

Inštrukcia 2.

NÁVOD NA VYKONANIE ANALÝZY POVODŇOVÉHO RIZIKA POMOCOU MODERNÝCH METÓD V OBLASTI PODPORY

Obsah

ÚVOD	3
METODIKA SPRACOVANIA	5
1. MAPOVANIE OBLASTÍ OHROZENÝCH POVODŇAMI	6
a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy	6
b) Priebeh terénnej analýzy	6
c) Priebeh analýzy malého rozsahu	6
d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika	7
2. MONITOROVANIE POVODNÍ (METEOROLOGICKÉ A HYDROLOGICKÉ)	9
a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy	9
b) Priebeh terénnej analýzy	10
c) Priebeh analýzy malého rozsahu	10
d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika	11
3. HYDRAULICKÉ A HYDROLOGICKÉ MODELOVANIE	12
a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy	12
b) Priebeh terénnej analýzy	14
c) Priebeh analýzy malého rozsahu	14
d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika	14
4. POUŽÍVANIE BEZPILOTNÝCH LIETADIEL	17
a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy	17
b) Priebeh terénnej analýzy	18
c) Priebeh analýzy malého rozsahu	20
d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika	20
LITERATÚRA	22

ÚVOD

Povodne spôsobujú jedny z najväčších škôd spomedzi mimoriadnych udalostí, ktoré sa vyskytujú v našej krajine. Za ochranu pred povodňami je zodpovedná štátna správa a všetky úrovne miestnej samosprávy. Ochranu pred povodňami v Poľsku upravuje niekoľko právnych predpisov a stratégií, ktorých cieľom je minimalizovať následky povodní. Najdôležitejšie právne akty a dokumenty týkajúce sa tejto problematiky sú:

- **Zákon č. 364/2004 z 13. mája 2004 – o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon)**
 - Zákon o vodách upravuje ochranu pred povodňami prostredníctvom stanovenia povodňových území, určenia záplavových zón, vyhotovovania povodňových plánov a stanovenia povinností pri ochrane pred povodňami a realizácii protipovodňových opatrení.
- **Zákon č. 17/1992 z 05. decembra 1991 o životnom prostredí**
 - Zákon o životnom prostredí ustanovuje všeobecné zásady ochrany životného prostredia vrátane predchádzania environmentálnym rizikám a povinnosti vykonávať preventívne opatrenia proti negatívnym vplyvom (vrátane povodní) na životné prostredie a ľudské zdravie.
- **Zákon č. 302/2001 z 04. júla 2001 o samospráve vyšších územných celkov (zákon o samosprávnych krajoch)**
 - Zákon o samosprávnych krajoch upravuje postavenie, pôsobnosť a orgány vyšších územných celkov (krajov), pričom im zveruje kompetencie v oblasti regionálneho rozvoja, životného prostredia, civilnej ochrany a koordinácie záchranných prác pri mimoriadnych situáciách vrátane povodní.
- **Zákon č. 387/2002 z 21. júna 2002 o riadení štátu v krízových situáciách mimo času vojny a vojnoveho stavu**
 - Zákon o riadení štátu v krízových situáciách upravuje systém riadenia a koordinácie opatrení pri krízových situáciách (vrátane povodní a živelných pohrôm), ustanovuje právomoci štátnych orgánov, samosprávy a Ústredného krízového štábu a definuje režimy krízových situácií vrátane vyhlásenia núdzového stavu.
- **Zákon č. 200 z 27. apríla 2022 o územnom plánovaní**
 - Zákon o územnom plánovaní upravuje priestorové usporiadanie a funkčné využívanie územia, pričom pri plánovaní vyžaduje zohľadnenie prírodných rizík vrátane povodňového ohrozenia, ochranu zástavby pred povodňami a rešpektovanie záplavových území a protipovodňovej ochrany.
- **Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík**
 - Ustanovuje jednotný rámec pre hodnotenie a manažment povodňových rizík v EÚ, vyžaduje vypracovanie predbežného hodnotenia povodňového rizika, máp povodňového ohrozenia a povodňového rizika a plánov manažmentu povodňových

rizík s cieľom znížiť negatívne dôsledky povodní na ľudské zdravie, životné prostredie, kultúrne dedičstvo a hospodársku činnosť..

Na Slovensku je podľa Ministerstva životného prostredia SR takmer 3000 kilometrov vodných tokov, na ktorých je identifikovaná potenciálna hrozba povodne.

Na účinné riadenie povodňových rizík je potrebná spolupráca medzi rôznymi inštitúciami, ako sú štátna správa, miestne orgány a mimovládne organizácie. Vyžaduje si to aj znalosti o tom, ako znížiť negatívne účinky extrémnych udalostí, medzi ktoré patria aj povodne. Cieľom tejto štúdie je poskytnúť časť informácií o metódach, ktoré pomôžu chrániť ľudí a majetok pred škodlivými účinkami povodní. Tieto poznatky môžu byť užitočné pre predstaviteľov samosprávy, ako aj pre jednotlivých obyvateľov miest, obcí a okresov žijúcich v ohrozených oblastiach.

METODIKA SPRACOVANIA

Spracovanie vzniklo na základe materiálov dostupných na internetových stránkach. Boli identifikované rôzne metódy analýzy povodňového rizika využiteľné v oblasti podpory na území Poľska a na území Slovenska.

Okresy v Poľsku: v Sliezskej vojvodstve: Pszczyński, Cieszyński, Bielski, mesto s právami okresu Bielsko-Biala, Żywiecki, v Malopoľskej vojvodstve: Olkuski, Chrzanowski, Oświęcimski, Wadowicki, Suski, Myślenicki, Tatrzański, Nowotarski, Limanowski, Nowosądecki, mesto s právami okresu Nowy Sącz, Gorlicki, v Podkarpatskej vojvodstve: Bieszczadzki, Leski, Sanocki, Brzozowski, Krośniński, mesto s právami okresu Krosno, Jasielski, Rzeszowski, mesto s právami okresu Rzeszów, Przeworski, Przemycki, mesto s právami okresu Przemyśl, Jarosławski, Lubaczowski.

Okresy na Slovensku: v Žilinskom samosprávnom kraji: Čadca, Kysucké Nové Mesto, Bytča, Žilina, Martin, Turčianske Teplice, Ružomberok, Dolný Kubín, Námestovo, Tvrdošín, Liptovský Mikuláš, v Prešovskom samosprávnom kraji: Poprad, Kežmarok, Stará Ľubovňa, Levoča, Sabinov, Bardejov, Svidník, Prešov, Vranov nad Topľou, Stropkov, Medzilaborce, Humenné, Snina, v Košickom samosprávnom kraji: Spišská Nová Ves.

Zámerom tohto spracovania podľa objednávky bola príprava pokynov na vykonávanie analýz pomocou moderných metód pri povodňovom riziku. Počas spracovania sa využívala aj dostupná literatúra, ktorej zoznam je umiestnený na konci spracovania.

Spracovanie bolo vykonané podľa nasledujúcej schémy vyplývajúcej z opisu predmetu objednávky:

- a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy
- b) Priebeh terénnej analýzy
- c) Priebeh analýzy malého rozsahu
- d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika

1. MAPOVANIE OBLASTÍ OHROZENÝCH POVODŇAMI

a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy

Mapovanie oblastí ohrozených povodňami pozostáva z určenia oblastí ohrozených zaplavením povodňovými vodami. V súčasnosti sa pri tomto mapovaní využívajú digitálne ortofotomapy a databázy topografických objektov, ako aj numerické modely terénu a numerické modely krajiny pokrývky založené na údajoch z meraní získaných leteckým laserovým skenovaním (LiDAR). Realizácia projektu umožnila okrem iného získať presné údaje LiDAR z takmer celého územia krajiny a vykonať matematické a hydraulické modelovanie transformácie povodňovej vlny a porúch hrádzi pre všetky rieky, na ktoré sa projekt vzťahuje.

b) Priebeh terénnej analýzy

Mapy obsahujú dáta získané aj terénnym zebrom dát. Tieto mapy zahŕňajú:

- odhadovaný počet obyvateľov, ktorí môžu byť postihnutí povodňami;
- obytné budovy a budovy osobitného spoločenského významu (napr. nemocnice, školy, škôlky, jasle, hotely, nákupné centrá a centrá služieb, domovy sociálnej starostlivosti, väznice, záchranné centrá, policajné jednotky);
- druhy hospodárskych činností vykonávaných v oblastiach ohrozených povodňami vo forme tried využitia pôdy (pôda: obytné, priemyselné, dopravné, rekreačné a oddychové oblasti; lesy, orná pôda a trvalé kultúry, trávnaté plochy, povrchové vody);
- oblasti a objekty kultúrneho dedičstva;
- zariadenia, ktoré môžu v prípade povodne spôsobiť významné znečistenie jednotlivých prírodných prvkov alebo životného prostredia ako celku;
- chránené územia (odbery povrchových a podzemných vôd, ochranné pásma odberov vody, oblasti kúpania, lokality Natura 2000, národné parky a prírodné rezervácie, zoologické záhrady;
- potenciálne ohniská znečistenia vody v prípade povodní (t. j. priemyselné podniky, čističky odpadových vôd, čerpace stanice odpadových vôd, skládky odpadov, cintoríny).

c) Priebeh analýzy malého rozsahu

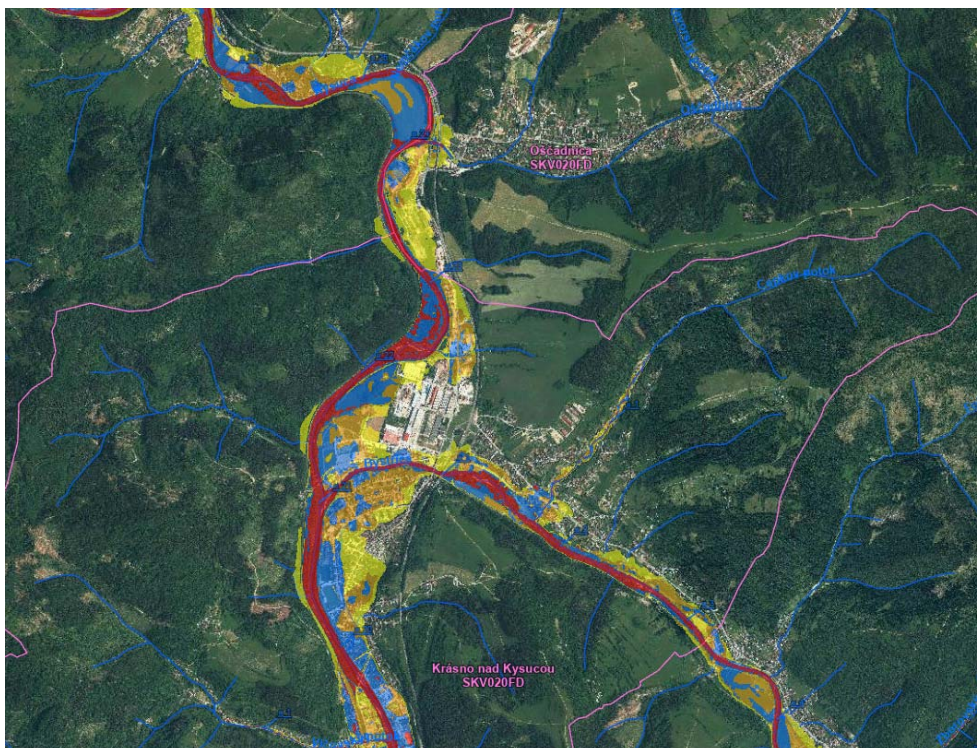
Mapovanie je možné použiť pre aplikácie ľubovoľného rozsahu.

d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika

Najväčšou výhodou tejto metódy je široká dostupnosť jej výsledkov. MPO a MPR boli zverejnené na internete, vďaka čomu sú dostupné každému občanovi. Možno si ich prezerať priamo v priestorových informačných systémoch (geoportály) a jednotlivé listy si možno stiahnuť v mierke 1 : 10 000, napr. vo formáte pdf alebo geotiff. K dispozícii sú aj vektorové vrstvy vo formáte shapefile, ktoré možno použiť na rôzne priestorové analýzy pomocou nástrojov GIS. Na šírenie informácií o povodňových rizikách v krajinách Európskej únie kladie veľký dôraz smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík (smernica o povodniach). Používanie týchto máp je bezplatné, čo je nepochybne výhodou.

Za osobitnú pozornosť stojí aj skutočnosť, že verejnosti sú k dispozícii simulácie rozsahu povodní v prípade zničenia hrádzi alebo priehradných zariadení, čím sa zvyšuje informovanosť obyvateľov žijúcich v potenciálne povodňami ohrozených oblastiach o možných následkoch zničenia/poškodenia uvedených vodohospodárskych zariadení.

Výsledky mapovania oblastí náchylných na povodne a s nimi spojené negatívne účinky na ľudí a ich majetok sú k dispozícii na geoportáloch jednotlivých obcí a okresov na Slovenskej časti projektového územia. Príklady máp vytvorených z uvedených internetových portálov sú uvedené nižšie (Obrázok 1 a 2).



Obrázok 1: Mapa vygenerovaná z priestorového informačného systému pre oblasť Krásna nad Kysucou a Oščadnice so zobrazením povodňového ohrozenia. (<https://mpt.svp.sk>).



Obrázok 2: Mapa vygenerovaná z priestorového informačného systému pre oblasť Krásna nad Kysucou a Oščadnice so zobrazením povodňového rizika. (<https://mpt.svp.sk>).

2. MONITOROVANIE POVODNÍ (METEOROLOGICKÉ A HYDROLOGICKÉ)

a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy

Monitorovanie povodní je systém varovania pred povodňami využívajúci meteorologické a hydrologické monitorovanie. Spočíva v systematickom a nepretržitom získavaní a analýze informácií o zrážkach a hladinách vody v riekach s cieľom predpovedať výskyt extrémnych hydrologických javov. Umožňuje presné rozhodovanie v núdzových situáciách vrátane záchrany zdravia a životov ľudí a ochrany ich majetku. Pomáha varovať pred povodňovými rizikami, čo má vplyv na obmedzenie následkov veľkých privalových dažďov.

Mimoriadne nebezpečné sú privalové povodne spôsobené intenzívnymi dažďami. Na ich zisťovanie sa podieľajú predovšetkým satelity, radary a zrážkomery.

Meteorologické radary sú moderné zariadenia, ktoré sa používajú na výskum atmosféry na zisťovanie, pozorovanie a analýzu zrážok a iných poveternostných javov. Fungujú na princípe vysielania rádiových vĺn a analýzy ich odrazu od častíc, ako sú kvapky vody alebo kryštálky ľadu prítomné v atmosfére.

Radarová anténa vysielá prúd rádiových vĺn smerom do atmosféry, ktoré sa šíria vzduchom vysokou rýchlosťou. Keď sa stretnú s objektmi, ako sú kvapky dažďa, sneh, krúpy alebo dokonca prach, časť týchto vĺn sa odrazí späť k radaru. Sila odrazu závisí od veľkosti, typu a hustoty častíc. Radar analyzuje čas, za ktorý sa vlny vrátia k zdroju, čo mu umožňuje určiť vzdialenosť od zdroja zrážok. Okrem toho zmeny frekvencie odrazeného signálu (Dopplerov efekt) umožňujú odhadnúť rýchlosť a smer pohybu častíc. Údaje zozbierané radarom sa transformujú do vizualizácií, ktoré na farebných mapách zobrazujú intenzitu a polohu zrážok. Pomocou týchto snímok môžu výskumníci spozorovať blížiac sa búrky, fronty počasia alebo zrážky, čo im umožňuje varovať ľudí pred nebezpečnými poveternostnými podmienkami v dostatočnom predstihu.

Zrážkomery sú najpresnejším zariadením na meranie množstva zrážok v milimetroch. V súčasnosti sú to často automatické zrážkomery vybavené snímačmi, ktoré zisťujú prítomnosť a množstvo zrážok. Často sú tieto zrážkomery integrované so záznamníkmi údajov alebo telemetrickými systémami, čo umožňuje efektívne monitorovanie a prenos zozbieraných informácií.

Meteorologické satelity zohrávajú kľúčovú úlohu v systéme pozorovania a merania pre meteorológiu a hydrológiu od svojho vzniku. S rozvojom technológie satelitných senzorov sa

neustále zdokonaľujú metódy prijímania, spracovania, distribúcie a interpretácie údajov zo satelitov. Meteorologické satelity sa delia na dve hlavné kategórie: satelity obiehajúce okolo pólův a geostacionárne satelity. Obe majú svoje vlastné jedinečné vlastnosti a generujú rôzne typy údajov. Satelity na polárnych dráhach, ktoré sa pohybujú po severojužných dráhach, pozorujú ten istý bod na Zemi dvakrát denne - raz cez deň a raz v noci. Vysielajú snímky a atmosférické sondy o teplote a vlhkosti na celej Zemi. Geostacionárne satelity sú na obežnej dráhe vo výške približne 36 000 km nad rovníkom, otáčajú sa rovnakou rýchlosťou ako Zem a neustále sa zameriavajú na tú istú oblasť. Vďaka tomu môže satelit každých 30 minút urobiť snímku Zeme na tom istom mieste. Obrovskú databázu satelitných údajov, ktoré sa používajú pri meteorologickom modelovaní, má americká agentúra NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), ktorá poskytuje prístup ku globálnym environmentálnym údajom zo satelitov. V Európe bola v roku 1986 založená Európska organizácia pre využívanie meteorologických satelitov (EUMETSAT), ktorá zabezpečuje kontinuitu systému satelitného pozorovania pre meteorológiu a klimatológiu európskych krajín.

Prietok vody (prietok) je množstvo vody, ktoré pretečie prierezom koryta za jednotku času (udáva sa v m³/s alebo l/s). Prietoky v otvorených kanáloch sa merajú priamymi metódami (objemovými, fyzikálnymi, chemickými) a nepriamymi metódami (bodový prietok pomocou hydrometrického mlyna, prierezový prietok pomocou plavákov). Najrozšírenejšou a najpopulárnejšou metódou je meranie prietoku pomocou hydrometrického mlyna. V posledných rokoch sa pri týchto meraniach používajú aj moderné metódy vrátane akustických (akustické rýchlomery) a elektromagnetických (elektromagnetické rýchlomery).

b) Pribeh terénnej analýzy

Predstavuje zber dát pomocou zrážkomerov pevne inštalovaných na vybraných miestach. Ostatné merania prebiehajú diaľkovo mimo terénu.

c) Pribeh analýzy malého rozsahu

Rozsah závisí od požadovanej náročnosti riešeného problému, územia pod. a od toho sa odvíjajúceho rozsahu analyzovaných dát.

d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika

Nespornou výhodou vykonávaného monitorovania povodní je zber údajov, ktoré umožňujú vypracovanie aktuálnych a presných hydrologických predpovedí. Má tiež vplyv na schopnosť predpovedať a modelovať budúce povodne. Získavanie čoraz presnejších údajov súvisí s rozvojom moderných metód merania.

Vývoj meracej techniky na získavanie radarových údajov si vyžaduje aj zmeny v doteraz používaných postupoch výpočtu. Moderné radary s duálnou polarizáciou elektromagnetického vlnenia, ktoré boli v posledných rokoch zavedené do siete, poskytujú doteraz nedosiahnuteľné údaje o štruktúre oblakov. Je nevyhnutné vypracovať metodiku spracovania získaných radarových údajov, ktorá umožní získať kvalitatívny aj kvantitatívny opis zón oblačnosti s prítomnými zrážkami.

Problémom pri získavaní presných radarových údajov je rušenie, ktoré falšuje údaje okrem iného z radarových frekvenčných zariadení vrátane vysieláčov pre bezdrôtových dátových vysieláčov (internet). To si vyžaduje vývoj čoraz lepších systémov filtrovania rušenia s cieľom zlepšiť kvalitu získaných údajov. Systém monitorovania povodní zahŕňa množstvo meracích staníc. Potreba prístupu k údajom v reálnom čase si vynucuje zmenu tradičného spôsobu získavania údajov (napr. manuálne merania, odčítanie údajov pozorovateľom) na moderné zariadenia, ktoré umožňujú odčítanie a prenos údajov na diaľku (tzv. telemetrické snímače). Pri hustej meracej sieti, ktorá je veľmi výhodná z hľadiska kvality výsledných meteorologických alebo hydrologických predpovedí, predstavuje ich inštalácia a následná kontrola ich prevádzky značné náklady.

Veľkou výhodou zozbieraných údajov je ich široká dostupnosť vďaka ich zverejneniu prostredníctvom webových stránok.

štátna hydrometeorologická služba (Slovenský hydrometeorologický ústav- SHMÚ) na Slovensku prezentuje na svojej internetovej stránke okrem iného údaje o zrážkach a hydrologickej situácii v povodiach nachádzajúcich sa okrem iného v oblasti podpory projektu (<https://www.shmu.sk>).

3. HYDRAULICKÉ A HYDROLOGICKÉ MODELOVANIE

a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy

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 prívalovej 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.

b) Priebeh terénnej analýzy

Vstupné údaje pre analýzu sa získavajú aj z terénnych meraní. 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).

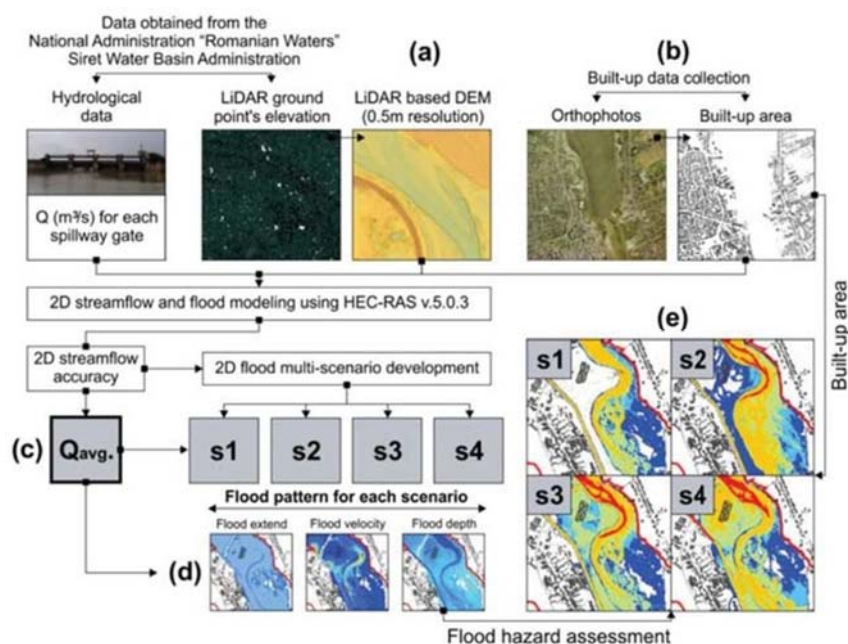
c) Priebeh analýzy malého rozsahu

Závisí od potrebného rozsahu analyzovaných dát.

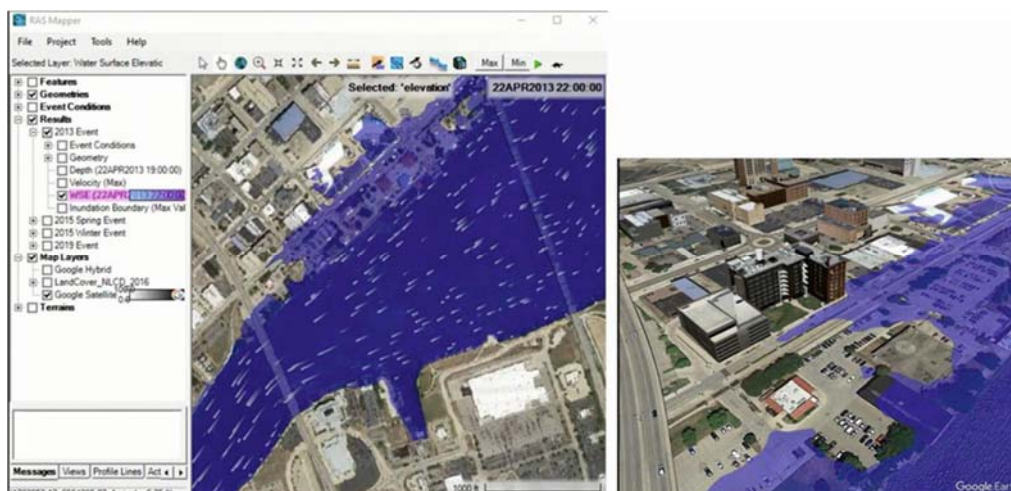
d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika

Simulácie nám umožňujú predvídať extrémne hydrologické udalosti, aby bolo možné prijať vhodné protiopatrenia 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.



Obrázok 3: 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 4: 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- Hydraulic-model-aktualizacia/](https://www.mvr.usace.army.mil/Missions/Flood-Risk-Management/UMRS-Hydraulic-model-aktualizacia/)

4. POUŽÍVANIE BEZPILOTNÝCH LIETADIEL

a) Vecný úvod, vybavenie potrebné na vykonanie analýzy

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 5: 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.

b) Priebeh terénnej analýzy

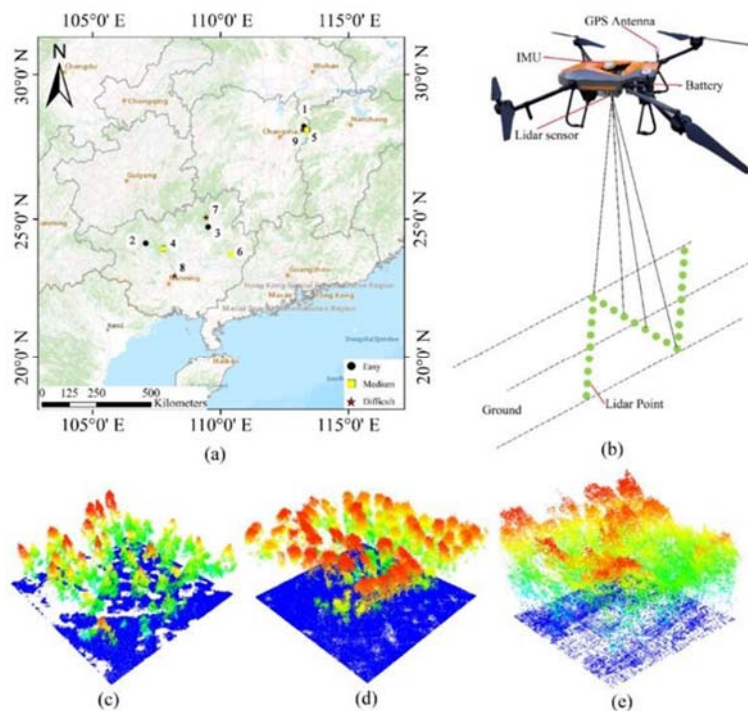
Bezpilotné lietadlá (UAV) zohrávajú veľkú úlohu pri zmiernovaní následkov povodní predovšetkým prostredníctvom:

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).

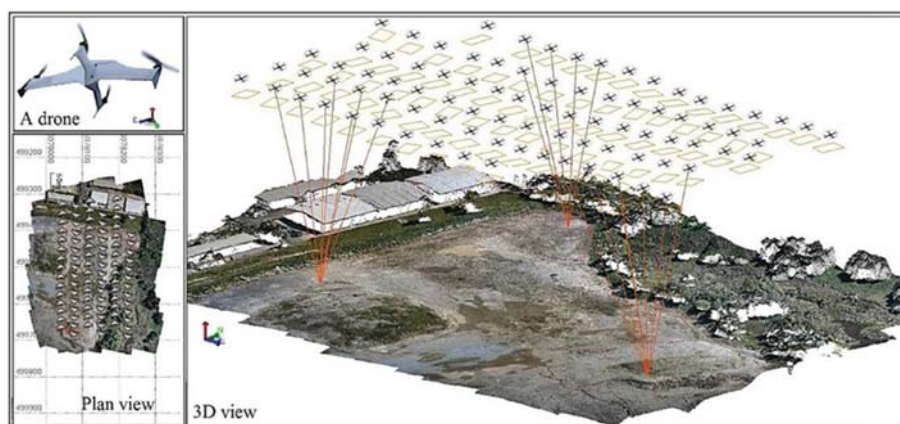
Drony sú mimoriadne užitočné pri včasnom odhaľovaní povodňových rizík - umožňujú monitorovať hladinu vody v riekach a nádržiach a zisťovať poškodenie hrádzi alebo priehrad. Aby mohol dron plniť rôzne úlohy, musí sa stať multisenzorovou bezpilotnou meracou a pozorovacou platformou vybavenou rôznymi zobrazovacími 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 získavať presné údaje o výške (Obrázok 6),
- rámová meracia kamera, ktorá umožní získať fotogrametrické snímky potrebné na ďalšie spracovanie meraní vrátane výškových modelov, prierezov alebo ortofotomáp (Obrázok 7),
- 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 8),
- pozorovacia kamera, ktorá bude užitočná počas záchranných operácií,
- termovíznu kameru, ktorá sa bude používať pri záchranných operáciách aj v noci (Obrázok 9).



Obrázok 6: Systém UAV-LiDAR (b); (c-e) diagramy s tromi typmi mračien bodov UAV-LiDAR: ľahké, stredne ťažké, ťažké (Ma K..et al., 2022).



Obrázok 7: 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 8: Príklad snímky získanej superponovaním tieňovaného modelu a hypsometrických farieb - získala sa podrobná topografia hrádze (Kurczyński Z., Bakula K., 2016).

c) Priebeh analýzy malého rozsahu

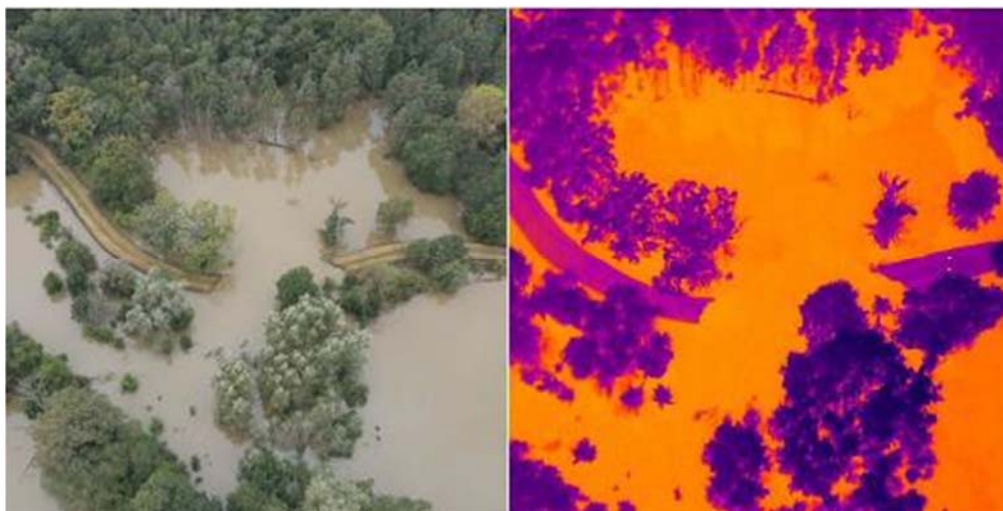
Závisí od potrebného rozsahu analyzovaných dát a požiadaviek z hľadiska rozsiahlosti posudzovaného územia.

d) Závery na základe získaných výsledkov ohľadom úrovne povodňového rizika

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 obete 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. 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 9: Obrázok z dronu s termovíznou kamerou. (<https://www.swiatdronow.pl/drony-a-powodz-na-poludni-polski-09-2024>).

LITERATÚRA

Absalon D., 2018. Nowoczesne metody monitoringu wód powierzchniowych. Monografie Śląskiego Centrum Wody, t.1 Aktualne problemy gospodarki wodnej, 71-82

Absalon D., Kubiciel P., Matysik M., Ruman M., 2015. Nowoczesne metody pomiaru przepływu w rzekach. Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, t.3, 28-43

Bednarczyk S., Jarzębińska T., Mackiewicz S., Wołoszyn E., 2006. Vademecum ochrony przeciwpowodziowej. KZGW, Gdańsk

Bednárová E., Škvarka J., Václavík P., Poárová J., 2021. Water management system Liptovská Mara – Bešeňová in the context of climate change. Acta Hydrologica Slovaca 22, 1: 5 – 21

Dorzecze Wisły: monografia powodzi maj - czerwiec 2010, pod red. M. Maciejewskiego, M. S. Ostojkiego, T. Walczykiewicza. IMGW-PIB, Warszawa 2011

Dzwonkowski K., Winnicki I., Pietrek S., 2023. Wyznaczanie natężenia opadu na podstawie danych z radarów z podwójną polaryzacją fali elektromagnetycznej. Biuletyn WAT, Vol. LXXII, Nr 1, 2023, 79-100

Gorczyca E., Krzemień K., 2010. Ewolucja systemów korytowych pod wpływem antropopresji (na przykładzie wybranych rzek karpackich [w:] Przekształcenia struktur regionalnych: aspekty społeczne, ekonomiczne i przyrodnicze, Wrocław: Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, 431-439

Kaca E., Kubrak J. (red.), 2020. Budowle i urządzenia do pomiaru przepływu wody w kanałach melioracyjnych. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 1-262

Korpak J., 2007. The influence of river training on mountain channel changes (Polish Carpathian Mountains). Geomorphology 92, 166–181

Krzemień K., Gorczyca E., Sobucki M., Liro M., Łyp M., 2015. Effects of environmental changes and human impact on the functioning of mountain river channels, Carpathians, southern Poland. Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 47 (3)

Lukáč, M., Bednárová, E., Štefanek, J., 1991. Reservoirs and water management systems. ES STU, Bratislava: pp 277.

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., Ligieza 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: „Úloha 4 Vypracovanie návodov, školiacich materiálov a máp na implementáciu moderných metód prevencie a protipatrení proti účinkom zosuvov pôdy, povodní a znečistenia ovzdušia v oblasti podpory“.

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