znižuje pôvodný účinok. Výskum funkčného limitu má pre bezpečné škálovanie väčšiu hodnotu než samotné potvrdenie pri bežných podmienkach.

Tretou prioritou je výskum kombinovaných a kaskádových extrémov. Klimatická zmena môže meniť frekvenciu jednotlivých hazardov, ale aj ich poradie a súbeh. Sucho môže predchádzať požiaru, požiar môže zvýšiť eróziu citlivosť a následná intenzívna zrážka môže vyvolať transport sedimentu alebo poškodenie komunikácií. Vietor môže vytvoriť veľký objem poškodeného dreva a zmeniť podmienky pre podkôrny hmyz aj požiar. Projekcie rastu disturbancií v Európe (Grünig *et al.*, 2026) preto zvyšujú potrebu experimentov a modelov, ktoré nehodnotia opatrenie izolovane voči jednému hazardu, ale sledujú jeho správanie v sekvencii udalostí.

Štvrtou prioritou je presnejšie hodnotenie kompromisov medzi biodiverzitou, vodou, uhlíkom, produkciou a požiarom rizikom. Koncept NbS je postavený na viacnásobných prínosoch, v konkrétnej lokalite však nemožno očakávať ich súčasnú maximalizáciu. Výskum potrebuje funkčné krivky a scenáre, ktoré ukážu, ako sa zmena hustoty porastu, množstva mŕtveho dreva, druhovej skladby alebo režimu pastvy prejaví v rôznych cieľoch. Takéto údaje sú dôležité najmä pre verejnú správu a vlastníkov, pretože umožňujú transparentne rozhodovať o prijateľnom kompromise namiesto deklarovania všeobecného „multifunkčného prínosu“.

Piatou prioritou je klimatická robustnosť pestovných a obnovných rozhodnutí. Výsledky Wessely *et al.* (2024), Forzieri *et al.* (2022, 2024) a Pickering *et al.* (2025) ukazujú súčasne rast klimatického tlaku, význam heterogenity a nemožnosť odvodiť jednoduchú univerzálnu odpoveď. Ďalší výskum by mal spájať druhovú vhodnosť, funkčné vlastnosti, štrukturálnu diverzitu, vodnú bilanciáciu a disturbančné scenáre. Potrebne sú stratégie, ktoré neoptimalizujú porast pre jediný scenár klimatického vývoja, ale znižujú riziko výraznej straty jeho funkcií pri viacerých možných scenároch budúceho vývoja.

Šiestou prioritou je výskum palivového komplexu a požiarnej odolnosti stredoeurópskych lesov. Významná časť experimentálnych dôkazov o účinku palivových zásahov pochádza z regiónov s odlišným požiarom režimom. Európske hodnotenia poskytujú rámec pre prispôsobenie vegetácie a krajiny (Keesstra *et al.*, 2024; European Environment Agency, 2025), ale pre slovenské a karpatské podmienky je potrebné presnejšie poznať horľavosť druhov a vrstiev paliva, sezónnu dynamiku vlhkosti, obnovu po zásahu, účinok prerušenia horizontálnej

a vertikálnej kontinuity a interakciu s prístupnosťou pre zásah. Osobitne treba odlíšiť ekologickú vhodnosť opatrenia od jeho taktického významu pri konkrétnom požiari.

Siedmou prioritou je kvantifikácia hydrologických a erózných účinkov v lesnej dopravnej sieti. Lesné cesty a približovacie linky môžu byť dominantnými dráhami sústredeného odtoku a transportu sedimentu, pričom ich vplyv závisí od sklonu, povrchu, odvodnenia, intenzity využívania a napojenia na vodné toky. Ďalší výskum má prepájať detailné modely terénu, zrážkový monitoring, meranie pôdných vlastností a opakované mapovanie erózných foriem. Cieľom nemá byť iba odhad množstva sedimentu, ale identifikácia miest, v ktorých malý zásah dokáže prerušiť konektivitu a vytvoriť disproporčne veľký prínos.

Ôsmou prioritou je prepojenie terénneho monitoringu s diaľkovým prieskumom Zeme. Bezpilotné systémy, lidar a multispektrálne snímky umožňujú vysoké priestorové rozlíšenie, zatiaľ čo satelitné časové rady poskytujú dlhší a opakovateľný záznam. Výskum by mal smerovať k viacúrovňovej validácii, v ktorej sa terénny údaj používa na biologickú a procesnú interpretáciu a diaľkový prieskum na rozšírenie výsledku v priestore. Reinosch *et al.* (2025) pripomínajú, že vysoká celková presnosť klasifikácie nemusí znamenať vysokú presnosť cieľovej triedy; budúce monitorovacie systémy preto musia systematicky reportovať triedovo špecifické chyby, neistotu plochy a prenositeľnosť modelu mimo tréningových lokalít.

Deviatou prioritou je ekonomické hodnotenie založené na reálnom životnom cykle. Doterajšie analýzy často pracujú s investičnými nákladmi alebo s agregovanými odhadmi ekosystémových služieb. Pre rozhodovanie vlastníka je však rozhodujúci časový profil údržby, pravdepodobnosť opravy po udalosti, náklady na neujatie vegetácie, dostupnosť materiálu, prístup mechanizácie a hodnota odvrátených škôd. Potrebne sú porovnávacie štúdie, v ktorých sa NbS, hybridné a konvenčné riešenia hodnotia pri rovnakej funkčnej požiadavke a rovnakom časovom horizonte. Bez tejto podmienky sa ekonomické porovnanie môže redukovať na rozdiel investičnej ceny, ktorý nevypovedá o skutočnej efektívnosti.

Desiatou prioritou je štandardizácia dát a dokumentácie bez nadmernej štandardizácie samotných parametrov riešenia. Budúce databázy by mali používať spoločné identifikátory lokalít, definície indikátorov, metadáta, záznam skutočného vyhotovenia, udalostí, údržby a porúch. Takáto interoperabilita umožní metaanalýzy a porovnávanie lokalít. Naopak, presný rozstup, šírka, druh alebo materiál sa nemajú normalizovať bez väzby na miestne podmienky. Štandard má opisovať minimálnu kvalitu rozhodovacieho a dokumentačného procesu, nie vytvárať typový projekt použiteľný bez diagnostiky.

Jedenástou prioritou je vývoj rozhodovacích nástrojov, ktoré pracujú s neistotou transparentne. Geoinformačné modely môžu prepájať hazard, zraniteľnosť, funkcie lesa, infraštruktúru a náklady, no ich výstup nemá byť jediná mapa „vhodnosti“ bez vysvetlenia. Potrebne sú nástroje, ktoré zobrazia, ktoré kritériá rozhodnutie ovplyvnili, aká je kvalita vstupných údajov a ako sa výsledok mení pri inom scenári alebo váhe. Rozhodovací systém má podporovať odborníka, nie nahrádzať terénne overenie a zodpovednosť za návrh.

Dvanástou prioritou je výskum prevádzky a správy. Veľká časť porúch vzniká nie preto, že ekologický princíp bol nesprávny, ale preto, že nebola zabezpečená kontrola, údržba alebo zodpovednosť po skončení projektu. Potrebne sú údaje o tom, aké intervaly kontroly sú primerané pre jednotlivé typy opatrení, ktoré poruchy predpovedajú stratu funkcie a aké organizačné modely fungujú pri rozptýlenom vlastníctve alebo pri opatreniach prekračujúcich hranice parciel. Inštitucionálna realizovateľnosť má byť predmetom výskumu rovnako ako materiálová alebo ekologická realizovateľnosť.

Trináskou prioritou je prepojenie výskumu so vzdelávaním a odbornou praxou. Monitoring a experimentálne lokality majú hodnotu aj ako dlhodobé učebné prostredie, v ktorom možno sledovať dôsledky návrhových rozhodnutí. Študenti a odborníci by mali pracovať s reálnymi dátami vrátane chýb, výpadkov a nejednoznačných výsledkov. Takýto prístup podporuje schopnosť formulovať hypotézu, navrhnúť meranie, interpretovať neistotu a rozhodnúť o úprave opatrenia – teda presne tie kompetencie, ktoré sú potrebné pri adaptívnom manažmente.

Uvedené priority nie sú rovnocenným zoznamom tém. Ich spoločným cieľom je posunúť výskum od dokumentovania jednotlivých realizácií k tvorbe prenositeľných vzťahov medzi podmienkou, parametrom, zaťažením a výsledkom. Tento posun možno prakticky zhrnúť do výskumnej agendy uvedenej v tabuľke 10.3.

Tabuľka 10.3 Prioritné smery ďalšieho výskumu prírode blízkyh riešení v lesnom prostredí

Priorita	Kľúčová výskumná otázka	Vhodný prístup / dáta	Očakávaný praktický výstup
Dlhodobá účinnosť	Ako sa funkcia mení počas ustanovenia vegetácie, starnutia prvku a opakovaných disturbancií?	viacročné časové rady, opakované terénne kontroly, udalostný monitoring	trajektórie účinnosti a odporúčané intervaly kontroly
Funkčné prahy a poruchy	Pri akom zaťažení sa opatrenie dostáva mimo účinný alebo bezpečný rozsah?	experimenty, monitoring extrémov, modelovanie a post-event analýzy	návrhové limity, varovné indikátory a pravidlá pre prehodnotenie
Multi-hazard a kaskády	Ako jeden zásah mení riziko pri následnosti sucha, požiaru, erózie, vetra alebo biotických disturbancií?	scenárové modelovanie, viacparametrické experimenty, analýza historických sekvencií	matice synergických a konfliktných účinkov
Porastová adaptácia	Ktoré kombinácie druhov a štruktúr sú robustné pri viacerých klimatických a disturbančných scenároch?	dlhodobé plochy, funkčné vlastnosti, rastové a disturbančné modely	odporúčania pre diverzifikáciu rizika podľa stanovíšť
Požiarna odolnosť	Ako sa mení horľavosť, kontinuita paliva a účinok palivového manažmentu v stredoeurópskych lesoch?	terénna inventarizácia paliva, laboratórne skúšky, experimenty a modelovanie šírenia	lokálne kalibrované palivové modely a režimy údržby

Priorita	Kľúčová výskumná otázka	Vhodný prístup / dáta	Očakávaný praktický výstup
Hydrológia a erózia	Kde možno malým zásahom najúčinnnejšie prerušiť odtokovú a sedimentovú konektivitu?	DTM/lidar, zrážky, pôdna vlhkosť, sediment, opakované UAV mapovanie	pravidlá prioritizácie lokalít a dimenzovania kombinovaných zásahov
Monitoring a DPZ	Ako spojiť bodové merania s UAV a satelitnými dátami bez straty interpretačnej istoty?	viacúrovňová validácia, priestorové krížové overovanie, metadáta kvality	škálovateľný monitorovací protokol s kvantifikovanou neistotou
Ekonomická efektívnosť	Kedy je NbS alebo hybridné riešenie výhodnejšie pri rovnakom funkčnom ciele?	náklady počas životného cyklu, analýza odvrátených škôd – ochránených hodnôt, scenáre údržby a porúch	porovnateľné jednotkové náklady a rozhodovacie prahy
Dáta a štandardizácia	Ktoré minimálne údaje musia byť spoločné medzi lokalitami, aby boli výsledky porovnateľné?	spoločný dátový model, identifikátory, metadáta a otvorené protokoly	interoperabilná databáza realizácií, monitoringu, porúch a údržby
Riadenie a inštitúcie	Ako vlastníctvo, kompetencie a financovanie údržby ovplyvňujú dlhodobú funkciu?	komparatívne prípadové štúdie, procesné a ekonomické analýzy	modely zodpovednosti a správy pre rôzne vlastnícke situácie
Rozhodovanie pod neistotou	Ako podporiť výber riešenia pri neúplných údajoch a viacerých budúcich scenároch?	robustné rozhodovanie, viac-kriteriálne analýzy, citlivostné a scenárové testy	transparentné DSS s uvedením kvality údajov a citlivosti výsledku

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa European Commission (2021), Forzieri et al. (2022, 2024), Dunlop et al. (2024), Wessely et al. (2024), European Environment Agency (2025), Pickering et al. (2025), Grünig et al. (2026) a IUCN (2026).

Výskumná agenda v tabuľke 10.3 smeruje k postupnému budovaniu dôkazovej základne, v ktorej sa každá ďalšia realizácia nestáva izolovaným príkladom, ale dátovým bodom v širšom systéme poznania. To si vyžaduje kompatibilnú dokumentáciu, uchovávanie negatívnych výsledkov a prepojenie medzi výskumom, projektovaním, prevádzkou a verejnou správou. Ak sa realizácie budú dokumentovať rozdielnym spôsobom a monitoring sa skončí súčasne s financovaním projektu, možnosť vytvoriť prenositeľné závery zostane obmedzená.

Perspektívnym smerom je preto sieť referenčných a demonstračných lokalít s dlhodobým monitoringom, na ktorých by sa overovali spoločné metodické otázky pri rozdielnych stanovištných podmienkach. Takáto sieť nemusí používať identické opatrenia. Naopak, jej hodnotou by bolo porovnávanie rôznych konfigurácií pri spoločnej logike zberu a interpretácie údajov. Výsledkom by nebol katalóg „najlepších“ riešení, ale súbor podmienkových pravidiel: ktoré riešenie funguje, kde, pri akom zaťažení, s akou údržbou a s akou mierou neistoty.

Rastúce klimatické a disturbančné riziká zároveň znamenajú, že výskum nesmie byť zameraný iba na optimalizáciu dnešného stavu. Forzieri *et al.* (2022) identifikujú signály poklesu reziliencie lesov a Grünig *et al.* (2026) projektujú významný rast disturbancií v Európe. Budúce riešenia preto musia byť navrhované ako adaptívne systémy s možnosťou zmeny geometrie, vegetačnej zložky, režimu údržby alebo doplnenia technickej ochrany. Výskumnou otázkou nebude len „aké opatrenie je účinné“, ale aj „ako rýchlo a na základe akých signálov ho treba upraviť, keď sa zmenia podmienky“.

Záverečná syntéza monografie tak vedie k štyrom všeobecným princípom. Po prvé, prírode blízke opatrenie musí byť odvodené od konkrétneho rizikového procesu, nie od katalógového názvu. Po druhé, jeho ekologický prínos nemôže nahradiť požiadavku na technickú a prevádzkovú spoľahlivosť. Po tretie, účinnosť musí byť dokazovaná vo väzbe na referenčný stav, zaťaženie, mierku a neistotu. Po štvrté, prenos do ďalšieho územia musí byť auditom predpokladov, nie kopírovaním parametrov. Tieto princípy vytvárajú spoločnú základňu pre praktické využívanie NbS v lesnom hospodárstve, ochrane pôdy a vody, manažmente disturbancií, protipožiarnej ochrane aj v širšom riadení rizík.

Prírode blízke riešenia preto nemožno chápať ani ako univerzálnu odpoveď na klimatickú zmenu, ani ako okrajový doplnok konvenčných opatrení. Ich význam spočíva v cielej práci s funkciami a procesmi lesného ekosystému, ktorú možno technicky navrhnuť, monitorovať a adaptívne riadiť. Budúca kvalita ich uplatnenia bude závisieť menej od množstva nových názvov a viac od kvality dôkazov, dlhodobosti monitoringu, transparentnosti neistôt a schopnosti previesť skúsenosť z jednotlivých lokalít do podmienkových pravidiel použiteľných v ďalších územiach.

11. Záver

Predložená monografia vychádzala z potreby prepojiť otázky klimateckej adaptácie lesov, manažmentu disturbancií a technického navrhovania prírode blízkych riešení do jedného rozhodovacieho rámca. Jej východiskom bolo presvedčenie, že odolnosť lesného územia nemožno zvyšovať výberom izolovaného opatrenia bez znalosti mechanizmu problému, miestnych podmienok a spôsobu, akým sa má účinok následne overiť. Spracované poznatky potvrdzujú, že rozhodujúca nie je samotná kategória riešenia, ale sledovateľná väzba medzi identifikovaným rizikovým procesom, zraniteľnosťou územia, technickým návrhom, realizáciou, monitoringom a dlhodobým manažmentom. Práve táto postupnosť predstavuje hlavný metodický prínos monografie.

Klimatická zmena mení podmienky fungovania lesných ekosystémov viacerými cestami súčasne. Sucho, vysoké teploty, intenzívne zrážky, zmeny snehového a mrazového režimu, vietor, biotické činitele a lesné požiare nevystupujú ako navzájom oddelené problémy. Ich účinok sa prepája cez stav pôdy, vodný režim, štruktúru porastu, dostupnosť paliva, reliéf, dopravnú sieť a predchádzajúce poškodenie. Z tohto dôvodu sa ukázalo ako nevyhnutné pracovať nielen s jednotlivými nebezpečenstvami, ale aj s ich nadväznosťou a možnými kaskádovými účinkami. Opatrenie zamerané na jednu zložku systému môže súčasne ovplyvniť inú, priaznivo alebo nepriaznivo. Odborné rozhodovanie preto musí vychádzať z funkčného pohľadu na územie a z jasného určenia, ktorú zložku rizika má navrhovaný zásah meniť.

Prírode blízke riešenia majú v tomto rámci osobitné postavenie. Ich podstata nespočíva v použití dreva, kameňa alebo vegetácie ako takých, ale v cielej práci s prírodnými procesmi pri zachovaní ekologickej integrity riešenia. V lesnom prostredí môžu podporovať retenciu a infiltráciu vody, obmedzovať eróziu, stabilizovať povrchové a plytké svahové procesy, znižovať negatívne dôsledky sústredeného odtoku z lesnej dopravnej siete, podporovať vhodnejšiu štruktúru porastov alebo meniť množstvo a priestorovú kontinuitu paliva. Súčasne však majú funkčné hranice. Nemôžu nahradiť nedostatočnú hydraulickú kapacitu, zabezpečiť stabilitu pri hlboknej geotechnickej poruche ani garantovať zastavenie extrémneho požiaru. Tam, kde požadovanú bezpečnostnú alebo technickú funkciu nemožno zabezpečiť samotným prírode blízkym prvkom, je opodstatnená kombinácia s technickým alebo organizačným opatrením. Hybridné riešenie je pritom odborne správne vtedy, keď technická zložka zabezpečuje nevyhnutnú spoľahlivosť a prírodný proces zostáva podstatnou súčasťou výslednej funkcie.

Metodické časti monografie preto kladú dôraz na kvalitu vstupnej diagnostiky. Terénny prieskum, geoinformačné analýzy, diaľkový prieskum Zeme a kontinuálny environmentálny monitoring poskytujú rozdielne, ale navzájom sa dopĺňajúce informácie. Priestorové dáta umožňujú identifikovať súvislosti v širšom území, terénne overenie zachytáva lokálne podmienky, ktoré nemožno spoľahlivo odvodiť z databáz, a časové rady ukazujú, ako sa systém mení medzi jednotlivými udalosťami a sezónami. Výsledkom nemá byť čo najväčší objem údajov, ale taký súbor informácií, ktorý umožní zdôvodniť rozhodnutie. Každý použitý indikátor musí mať jasnú

interpretačnú väzbu na sledovaný proces a známe obmedzenia. Rovnaká zásada platí pre modelové a mapové výstupy: majú podporovať rozhodovanie, nie nahrádzať odborné posúdenie lokality.

Technický návrh prírode blízkeho opatrenia sa následne musí opierať o funkciu, ktorú má prvok plniť, a o zaťaženie, ktorému bude vystavený. Zásady výberu, lokalizácie, materiálového a konštrukčného riešenia a technologického postupu ukázali, že rovnaký názov opatrenia môže viesť k odlišnej realizácii podľa topografie, pôdných a hydrologických pomerov, vegetácie, prístupnosti a prevádzkových požiadaviek. Zmyslom technického návrhu preto nie je vytvoriť univerzálny typový detail, ale transparentne odvodiť parametre z konkrétnych podmienok. Mimoriadne dôležité je pritom rozlíšiť procesy, ktoré možno ovplyvniť povrchovým alebo biologickým zásahom, od situácií, v ktorých je potrebná vyššia mechanická, hydraulická alebo bezpečnostná úroveň riešenia.

Experimentálne územie Vydrovo v monografii plní úlohu aplikačného priestoru, na ktorom sa všeobecný metodický rámec premieňa na konkrétny sled rozhodnutí. Jeho význam nespočíva v predstavení univerzálneho vzoru realizácie, ale v ukázaní, že výber opatrenia musí vychádzať z charakteristiky reliéfu, vodného režimu, pôdných podmienok, vegetácie, dopravnej siete, prístupnosti a aktuálnych prejavov poškodenia. Následný návrh technického riešenia, dokumentovanie skutočného vyhotovenia a nastavenie monitoringu vytvárajú podmienky na to, aby bolo možné v ďalšom období porovnať predpokladanú a reálnu funkciu zásahu. Takto chápaná experimentálna lokalita nie je konečným dôkazom všeobecnej účinnosti konkrétneho opatrenia; je overovacím prostredím, v ktorom možno systematicky testovať predpoklady a spresňovať rozhodovacie pravidlá.

Zásadným záverom je, že realizáciou opatrenia sa rozhodovací proces nekončí. Prírode blízke prvky sú súčasťou dynamického systému, v ktorom sa mení vegetácia, pôdne podmienky, odtok, množstvo sedimentu, stav technických prvkov aj charakter disturbancií. Účinnosť preto nemožno posudzovať iba podľa stavu bezprostredne po dokončení. Potrebný je referenčný stav, súbor primeraných indikátorov, opakované kontroly a mimoriadne hodnotenie po relevantnej udalosti. Monitoring má zároveň vytvárať spätnú väzbu pre správu opatrenia. Ak sa zistí progresívne podmytie, zablokovanie odvodnenia, nedostatočné ujatie vegetácie, strata požadovanej štruktúry alebo iný trend ohrozujúci funkciu, výsledkom nemá byť iba záznam poruchy, ale rozhodnutie o údržbe, úprave parametrov alebo technickom prehodnotení riešenia.

Rovnakú váhu ako technická funkcia má prevádzková a ekonomická udržateľnosť. Hodnotenie nákladov iba v okamihu realizácie neposkytuje dostatočný podklad na porovnanie variantov. Do rozhodovania vstupujú náklady na prípravu, realizáciu, ustanovenie biologickej funkcie, monitoring, pravidelnú údržbu, obnovu po mimoriadnej udalosti a prípadné nahradenie alebo prestavbu prvku. Prírode blízke riešenie môže byť z dlhodobého hľadiska výhodné, ak znižuje frekvenciu poškodení, podporuje viac funkcií súčasne alebo využíva miestne zdroje, no rovnako môže byť nevhodné, ak vyžaduje údržbu, ktorú vlastník alebo správca nedokáže zabezpečiť. Prevádzková zodpovednosť, kontrolovateľnosť stavu a reálna dostupnosť kapacít

na údržbu preto patria medzi návrhové podmienky, nie medzi otázky riešené až po ukončení realizácie.

Aplikačné možnosti presahujú samotné lesné hospodárstvo. Pre vlastníkov a obhospodarovateľov je podstatné začleniť opatrenia do bežného plánovania, prevádzky a kontroly územia. Orgány verejnej správy môžu podporovať koordináciu zásahov, priestorové prepájanie opatrení a vytváranie podmienok na ich dlhodobú správu. V krízovom riadení a civilnej ochrane možno využívať rizikové analýzy, mapové výstupy a monitorované údaje pri plánovaní pripravenosti, ochrane prístupových trás, identifikácii kritických miest a hodnotení následkov mimoriadnych udalostí. Pri manažmente lesných požiarov je potrebné prepájať dlhodobú úpravu vegetácie a palivového komplexu s dostupnosťou územia, zásahovými možnosťami, meteorologickými podmienkami a obnovou po požiari. Vzdelávanie a odborná príprava majú pritom význam nielen pri odovzdávaní hotových postupov, ale najmä pri rozvíjaní schopnosti vyhodnotiť neistotu, rozpoznať hranice použiteľnosti riešenia a rozhodnúť o jeho úprave.

V monografii prezentované poznatky zároveň potvrdili, že najväčšou výzvou pri hodnotení účinnosti zostáva neistota. Prirodzená priestorová heterogenita lesa, rozdielne počiatočné podmienky, časový vývoj biologických prvkov, obmedzené trvanie monitoringu a nepravidelný výskyt extrémnych udalostí sťažujú jednoznačné oddelenie účinku opatrenia od ostatných zmien v území. Budúce klimatické podmienky navyše nemožno považovať za stacionárne. Z toho vyplýva potreba formulovať výsledky primerane kvalite dôkazov a vyhýbať sa zovšeobecneniam, ktoré prekračujú rozsah pozorovania. Neistota nie je dôvodom na rezignáciu na hodnotenie; je dôvodom na transparentné dokumentovanie predpokladov, používanie porovnateľných metód a adaptívne rozhodovanie.

Ďalší rozvoj by mal smerovať k dlhodobému a viaclokalitnému overovaniu opatrení, k lepšiemu určovaniu funkčných prahov a hraníc zaťaženia, k hodnoteniu kombinovaných a kaskádových rizík a k prepájaniu technických, ekologických, ekonomických a prevádzkových údajov. Potrebná je interoperabilná dokumentácia, ktorá umožní porovnávať lokality a uchovávať nielen úspešné realizácie, ale aj poruchy, neúčinné varianty a zmeny vykonané počas prevádzky. Osobitný význam má výskum odozvy opatrení na klimatickú nestacionaritu, manažment lesných požiarov, dlhodobú obnovu porastov a rozhodovanie v situáciách, keď sa súčasne mení viac zložiek rizika. Cieľom nemá byť vytvorenie jedného zoznamu „najlepších“ opatrení, ale postupné budovanie podmienkových pravidiel, ktoré určia, aký princíp je vhodný, v akom prostredí, pri akom zaťažení, s akou údržbou a s akou mierou neistoty.

Prenositelnosť poznatkov preto treba chápať ako prenos rozhodovacieho princípu, nie ako kopírovanie hotového technického detailu. Skúsenosť z jednej lokality je hodnotná vtedy, keď sú zdokumentované podmienky, ktoré viedli k výberu riešenia, jeho skutočné parametre, priebeh prevádzky a hranice funkčnosti. V novom území sa musí znova preveriť mechanizmus rizika, stanovištné podmienky, mierka procesu, právne a vlastnícke vzťahy a možnosť dlhodobej údržby.

Takýto audit predpokladov umožňuje využívať výsledky ďaleko za hranicami jednej experimentálnej lokality bez toho, aby sa z nich vytváral univerzálny návod.

Celkový prínos monografie možno napokon zhrnúť do jedného pracovného princípu: odolnosť lesného územia sa nezvyšuje samotnou realizáciou prírode blízkeho prvku, ale kvalitou celého rozhodovacieho procesu, ktorý k nemu vedie a ktorý pokračuje počas jeho prevádzky. Potrebné je poznať problém, primerane ho priestorovo a časovo opísať, zvoliť riešenie zodpovedajúce mechanizmu a mierke, technicky ho zdôvodniť, zdokumentovať realizáciu, sledovať účinok a podľa výsledkov upravovať ďalší postup. Ak je tento reťazec zachovaný, prírode blízke riešenia môžu byť plnohodnotným nástrojom klimateckej adaptácie, ochrany pôdy a vody, manažmentu disturbancií, znižovania požiarneho rizika a podpory dlhodobej funkčnosti lesných porastov. Ich hodnota nespočíva v prísľube univerzálneho riešenia, ale v schopnosti prepájať ekologické procesy, technické požiadavky a adaptívnu správu do formy, ktorú možno v konkrétnom území odborne zdôvodniť, overiť a ďalej rozvíjať.

12. Zoznam použitej literatúry

1. AGNEW, Danelle, Kirstie FRYIRS a Michelle R. LEISHMAN. 2024. Cost-benefit analysis of working with recovery in river management using Marxan. *Frontiers in Environmental Science*. 12, 1425668. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1425668>
2. AKHTER, Faria, Samaresh BASTOLA, Jerrod PENN a Travis DOUTHAT. 2025. A review of flood mitigation benefit-cost analyses' inclusiveness of environmental watershed effects and environmental vulnerability: gaps in progress towards more resilient flood hazard decision-making. *Frontiers in Built Environment*. 11, 1531265. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1531265>
3. APARÍCIO, Bruno A., Alan A. AGER a Michelle A. DAY. 2024. Maximizing opportunities for co-implementing fuel break networks and restoration projects. *Frontiers in Forests and Global Change*. 7, 1419288. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1419288>
4. BARRERE, Julien, Björn REINEKING, Maxime JAUNATRE a Georges KUNSTLER. 2024. Forest storm resilience depends on the interplay between functional composition and climate - Insights from European-scale simulations. *Functional Ecology*. 38(3), 500-516. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14489>
5. BISCHETTI, Gian Battista, Giovanni DE CESARE, Slobodan B. MICKOVSKI, Hans Peter RAUCH, Massimiliano SCHWARZ a Rosemarie STANGL. 2021. Design and temporal issues in Soil Bioengineering structures for the stabilisation of shallow soil movements. *Ecological Engineering*. 169, 106309. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106309>
6. BRODIE, Emily G., Eric E. KNAPP, Wesley R. BROOKS, Stacy A. DRURY a Martin W. RITCHIE. 2024. Forest thinning and prescribed burning treatments reduce wildfire severity and buffer the impacts of severe fire weather. *Fire Ecology*. 20, 17. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00241-z>
7. CAPOBIANCO, Vittoria, Rosa Maria PALAU, Anders SOLHEIM, Kjersti GISNÅS, Graham GILBERT, Per DANIELSSON a Peter VAN DER KEUR. 2024. The potential use of nature-based solutions as natural hazard mitigation measure for linear infrastructure in the Nordic Countries. *Geoenvironmental Disasters*. 11, 27. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s40677-024-00287-4>
8. CERIONI, Matteo, Marek BRABEC, Radek BAČE, Endijs BĀDERS, Andrej BONČINA, Josef BRŮNA, Ewa CHEĆKO, Thomas CORDONNIER, Johannes H. C. DE KONING, Jurij DIACI, Dorota DOBROWOLSKA, Alexander DOUNTCHEV, Jeroen ENGELHART, Gal FIDEJ, Marc FUHR, Matteo GARBARINO, Āris JANSONS, Srdjan KEREN, Māra KITENBERGA, Matija KLOPČIČ, Bohdan KONŌPKA, Martin KOPECKÝ, Kajar KÖSTER, Stanislav KUCBEL, Eric LACOMBE, Lisa LAURENT, Anja LEYMAN, Emanuele LINGUA, Martin MACEK, Zbigniew MACIEJEWSKI, Francesco MALANDRA, Raffaella MARZANO, Marek METSLAID, Donato MORRESI, Momchil PANAYOTOV, Bogdan PAWLAK, Ján PITTNER, Vladimír ŠEBEŇ, Jarosław SOCHA, Miroslav SVOBODA, Jerzy SZWAGRZYK, Nickolay TSVETANOV, Carlo URBINATI, Patrick VALLET, Peter VAN DE KERCKHOVE, Kris VANDEKERKHOVE, Jaroslav VENCURIK, Alessandro VITALI,

- Floortje VODDE, Jan WILD a Thomas A. NAGEL. 2024. Recovery and resilience of European temperate forests after large and severe disturbances. *Global Change Biology*. 30(2), e17159. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/gcb.17159>
9. CLARKE, Nicholas, Ralf FISCHER, Wim DE VRIES, Lars LUNDIN, Dario PAPALE, Timo VESALA, Päivi MERILÄ, Giorgio MATTEUCCI, Michael MIRTL, David SIMPSON a Elena PAOLETTI. 2011. Availability, accessibility, quality and comparability of monitoring data for European forests for use in air pollution and climate change science. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 4, 162-166. Dostupné z: <https://doi.org/10.3832/for0582-004>
 10. COOLS, Nathalie a Bruno DE VOS. 2025. Part X: Sampling and Analysis of Soil. Version 2025-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, ed. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Eberswalde: Thünen Institute of Forest Ecosystems, 28 s. + prílohy. ISBN 978-3-86576-302-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.3220/253-2026-136>
 11. COPERNICUS DATA SPACE ECOSYSTEM. Sentinel-2 [online]. [cit. 2026-08-17]. Dostupné z: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/Data/Sentinel2.html>
 12. CORDIS. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure (NATURE-DEMO), grant agreement ID 101157448 [online]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2026 [cit. 2026-03-17]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/id/101157448>. DOI: <https://doi.org/10.3030/101157448>
 13. DAVIS, Kimberley T., Jamie PEELER, Joseph FARGIONE, Ryan D. HAUGO, Kerry L. METLEN, Marcos D. ROBLES a Travis WOOLLEY. 2024. Tamm review: A meta-analysis of thinning, prescribed fire, and wildfire effects on subsequent wildfire severity in conifer dominated forests of the Western US. *Forest Ecology and Management*. 561, 121885. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121885>
 14. DOBBERTIN, Matthias, Markus NEUMANN, Tom LEVANIČ, Tanja G. M. SANDERS, Mitja SKUDNIK a Inken KRÜGER. 2025. Part V: Tree Growth Level II. Version 2025-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, ed. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Eberswalde: Thünen Institute of Forest Ecosystems, 19 s. + prílohy. ISBN 978-3-86576-296-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.3220/253-2026-130>
 15. DUMITRU, Adina a Laura WENDLING, eds. 2021. Evaluating the impact of nature-based solutions: A handbook for practitioners. Brussels: European Commission. ISBN 978-92-76-22961-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.2777/244577>
 16. DUNLOP, Thomas, Danial KHOJASTEH, Emmanuelle COHEN-SHACHAM, William GLAMORE, Milad HAGHANI, Matilda VAN DEN BOSCH, Daniela RIZZI, Peter GREVE a Stefan FELDER. 2024. The evolution and future of research on Nature-based Solutions to address societal challenges. *Communications Earth & Environment*. 5, 132. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01308-8>
 17. EL GARROUSSI, Siham, Fredrik WETTERHALL, Christopher BARNARD, Cinzia MAZZETTI, Anna LOMBARDI a Francesca DI GIUSEPPE. 2026. Optimized afforestation

- reduces flood risk and limits water loss in Europe. *Communications Sustainability*. 1, 60. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s44458-026-00057-3>
18. ENGUEHARD, Léa, Stefan KRUSE, Ronny HÄNSCH, Ulrike HERZSCHUH, Santosh PANDA a Birgit HEIM. 2026. Exploring the potential of Harmonized Landsat-Sentinel-2 in predicting boreal forest structure from UAV-LiDAR data in Northwestern America. *Science of Remote Sensing*. 13, 100403. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.srs.2026.100403>
 19. EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Research and Innovation. 2021. Evaluating the impact of nature-based solutions [online]. Brussels: European Commission [cit. 2026-05-16]. ISBN 978-92-76-40745-4. Dostupné z: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/evaluating-impact-nature-based-solutions_en
 20. EUROPEAN COMMISSION. 2025b. European Preparedness Union Strategy. JOIN(2025) 130 final [online]. Brussels: European Commission, 26 March 2025 [cit. 2026-05-22]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025JC0130>
 21. EUROPEAN COMMISSION. 2026. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on integrated wildfire risk management. COM(2026) 330 final [online]. Brussels: European Commission, 25 March 2026 [cit. 2026-06-06]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52026DC0330>
 22. EUROPEAN COMMISSION. 2025a. Nature-based solutions [online]. Brussels: Directorate-General for Research and Innovation, 2025 [cit. 2026-03-17]. Dostupné z: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en
 23. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2023. Assessing the costs and benefits of climate change adaptation. [online]. Copenhagen: European Environment Agency [cit. 2026-03-17]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/assessing-the-costs-and-benefits-of-climate-change-adaptation>
 24. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2024. European Climate Risk Assessment. EEA Report 01/2024 [online]. Copenhagen: European Environment Agency [cit. 2026-03-17]. ISBN 978-92-9480-627-7. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment>
 25. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2025. Nature-based solutions for fire-resilient European forests. EEA Briefing 14/2025 [online]. Copenhagen: European Environment Agency [cit. 2026-04-16]. ISBN 978-92-9480-736-6. ISSN 2467-3196. Dostupné z: <https://doi.org/10.2800/8810870>
 26. EUROPEAN SPACE AGENCY. Sentinel-2 [online]. [cit. 2026-04-09]. Dostupné z: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2
 27. FERRETTI, Marco, Norbert KÖNIG, Oliver GRANKE a Manuel NICOLAS. 2021. Part III: Quality Assurance within the ICP Forests monitoring programme. Version 2021-2. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, ed. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on

- forests. Eberswalde: Thünen Institute of Forest Ecosystems, 13 s. + príloha. Aktualizované 04/2026. Dostupné z: <https://www.icp-forests.net/manual>
28. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2024. Integrated fire management voluntary guidelines – Principles and strategic actions. 2. vyd. Forestry Working Paper No. 41. Rome: FAO. ISBN 978-92-5-138916-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.4060/cd1090en>
29. FOREST EUROPE. 2026. State of Europe's Forests 2025 Report (SoEF 2025) [online]. Corrected version, May 2026 [cit. 2026-06-09]. Dostupné z: https://foresteurope.org/publications_type/soef-2025/
30. FORZIERI, Giovanni, Hervé JACTEL, Alessandra BIANCHI, Jonathan SPINONI, Deepakrishna SOMASUNDARAM, Luc FEYEN a Alessandro CESCATTI. 2024. Ecosystem heterogeneity is key to limiting the increasing climate-driven risks to European forests. *One Earth*. 7(12), 2149–2164. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.005>
31. FORZIERI, Giovanni, Marco GIRARDELLO, Guido CECCHERINI, Jonathan SPINONI, Luc FEYEN, Henrik HARTMANN, Pieter S. A. BECK, Gustau CAMPS-VALLS, Gherardo CHIRICI, Achille MAURI a Alessandro CESCATTI. 2021. Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature Communications*. 12, 1081. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21399-7>
32. FORZIERI, Giovanni, Vasilis DAKOS, Nate G. MCDOWELL, Alkama RAMDANE a Alessandro CESCATTI. 2022. Emerging signals of declining forest resilience under climate change. *Nature*. 608, 534–539. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9>
33. GRÜNIG, Marc, Werner RAMMER, Cornelius SENF, Katharina ALBRICH, Frédéric ANDRÉ, Andrey L. D. AUGUSTYNCZIK, Martin BAUMANN, Friedrich J. BOHN, Meike BOUWMAN, Harald BUGMANN, Alessio COLLALTI, Irina CRISTAL, Daniela DALMONECH, François DE COLIGNY, Laura DOBOR, Christina DOLLINGER, Josep Maria ESPELTA, David I. FORRESTER, Jordi GARCIA-GONZALO, José Ramón GONZÁLEZ-OLABARRIA, Ulrike HILTNER, Tomáš HLÁSNÝ, Juha HONKANIEMI, Nica HUBER, Mathieu JONARD, Anna Maria JÖNSSON, Georges KUNSTLER, Fredrik LAGERGREN, Marcus LINDNER, Marco MINA, Christine MOOS, Xavier MORIN, Bart MUYS, Gert Jan NABUURS, Mats NIEBERG, Marco PATACCA, Mikko PELTONIEMI, Christopher P. O. REYER, Mart Jan SCHELHAAS, Ilië STORMS, Dominik THOM, Maude TOÏGO a Rupert SEIDL. 2026. Climate change will increase forest disturbances in Europe throughout the 21st century. *Science*. 391(6789), 1003. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.adx6329>
34. HASSELQUIST, Eliza Maher, Lina E. POLVI, Rasmus STAAF, Małgorzata WINKOWSKA, Ruben BAAN HOFMAN a Lenka KUGLEROVÁ. 2024. The role of riparian buffer width on sediment connectivity through windthrow in a boreal headwater stream. *Geomorphology*. 461, 109320. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109320>
35. HAWKS, Eric M., M. Chad BOLDING, W. Michael AUST a Scott M. BARRETT. 2023. Best Management Practices, Erosion, Residual Woody Biomass, and Soil Disturbances Within

- Biomass and Conventional Clearcut Harvests in Virginia's Coastal Plain. *Forest Science*. 69(2), 200-212. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/forsci/xfac050>
36. HERATH, Prabhasri, Barry CROKE, Roslyn PRINSLEY, Jai VAZE a Carmel POLLINO. 2025. A Systematic Review of Forest Cover for Catchment-Scale Flood Mitigation: A Nature-Based Solution. *Journal of Flood Risk Management*. 18(3), e70125. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfr3.70125>
 37. HLÁSNÝ, Tomáš, Louis KÖNIG, Paal KROKENE, Marcus LINDNER, Claire MONTAGNÉ-HUCK, Jörg MÜLLER, Hua QIN, Kenneth F. RAFFA, Mart Jan SCHELHAAS, Miroslav SVOBODA, Heli VIIRI a Rupert SEIDL. 2021. Bark Beetle Outbreaks in Europe: State of Knowledge and Ways Forward for Management. *Current Forestry Reports*. 7, 138–165. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00142-x>
 38. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. 2019. IEC 31010:2019 Risk management – Risk assessment techniques. 2. vyd. Geneva: IEC. 264 s.
 39. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 2018. ISO 31000:2018 Risk management – Guidelines. 2. vyd. Geneva: ISO.
 40. INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. 2020. Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland: IUCN. ISBN 978-2-8317-2058-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.08.en>
 41. INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE. 2026. IUCN Global Standard for Nature-based Solutions™: A user-friendly framework for assessing, implementing and monitoring scalable, high-integrity NbS. 2. vyd. Gland: International Union for Conservation of Nature. ISBN 978-2-8317-2392-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.2305/KKSO4573>
 42. KEESSTRA, Saskia, Laurene LEBELT, Chiara CASTELLANI, Margaretha BREIL, Anu AKUJÄRVI, Noortje PELLENS, Bertram DE ROOIJ, Jelle VAN MINNEN, Walter CRISTIANO a Daniel ZIMMER. 2024. Nature-based Solutions to address forest disturbances under climate change: the case of fire and pests. ETC-CA Technical Paper 1/2024 [online]. European Topic Centre on Climate change adaptation and LULUCF [cit. 2026-04-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.25424/cmcc-3v3y-j479>
 43. KEYBONDORI, Soghra, Ehsan ABDI, Azade DELJOUEI, Andrea CISLAGHI, Zohreh SHAKERI a Vahid ETEMAD. 2025. Soil-bioengineering to stabilize gravel roadside slopes in the steep Hyrcanian Forests of Northern Iran. *Ecological Engineering*. 214, 107569. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107569>
 44. LANN, Tongsan, Han BAO, Hengxing LAN, Han ZHENG, Changgen YAN a Jianbing PENG. 2024. Hydro-mechanical effects of vegetation on slope stability: A review. *Science of the Total Environment*. 926, 171691. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171691>
 45. LEBLOIS, Solange, Guillaume PITON, Alain RECKING, Delphine JAYMOND, Alexis BUFFET a André EVETTE. 2025. Riverbank fascines mostly fail due to scouring: Consistent evidence from field and flume observations. *River Research and Applications*. 41(1), 108–119. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/rra.4356>

46. LEIDEMER, Tobias, Maximo Larry LOPEZ CACERES, Yago DIEZ, Chiara FERRACINI, Ching-Ying TSOU a Mitsuhiro KATAHIRA. 2025. Evaluation of Temporal Trends in Forest Health Status Using Precise Remote Sensing. *Drones*. 9(5), 337. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/drones9050337>
47. LESY SLOVENSKEJ REPUBLIKY, štátny podnik. Bez dátumu. Lesnícky skanzen – základné informácie [online]. [cit. 2026-05-04]. Dostupné z: <https://www.lesy.sk/pre-verejnost/lesnicky-skanzen/zakladne-informacie/>
48. MARSHALL, Erica, Brendan HOLYLAND, Kate PARKINS, Elisa RAULINGS, Megan K. GOOD, Matthew SWAN, Lauren T. BENNETT a Trent D. PENMAN. 2024. Can green firebreaks help balance biodiversity, carbon storage and wildfire risk? *Journal of Environmental Management*. 369, 122183. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122183>
49. MARTÍNEZ HONTECILLAS, Adrián, Manuel Esteban LUCAS-BORJA, María Ángeles CARMONA-YÁÑEZ, Pietro DENISI, Pedro Antonio PLAZA-ÁLVAREZ a Demetrio Antonio ZEMA. 2024. Effects of small rock check dams on channel bed, vegetation diversity, and soil properties 10 years after a severe wildfire in forest micro-catchments of central eastern Spain. *Land Degradation & Development*. 35(15), 4428-4441. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ldr.5229>
50. MIELE, Pietro, Diego DI MARTIRE, Mariano DI NAPOLI, Luigi GUERRIERO a Domenico CALCATERRA. 2021. Temporal efficiencies of soil bioengineering techniques to mitigate geo-hydrological risks. *Ecological Engineering*. 170, 106338. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106338>
51. NATURE-DEMO. 2025a. RW1 - Riparian buffer zones [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/RW1_Riparian-buffer-zones_NEW.pdf
52. NATURE-DEMO. 2025b. RW8 - Water retention basins and ponds (storage ponds) [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/RW8_Water-retention-basins-and-ponds_NEW.pdf
53. NATURE-DEMO. 2025c. SE1 - Terracing (slope shaping, reduction of slope inclination) [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/SE1_Terracing_NEW.pdf
54. NATURE-DEMO. 2025d. SWB1 - Hydro-seeding and mulch seeding [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/SWB1_Hydro-seeding-and-mulch-seeding_wo_NEW_Use-this.pdf
55. NATURE-DEMO. 2025e. SWB2 - Vegetated biodegradable erosion control meshes [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/SWB2_Vegetated-biodegradable-erosion-control-meshes-_NEW.pdf

56. NATURE-DEMO. 2025f. SWB16 - Live fascines [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/SWB16_Live-fascines_NEW.pdf
57. NATURE-DEMO. 2025g. SWB19 - Vegetated log/stone barriers & live/rock check dams [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/SWB19_Vegetated-log-stone-barriers_NEW.pdf
58. NATURE-DEMO. 2025h. FW1 - Afforestation/Reforestation [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/FW1_Afforestation-Reforestation_NEW.pdf
59. NATURE-DEMO. 2025i. FW2 - Protection forest management [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/FW2_Protection-forest-management_NEW.pdf
60. NATURE-DEMO. 2025j. FW3 - Retention forest [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/FW3_Retention-Forest_NEW.pdf
61. NATURE-DEMO. 2025k. FW5 - Buffer vegetation strips and coppice management [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/FW5_Buffer-vegetation-strips-and-coppice_NEW.pdf
62. NATURE-DEMO. 2025l. FW6 - Firebreaks and firestrips [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/FW6_Firebreaks-and-Firestrips_NEW.pdf
63. NATURE-DEMO. 2025m. FW7 - Fire-resistant trees and plants [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2025/06/FW7_Fire-resistant-trees-and-plants-_NEW.pdf
64. NATURE-DEMO. 2026a. SLU9 - Controlled grazing [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2026/03/SLU9_Controlled-Grazing.pdf
65. NATURE-DEMO. 2026b. SLU10 - Fire-smart agriculture [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2026/03/SLU10_Fire-smart-agriculture.pdf
66. NATURE-DEMO. 2026c. SLU13 - Soil mulching [online]. Nature-Based Solutions for Demonstrating Climate-Resilient Critical Infrastructure [cit. 2026-06-17]. Dostupné z: https://nature-demo.eu/wp-content/uploads/2026/03/SLU13_Soil-Mulching.pdf

67. OECD. 2021. Scaling up Nature-based Solutions to Tackle Water-related Climate Risks: Insights from Mexico and the United Kingdom. Paris: OECD Publishing. ISBN 978-92-64-96669-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1787/736638c8-en>
68. OECD. 2024. Infrastructure for a Climate-Resilient Future. Paris: OECD Publishing. Dostupné z: <https://doi.org/10.1787/a74a45b0-en>
69. OLIVERAS MENOR, I., N. PRAT-GUITART, G. L. SPADONI, A. HSU, P. M. FERNANDES, R. PUIG-GIRONÈS, D. ASCOLI, B. A. BILBAO, V. BACCIU, L. BROTONS et al. 2025. Integrated fire management as an adaptation and mitigation strategy to altered fire regimes. *Communications Earth & Environment*. 6, 202. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02165-9>
70. PARAJULI, Manisha, Richard CRISTAN, Marissa Jo DANIEL, Arjun RIJAL, Dana MITCHELL, Timothy MCDONALD a Tom GALLAGHER. 2025. Integrating high-resolution imagery, deep learning, and GIS to estimate soil erosion following timber harvesting. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 37, 101498. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101498>
71. PARAJULI, Manisha, Tom GALLAGHER, Richard CRISTAN, Marissa Jo DANIEL, Dana MITCHELL, Timothy MCDONALD, Arjun RIJAL a Jingyi ZHENG. 2024. Postharvest evaluations of soil erosion, ground cover, and best management practice implementation on integrated biomass and conventional clearcut harvest sites. *Forest Ecology and Management*. 566, 122041. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122041>
72. PARKINSON, Joseph W., Ciaran MCLAVERTY, Pernille NIELSEN, Jon C. SVENDSEN, Ana T. LIMA, Martin MCNAUGHTON a Wolfgang KUNTHER. 2025. Developing a sustainability framework for eco-engineering of blue infrastructure. *Ecological Engineering*. 215, 107604. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107604>
73. PATACCA, Marco, Marcus LINDNER, Manuel Esteban LUCAS-BORJA, Thomas CORDONNIER, Gal FIDEJ, Barry GARDINER, Ylva HAUF, Gediminas JASINEVIČIUS, Sophie LABONNE, Edgaras LINKEVIČIUS, Mats MAHNKEN, Slobodan MILANOVIC, Gert Jan NABUURS, Thomas A. NAGEL, Laura NIKINMAA, Momchil PANYATOV, Roman BERCAK, Rupert SEIDL, Maša Zorana OSTROGOVIĆ SEVER, Jarosław SOCHA, Dominik THOM, Dijana VULETIĆ, Sergey ZUDIN a Mart-Jan SCHELHAAS. 2023. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*. 29(5), 1359–1376. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>
74. PICKERING, Mark, Agata ELIA, Gonzalo OTON, Matteo PICCARDO, Guido CECCHERINI, Giovanni FORZIERI, Mirco MIGLIAVACCA, Alessandro CESCATTI a Marco GIRARDELLO. 2025. Enhanced structural diversity increases European forest resilience and potentially compensates for climate-driven declines. *Communications Earth & Environment*. 6, 852. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02592-8>
75. POHLE, Christopher a Dirk JAEGER. 2025. Water management: global differences and similarities in guidelines for forest road design and potentials for climate change adaptation. *European Journal of Forest Research*. 144, 547-575. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10342-025-01777-2>

76. POHLE, Christopher a Dirk JAEGER. 2026. Adapting water management along forest roads to climate change: A survey study among German experts. *Trees, Forests and People*. 24, 101200. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2026.101200>
77. POTTERF, Mária, Marek SVITOK, Peter MEZEI, Benjamín JARČUŠKA, Rastislav JAKUŠ, Miroslav BLAŽENEC a Tomáš HLÁSNY. 2023. Contrasting Norway spruce disturbance dynamics in managed forests and strict forest reserves in Slovakia. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 96(3), 387–398. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac045>
78. QIU, Yangzi, Daniel SCHERTZER a Ioulia TCHIGUIRINSKAIA. 2021. Assessing cost-effectiveness of nature-based solutions scenarios: Integrating hydrological impacts and life cycle costs. *Journal of Cleaner Production*. 329, 129740. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129740>
79. RASPE, Stephan, Stefan FLECK, Egbert BEUKER, Teja PREUHSLER a Annemarie BASTRUP-BIRK. 2025. Meteorological Measurements. Version 2025-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, ed. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Eberswalde: Thünen Institute of Forest Ecosystems, 17 s. + prílohy. ISBN 978-3-86576-301-3. Dostupné z: <https://doi.org/10.3220/253-2026-135>
80. RAUCH, Hans Peter, Magdalena VON DER THANNEN, Pierre RAYMOND, Eléonore MIRA a André EVETTE. 2022. Ecological challenges for the use of soil and water bioengineering techniques in river and coastal engineering projects. *Ecological Engineering*. 176, 106539. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106539>
81. RECKING, Alain, Guillaume PITON, Lucas MONTABONNET, Sara POSI a André EVETTE. 2019. Design of fascines for riverbank protection in alpine rivers: Insight from flume experiments. *Ecological Engineering*. 138, 323–333. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.019>
82. REINOSCH, Eike, Julian BACKA, Petra ADLER, Janik DEUTSCHER, Philipp EISNECKER, Karina HOFFMANN, Niklas LANGNER, Martin PUHM, Marius RÜETSCHI, Christoph STRAUB, Lars T. WASER, Jens WIESEHAHN a Katja OEHMICHEN. 2025. Detailed validation of large-scale Sentinel-2-based forest disturbance maps across Germany. *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 98(3), 437–453. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpae038>
83. ROUSSET, Juliette, Sarah MENOLI, Adeline FRANÇOIS, Stéphanie GAUCHERAND a André EVETTE. 2025a. Developing Nature-based Solutions in the Alps: An Ex-situ Experiment to Select Willows for Subalpine Soil and Water Bioengineering Structures. *Environmental Management*. 75(8), 1950–1962. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00267-025-02211-4>
84. ROUSSET, Juliette, Guillaume PITON, Adeline FRANÇOIS, Marie DIDIER a André EVETTE. 2025b. Biogeomorphic assessment of natural streambank structures in the Alps: A step to improve soil and water bioengineering techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*. 50(9), e70126. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/esp.70126>

85. SACHSENMAIER, Lena, Florian SCHNABEL, Peter DIETRICH, Nico EISENHAUER, Olga FERLIAN, Julius QUOSH, Ronny RICHTER a Christian WIRTH. 2024. Forest growth resistance and resilience to the 2018-2020 drought depend on tree diversity and mycorrhizal type. *Journal of Ecology*. 112(8), 1787-1803. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14360>
86. SARTORI, Davide. 2022. Economic appraisal vademecum 2021–2027: General principles and sector applications. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-40462-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.2776/182302>
87. SEDDON, Nathalie, Alexandre CHAUSSON, Pam BERRY, Cécile A. J. GIRARDIN, Alison SMITH a Beth TURNER. 2020. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 375(1794), 20190120. Dostupné z: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
88. SEIDL, Rupert a Cornelius SENF. 2024. Changes in planned and unplanned canopy openings are linked in Europe's forests. *Nature Communications*. 15, 4741. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49116-0>
89. SENF, Cornelius, Allan BURAS, Christian S. ZANG, Arnulf RAMMIG a Rupert SEIDL. 2020. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*. 11, 6200. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1>
90. SCHILLER, Christopher, Jonathan KÖLTZOW, Selina SCHWARZ, Felix SCHIEFER a Fabian Ewald FASSNACHT. 2024. Forest disturbance detection in Central Europe using transformers and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment*. 315, 114475. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114475>
91. TARDÍO, Guillermo a Slobodan B. MICKOVSKI. 2016. Implementation of eco-engineering design into existing slope stability design practices. *Ecological Engineering*. 92, 138–147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.036>
92. UNECE ICP FORESTS. 2026. ICP Forests Manual: Current Manual Version 2025-2026 [online]. Eberswalde: Programme Co-ordinating Centre of ICP Forests, Thünen Institute of Forest Ecosystems [cit. 2026-06-11]. Dostupné z: <https://www.icp-forests.net/monitoring-and-research/icp-forests-manual>
93. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. 2022. Nature-based solutions for supporting sustainable development. UNEP/EA.5/Res.5 [online]. Nairobi: United Nations Environment Programme [cit. 2026-06-07]. Dostupné z: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/39864>
94. UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 [online]. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction [cit. 2026-05-19]. Dostupné z: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
95. VACEK, Zdeněk, Stanislav VACEK a Jan CUKOR. 2023. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of*

- Environmental Management. 332, 117353. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117353>
96. VAN ZANTEN, Boris T., Gabriela GUTIERREZ GOIZUETA, Luke M. BRANDER, Borja GONZALEZ REGUERO, Robert GRIFFIN, Kelly K. MACLEOD a Brenden JONGMAN. 2023. Assessing the Benefits and Costs of Nature-Based Solutions for Climate Resilience: A Guideline for Project Developers. Washington, DC: World Bank.
 97. VIANA-SOTO, Alba a Cornelius SENF. 2025. The European Forest Disturbance Atlas: a forest disturbance monitoring system using the Landsat archive. *Earth System Science Data*. 17, 2373–2404. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/essd-17-2373-2025>
 98. Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky č. 453/2006 Z. z. z 21. júna 2006 o hospodárskej úprave lesov a o ochrane lesa, v znení neskorších predpisov.
 99. WESSELY, Johannes, Franz ESSL, Konrad FIEDLER, Andreas GATTRINGER, Bernhard HÜLBER, Olesia IGNATEVA, Dietmar MOSER, Werner RAMMER, Stefan DULLINGER a Rupert SEIDL. 2024. A climate-induced tree species bottleneck for forest management in Europe. *Nature Ecology & Evolution*. 8, 1109-1117. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02406-8>
 100. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 2024. Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8) [online]. Geneva: WMO. ISBN 978-92-63-10008-5. [cit. 2026-06-13].
 101. Zákon č. 314/2001 Z. z. o ochrane pred požiarimi v znení neskorších predpisov.
 102. Zákon č. 326/2005 Z. z. o lesoch v znení neskorších predpisov.
 103. Zákon č. 387/2002 Z. z. o riadení štátu v krízových situáciách mimo času vojny a vojnového stavu v znení neskorších predpisov.
 104. Zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov.
 105. Zákon Národnej rady Slovenskej republiky č. 42/1994 Z. z. o civilnej ochrane obyvateľstva v znení neskorších predpisov.

13. Terminologický slovník

Pojem	Definícia
Adaptácia na klimatickú zmenu	Cielené prispôsobovanie lesného ekosystému, jeho obhospodarovania a súvisiacej infraštruktúry meniacej sa klíme s cieľom znižovať nepriaznivé dôsledky a zachovať požadované funkcie lesa.
Adaptívna kapacita	Schopnosť systému, správcu alebo organizácie upravovať postupy, štruktúru alebo využívanie zdrojov tak, aby sa znižovala zraniteľnosť voči meniacim sa podmienkam a disturbanciám.
Adaptívny manažment	Priebežné riadenie opatrenia založené na monitorovaní jeho účinku a na úprave návrhu, údržby alebo spôsobu využívania podľa zisteného vývoja a nových poznatkov.
Analýza odvrátených škôd	Hodnotenie ekonomického prínosu opatrenia prostredníctvom odhadu škôd alebo strát, ktorým sa vďaka jeho realizácii podarilo alebo môže podať predísť.
Bezpilotný letecký monitoring	Opakované získavanie priestorovo podrobných údajov o stave územia pomocou bezpilotných leteckých systémov, najmä na dokumentovanie zmien vegetácie, povrchu, erózných foriem a technického stavu opatrení.
Biodiverzita	Rozmanitosť živých organizmov, ich genetickej variability, druhov, spoločenstiev a ekosystémov; pri prírode blízkych riešeniach predstavuje jednu zo základných zložiek ekologickej integrity.
Bioinžinierske opatrenie	Stabilizačný alebo ochranný zásah využívajúci živé rastliny, ich koreňové systémy a prírodné materiály, často v kombinácii s jednoduchými technickými prvkami.
Citlivosť	Miera, do akej vlastnosti porastu, pôdy, infraštruktúry alebo iného prvku ovplyvňujú rozsah nepriaznivých dôsledkov pri pôsobení konkrétneho nebezpečenstva.
Civilná ochrana	Systém opatrení a činností zameraných na ochranu života, zdravia, majetku a životného prostredia pri mimoriadnych udalostiach a na podporu pripravenosti a reakcie na ne.
Dial'kový prieskum Zeme (DPZ)	Získavanie informácií o zemskom povrchu bez priameho kontaktu, najmä pomocou družicových, leteckých a bezpilotných snímacích systémov.
Disturbancia	Udalosť alebo proces, ktorý v relatívne krátkom čase mení štruktúru ekosystému, dostupnosť zdrojov alebo fyzikálne podmienky prostredia.
Disturbančný proces	Proces spôsobujúci narušenie lesného ekosystému, napríklad vietor, sucho, požiar, podkôrny hmyz, sneh, ľad alebo patogény.
Disturbančný režim	Dlhodobejšia charakteristika výskytu disturbancií zahŕňajúca ich typ, frekvenciu, rozsah, intenzitu alebo závažnosť, sezónnosť a priestorové usporiadanie.

Ekologická integrita	Zachovanie väzby opatrenia na prirodzené procesy, miestne ekologické podmienky, biodiverzitu a ekosystémové funkcie bez vytvárania neprimeraných negatívnych vedľajších účinkov.
Ekonomická efektívnosť	Vzťah medzi nákladmi na opatrenie a hodnotou jeho dosiahnutých alebo očakávaných prínosov pri zohľadnení požadovanej funkcie a časového horizontu.
Ekosystémové služby	Prínosy, ktoré ľudia získavajú z fungovania ekosystémov, napríklad zadržiavanie vody, ochrana pôdy, regulácia mikroklimy, produkcia biomasy alebo rekreačné a kultúrne hodnoty.
Environmentálny monitoring	Systematické a opakované sledovanie vybraných charakteristík prostredia s cieľom zachytiť ich stav, vývoj a odozvu na zásah alebo disturbanciu.
Erózia	Uvoľňovanie, odnos a premiestňovanie pôdneho alebo horninového materiálu pôsobením vody, vetra, gravitácie alebo kombinácie týchto procesov.
Expozícia	Miera, v akej je porast, územie, infraštruktúra alebo iný hodnotený prvok vystavený pôsobeniu konkrétneho nebezpečenstva.
Funkcia opatrenia	Konkrétny účinok, ktorý má opatrenie v území zabezpečiť, napríklad spomalenie odtoku, záchyt sedimentu, stabilizáciu povrchu alebo zníženie kontinuity paliva.
Funkčný limit	Úroveň zaťaženia alebo zmeny podmienok, pri ktorej opatrenie prestáva spoľahlivo zabezpečovať navrhovanú funkciu alebo sa výrazne zvyšuje pravdepodobnosť jeho zlyhania.
Geoinformačný systém (GIS)	Systém na zber, správu, analýzu, prepájanie a zobrazovanie priestorovo lokalizovaných údajov využívaných pri hodnotení rizík, návrhu opatrení a monitorovaní územia.
Geopriestorové údaje	Údaje viazané na konkrétnu polohu v priestore, ktoré umožňujú prepájať informácie o reliéfe, vegetácii, pôde, vode, infraštruktúre a ďalších vlastnostiach územia.
Hodnotenie nákladov počas životného cyklu	Posudzovanie všetkých významných nákladov opatrenia od prípravy a realizácie cez prevádzku, údržbu a obnovu až po ukončenie alebo prestavbu, nie iba jeho počiatočnej ceny.
Horizontálna kontinuita paliva	Priestorová spojitosť horľavého materiálu pri zemskom povrchu alebo v nižších vrstvách vegetácie, ktorá umožňuje šírenie požiaru do strán.
Horľavosť vegetácie	Súbor vlastností vegetácie a jej častí ovplyvňujúcich zapálenie, rýchlosť horenia a schopnosť podporovať ďalšie šírenie požiaru; mení sa podľa druhu, vlhkosti, štruktúry a sezóny.
Hybridné riešenie	Riešenie kombinujúce prírode blízke a technické prvky tak, aby sa zachoval ekologický princíp opatrenia a súčasne sa zabezpečila potrebná technická alebo bezpečnostná funkcia.
Hydrologická konektivita	Miera priestorového prepojenia miest, po ktorých sa voda a s ňou sediment alebo iný materiál môže presúvať medzi svahom, cestou, odvodňovacími prvkami a vodným tokom.

Hydrologický režim	Časové a priestorové usporiadanie pohybu, akumulácie a dostupnosti vody v území, ovplyvnené zrážkami, infiltráciou, odtokom, pôdou, vegetáciou a reliéfom.
Indikátor účinnosti	Merateľná alebo overiteľná charakteristika používaná na posúdenie, či opatrenie dosahuje plánovanú funkciu a ako sa jeho účinok mení v čase.
Infiltrácia	Vsakovanie vody z povrchu do pôdneho profilu; jej rýchlosť závisí najmä od vlastností pôdy, vegetačného krytu, zhutnenia a aktuálneho nasýtenia.
Intenzita požiaru	Energetická charakteristika priebehu požiaru vyjadrujúca množstvo energie uvoľňovanej za jednotku času alebo na jednotku dĺžky frontu; nemožno ju zamieňať so závažnosťou ekologických následkov požiaru.
Kaskádová disturbancia	Nadväznosť disturbancií, pri ktorej prvá udalosť zmení podmienky prostredia tak, že ovplyvní pravdepodobnosť, rozsah alebo priebeh ďalšej disturbancie.
Klimatická odolnosť	Schopnosť lesného ekosystému a jeho funkcií zvládať súčasné aj budúce klimatické zaťaženie bez neprijateľnej straty funkcie a s možnosťou obnovy alebo prispôsobenia.
Klimatická zmena	Dlhodobá zmena klimatických podmienok prejavujúca sa okrem priemernej teploty aj zmenami vodnej bilancie, zrážkového režimu, extrémov, sucha, požiarneho počasia a ďalších faktorov významných pre lesné ekosystémy.
Krízové riadenie	Súbor riadiacich, organizačných, informačných a rozhodovacích činností vykonávaných pri príprave na krízové situácie, počas ich riešenia a pri obnove po ich skončení.
Lesná dopravná sieť	Sústava lesných ciest, približovacích liniek a ďalších komunikácií zabezpečujúcich prístup a pohyb v lesnom území; ovplyvňuje hospodárenie, odtok vody aj dostupnosť pre zásah.
Lesné palivo	Živý alebo odumretý horľavý rastlinný materiál v lesnom prostredí, ktorý môže prispievať k vzniku a šíreniu požiaru.
Lesný požiar	Nežiaduci alebo nekontrolovaný požiar šíriaci sa v lesnom prostredí, ktorého priebeh je bezprostredne ovplyvňovaný palivom, počasím, reliéfom a spôsobom iniciácie.
Miestne prispôsobenie	Prispôsobenie výberu, rozmerov, materiálového a biologického riešenia opatrenia konkrétnym podmienkam lokality namiesto mechanického preberania riešenia z iného územia.
Mimoriadna kontrola	Kontrola vykonaná po udalosti alebo pri zistení zmeny, ktorá môže významne ovplyvniť bezpečnosť alebo funkciu opatrenia, napríklad po privalovej zrážke, požiaru, zosuve alebo poškodení.
Monitoring	Plánované a opakované sledovanie stavu a vývoja územia alebo opatrenia podľa vopred určených ukazovateľov a porovnateľnej metodiky.
Monitoring pôdných podmienok	Systematické sledovanie pôdnej vlhkosti, teploty, zhutnenia, erózných prejavov a ďalších vlastností potrebných na hodnotenie fungovania pôdneho a hydrologického systému.

Nebezpečenstvo	Potenciálne škodlivý jav, proces alebo podmienka schopná vyvolať nepriaznivé následky; samo osebe ešte nevyjadruje veľkosť rizika.
Obnova lesa	Proces opätovného vytvorenia lesného porastu po plánovanom zásahu alebo disturbancii prirodzeným, umelým alebo kombinovaným spôsobom.
Odolnosť	Schopnosť porastu alebo systému obmedziť rozsah zmeny počas pôsobenia konkrétnej disturbancie; vždy sa vzťahuje na určitý typ zaťaženia a sledovanú funkciu.
Odtoková dráha	Trasa, po ktorej sa voda sústreďuje a presúva po povrchu alebo cez technické prvky; jej poloha rozhoduje o prenose vody, sedimentu a erózneho účinku v území.
Palivový komplex	Priestorové usporiadanie rôznych vrstiev lesného paliva od opadu a bylinnej vegetácie cez kry a mŕtve drevo až po korunové palivo.
Palivový pás	Priestorovo vymedzený pás s upraveným množstvom alebo štruktúrou horľavého materiálu určený na obmedzenie šírenia požiaru a podporu zásahových možností.
Porastová štruktúra	Priestorové a vekové usporiadanie stromov a ďalších vrstiev vegetácie, zahŕňajúce hustotu, zápoj, výškovú diferenciáciu, rozmiestnenie a vertikálne členenie.
Povrchový odtok	Časť vody zo zrážok alebo topenia snehu, ktorá nevsakuje do pôdy a odteká po jej povrchu; pri sústreďení môže významne zvyšovať erózne zaťaženie.
Požiarne odolnosť lesa	Schopnosť lesného porastu alebo krajiny obmedziť vznik závažných následkov požiaru a po poškodení zachovať alebo obnoviť rozhodujúce funkcie.
Požiarne nebezpečenstvo	Potenciál podmienok prostredia podporovať vznik a šírenie požiaru, najmä v závislosti od stavu paliva, počasia, reliéfu a zdrojov iniciácie.
Požiarne počasie	Súbor meteorologických podmienok ovplyvňujúcich vysychanie paliva, pravdepodobnosť vzniku a dynamiku šírenia požiaru, najmä teplota, vlhkosť vzduchu, vietor a zrážky.
Požiarne riziko	Riziko nepriaznivých následkov lesného požiaru vznikajúce zo vzťahu medzi požiarnym nebezpečenstvom, expozíciou a zraniteľnosťou hodnotených prvkov.
Prenositel'nosť riešenia	Miera, v akej možno funkčný princíp, metodický postup alebo technické poznatky z jedného územia využiť v inom území po overení miestnych podmienok a potrebnej úprave návrhu.
Prevádzková údržba	Súbor pravidelných alebo mimoriadnych zásahov potrebných na zachovanie funkčnosti opatrenia, napríklad čistenie, orez, doplnenie materiálu, opravy alebo obnova vegetácie.
Prevádzková validácia	Overenie, či opatrenie po realizácii dlhodobo plní požadovanú funkciu v reálnych podmienkach a či je jeho stav, údržba a reakcia na zaťaženie prijateľná.

Prevádzková zodpovednosť	Jasne určená zodpovednosť za kontrolu, údržbu, dokumentáciu a nápravu porúch opatrenia počas jeho používania.
Prírode blízke opatrenie	Konkrétny zásah využívajúci alebo podporujúci prirodzené procesy pri riešení identifikovaného problému v území; jeho zaradenie závisí od funkcie, návrhu a miestneho kontextu.
Prírode blízke riešenie (NbS)	Miestne prispôsobené riešenie inšpirované alebo podporované prírodnými procesmi, ktoré reaguje na konkrétnu spoločenskú alebo environmentálnu výzvu a zároveň podporuje biodiverzitu a ekosystémové služby.
Prirodzená obnova lesa	Obnova porastu vznikajúca zo semien, výmladkov alebo iných prirodzených zdrojov reprodukcie bez plošnej umelej obnovy.
Protierózne opatrenie	Opatrenie zamerané na obmedzenie uvoľňovania a transportu pôdneho materiálu, spomalenie povrchového odtoku alebo ochranu citlivého povrchu.
Protipožiarny priesek	Priestorovo vymedzený pás s odstránenou alebo výrazne redukovanou vegetáciou a horľavým materiálom, ktorého cieľom je prerušiť alebo obmedziť kontinuitu paliva.
Referenčná lokalita	Lokalita s porovnateľnými podmienkami využívaná ako podporný základ na posúdenie, či pozorovaná zmena súvisí s realizovaným opatrením alebo s prirodzenou variabilitou prostredia.
Referenčný stav	Zdokumentovaný východiskový alebo novozavedený porovnávací stav, voči ktorému sa hodnotia neskoršie zmeny územia alebo opatrenia.
Retencia vody	Dočasné alebo dlhodobejšie zadržanie vody v pôde, vegetácii, mikroreliefe alebo retenčnom prvku, ktoré spomaľuje jej odtok a môže podporiť infiltráciu.
Reziduálne riziko	Zvyškové riziko, ktoré zostáva aj po realizácii opatrenia; musí byť známe a akceptované alebo ďalej riadené ďalšími technickými, organizačnými či prevádzkovými opatreniami.
Reziliencia	Schopnosť systému absorbovať narušenie, obnoviť alebo reorganizovať svoje rozhodujúce funkcie a pokračovať vo fungovaní bez nutnosti návratu do úplne identického pôvodného stavu.
Riziko	Možnosť vzniku nepriaznivých následkov vyplývajúca zo vzájomného pôsobenia nebezpečenstva, expozície a zraniteľnosti hodnoteného systému alebo prvku.
Scenár klimatického vývoja	Ucelený opis možného budúceho vývoja klimatických podmienok používaný na posudzovanie robustnosti a vhodnosti opatrení pri neistom budúcom zaťažení.
Stabilizačné opatrenie	Zásah zameraný na obmedzenie pohybu pôdy, sedimentu alebo svahového materiálu a na zachovanie stability povrchu, brehu alebo plytkej svahovej zóny.
Stanovište	Súbor miestnych ekologických podmienok, najmä pôdných, vodných, klimatických, reliéfnych a biologických charakteristík, ktoré ovplyvňujú vývoj porastu a vhodnosť opatrení.

Sukcesia	Prírodný časový vývoj druhového zloženia a štruktúry spoločenstva po vzniku nových podmienok alebo po disturbancii.
Technická dokumentácia	Súbor podkladov určujúcich polohu, rozmery, materiály, konštrukčné riešenie, technologický postup a ďalšie parametre potrebné na realizáciu a následnú správu opatrenia.
Technická účinnosť	Miera, do akej realizované opatrenie dosahuje merateľný technický alebo funkčný cieľ, pre ktorý bolo navrhnuté.
Technická uskutočniteľnosť	Posúdenie, či možno opatrenie v konkrétnej lokalite bezpečne a funkčne navrhnuť, realizovať, kontrolovať a udržiavať pri dostupných materiáloch, technológiách a prístupe.
Terénny prieskum	Systematické zisťovanie skutočného stavu lokality priamo v teréne s cieľom overiť priestorové údaje, identifikovať procesy a získať podklady pre návrh a monitoring.
Udržateľnosť opatrenia	Schopnosť opatrenia dlhodobo zabezpečovať požadovanú funkciu pri prijateľných environmentálnych, ekonomických a prevádzkových nárokoch a bez prenášania neprimeraných problémov do iných častí územia.
Validácia	Overenie správnosti, spoľahlivosti alebo použiteľnosti výsledku merania, modelu, mapy, klasifikácie alebo realizovaného opatrenia pomocou vhodných nezávislých údajov alebo pozorovaní.
Vegetačný protipožiarny pás	Pás vegetácie navrhnutý a udržiavaný tak, aby mal nižšiu horľavosť alebo priaznivejšiu palivovú štruktúru než okolité porasty a prispieval k obmedzeniu šírenia požiaru.
Vodná bilancia	Vzťah medzi prísunom, zásobou a stratami vody v určitom území alebo pôdnom profile, zahŕňajúci najmä zrážky, evapotranspiráciu, infiltráciu, odtok a zmenu zásoby vody.
Východiskový stav	Zdokumentovaný stav územia pred realizáciou opatrenia, ktorý poskytuje základ na porovnávanie neskoršieho vývoja a hodnotenie účinku zásahu.
Zadržiavanie vody	Súbor procesov a opatrení, ktorými sa voda spomaľuje, dočasne akumuluje alebo podporuje jej vsakovanie do pôdy s cieľom obmedziť rýchly odtok a zlepšiť vodný režim územia.
Závažnosť disturbancie	Miera ekologického alebo funkčného poškodenia spôsobeného disturbanciou; opisuje následok na systém a nemožno ju automaticky stotožňovať s fyzikálnou intenzitou pôsobiaceho javu.
Zraniteľnosť	Náchylnosť systému na nepriaznivé dôsledky konkrétneho nebezpečenstva vyplývajúca najmä z jeho expozície, citlivosti a schopnosti adaptovať sa alebo reagovať.
Životný cyklus opatrenia	Celé obdobie existencie opatrenia od diagnostiky a návrhu cez realizáciu, ustanovenie biologickej funkcie, prevádzku, údržbu a obnovu až po ukončenie, prestavbu alebo nahradenie.

14. Register pojmov

- Adaptačná kapacita, 24
Bariéry, 55, 57, 60, 61, 62, 92, 103, 104
Bezpečnosť, 25, 67, 73, 79, 80, 96, 108, 127, 135, 154, 157, 161
Biodegradovateľné siete, 89
Bioinžinierske prvky, 60, 65, 67
Bioinžinierske techniky, 53, 62, 63, 143
Biologické indikátory, 50
Brehové vegetačné pásy, 57, 68
Čas, 27, 31, 38, 41, 43, 44, 51, 53, 73, 81, 88, 91, 96, 124, 139, 154, 157, 162, 168, 175, 176
Dátová architektúra, 51
Dátová kontrola, 43
Disturbancia, 17, 39
Disturbančný proces, 13
Disturbančný režim, 17
Erózia, 15, 19, 33, 38, 57, 58, 60, 91, 93, 96, 97, 98, 104, 107, 114, 117, 123, 124, 133, 135, 136, 160, 169, 172, 179
Fašiny, 62, 63, 65, 67, 69, 109, 114
Filtročný pás, 60
Georeferencovanie, 41, 130
Historické pozorovania, 22
Hydrologické dimenzovanie, 92
Hydrologický monitoring, 50
Hydrovýsev, 61, 67, 69
Identifikácia rizika, 33
Integrovaný systém, 121
Klasifikácia rizika, 35
Klimatická zmena, 6, 13, 16, 17, 20, 25, 31, 176, 181
Klimatické extrémny, 15
Klimatický stres, 14
Konštrukčné drevo, 89
Kontinuálny environmentálny monitoring, 48
Kontrola, 51, 95, 98, 99, 112, 113, 118, 119, 122, 123, 148
Kontrola konštrukčného návrhu, 95
Kontrola kvality, 98
Lesná cesta, 66, 95
Lesy, 10
Lokalizácia, 83, 84, 85, 86, 87
Materiál, 59, 87, 96
Meteorologické podmienky, 124
Monitoring, 30, 32, 49, 51, 121, 127, 160, 161, 178, 179, 182
Mulče, 89
Mulčovanie, 67
Nákladová analýza, 137
Náklady, 22, 30, 61, 81, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 148, 150, 151, 152, 153, 162, 163, 170, 177, 179, 182
NbS, 28, 29, 30, 31, 53, 151, 152, 153, 157, 158, 163, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 176, 177, 179, 180, 189
Neistota, 36, 47, 134, 139, 163, 166, 173, 175, 183
Odolnosť lesa, 13
Ochranný porast, 73
Opatrenie, 10, 13, 27, 28, 30, 35, 54, 56, 58, 64, 82, 83, 84, 85, 92, 106, 108, 109, 110, 119, 120, 121, 127, 132, 133, 134, 135, 136, 140, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 151, 154, 155, 160, 161, 162, 164, 166, 169, 170, 171, 172, 176, 178, 180
Pestovné a obnovné opatrenia, 70, 74, 109, 168
Poškodenie lesa, 13
Pôdny a hydrologický prieskum, 42
Prehrádzky, 44, 55, 56, 60, 62, 92
Prevencia, 61
Priečne odvodňovacie prvky, 67
Priestorová reprezentatívnosť, 42
Priestorové indikátory, 134
Prírode blízke riešenia, 6, 10, 12, 27, 28, 31, 53, 80, 92, 100, 137, 142, 143, 151, 153, 156, 166, 180, 181, 184
Prírodná obnova, 25, 72
Protierózne a stabilizačné opatrenia, 67
Protipožiarne opatrenia, 98
Rastlinný materiál, 88, 97
Referenčný stav, 37, 171
Retenčné nádrže, 54
Retenčný prvok, 30, 79, 91, 95
Reziliencia, 13, 17, 23, 24, 25, 27, 32, 37, 159

Riadenie lesného prostredia, 10
 Rohože, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 89, 97,
 109, 114, 115, 133
 Sentinel-2, 44, 45, 46, 47, 130, 131, 186, 187,
 193, 194
 Stanovištné podmienky, 16, 164, 183
 Sucho, 19, 20, 34, 176, 181
 Systémový prístup, 6
 Technická účinnosť, 132, 134
 Tematická presnosť, 132
 Terasovanie, 64, 65
 Typológia, 53, 55, 66, 71, 72, 74, 77, 79
 UAV, 44, 45, 47, 48, 66, 130, 131, 132, 134,
 136, 160, 161, 179, 187

Účinok lesa, 53
 Udržateľnosť, 28, 52, 145, 146, 182
 Údržba, 65, 67, 113, 117, 143, 145, 146, 149,
 157
 Váhy ukazovateľov, 39
 Validácia, 45, 46, 48, 127, 135, 136, 161, 179
 Vegetačné pásy, 60
 Vetrové disturbancie, 19
 Vplyv klímy, 15
 Vydrovo, 6, 11, 100, 101, 102, 103, 104, 106,
 107, 111, 113, 115, 116, 120, 160, 182
 Zmena klímy, 13
 Zmena zrážkového režimu, 14
 Zraniteľnosť, 23, 24, 27, 32, 37

