

Analýza 7.

ANALÝZA METÓD PREVENČIE A BOJA PROTI ÚČINKOM PRÍRODNÝCH KATASTROF DOSTUPNÝCH MIMO OBLASTI PODPORY

Obsah

METODIKA SPRACOVANIA	4
1. HYDRAULICKÉ A HYDROLOGICKÉ MODELOVANIE.....	5
a) Technický opis metódy prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi	5
b) Opis výhod a nevýhod metódy	10
c) Posúdenie vhodnosti metódy	10
2. INFRAŠTRUKTÚRNE (TECHNICKÉ) METÓDY NA ZNÍŽENIE NEGATÍVNYCH ÚČINKOV POVODŇÍ – KONTROLA VEĽKOSŤ POVODŇOVÝCH PRIETOKOV (AKTÍVNA OCHRANA)	11
a) Technický opis metódy prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi	13
b) Opis výhod a nevýhod metódy	17
c) Posúdenie vhodnosti metódy	18
d) Príklady použitia metódy na boj proti povodňam z okresov/oblastí, ktoré sa nachádzajú mimo oblasti podpory	18
3. EKOLOGICKÉ METÓDY NA ZNÍŽENIE ÚČINKOV POVODŇÍ - PRIRODZENÁ RETENCIA	20
a) Technický opis metód prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi	21
b) Opis výhod a nevýhod metódy	28
c) Posúdenie vhodnosti metódy	28
4. METÓDY PREVENCIE PRED ZOSUVMI MIMO OBLASŤ PODPORY.....	29
a) Príklad použitia metódy mapovania	29
b) Príklad použitia geodetickej metódy	32
c) Príklad použitia inklinometrov v prevencii zosuvu	33
d) Príklad použitia metód prevencie zosuvu - technické metódy stabilizácie zosuvov	36
e) Alternatívy k uvedeným tradičným technológiám prevencie mimo oblasti podpory.....	37
5. VÝHODY INOVATÍVNYCH METÓD PREVENCIE A BOJA PROTI ÚČINKOM PRÍRODNÝCH KATASTROF MIMO OBLASTI PODPORY	39
LITERATÚRA	41

METODIKA SPRACOVANIA

Štúdia sa uskutočnila podľa nasledujúcej schémy vyplývajúcej z nasledujúceho opisu :

- (a) technický opis metódy prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi
- b) opis výhod a nevýhod jednotlivých metód
- c) vyhodnotenie použiteľnosti metódy
- d) výhody inovačných metód prevencie pred povodňami v porovnaní s konvenčnými metódami, ktoré používajú miestne orgány pôsobiace v oblasti podpory (uvádzajú sa spolu za všetky metódy).

Štúdia bola vypracovaná na základe vedeckých publikácií a webovej analýzy a dostupných informácií o metódach prevencie boja proti účinkom prírodných katastrof. Zoznam použitej literatúry je súčasťou dokumentácie a nachádza sa v poslednej časti. Štúdia vychádzala z materiálov dostupných na technických univerzitách na Slovensku a v Poľsku, z informácií v odborných článkoch a publikáciách, prípadne vládnych a komunálnych dokumentov schválených príslušnými orgánmi.

Slovensko čelí spektru prírodných rizík, medzi ktoré patria najmä:

- **Povodne** (najčastejšie a najničivejšie)
- **Zosuvy pôdy** (druhé najvýznamnejšie geodynamické javy)
- Veterné smršte a víchrice
- Lavíny
- Sucho a erózia pôdy
- Krúpobitie a supercely
- Požiare.

Mimo oblasť podpory čelí krajina navyše povodňami, veterným smrštiam, suchu, krúpobitiu a supercelám. Cieľom tejto štúdie je poskytnúť časť informácií o metódach, ktoré pomôžu chrániť ľudí a majetok pred škodlivými účinkami uvedených živlov. Tieto poznatky môžu byť užitočné pre predstaviteľov samosprávy, ako aj pre jednotlivých obyvateľov miest, obcí a okresov žijúcich v ohrozených oblastiach.

1. HYDRAULICKÉ A HYDROLOGICKÉ MODELOVANIE

a) Technický opis metódy prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi

Hydraulické modelovanie sa zameriava na fyzikálne prúdenie vody v konkrétnych štruktúrach, ako sú riečne kanály, kanály alebo kanalizačné systémy, zatiaľ čo hydrologické modelovanie sa zameriava na procesy spojené s obehom vody v prostredí. Hydraulické modelovanie sa týka fyzikálnych javov súvisiacich s mechanikou tekutín. Príkladom je analýza správania sa vody v riečnych korytách a záplavových oblastiach. Týmto spôsobom možno určiť ordinácie hladiny podzemnej vody, ako aj rýchlosti, hĺbky a smery prúdenia vody.

Hydraulické a hydrodynamické modelovanie zahŕňa najmodernejšie analytické techniky na predpovedanie vodných tokov v danej oblasti. Pomocou pokročilých modelov možno vykonávať podrobné simulácie, ktoré zohľadňujú rôzne hydrologické podmienky, ako je intenzita zrážok, povrchový odtok a účinnosť existujúcej odvodňovacej infraštruktúry. Výsledky týchto analýz umožňujú identifikovať potenciálne riziká, napríklad oblasti náchylné na záplavy alebo problémy s kapacitou odvodňovacej siete. Hydraulické modelovanie je v súčasnosti jednou z najobľúbenejších metód určovania máp povodňového rizika a ohrozenia.

Typy hydraulických modelov používaných pri analýze prepätia na základe matematických modelov:

- jednorozmerné (1D),
- dvojrozmerné (2D),
- hybridné (spojené) (1D/2D, pseudo-2D),
- trojrozmerné (3D).

Jednorozmerné modelovanie (1D) je založené na priečných rezoch riek. Zahŕňajú koryto rieky aj oblasti vystavené potenciálnym záplavám. Tieto priečne rezy sa vytvárajú interpoláciou výškových údajov z numerického modelu terénu (NMT) a batymetrických údajov. Hydraulické modely vytvorené na základe týchto prierezov umožňujú analýzu rýchlosti prúdenia vody v koryte rieky, pričom sa zohľadňuje zložka rýchlosti súvisiaca so smerom rieky (jeden rozmer). Výsledky jednorozmerného modelovania poskytujú informácie o maximálnej hladine vody a strednej rýchlosti prúdenia pre daný prierez v smere naň kolmom. Rozsah prívlovej vlny sa získava pretínaním vodnej hladiny s numerickým modelom terénu (Bakuła, 2014). Tieto modely sa používajú najmä v jednoduchých hydrografických systémoch ako napríklad model HEC-RAS (1D).

Hlavné vlastnosti modelu HEC-RAS (1D) (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), ktorý sa používa na simuláciu povodňových prívalových vln a hodnotenie povodňového rizika, sú:

- výpočty v ustálenom stave (analýza prietoku pri konštantnej hladine vody) a výpočty v prechodnom stave (dynamické zmeny hladiny vody v čase)
- možnosť vizualizácie údajov na mapách vďaka integrácii s údajmi GIS
- bezplatnosť, ktorá prispieva k jeho širokému používaniu.

Dvojrozmerné modelovanie (2D) počíta prúdenie vody s voľnou hladinou vody vertikálnym spriemerovaním rýchlosti prúdenia, čo zahŕňa riešenie rovníc zachovania hmotnosti a hybnosti. Výsledkom tohto prístupu je určenie rozsahu prívalovej vlny a hĺbky vody. Okrem toho tieto modely umožňujú určiť smer, návrat a hodnotu vektora rýchlosti vody v presne definovanej výpočtovej sieti, ktorá pokrýva prakticky celú analyzovanú oblasť. NMT sa neobmedzuje len na interpoláciu výšok v prijatých prierezoch; po príslušných hydraulických výpočtoch sa používa na odčítanie hodnôt z numerického modelu vodnej hladiny, ako sa to robilo pri jednorozmernom modelovaní (Bakuła, 2014).

2D modelovanie je účinnou metódou na určenie rozsahu záplavovej zóny (obrázok 1, 2). Pomocou numerického modelu terénu presne identifikuje oblasť náchylnú na zaplavenie, okamžité rýchlosti a smery prúdenia vody. Okrem toho zohľadňuje bilanciu objemu vody, ktorá vteká do záplavového územia a odteká z neho (Radoń a Piórecki, 2012). Príkladmi tohto typu modelu sú napr: HEC-RAS (2D), MIKE 21, TUFLOW.

Používajú sa aj hybridné modely (1D/2D), ktoré sú kombináciou jednorozmerného a dvojrozmerného modelovania.

Trojrozmerné modelovanie (3D) - hydraulické modely sú pokročilé nástroje, ktoré umožňujú simuláciu vodných tokov v troch rozmeroch. Umožňujú vykonávať podrobné analýzy zložitých hydrodynamických javov, ako sú turbulencie, víry alebo interakcia tokov s hydrotechnickou infraštruktúrou (štúdium vplyvu stavieb, ako sú mosty alebo priehrady, na miestne podmienky prúdenia). Používajú sa aj na hodnotenie erózie a sedimentácie (predpovedanie miest náchylných na eróziu a hromadenie sedimentov) alebo na navrhovanie a optimalizáciu vodnej infraštruktúry. Príklady softvéru na 3D modelovanie: FLOW-3D, ANSYS Fluent, TELEMAC- 3D, OpenFOAM.

Používajú sa aj hydrodynamické modely prepojené s meteorologickými modelmi, ktoré využívajú predpovede zrážok na predpovedanie búrkových prívalov. Integrácia hydrodynamických a meteorologických modelov pomocou nástrojov ako MIKE FLOOD

alebo LISFLOOD-FP je mimoriadne dôležitým aspektom moderného riadenia povodňových rizík a plánovania vodných zdrojov.

Vývoj hydraulického modelu zahŕňa nasledujúce kroky (Radon a Piórecki, 2012):

1. príprava vstupných údajov (podporovaných modelom);
2. vypracovanie priečnych rezov
3. vývoj numerického modelu terénu (zohľadnenie línií nespojitosti, ako sú kubické objekty, násypy, svahy alebo násypy, ktoré môžu významne ovplyvniť rozsah záplavového územia)
4. zavedenie parametrov pre mosty a hydraulické stavby (určenie prvkov dôležitých pre hydraulické modelovanie, ako sú kontrast, výtok alebo stratové koeficienty, najmä pre mosty a hydraulické stavby);
5. určenie hodnôt koeficientov drsnosti (základný parameter pre kalibráciu v hydrodynamickom modeli);
6. určenie okrajových podmienok procesu modelovania súvisiacich s hydrogramami vodných stavov;
7. kalibrácia modelu (vykonáva sa pre konkrétnu povodňovú udalosť, pre ktorú je známe časové a priestorové rozloženie prietokov a vodných hladín; spočíva v určení parametrov modelu tak, aby sa dosiahol stav zodpovedajúci historickej povodňovej udalosti);
8. overenie modelu.

Vstupné údaje pre hydraulické modelovanie zahŕňajú:

- topografické údaje - numerický model terénu,
- hydrologické údaje - prietoky a vodné stavy,
- meteorologické údaje - intenzita a rozdelenie zrážok,
- údaje o infraštruktúre - mosty, násypy, priehrady, odvodňovacie systémy,
- údaje o využívaní pôdy - vegetácia, budovy, pôda.

Hydraulické modely integrované s hydrologickými modelmi sa používajú na komplexnejšie posúdenie povodňového rizika. Okrem iného to umožňuje komplexnú analýzu vodných tokov, ktorá je taká potrebná pre analýzu povodňového rizika. Hydrologické modelovanie je podporované softvérom GIS a špecializovaným softvérom, ktorý umožňuje simulovať rôzne procesy súvisiace s kolobehom vody, ako napríklad HEC-HMS (Hydrologic Modelling System) alebo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

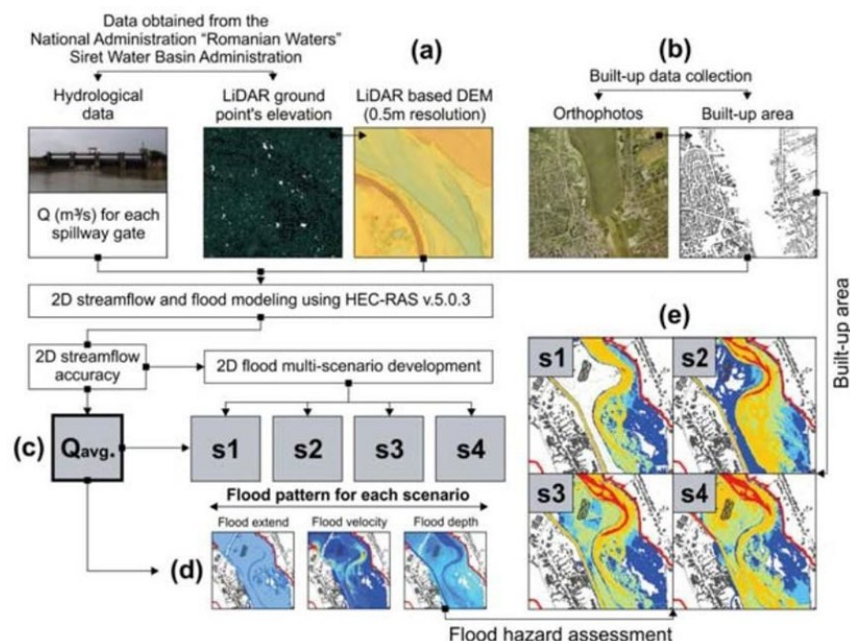
Veľmi dôležitými prvkami ovplyvňujúcimi kvalitu hydraulického a hydrologického modelovania sú presný NMT (numerický model terénu) a NMPT (numerický model pôdneho krytu).

Numerické modely terénu sú založené na:

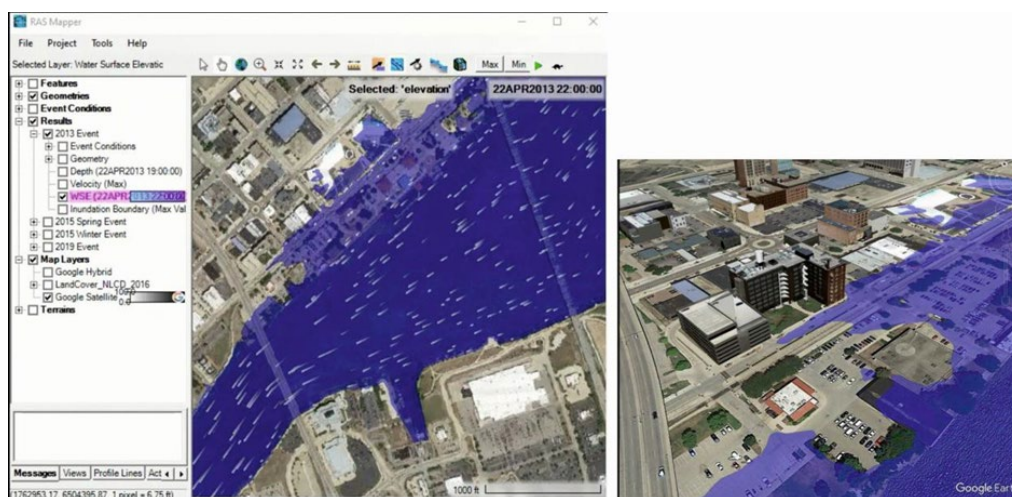
- terénnych meraniach pomocou nivelačných prístrojov a prijímačov GPS,
- laserovom skenovaní (LiDAR) pomocou laserového skenera, ktorý vysiela laserové impulzy a meria ich spätný čas po odraze od povrchu zeme. Na tento účel sa používajú letecké a pozemné skenery,
- digitalizácia topografických máp (prevod analógových máp na digitálne),
- fotogrametrické meranie (spracovanie leteckých a pozemných fotografií na získanie presných výškových údajov),
- radarové snímky poskytujúce informácie o nadmorskej výške terénu (údaje z misií ako SRTM
- Shuttle Radar Topography Mission).

Základným digitálnym modelom terénu je model v sieti 1 x 1 m, ktorý sa pripravuje na základe údajov leteckého laserového skenovania (ALS) a v prípade mestských oblastí aj na základe stereoskopických meraní v rámci tvorby ortofotosnímkov s veľkosťou pixla 10 cm alebo menej. NMPT boli vyhotovené aj na základe lidarových údajov, ktoré obsahujú informácie o využití pôdy.

Hydrologické a meteorologické údaje pochádzajú z meracích staníc prevádzkovaných štátnou hydrometeorologickou službou alebo z lokálnych monitorovacích systémov prevádzkovaných inými subjektmi. Technologický pokrok umožnil používanie senzorov internetu vecí na meracích staniciach. Senzory internetu vecí umožňujú fyzickým zariadeniam vymieňať si údaje, automatizovať úlohy a komunikovať s centrálnymi systémami aj navzájom.



Obrázok 1: Príklad pracovného postupu 2D modelovania povodňovej udalosti v systéme HEC-RAS na zlepšenie máp povodňového rizika v mestách. (a) generovanie NMT (DEM) z údajov LiDAR; (b) manuálna digitalizácia budov; (c) generovanie štyroch 2D scenárov (s1 - s4) so zohľadnením rôznych veľkostí prietoku; (d) generovanie povodňového modelu pre každý vypočítaný scenár a export jednotlivých vrstiev (napr. rozsah povodne, rýchlosť povodne, hĺbka povodne); (e) hodnotenie povodňového rizika na základe zhromaždených údajov a klasifikácie hĺbky (Mihu-Pintilie et al., 2019).



Obrázok 2. Pohľad na riekou Illinois v meste Peoria v štáte Illinois počas povodní v roku 2013, získaný pomocou hydraulického modelu (HEC-RAS) horného toku rieky Mississippi. Vedľa vizualizácie úseku oblasti v 3D zobrazení Google Earth.

<https://www.mvr.usace.army.mil/Missions/Flood-Risk-Management/UMRS-Hydraulický-model-aktualizácia/>

b) Opis výhod a nevýhod metódy

Simulácie nám umožňujú predvídať extrémne hydrologické udalosti, aby bolo možné prijať vhodné protipopatrenia a znížiť straty. Použitie hydrologických a hydraulických modelov umožňuje efektívne navrhovať kľúčové prvky infraštruktúry, ako sú mosty, priepusty, odvodňovacie systémy, nádrže alebo protipovodňové bariéry. Pomocou týchto nástrojov možno optimalizovať parametre navrhovaných zariadení a analyzovať rôzne scenáre s cieľom nájsť najvýhodnejšie riešenia. Modelovanie umožňuje vizualizovať riziko, čo uľahčuje prípravu stratégie opatrení v prípade povodňovej udalosti. Medzi výhody tejto metódy patrí aj veľký počet odborníkov na modelovanie hydrologických javov a široká dostupnosť bezplatného softvéru.

Vytvorenie presného hydraulického modelu je mimoriadne časovo náročná úloha a vyžaduje si značné úsilie. Tento proces zahŕňa zber podrobných údajov, ich analýzu a kalibráciu modelu. Je dôležité si uvedomiť, že presnosť modelu úzko súvisí s kvalitou a presnosťou vstupných údajov. Nepresné alebo neúplné informácie môžu viesť k chybným výsledkom simulácie, čo následne ovplyvňuje spoľahlivosť celého modelu. Hydraulické modely by sa mali pravidelne aktualizovať, aby sa zohľadnili všetky relevantné zmeny v systéme, ako je napríklad rozvoj infraštruktúry alebo zmeny podmienok prostredia - inak môže dôjsť k nepresnostiam v simulácii javu a k zavádzajúcim záverom.

c) Posúdenie vhodnosti metódy

Moderné počítačové modely umožňujú efektívnejšie riadenie povodňového rizika a prijímanie vhodných ochranných opatrení. Výhody, ktoré táto metóda prináša, spočívajú v tom, že podľa potreby možno modelovať akúkoľvek oblasť. V každom okrese existujú oblasti, ktoré sú obzvlášť ohrozené povodňami spôsobenými prívalovými dažďami a/alebo výskytom povodňových prietokov v riekach. Modelovanie vybraných oblastí môže vychádzať z priebežne aktualizovanej databázy topografických, hydrologických, meteorologických a infraštruktúrnych údajov, čo umožňuje mať k dispozícii najlepšiu predpoveď v prípade mimoriadnej udalosti, a tým zvýšiť možnosť zníženia negatívnych následkov povodní.

2. INFRAŠTRUKTÚRNE (TECHNICKÉ) METÓDY NA ZNÍŽENIE NEGATÍVNYCH ÚČINKOV POVODNÍ – KONTROLA VEĽKOSŤ POVODŇOVÝCH PRIETOKOV (AKTÍVNA OCHRANA)

Hlavným cieľom aktívnych protipovodňových opatrení je zaistiť optimálny rozvoj v záplavových územiach a tým optimalizovať dopad povodňových škôd na národné hospodárstvo. To znamená, že územie, ktoré môže byť zaplavované, nemôže byť absolútne „chránené“ pred akýmkoľvek rozvojom. Miera rozvoja je však vytváraná ochotou jednotlivcov usídlit' sa v rizikovom území s vedomím možného budúceho ohrozenia. Cieľom aktívnych protipovodňových opatrení je zaistiť optimálny rozvoj v záplavových územiach a tým optimalizovať dopad povodňových škôd na národné hospodárstvo. Znamená to, riešenie škôd princípom individuálnej zodpovednosti za využívané oblasti v okolí riek. To znamená, že územie, ktoré môže byť zaplavované, nemôže byť absolútne „chránené“ pred akýmkoľvek rozvojom. Miera rozvoja je však vytváraná ochotou jednotlivcov usídlit' sa v rizikovom území s vedomím možného budúceho ohrozenia. Pasívne opatrenia proti povodňiam sú prijímané na ochranu majetku obyvateľov, ktorý sa už v zaplavovanom území usídlili – tj. dobrovoľne sa rozhodli niesť riziko. Významný rozdiel oproti aktívnym protipovodňovým opatreniam je ten, že na realizáciu pasívnych opatrení je potreba vynaložiť dodatočné finančné prostriedky. Je nutné posúdiť, kto by sa mal podieľať na úhrade jednotlivých opatrení. V duchu predchádzajúcej argumentácie je logické, že miera ochrany by mala byť v kompetencii subjektov žijúcich v ohrozených územiach a mala by byť rovnako nimi aj financovaná.

Medzi preventívne opatrenia radíme:

- legislatívne opatrenia
- vytvárajúce prostredia pre akékoľvek opatrenia na ochranu pred povodňami; hlavne ide o jednoznačné stanovenie kompetentných povodňových orgánov a ich právomocí, hierarchie, vzťahu ku krízovému riadeniu, vytvorenie prostredia pre opatrenia ktoré by predchádzali povodňovým škodám – vyhlásenie záplavových území a obmedzenie v nich,
- opatrenia správcov tokov

- stanovovanie záplavových území a obmedzenie činností v nich, ochrana území vymedzených pre výstavbu protipovodňových opatrení– príprava povodňových plánov
- uceleného povodia, krajov, obcí s rozšírenou pôsobnosťou,
- starostlivosť o zariadenia slúžiacich na ochranu pred povodňami a ich optimálne využitie,
- stavebno - technické opatrenia na ochranu pred povodňami;
- opatrenie na ploche povodia na ochranu pred povodňami.

Stratégia v oblasti protipovodňovej prevencie a ochrany územia miest a obcí pred povodňami

Koncepcia vodohospodárskej politiky Slovenskej republiky do roku 2015 konštatuje, že súčasný stav väčšiny vodných tokov a ich povodí možno charakterizovať nasledovne:

- významne sa znížila prirodzená retenčná schopnosť povodí a zrýchlil sa povrchových odtok v krajine, v dôsledku čoho sa zvýšilo riziko a frekvencia výskytu povodní,
- znížila sa prirodzená samočistiaca schopnosť vodných tokov, čo sa následne prejavilo na kvalite povrchových a podzemných vôd,
- dochádza k znižovaniu výdatnosti a k znehodnocovaniu zdrojov pitnej vody,
- urýchlňuje sa erózia a tým nastáva znižovanie úrodnosti pôdy (najmä v horských a podhorských oblastiach), nastalo podstatné obmedzenie ekologických funkcií vodných tokov a tým dochádza k degradácii prirodzených vodných a mokrad'ových ekosystémov.

Podstata štrukturálnej reformy

Vodohospodárska politika v oblasti odtokových pomerov sa musí reformovať nasledovne:

- zamerať sa na plošnú ochranu územia s cieľom zlepšovania vodnej bilancie územia (obnova malého vodného cyklu a zavodňovanie krajiny) prostredníctvom realizácie opatrení na zvyšovanie vodozádržnej schopnosti povodia a znižovanie erózných procesov v území;
- zaviesť posudzovanie investičnej činnosti v území z hľadiska dopadov na vodnú bilanciu územia a sídiel;
- prehodnotiť efektívnosť systému správy vodných tokov (najmä malých vodných tokov) so zachovaním štátnej správy povodí a koordinácie riešenia a zabezpečovania spoločných úloh vyplývajúcich z naplnenia Rámcovej smernice Európskeho parlamentu a Rady o vode,

pripravovanej Smernice Európskeho parlamentu a Rady o posudzovaní povodní a povodňovom manažmente a zabezpečovaní integrovaného manažmentu povodí;
– prehodnotiť doterajšie inžinierske a technické opatrenia ovplyvňujúce odtokové pomery v území obce pre zníženie budúcich škôd a strát a pre zabezpečenie konkurencieschopnosti svojho územia preto musia aktívne vstúpiť do riešenia tejto problematiky. Samospráva potrebuje účinne, dlhodobo a efektívne chrániť svoje územie. Zo strany ZMOS sa môže mestám a obciam poskytnúť metodická a odborná pomoc, rovnako ako informačný systém a potrebná koordinácia. Úzka spolupráca so správcami vodných tokov a rezortmi.

a) Technický opis metódy prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi

Aktívna ochrana pred povodňami spočíva v "zachytení" alebo aspoň zmiernení povodňovej vlny dočasným zadržaním prebytočnej vody v účelovo vybudovaných priehradných nádržiach. Priehradné jazerá vznikajú prehradením vody v údolí rieky na priehradách rôznej konštrukcie v závislosti od funkcie, ktorú nádrž plní.

S ohľadom na ich účel možno priehradné nádrže rozdeliť na:

Retenčné nádrže - slúžia na uskladnenie vody na vodohospodárske účely. Majú kľúčovú úlohu vo vodnom hospodárstve, najmä v situáciách nadbytku vody (napríklad pri povodniach) a v čase sucha. Ich hlavným účelom je vyrovňovanie prietoku riečnej vody. Tieto nádrže sú zvyčajne multifunkčné (obrázok 3) - uskladnená voda sa môže využívať na výrobu energie (pohon turbín vodných elektrární), zavlažovanie poľnohospodárskej pôdy, zásobovanie miest a priemyselných podnikov vodou, ako aj na zlepšenie plavby a rekreačné účely.



Obrázok 3. Priehradný múr a pohľad na plavebnú komoru - vodná nádrž Kráľová

(<https://www.kupaliska.sk/k/vodna-nadrz-kralova-kaskady/>)

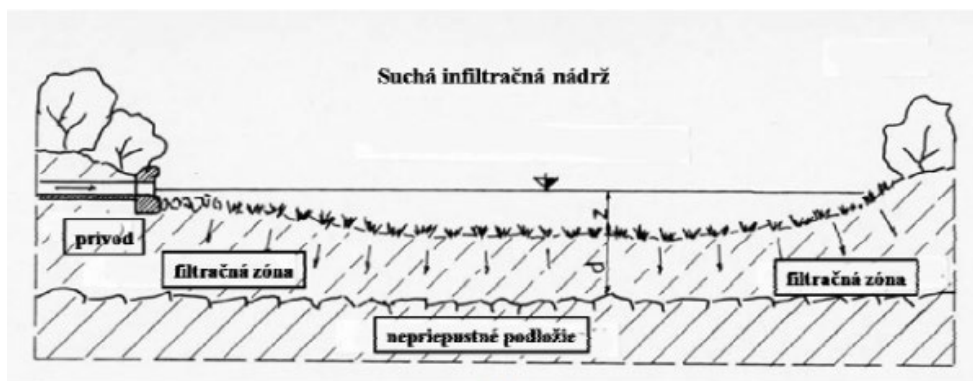
Vyrovňavacie nádrže - sú nádrže vybudované pod priehradou ako pomocné zariadenia k energetickým nádržiam. Ich účelom je vyrovnať prietok rieky pod priehradou. Každá nádrž, bez ohľadu na jej charakter a účel, sa vyznačuje tým, že prietok v rieke pod ňou je premenlivý, preto sa budujú menšie vyrovňavacie nádrže, aby sa tomuto javu zabránilo. Tento proces sa najčastejšie vyskytuje v prípade energetických zariadení, ktoré pracujú v špičkovom systéme (prečerpávacie elektrárne).

Prietokové nádrže - sú umiestnené na pohyblivých hrádzach, kde sa udržiava konštantná hladina vody. Za dané časové obdobie sa množstvo vody, ktoré z nádrže odtečie, rovná množstvu, ktoré do nej priteká. Veľké prietokové nádrže sa môžu využívať na energetické účely a na jednoduchý odber vody, čo je užitočné najmä pre priemysel, mestá a poľnohospodárstvo. Ich hlavnou nevýhodou je nemožnosť uskladniť vodu na obdobie sucha. Tieto nádrže sa najčastejšie budujú v nížinách, kde nie sú vhodné podmienky na akumuláciu vody. Okrem toho uľahčujú plavbu a môžu vytvárať kaskády na riekach.

Suché nádrže sú údolné nádrže, ktoré sa používajú výlučne na ochranu pred povodňami. Výpusty v priehradách, ktoré tvoria tieto nádrže, nemajú žiadne uzávery.

- v obdobiach medzi povodňami voda prirodzene preteká cez výpusty (dnové výpusty). K zadržiavaniu vody dochádza vtedy, keď je prietok väčší ako kapacita odtokov. Po prechode

povodňovej vlny a znížení prietoku v rieke je nádrž opäť "suchá" a často sa využíva ako pastvina. Na rozdiel od tradičných priehradných nádrží využívajú suché nádrže na zadržiavanie povodňovej vody svoju celkovú kapacitu (obr. 4). Vďaka tomu sú veľmi účinné pri zmiernovaní účinkov veľkých povodňových vln.



Obrázok 4. Suchá infiltračná nádrž (Šálek, J., Kriška, M., Rozkošný M., 2009)

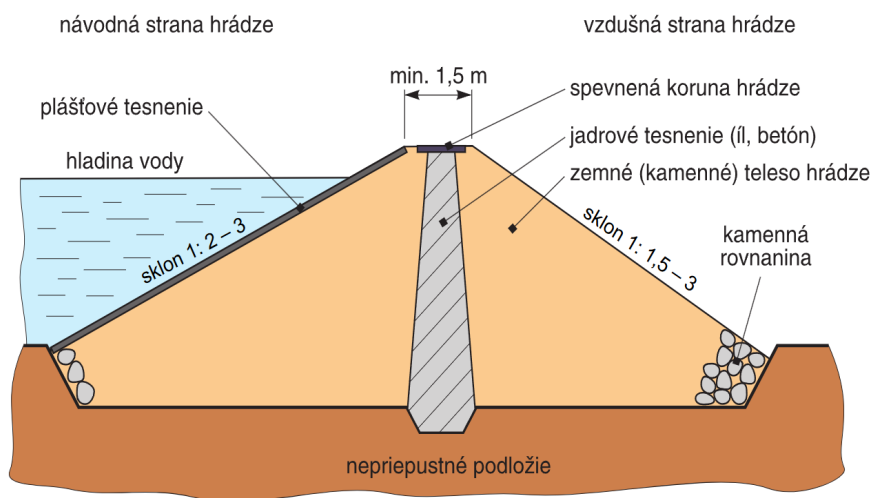
Poldre plnia podobnú úlohu ako suché povodňové nádrže. Sú to uzavreté oblasti obklopené hrádzami, ktoré sa nachádzajú v údolí rieky. Ich úlohou je zadržať časť povodňovej vlny a po jej opadnutí vypúšťajú uskladnenú vodu späť do rieky vďaka vypúšťacím zariadeniam nainštalovaným v hrádzach (obrázok 5).



Obrázok 5. Suchý polder pri Kežmarku (<https://www.presovak.sk/clanky/1395/foto-situaciu-na-uzemi-kezmaku-sa-pocas-vikendu-podarilo-zvladnut-aj-vdaka-protipovodnovemu-poldru>)

Zemné hrádze - zhotovené zo zeminy, ako je hlina, piesok alebo štrk. Často sú utesnené hlineným alebo betónovým jadrom, vďaka čomu sú pružné a dobre prispôsobiteľné rôznym geologickým podmienkam. Zemná hrádza má približne lichobežníkový prierez. Jej teleso

tvorí zemný alebo kamenný násyp, ktorý sa dvíha nad terén. V rámci telesa môžeme rozlišovať rôzne prvky vrátane statických častí (statické násypy), tesniacich prvkov, drenáží, prechodových vrstiev a spätných filtrov. Horná rovina tela sa nazýva koruna hrádze, zatiaľ čo spodná rovina je základňa hrádze. Bočné plochy majú charakter svahov. Ich sklon sa určuje v závislosti od výšky hrádze a od priemetov svahov na roviny, na ktorých sú osadené. Sklon svahov môže byť konštantný alebo premenlivý po celej ich dĺžke. V prípade vysokých priehrad sú svahy, najmä výpustné, často prerušené lavicami, ktoré slúžia ako pracovné priechody a zachytávajú (spomaľujú) dažďovú vodu stekajúcu po ich povrchu.



Obrázok 6. Schematický rez hrádzou (<https://beliana.sav.sk/media/13580>)

Betónové (ťažké) priehrady rôznych konštrukcií - vyznačujú sa vysokou trvanlivosťou a odolnosťou voči obrovským tlakom vody. Betónové priehrady sa zvyčajne stavajú ako gravitačné - ich vlastná hmotnosť pôsobí proti tlaku vody (obrázok 7). Typickým príkladom sú betónové priehrady s rovnými tvarmi. Oblúkové priehrady majú oblúkový tvar, ktorý im umožňuje prenášať sily vodného tlaku na brehy údolia, a tak si vyžadujú menej materiálu ako gravitačné priehrady. Príkladom je známa Hooverova priehrada v Spojených štátoch.



Obrázok 7. Pohľad na betónovú hrádzu Vodné dielo Žilina (<https://zilina.sp21.sk/a/ca3c4712-174f-4537-a2ca-af21735aad24/100-stavieb-zilinskeho-kraja-vodne-dielo-zilina-fotogaleria>)

b) Opis výhod a nevýhod metódy

Najväčšie výhody aktívnych metód protipovodňovej ochrany spočívajú v tom, že dokážu zachytiť povodňové vody, a tým regulovať tok rieky. Takéto úlohy najlepšie plnia suché nádrže, kde je celá objemová rezerva povodňovou rezervou. V prípade multifunkčných nádrží je napriek ich značným objemom povodňovou rezervou len ich časť. Počas väčších prírvalových vln sa to môže ukázať ako nedostatočné. Vtedy sa v záujme ochrany priehrady pred poškodením musí zvýšiť objem vypúšťaných vôd do takej miery, že pod priehradou môžeme zažiť aj katastrofálnu povodeň. Prevádzka priehrady znižuje povodňovú vlnu, ale zároveň ju predlžuje, čo môže viesť napríklad k nasýteniu a zriedeniu hrádze. Umelé vodné nádrže zachytávajú všetok vlečený materiál a veľkú časť suspendovaných látok, čím zvyšujú eróznú silu vody pod hrádzami. Dochádza k strate vertikálnej stability riečnych koryt a zintenzívneniu erózných procesov. Viditeľné zníženie hladiny riečného koryta vedie okrem iného k obnaženiu mostných pilierov alebo k zaveseniu regulačných stavieb nad riečnym korytom, čo následne vyvoláva náklady na výstavbu protieróznych stavieb. Sedimenty na dne priehradných jazier, ktoré sa hromadia desaťročia, sú obohatené o rôzne druhy znečisťujúcich látok. Zničené priehradných konštrukcií zadržiavajúcich veľké objemy vody môže viesť ku katastrofe, pretože vytvára veľmi prudkú povodňovú vlnu. Nie je bez významu ani skutočnosť, že tento typ investícií prináša veľmi vysoké finančné, environmentálne a sociálne náklady. Umiestnenie priehrady je dané šírkou a hĺbkou riečného údolia, čo značne zužuje možnosti jej umiestnenia. Vytvorenie

priehradného jazera vedie k radikálnym zmenám ekosystémov, ktoré sa často prejavujú zničením prírodne hodnotných oblastí. Výstavba priehradného jazera je mnohokrát spojená s vysídlením obyvateľov oblastí, ktoré majú byť zaplavené, čo vyvoláva odpor verejnosti proti takýmto riešeniam.

c) Posúdenie vhodnosti metódy

Nádrže regulujú objem riečnych tokov a uskladňujú prebytočnú vodu, a preto sa javia ako optimálny spôsob ochrany pred povodňami. Často však plnia aj iné funkcie (vodná energia, rekreácia), v dôsledku čoho sa ich potenciál na ochranu pred povodňami zvyčajne nevyužíva v plnej miere. Viaceré ďalšie nezanedbateľné nevýhody takýchto stavieb vedú k záveru, že z hľadiska protipovodňovej ochrany by sa malo upustiť od výstavby nových multifunkčných priehradných nádrží. Dočasné zadržiavanie povodňovej vody by sa preto malo v čo najväčšej miere realizovať v suchých protipovodňových nádržiach a poldroch.

d) Príklady použitia metódy na boj proti povodňam z okresov/oblastí, ktoré sa nachádzajú mimo oblasti podpory

V rámci obcí a okresov nepodporených projektom sa nachádzajú vodné nádrže, ktoré plnia rôzne funkcie (napr. zásobáreň pitnej vody, turistický a rekreačný ruch, protipovodňová ochrana, energia). Počas povodňového rizika však majú všetky tieto nádrže za úlohu chrániť nižšie položené oblasti pred vysokou vodou. Na tento účel by mali udržiavať primeranú povodňovú rezervu, ktorá sa odhaduje na základe hydrologických predpovedí.

Najväčšími priehradnými nádržami a vodnými dielami mimo oblasť podpory sú Vodné dielo Gabčíkovo, Vodná nádrž Kráľová, Vodná nádrž Slňava, Zemplínska Šírava, Štiavnické Tajchy, vodná nádrž Ružiná.

Vodné dielo Gabčíkovo je najvýznamnejšia stavba mimo podporovaného územia. Je to viacúčelová stavba na rieke Dunaj, vybudovaná neďaleko mesta Gabčíkovo od roku 1977 a uvedená do prevádzky v októbri 1992. Dielo pozostáva z vodnej elektrárne s 8 hydroagregátmi o celkovom výkone 720 MW, ktorá produkuje asi 8% celkovej spotreby energie na Slovensku, dvoch plavebných komôr patriacich k najväčším v Európe s rozmermi 275 x 34 m umožňujúcich prekonať výškový rozdiel 16-23 metra, prírodného kanála dlhého 17 km a odpadového kanála dlhého 8,2 km. Stavba bola realizovaná v náročných hydrogeologických podmienkach s vodopriepustnými štrkopieskami do hĺbky 400 m, pričom sa museli vybudovať tesnené stavebné jamy do hĺbky až 60 m, ktoré patria medzi najväčšie objekty zakladania vodných stavieb na svete. Pôvodne plánované ako súčasť projektu Gabčíkovo-Nagymaros

podľa medzinárodnej zmluvy z roku 1977, po zastavení prác maďarskou stranou v roku 1989 bol dokončený ako variant C výlučne na území Slovenska. Vodné dielo plní viaceré funkcie: ochranu pred povodňami, výrobu čistej elektrickej energie, zabezpečenie medzinárodnej plavby na Dunaji, stabilizáciu toku rieky, zlepšenie kvality pitnej vody a zastavenie poklesu hladiny podzemnej vody. Kvalita stavby sa potvrdila 30-ročnou prevádzkou bez väčších zásahov, pričom betónové konštrukcie sa zachovali vo vynikajúcom stave a plavebné komory sa napustili v prepočte asi 100-tisíckrát. Po modernizácii ukončenej v roku 2022 by malo dielo slúžiť ďalších 30 rokov, pričom od roku 2006 je prevádzkovateľom Vodohospodárska výstavba, š.p..

3. EKOLOGICKÉ METÓDY NA ZNÍŽENIE ÚČINKOV POVODNÍ - PRIRODZENÁ RETENCIA

K najúčinnnejším metódam boja proti účinkom povodní patrí umelá retencia, t. j. dočasné zadržiavanie prebytočnej vody (a vyrovňavanie povodňovej vlny) v priehradných nádržiach. Ako už bolo uvedené, najúčinnnejšie sú v tomto smere suché povodňové nádrže, ktorých celý objem je určený na zachytenie povodňovej vlny. Rovnakú výhodu majú aj poldre v zasýpaných údoliach riek. Ako však ukázali nedávne katastrofálne povodne v povodí Odry a Visly, možnosti umelej, riadenej retencie sú obmedzené. Dôvodom je malá kapacita nádrží v porovnaní s objemom povodňovej vlny. Vplyvy klimatických zmien a plytčenie retenčných nádrží znamenajú, že ich schopnosť zmierniť kulmináciu povodňovej vlny, a tým znížiť hladinu povodne v chránených oblastiach, sa výrazne znížila a naďalej sa znižuje.

Riešením, ktoré do veľkej miery podporuje umelú retenciu, je prirodzená retencia - retencia v pôde, vegetácii, mokradiach, jazerách a nekanalizovaných riečnych systémoch. Čím väčšia je ich plocha, tým väčšia je schopnosť povodia dočasne zadržať vodu. Tento jav spomaľuje kolobeh vody, čo následne zlepšuje vodnú bilanciu povodia. Vodné zdroje sa zvyšujú, pretože rýchly povrchový odtok ustupuje pomalšiemu podzemnému odtoku. Podobné zníženie rýchlosti sa týka aj vody prúdajúcej v prirodzených korytách riek. Toto spomalenie kolobehu vody v prostredí znamená, že čím pomalšie voda z povodia odteká, tým viac vody je povodie schopné zadržať. Najúčinnnejšou, najlacnejšou a trvalo udržateľnou metódou protipovodňovej ochrany je teda obnovenie prirodzeného priestoru rieky v určitých úsekoch. Kľúčovú úlohu pri účinnej protipovodňovej ochrane zohrávajú rozsiahle záplavové územia, mokrade, pobrežné lúky a lužné lesy. Tieto prírodné oblasti pôsobia ako špongia, spomaľujú tok vody a zmierňujú následky povodní. Keď sa rieka rozvodní, nepoškodzuje okolité oblasti, ale v skutočnosti prispieva k ich lepšiemu fungovaniu. V rastúcich mestách sa pozoruje fenomén prívalových povodní, t. j. javov spôsobených prívalovými dažďami v oblasti s obmedzenou priepustnosťou. V takýchto prípadoch sa všetka dažďová voda odvádza do mestskej kanalizácie, ktorá nie je pripravená na taký veľký objem vody, a dochádza k záplavám. To je zvyčajne spojené s veľkými materiálnymi stratami (zaplavené obytné budovy, školy, nemocnice atď.). Mestské záplavy, známe ako tzv. mestské povodne, úplne destabilizujú fungovanie miest a každodenný život ich obyvateľov.

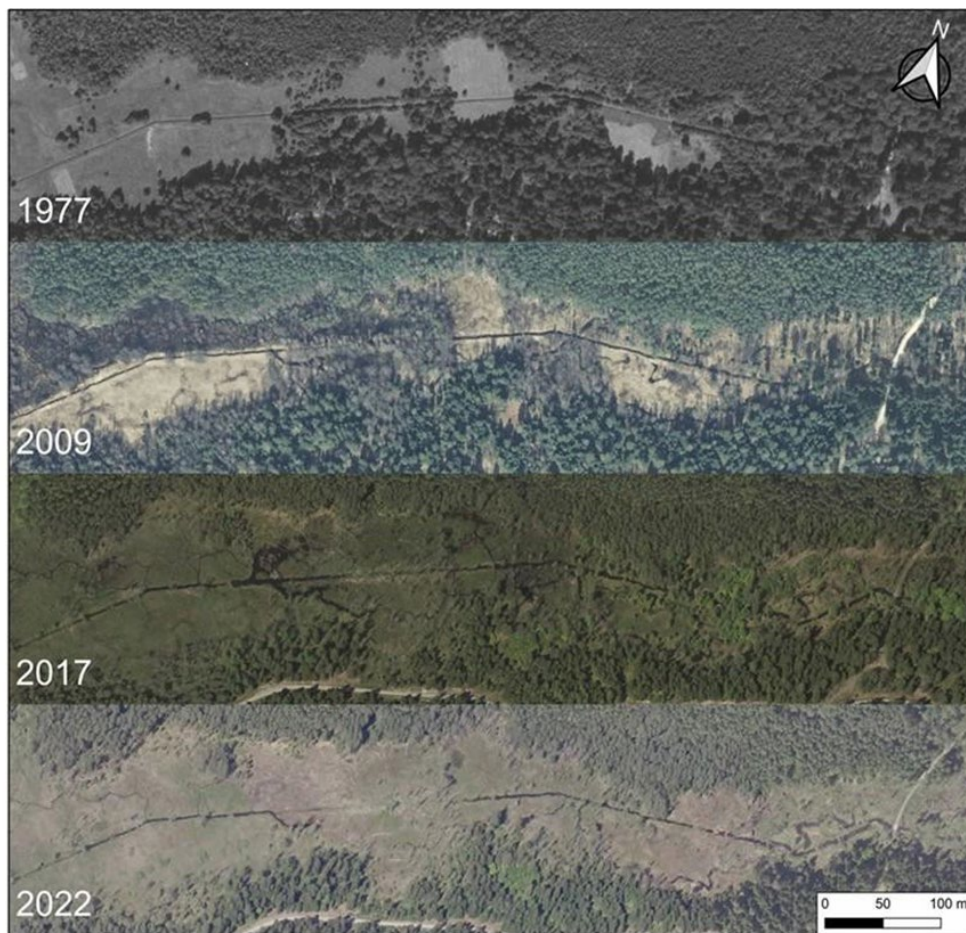
a) Technický opis metód prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi

Renaturalizácia riek

Najúčinnejším spôsobom ochrany pred povodňami je vytvorenie tzv. priestoru pre rieky, čo znamená zachovanie prirodzenej šírky riečnych údolí na dlhých úsekoch. K tomu vedie proces renaturalizácie riek - obnovy ich pôvodného charakteru. Renaturalizácia je proces, ktorého cieľom je podporiť obnovu ekosystémov alebo obnoviť prírodné procesy v oblastiach, ktoré boli znehodnotené, poškodené alebo zničené (Gann a kol., 2019). Na rozdiel od regulovaných riek sú charakteristiky prírodných riek nasledovné:

- vysoká kľukatosť potenciálne meandrujúcich riek alebo multikoridory (rázsochy, anastomozujúce korytá),
- vysoká heterogenita riečnych podmienok - šírka, hĺbka, prierez, pozdĺžny sklon, materiál brehov a dna a typ toku,
- vysoká morfodynamická aktivita rieky a z toho vyplývajúca rozmanitosť hydromorfologických jednotiek a foriem koryta,
- prítomnosť stromov a kríkov v pobrežnej zóne a z toho vyplývajúce zatienenie koryta, korene stabilizujúce svahy a dreviny v koryte,
- zachovanie prepojenia rieky s údolím (Biedroň, 2020).

Re-naturalizácia, t. j. obnova prirodzených vlastností rieky, sa môže uskutočniť rôznymi metódami, ktoré viac alebo menej zasahujú do jej súčasného stavu. Jednou z metód je napríklad úplné upustenie od zásahov a umožnenie, aby sa rieka sama vrátila k svojmu pôvodnému charakteru (obrázok 8). To je možné na vodných tokoch pretekajúcich cez lesné plochy, pustatiny, kde neexistujú žiadne obmedzenia zo strany vlastníkov pozemkov.



Obrázok 8: Údolie Czartosowa (Lubľinské vojvodstvo). Na ortofotomapách z rokov 1977 - 2022 je viditeľných niekoľko procesov, ktoré možno nazvať spontánnou renaturalizáciou. Už v roku 2002 sa údolie nevyužívalo na poľnohospodárske účely. Upustenie od využívania lúk v doline Czartosowa znamenalo, že les začal zasahovať do otvorenej poľnohospodárskej pôdy. Samotná rieka však bola stále regulovaná ako od panovníka a možnosť návratu k meandrujúcemu toku koryta bola malá. Rieka s nízkymi prietokmi, malým spádom a malou zásobou materiálu má malý potenciál na samoregeneráciu. Pokiaľ sa do nej nedostanú bobry. Veľká bobria hrádza na viditeľnom úseku rieky Czartosowa bola postavená v roku 2010 alebo 2011. Bobry prehradili regulované koryto a časť údolia. V nasledujúcich rokoch boli vybudované ďalšie bobrie hrádze. Voda sa vrátila do pôvodne odrezaných meandrov, ale hlavný tok bol stále vedený regulovaným, priamym korytom. Materiál, piesok a organické bahno sa prenášali spolu s hlavným prúdom. Hromadenie materiálu v koryte viedlo k tomu, že v niektorých úsekoch hlavný tok rieky teraz tečie meandrami, zatiaľ čo regulované koryto bolo čiastočne zasypané. Hustý les, ktorého sukcesia nasledovala po ukončení kosenia lúk, ustúpil so stúpajúcou hladinou vody otvoreným a polootvoreným močiarnym biotopom (Bednarek a Tworek Ł, 2024).

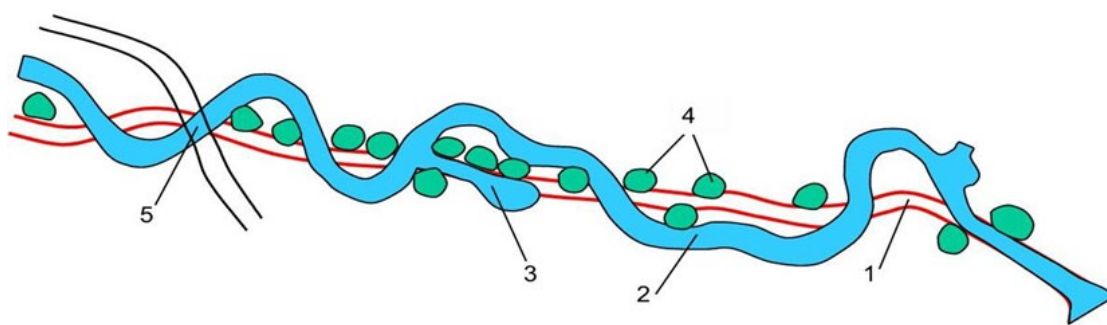
Obnova riek sa však zvyčajne uskutočňuje prostredníctvom starostlivého plánovania, realizácie a monitorovania účinnosti technických opatrení, ktorých cieľom je zvýšiť biodiverzitu v riekach. V rámci týchto opatrení sa do prirodzeného koryta rieky vkladajú prvky zlepšujúce biotopy, ako sú balvany alebo deflektory z miestneho materiálu. Bežným obnovovacím opatrením je obnovenie meandrov rieky, ktoré boli predtým od rieky odrezané (obrázok 9).



Obrázok 9: Obnova bývalého meandrujúceho toku rieky Narewka v Białowieži prehradením toku v regulovanom koryte a odvedením vody do obnovených mlák

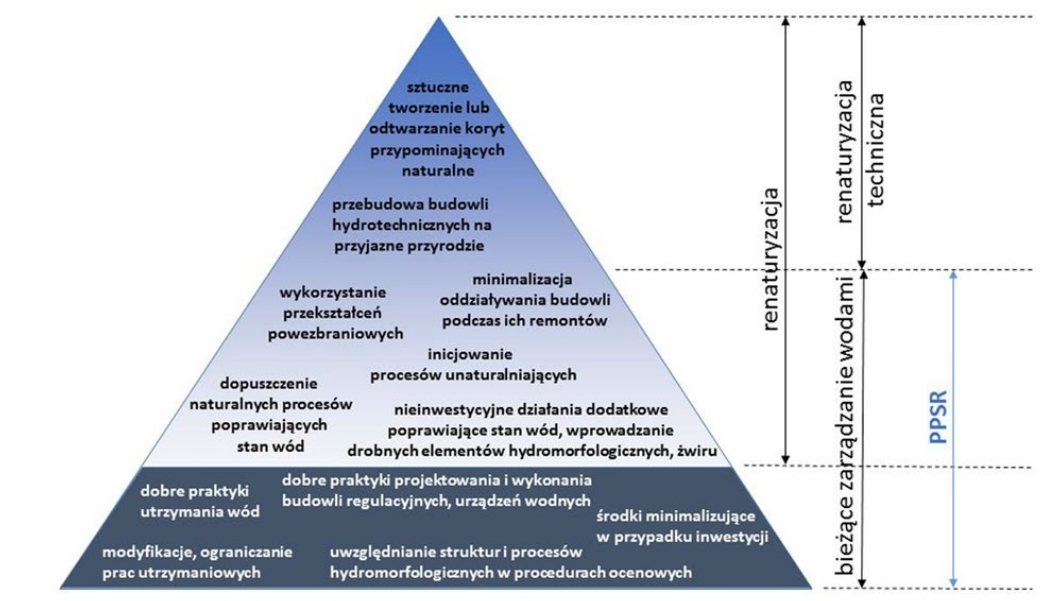
(<https://inzynierbudownictwa.pl/renaturyzacja-rzek/>).

Súčasťou obnovných opatrení je aj rekonštrukcia jazov a prahov na tzv. prahy, ktoré umožňujú simulovať prirodzené zmeny morfológie koryta - vďaka nim je možné obnoviť sled prahov. Dôležitým aspektom obnovy je aj odstránenie vodných prekážok, t. j. zbúranie hrádzi. Rozsah prác spojených s týmto procesom je veľmi široký. Okrem činností, ktoré si vyžadujú komplexnú formálnu a projektovú prípravu, ako je napríklad odstránenie hrádze, existuje mnoho bežných udržiavacích prác, ktoré nepotrebujú dodatočné povolenia a analýzy. Patrí k nim obmedzenie kosenia rieky v prospech selektívneho odstraňovania vegetácie na kľúčových miestach, aby sa zabránilo upchatiu (<https://inzynierbudownictwa.pl/renaturyzacja-rzek/>).



Obrázok 10: Plán úseku dolného toku rieky Cole po obnove: 1- regulované koryto, 2- nové koryto, 3- potok, 4- existujúce skupiny stromov a kríkov, 5- brod na jazdeckej trase.

Pri návrhu trasy meandrujúceho koryta sa zohľadnilo zachovanie existujúcich vzrastlých vrb, ktoré vyrástli na brehoch regulovaného koryta (Zelazo a Popek, 2002). Staré narovnané koryto bolo z väčšej časti zasypané a len malý úsek bol využitý na vytvorenie stojatého zálivu. Koryto bolo vedené s premenlivým sklonom v rozsahu 1 - 1,35 ‰. Rozmery priečných profilov a ich tvar boli prispôsobené horizontálnemu usporiadaniu rieky a maximálnej kapacite koryta potrebnej pre letné zrážky. Na začiatku úseku bol vybudovaný gabiónový prah na ochranu koryta pred eróziou. Na stabilizáciu koryta slúžia aj dva brody na križovatke nového koryta a konskej cesty. Pri brodoch sa koryto rieky a mierne sa zvažujúce svahy spevnili kamennou a štrkovou eróziou na geotextílii. V zostávajúcom úseku koryta rieky sa prakticky nevykonalo žiadne spevnenie svahov - len na niekoľkých miestach boli na konkávných brehoch vysadené stromy a na svahoch boli položené faširkové rohože (Bańkowska, 2010).



Obrázok 11: Miesto obnovy vody v integrovanom vodnom hospodárstve z environmentálneho hľadiska. PPSR = základný program obnovných opatrení, ktorého realizácia by mala byť pomerne rozšírená, ak chceme skutočne dosiahnuť environmentálne ciele pre vody v reálnom časovom horizonte (Biedroń, 2020).

Modro-zelená infraštruktúra

Podľa technického katalógu "Modro-zelená infraštruktúra pre zmiernenie zmeny klímy" - publikácie vydané v rámci projektu "Climate NBS Poland: Prvky modro-zelenej infraštruktúry môžu byť retenčné rybníky, bioretenčné nádrže, bioretenčné priekopy, vsakovacie priekopy, dažďové záhrady v kontajneroch, zelené autobusové zastávky, zelené strechy, zelené fasády a steny, priepustné chodníky, štrukturálne substráty. Z hľadiska zníženia rizika záplav počas privalových dažďov sú najvhodnejšie riešenia, ktoré umožňujú zadržiavanie dažďovej vody alebo jej infiltráciu do podzemných vôd - retenčné rybníky, bioretenčné nádrže a priekopy, vsakovacie priekopy a priepustné dlažby.

Retenčné rybníky - nádrže s dodatočnou retenčnou kapacitou na zadržiavanie a čistenie dažďovej vody. Vytvárajú sa v existujúcich alebo špeciálne vykovaných priehlbínach a vysádzajú sa vegetáciou.

Bioretenčné nádrže - depresie bohato pokryté vegetáciou, v ktorých sa zhromažďuje dažďová voda. Táto voda sa čistí priesakom cez postupné vrstvy substrátu. Žľaby sa používajú tam, kde je povrch silne uzavretý a odtok je znečistený.



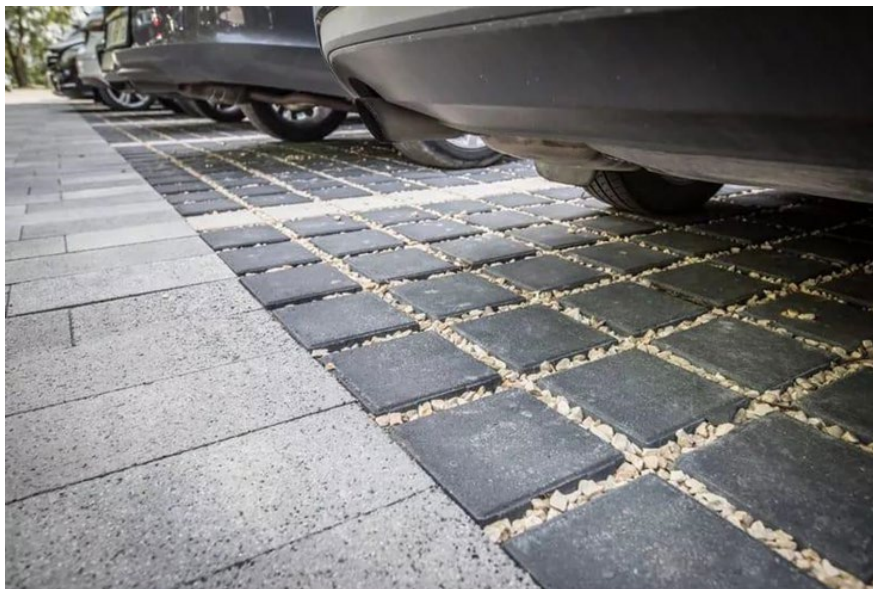
Obrázok 12: Príklad systému zberu a využitia dažďovej vody vďaka prvkom modro-zelenej infraštruktúry (<https://www.casopis.ochranaprirody.cz/pravo-v-ochrane-prirody/zelena-infrastruktura-co-a-proc-se-ztratilo-v-prekladu/>).

Bioretenčné priekopy - plytké, vegetáciou porastené priehlbiny, ktoré sa používajú na lineárne odvodňovanie. Zhromažďujú dažďovú vodu, ktorá sa postupne vsakuje do pôdy a spomaľuje povrchový odtok.

Infiltračné priekopy - plytké priekopy vyplnené záťažou, ktoré zvyšujú prirodzenú schopnosť pôdy absorbovať vodu. Prispievajú k zvyšovaniu hladiny podzemnej vody.

Priepustná dlažba - priepustná dlažba umožňuje vode z povrchového odtoku infiltrovať do pôdy. Umožňujú to otvory v povrchu alebo porézny materiál povrchu. Existuje mnoho typov priepustnej dlažby a ich konštrukcia sa značne líši v závislosti od účelu použitia. Napríklad povrchy používané na cesty a chodníky, detské ihriská alebo súkromné záhrady môžu byť z betónových tvárnic položených vo väčších rozstupoch (dilatačné medzery), betónových ažurových panelov, drevnej štiepky alebo štrku. Na intenzívne využívané cesty a parkoviská sa môžu použiť iné materiály, napríklad prírodné kamenivo spojené syntetickými živícami, pórovité betóny, kocky kladené vo väčších rozstupoch, slinkové ažiari alebo štrk. (Obrázok 13). Použitie priepustnej dlažby má množstvo výhod, ako napríklad zníženie povrchového odtoku, dopĺňanie podzemných vôd, filtrovanie znečisťujúcich látok a zníženie povrchových

teplôt. Používanie tohto typu dlažby tiež znižuje potrebu retenčných nádrží alebo iných systémov na zadržiavanie dažďovej vody (Iwaszuk a kol., 2019)



Obrázok 13: Spôsob kladenia dlažby, ktorý podporuje vsakovanie dažďovej vody (<https://bzg.pl/poradnik/artukul/nawierzchnie-parkingowe-przepuszczalne-dla-wody/id/40892>).

V mestských oblastiach možno určité plochy verejných priestranstiev upraviť tak, aby fungovali ako veľkokapacitné suché protipovodňové nádrže. Môžu to byť napríklad námestia, časti parkov atď. Takto pripravené zariadenia môžu účinne zabrániť záplavám v prípade prívalových dažďov.



Obrázok 14: Námestie Bentheplein v Rotterdame (Holandsko). Postavený v roku 2013 je príkladom suchej protipovodňovej nádrže v obytnej štvrti. Počas nadmerných zrážok môže zadržať približne 2 milióny litrov vody, ktorá steká z okolitých oblastí. Počas dní bez dažďa nádrž funguje ako verejný otvorený priestor, ktorý ochotne využívajú miestni obyvatelia (Suchocka a Siedlecka, 2017).

b) Opis výhod a nevýhod metódy

Prirodzená retencia je proces, ktorý umožňuje zadržiavať a uchovávať vodu v ekosystéme prostredníctvom riečnych systémov, mokradí, lesov, pôdy a iných prírodných krajinných prvkov. Je to kľúčový spôsob zmiernovania povodní a sucha a zlepšovania hospodárenia s vodnými zdrojmi. Ako každý typ zásahu do takéhoto zložitého systému má svoje výhody aj nevýhody.

Najväčšou výhodou tejto metódy je, že chráni nižšie položené oblasti pred povodňami tým, že dočasne zadržiava prebytočnú vodu a spomaľuje odtok. Na rozdiel od umelých nádrží a hydraulickéj infraštruktúry si prirodzená retencia nevyžaduje nákladnú údržbu a v niektorých prípadoch si nevyžaduje žiadne finančné náklady. Okrem protipovodňovej úlohy plní prirodzená retencia niekoľko nemenej dôležitých funkcií. Je to spôsob uskladnenia vody na obdobie sucha, čím sa udržiava stabilná hladina podzemnej vody. Kvalita uskladnenej vody je dobrá, pretože mokrade, lesy a pôda sú prirodzenými filtrami, ktoré zachytávajú znečisťujúce látky. Prirodzená retencia predstavuje dlhodobé riešenie, ktoré harmonicky spolupracuje s prírodou a vytvára biotopy pre mnohé druhy, rastliny a živočíchy, posilňuje ekosystémy a zvyšuje ich schopnosť prispôbiť sa klimatickým zmenám.

Medzi nevýhody prirodzenej retencie patrí potreba pôsobiť na veľkých plochách - na to, aby bola účinná, sú potrebné rozsiahle lesné plochy, mokrade alebo záplavové územia, čo môže byť ťažké dosiahnuť. Jej použiteľnosť je obmedzená vo vysoko urbanizovaných alebo intenzívne obrábaných oblastiach. Obnova záplavových oblastí môže byť spojená s rizikom pravidelného zaplavovania niektorých predtým suchých oblastí, čo môže vzbudiť odpor obyvateľov a poľnohospodárov.

c) Posúdenie vhodnosti metódy

Prirodzená retencia je jedným z najúčinnějších a ekologicky najšetrnejších riešení na zlepšenie ochrany pred povodňami s využitím prirodzených procesov v prírode. Účinnosť protipovodňovej prevencie možno dosiahnuť jej uplatnením na veľkých plochách, čo nie je vždy možné dosiahnuť. Predchádzanie účinkom povodní sa preto najlepšie dosahuje kombináciou prirodzenej a umelej retencie. Pridanou hodnotou prírodnej metódy je obnova zdrojov podzemnej vody (prevencia sucha) a početné environmentálne výhody a nízke náklady na údržbu infraštruktúry. Napriek zdĺhavému procesu obnovy riek bude konečný výsledok šetrný k prírode aj k ľuďom.

4. METÓDY PREVENCIE PRED ZOSUVMI MIMO OBLASŤ PODPORY

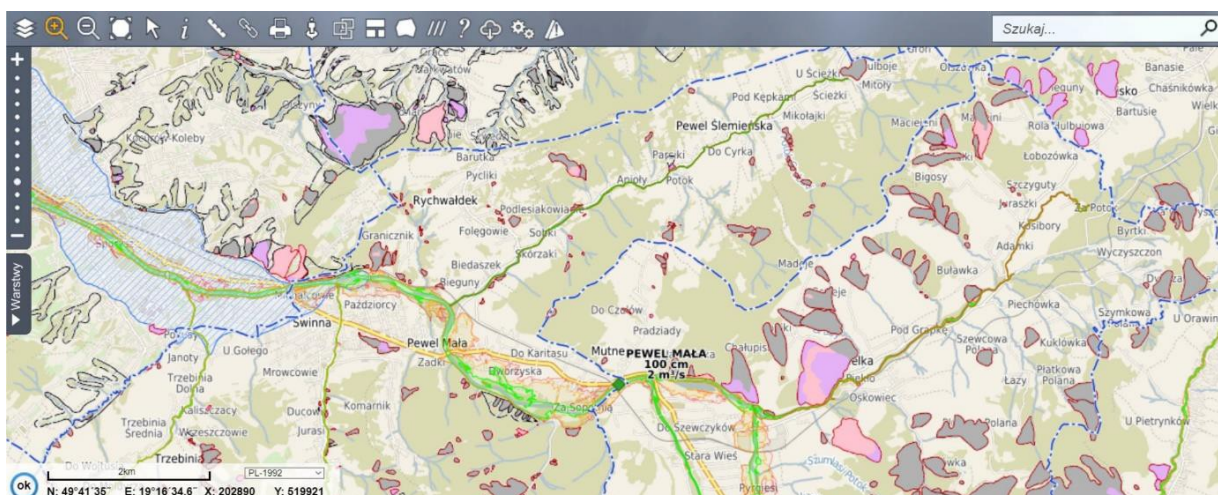
Medzi najčastejšie činnosti mimo oblasť podpory boli identifikované nasledujúce štandardné metódy prevencie následkov zosuvov v oblasti podpory:

a) Príklad použitia metódy mapovania

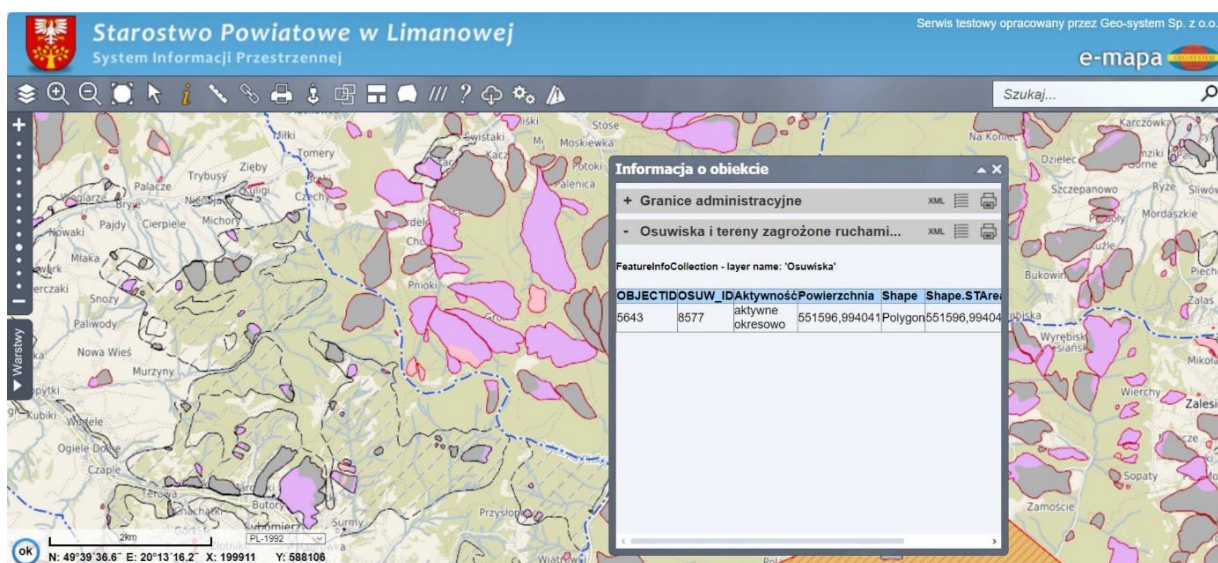
Systém priestorových informácií je používaný všetkými poľskými okresmi umiestnenými v oblasti podpory. Príkladom použitia mapovania oblastí zosuvov je systém priestorových informácií používaný okresným úradom v Żywci (<https://zywiecki.e-mapa.net>), v Limanowej (<https://limanowski.e-mapa.net>) alebo okresom Nowy Sącz.

Zosuvy možno prezrieť na pozadí vrstvy zloženej z topografických objektov. Zdrojom pre polohu zosuvov na okresných mapách je portál SOPO (Systém protizosuvovej ochrany). V okresných systémoch bola umiestnená vrstva (Geológia), v rámci ktorej boli označené obrysmi hranice zosuvov, v závislosti od úrovne aktivity zosuvu boli označené pomocou farieb (Obrázok 15).

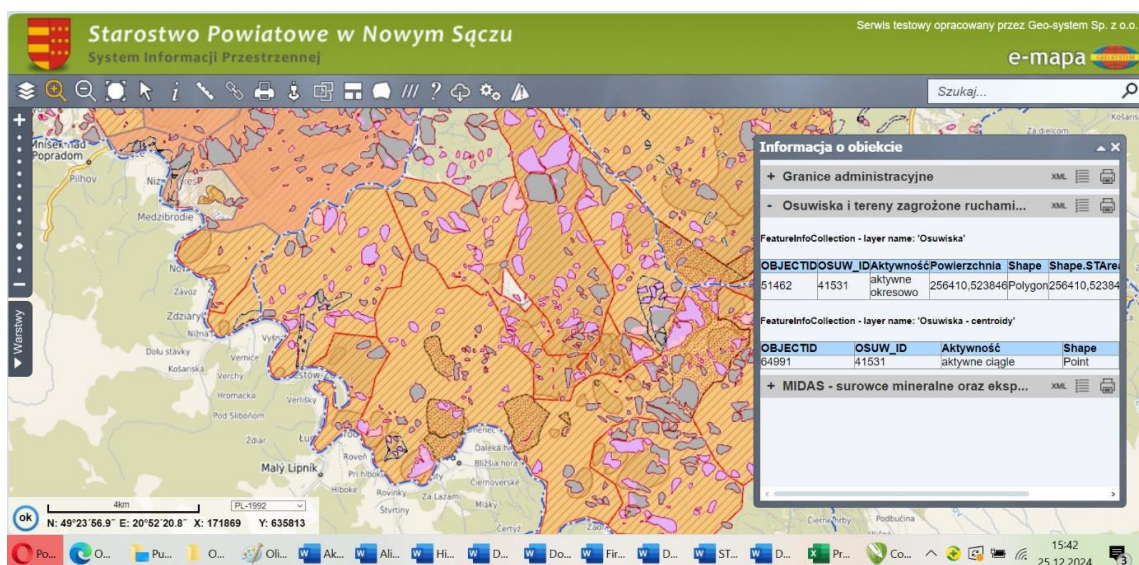
Po kliknutí na ohraničenú oblasť každého zosuvu sa zobrazí popis týkajúci sa jeho plochy a odhadu jeho aktivity (Obrázok 16). Obzvlášť dôležité z hľadiska plánovania zástavby sú zosuvy označené ako trvalo aktívne (Obrázok 17).



Obrázok 15. Mapa vytvorená z priestorového informačného systému pre oblasť okresu Żywiec, na ktorej sú zosuvy vyznačené červenou farbou a vyplnené sivou (neaktívne zosuvy), ružovou (periodicky aktívne) a jasne červenou (trvalo aktívne).

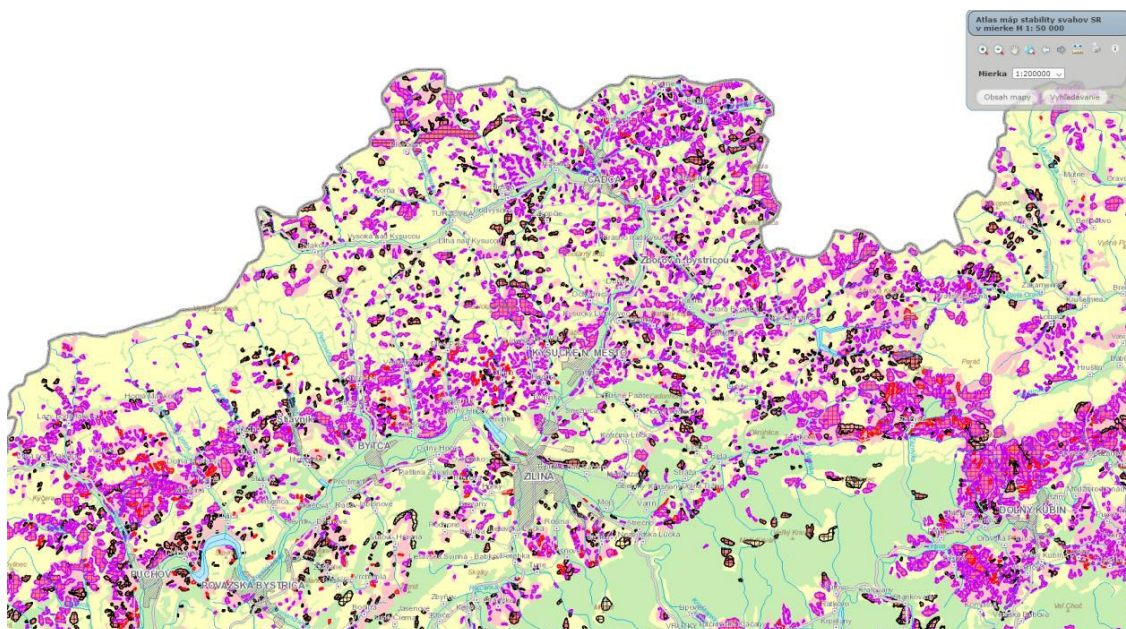


Obrázok 16. Mapa vygenerovaná z priestorového informačného systému pre oblasť okresu Limanowa zobrazujúca zosuvy a kartu zosuvu, ktorá sa otvorí po kliknutí na oblasť zosuvu, je zobrazený príklad periodicky aktívneho zosuvu (ružová farba).



Obr. 17. Mapa vygenerovaná z priestorového informačného systému pre oblasť okresu Nowy Sącz zobrazujúca zosuvy a kartu otvorenia zosuvu po kliknutí na oblasť zosuvu, na ktorej je uvedený príklad stále aktívneho zosuvu (svetločervená farba).

Mapy prezentujúce deformácie na svahoch a súčasne ohrozenie zosuvmi sú dostupné aj pre samosprávne jednotky umiestnené na Slovensku. V slovenskom mapovacom systéme sú takisto označené zóny, v ktorých sa vyskytujú posuny. Podobne ako v prípade máp z oblasti Poľska sú označené priestorovo a rozdelené na aktívne a neaktívne zóny (Obrázok 18).



Obrázok 18: Výrez z mapy zobrazujúcej zosuvné deformácie a zosuvné nebezpečenstvo zo slovenského geoportálu (zóny označené ružovou farbou sú zóny svahových deformácií, zóny označené oranžovou farbou sú aktívne zóny ohrozujúce infraštruktúru (Zdroj: www.geology.sk).

b) Príklad použitia geodetickej metódy

Príkladom použitia geodetickej metódy v prevencii zosuvu je monitoring zosuvu v oblasti nečinného kameňolomu "Kozy" realizovaný Okresným úradom v Bielsku-Bialej. Zvyčajne takýmto monitoringom sú pokryté zosuvy predstavujúce nebezpečenstvo pre zdravie a život ľudí a pre infraštruktúru.

Zosuv Kozy je geodeticky pozorovaný od roku 2020. Doteraz boli zostavené tri správy z vykonaných geodetických pozorovaní v rokoch 2021, 2022 a 2024. Zo správ vyplýva, že na území zosuvu bolo nainštalovaných 16 meracích bodov, ktoré boli natrvalo stabilizované na oblasti zosuvu. Body boli určené rovnomerne na miestach výskytu zosuvových javov na celej monitorovanej oblasti. Následne boli všetky body umiestnené na situačno-výškovú mapu.

Prvotné meranie, ktoré bolo referenčným meraním pre neskoršie merania, bolo vykonané 20.10.2020 pomocou metódy GNSS RTK prijímačom GINTEC F90. Meranie bolo vykonávané tyčou stabilizovanou na bipode. Prvé kontrolné meranie sa uskutočnilo 22.09.2021. Týmto spôsobom boli získané súradnice xyz pre každý bod. Body boli zmerané s presnosťou xy: 0,01 m a h: 0,03 m.

Analýza meracích bodov ukázala, že na území zosuvu sa nevyskytli posuny hornín, ktoré by mohli poukazovať na aktiváciu zosuvu. Bolo zistené iba nepatrný pohyb hornín v hraniciach od dvoch do troch centimetrov nadol svahu.

Ďalšie kontrolné meranie bolo vykonané 01.08.2022. Po opätovnej analýze všetkých meraní bolo zistené, že na monitorovanom zosuve sa nevyskytli výrazné posuny. Bolo zistené opäť iba nepatrné posuny pôdy v hraniciach od dvoch do štyroch centimetrov nadol svahu.

Posledné z doterajších meraní sa uskutočnilo 08.11.2024. Ešte raz sa ukázalo, že v skúmanej oblasti sa nevyskytli výrazné posuny pôdy poukazujúce na prípadnú aktiváciu zosuvu.

Nepatrné povrchové posuny dosiahli iba 5 cm.

Ďalším príkladom zosuvu, na ktorom bol vykonávaný geodetický monitoring, je zosuv v Kłodnom v okrese Limanowá. Tento zosuv bol spustený počas zosuvovej katastrofy v roku 2010, odvtedy je pokrytý monitoringom vrátane geodetického. Zosuv dosiahol rozmery 460 m šírky a 1050 m dĺžky.

Merania na zosuve sa vykonávali s využitím tradičných tachymetrických metód ako aj s využitím techniky GNSS (Global Navigation Satellite Systems); (Ćwiąkała a iní, 2016).

Presnosť prijatého riešenia dosiahla niekoľko milimetrov, meracie body boli založené husto tak, aby obraz zosuvu pôdy bol úplnejší.

Bolo založených 68 meracích bodov, rozmiestnili ich pomerne rovnobežne tak, aby ich rozmiestnenie odrážalo zmeny morfológie terénu. Stabilizácia bodov bola vykonaná použitím oceľových rúrok dĺžky 1 m. Každá z rúrok bola zvarená zhora, vo zvaroch boli vyvrtané otvory, ktoré slúžili ako miesto pre meracie prístroje používané počas ďalších geodetických meraní (Ćwiąkała a iní, 2016).

Výstupné (referenčné) merania boli vykonané v máji 2013. Vlastné merania boli vykonané v apríli 2014 a v októbri 2014. Hodnoty posunov získané počas merania vykonaného v apríli 2014 boli veľmi nepatrné. Vektor horizontálneho posunu dosiahol od 1,0 do 8,1 mm a vertikálneho dosiahol od -9,8 do 13,5 mm.

Až ďalšie meranie vykonané v októbri 2014 ukázalo výrazné vertikálne a horizontálne posuny materiálu. Aktivovaná bola horná partia zosuvu, obzvlášť hlavný zráz. Horizontálne posuny meracích bodov dosiahli až 94 mm, boli pozorované aj nepatrné posuny, ktoré nastali nad zosuvom, avšak tieto posuny boli označené na hranici chyby ich určenia.

Boli identifikované aj vertikálne pohyby, vyskytli sa v tých istých meracích bodoch ako horizontálne pohyby, teda v oblasti hlavného zrázu zosuvu. Vertikálne pohyby dosiahli hodnotu od -63 mm do 16 mm (Ćwiąkała a iní, 2016). Týmto spôsobom vykonané skúmania umožnili určenie skutočnej aktivity zosuvu v Kłodnom počas 1 roka. Umožňujú zistiť, aké časti zosuvu sa aktivujú a predpovedať zóny obzvlášť ohrozené zosuvom.

c) Príklad použitia inklinometrov v prevencii zosuvu

Príkladom použitia inklinometrov je podzemný monitoring zosuvu lokalizovaného v okrese Sanok, v obci Komańcza, v lokalite Radoszyce. Monitoring bol založený v roku 2017.

Dôvodom inštalácie dvoch inklinometrov bola analýza zosuvovej morfológie, ktorá ukázala, že zosuv môže byť periodicky aktívny, a predovšetkým boli identifikované deformácie na krajskej ceste prebiehajúcej cez koluvialne (sedimenty) zosuvové usadeniny.

Inklinometre boli nainštalované do hĺbky 25 metrov, približne v strednej časti zosuvu (Obrázok 9). Prvé meranie v založených inklinometrických stĺpcoch bolo vykonané 25.4.2018, bolo to referenčné meranie, ku ktorému sa vzťahovali nasledujúce merania.

Prvé meranie deformácií bolo vykonané 11. októbra 2018. Meranie ukázalo nepatrné deformácie, ktoré boli zaregistrované v jednom inklinometrickom stĺpci, dosahujúce až 1,3 mm, tieto posuny sa vyskytli do hĺbky 4 m.

Ďalšie merania boli vykonané 05.06.2019 a 01.10.2019. V roku 2019, v prvom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,8 mm v najnižšej časti meracieho

profilu. Od začiatku skúmaní kumulovaný posun neprekročil hodnotu 3 mm. V druhom stĺpci boli odčítané nepatrné prírastky posunu do hĺbky 4 m o hodnotách približne 1,8 mm.

V nasledujúcom roku 2020 boli vykonané odčítania 19.05.2020 a 15.10.2020. Merania v prvom stĺpci ukázali nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,6 mm v najnižšej časti profilu. V druhom stĺpci boli identifikované nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m o hodnotách približne 0,8 mm, a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 1,3 mm.

V roku 2021 boli odčítania vykonané 26.05.2021 a 05.10.2021. V prvom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,2 mm v najnižšej časti meracieho profilu. V druhom stĺpci boli namerané nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m o hodnotách približne 1,8 mm, a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 1,7 mm.

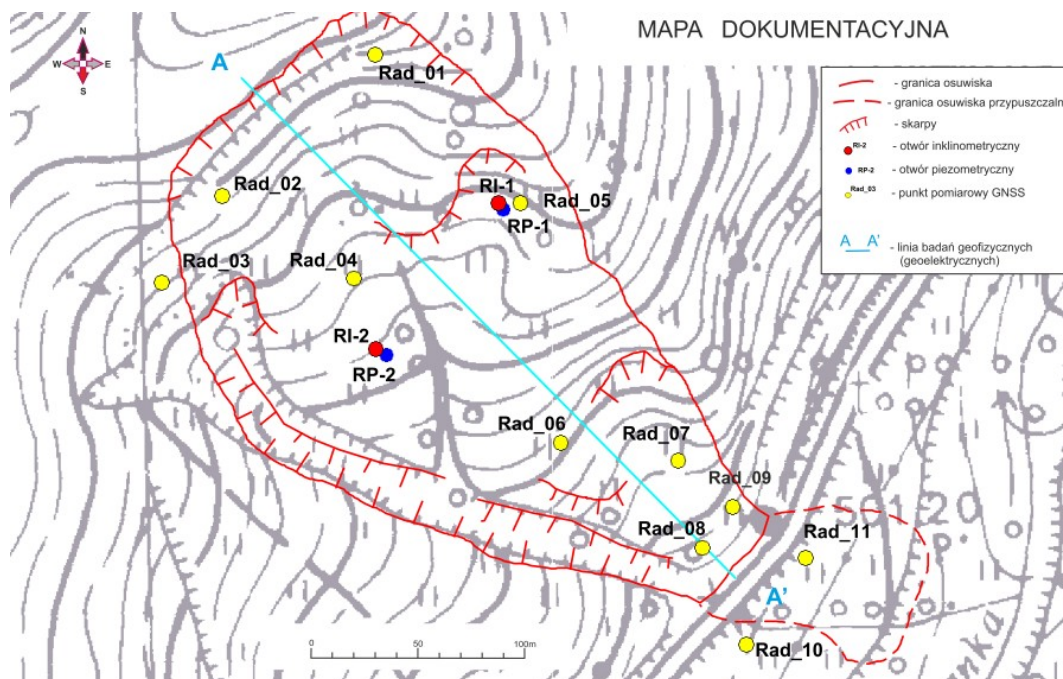
V roku 2022 sa odčítania uskutočnili 20.05.2022 a 05.15.2022. V prvom meracom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,5 mm v najnižšej časti meracieho profilu, v druhom stĺpci boli namerané nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m, a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 2,1 mm, čo ukazuje stály prírastok posunu na tejto hĺbke.

Posledné dostupné merania sa uskutočnili v roku 2023, 14.06.2023 a 23.11.2023. V prvom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,6 mm v najnižšej časti meracieho profilu. Od začiatku skúmaní kumulovaný posun neprekročil hodnotu 8 mm pri chybe meracieho odčítania $\pm 2,99$ mm.

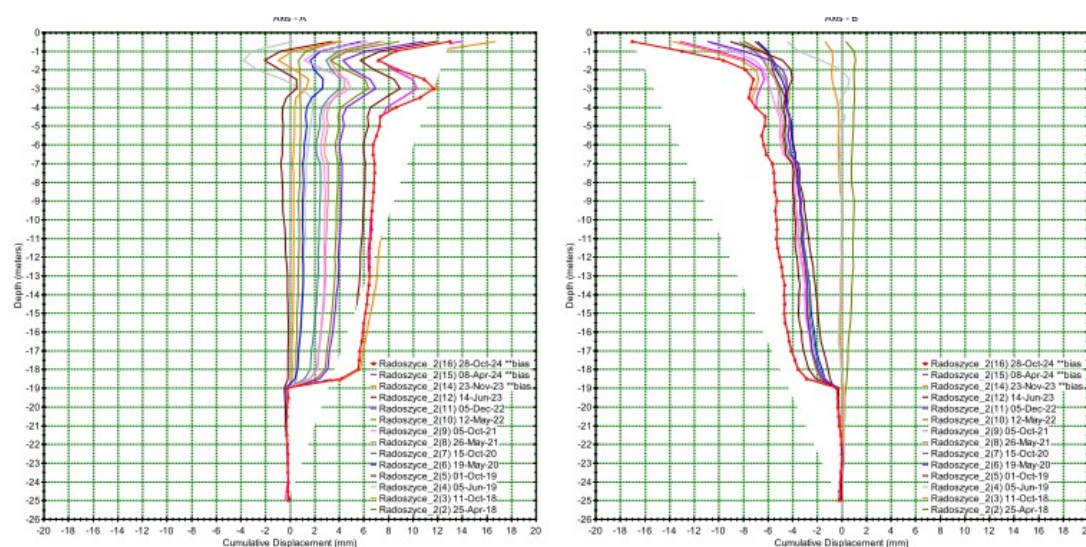
V druhom stĺpci boli namerané nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m ($\pm 1,8$ mm), a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 4 mm. Ostatné zmeny sa vošli do hraníc meracej chyby $\pm 2,96$ mm.

Výsledky meraní boli uvedené na obrázku 10.

Vykonané merania nepreukázali výrazné posuny hornín v rámci bodov, kde boli nainštalované inklinometre. Zvyčajne je inklinometrická analýza spojená s povrchovou analýzou aktivity zosuvu a až vtedy možno plnšie posúdiť zosuvové nebezpečenstvo (Údaje opísané v tomto odseku pochádzajú zo zdrojov internetovej stránky Projektu SOPO vedeného PIG-PIB).



Obr. 9. Umiestnenie inklinometrov v zosuve v Radošiciach (okres Sanocki); ID zosuvu v systéme SOPO 93071. Červené body označujú umiestnenie inklinometrov. Zdroj: Údaje zo zdrojov webovej stránky projektu SOPO, ktorú spravuje PGI-PIB.



Obrázok 10. Výsledky meraní z inklinometra inštalovaného v zosuve nachádzajúcom sa v obci Radoszyce (okres Sanocki); ID zosuvu v systéme SOPO 93071). Následné krivky znázorňujú pohyb zosuvu v rôznych hĺbkach.

Zdroj: Údaje zo zdrojov webovej stránky projektu SOPO, ktorú spravuje PGI-PIB.

d) Príklad použitia metód prevencie zosuvu - technické metódy stabilizácie zosuvov

V okrese Limanová, v juhozápadnej časti obce Kostrza sa rozhodlo technicky zabezpečiť 3 zosuvy. Región zosuvu označeného ako č. 1 sa nachádza na pravom brehu potoka Ryjski. V tejto oblasti možno rozlíšiť dva druhy zosuvov: neaktívne s smerom zostupu zemných hmôt na severozápad a aktívne, ktoré sa posúvajú smerom na východ.

Zosuv možno všeobecne charakterizovať ako svahový, rozvinutý na území horského svahu, ktorého dolná hranica dosahuje doliny potoka Ryjski. Je rozvinutý tak v horninách, ako aj v zvetraline.

Zosuv č. 2 sa nachádza na západnom brehu potoka Ryjski, do ktorého od západnej strany vteká niekoľko malých potokov, lokalizovaných v úzkych dolinách. Tento zosuv sa vyznačuje výrazným jazykom, ktorý dosahuje až k potoku Ryjski, a jeho šírka dosahuje približne 150 m s hĺbkou dosahujúcou 700 m, tento zosuv je čiastočne aktívny.

Región 3 zahŕňa zosuvovú oblasť nachádzajúcu sa v južnej časti územia. V prevažujúcej časti toto územie vyzerá na neaktívny zosuv. Zosuv má šírku približne 200 m a rozťahuje sa na dĺžku približne 300 m nahor svahom. Možno ho charakterizovať ako svahovo-dolínny zosuv, vyvíjajúci sa hlavne na území horského svahu, dosahujúci doliny potoka Ryjski. Dodatočne zahŕňa zvetrelinový a skalný materiál.

Na začiatku v rámci skúmaného zosuvu boli vymedzené geotechnické vrstvy:

- 1) Prvá vrstva sa skladá zo spojitých pôd, plastických a mäkkoplastických, a miestami sa tu vyskytujú aj ílovité nánosy
- 2) Druhá vrstva zahŕňa spojitú pôdu ako v prvej vrstve, avšak vyznačujú sa výskytom piesčitých ílov, ílov s prímесou úlomkov pieskovca a ílov prevrstvených piesčitým ílom
- 3) Tretia vrstva sa skladá zo spojitých pôd, tvrdoplastických a polozviazaných, ktoré majú charakter piesčitých pieskov, piesčitých ílov a ílov s prímесou úlomkov bridlice a pieskovca
- 4) Štvrtá vrstva sú spojitú pôdy, plastické a mäkkoplastické, hlavne v podobe sutiny a ílovitých zvetrelín, v ktorých zložení sú úlomky pieskovca a bridlice
- 5) Piata vrstva tiež obsahuje spojitú pôdy, tvrdoplastické a polozviazané, skladajúce sa zo sutiny a ílovitých zvetrelín zložených z úlomkov pieskovca a bridlice, vyskytujúcich sa v pomere 50-90%
- 6) Šiesta vrstva sa vyznačuje sypkými pôdami, stredne zhutnenými, ktoré nadobúdajú podobu zvetraliny pieskovca s prevahou stredného piesku, lokálne obsahujúceho úlomky pieskovca

Práce mali za cieľ vykonanie činností zameraných na stabilizáciu zosuvových pohybov zlepšením vodných podmienok. Na tento účel boli použité hlbinné drenáže a úseky drenážnych priekop pozdĺž fragmentov obecných ciest, čo umožnilo súčasné odvodňovanie území priľahlých k zosuvu. Dodatočne bol zabezpečený región vodnej nádrže, z ktorej začína vodovodný magistrál.

Zosuvy boli naplánované na zabezpečenie nasledujúcim spôsobom:

Vykonanie drenáží, štrbinových priekop, odvodňujúcich muliet

Úsekové zabezpečenie potoka Ryjski

Zabezpečenie územia okolo vodnej nádrže zahŕňa vykonanie sceľovania územia, použitie pilót typu "jet grouting" a vykonanie vhodného systému odvodnenia

Zrážkové a drenážne vody budú odvádzané do potoka Ryjski

Použitie pilót typu "jet grouting" prebehlo v dvoch etapách:

ETAPA I: VRTANIE V tejto fáze sa iniekcyjna tyč priemeru 60-90 mm zahĺbi do plánovanej úrovne päty stĺpa. Jej dolná časť je zakončená špeciálnym vrtným nástrojom, vybratým vhodne k podmienkam panujúcim v podloží. Počas vrtania sa používa vzduchová alebo vodná výplach, ktorá transportuje výlom na povrch terénu.

ETAPA II: FORMOVANIE PILÓTY V tejto etape sa iniekcyjna tyč postupne vyťahuje, súčasne sa vykonáva rotačný pohyb a tlačenie cementovej suspenzie cez iniekčné trysky, nachádzajúce sa v dolnej časti tyče. Týmto spôsobom vzniká pravidelný stĺp "jet grouting". Vrtné zariadenie je vybavené automatickým systémom, ktorý reguluje tempo vyťahovania tyče, čo zabezpečuje plynulosť procesu a dosiahnutie zamýšľaných parametrov iniekčného stĺpa.

e) Alternatívy k uvedeným tradičným technológiám prevencie mimo oblasti podpory

Dendrochronologická metóda môže pomôcť presnejšie odhadnúť riziko zosuvov. Spolu s ďalšími metódami používanými v rámci integrovanej aplikácie geoportálu môže poskytnúť lepšie výsledky nielen o aktivite zosuvov, ale aj o riziku spustenia zosuvov. Vzhľadom na to, že mnohé oblasti Poľska a Slovenska sú zalesnené, dendrochronologická metóda môže byť široko využívaná a aplikovaná na poľské a slovenské zosuvy. Osobitný význam má cena za vykonanie určenia nebezpečenstva zosuvov. V prípade dendrochronologickej metódy je cena za určenie obzvlášť priaznivá a vzhľadom na vysokú presnosť metódy by ju mali využívať

miestne orgány nachádzajúce sa v oblasti podpory projektu, ale aj v iných oblastiach ohrozenia zosuvmi.

Radarová interferometria možno úspešne použiť v oblasti poľských a slovenských hôr, v skutočnosti sú príklady takýchto aplikácií čoraz častejšie. Stále však ide o metódu, ktorá je náročná na interpretáciu a pomerne neznáma. Je potrebné sa pokúsiť o jej popularizáciu v rámci činnosti jednotiek zodpovedných za analýzu nebezpečenstva zosuvov. Treba poznamenať, že výsledky, ktoré možno získať pomocou interferometrie, sú veľmi presné a čas na vypracovanie výsledkov je relatívne krátky, čo ponúka možnosť rýchlo reagovať na možné zosuvné nebezpečenstvo. Je ťažké určiť cenu štúdie zahŕňajúcej použitie radarovej interferometrie na posúdenie nebezpečenstva zosuvov. Na trhu nie je vzhľadom na novosť metódy cena stabilizovaná. Miestne orgány sú ochotné používať skôr tradičné technické metódy na stabilizáciu a ochranu zosuvov, preto je dopyt po analýze s využitím radarovej interferometrie veľmi malý.

Laserové skenovanie je užitočná metóda, keď je potrebné získať presnú mapu tvaru terénu v zosuve. Takýto model terénu sa môže použiť rôznymi spôsobmi v následných štúdiách. Na posúdenie aktivity zosuvov a nebezpečenstva zosuvov však metóda laserového skenovania nie je najlepším riešením. Je totiž potrebné počkať určitý čas po prvom meraní a potom vykonať ďalšie meranie, aby sa získali informácie o zmenách v rezaní zosuvného územia, t. j. o jeho aktivite. Takýto prístup neumožňuje reálne a predovšetkým rýchle posúdenie nebezpečenstva zosuvu. Laserové skenovanie splnilo svoju veľmi dôležitú úlohu pri mapovaní zemského povrchu v Poľsku a na Slovensku počas skenovacích náletov. Tieto nálety umožnili vytvoriť numerické modely terénu s veľmi vysokou presnosťou. Vďaka nim je možné bezchybne zakresliť hranice zosuvov, ktoré sa vyskytujú v Poľsku a na Slovensku.

5. VÝHODY INOVATÍVNYCH METÓD PREVENCIE A BOJA PROTI ÚČINKOM PRÍRODNÝCH KATASTROF MIMO OBLASTI PODPORY

Používanie moderných metód protipovodňovej ochrany je predovšetkým dlhodobou investíciou, ktorá vedie k zvýšeniu bezpečnosti obyvateľov, ich majetku a majetku miestnych orgánov a k zníženiu nákladov na údržbu protipovodňovej infraštruktúry.

Výhody metódy **hydraulického modelovania** povodní sú predovšetkým:

- Zlepšenie územného plánovania - umožňuje presné vymedzenie zón povodňového rizika a úpravu územných plánov.
- Rýchlejšia reakcia na nebezpečenstvo - umožňuje predpovedať vodné stavy na základe simulácií a aktuálnych meteorologických údajov.
- Optimalizácia investícií - posúdenie účinnosti rôznych metód ochrany pred povodňami pred ich realizáciou.
- Podpora získavania finančných prostriedkov - podrobné analýzy povodňových rizík uľahčujú podávanie žiadostí o financovanie z programov EÚ a národných programov.
- Zvýšenie bezpečnosti obyvateľstva - lepšie predpovede umožňujú skoršie varovanie a evakuáciu obyvateľstva.

Výhody prirodzenej retencie v povodiach:

- Nižšie náklady na ochranu pred povodňami - prírodné metódy sú lacnejšie na údržbu ako hydraulická infraštruktúra.
- Zníženie vplyvu povodní a sucha - spomaľuje odtok, znižuje riziko náhlych prítokových vln a poskytuje prístup k vode počas období sucha.
- Zlepšená kvalita životného prostredia - podporuje biodiverzitu, zväčšuje zelené plochy a zlepšuje kvalitu vody.
- Zvýšenie atraktivity regiónu - nové rekreačné oblasti, ako sú obnovené mokrade a parky, môžu prilákať turistov a investorov.
- Podpora klimateckej politiky - prirodzená retencia pomáha pri adaptácii na zmenu klímy, čo je dôležité v kontexte národných stratégií a stratégií EÚ.

Výhody používania dronov pri ochrane pred povodňami:

- Okamžité monitorovanie nebezpečenstva - drony umožňujú rýchle skenovanie záplavových území a identifikáciu oblastí, ktoré si vyžadujú zásah.
- Presná analýza v reálnom čase - umožňuje zaznamenávať hladinu vody, vyhodnocovať stav hrádzí a lokalizovať zaplavené oblasti.
- Bezpečnosť pre záchranné služby - umožňujú posúdiť situáciu bez toho, aby bolo potrebné posielat ľudí na nebezpečné miesta.
- Nižšie náklady na monitorovanie - poskytujú lacnejšiu alternatívu k lietadlám a vrtuľníkom pri hliadkovaní riek a rizikových oblastí.
- Podpora plánovania a obnovy - snímky a 3D modely zhotovené bezpilotnými lietadlami pomáhajú pri posudzovaní vplyvu povodní a pri plánovaní budúcich ochranných investícií.
- Moderné metódy v oblasti prevencie zosuvov sa nevyužívajú v takej miere ako tradičné metódy. Spomedzi moderných metód stojí za zmienku najmä radarová interferometria a dendrochronologická metóda.
- Aplikácia týchto metód umožňuje nielen monitorovanie zosuvov, ale mala by umožniť aj identifikáciu zón, v ktorých môže dôjsť k zosuvom počas intenzívnych zrážok. Často oblasti susediace so zosuvmi, ktoré susedia so zosuvmi, sú náchylné na zosuvy, napriek tomu, že nie sú postihnuté zosuvmi.
- Hlavnou výhodou radarovej interferometrie aj dendrochronologickej metódy je, že nebezpečenstvo zosuvov možno odvodiť zo sekvencií údajov z minulosti. Pri všetkých ostatných metódach sa na výsledky odhadu nebezpečenstva zosuvov musí čakať a získavajú sa až po analýze založenej väčšinou na inštalácii zariadení v teréne.
- Výhodou interferometrickej metódy je okrem toho jej vysoké rozlíšenie, ktoré poskytuje dobrý základ na odvolenie zosuvnej činnosti v budúcnosti. Na druhej strane dendrochronologická metóda umožňuje vytvoriť veľmi dlhé sekvencie údajov siahajúce do minulosti, ale s relatívne nízkym rozlíšením, a je to tiež relatívne lacná metóda.
- V súčasnosti sa zdá, že použitie týchto dvoch metód, radarovej interferometrie a dendrochronológie, poskytuje najlepší základ pre odhad nebezpečenstva zosuvov. Všetky ostatné metódy sú veľmi "statické" a pri ich použití treba čakať na výsledky, ktoré si vyžadujú časovo náročné pozorovania. Ani po niekoľkých rokoch pozorovaní nemusia získané výsledky poskytnúť úplný obraz o nebezpečenstve zosuvov.

LITERATÚRA

Bakuła K., 2014. Efektywne wykorzystanie danych lidar w dwuwymiarowym modelowaniu hydraulicznym. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 26, 23-37

Bańkowska A, Sawa K, Zbigniew Popek Z. Michał Wasilewicz M, Jan Żelazo J. 2010, *Studia wybranych przykładów renaturyzacji rzek. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* nr 9/2010. PAN o. w Krakowie.

Bednarek P., Tworek Ł. 2024. Projekt renaturyzacji Bukowej. Jak naprawić rzekę i stosunki wodne w jej zlewni? Podkarpackie Towarzystwo Przyrodników Wolne Rzeki.

Biedroń I, Brzóska P., Dondajewska-Pielka R., Furdyna A., Ryszard Gołdyn G., Grygoruk M., Grześkowiak A., Horska-Schwarz S., Jusik S., Klósek K., Krzysiński K., Ligęza L., Łapuszek M., Okrański K., Pawlaczyk P., Przesmycki P., Popek Z., Szalkiewicz E., Suska K., Żak J. 2020. *Renaturyzacja wód. Podręcznik dobrych praktyk renaturyzacji wód powierzchniowych*, Kraków.

Gann G.D., McDonald T., Walder B., Aronson J., Nelson C.R., Jonson J., Hallett J.G., Eisenberg C., Guariguata M.R., Liu J., Hua F., Echeverría C., Gonzales E., Shaw N., Decler K., Dixon K.W., 2019. *International Principles & Standards for the Practice of Ecological Restoration*, 2nd edition. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C., USA. s. 101.

Iwaszuk E, Rudik G, Duin L, Mederake L, Davis M, Naumann S. (Ecologic Institute); Iwona Wagner I (FPP Enviro). 2019. *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu – katalog techniczny*. Ecologic Institute & Fundacja Sendzimira, Berlin – Kraków.

Kurczyński Z., Bakuła K., 2016. SAFEDAM - zaawansowane technologie wspomagające przeciwdziałanie zagrożeniom związanym z powodzią. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 28, Warszawa

Ma K.; Chen, Z.; Fu, L.; Tian, W.; Jiang, F.; Yi, J.; Du, Z.; Sun, H., 2022. Performance and Sensitivity of Individual Tree Segmentation Methods for UAV-LiDAR in Multiple Forest Types. *Remote Sens.* 2022, 14, 298.

Mihu-Pintilie A., Cîmpianu C.I, Stoleriu C.C., Pérez M.N., Paveluc L.E., 2019. Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-Scenario Approach. *Water* 11, 1832; 89-112

Radoń R., Piórecki M., 2012. Wyznaczanie stref zagrożenia powodziowego w aglomeracjach miejskich.

Ogólnokrajowe Sympozjum - HYDROTECHNIA XIV 2012. Ustroń, RZGW Kraków.

Suchocka M., Siedlecka M., 2017 Powierzchniowe systemy infiltracyjne z możliwością retencji wody jako metoda odwadniania nawierzchni dróg i ulic. „Drogownictwo”, 4/2017

Szumińska D., Giętkowski T., Czapiewski S., 2015. Ocena zmiany warunków hydrologicznych na terenach

zurbanizowanych z wykorzystaniem technik. *Journal of Education, Health and Sport* 5(5), 173-182

Yan Li, Chunlu Liu, 2018. Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management*, DOI:10.1080/15623599.2018.1452101

Żelazo J., Popek Z. Podstawy renaturyzacji rzek. Wyd. SGGW, Warszawa 2002

ŠÁLEK, J., KRIŠKA, M., ROZKOŠNÝ, M., (2009) Uspořádání a vodní hospodářství bezodtokých zařízení v krajině, *Krajinné inženýrství 2009*, Praha, 2009, 392 s.

Kampes, B. M. (2006). *Radar interferometry* (Vol. 12). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
Krapiec M., Margielewski W., 2000, Analiza dendrogeomorfologiczna ruchów masowych na obszarze polskich Karpat fliszowych, *Kwart. AGH, Geologia*, 26, 2, s. 141–171.

Mirek, K. (2013). Związek występowania sejsmiczności indukowanej z osiadaniem powierzchni terenu określonym techniką PSInSAR. *Przegląd Górniczy*, 69(6), 44-50.

Perski, Z. (1999). Osiadania terenu GZW pod wpływem eksploatacji podziemnej określane za pomocą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR). *Przegląd Geologiczny*, 47(2), 171-174.
Perski, Z. (2010). Satelitarna interferometria radarowa InSAR i PSInSAR.

Popiołek, E., Krawczyk, A., & Sopata, P. (2007). Wykorzystanie metody InSAR w monitoringu i prognozowaniu deformacji powierzchni terenu. *Zeszyty Naukowe. Górnictwo/Politechnika Śląska*, (278), 395-404.

Perski, Z., Krawczyk, A., & Marinković, P. (2008). Satelitarna interferometria radarowa (InSAR) wysokiej rozdzielczości z wykorzystaniem danych TerraSAR-X. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 18, 499-507.

Przyłucka, M., & Graniczny, M. (2015). Kompleksowe wykorzystanie przetworzeń DInSAR i PSInSAR w badaniu pionowych przemieszczeń terenu w wybranych rejonach GOP. *Przegląd Górniczy*, 71(3), 80-88.

Przyłucka, M., & Klimkowska, A. (2016). Fotogrametria bliskiego zasięgu i skaning laserowy jako metody monitoringu zmian geodynamicznych na przykładzie skarpy w Płocku. *Przegląd Geologiczny*, 64(7), 504-512.

Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E., & Goldstein, R. M. (2000). Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88(3), 333-382.

Schweingruber F. H., 1996, Tree rings and Environment. Dendroecology, Swiss Federal Institute for Forests, Snow and Landscape Research, WSL/FNP Birmensdorf, Paul Haupt Publishers Berne, Stuttgart, Vienna.

Szafarczyk, A. (2012). Możliwości wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej w monitoringu osuwisk. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (2/II).

Wasowski, J., & Bovenga, F. (2014). Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives. *Engineering Geology*, 174, 103-138.

Tento dokument vznikol pre účely projektu „Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien“ z programu „Interreg V-A PL-SK“ číslo PLSK.01.01-IP.01-0007/23,

v rámci: Úlohy 3 „Analýza štandardných a moderných metód prevencie prírodných katastrof v oblasti podpory“.

Všetky práva vyhradené. Úpravy tohto dokumentu sú dovoľené po dohode s autorom.