

Analýza 5.

MOŽNOSŤ VYUŽITIA MODERNÝCH METÓD PROTIPOVODŇOVEJ PREVENČIE V 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. EKOLOGICKÉ METÓDY NA ZNÍŽENIE ÚČINKOV POVODNÍ - PRIRODZENÁ RETENCIA	11
a) Technický opis metód prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi	12
b) Opis výhod a nevýhod metódy	19
c) Posúdenie vhodnosti metódy	19
3. POUŽÍVANIE BEZPILOTNÝCH LIETADIEL	20
a) Technický opis protipovodňovej metódy s teoretickými predpokladmi	20
b) Opis výhod a nevýhod metódy	24
c) Posúdenie vhodnosti metódy	25
4. VÝHODY INOVATÍVNYCH METÓD PREVENČIE PRED POVODŇAMI V POROVNANÍ S TRADIČNÝMI METÓDAMI, KTORÉ POUŽÍVAJÚ MIESTNE ORGÁNY PÔSOBIACE V PODPOROVANEJ OBLASTI.....	26
LITERATÚRA.....	28

METODIKA SPRACOVANIA

Štúdia sa uskutočnila podľa nasledujúcej schémy vyplývajúcej z opisu predmetu zákazky:

- (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).

V súlade so zadáním nebolo cieľom tejto štúdie uviesť moderné metódy prevencie pred povodňami. Štúdia bola vypracovaná na základe vedeckých publikácií a webovej analýzy. Zoznam použitej literatúry je uvedený v prílohe. Štúdia vychádzala z materiálov dostupných na technických univerzitách na Slovensku a v Poľsku.

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 prítalovej 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 príválov. 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).

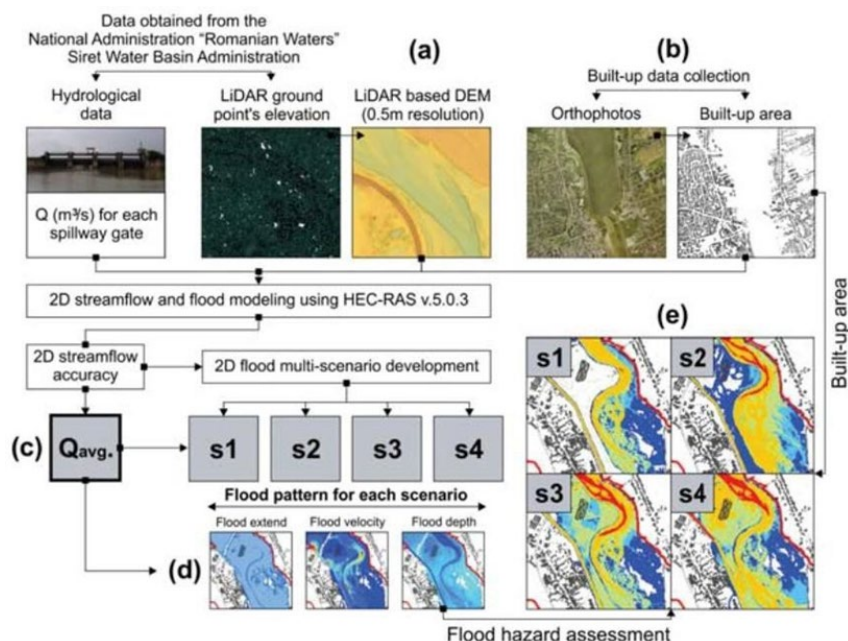
Veľmi dôležitými prvkami ovplyvňujúcimi kvalitu hydraulického a hydrologického modelovania sú presný NMT (numerický model terénu) a NMPT (numerický model pôdneho krytu).

Numerické modely terénu sú založené na:

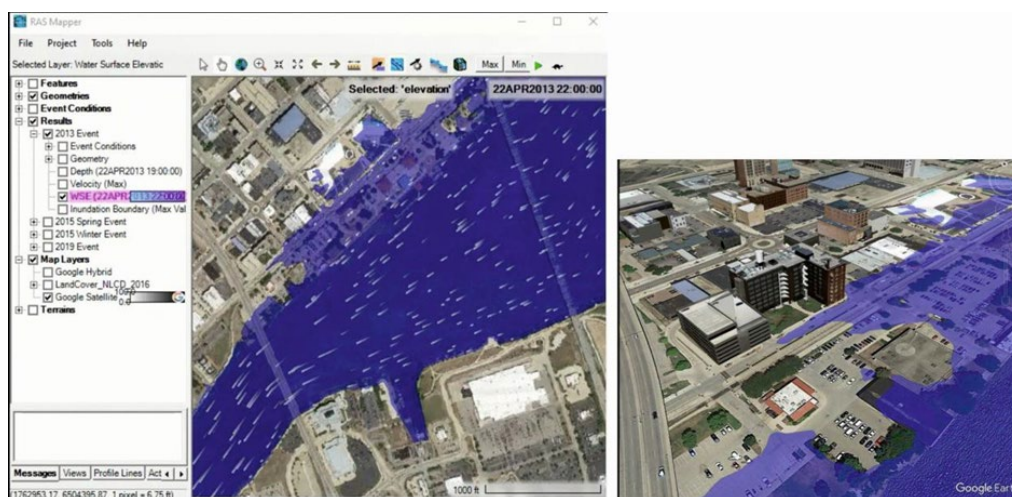
- terénnych meraniach pomocou nivelačných prístrojov a prijímačov GPS,
- laserovom skenovaní (LiDAR) pomocou laserového skenera, ktorý vysiela laserové impulzy a meria ich spätný čas po odraze od povrchu zeme. Na tento účel sa používajú letecké a pozemné skenery,
- digitalizácia topografických máp (prevod 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. Sensory 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 rieku 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 protipatrenia 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. 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 prúdiacej 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 prítalových povodní, t. j. javov spôsobených prítalovými 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.

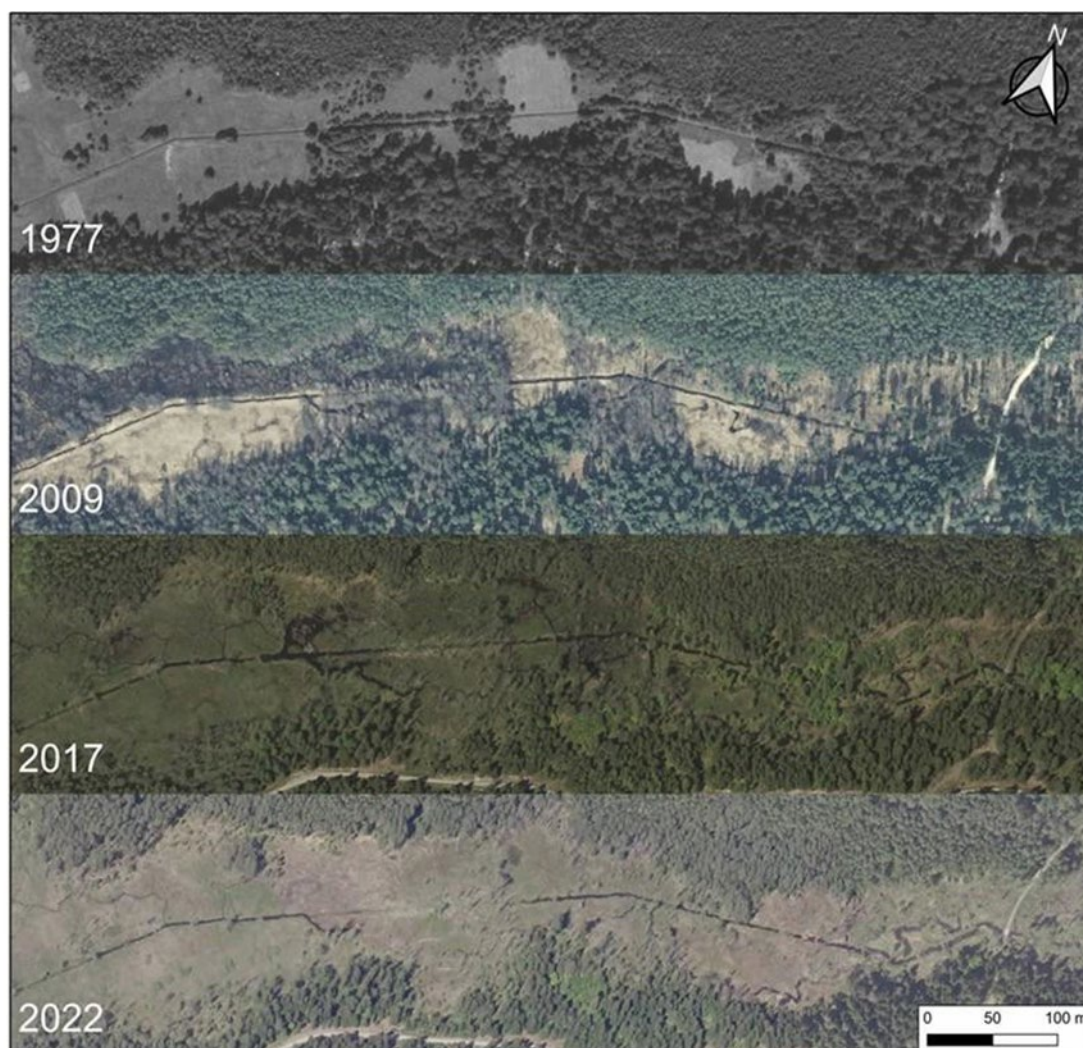
a) Technický opis metód prevencie pred povodňami s teoretickými predpokladmi

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 3). To je možné na vodných tokoch pretekajúcich cez lesné plochy, pustatiny, kde neexistujú žiadne obmedzenia zo strany vlastníkov pozemkov.



Obrázok 3: 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).

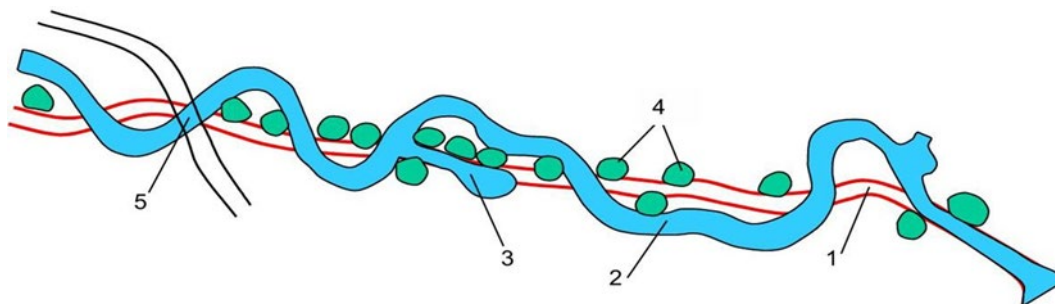
Obnova riek sa však zvyčajne uskutočňuje prostredníctvom starostlivého plánovania, realizácie a monitorovania účinnosti technických opatrení, ktorých cieľom je zvýšiť biodiverzitu v riekach. V rámci týchto opatrení sa do prirodzeného koryta rieky vkladajú prvky zlepšujúce biotopy, ako sú balvany alebo deflektory z miestneho materiálu. Bežným obnovovacím opatrením je obnovenie meandrov rieky, ktoré boli predtým od rieky odrezané (obrázok 4).



Obrázok 4: Obnova bývalého meandrujúceho toku rieky Narewka v Białowieži prehradením toku v regulovanom koryte a odvedením vody do obnovených mlák (<https://inzynierbudownictwa.pl/renaturyzacja-rzek/>).

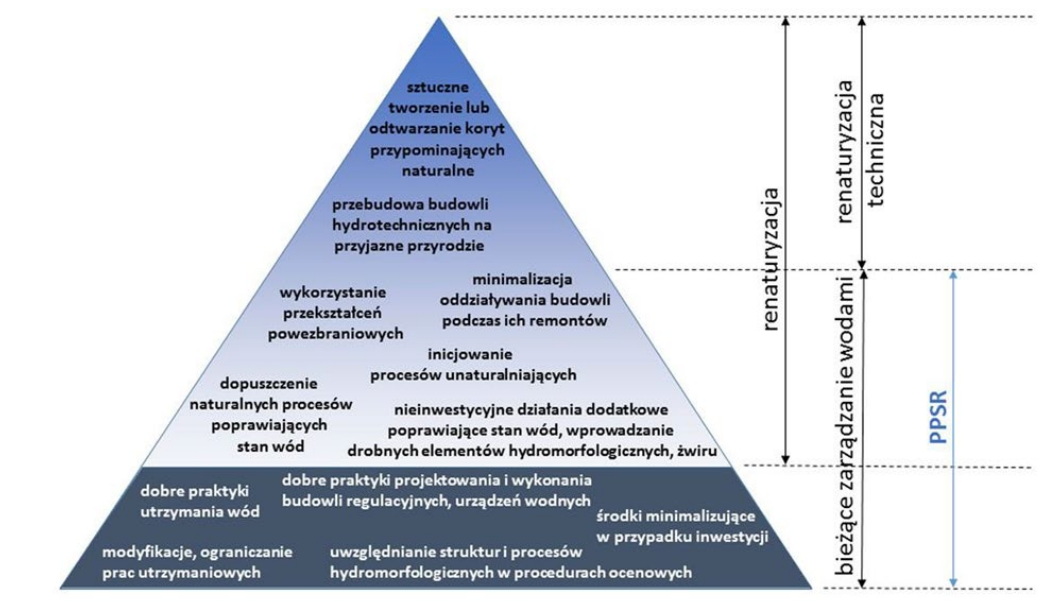
Súčasťou obnovných opatrení je aj rekonštrukcia jazov a prahov na tzv. prahy, ktoré umožňujú simulovať prirodzené zmeny morfológie koryta - vďaka nim je možné obnoviť sled prahov. Dôležitým aspektom obnovy je aj odstránenie vodných prekážok, t. j. zbúranie hrádzí. Rozsah prác spojených s týmto procesom 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 5: 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).



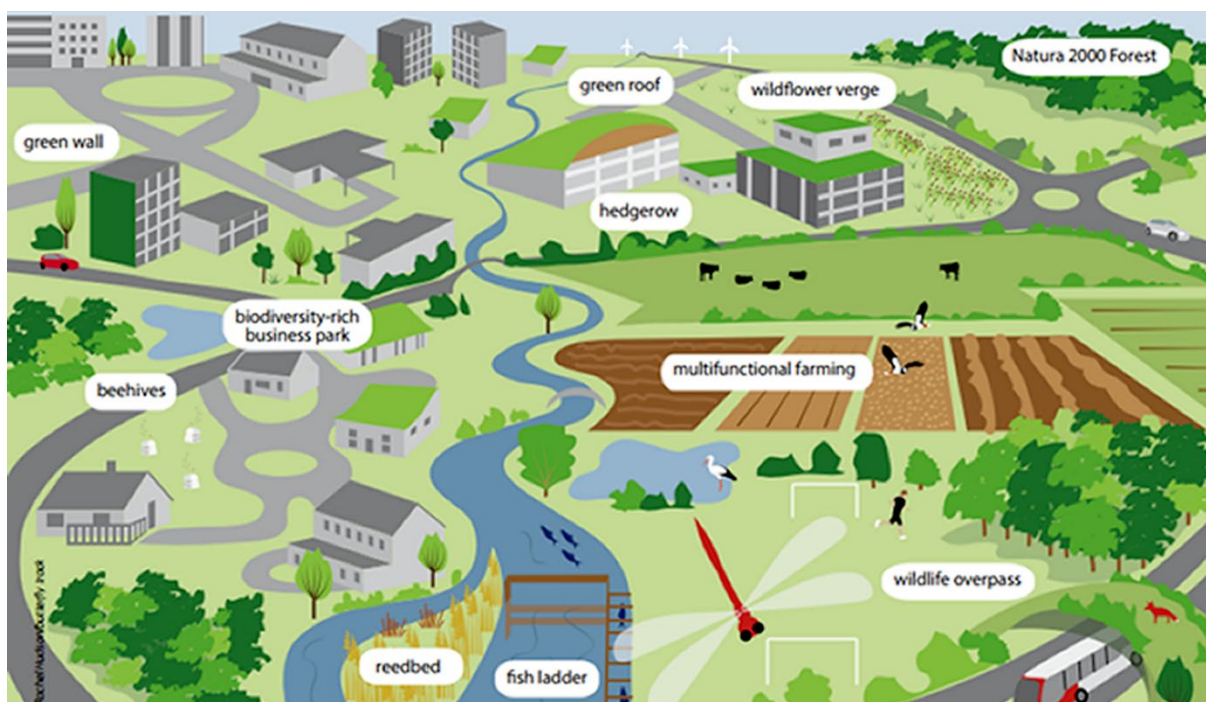
Obrázok 6: Miesto obnovy vody v integrovanom vodnom hospodárstve z environmentálneho hľadiska. PPSR = základný program obnovných opatrení, ktorého realizácia by mala byť pomerne rozšírená, ak chceme skutočne dosiahnuť environmentálne ciele pre vody v reálnom časovom horizonte (Biedroń, 2020).

Modro-zelená infraštruktúra

Podľa technického katalógu "Modro-zelená infraštruktúra pre zmiernenie zmeny klímy" - publikácie vydanej 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 vykopaných 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.



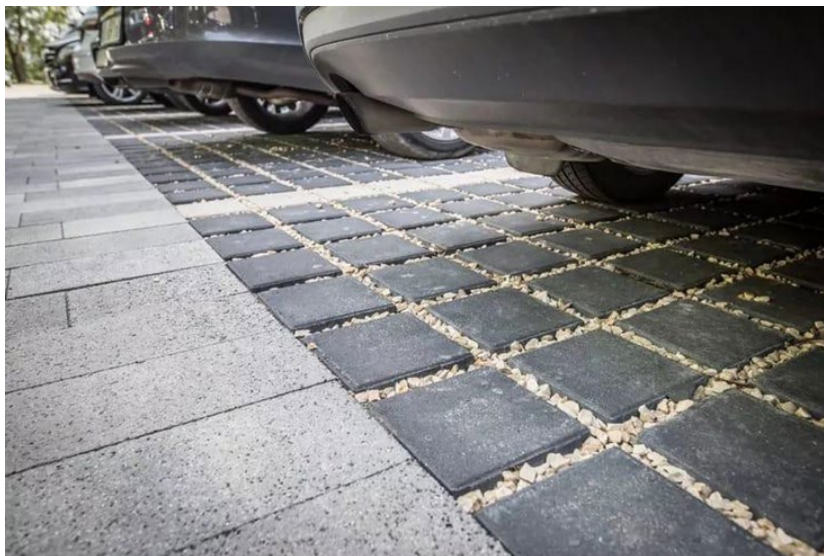
Obrázok 7: Príklad systému zberu a využitia dažďovej vody vďaka prvkom modro-zelenej infraštruktúry (<https://www.casopis.ochranaprirody.cz/pravo-v-ochrane-prirody/zelena-infrastruktura-co-a-proc-se-ztratilo-v-prekladu/>).

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 9). 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 9: Spôsob kladenia dlažby, ktorý podporuje vsakovanie dažďovej vody (<https://bzg.pl/poradnik/artikul/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 10: 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 hydraulikej 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.

3. POUŽÍVANIE BEZPILOTNÝCH LIETADIEL

a) Technický opis protipovodňovej metódy s teoretickými predpokladmi

Bezpilotné lietadlo (BSP, UAV), známe aj ako dron, je moderné lietadlo, ktoré nevyžaduje posádku na palube. V súčasnosti sa táto technológia rýchlo rozvíja a využíva sa veľmi široko.

Klasifikácia dronov.

Z hľadiska konštrukcie rozlišujeme (obrázok 11):

- multirotory (tzv. multikoptéry) - jedny z najčastejšie používaných vďaka ich jednoduchému používaniu a stabilite. Patria medzi ne napr: kvadrokoptéry (4 rotory), hexakoptéry (6 rotorov) a oktokoptéry (8 rotorov),
- lietadlá s pevnými krídlami, ktoré sa používajú na sledovanie na veľké vzdialenosti
- hybridné (VTOL - Vertical Take-Off and Landing) - kombinujú vlastnosti multikoptér a lietadiel s pevnými krídlami,



Obrázok 11: Typy dronov (Yan Li, Chunlu Liu, 2018).

Pokiaľ ide o spôsob riadenia, rozlišujeme drony: manuálne (pilot riadi dron v reálnom čase), poloautonómne (poloautonómne riadenie) a autonómne (automatické riadenie - vopred naprogramovaný let).

Z hľadiska doletu medzi drony patria:

- drony s malým doletom (do 5 km) - malé a ľahké, používané najmä na rekreačné účely,
- drony so stredným doletom (5 - 10 km) - vhodné na BVLOS (mimo vizuálneho dosahu), vybavené rôznymi senzormi, používané na monitorovanie alebo mapovanie terénu (fotogrametria),

- drony s dlhým doletom (nad 50 km) - majú spaľovací alebo hybridný pohon; lietajú v autonómnom režime, používajú sa vo vojenských misiách, ale aj pri mapovaní.

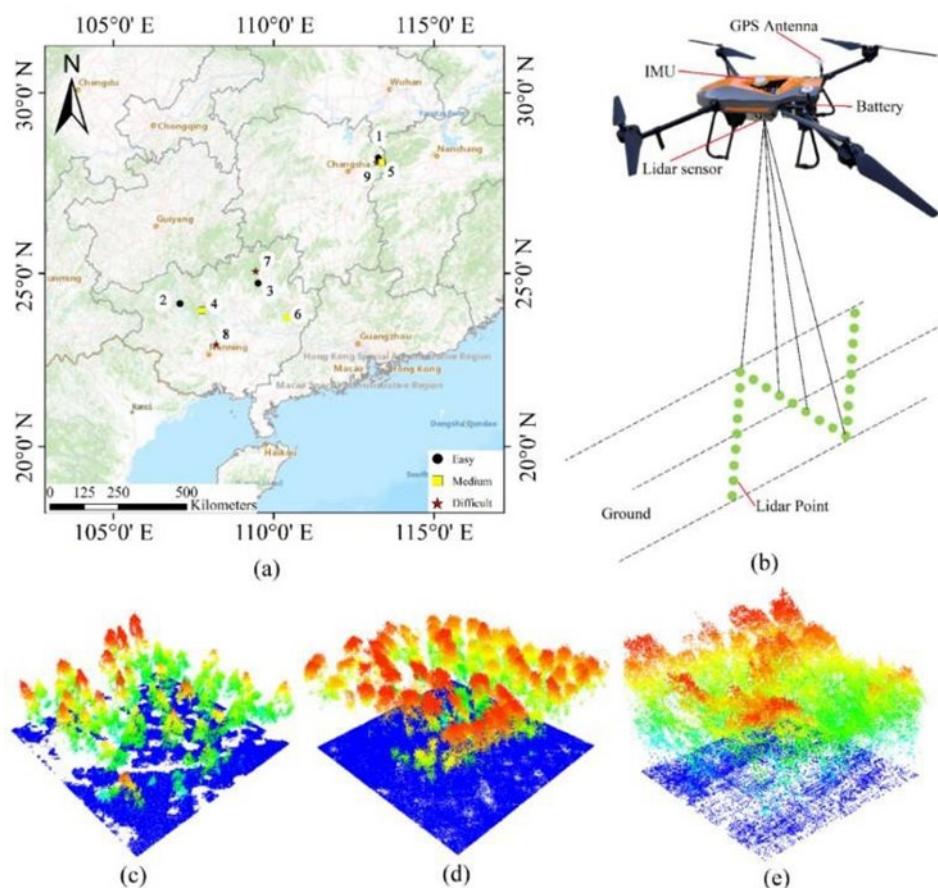
Bezpilotné lietadlá (UAV) zohrávajú veľkú úlohu pri zmiernovaní následkov povodní predovšetkým prostredníctvom:

1. schopnosť monitorovať priebeh povodní v reálnom čase (napr. monitorovanie stavu vodohospodárskej infraštruktúry, zaplavených oblastí, stavu koryta rieky) s cieľom zlepšiť kvalitu krízového riadenia,
2. schopnosť mapovať, tiež dopĺňať údaje o teréne a jeho zmenách (fotogrametrické drony, laserový skener, fotodokumentácia).

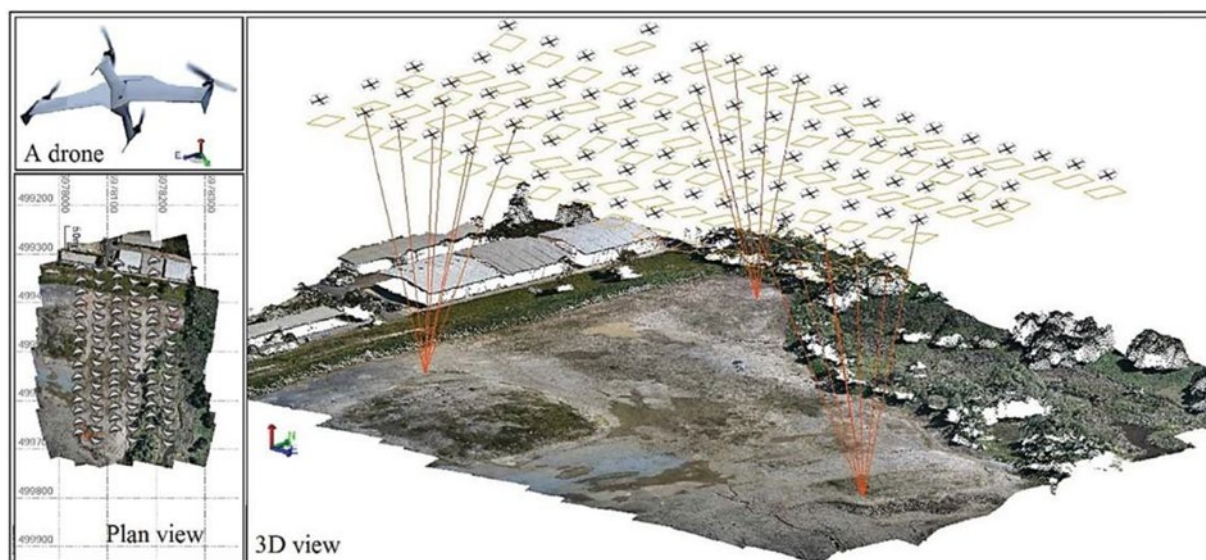
Drony sú mimoriadne užitočné pri včasnom odhaľovaní povodňových rizík - umožňujú monitorovať hladinu vody v riekach a nádržiach a zisťovať poškodenie hrádzí alebo priehrad. Aby mohol dron plniť rôzne úlohy, musí sa stať multisenzorovou bezpilotnou meracou a pozorovacou platformou vybavenou rôznymi zobrazovacími a meracími senzormi na vykonávanie celého radu meracích a pozorovacích funkcií.

Medzi používané snímače by mali patriť:

- laserový skener s podporou polohových systémov (GNSS/INS), ktorý umožní získať presné údaje o výške (obrázok 12),
- rámová meracia kamera, ktorá umožní získať fotogrametrické snímky potrebné na ďalšie spracovanie meraní vrátane výškových modelov, prierezov alebo ortofotomáp (obrázok 13),
- multispektrálna kamera, ktorá dokáže snímať obrazy vo viditeľnom a blízkom infračervenom rozsahu. Medzi jej aplikácie patrí zisťovanie poškodenia násypov, identifikácia miest, kde na týchto konštrukciách chýba vegetácia, čo môže naznačovať poškodenie (obrázok 14),
- pozorovacia kamera, ktorá bude užitočná počas záchranných operácií,
- termovíznu kameru, ktorá sa bude používať pri záchranných operáciách aj v noci (obrázok 15).



Obrázok 12. Systém UAV-LiDAR (b); (c-e) diagramy s tromi typmi mračien bodov UAV-LiDAR: ľahké, stredne ťažké, ťažké (Ma K..et al., 2022).



Obrázok 13: Schéma postupu fotogrametrického prieskumu na stavenisku. Na obrázku vľavo dole je znázornený pohľad zhora na stavenisko a vyznačená dráha letu nad staveniskom. Pravý obrázok ukazuje, že kamera namontovaná na dróne je nasmerovaná nadol smerom k zemi na meranie 3D rozmerových súradníc (Yan Li, Chunlu Liu, 2018).



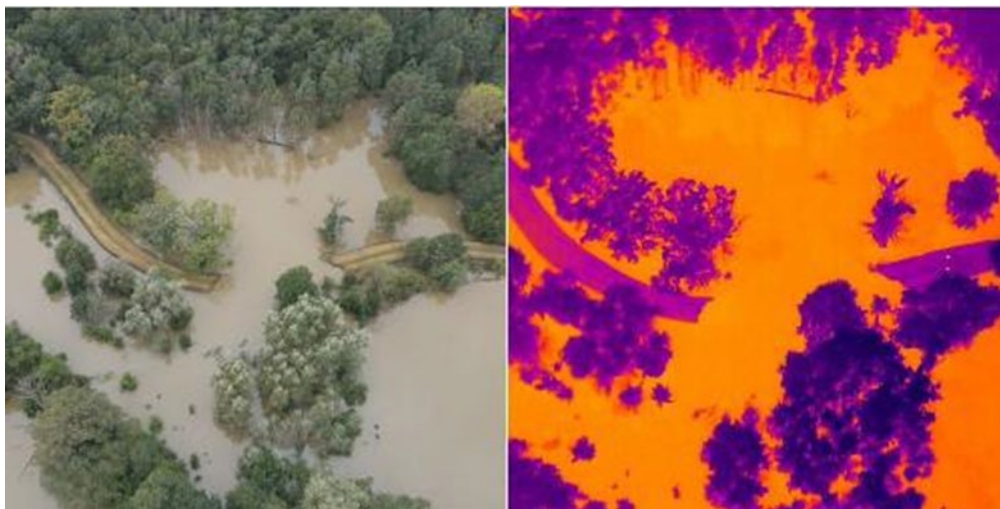
Obrázok 14: Príklad snímky získanej superponovaním tieňovaného modelu a hypsometrických farieb - získala sa podrobná topografia hrádze (Kurczyński Z., Bakula K., 2016).

Snímky získané z dronov umožňujú posúdiť veľkosť a vplyv povodňovej udalosti pozorovaním hladiny vody a predpovedaním ďalšieho rozlievania povodní, identifikáciou objektov poškodených povodňami alebo vytvorením ortofotomapy zaplavených oblastí. Umožňujú to bezpilotné lietadlá vybavené kamerami s vysokým rozlíšením a analýza nasnímaných fotografií v reálnom čase. Drony sú veľmi užitočné pri koordinácii práce záchranných služieb. Sú vybavené termovíznou kamerou a pomáhajú odhaliť obeť povodní a osoby, ktoré potrebujú naliehavú pomoc. Vďaka moderným kamerám s optickým priblížením prenášajú živé zábery do záchranných centier. Pomáhajú aj pri preprave nevyhnutného záchrannárskeho vybavenia.

Geodetické drony sa osvedčia pri mapovaní. Za zmienku tu stojí najmä mapovanie pomocou systému RTK (Real-Time Kinematic), ktorý poskytuje maximálnu presnosť pri extrémne krátkom čase získavania údajov. Drony so systémom RTK sú vybavené matricami citlivými na svetlo, ktoré prispôbujú kvalitu obrazu svetelným podmienkam. Tento typ zariadenia umožňuje presné merania a 3D modelovanie pomocou fotogrametrického softvéru. Pomocou fotogrametrického náletu možno získať informácie o novej infraštruktúre a nezdokumentovaných formách využitia pôdy bez potreby vstupovať do niekedy neprístupného terénu. Monitorovanie akýchkoľvek zmien topografie, ktoré určujú smer

odtoku vody, je obzvlášť dôležité v urbanizovaných oblastiach, ktoré sú oblasťou mnohých nových stavieb, napr. plotových múrov, násypov atď.

Zmena využívania pôdy v urbanizovaných oblastiach spôsobuje zmeny hydrologických podmienok. Na určenie smeru týchto zmien na relatívne malých územiach je účinným riešením použitie nástrojov GIS. Umožňujú rýchle identifikáciu miest, kde môžu vzniknúť problémy s odvodňovaním pôdy (Szumińska et al., 2015).



Obrázok 15: Obrázok z dronu s termovíznou kamerou. (<https://www.swiatdronow.pl/drony-a-powodz-na-poludni-polski-09-2024>).

b) Opis výhod a nevýhod metódy

Výhodou dronov ako bezpilotnej platformy na zmierňovanie následkov povodní je predovšetkým ich rýchlosť - údaje zo zaplavenej oblasti poskytujú v priebehu niekoľkých minút a bezpečným spôsobom bez ohrozenia ľudského života. Údaje získané z dronov sú vďaka ich špičkovým senzorom presné a umožňujú rôzne analýzy v reálnom čase. Okrem toho sú mnohonásobne lacnejšou a zvyčajne technicky lepšou alternatívou ako vrtuľníky alebo lietadlá. Drony predstavujú budúcnosť ochrany pred povodňami - umožňujú lepšie predpovedanie, efektívnejšie záchranné operácie a dlhodobé plánovanie ochrany pred povodňovými živlami.

Hoci bezpilotné lietadlá ponúkajú mnoho výhod, ich využitie pri ochrane pred povodňami je spojené aj s určitými obmedzeniami a výzvami. Hlavné nevýhody dronov:

- Obmedzený čas letu a dolet. Väčšina dronov funguje na dobíjateľné batérie, ktoré umožňujú let v trvaní 20 až 60 minút. Dlhšie misie si vyžadujú častú výmenu batérií alebo použitie viacerých dronov. Okrem toho je letový dosah zvyčajne obmedzený na niekoľko kilometrov, čo môže byť problematické pri monitorovaní rozsiahlych záplavových oblastí.

- Citlivosť na poveternostné podmienky. Silný vietor, hustý dážď a sneženie môžu zabrániť letu dronu alebo výrazne znížiť kvalitu zozbieraných údajov.
- Potreba špecializovanej manipulácie. Prevádzka pokročilých dronov si vyžaduje náležité školenie operátorov. Okrem toho si analýza zozbieraných údajov, ako sú snímky z termokamery alebo 3D modely, vyžaduje špecializovaný softvér a odborné znalosti.
- Riziko zlyhania signálu a rušenia. Drony sa môžu zrútiť v náročných podmienkach alebo naraziť do prekážok, ako sú elektrické vedenia alebo stromy. V núdzových situáciách môže rušenie signálov GPS a komunikácie brániť účinnému ovládaniu dronov.
- Obmedzené užitočné zaťaženie a funkčnosť. Štandardné drony sú určené najmä na monitorovanie a zber údajov - nie sú schopné prepravovať veľké užitočné zaťaženie alebo priamo ovplyvňovať povodňové situácie. Záchranné drony majú obmedzenú schopnosť doručovať vybavenie vzhľadom na ich malé užitočné zaťaženie.
- Nákupné a prevádzkové náklady. Pokročilé drony vybavené termovíznymi kamerami, lidarmi alebo meteorologickými senzormi môžu byť nákladné na nákup aj údržbu. Okrem toho potreba pravidelnej údržby, nákupu batérií a školenia obsluhy zvyšujú výdavky spojené s dlhodobým používaním týchto zariadení.

Napriek nevýhodám dronov sú výhody, ktoré vyplývajú z ich používania, mnohonásobne väčšie. Okrem toho sa technológie používané v týchto lietajúcich objektoch veľmi rýchlo vyvíjajú (napr. umelá inteligencia), vďaka čomu sú stále dokonalejšie.

c) Posúdenie vhodnosti metódy

Drony sa stávajú čoraz populárnejším nástrojom v boji proti povodňam, podporujú prevenciu, monitorovanie mimoriadnych udalostí a riadenie následkov. Hoci ich účinnosť závisí od mnohých faktorov, ako sú poveternostné podmienky, dostupnosť vybavenia, technické obmedzenia, sú veľmi užitočným a nenahraditeľným nástrojom pri ochrane pred povodňami.

4. VÝHODY INOVATÍVNYCH METÓD PREVENCIE PRED POVODŇAMI V POROVNANÍ S TRADIČNÝMI METÓDAMI, KTORÉ POUŽÍVAJÚ MIESTNE ORGÁNY PÔSOBIACE V PODPOROVANEJ OBLASTI

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 klimatickej 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 hrádzi 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.

Kombinácia týchto najmodernejších metód umožní miestnym samosprávam v podporovanej oblasti účinnejšie a lacnejšie chrániť svojich obyvateľov, minimalizovať škody na infraštruktúre a efektívnejšie hospodáriť s vodou.

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

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.