

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

MODERNÉ METÓDY POUŽÍVANÉ V OBLASTI ZMIERŇOVANIA NÁSLEDKOV POVODNÍ

Spracovanie bolo vyhotovené podľa nasledujúcej štruktúry vyplývajúcej z opisu predmetu zákazky:

- a) technický opis metódy ochrany pred povodňami vrátane teoretických východísk
- b) opis výhod a nevýhod každej metódy,
- c) posúdenie vhodnosti použitia metódy,
- d) prínosy vyplývajúce z využitia inovatívnych metód ochrany pred povodňami v porovnaní s konvenčnými riešeniami používanými územnými samosprávami v oblasti podpory (spracované spoločne pre všetky metódy).

V súlade so zadaním nebolo cieľom tohto spracovania identifikovať nové metódy ochrany pred povodňami. Dokument bol pripravený na základe vedeckých publikácií a analýzy internetových zdrojov. Súčasťou je aj zoznam použitej literatúry. Informácie boli získané aj od pracovníkov Univerzity v Sliezsku a Žilinskej univerzity.

I. Hydraulické a hydrologické modelovanie

A. Technický opis metódy ochrany pred povodňami vrátane teoretických východísk

Hydraulické modelovanie sa zameriava na fyzikálny pohyb vody v konkrétnych štruktúrach, ako sú riečne korytá, kanály alebo kanalizačné systémy, zatiaľ čo hydrologické modelovanie sa sústreďuje na procesy kolobehu vody v prírodnom prostredí.

Hydraulické modelovanie sa týka fyzikálnych javov súvisiacich s mechanikou tekutín. Príkladom je analýza správania vody v riečnych korytách a na záplavových územiach. Umožňuje určiť hladinu vody, ako aj rýchlosť, hĺbku a smer jej prúdenia.

Hydraulické a hydrodynamické modelovanie zahŕňa moderné analytické techniky umožňujúce predpovedať prietoky vody v danom území. Pokročilé modely umožňujú realizovať detailné simulácie zohľadňujúce premenlivé hydrologické podmienky, ako sú intenzita zrážok, povrchový odtok či účinnosť existujúcej odvodňovacej infraštruktúry. Výsledky týchto analýz umožňujú identifikovať potenciálne riziká, ako sú oblasti ohrozené zaplavením alebo problémy s kapacitou kanalizačných systémov. Hydraulické modelovanie patrí v súčasnosti medzi najčastejšie používané metódy na tvorbu máp povodňového rizika.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Typy hydraulických modelov používaných pri analýze povodňových vĺn (na báze matematických modelov):

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

Jednorozmerné modely (1D) vychádzajú z priečných profilov rieky, ktoré zahŕňajú koryto aj potenciálne zaplavované územia. Tieto profily vznikajú interpoláciou výškových údajov z digitálneho modelu terénu (DMT) a batymetrických dát. Modely umožňujú analyzovať rýchlosť prúdenia vody v smere toku rieky. Výsledky poskytujú informácie o maximálnej hladine vody a priemernej rýchlosti prietoku. Rozsah povodňovej vlny sa určuje prienikom hladiny vody s digitálnym modelom terénu (Bakuła, 2014). Modely 1D sa využívajú najmä v jednoduchých hydrografických podmienkach, napr. model HEC-RAS (1D).

Hlavné vlastnosti modelu HEC-RAS (1D):

- výpočty v ustálenom aj neustálenom stave prúdenia,
- možnosť vizualizácie údajov v GIS prostredí,
- bezplatný softvér, čo podporuje jeho široké využitie.

Dvojrozmerné modely (2D) simulujú prúdenie vody s voľnou hladinou a určujú rozsah zaplavenia, hĺbku vody, ako aj smer a rýchlosť prúdenia v celej modelovanej oblasti. Umožňujú presnejšie identifikovať zaplavované územia a analyzovať objem vody vstupujúcej a vystupujúcej zo zaplavovaných oblastí (Radoń a Piórecki, 2012). Príklady: HEC-RAS (2D), MIKE 21, TUFLOW.

Používajú sa aj hybridné modely (1D/2D), ktoré kombinujú výhody oboch prístupov.

Trojrozmerné modely (3D) predstavujú pokročilé nástroje na simuláciu prúdenia vody v troch rozmeroch. Umožňujú detailnú analýzu javov, ako sú turbulencie, víry alebo interakcie s hydrotechnickými stavbami. Používajú sa aj na hodnotenie erózie, sedimentácie a návrh vodných stavieb.

Príklady softvéru pre 3D modelovanie: FLOW-3D, ANSYS Fluent, TELEMAC-3D, OpenFOAM.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Využívajú sa aj hydrodynamické modely prepojené s meteorologickými modelmi, ktoré na základe predpovedí zrážok umožňujú predikovať povodne. Integrácia týchto modelov (napr. MIKE FLOOD alebo LISFLOOD-FP) je kľúčová pre moderné riadenie povodňového rizika a plánovanie vodných zdrojov.

Spracovanie hydraulického modelu zahŕňa nasledujúce kroky (Radoń a Piórecki, 2012):

- príprava vstupných údajov (používaných modelom);
- spracovanie priečných profilov;
- vytvorenie digitálneho modelu terénu (so zohľadnením líniových diskontinuit, ako sú budovy, hrádze, svahy alebo násypy, ktoré môžu výrazne ovplyvniť rozsah zaplavovaných území);
- zadanie parametrov mostných a hydrotechnických objektov (stanovenie prvkov dôležitých z hľadiska hydraulického modelovania, ako sú koeficienty kontrakcie, prietoku alebo strát, najmä pri mostoch a hydrotechnických stavbách);
- určenie hodnôt koeficientov drsnosti (základný parameter na kalibráciu hydrodynamického modelu);
- definovanie okrajových podmienok modelovania súvisiacich s hydrogramami vodných stavov;
- kalibrácia modelu (vykonávaná pre konkrétnu povodňovú udalosť, pre ktorú je známy časový a priestorový priebeh prietokov a vodných stavov; spočíva v nastavení parametrov modelu tak, aby zodpovedali historickej povodni);
- verifikácia modelu.

Vstupné údaje pre hydraulické modelovanie zahŕňajú:

- topografické údaje – digitálny model terénu,
- hydrologické údaje – prietoky a vodné stavy,
- meteorologické údaje – intenzita a rozloženie zrážok,
- infraštruktúrne údaje – mosty, hrádze, priehrady, odvodňovacie systémy,
- údaje o využití územia – vegetácia, zástavba, pôdy.

Na komplexnejšie posúdenie povodňového rizika sa používajú hydraulické modely integrované s hydrologickými modelmi. Umožňuje to komplexnú analýzu vodných tokov, ktorá je nevyhnutná pri hodnotení povodňového ohrozenia. Hydrologické modelovanie je podporované GIS softvérom a špecializovanými programami na simuláciu procesov kolobehu vody, ako napríklad HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) alebo SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

Veľmi dôležitými prvkami ovplyvňujúcimi kvalitu hydraulického a hydrologického modelovania sú presné DMT (digitálny model terénu) a DMPT (digitálny model pokrytia územia).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Digitálne modely terénu sú založené na údajoch:

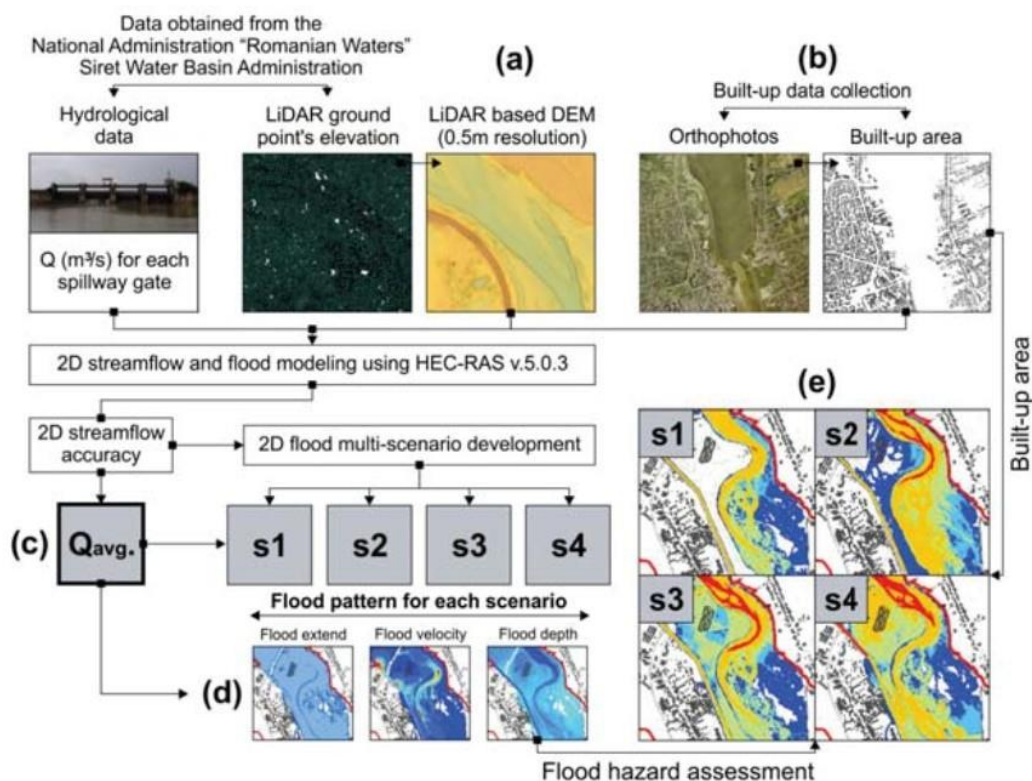
- terénne merania s využitím nivelátorov a GPS prijímačov,
- laserové skenovanie (LiDAR) využívajúce laserový skener, ktorý vysielá impulzy a meria čas ich návratu po odraze od zemského povrchu (letecké aj pozemné skenery),
- digitalizácia topografických máp (prevod analógových máp do digitálnej podoby),
- fotogrametrické merania (spracovanie leteckých a pozemných snímok na získanie presných výškových údajov),
- radarové snímky poskytujúce informácie o výške terénu (napr. údaje z misie SRTM – Shuttle Radar Topography Mission).

Základným DMT v Poľsku je model v mriežke 1×1 m, vytvorený na základe leteckého laserového skenovania (Airborne Laser Scanning – ALS), a v mestských oblastiach aj na základe stereoskopických meraní v rámci tvorby ortofotomáp s rozlíšením 10 cm a menej (geoportal.gov.pl). Na základe lidarových údajov boli vytvorené aj DMPT, ktoré obsahujú informácie o využití územia.

Hydrologické a meteorologické údaje pochádzajú z meracích staníc prevádzkovaných štátnou hydrometeorologickou službou alebo z lokálnych monitorovacích systémov iných subjektov. Technologický pokrok umožnil využitie IoT senzorov na meracích staniciach. IoT senzory umožňujú fyzickým objektom výmenu údajov, automatizáciu procesov a vzájomnú komunikáciu medzi sebou aj s centrálnymi systémami.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

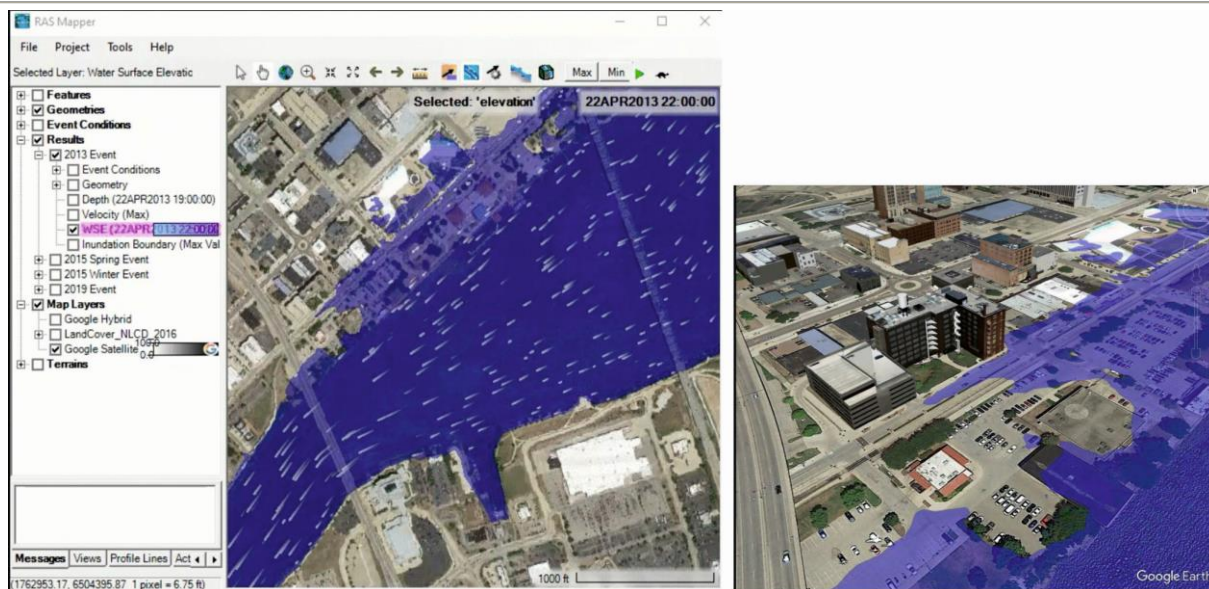


Obrázok 1. Príklad schémy postupu v procese 2D modelovania priebehu povodne v programe HEC-RAS s cieľom zlepšiť mapy povodňového ohrozenia v mestskom prostredí.

- (a) generovanie DMT (angl. DEM) na základe údajov LiDAR;
- (b) manuálna digitalizácia budov;
- (c) tvorba štyroch 2D scenárov (s1–s4) so zohľadnením rôznych prietokov;
- (d) generovanie priebehu povodne pre každý vypočítaný scenár a export jednotlivých vrstiev (napr. rozsah zaplavenia, rýchlosť prúdenia, hĺbka vody);
- (e) hodnotenie povodňového ohrozenia na základe získaných údajov a klasifikácie hĺbky (Mihu-Pintilie et al., 2019).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 2. Pohľad na rieku Illinois v Peorii (štát Illinois) počas povodne v roku 2013, získaný pomocou hydraulického modelu (HEC-RAS) horného toku rieky Mississippi. Vedľa je vizualizácia časti územia v 3D zobrazení Google Earth.

<https://www.mvr.usace.army.mil/Missions/Flood-Risk-Management/UMRS-Hydraulic-Model-Update/>

B. Opis výhod a nevýhod metódy

Vďaka simuláciám je možné predpovedať extrémne hydrologické javy, čo umožňuje prijať vhodné preventívne opatrenia a minimalizovať škody. Využitie hydrologických a hydraulických modelov umožňuje efektívne navrhovať kľúčové prvky infraštruktúry, ako sú mosty, priepusty, odvodňovacie systémy, retenčné nádrže či protipovodňové hrádze. Pomocou týchto nástrojov je možné optimalizovať parametre navrhovaných objektov a analyzovať rôzne scenáre, čím sa dosahujú najvhodnejšie riešenia. Modelovanie tiež umožňuje vizualizáciu ohrozenia, čo uľahčuje prípravu stratégií pre prípad povodne. Medzi výhody patrí aj veľký počet odborníkov v oblasti hydrologického modelovania a široká dostupnosť bezplatného softvéru.

Na druhej strane, vytvorenie presného hydraulického modelu je časovo náročný a komplexný proces. Vyžaduje zber detailných údajov, ich analýzu a následnú kalibráciu modelu. Presnosť modelu závisí od kvality vstupných dát – nepresné alebo neúplné údaje môžu viesť k nesprávnym výsledkom a znížiť spoľahlivosť modelu. Hydraulické modely je potrebné pravidelne aktualizovať, aby zohľadňovali zmeny v infraštruktúre a životnom prostredí; v opačnom prípade môže dôjsť k nepresnostiam a chybným záverom.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

C. Posúdenie vhodnosti použitia metódy

Moderné počítačové modely umožňujú efektívnejšie riadenie povodňového rizika a prijímanie adekvátnych ochranných opatrení. Výhodou tejto metódy je možnosť modelovať ľubovoľné územie podľa aktuálnych potrieb. V každom okrese sa nachádzajú oblasti náchylné na zaplavenie v dôsledku intenzívnych zrážok alebo zvýšených prietokov riek. Modelovanie vybraných území môže byť založené na priebežne aktualizovaných databázach topografických, hydrologických, meteorologických a infraštruktúrnych údajov. To umožňuje presnejšie predpovede v prípade ohrozenia a tým aj účinnejšie znižovanie negatívnych následkov povodní.

II. Ekologické metódy zmierňovania následkov povodní – prirodzená retencia

Medzi najúčinnnejšie metódy ochrany pred povodňami patrí umelá povodňová retencia, teda dočasné zadržiavanie nadbytočnej vody (a znižovanie kulminačného prietoku) v nádržiach. Ako už bolo uvedené, najefektívnejšie sú suché poldre (suché retenčné nádrže), ktorých celý objem je určený na zachytenie povodňovej vlny. Podobnú funkciu plnia aj poldre v ohradených riečnych dolinách. Skúsenosti z nedávnych povodní v povodiach Odry a Visly však ukazujú, že možnosti riadenej umelej retencie sú obmedzené. Dôvodom je najmä relatívne malá kapacita nádrží v porovnaní s objemom povodňovej vlny. Vplyvom klimatických zmien a postupného zanášania nádrží sa ich schopnosť zmierňovať kulmináciu povodní znižuje.

Dôležitým doplnkom umelej retencie je prirodzená retencia – teda zadržiavanie vody v pôde, vegetácii, mokradiach, jazerách a prirodzených riečnych systémoch. Čím väčšia je plocha týchto prvkov, tým vyššia je schopnosť povodia dočasne zadržať vodu. Tento proces spomaľuje kolobeh vody, zlepšuje vodnú bilanciu a podporuje dopĺňanie zásob podzemných vôd. Znižuje sa rýchly povrchový odtok a zvyšuje podiel pomalšieho podpovrchového odtoku. Podobné spomalenie nastáva aj v prirodzených riečnych korytách.

Najefektívnejšou, najlacnejšou a zároveň dlhodobo udržateľnou formou ochrany pred povodňami je preto navrátenie riekam ich prirodzeného priestoru na vybraných úsekoch. Kľúčovú úlohu zohrávajú rozľahlé inundácie, mokrade, nívne lúky a lužné lesy, ktoré fungujú ako prírodná „špongia“ – spomaľujú odtok vody a zmierňujú následky povodní. Pri prirodzenom rozlievaní rieky nedochádza k poškodeniu okolia, ale naopak k podpore jeho ekologického fungovania.

V rozrastajúcich sa mestách sa čoraz častejšie vyskytujú tzv. bleskové povodne, spôsobené intenzívnymi zrážkami na nepriepustných povrchoch. V takýchto prípadoch je väčšina zrážkovej vody odvádzaná do kanalizácie, ktorá často nemá dostatočnú kapacitu, čo vedie k zaplavovaniu území a značným materiálnym škodám. Mestské povodne (urban flood) výrazne narúšajú fungovanie miest aj každodenný život obyvateľov.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Účinným riešením na zmiernenie týchto javov je tzv. modro-zelená infraštruktúra. Zahŕňa opatrenia umožňujúce zadržiavanie dažďovej vody v mieste dopadu alebo jej vsakovanie do podzemných vôd. Okrem toho prispieva k znižovaniu koncentrácie oxidu uhličitého, zlepšeniu kvality ovzdušia a zmiernovaniu efektu mestského tepelného ostrova.

A. Technický opis metód ochrany pred povodňami vrátane teoretických východísk

Renaturalizácia riek

Najefektívnejším spôsobom ochrany pred povodňami je vytvorenie tzv. „priestoru pre rieku“, čo znamená zachovanie prirodzenej šírky riečnych dolín na dlhších úsekoch. K tomu vedie proces renaturalizácie riek – teda návrat k ich pôvodnému charakteru. Renaturalizácia je proces zameraný na obnovu ekosystémov alebo na obnovu prirodzených procesov v územiach, ktoré boli degradované, poškodené alebo zničené (Gann a kol., 2019).

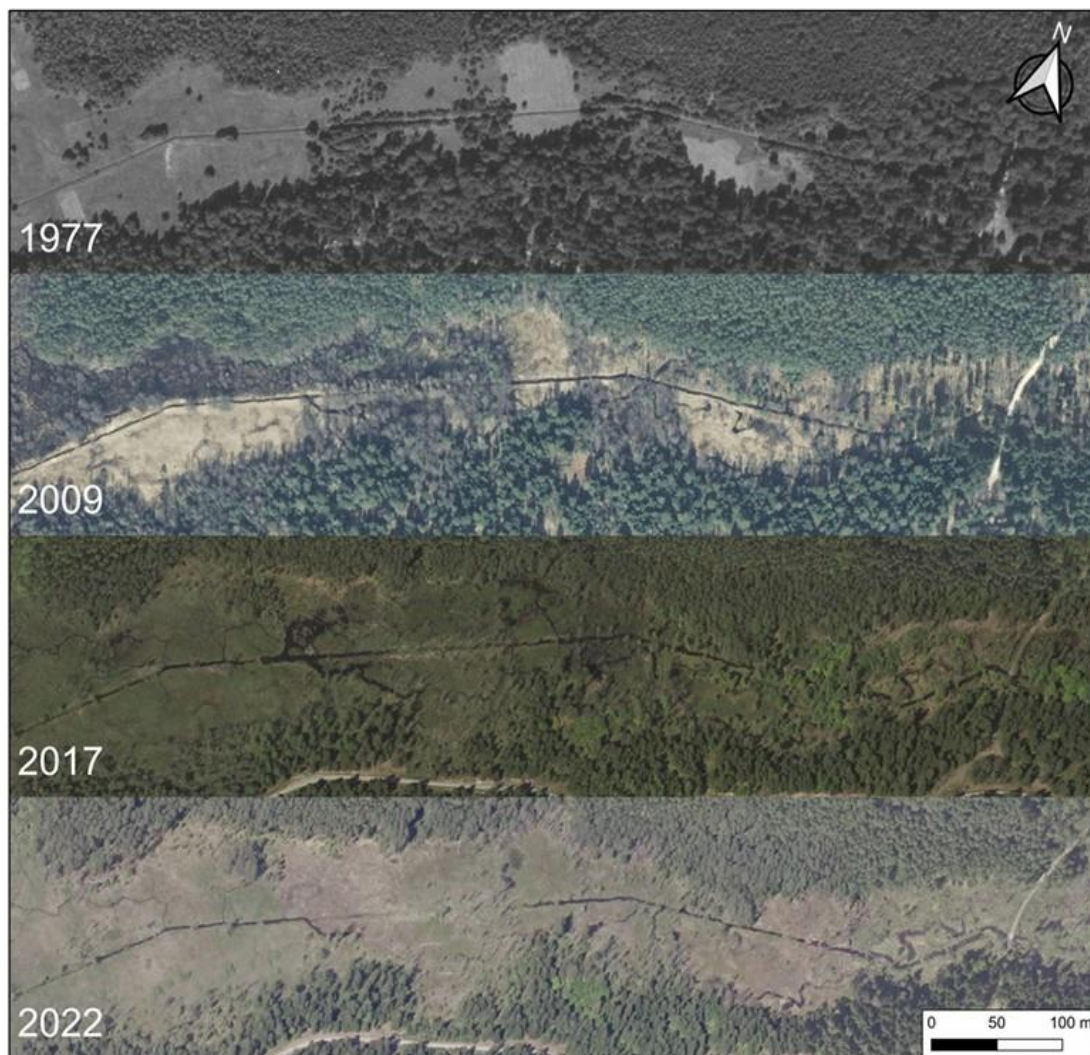
Na rozdiel od regulovaných riek sa prirodzené rieky vyznačujú týmito vlastnosťami:

- výrazná kľukatosť toku (meandrovanie) alebo viacramenný charakter (rozvetvené, anastomozujúce korytá),
- vysoká heterogenita podmienok v rieke – šírka, hĺbka, priečny profil, pozdĺžny sklon, materiál dna a brehov a typ prúdenia,
- vysoká morfordynamická aktivita, prejavujúca sa rôznorodosťou hydromorfologických jednotiek a korytových foriem,
- prítomnosť stromov a kríkov v pobrežnej zóne, ktoré zabezpečujú zatienenie koryta, stabilizáciu brehov koreňovým systémom a prítomnosť dreveného materiálu v koryte,
- zachovanie prepojenia rieky s jej nivou (Biedroń, 2020).

Renaturalizácia, teda návrat rieky k prirodzeným vlastnostiam, môže byť realizovaná rôznymi spôsobmi – s rôznou mierou zásahu do jej súčasného stavu. Jednou z možností je úplné ponechanie rieky bez zásahov, čo jej umožní prirodzený návrat k pôvodnému charakteru (Obrázok 3). Tento prístup je možný najmä na tokoch pretekajúcich lesnými územiami alebo nevyužívanou krajinou, kde nie sú obmedzenia zo strany vlastníkov pozemkov.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 3. Dolina rieky Czartosowa (Lublińské vojvodstvo). Na ortofotomapách z rokov 1977–2022 je viditeľných niekoľko procesov, ktoré možno označiť ako spontánnu renaturalizáciu. Už v roku 2002 sa dolina nevyužívala na poľnohospodárske účely. Opustenie využívania lúk spôsobilo postupnú sukcesiu lesa na pôvodne otvorených plochách. Samotná rieka však zostávala regulovaná – jej koryto bolo priame a možnosti návratu k meandrujúcemu priebehu boli obmedzené. Rieka s malými prítokmi, nízkym sklonom a malým prísunom sedimentu má obmedzenú schopnosť spontánnej renaturalizácie, pokiaľ sa v nej neobjavia bobry.

Na sledovanom úseku vznikla veľká bobria hrádza v rokoch 2010 alebo 2011, ktorá prehradila regulované koryto aj časť doliny. V nasledujúcich rokoch pribudli ďalšie bobrie hrádze. Voda sa

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

vrátila do pôvodných, predtým odrezaných meandrov, pričom hlavný prúd naďalej pretekal regulovaným korytom. Spolu s prúdom bol transportovaný sediment – piesok a organické bahno. Postupná akumulácia materiálu v koryte spôsobila, že na niektorých úsekoch rieka začala opäť tiecť obnovenými meandrami, zatiaľ čo regulované koryto bolo miestami zanesené. Hustý les, ktorý vznikol po opustení kosenia lúk, bol v dôsledku zvýšenia hladiny vody nahradený otvorenými a poloopenými mokradňovými biotopmi (Bednarek a Tworek Ł., 2024).

Renaturalizácia riek sa však zvyčajne realizuje prostredníctvom plánovaných technických opatrení, ktorých cieľom je zvýšenie biodiverzity riečného prostredia. V rámci týchto opatrení sa do koryta vkladajú prvky podporujúce tvorbu biotopov, napríklad balvany alebo deflektory z miestnych materiálov. Často využívaným postupom je aj obnova pôvodných meandrov, ktoré boli v minulosti od rieky oddelené (Obrázok 4).



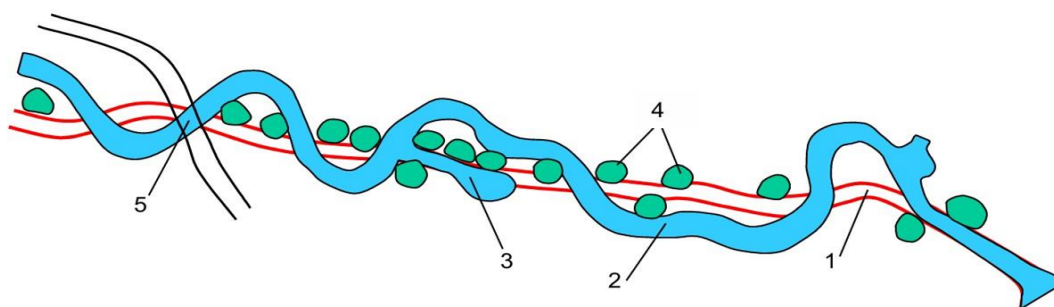
Obrázok 4. Obnova pôvodného meandrujúceho toku rieky Narewka v Białywieży prostredníctvom zablokovania prietoku v regulovanom koryte a nasmerovania vody do obnovených mŕtvych ramien (<https://inzynierbudownictwa.pl/renaturyzacja-rzek/>).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Prestavba haťových objektov a prahov na tzv. bystriny (bystrotoky), ktoré umožňujú simulovať prirodzené zmeny morfológie koryta, je taktiež súčasťou renaturalizačných opatrení. Vďaka nim je možné obnoviť prirodzenú sekvenciu prúdnych úsekov a tón. Dôležitým prvkom je aj odstraňovanie migračných bariér, teda napríklad demolácia priehrad, čo predstavuje významnú súčasť renaturalizácie riek.

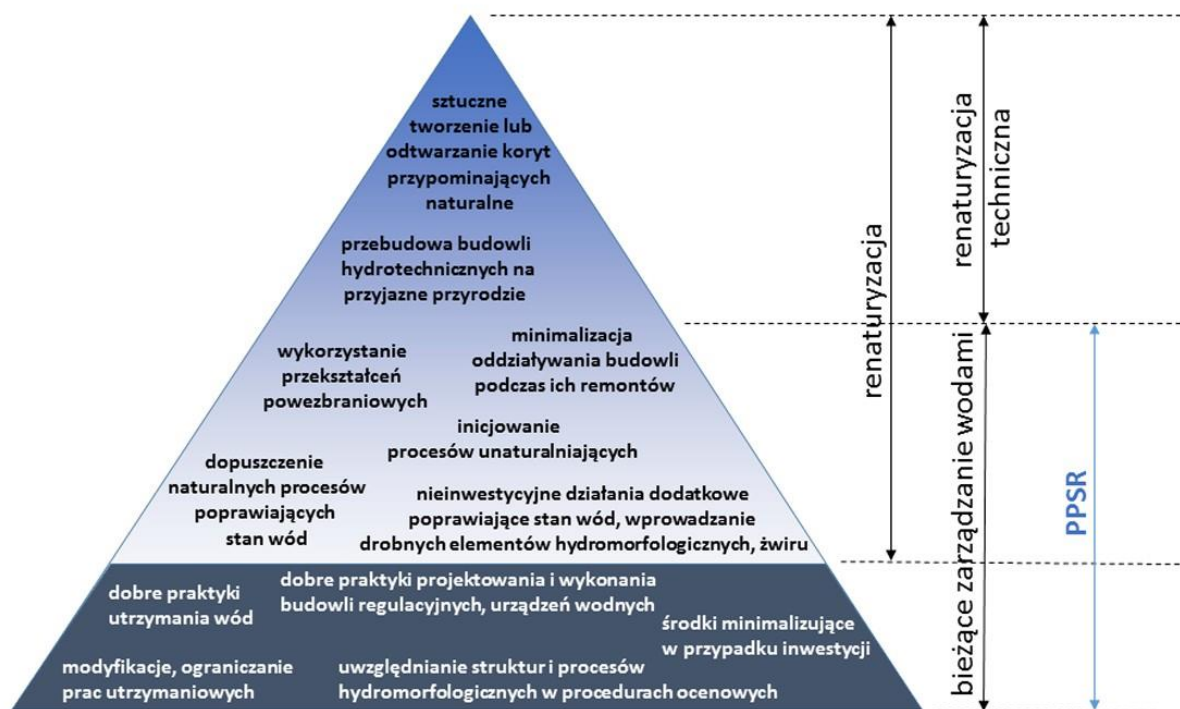
Rozsah týchto činností je veľmi široký. Okrem zásahov vyžadujúcich náročnú projektovú a administratívnu prípravu, ako je odstraňovanie vzdutí, existuje aj množstvo bežných údržbových opatrení, ktoré si nevyžadujú dodatočné povolenia ani analýzy. Patrí medzi ne napríklad obmedzenie plošného kosenia brehov a koryta riek a jeho nahradenie selektívnym odstraňovaním vegetácie na kľúčových miestach, kde hrozí vznik prekážok alebo zátarasov.



Obrázok 5. Situačný plán časti dolného úseku rieky Cole po vykonaní renaturalizácie: 1 – regulované koryto, 2 – nové koryto, 3 – zátoka, 4 – existujúce skupiny stromov a kríkov, 5 – brod na jazdeckej trase. Projekt meandrujúceho koryta zohľadňoval zachovanie existujúcich dospelých vrb, ktoré vyrástli na brehoch pôvodne regulovaného koryta (Želazo a Popek, 2002). Staré, vyrovnané koryto bolo vo väčšine zasypané a len jeho malá časť bola využitá na vytvorenie pokojovej zátoky. Dno rieky bolo navrhnuté s premenlivým sklonom v rozmedzí 1–1,35 ‰. Rozmery a tvar priečných profilov boli prispôbené horizontálnemu priebehu rieky a maximálnej kapacite koryta požadovanej pre letné zrážkové povodne. Na ochranu koryta pred hĺbkovou eróziou bol na začiatku úseku vybudovaný gabiónový prah. Stabilizačnú funkciu plnia aj dva brody umiestnené v mieste krížovania nového koryta s jazdeckou trasou. V týchto miestach bolo dno rieky a mierne sklopené svahy spevnené kamenným a štrkovým záhozom uloženým na geotextílii. Na ostatných úsekoch koryta sa prakticky nepoužili žiadne spevňujúce prvky brehov – iba na niektorých konkávných úsekoch boli vysadené stromy a svahy boli lokálne spevnené fašinovými rohožami (Bańkowska, 2010).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 6. Miesto renaturalizácie vôd v integrovanom hospodárení s vodami z hľadiska životného prostredia. PPSR = základný program renaturalizačných opatrení, ktorého implementácia by mala byť relatívne bežná, ak chceme v reálnej časovej perspektíve dosiahnuť environmentálne ciele pre vody (Biedroń, 2020).

Modro-zelená infraštruktúra

Podľa technického katalógu „Modro-zelená infraštruktúra na zmiernenie klimatických zmien“ – publikácie vydané v rámci projektu „Climate NBS Polska: Prírodou založené riešenia na adaptáciu miest na zmeny klímy“, ktorý je súčasťou Európskej klimatickej iniciatívy (EUKI), môžu byť prvkami modro-zelenej infraštruktúry retenčné rybníky, bioretenciačné jamy, bioretenciačné priekopy, infiltračné priekopy, dažďové záhrady v nádobách, zelené zastávky, zelené strechy, zelené fasády a steny, priepustné povrchy a štruktúrované podlažia.

Z hľadiska zníženia rizika podmáčania počas prudkých dažďov sú najdôležitejšie riešenia umožňujúce zadržiavanie dažďovej vody alebo jej infiltráciu do podzemných vôd – retenčné rybníky, bioretenciačné jamy a priekopy, infiltračné priekopy a priepustné povrchy.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

- **Retenčné rybníky** – nádrže s dodatočnou retenčnou kapacitou, umožňujúce zadržiavanie a čistenie dažďovej vody. Sú vytvorené v existujúcich alebo špeciálne vyhlbených depresiách a osadené vegetáciou.
- **Bioretenciačné jamy** – prehĺbenia bohato pokryté vegetáciou, kde sa zhromažďuje dažďová voda. Táto voda sa čistí vsakovaním cez vrstvy podložia. Jamy sa používajú na miestach s výrazne zhutneným povrchom a znečisteným odtokom.



Obrázok 7. Príklad schémy zberu a využitia dažďovej vody pomocou prvkov modro-zelenej infraštruktúry (<https://builderpolska.pl/2024/08/12/rewitalizacja-terenow/>).

- **Bioretenciačné priekopy** – plytké prehĺbenia porastené vegetáciou, slúžiace na lineárne odvádzanie vody. Zhromažďujú dažďovú vodu, ktorú následne postupne infiltrujú do pôdy, čím spomaľujú povrchový odtok.
- **Infiltračné priekopy** – plytké výkopy naplnené drveným kameňom, ktoré zvyšujú prirodzenú schopnosť pôdy absorbovať vodu. Prispievajú k zvyšovaniu hladiny podzemnej vody (Obrázok 8).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 8. Infiltračný priekop (vľavo) a bioretenciačné priekopy („Drogownictwo” 4/2017).

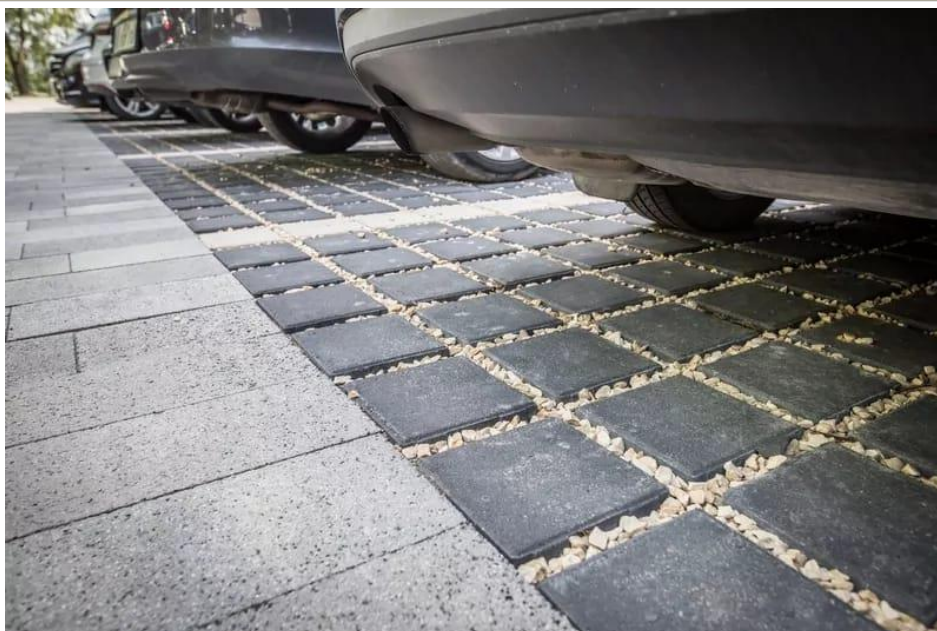
- **Priepustné povrchy** – priepustný povrch umožňuje prenikanie vody z povrchového odtoku do pôdy. Uľahčujú to otvory alebo pórovitý materiál, z ktorého je povrch vyhotovený. Existuje mnoho typov priepustných povrchov a ich konštrukcia sa významne líši podľa plánovaného použitia.

Například povrchy na chodníkoch, hrádzach, detských ihriskách či v súkromných záhradách môžu byť vyrobené z betónovej dlažby s väčšími medzerami (dilatačné škáry), z betónových roštových platní, štiepok dreva alebo štrku. Na intenzívne využívaných cestách a parkoviskách sa môžu použiť iné materiály, ako prírodný drvený kamenivo kombinovaný s syntetickými živcami, pórovitý betón, dlažba kladená s väčšími medzerami, klinkerová roštová dlažba alebo štrk (Obrázok 9).

Použitie priepustných povrchov prináša viaceré výhody: znižuje povrchový odtok, napája podzemnú vodu, filtruje znečistenia a znižuje teplotu povrchu. Týmto spôsobom sa tiež znižuje potreba budovania retenčných nádrží alebo iných systémov na zadržiavanie dažďovej vody (Iwaszuk a kol., 2019).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 9. Spôsob uloženia kocky z dlažby podporujúci infiltráciu dažďovej vody (<https://bzg.pl/poradnik/artukul/nawierzchnie-parkingowe-przepuszczalne-dla-wody/id/40892>).

V mestských oblastiach je možné určité časti verejného priestoru prispôbiť ako suché protipovodňové nádrže s veľkou kapacitou. Môžu to byť napríklad námestia, časti parkov a podobne. Takto pripravené objekty môžu účinne zabrániť zaplaveniam počas intenzívnych dažďov.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 10. Vodné námestie Bentheplein v Rotterdame (Holandsko). Postavené v roku 2013, je príkladom suchého protipovodňového zásobníka na území obytného sídliska. Počas intenzívnych dažďov dokáže pojmúť približne 2 milióny litrov vody stekajúcej z okolitých oblastí. V suchých dňoch plní zásobník funkciu otvoreného verejného priestoru, ktorý je obľúbený medzi miestnymi obyvateľmi (Suchocka a Siedlecka, 2017).

B. Popis výhod a nevýhod metódy

Prírodná retencia je proces, ktorý umožňuje zadržiavanie a hromadenie vody v ekosystéme prostredníctvom riek, mokradí, lesov, pôdy a ďalších prírodných prvkov krajiny. Je kľúčovým spôsobom zmiernenia následkov povodní a sucha a zároveň zlepšuje hospodárenie s vodnými zdrojmi. Ako každá intervencia do tak zložitého systému, má svoje výhody aj nevýhody.

Najväčšou výhodou je ochrana nízko položených oblastí pred povodňami tým, že nadbytočná voda je dočasne zadržiavaná a jej odtok spomaľovaný. Na rozdiel od umelých nádrží a hydrotechnickej infraštruktúry, prírodná retencia nevyžaduje nákladnú údržbu, a v niektorých prípadoch vôbec žiadne finančné výdavky. Okrem protipovodňovej funkcie poskytuje aj zásoby vody počas sucha, čo umožňuje udržiavať stabilnú hladinu podzemnej vody. Kvalita zachytávanej vody je vysoká, pretože mokrade, lesy a pôda fungujú ako prirodzené filtre zachytávajúce znečistenie. Prírodná retencia je dlhodobým riešením, ktoré harmonicky spolupracuje s prírodou, vytvára biotopy pre rôzne druhy rastlín a živočíchov, posilňuje ekosystémy a zvyšuje ich schopnosť adaptácie na klimatické zmeny.

Medzi nevýhody patrí potreba veľkých plôch – na účinnosť sú potrebné rozsiahle oblasti lesov, mokradí alebo záplavových území, čo môže byť obtiažne realizovateľné. Jej použitie je obmedzené v silne urbanizovaných alebo intenzívne poľnohospodársky využívaných oblastiach. Obnova

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

záplavových území môže spôsobiť dočasné zaplavenie niektorých predtým suchých oblastí, čo môže vyvolať odpor obyvateľov a farmárov.

C. Hodnotenie vhodnosti použitia metódy

Prírodná retencia patrí medzi najefektívnejšie a najekologickejšie riešenia na zlepšenie ochrany pred povodňami využívajúce prirodzené procesy. Účinnosť protipovodňovej ochrany sa dosahuje jej aplikáciou na veľkých územiach, čo nie je vždy možné. Najlepšie výsledky sa dosiahnu kombináciou prírodnej a umelej retencie. Pridanou hodnotou tejto metódy je obnova zásob podzemnej vody (proti suchu) a početné environmentálne prínosy pri nízkych nákladoch na údržbu infraštruktúry. Napriek dlhému procesu renaturizácie riek je konečný efekt priateľský pre prírodu aj človeka.

III. Využitie bezpilotných lietadiel

A. Technický popis metódy ochrany pred povodňami spolu s teoretickými predpokladmi

Bezpilotné lietadlo (BSP, ang. UAV – Unmanned Aerial Vehicle), známe aj ako dron, je pokročilý lietajúci prostriedok, ktorý nevyžaduje prítomnosť posádky na palube. Táto technológia sa dnes veľmi rýchlo rozvíja a nachádza široké uplatnenie, vrátane monitorovania povodní, mapovania terénu a podpory riadenia vodných zdrojov.

Klasifikácia dronov

Podľa konštrukcie rozlišujeme (Obrázok 11):

- **Viacrotorové lietadlá (multikoptery)** – najpoužívanejšie vďaka jednoduchosti ovládania a stabilite. Medzi nimi:
 - **quadcoptery** – 4 rotory,
 - **hexacoptery** – 6 rotorov,
 - **octocoptery** – 8 rotorov.
- **Lietadlá so pevným krídlom (Fixed-wing)** – pripomínajú tradičné lietadlá, používajú sa predovšetkým na dlhodobý a diaľkový monitoring.
- **Hybridné lietadlá (VTOL – Vertical Take-Off and Landing)** – kombinujú vlastnosti multikopterov a lietadiel so pevným krídlom, umožňujú vertikálny štart a pristátie pri súčasnej efektívnej horizontálnej plochej letovej schopnosti.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Drony sú vhodné na rýchle a presné mapovanie oblastí ohrozených povodňami, monitorovanie prietokov a zmien terénu, kontrolu infraštruktúry (mosty, hrádze, protipožiarne hrádze) a poskytovanie aktuálnych dát pre hydrologické a hydraulické modelovanie.



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

Podľa spôsobu ovládania rozlišujeme drony:

- **manuálne** – dron je ovládaný pilotom v reálnom čase,
- **poluautonómne** – čiastočne automatické ovládanie,
- **autonómne** – plne automatické riadenie, let podľa predprogramovanej dráhy.

Podľa dosahu dronov rozlišujeme:

- **krátkeho dosahu (do 5 km)** – malé a ľahké drony, prevažne na rekreačné účely,
- **stredného dosahu (5–10 km)** – vhodné pre BVLOS (let mimo dohľad pilota), vybavené senzormi, využívané na monitoring a mapovanie terénu (fotogrametria),
- **dlhého dosahu (nad 50 km)** – pohon spaľovací alebo hybridný, autonómne lety, používané v armáde aj na mapovanie.

Význam dronov v obmedzovaní následkov povodní

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Bezpilotné lietadlá hrajú kľúčovú úlohu predovšetkým tým, že umožňujú:

1. **monitorovanie priebehu povodní v reálnom čase** – sledovanie stavu vodohospodárskej infraštruktúry, zaplavených oblastí, stavu koryta rieky, čo zlepšuje kvalitu krízového riadenia,
2. **mapovanie a dopĺňanie dát o teréne a jeho zmenách** – využitie fotogrametrických dronov, laserových skenerov, fotografickej dokumentácie.

Drony sú obzvlášť užitočné pri **včasnom odhaľovaní povodňového rizika** – monitorujú hladinu vody v riekach a vodných nádržiach, odhaľujú poškodenia hrádzí či priehrad.

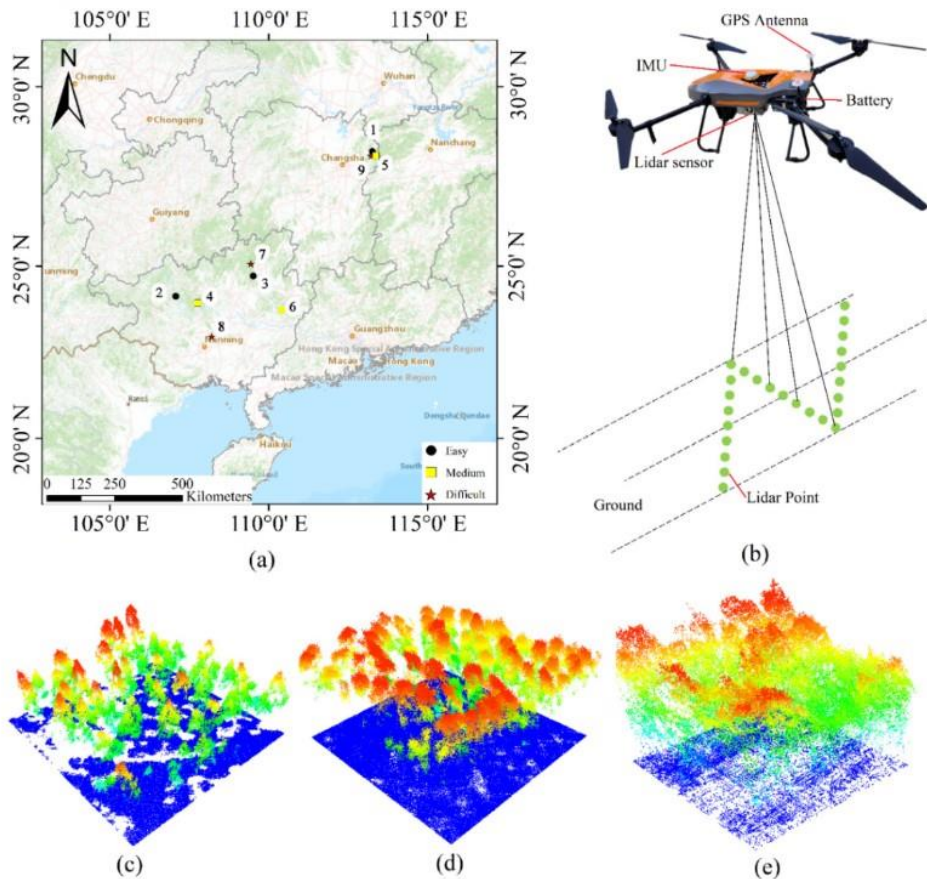
Aby dron mohol plniť rôznorodé úlohy, musí byť **multisenzorovou bezpilotnou platformou** vybavenou rôznymi obrazovými a meracími senzormi.

Medzi kľúčové senzory patrí:

- **laserový skener podporený GNSS/INS** – umožňuje získavanie presných výškových údajov (Obrázok 12),
- **fotogrametrické kamery** – umožňujú získavanie snímok pre fotogrametrické spracovanie, tvorbu výškových modelov, profilov a ortofotomáp (Obrázok 13),
- **multispektrálna kamera** – zachytáva obraz vo viditeľnom a blízkom infračervenom spektre, slúži napr. na detekciu poškodení hrádzí a miest bez vegetácie indikujúcich poškodenie (Obrázok 14),
- **monitorovacia kamera** – užitočná pri záchranných akciách,
- **termovízna kamera** – využiteľná pri záchranných akciách aj v noci (Obrázok 15).

Polska – Słowacja

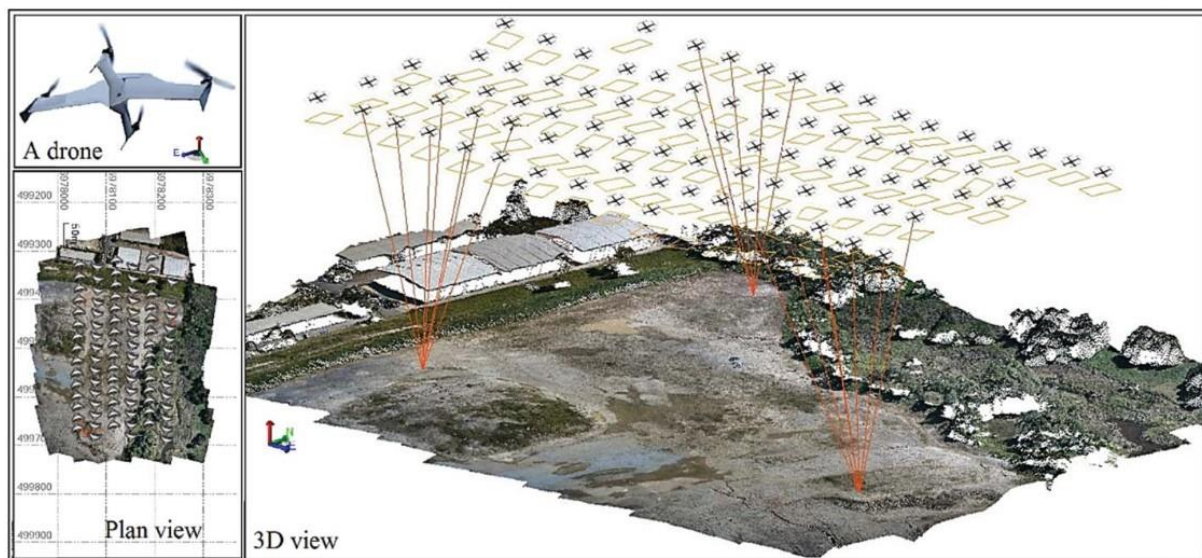
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 12. Systém UAV-LiDAR (b); (c–e) grafy s tromi typmi bodových oblakov UAV-LiDAR: easy, medium, difficult (Ma K. et al., 2022)

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 13. Schéma postupu fotogrametrického merania na stavbe. V ľavom dolnom obrázku je zobrazený pohľad zhora na stavenisko a vyznačená letová trasa nad ním. Pravý obrázok ukazuje, že kamera namontovaná na drone je nasmerovaná nadol, k zemi, aby merala 3D súradnice rozmerov (Yan Li, Chunlu Liu, 2018).



Obrázok 14. Príklad obrazu získaného kombináciou tieňovaného modelu a hipsometrických farieb – získaná detailná topografia protipovodňového valu (Kurczyński Z., Bakula K., 2016).

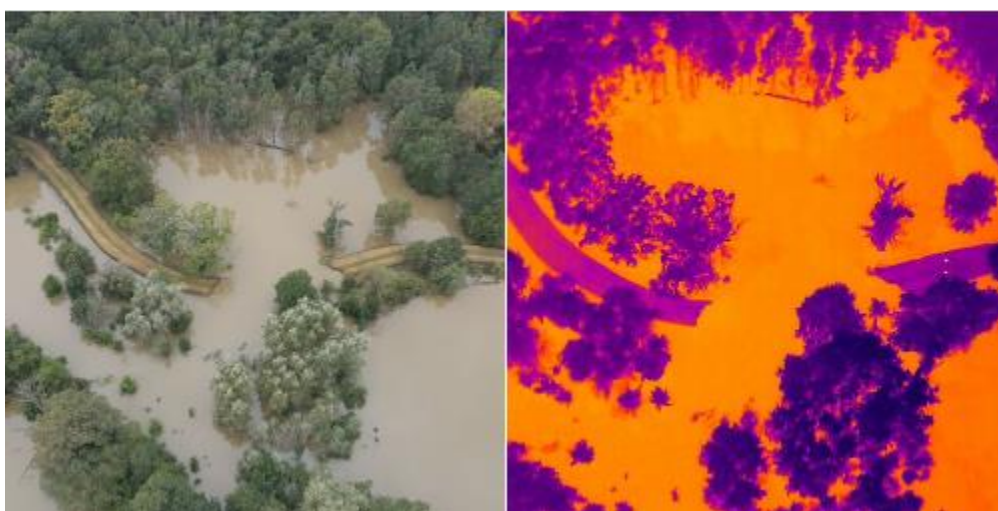
Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Obrázky získané z dronov umožňujú posúdiť rozsah a dôsledky zvýšenia vodnej hladiny sledovaním úrovne vody a predpovedaním ďalšieho šírenia povodňových vôd, identifikovať objekty poškodené povodňou alebo vytvárať ortofotomapy zaplavených území. To je možné vďaka dronom vybaveným vysokorozlišovacími kamerami a analýze fotografií v reálnom čase. Drony sú veľmi užitočné pri koordinácii práce záchranných služieb. Vybavené termovíznou kamerou pomáhajú pri detekcii osôb postihnutých povodňou, ktoré potrebujú urgentnú pomoc. Moderné kamery s optickým zoomom umožňujú prenos obrazu naživo do krízových centier a uľahčujú transport nevyhnutného záchranného vybavenia.

Pri mapovaní sú vhodné geodetické drony, najmä tie s RTK systémom (Real-Time Kinematic), ktorý zabezpečuje maximálnu presnosť pri veľmi krátkom čase získavania údajov. Drony s RTK systémom majú svetlocitlivé snímače, ktoré prispôbujú kvalitu obrazu svetelným podmienkam. Takéto zariadenia umožňujú vykonávať presné merania a 3D modelovanie pomocou fotogrametrického softvéru. Fotogrametrický prelet umožňuje získať informácie o novej infraštruktúre a nedokumentovaných formách využitia územia bez nutnosti vstupu na často nedostupný terén.

Monitorovanie zmien topografie, ktorá určuje smer odtoku vody, je obzvlášť dôležité v urbanizovaných oblastiach, kde vzniká mnoho nových investícií, ako sú ploty, násypy a pod. Zmeny vo využívaní územia v mestských oblastiach spôsobujú zmeny hydrologických podmienok. Na určenie smeru týchto zmien na relatívne malých plochách je efektívnym riešením použitie GIS nástrojov, ktoré umožňujú rýchlu identifikáciu miest, kde sa môžu vyskytnúť problémy s odvodnením územia (Szumińska i in., 2015).



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

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

B. Popis výhod a nevýhod metódy

Výhodou dronov ako bezpilotnej platformy na obmedzovanie následkov povodní je predovšetkým **rýchlosť reakcie** – počas niekoľkých minút dokážu poskytnúť dáta z oblasti zasiahnutej povodňou bezpečne, bez ohrozenia ľudských životov. Dáta získané z dronov, vďaka technicky pokročilým senzorom, sú presné a umožňujú rôznorodé analýzy v reálnom čase.

Okrem toho sú drony **viackrát lacnejšou a často technicky lepšou alternatívou** k vrtuľníkom alebo lietadlám. Drony predstavujú **budúcnosť ochrany pred povodňami** – umožňujú lepšie prognózy, efektívnejšie záchranné operácie a dlhodobé plánovanie ochrany pred povodňovými živlami.

Hoci drony ponúkajú mnoho výhod, ich použitie v ochrane pred povodňami prináša aj určité **obmedzenia a výzvy**. Hlavné nevýhody dronov sú:

- **Obmedzený čas letu a dosah** – väčšina dronov funguje na batérie, ktoré umožňujú lety trvajúce 20–60 minút. Pri dlhších misiách je nutná častá výmena batérií alebo použitie väčšieho počtu dronov. Dosah letu je zvyčajne limitovaný na niekoľko kilometrov, čo môže byť problém pri monitorovaní rozsiahlych záplavových území.
- **Citlivosť na poveternostné podmienky** – silný vietor, intenzívne dažde alebo sneh môžu znemožniť let dronu alebo výrazne znížiť kvalitu získaných dát.
- **Potrebná odborná obsluha** – ovládanie pokročilých dronov si vyžaduje školených operátorov. Analýza zozbieraných dát, ako sú obrazy z termovíznych kamier či 3D modely, si vyžaduje špecializovaný softvér a odborné znalosti.
- **Riziko poruchy a rušenia signálu** – drony môžu v náročných podmienkach zlyhať alebo naraziť do prekážok, ako sú elektrické vedenia či stromy. V krízových situáciách môžu rušenia GPS a komunikácie sťažiť riadenie dronu.
- **Obmedzená nosnosť a funkčnosť** – štandardné drony slúžia hlavne na monitorovanie a zber dát – nie sú schopné prepravovať veľké náklady ani priamo ovplyvniť situáciu počas povodne. Záchranné drony majú limitované možnosti doručenia vybavenia kvôli malej nosnosti.
- **Náklady na nákup a prevádzku** – pokročilé drony vybavené termovíznymi kamerami, LiDARom či meteorologickými senzormi môžu byť drahé na nákup aj údržbu. Okrem toho pravidelná údržba, nákup batérií a školenie operátorov zvyšujú výdavky na dlhodobé používanie týchto zariadení.

Napriek nevýhodám sú **prínosy využitia dronov oveľa väčšie**. Technológie používané v týchto lietajúcich objektoch sa navyše rýchlo vyvíjajú (napr. umelá inteligencia), vďaka čomu sa stávajú stále dokonalejšími.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

C. Hodnotenie použiteľnosti metódy

Drony sa stávajú čoraz populárnejším nástrojom v boji proti povodňam, podporujú preventívne opatrenia, monitorovanie krízových situácií a riadenie následkov týchto udalostí. Hoci ich účinnosť závisí od mnohých faktorov, ako sú poveternostné podmienky, dostupnosť zariadení či technické obmedzenia, drony predstavujú **veľmi užitočný a nenahraditeľný nástroj ochrany pred povodňami**.

Výhody použitia inovatívnych metód ochrany pred povodňami v porovnaní s konvenčnými riešeniami používanými samosprávami na území podpory

Použitie moderných metód ochrany pred povodňami predstavuje predovšetkým **dlhodobú investíciu**, ktorá vedie k zvýšeniu bezpečnosti obyvateľov, ich majetku a majetku samospráv, ako aj k zníženiu nákladov na údržbu protipovodňovej infraštruktúry.

Výhody metódy hydraulického modelovania povodní:

- **Lepšie priestorové plánovanie** – umožňuje presné vyznačenie oblastí ohrozených povodňou a prispôsobenie územného plánu.
- **Rýchlejšia reakcia na hrozby** – umožňuje predikciu hladín vôd na základe simulácií a aktuálnych meteorologických údajov.
- **Optimalizácia investícií** – hodnotenie efektívnosti rôznych metód ochrany pred povodňami pred ich realizáciou.
- **Podpora pri získavaní finančných prostriedkov** – podrobné analýzy rizika povodní uľahčujú žiadanie o zdroje z európskych a národných programov.
- **Zvýšenie bezpečnosti obyvateľov** – presnejšie predpovede umožňujú skoršie varovanie a evakuáciu ľudí.

Výhody použitia prirodzenej retencie v povodiach:

- **Nižšie náklady na ochranu pred povodňami** – prirodzené metódy sú lacnejšie na údržbu než hydrotechnická infraštruktúra.
- **Obmedzenie dôsledkov povodní a sucha** – spomaľuje odtok vody, znižuje riziko náhlych prítalových povodní a zabezpečuje prístup k vode počas suchých období.
- **Zlepšenie kvality životného prostredia** – podporuje biodiverzitu, zväčšuje zelené plochy a zlepšuje kvalitu vody.
- **Zvýšenie atraktivity regiónu** – nové rekreačné plochy, ako sú obnovené mokrade a parky, môžu prilákať turistov a investorov.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

- **Podpora klimateknej politiky** – prirodzená retencia pomáha adaptácii na klimatické zmeny, čo je dôležité v kontexte národných a európskych stratégií.

Výhody využitia bezpilotných lietadiel (dronov) v ochrane pred povodňami:

- **Bleskové monitorovanie hrozieb** – drony umožňujú rýchle skenovanie záplavových území a identifikáciu miest vyžadujúcich zásah.
- **Presné analýzy v reálnom čase** – umožňujú zaznamenávať hladiny vôd, hodnotiť stav hrádzi a lokalizovať zaplavené oblasti.
- **Bezpečnosť záchranných služieb** – umožňujú posúdiť situáciu bez vysielania ľudí do nebezpečných miest.
- **Nižšie náklady na monitoring** – predstavujú lacnejšiu alternatívu k lietadlám a vrtuľníkom pri dohľade nad riekami a ohrozenými územiami.
- **Podpora pri plánovaní a obnove** – fotografie a 3D modely vytvorené dronmi pomáhajú hodnotiť následky povodní a plánovať budúce ochranné investície.

Zhrnutie:

Kombinácia týchto moderných metód umožní samosprávam územia podpory **efektívnejšie a lacnejšie chrániť obyvateľov, minimalizovať škody na infraštruktúre a efektívnejšie riadiť vodné hospodárstvo.**

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., Horsk-Schwarz S., Jusik S., Klósek K., Krzysiński K., Ligęza L., Łopuszek 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.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

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., Bakula 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