



## 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*

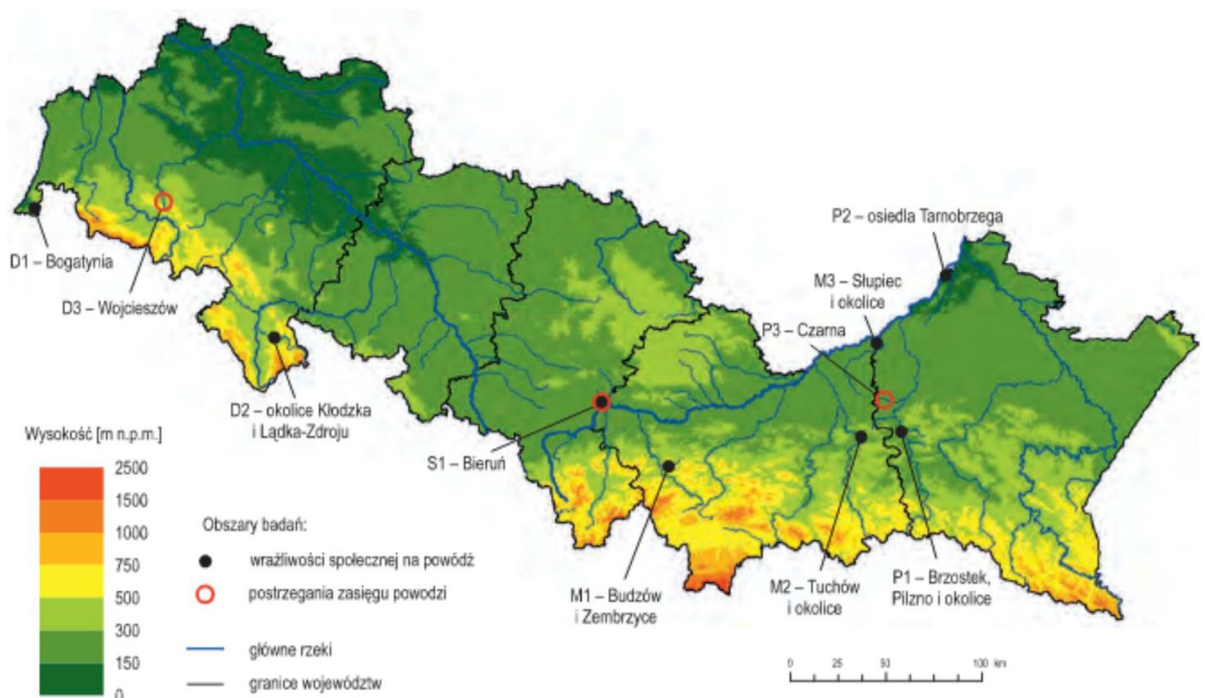
***POKYNY NA VYKONANIE HODNOTENIA RIZIKA POVODNÍ  
POMOCOU MONITOROVACÍCH SYSTÉMOV  
A VČASNÉHO VAROVANIA NA ZÁKLADE SIEŤOVÉHO SENSORA IoT  
A UMELEJ INTELIGENCIE***

***Technický popis analýzy rizika povodní pomocou monitorovacích a včasných varovných systémov založených na sieti senzorov IoT a umelej inteligencii***

*I. Pokyny na posudzovanie rizika povodní pomocou systému monitorovania a včasného varovania založeného na sieti senzorov IoT a umelej inteligencii*

### ***Krok 1. Stanovenie rozsahu a cieľov systému***

Na začiatku je kľúčové presne definovať oblasť, ktorá bude monitorovaná, aby systém fungoval efektívne a bol prispôsobený špecifikám miestnych podmienok. Je potrebné identifikovať najviac ohrozené lokality, ako sú budovy situované v riečnych údoliach, mosty a kľúčové prvky infraštruktúry, ktorých poškodenie by mohlo mať vážne následky. (Obr. 1.) Presné vymedzenie oblasti umožňuje efektívne umiestnenie senzorov a ostatných komponentov meracieho systému. Dôležité je tiež definovať ciele systému, napríklad minimálny čas upozornenia, aby varovania mohli doraziť k príjemcom skôr, ako sa hrozba stane skutočnou. Je potrebné presne určiť, ktoré typy hydrologických javov by mali byť identifikované. Budú to len povodne a záplavy, alebo aj lokálne záplavy a poruchy vodných systémov. Takýto prístup umožňuje prispôsobiť algoritmy analýzy údajov charakteristike hrozieb. Jasne stanovené ciele umožňujú tiež posúdiť efektívnosť fungovania systému v neskoršej fáze jeho používania. V dôsledku toho monitorovací systém nielen zvyšuje úroveň bezpečnosti obyvateľov, ale pomáha aj pri rozhodovaní v krízových situáciách.



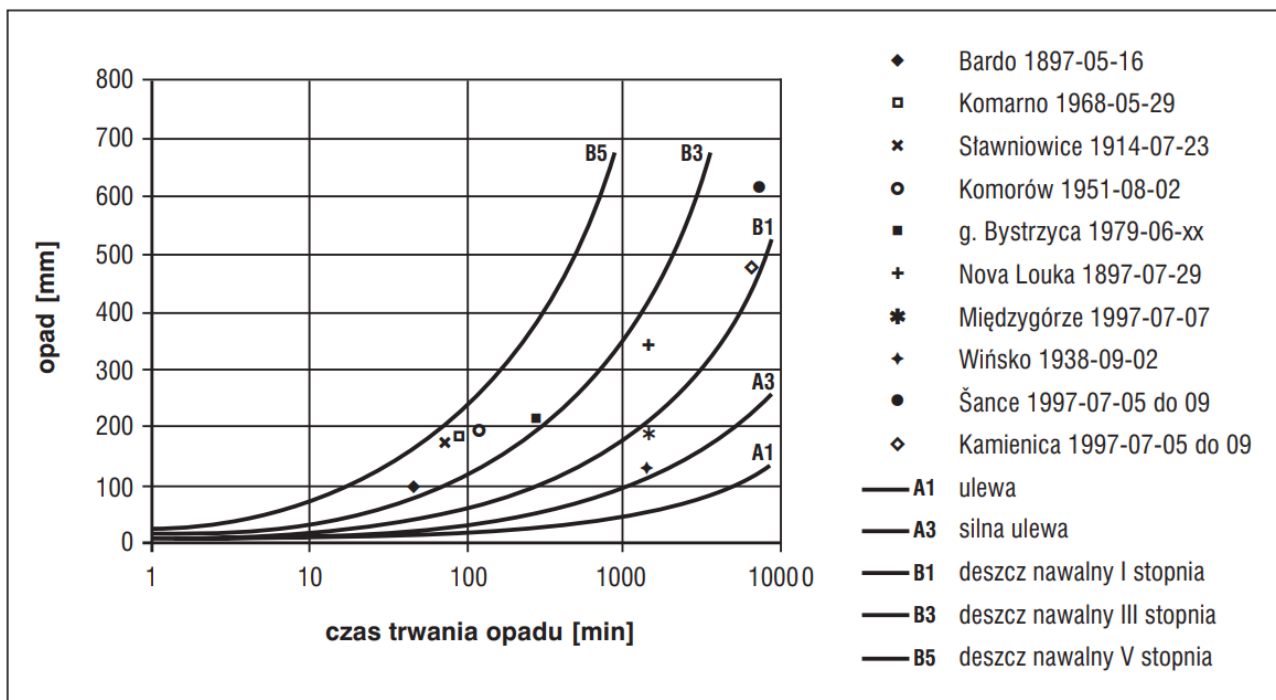
Obr. 1. Oblasti terénneho výskumu

Poznámky: Oblasti boli pridelené kódy, v ktorých písmeno označuje vojvodstvo: D – Dolnośląskie, S – Śląskie, M – Małopolskie, P – Podkarpackie. Oblasť M3 sa nachádza na hranici vojvodstiev Małopolskie a Podkarpackie.

Zdroj: Działek, J., Biernacki, W., Konieczny, R., Fiedeń, Ł., Franczak, P., Grzeszna, K., & Listwan-Franczak, K. (2017). Pred príchodom povodní: vplyv priestorových predstáv, sociálnej citlivosti na prírodné katastrofy a komunikácie rizík na prípravu miestnych komunít na povodne.

## Krok 2. Zber vstupných údajov

Je potrebné zhromaždiť historické údaje, ktoré obsahujú informácie o zrážkach, prietokoch riek, hladinách vôd a mapách znázorňujúcich reliéf terénu. Tieto údaje môžu pochádzať z rôznych zdrojov (Obr. 2). Informácie tohto druhu umožňujú skúmať udalosti, ktoré sa vyskytli v minulosti, a umožňujú formulovať závery o možných scenároch budúcich udalostí. Je dôležité, aby zhromaždené údaje boli čo najúplnejšie, spoľahlivé a pokrývali dostatočne dlhé obdobie, čo zvyšuje presnosť predpovedí. Rovnako dôležité je získať prístup k aktuálnym prevádzkovým údajom, ako sú numerické predpovede počasia a snímky z meteorologických radarov. Tieto informácie tvoria základ predpovedí v reálnom čase, čo umožňuje okamžité prispôbenie sa náhlym zmenám hydrometeorologických podmienok. Integrácia historických a prevádzkových údajov predstavuje silný základ pre vypracovanie vysoko efektívnych predpovedných modelov. Priestorová analýza, ktorá sa opiera o mapy terénu, umožňuje zohľadniť miestne podmienky, ako je tvar riečnych údolí alebo spôsob využívania pôdy. Databáza vytvorená týmto spôsobom sa stáva dôležitým prvkom účinného systému dohľadu a včasného varovania.



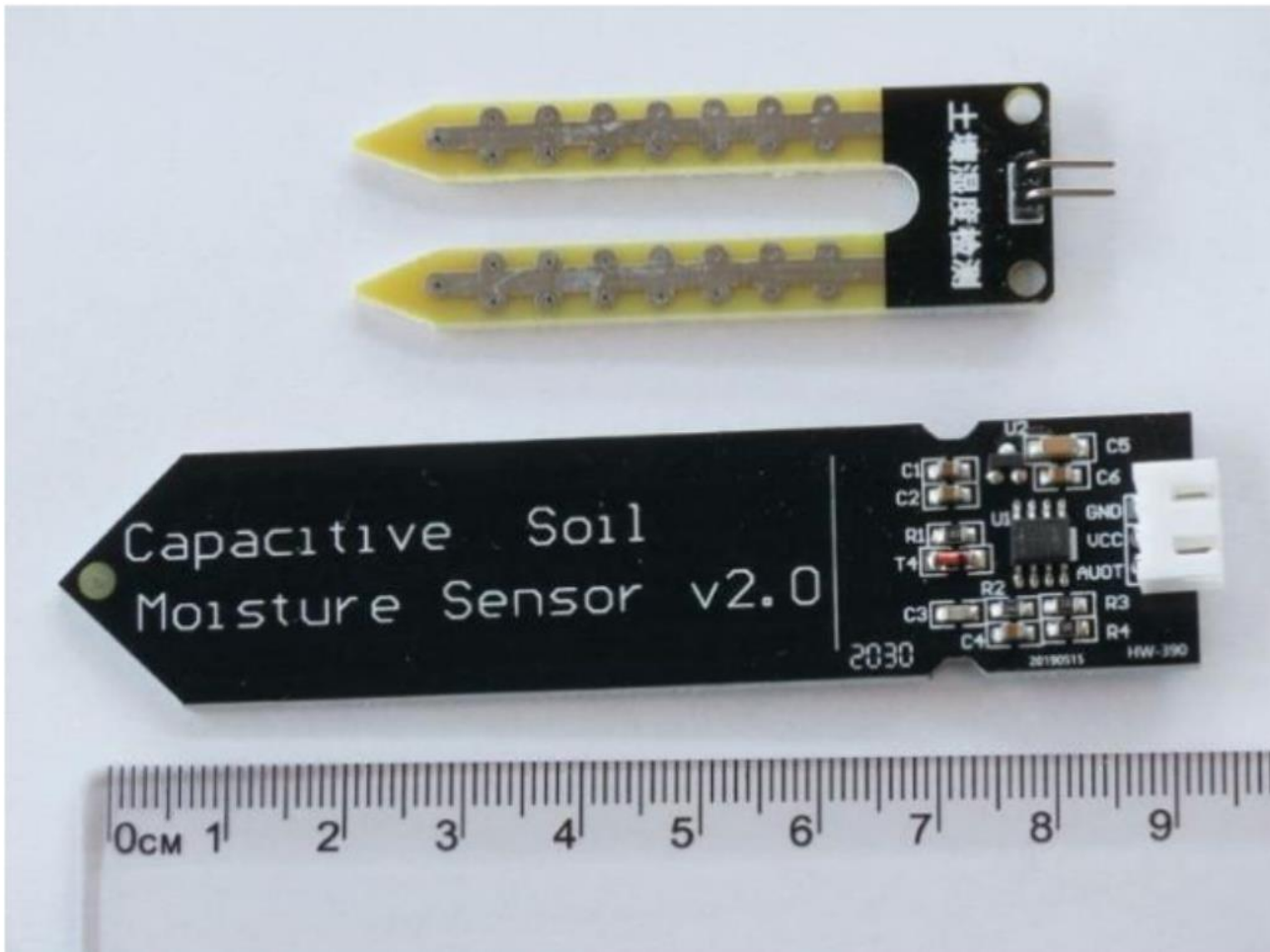
Obr. 2. Vybrané zrážkové udalosti s najvyššou intenzitou v povodí hornej a strednej Ory na pozadí Chomiczaovej klasifikácie; je vyznačená výška atmosférických zrážok vo vzťahu k ich trvaniu (logaritmickej stupnici)

Zdroj: Miasta, R. S. (2016). Přírodní katastrofy v podobe povodní a ich následkov na Sliezsku od 14. do 20. storočia. E. Kościk, & B. Konopska (Eds.). Poľská historická spoločnosť.

### Krok 3. Návrh siete senzorov IoT

V tejto fáze je nevyhnutné vybrať vhodné senzory, ktoré budú základom celého monitorovacieho systému. Môžu to byť senzory na meranie hladiny vody (Obr. 3), dažďomery, prístroje na meranie vlhkosti pôdy (Obr. 4) a zariadenia na meranie rýchlosti vody v riekach a kanáloch. Každý typ senzora plní inú, ale rovnako dôležitú úlohu, preto je správny výber týchto zariadení kľúčový pre kvalitu zhromažďovaných informácií. Dôležité je tiež určiť počet zariadení, ktoré je potrebné umiestniť tak, aby čo najlepšie odrážali miestne hydrologické podmienky. Vhodné umiestnenie v teréne umožňuje detekciu rôznych javov, napr. rozdielov v množstve zrážok a rýchlosti toku v rôznych častiach rieky. Dôležitým aspektom plánovania je tiež zohľadnenie redundancie systému, čo znamená mať k dispozícii dodatočné merania na dôležitých miestach. Vďaka tomu je možné predísť prerušeniu monitorovania, ak jedno zo zariadení zlyhá alebo stratí spojenie. Takýto systém senzorov bol navrhnutý spôsobom, ktorý zaručuje kontinuitu a spoľahlivosť zhromažďovaných údajov, ktoré tvoria základ efektívnych prognóz a varovaní.





Obr. 4. Senzor vlhkosti pôdy. Hore odporový senzor, dole kapacitný senzor.

Zdroj: Słomka, A. (2022). Návrh a realizácia systému riadenia klímy (bakalárska práca).

#### Krok 4. Prenos a zhromažďovanie údajov

Informácie získané zo senzorov musia byť prenášané pomocou moderných komunikačných technológií, ako sú LoRaWAN, LTE-M alebo 5G, ktoré umožňujú rýchly a stabilný prenos údajov v reálnom čase (Tabuľka 1). Výber správnej technológie závisí od miestnych podmienok, dosahu siete a potrieb týkajúcich sa priepustnosti a energetickej účinnosti. Využitie rôznych komunikačných kanálov v rovnakom čase zlepšuje odolnosť systému voči rušeniu a poruchám. Lokálne brány IoT môžu mať veľký význam, pretože fungujú ako sprostredkovateľské prvky medzi senzormi a hlavnou databázou. Tieto brány môžu vykonávať predbežné výpočty a výber údajov, odstraňovať chybné hodnoty a odľahčovať hlavný výpočtový systém. Vďaka tomu je možné skrátiť čas reakcie na hydrologické udalosti a obmedziť množstvo prenášaných informácií na tie najdôležitejšie. Tento typ architektúry robí systém stabilnejším a odolnejším voči preťaženiu v krízových situáciách. Výsledkom je, že informácie, ktoré sa odosielajú do centrálnej databázy, sú vysokej kvality a môžu sa okamžite použiť v procese predpovedania a rozhodovania.

Technologia	NB-IoT (LTE CAT NB)	LTE-M (LTE CAT M)	EC-GSM-IoT
Topologie	Gwiazda	Gwiazda	Gwiazda
Maksymalna przepływność	250 kb/s	1 Mb/s	490 kb/s
Częstotliwości	LTE	LTE	GSM
Zasięg	10 km	10 km	15 km
Zastrzeżone warstwy	Cały stos	Cały stos	Cały stos
Liczba urządzeń na jedną bramę	> 50 tys (Rel 13) > 800 tys (Rel 14)	> 50 tys (Rel 13) > 800 tys (Rel 14)	> 50 tys (Rel 13) > 800 tys (Rel 14)
Szyfrowanie	128-256 bit 3GPP	128-256 bit 3GPP	128-256 bit 3GPP
Poziom dojrzałości technologii	W użyciu komercyjnym	W użyciu komercyjnym	W fazie wdrażania
Opóźnienie	0,3-10 s	0,2-10 s	0,6-10 s

Tab. 1. Prehľad vybraných energeticky úsporných technológií mobilných sietí.

Zdroj: Michta, E., Eljasz, D., & Lewandowski, W. (2023). Komunikacyjne standardy używane w systemach Smart Lighting. Przegląd Elektrotechniczny, 99.

#### Krok 5. Kontrola jakości a predbežná spracovanie údajov

Všetky zhromaždené informácie musia prejsť procesom overovania kvality, aby sa identifikovali neobvyklé, nesprávne alebo chýbajúce hodnoty, ktoré by mohli ovplyvniť chyby pri ďalšej analýze. Proces validácie zahŕňa overenie presnosti meraní, ako aj ich porovnanie s referenčnými údajmi získanými z rôznych zdrojov. Vďaka tomu je možné okamžite rozpoznať nezrovnalosti, ako sú mimoriadne vysoké hodnoty zrážok alebo náhle zníženie hladiny vody. V prípade potreby je potrebné vyplniť krátkodobé medzery pomocou interpolačných alebo predikčných metód, aby sa zabezpečila nepretržitá kontinuita časových radov. Použitie týchto techník umožňuje obmedziť stratu informácií a zabezpečiť konzistentnosť databáz. Dôležité je tiež zaznamenávať všetky zmeny a doplnenia, aby sa zabezpečila úplná transparentnosť procesu spracovania údajov. Vďaka tomu môžu používatelia systému mať istotu, že analyzované informácie sú spoľahlivé a spracované v súlade so stanovenými normami. Presná kontrola kvality je základom spoľahlivých hydrologických predpovedí a je nevyhnutnou súčasťou každého profesionálneho monitorovacieho systému.



Obr. 5. Obrazovka dohľadu nad nástroji a správy programov technologickej obrábacie.

Zdroj: Szulewski, P. (2019). „„Softvér a senzorové systémy ako základ koncepcie priemyslu 4.0““. Mechanik, 92.



Obr. 6. Kontrola snímačov zabudovaných do vretena.

Zdroj: Szulewski, P. (2019). „„Softvér a senzorové systémy ako základ koncepcie priemyslu 4.0““. Mechanik, 92.

## Krok 6. Modelovanie toku a zmena údajov

Merania hladiny vody by mali byť prepočítané na odhadované prietoky pomocou miestnych korelačných kriviek, známych ako ratingové krivky. Tieto krivky znázorňujú vzťah medzi hladinou vodnej hladiny a zodpovedajúcim prietokom, čo umožňuje prepočítať základné hydrometrické merania na užitočnejšie ukazovatele. Správny výber a kalibrácia týchto kriviek sú dôležité pre presnosť hydrologických predpovedí a hodnotenie povodňového rizika. Ich parametre by sa mali systematicky upravovať, pretože podmienky rieky sa menia v dôsledku erózie, hromadenia sedimentov a hydrotechnických činností. Obzvlášť dôležité je vykonanie nových kalibrácií po silných povodniach, ktoré môžu výrazne ovplyvniť tvar priečného rezu rieky. Neaktualizovanie by viedlo k skresleniu výsledkov a zníženiu spoľahlivosti celého systému. V súvislosti s tým je dôležité nepretržite sledovať zmeny v koryte a zhromažďovať dodatočné merania v rôznych podmienkach prietoku. Vďaka tomu budú získané údaje spoľahlivé a monitorovací systém bude schopný poskytovať presné a aktuálne informácie. Na realizáciu uzla je potrebné vybrať „správne“ hardvérové riešenia, čo znamená hľadať medzi stovkami modelov, typov a druhov mikrokontrolérov a mikroprocesorov, prenosových a napájacích obvodov. Okrem toho, v dôsledku neustáleho pokroku, je popis konkrétnych elektronických komponentov spojený s rizikom rýchleho zastarania takéhoto textu. Preto sa prehľad riešení dostupných na trhu bude zameriavať na zdôraznenie dôležitých vlastností, ktoré podľa autora stoja za pozornosť. Na spotrebu energie jednotlivým zariadením má okrem použitých komponentov vplyv aj implementácia algoritmov meracieho cyklu, dynamický výber frekvencie vzorkovania signálu, predikcia meraní a okamžitá analýza ich spoľahlivosti, ukladanie a prenos.

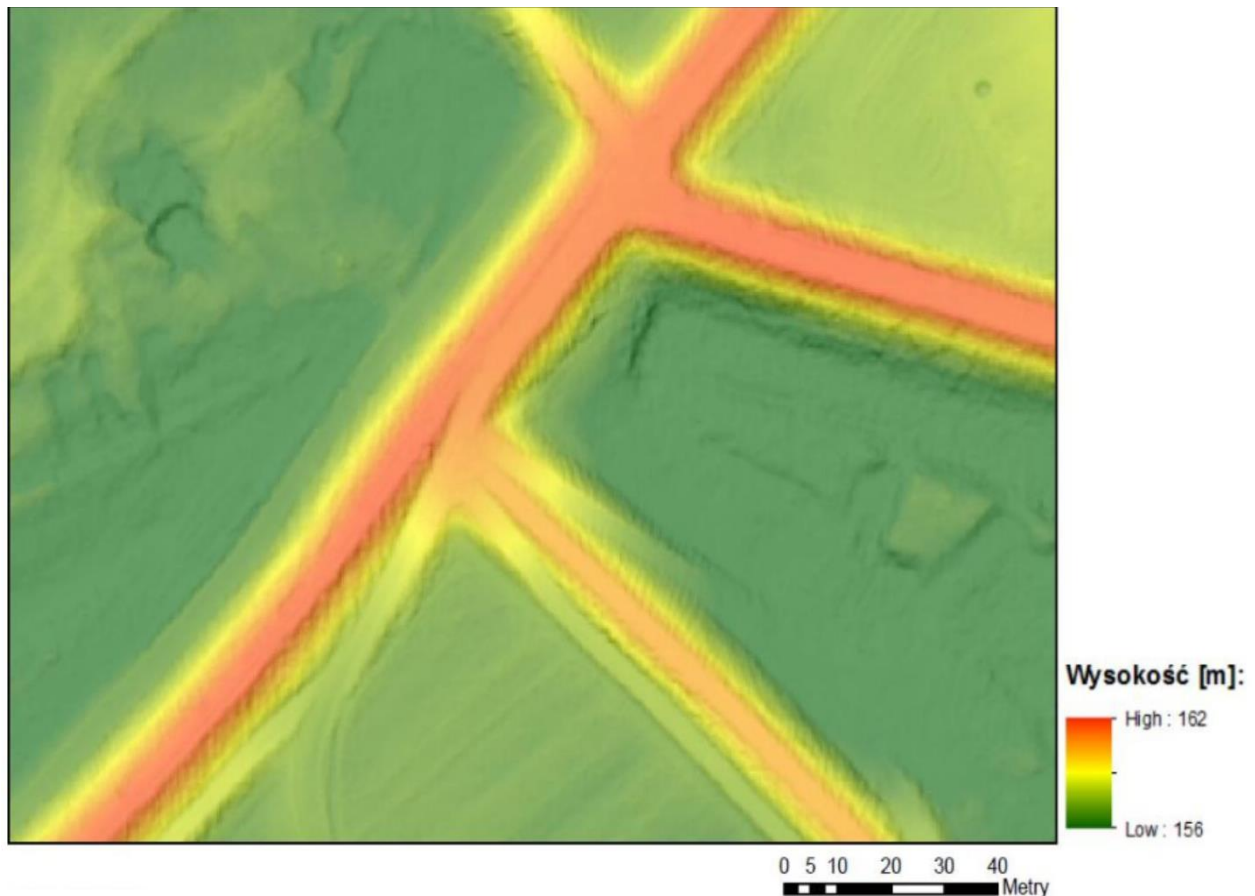
## Krok 7. Predikcie s využitím umelej inteligencie

Na základe zhromaždených historických a aktuálnych údajov je potrebné vyvíjať modely umelej inteligencie, ktoré budú schopné zachytiť zložité vzťahy medzi zrážkami, hladinami vody a prietokmi. Odporúča sa používať architektúry založené na sieťach LSTM, ktoré vykazujú vysokú účinnosť pri analýze časových údajov, a modely CNN, ktoré sú schopné efektívne analyzovať priestorové usporiadanie údajov, ako sú mapy zrážok alebo radarové snímky. Vďaka nim je možné predpovedať hladinu vody a prietok s predstihom niekoľkých hodín až niekoľkých dní, čo výrazne predlžuje čas na reakciu a prípravu ochranných opatrení. Tieto modely môžu vytvárať deterministické prognózy, ktoré predstavujú jednu predpokladanú hodnotu, ako aj pravdepodobnostné prognózy, ktoré ilustrujú rad potenciálnych scenárov spolu s ich pravdepodobnosťou výskytu. Použitie pravdepodobnostného prístupu umožňuje presnejšiu analýzu rizika a pomáha pri rozhodovaní v situáciách, kde prevláda neistota. Kľúčovým aspektom vývoja týchto modelov je ich neustále učenie sa a prispôbovanie na základe nových informácií, ktoré prichádzajú z monitorovacieho systému. Systematická validácia a porovnávanie prognóz so skutočnými údajmi umožňuje postupné zvyšovanie presnosti používaných algoritmov. Výsledkom je, že umelá inteligencia sa stáva dôležitým nástrojom v modernom systéme hydrologických predpovedí a riadenia povodňových rizík.

## Krok 8. Analýza rizika a stanovenie varovných prahov

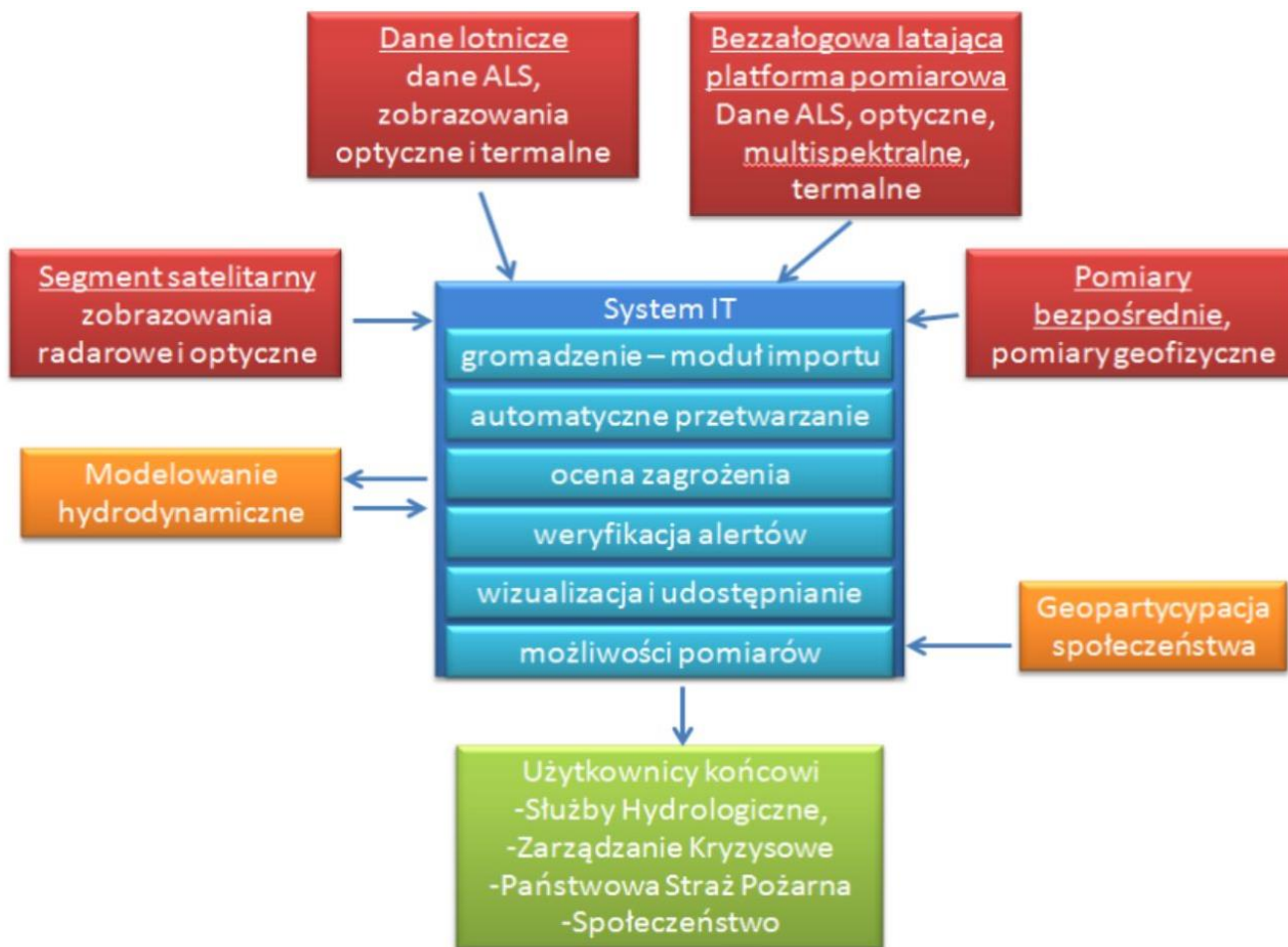
Systém by mal samostatne posudzovať riziko prekročenia stanovených limitov nebezpečenstva na základe analyzovaných meracích údajov a prognóz. Je dôležité, aby sa posudzovanie rizika vykonávalo v reálnom čase, čo umožní rýchlo reagovať na náhle zmeny hydrologickej situácie. Systém by mal vytvárať výstrahy prispôsobené stupňu ohrozenia, čo umožňuje usporiadať informácie a podporuje rozhodovací proces. Napríklad žltá výstraha môže byť vyhlásená v situácii stredného rizika, oranžová pri značnom riziku a červená v prípade veľmi vysokého rizika, ktoré vyžaduje okamžitú

akciu (Obr. 7). Rozlíšenie úrovní výstrah umožňuje príjemcom lepšie pochopiť rozsah ohrozenia a primerane sa na situáciu pripraviť. Je dôležité, aby systém poskytoval informácie nielen o úrovni rizika, ale aj o predpokladanom termíne výskytu ohrozenia a jeho možných dôsledkoch (Obr. 8). Vďaka tomu môžu obyvatelia, záchranné služby a miestna správa konať organizovanejšie. Takýto poplachový systém je dôležitou súčasťou efektívneho krízového riadenia a znižovania škôd spôsobených povodňami.



Obr. 7. Pohľad na farebnú prezentáciu výšky protipovodňového valu (m n. m.; výškový systém Kronshtadt 86) a tieňovaný model znázorňujúci topografiu protipovodňového valu (zdroj údajov ISOK).

Zdroj: Kurczyński, Z., & Bakula, K. (2016). SAFEDAM – pokročilé technológie podporujúce boj proti povodňovým hrozbám. Archív fotogrametrie, kartografie a teledetekcie, 28, 39-52.



Obr. 8. Schéma systému monitorovania protipovodňových hrádzí SAFEDAM.

Zdroj: Kurczyński, Z., & Bakula, K. SAFEDAM. (2023). Pokročilé technológie podporujúce prevenciu nebezpečenstva povodní safedam-advanced technologies in the prevention of flood hazard.

### Krok 9. Systém oznamovania a komunikácia

Varovania by mali byť odovzdávané prostredníctvom rôznych komunikačných prostriedkov, aby oslovili čo najširšie publikum bez ohľadu na vek, lokalitu alebo schopnosť používať technológie. Na tento účel sa používajú SMS správy (obr. 9), aplikácie v telefónoch, zvukové alarmy a miestne médiá, ako je rádio a televízia (Obr. 10). Je dôležité, aby správy boli odosielané v jednotnej forme, čo znižuje riziko rozdielov v obsahu a zabezpečuje jednotnosť odovzdávaných informácií. Každé varovanie by malo obsahovať kľúčové údaje o mieste ohrozenia, predpokladanom čase jeho výskytu a potenciálnych dôsledkoch pre obyvateľstvo. Využitie viacerých kanálov informácií o nebezpečenstve zvyšuje pravdepodobnosť, že varovanie bude odoslané včas, aj v prípade poruchy jedného zo systémov. Takýto prístup výrazne zvyšuje účinnosť celého varovného systému a podporuje bezpečnosť na miestnej úrovni.

## POWÓDŹ:



Obr. 9. RCB alert – przykładowe správy (SMS)

Zdroj: <https://www.gov.pl/web/rcb/alert-rcb---przykladowe-wiadomosci-sms>

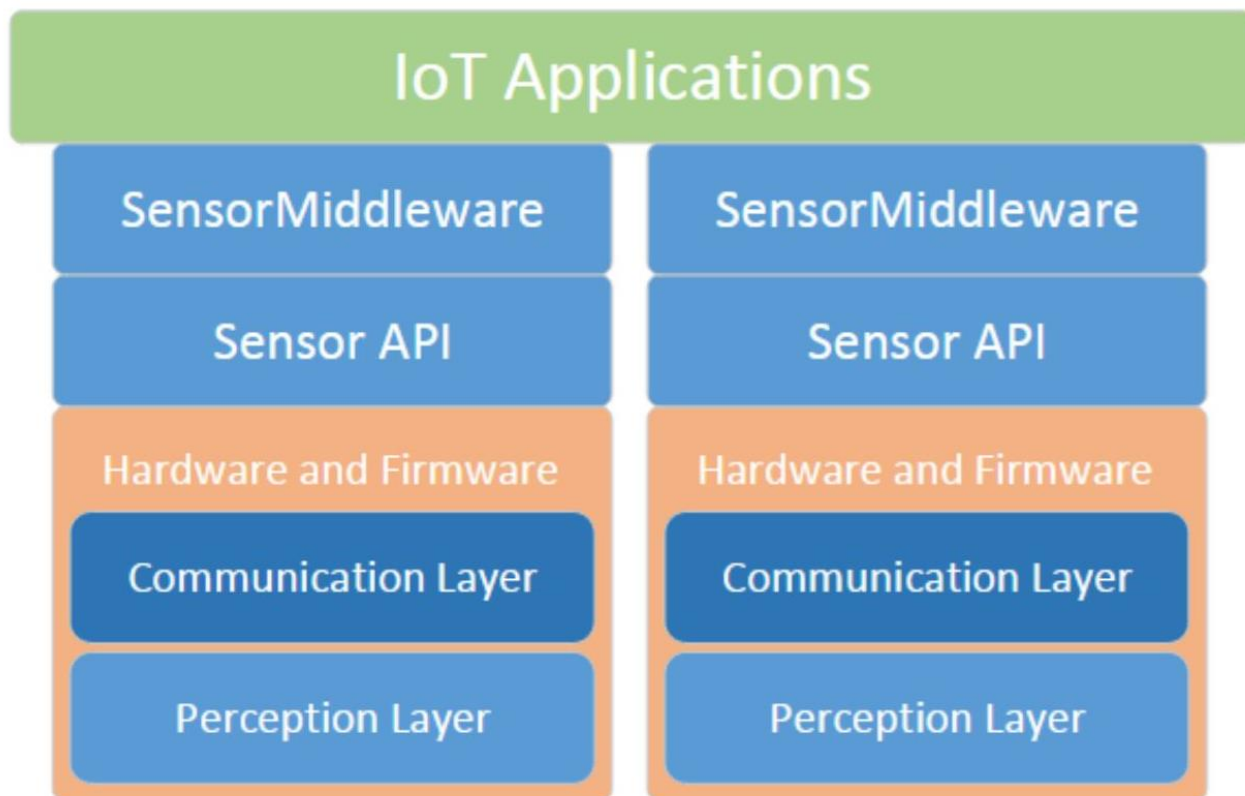


Obr. 10. Grafika umiestnená na stránke obce Mstów o povodňovom poplachu, 6. február 2024.

Zdroj: <https://www.mstow.pl/art/4888,pogotowie-przeciwpowodziowe>

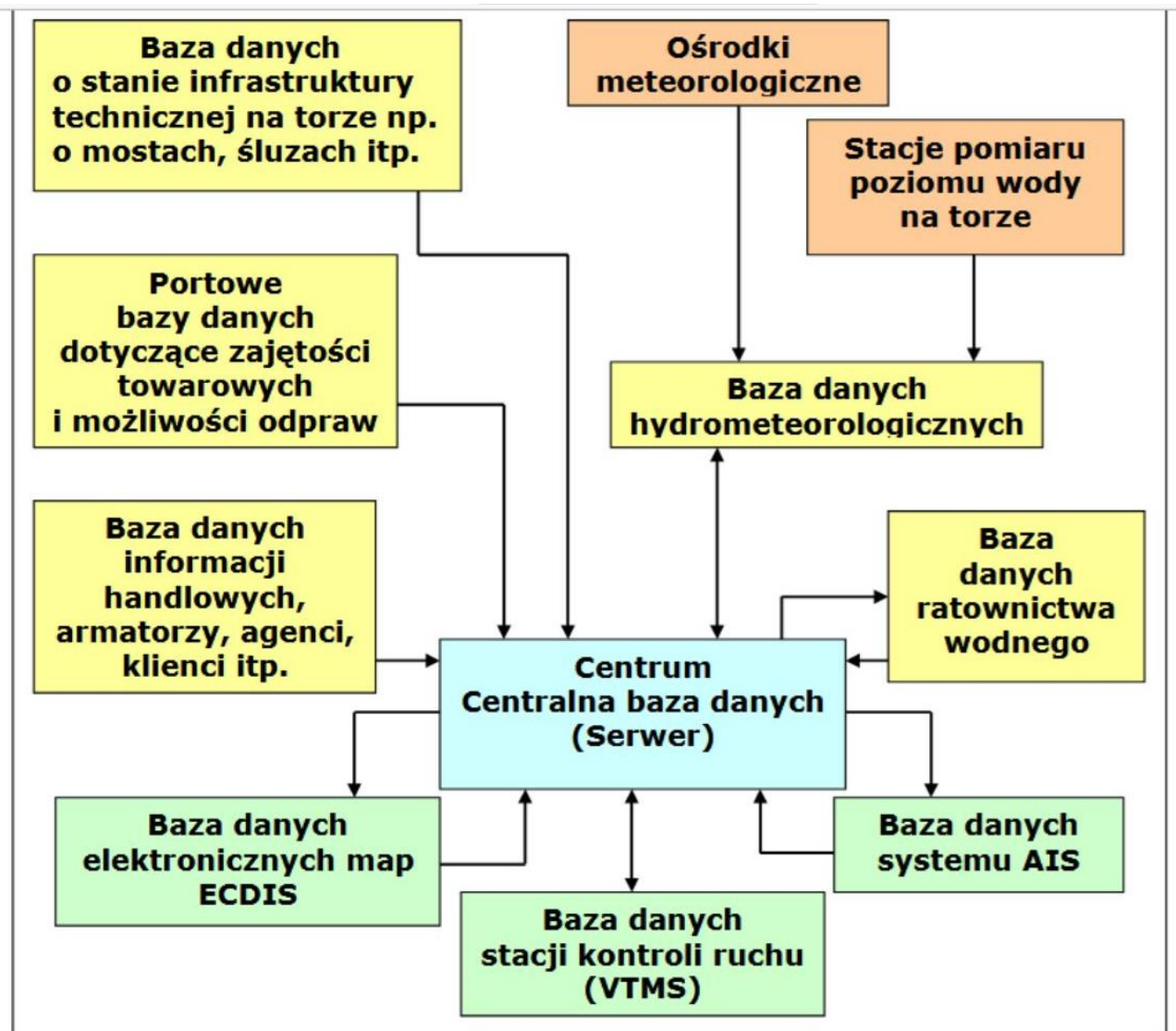
#### Krok 10. **Oververenie, údržba a vylepšovanie systému**

Posledná fáza spočíva v neustálom overovaní správnosti fungovania systému, čo umožňuje priebežné hodnotenie jeho efektívnosti a spoľahlivosti. Na tento účel sa používajú historické simulácie, ktoré vychádzajú z informácií o minulých povodniach a privalových dažďoch, ako aj terénne cvičenia, ktoré hodnotia reakciu systému v podmienkach pripomínajúcich skutočné situácie. Na tento účel sa používajú okrem iného simulátory senzorov v SenseSim (Obr. 11). Systematické testovanie umožňuje identifikovať potenciálne poruchy a nedostatky v varovných systémoch skôr, ako nastane reálne ohrozenie. Dôležitým aspektom je aj sledovanie účinnosti predpovedí prostredníctvom porovnania ich výsledkov so skutočnými hydrologickými údajmi. Vďaka tomu je možné systematicky zdokonaľovať algoritmy a zvyšovať presnosť predpovedí. Dôležitá je aj pravidelná údržba senzorov, ktorá zabezpečuje ich správne fungovanie a znižuje riziko poruchy v dôležitých momentoch. Zároveň je potrebné pravidelne aktualizovať predpovedné modely, aby odrážali zmeny v podmienkach životného prostredia a hydrológii (Obr. 12), znázorňuje štruktúru databáz riečného informačného systému.



Obr. 11. Architektúra senzora v SenseSim.

Zdroj: Najgebauer, A., Dyk, M., & Pierzchała, D. (2015). Modelovanie a simulácia siete IoT v simulátore SenseSim. Simulácia vo výskume a vývoji, 6(1), 35-44.



Obr. 12. Struktúra databáz riečného informačného systému.

Zdroj: Miciuła, I. (2010). Model systémov na podporu rozhodovania založený na geopriestorových údajoch pre potreby riečného informačného systému s využitím dynamickej 3D domény (doktorská dizertačná práca, Západopomorská technická univerzita v Štetíne).

## **Obmedzenia a preferencie používania monitorovacích a včasných varovných systémov založených na sieti senzorov IoT a umelej inteligencii**

Systémy dohľadu a včasného varovania, ktoré využívajú technológiu internetu vecí (IoT) a umelú inteligenciu (AI), sa stávajú čoraz populárnejším nástrojom na podporu bezpečnosti, riadenia rizík a ochrany kľúčovej infraštruktúry. Vďaka kombinácii rozptýlených sietí senzorov, analýzy údajov v reálnom čase a algoritmov strojového učenia je možné rýchlo identifikovať anomálie, predpovedať hrozby a prijímať preventívne opatrenia. Napriek veľkému potenciálu týchto riešení si ich efektívne zavedenie a používanie vyžaduje zohľadnenie mnohých technických, organizačných a etických obmedzení.

### **1. Technologické obmedzenia**

Najdôležitejším obmedzením je spoľahlivosť a presnosť senzorov IoT. Tieto zariadenia, najmä v náročných podmienkach (napr. priemyselné, lesné alebo námorné systémy), môžu byť vystavené mechanickému poškodeniu, rušeniu signálu a obmedzeniam v prístupe k energii. Okrem toho rôznorodé komunikačné štandardy a nedostatočná interoperabilita medzi zariadeniami rôznych výrobcov môžu spôsobiť ťažkosti pri integrácii systému a výmene údajov. Ďalším dôležitým obmedzením je efektívnosť spracovania informácií. Systémy umelej inteligencie potrebujú značné výpočtové zdroje a spoľahlivú sieťovú infraštruktúru, aby mohli spracovávať údaje v reálnom čase. V prípade problémov alebo oneskorení pri prenose informácií sa môže efektívnosť systému včasného varovania výrazne znížiť.

### **2. Obmedzenia týkajúce sa zabezpečenia a ochrany súkromia**

Systémy založené na technológii IoT sú vystavené kybernetickým útokom, ako je zachytávanie údajov počas prenosu, úprava meraní a neoprávnený prístup k sieti. Okrem toho, v kontexte systémov dohľadu (osoby alebo súkromné predmety) vzniká otázka ochrany osobných údajov a splnenia regulačných požiadaviek (napr. GDPR). Zavedenie vhodných mechanizmov šifrovania, autorizácie a auditu sa preto stáva nevyhnutným aspektom procesu navrhovania týchto systémov.

### **3. Obmedzenia v oblasti organizácie a financií**

Implementácia moderného monitorovacieho systému si vyžaduje veľké finančné investície, a to ako do nákupu hardvéru a softvéru, tak aj do údržby infraštruktúry a školenia zamestnancov. Nedostatočné technické a finančné zdroje môžu ovplyvniť realizovateľnosť projektu alebo jeho spoľahlivosť. Okrem toho je efektívnosť systému závislá od zručností používateľov a miery dôvery v algoritmy, ktoré prijímajú rozhodnutia. Preferencie a oblasti rozvoja Napriek uvedeným obmedzeniam záujem o implementáciu systémov využívajúcich IoT a AI rastie v mnohých oblastiach – od krízového riadenia cez ochranu životného prostredia až po inteligentné mestá a priemysel 4.0. Stále častejšie sa volia hybridné riešenia, ktoré kombinujú lokálne spracovanie údajov (edge computing) s analýzou v cloude, čo umožňuje skrátiť reakčný čas a znížiť zaťaženie siete. Odporúča sa voliť modulárne a ľahko rozširovateľné systémy, ktoré umožňujú pridávať nové senzory a funkcie, ako aj otvorené riešenia, ktoré využívajú štandardizované komunikačné protokoly (napr. MQTT, LoRaWAN). Stále väčší význam má aj transparentnosť fungovania algoritmov umelej inteligencie, čo umožňuje audit prijatých rozhodnutí a pochopenie výsledkov konečnými používateľmi.

## **Príklad: Systém monitorovania povodňového nebezpečenstva v údolí rieky Wisłok**

### **Krok 1. Určenie rozsahu a cieľov systému**

#### *Cieľ projektu:*

Vytvorenie integrovaného systému včasného varovania pred povodňami pre obce v údolí rieky Wisłok, vrátane miest Krosno a Rzeszów a susedných obcí.

#### *Rozsah systému:*

- Monitorovaná oblasť: údolie rieky Wisłok v dĺžke 70 km (od Krosna po Rzeszów).
- Kľúčové komponenty infraštruktúry:
  - Dopravné mosty v Krosne, Strzyżowe a Rzeszowe.
  - Čističky odpadových vôd v Krosne a Zwięczyca.
  - Odber pitnej vody z rieky.
- Oblasti s osobitným rizikom: záplavové územia v Kombornia, Frysztak, Czudec a Boguchwała.

#### *Ciele systému:*

- Skrátenie času potrebného na informovanie obyvateľov o blížiacej sa povodňovej vlne na maximálne 15 minút od momentu zistenia nebezpečenstva.
- Automatické rozpoznávanie javov:
  - náhle zvýšenie hladiny vody po silných dažďoch,
  - lokálne záplavy spôsobené upchatiami,
  - problémy s protipovodňovými hrádzami.
- Poskytovanie presných informácií orgánom krízového riadenia a miestnym samosprávnym jednotkám.
- Schopnosť posúdiť účinnosť systému po povodňovej sezóne (napr. počet varovaní v porovnaní so skutočnými udalosťami).

### **Krok 2. Návrh meracieho systému**

Na základe stanovených požiadaviek a cieľov bola vytvorená sieť senzorov a systém správy údajov.

#### *Súčasti meracieho systému:*

- Sensory hladiny vody – umiestnené v 12 meracích bodoch pozdĺž rieky, s väčšou hustotou v oblastiach so zvýšeným rizikom povodní.
- Automatické dažďové meradlá – 8 meracích staníc na monitorovanie intenzity zrážok a ich vplyvu na hladinu vody.

- Kamery na monitorovanie obrazu – päť miest na strategických miestach (mosty, dopravné uzly).
- Senzory prietoku a tlaku – v mestských odvodňovacích systémoch.

#### *Integrácia údajov:*

Všetky zariadenia prenášajú informácie v reálnom čase do centrálnej monitorovacej platformy. Softvér skúma zmeny hladiny vody a rýchlosť rastu vln a porovnáva tieto informácie s predpoveďami počasia.

### **Krok 3. Stanovenie postupov činnosti a oznamovania**

#### *Systémové postupy:*

- Informácie zo senzorov sa analyzujú automaticky každých päť minút.
- Po dosiahnutí určitých alarmových limitov (napr. Pri zvýšení úrovne vody o 30 cm počas 10 minút, systém aktivuje alarm.
- Varovanie je neodkladne odosielané do: - Centra krízového riadenia, - Obecného úradu. - Občanom (prostredníctvom SMS a mobilnej aplikácie). Úrovne alarmov: • Informačný – zvýšenie úrovne vody nad normu, žiadne riziko.
- Varovný – možnosť výskytu lokálnych záplav, aktivácia služieb.
- Alarmový – existujúce nebezpečenstvo povodne, aktivácia výstražných sirén a vykonanie evakuácie.

#### *Dôsledky:*

Systém umožňuje bleskové reagovanie na meniace sa hydrologické podmienky. Vďaka presne definovaným cieľom a postupom sa znižuje riziko straty majetku a nebezpečenstvo pre život občanov.

# Interreg



Współfinansowany przez  
UNIJĘ EUROPEJSKĄ

## 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*

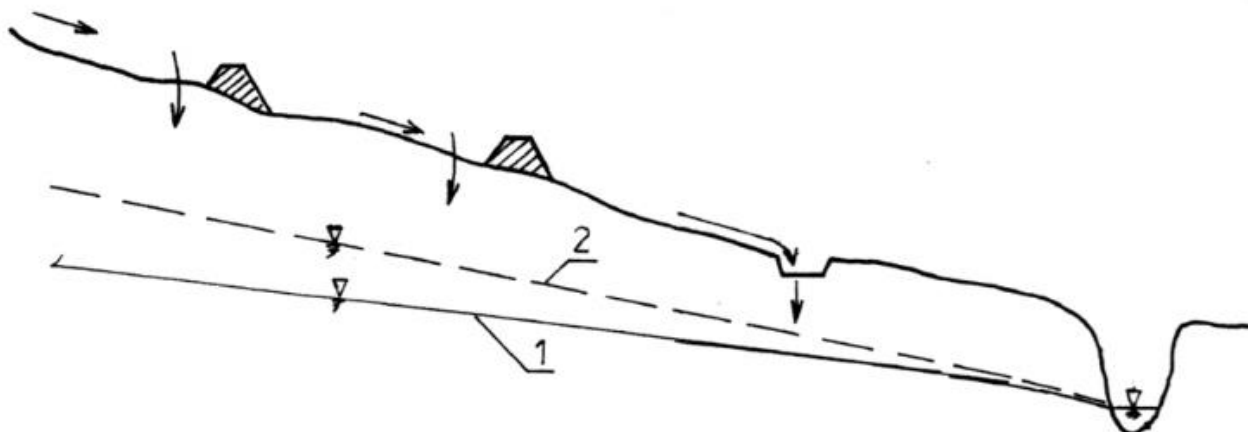
### INŠTRUKCIE NA VYKONANIE HODNOTENIA POVODŇOVÉHO RIZIKA PROSTREDNÍCTVOM PRÍRODNÝCH RIEŠENÍ

#### Technický popis analýzy povodňového rizika prostredníctvom riešení založených na prírode

#### II. Pokyny umožňujúce posúdiť povodňové riziko prostredníctvom riešení založených na prírode

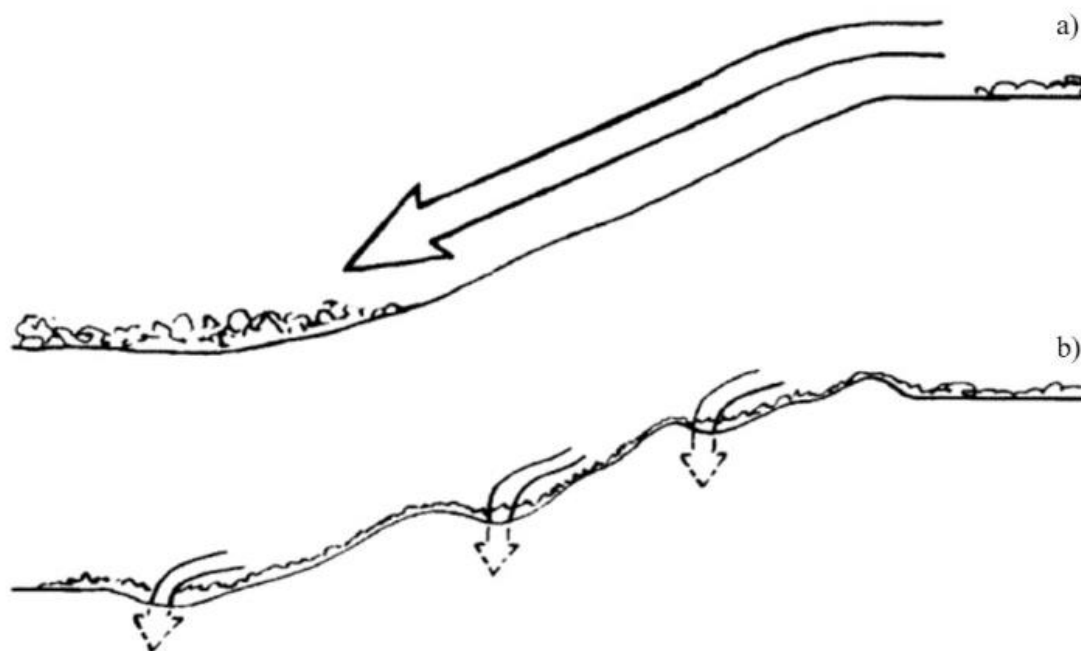
##### Krok 1. Stanovenie cieľov a rozsahu činností

Prvým krokom v tomto procese je stanovenie cieľov, ktoré sa majú dosiahnuť využitím riešení inšpirovaných prírodou, čo tvorí základ pre ďalšie kroky. Možné opatrenia zahŕňajú napríklad zníženie výšky prílivovej vlny, zvýšenie prirodzenej schopnosti zadržiavať vodu (Obr. 1, Obr. 2, Obr. 3), zlepšenie stavu ekosystémov v údoliach riek, ako aj zníženie vplyvu erózie a zvýšenie biodiverzity. Presné vymedzenie priorít umožňuje účinnejšie prispôbiť plánované opatrenia miestnym hydrologickým a sociálnym podmienkam. Dôležité je tiež určiť oblasť pôsobnosti, ktorá môže zahŕňať celú povodie, jednotlivý prítok alebo konkrétnu časť riečnej doliny. Presné vymedzenie rozsahu umožňuje posúdiť možné výhody a riziká spojené s realizáciou investície. Je tiež potrebné stanoviť ukazovatele účinnosti opatrení, ako je zníženie strát spôsobených povodňami, zlepšenie kvality vôd a zvýšenie rozlohy mokradí. Tieto kritériá musia byť merateľné a pozorovateľné, aby bolo možné v budúcnosti objektívne posúdiť účinnosť prijatých opatrení. Vďaka tomu sa proces plánovania stáva transparentnejším a prijaté opatrenia majú väčšiu šancu na dlhodobý a pozitívny vplyv na životné prostredie a miestne komunity.



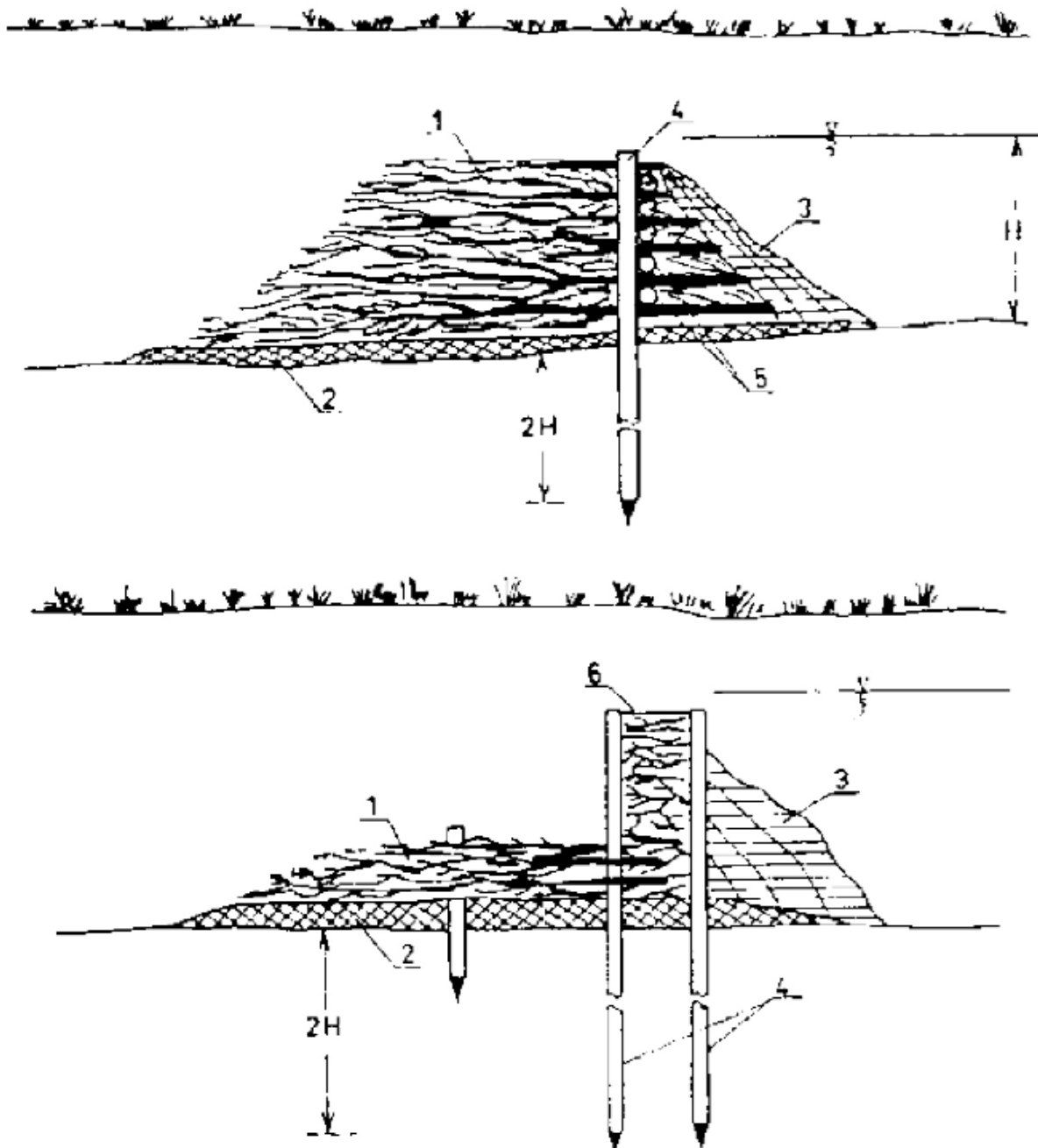
Obr. 1. Umiestnenie hrádzí alebo priekop na zvýšenie infiltrácie; 1 – prirodzená hladina podzemnej vody, 2 – po vybudovaní hrádzí (priekop)

Zdroj: Mioduszewski, W. (2025). Malá retencia elementom gospodarki wodnej. file:///C:/Users/U%C5%BCytkownik/Downloads/Ma%C5%82a\_retencja\_elementem\_gospodarki\_.pdf



Obr. 2. Po „hladkom“ svahu (a) voda rýchlo steká, zatiaľ čo po vytvorení terás (b) je odtok pomalší; viac vody vsakuje a zavlažuje svah, čím sa znižuje riziko povodní.

Zdroj: Mioduszewski, W. (2025). Malá retencia elementom gospodarki wodnej. file:///C:/Users/U%C5%BCytkownik/Downloads/Ma%C5%82a\_retencja\_elementem\_gospodarki\_.pdf



Obr. 3. Príklady jednoduchých prahov, ktoré môžu byť použité pri výstavbe roklín a erozívnych strží; 1 – chrániť spodnú časť pred rozmyvaním pretekajúcou vodou, 2 – spevnenie podkladu (hlina alebo netkaná textília), 3 – vrstva utesňujúca konštrukciu, 4 – palisáda z drevených kolíkov, 5 – hrubšie časti konárov, 6 – vyplnenie priestoru medzi palisádami; v prípade roklín s malými predpokladanými prietokmi môže byť konštrukcia zjednodušená na dva rady palisád (4) s vyplnením konármi (6) [Mioduszewski 2014]

Zdroj: Mioduszewski, W. (2025). Malá retencia elementom gospodarki wodnej. file:///C:/Users/U%C5%BCytkownik/Downloads/Ma%C5%82a\_retencia\_elementem\_gospodarki\_.

## Krok 2. Zber základných údajov

Ďalším krokom je zhromažďovanie informácií o priestorových a environmentálnych údajoch, ktoré sú kľúčové pre efektívne plánovanie činností inšpirovaných prírodou. V tejto fáze sa zhromažďujú údaje o hydrológii a meteorológii, ako aj presné mapy využívania pôdy, ktoré ilustrujú spôsob využívania územia. Dôležitým zdrojom informácií sú aj údaje o typoch pôd, ich schopnosti prepúšťať vodu a zadržiavať ju, ako aj podrobnosti o pokrytie územia vegetáciou, čo má vplyv na procesy infiltrácie a odparovania. Nemožno ignorovať historické údaje o povodniach (Tab. 1), ktoré umožňujú určiť najviac ohrozené oblasti a frekvenciu výskytu extrémnych javov. Všetky tieto informácie sa zhromažďujú v podobe jednotnej znalostnej bázy, ktorá umožňuje analýzu počiatkových podmienok a identifikáciu relevantných problémov. Takáto databáza zjednodušuje vypracovanie scenárov opatrení a hodnotenie ich možných výsledkov. Dôležité je, že prepojenie geografických údajov s údajmi o životnom prostredí umožňuje lepšie pochopiť vzájomné vzťahy medzi prírodnými procesmi a ľudskou činnosťou. Týmto spôsobom je možné vytvoriť riešenia, ktoré sú hydrologicky efektívne a prospešné pre ekosystémy.

Lp.º	Indeks powodzi <i>M</i>	Data	Kraje dotknuté powodzią	Wezbrane rzeki	Geneza	Czas trwania [dni]	Liczba ofiar	Liczba dotkniętych powodzią [w tys.]	Straty [mln USD]
144	7,2	III-IV 2005	Rumunia, Polska, Czechy, Słowacja, Węgry, Chorwacja, Bułgaria	Odra i jej dopływy, Wisła i jej dopływy, Pasłęka, Dunaj, Cisa, Morawa	roztopyl/opady	23	62	30	1 500
519	6,4	VII-VIII 1997	Polska, Czechy, Niemcy	Odra i jej dopływy, Wisła, San i ich dopływy oraz Beczwa, Morawa i inne	opady	38	115	163	4 500
549	6,4	V-VI 2010	Polska, Węgry, Słowacja, Austria, Niemcy, Serbia, Ukraina	górną Wisła i jej dopływy, Olza, Odra, Beczwa, Ostrawica, Żitava, Cisa, Sajó, Hornád	opady	14	37	23	3 000
558	6,4	VI-VII 1999	Rumunia, Słowacja Czechy, Polska	Ipel, Morava, Karvina	opady	10	19	0,9	36 500
935	6,0	VII-VIII 2010	Niemcy, Czechy, Polska	Miedziarka, Witka, Jeřica, Nysa Łużycka	opady	13	15	3,0	b.d.
1039	5,9	VII-VIII 2001	Polska	Biała, Odra, Wisła, Czarna, San, Dunajec, Poprad	opady	15	30	16,0	250

Tab. 1. Najväčšie povodne v Poľsku v rokoch 1985–2010

Zdroj: Dartmouth Flood Observatory (aktualizácia – august 2011); opravené ; Bartnik, A., & Jokiel, P. (2012). Geografia powodni a rzecznych záplav. Wydawateľstwo Univerzity w Łodzi.

### Krok 3. Hodnotenie východiskovej situácie

Na základe získaných informácií sa vypracúvajú hydrologické a hydraulické modely, ktoré umožňujú rekonštrukciu procesov prebiehajúcich v povodí a riekach. Tieto modely umožňujú simuláciu rôznych scenárov súvisiacich so zrážkami a prítokom vody, čo umožňuje posúdiť úroveň povodňového rizika v závislosti od prevládajúcich atmosférických podmienok. Vďaka nim je možné nielen predstaviť súčasný stav rizika, ale aj prognózovať jeho zmeny v nadchádzajúcich obdobiach. Výsledkom vykonanej analýzy sú okrem iného mapy povodňového rizika, ktoré zobrazujú oblasti možných záplav a silu vplyvu vody na konkrétnom území. Tieto mapy tiež ukazujú miesta, ktoré sú obzvlášť ohrozené následkami povodní (Obr. 4), ako sú údolia riek, zastavané oblasti a prvky infraštruktúry. Vytvorené zdroje sú dôležitým nástrojom pre plánovanie a môžu ich využívať miestne orgány aj krízové tímy. Umožňujú prijímať rozhodnutia v otázkach týkajúcich sa investícií, protipovodňovej ochrany a potenciálnych evakuačných opatrení. V dôsledku toho sú hydrologické a hydraulické modely dôležitým prvkom v procese riadenia povodňových rizík a pri plánovaní opatrení založených na prírode.



Obr. 4. Mapa oblastí ohrozených povodňami na úseku rieky Odry.

Zdroj: Tokarczyk, T., Chudzik, B., Garncarz-Wilk, B., Pasiecznik-Dominiak, A., & Wojczakowska, Z. (2012). Predbežné hodnotenie povodňového rizika ako súčasť implementácie povodňovej smernice. Infraštruktúra a ekológia vidieckych oblastí, (3/III)

#### Krok 4. Hodnotenie možností prírodných riešení

V tejto fáze sa identifikujú potenciálne riešenia inšpirované prírodou, ktoré môžu pomôcť zmierniť dôsledky povodní a zlepšiť kvalitu životného prostredia. Medzi tieto opatrenia patria okrem iného: obnova prirodzeného stavu riek, obnova močiarov, zavádzanie lužných lesov a vytváranie záplavových lúk v oblastiach, ktoré sú zvlášť ohrozené povodňami. Každé z uvedených riešení má svoje špecifické vlastnosti a prináša rôzne účinky, preto je dôležité, aby boli primerane prispôsobené miestnym podmienkam. Analýza sa zameriava hlavne na možný vplyv na retenciu vody, t. j. schopnosť oblasti zadržiavať vodu a spomaľovať jej odtok. Súčasne sa hodnotí účinnosť jednotlivých opatrení na zníženie povodňového rizika, a to ako na miestnej úrovni, tak aj na úrovni celého povodia. Dôležitým prvkom je aj rozpoznanie ďalších prínosov pre životné prostredie, ako je zvýšenie biodiverzity alebo regenerácia prírodných ekosystémov. Rovnako dôležité sú aj sociálne prínosy, ktoré zahŕňajú zvýšenie atraktívnosti krajiny, dostupnosť rekreácie a zlepšenie kvality života obyvateľov. Prostredníctvom dôkladnej analýzy je možné identifikovať riešenia, ktoré spájajú funkciu ochrany pred povodňami s priaznivým vplyvom na životné prostredie a miestnu komunitu.



Obr. 5. Príklady ekosystémov s rôznym stupňom transformácie, ktoré si vyžadujú rôznorodé renaturizačné opatrenia.

A – horská rieka s nízkym stupňom hydromorfologickej transformácie – viditeľná sekvencia perejí a tichých úsekov, rôznorodé profily brehov, stromy tieniace koryto (rieka Belnianka, foto: Mateusz Grygoruk),

B – nížinná rieka so stredným stupňom hydromorfologickej transformácie – rôznorodá hydromorfológia, veľká rôznorodosť podmienok toku, silný poľnohospodársky tlak na samotné koryto rieky (rieka Nietupa, foto: Mateusz Grygoruk),

C – nížinná rieka s výrazným stupňom hydromorfologickej transformácie – narovnané koryto s trapézovým prierezom, chýbajúca diverzita hĺbky a podmienok toku, chýbajúce zalesnenie a prírodné hydromorfologické prvky v koryte (rieka Żebrówka, foto: Mikołaj Piniewski)

Zdroj: Biedroń, I., Brzóska, P., Dondajewska-Pielka, R., Furdyna, A., Gołdyn, R., Grygoruk, M., ... & Wybraniec, K. The handbook was developed as part of the project „Development of a national programme for the renaturation of surface waters“ commissioned by the State Water Management Authority Wody Polskie.

## Krok 5. Zapojenie zainteresovaných strán do procesu plánovania

Základným prvkom je zapojenie miestnych komunít (Tabuľka 2), vlastníkov pozemkov, zástupcov samosprávy a neziskových organizácií, pretože práve oni priamo pociťujú dôsledky činností súvisiacich s územným plánovaním a protipovodňovou ochranou. Zapojenie zainteresovaných strán od počiatkových fáz plánovania umožňuje využiť ich praktické znalosti a skúsenosti získané v danej oblasti. V dôsledku toho je možné presnejšie prispôbiť navrhované riešenia miestnym potrebám a ekonomickej realite. Dôležitým výsledkom spolupráce je aj zvýšenie spoločenskej akceptácie zamýšľaných opatrení, čo znižuje riziko konfliktov a odporu voči investíciám. Verejné konzultácie môžu mať rôzne formy, ako napríklad workshopy, informačné stretnutia alebo internetové platformy na podávanie pripomienok a návrhov. Zapojenie rôznych záujmových skupín podporuje vypracovanie komplexnejších a multifunkčných riešení, ktoré integrujú hydrologické, ekologické a sociálne ciele. Zapojenie komunity do rozhodovacieho procesu tiež zvyšuje pocit zodpovednosti obyvateľov za realizované opatrenia. Výsledkom sú riešenia, ktoré nielen chránia pred povodňami, ale aj posilňujú sociálne vzťahy a budujú dôveru medzi občanmi a inštitúciami.

<b>A – „Jest“</b>	<b>B – „Powinno być“</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Odcięty dopływ wody (tylko woda opadowa).</li><li>• Zaśmiecona, część zarośnięta, częściowo zasypana i spłycona.</li><li>• Nieuregulowane brzegi, zamulona.</li><li>• Niedrożne przepusty, mosty, mostki (niektóre zanikły, zapadnięte).</li><li>• Ujście do Gróbkki przez przepompownię.</li><li>• Wypływa z lasu, dwa zasilania: kanał II; Koszyca.</li><li>• Pozostałości stopni wodnych.</li><li>• Dawniej faszynowana, obecnie nie.</li><li>• Początek czyszczony.</li><li>• Obydwa zasilania odcięte od Młynówki, woda płynie do kanałów melioracyjnych, a potem do Uszewki (na wys. szkoły).</li><li>• Przebieg Młynówki: od początku przy lesie, równoległe do drogi, przecięcie z drogą, równoległe do drogi, do wielkiego stawu, przez młyn na tereny z poszerzonym korytem (małe rozlewiska, mały staw), przez drogę i pola w kierunku przepompowni.</li><li>• Stwarza zagrożenie podtopień, nie służy zabezpieczeniu przeciwpowodziowemu.</li><li>• Nie ma alternatywnego zasilania ze strony Uszewki.</li><li>• W obecnym stanie nie spełnia zadań, które spełniała 50 lat temu.</li><li>• Mosty zbyt wąskie.</li><li>• Najstarsze drzewa – nasadzone, reszta – samosiewy.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dopływy skierować do Młynówki (z kanału II oraz z Koszyca); alternatywnie z Uszewki.</li><li>• Oczyszczyć, udrożnić przepływ.</li><li>• Uregulować brzegi, odmulić, pogłębić.</li><li>• Udrożnić przepusty, wyremontować i poszerzyć mosty.</li><li>• Pielęgnacja zieleni na całej długości (usunąć drzewa i krzewy z koryta rzeki; uzupełnić system zieleni przy rzece); gatunki liściaste, rodzime, dostosowane do krajobrazu.</li><li>• Zabezpieczenie skarp, faszynowanie.</li><li>• Odnowić stopnie wodne w celu uzyskania możliwości regulacji przepływu wody.</li><li>• Zachować historyczny przebieg, wykonać alternatywne poldery.</li><li>• Możliwość regulacji przepływu, zamknięcia dopływu – budowa baszt przepływowych.</li><li>• Drugi, alternatywny przepływ przez stawy dworskie.</li><li>• System zintegrowanej zieleni, ławki, grill, bar, smażalnia ryb.</li><li>• Zadania Młynówki:<ul style="list-style-type: none"><li>- zabezpieczenie przeciwpowodziowe,</li><li>- poprowadzenie wody do stawu (staw przepływowy),</li><li>- odciążenie zlewni Uszewki,</li><li>- dociążenie zlewni Gróbkki,</li><li>- osuszenie kanałów i pól,</li><li>- rekreacja – spacer, sploty, ścieżki rowerowe, ew. zarybienie.</li></ul></li></ul>

Tab. 2. Výsledky práce pracovnej skupiny „Krajina a ekológia zastavaných a poľnohospodárskych území“ – „Młynówka“.

Zdroj: Pijanowski, J. M., Przegon, W., & Szewczyk, R. (2017). Základy integrovaného rozvoja vidieka. Vydavateľstvo Poľnohospodárskej univerzity v Krakove, Krakov.

## Krok 6. Analýza možností a stanovenie priorit

Na základe modelových analýz sa vypracúvajú rôzne scenáre implementácie ekologických riešení, ktoré sa môžu líšiť rozsahom, lokalizáciou a mierou vplyvu. Tieto scenáre umožňujú analyzovať možné výsledky rôznych možností opatrení a určiť tie, ktoré najlepšie spĺňajú miestne požiadavky (Tabuľka 3). Každá možnosť sa podrobne analyzuje z hľadiska hydraulického účinnosti, čo znamená jej schopnosť znížiť riziko povodní a zlepšiť zadržiavanie vody. Zároveň sa posudzujú výdavky spojené so zavedením a údržbou rôznych riešení, čo umožňuje analyzovať ich rentabilitu v dlhodobom horizonte. Dôležitým ukazovateľom je aj schopnosť implementácie, ktorá zahŕňa technické a právne otázky, ako aj úroveň akceptácie verejnosťou. Okrem toho sa zohľadňujú aj ďalšie prínosy, ako napríklad zlepšenie kvality ekosystémov, zvýšenie biodiverzity a vytvorenie nových miest na rekreáciu pre obyvateľov. Prostredníctvom dôkladnej analýzy je možné identifikovať možnosti, ktoré spájajú hydrologickú efektívnosť s environmentálnymi a sociálnymi aspektmi. V dôsledku toho sa vyberajú kľúčové riešenia s najvyšším potenciálom uplatnenia, ktoré sa môžu stať základom pre ďalšiu fázu implementácie.

### C – „Problemy“

- Ogrodzenia wstawione na teren Młynówki.
- Zatarate granice pasa Młynówki.
- Zarośnięty teren pasa Młynówki, częściowo wysokimi drzewami – uzyskanie zgody na wycinkę.
- Kanał melioracyjny w poprzek Młynówki – problem głębokości.
- Konieczne pełne oczyszczenie i udroźnienie Młynówki.
- Utrzymywanie koryta rzeki w dobrym stanie (po „uruchomieniu” Młynówki).
- Konieczność wyczyszczenia i „odkopania” dawnego, piaszczystego dna.
- Konieczność odtworzenia przepustu za stawem i przepływu przez prywatne stawy i dokonanie prawnych uregulowań.
- Szamba i ścieki wpływające do Młynówki.
- Obawy przed potencjalnymi podtopieniami przez Młynówkę.
- Utrzymanie otoczenia Młynówki.

### D – „Rozwiązania”

- Geodezyjne uregulowanie granic, ewentualnie zawężenie pasa Młynówki, ale przy zachowaniu dostępności do terenu gminnego rzeki.
- Pozostawienie wartościowych drzew w pasie Młynówki, wycięcie całkowicie zawadzających, np. w korycie rzeki.
- Rozwiązanie melioracyjne skrzyżowania kanału melioracyjnego z Młynówką (syfon?).
- Nadzór władz nad drożnością.
- Kwestia rozwiązań prawnych/zgoda właścicieli na przepływ wody.
- Przydomowe oczyszczalnie, kanalizacja.
- Podtopienia: zachowanie przepompowni, zachowanie terenu zalewowego (koryto + teren rozlewiskowy), służący przy wpływie wody do Młynówki.

Tab. 3. Ekologiczna efektywność jako część społecznej efektywności.

Zdroj: Smolińska, A. (2011). *Efektywność inwestycji do czystości odpadów wód w Polsce a wykorzystanie zewnętrznych środków pomocy.* [Effectiveness of investment in sewage treatment plants in Poland and the use of external aid] (Doctoral dissertation, PhD Thesis, Poznań University of Economics, Poznań. URL: [www.wbc.poznan.pl/Content/187923/SmolinskaAnnaS4248.Pdf](http://www.wbc.poznan.pl/Content/187923/SmolinskaAnnaS4248.Pdf)).

## Krok 7. Příprava projektové dokumentácie

Po výbere riešení sa vypracuje podrobná dokumentácia, ktorá bude základom pre implementáciu plánovaných riešení. Tento dokument predstavuje náčrt zamýšľaných inžinierskych a ekologických prác, pričom zohľadňuje technické aj environmentálne otázky. V tomto dokumente sa presne určuje miesto zásahu, čo umožňuje presne určiť oblasti, v ktorých sa práce vykonávajú. Kľúčovým aspektom je tiež výber odporúčaných druhov rastlín, ktoré majú podporovať proces renaturalizácie, zvyšovať zadržiavanie vody a posilňovať stabilitu ekosystémov. Rozsah činností súvisiacich s obnovou prírodných podmienok zahŕňa okrem iného: obnovu prirodzených zákrut riek, obnovu mokradí a rekultiváciu území v zlom stave. Súčasne sa vypracúvajú potrebné formálne a právne dokumenty, ktoré umožnia začatie činností v súlade s platnými predpismi. Táto dokumentácia môže obsahovať povolenia týkajúce sa vôd, rozhodnutia súvisiace s ochranou životného prostredia a dohody s

miestnymi orgánmi a vlastníkmi nehnuteľností. Vypracované materiály zabezpečujú, že implementácia riešení založených na prírode prebieha organizovaným, transparentným spôsobom a v súlade s platnými právnymi predpismi.

#### Krok 8. Realizácia činností v teréne

Ďalším krokom je zavedenie vybraných riešení do praxe, čo znamená prechod od fázy plánovania a dokumentácie k skutočným opatreniam v teréne. Úlohy zahŕňajú okrem iného renováciu riečnych zákrut, ktoré podporujú prirodzený tok vody a zvyšujú retenčnú kapacitu riečnych údolí. Dôležitým aspektom je aj budovanie záplavových oblastí, ktoré umožňujú dočasné zadržiavanie prebytočnej vody, a tým znižujú riziko povodní v dolných častiach povodia. Výsadba vegetácie v lužných lesoch má kľúčový význam, pretože stabilizuje brehy riek, zvyšuje kvalitu vody a vytvára biotopy pre mnohé druhy. Revitalizácia mokradí prispieva k zvýšeniu biodiverzity, zlepšeniu zadržiavania vody a zníženiu emisií oxidu uhličitého z organických pôd. Je dôležité, aby všetky opatrenia boli realizované čo najmenej invazívnym spôsobom a s ohľadom na prirodzené ekologické procesy. To znamená používať pracovné metódy, ktoré sú v súlade s prirodzeným rytmom prírody, napr. odporúča sa vyhnúť sa prácam počas hniezdenia vtákov a obdobia rastu rastlín. Týmto spôsobom je možné zosúladiť ciele týkajúce sa hydrológie a ochrany pred povodňami so starostlivosťou o životné prostredie a udržateľným rozvojom ekosystémov.

#### Krok 9. Monitorovanie a hodnotenie

Po ukončení implementácie sa vykonáva pravidelné monitorovanie výsledkov, čo umožňuje posúdiť účinnosť zavedených riešení. Zahŕňa podrobné hydrologické výskumy, ako je monitorovanie hladiny vody, rýchlosti toku a frekvencie výskytu povodní. Súčasne sa vykonávajú štúdie týkajúce sa zmien v ekosystémoch, ktoré zahŕňajú hodnotenie biodiverzity a stavu biotopov (Obr. 6). Kľúčovým aspektom monitorovania je aj skúmanie vplyvu opatrení na miestne komunity, napríklad prostredníctvom prieskumov týkajúcich sa pocitu bezpečnosti alebo dostupnosti rekreačných oblastí. Na tomto základe je možné vykonať presné hodnotenie účinnosti zavedených riešení s ohľadom na hydrologické, sociálne a ekologické aspekty. Výsledky monitorovania tiež umožňujú identifikovať potenciálne problémy a určiť oblasti, ktoré si vyžadujú opravy. V dôsledku toho proces zavádzania riešení založených na prírode získava na dynamike, flexibilitu a prispôsobivosti meniacim sa environmentálnym podmienkam a spoločenským potrebám.



Obr. 6. Schéma formování bočního koryta Visly a ostrovů v oblasti Saska Kępa.

Zdroj: Bankowska, A., Sawa, K., Popek, Z., Wasilewicz, M., & Zelazo, J. (2010). Štúdie vybraných príkladov renaturácie riek. Infraštruktúra a ekológia vidieckych oblastí.

## **Obmedzenia a preferencie hodnotenia povodňového rizika prostredníctvom riešení založených na prírode**

Riešenia založené na prírode (Nature-Based Solutions, NBS) v oblasti riadenia povodňových rizík sú inovatívnym a čoraz častejšie používaným spôsobom ochrany oblastí ohrozených záplavami. Sú založené na využívaní prirodzených ekosystémových procesov, ako je akumulácia vody v mokradiach, obnova prirodzených koryt riek, rekonštrukcia záplavových území alebo výsadba lesov v povodiach, s cieľom zmierniť dôsledky povodní, zlepšiť kvalitu životného prostredia a zvýšiť odolnosť ekosystémov. Napriek mnohým výhodám je hodnotenie účinnosti takýchto riešení spojené s vážnymi technickými, organizačnými a poznávacími obmedzeniami.

### **1. Metodické a technické obmedzenia**

Jedným z najdôležitejších problémov je obtiažnosť presného posúdenia účinnosti prírodných riešení v oblasti znižovania rizika povodní. Na rozdiel od tradičných inžinierskych konštrukcií (napr. v prípade hrádzi alebo retenčných nádrží) sú účinky NBS silne závislé od miestnych hydrologických, pôdných, klimatických a biologických podmienok. Hydrodynamické modely používané na analýzu povodňového rizika často nezohľadňujú presne ekosystémové procesy, ako je prenikanie vody do pôdy, transpirácia rastlín a zmeny v krajine. Ďalším obmedzením je nedostatok dlhodobých empirických údajov, ktoré by mohli potvrdiť účinnosť prírodných riešení v rôznych geografických a klimatických podmienkach. Analýza vplyvu NBS na zníženie rizika povodní si vyžaduje dlhodobé monitorovanie, pričom prírodné javy sa prejavujú s oneskorením, čo sťažuje rýchle získanie jednoznačných výsledkov.

### **2. Obmedzenia súvisiace s inštitúciami a spoločenským životom**

Uplatňovanie prírodných riešení zvyčajne vyžaduje spoluprácu rôznych skupín – verejnej správy, vlastníkov pozemkov, neziskových organizácií a miestnych komunít. Nedostatok jasných právnych predpisov a finančných prostriedkov na činnosti súvisiace s prírodou predstavuje významné obmedzenie. Okrem toho sa v spoločenskom vnímaní stále prejavuje presvedčenie, že tradičné inžinierske riešenia sú „bezpečnejšie“ a predvídateľnejšie ako prírodné spôsoby ochrany pred povodňami. To môže brániť spoločenskej akceptácii a implementácii projektov NBS vo väčšom meradle.

### **3. Ekonomické obmedzenia**

Hoci ekologické riešenia sú z dlhodobého hľadiska zvyčajne rentabilnejšie ako klasické infraštruktúry, ich zavedenie si vyžaduje značné investičné náklady v etape plánovania a revitalizácie územia. Okrem toho sú výhody ich využívania (ako napríklad zvýšenie biodiverzity, zadržiavanie vody, rekreačné možnosti) nepriame a nie je ľahké ich priamo oceniť v analýzach nákladov a prínosov. Nedostatok ekonomických nástrojov na úplné posúdenie hodnoty ekosystémov preto predstavuje ďalšiu prekážku.

### **4. Preferencie a odporúčané postupy**

V súčasnosti sa pri hodnotení povodňového rizika odporúča používať integrované systémy analýzy, ktoré kombinujú hydrologické, geoinformačné a ekologické metódy. Čoraz častejšie sa využíva scenárové modelovanie, ktoré umožňuje porovnať účinnosť klasických a prírodných metód ochrany, ako aj posúdiť ich vzájomnú spoluprácu. Odporúča sa tiež používať participatívne metódy, ktoré zapájajú miestne komunity do procesu plánovania a monitorovania výsledkov NBS. Zapojenie

obyvateľov a užívateľov území do rozhodovacieho procesu zvyšuje akceptáciu medzi verejnosťou a podporuje lepšie prispôsobenie opatrení skutočným potrebám a podmienkam životného prostredia. Zvyšuje sa tiež význam digitálnych nástrojov, ako sú systémy GIS, diaľkové senzory a drony, ktoré umožňujú presné sledovanie hydrologických a ekologických zmien. Ich použitie podporuje neustranné hodnotenie účinnosti opatrení založených na prírode a umožňuje priebežnú aktualizáciu modelov povodňového rizika.