

Ochrana před povodněmi

Ing. Monika Čaganová



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Ing. Monika Čaganová
Osobní číslo: L22320
Studijní program: B1032A020002 Ochrana obyvatelstva
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Ochrana před povodněmi

Zásady pro vypracování

- Zpracujte teoretický vstup v oblasti problematiky ochrany před povodněmi.
- Realizujte analýzu opatření ochrany před povodněmi, zaměřte se také na opatření využívající umělou inteligenci.
- Provedte komparaci jednotlivých opatření ochrany před povodněmi a vyhodnotte.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. MÁCHOVÁ, Jana a HOVORKA, Petr. Protipovodňová opatření. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2013. ISBN 978-80-87096-17-8.
2. ADAMEC, Vilém a kol. Ochrana před povodněmi a ochrana obyvatelstva. 1. vydání. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-7385-118-7.
3. MINGALLON, Maria. AI Transforms Flood Management: Enhancing Resilience to the Climate Crisis. *NEW ZEALAND IOT ALLIANCE* [online]. 2023. Dostupné také z: <https://iotalliance.org.nz/ai-transforms-flood-management-enhancing-resilience-to-the-climate-crisis/>
4. Vyhláška č. 236/2002 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území, 2002. In: Sbíрка zákonů České republiky, ISSN 1211-1244
5. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, 2001. In: Sbíрка zákonů České republiky, ISSN 1211-1244

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Rak, Ph.D.**
Ústav ochrany obyvatelstva

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne 2. 5. 2025

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na ochranu před povodněmi s využitím umělé inteligence. Práce se konkrétně pokouší analyzovat a posoudit možnosti využití současných technologií umělé inteligence. Teoretická část se zabývá základními strategiemi ochrany před povodněmi a stávajícími možnostmi tradičních metod. Součástí teoretické části je literární rešerše zaměřená na současné možnosti a aplikace umělé inteligence. Praktická část se zaměřuje na konkrétní případy využití umělé inteligence při řešení povodňových scénářů. V praktické části jsou také zkoumány dostupné technologie, se zaměřením na prediktivní modely. Na těchto příkladech jsou posouzeny hlavní výhody a identifikovány případné nevýhody, které by bránily širšímu využití těchto technik v praxi. Na základě analýzy je vyhodnocená komparace a navrženo možné řešení v rámci protipovodňové ochrany České republiky.

Klíčová slova: ochrana před povodněmi, povodně, protipovodňová opatření, umělá inteligence.

ABSTRACT

The bachelor thesis focuses on flood protection using artificial intelligence. Specifically, the thesis attempts to analyse and assess the possibilities of using current artificial intelligence technologies. The theoretical part deals with the basic strategies of flood protection and the existing possibilities of traditional methods. The theoretical part includes a literature search focusing on the current possibilities and applications of artificial intelligence. The practical part focuses on specific cases of the use of artificial intelligence in dealing with flood scenarios. The practical part also explores available technologies, with a focus on predictive models. Using these examples, the main advantages are assessed and possible disadvantages that would hinder the wider use of these techniques in practice are identified. On the basis of the analysis, the comparison is evaluated and a possible solution is proposed for flood protection in the Czech Republic.

Keywords: flood protection, floods, flood control measures, artificial intelligence.

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubu Rakovi, Ph.D. za čas a rady, které dopomohly k vypracování této práce.

Dále děkuji své nejbližší rodině, která mi po celou dobu studia byla neustálou oporou.

„Non scholae, sed vitae discimus.“ – „Neučíme se pro školu, ale pro život.“ (Seneca)

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 POJMY A LEGISLATIVA V OBLASTI OCHRANY PŘED POVODNĚMI.....	14
1.1 POVODNĚ	14
1.1.1 Přírodní povodně.....	15
1.1.2 Zvláštní povodně	16
1.1.3 Přívalová povodeň.....	18
1.2 LEGISLATIVNÍ RÁMEC OCHRANY PŘED POVODNĚMI	19
2 TRADIČNÍ PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ.....	22
2.1 OPATŘENÍ PODLE FÁZE POVODNĚ	22
2.2 METODY PODLE CHARAKTERU OPATŘENÍ.....	23
2.2.1 Technické opatření	23
2.2.2 Netechnická opatření.....	28
3 UMĚLÁ INTELIGENCE	29
3.1 HISTORIE UMĚLÉ INTELIGENCE.....	29
3.2 DEFINICE UMĚLÉ INTELIGENCE.....	30
3.3 SOUČASNÉ VYUŽÍVÁNÍ UMĚLÉ INTELIGENCE	31
4 DÍLČÍ ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	34
5 METODIKA PRÁCE.....	35
5.1 OMEZENÍ PRÁCE	35
5.2 POUŽITÉ METODY	36
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	38
6 ANALÝZA PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ S VYUŽITÍM UMĚLÉ INTELIGENCE	39
6.1 PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ V ČESKÉ REPUBLICE	39
6.2 PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ VE SVĚTĚ	45
6.3 KOMPARACE TRADIČNÍCH A MODERNÍCH PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ	49
6.3.1 Výsledek komparace	52
6.4 DÍLČÍ ZÁVĚR	53
7 NÁVRHOVÁ ČÁST	55
ZÁVĚR	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	67
SEZNAM TABULEK.....	68

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
---	-----------

ÚVOD

Povodně jsou jednou z nejčastějších a nejničivějších přírodních katastrof a vážně poškozují infrastrukturu, majetek i lidské životy. Výskyt a závažnost povodní postupně narůstají spolu s intenzitou klimatických změn, což klade stále větší nároky na inovativní a účinné protipovodňové systémy. Přestože tradiční techniky, jako je výstavba retenčních nádrží, protipovodňových zábran nebo vytváření evakuačních plánů, jsou stále důležité, z nedávných katastrof je zřejmé, že si samy o sobě nedokážou poradit se složitými a dynamickými problémy, které tyto události poskytují.

V posledních letech výrazně vzrostl zájem o využití technologií umělé inteligence (AI) pro zmírnění, řízení a prevenci povodní. Analýzu obrovského množství dat v reálném čase umožňuje umělá inteligence, která zvyšuje schopnost identifikovat klíčová místa a předpovídat povodňové nebezpečí. Například na základě historických záznamů, hydrologických měření a meteorologických údajů mohou současné předpovědní modely založené na strojovém učení přesně předpovídat průběh povodní. Techniky se již osvědčily v reálných aplikacích, jako je automatická analýza rizik ve městech nebo monitorování záplavových oblastí pomocí satelitních dat.

Efektivnější krizové řízení je nyní možné díky nedávným technickým pokrokům, jako je využití masivních jazykových modelů pro rychlou koordinaci a komunikaci během mimořádných událostí nebo integrace umělé inteligence a technologií dronů pro mapování povodňových škod. Za účelem konstrukce sofistikovaných ochranných systémů, které mohou rychle reagovat na nepředvídané změny povodňového scénáře, se tyto technologie také stále častěji spojují s tradičními technikami.

Hlavním cílem bakalářské práce je prozkoumat, jak lze využít moderní metody umělé inteligence ke zlepšení ochrany před povodněmi. V rámci analýzy se práce zaměřuje především na aktivity spojené s monitorováním záplavových oblastí, předpovídáním povodní a podpory rozhodování při mimořádných událostech. Práce se snaží co nejpřesněji popsat a vyhodnotit výhody, nevýhody určitých protipovodňových opatření a provést jejich komparaci.

V rámci naplnění hlavního cíle se práce dále zaměřuje na několik dílčích cílů. Prvním z nich je teoretické ukotvení problematiky prostřednictvím vymezení klíčových pojmů spojených s ochranou před povodněmi a umělou inteligencí, včetně stručného historického vývoje, současného využití a legislativního rámce. Následně je cílem identifikovat a popsat

aktuální přístupy využívající umělou inteligenci v oblasti povodňové prevence a reakce na povodňové situace, a to jak v mezinárodním, tak v českém kontextu. Další dílčí cíl spočívá v komparativní analýze tradičních a AI podporovaných metod ochrany před povodněmi se zaměřením na jejich výhody, nevýhody. V závěru práce je pak cílem formulovat návrh možného modelu integrace umělé inteligence do systému ochrany před povodněmi v České republice s ohledem na jeho efektivitu, proveditelnost.

Kromě posouzení přínosu umělé inteligence v oblasti prevence povodní se bakalářská práce snaží poukázat na současnou úroveň využití umělé inteligence v rámci protipovodňových opatření v České republice. Výsledky této studie mohou pomoci vytvořit nové strategie pro řízení povodňových rizik a zvýšit odolnost civilizace vůči povodním, které jsou stále častější.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 POJMY A LEGISLATIVA V OBLASTI OCHRANY PŘED POVODNĚMI

Povodním nelze zabránit, protože jsou přirozeným jevem, pokud se nebavíme o selhání lidského faktoru, materiální únavy či útoku na vodní hráze. Systematické provádění preventivních opatření je obtížné z důvodu jejich nepravidelné četnosti a různého rozsahu, což negativně ovlivňuje vnímání jejich nebezpečnosti. Pokud jde o přírodní katastrofy, povodně jsou pro Českou republiku největším přímým rizikem. Mohou vést i k velkým krizovým situacím, které mohou způsobit rozsáhlé materiální škody, úmrtí místních obyvatel a dochází k destrukci kulturní krajiny, které mají za následek ekologické škody.

1.1 Povodně

Povodně se vyskytují stále častěji v důsledku řady topografických, meteorologických a antropogenních příčin. Příkladem lidských příčin je urbanizace v blízkosti vodních toků, využívání a větší zábor půdy, udusání půdy těžkou zemědělskou technikou a odlesňování. Časový rozsah, objem a intenzita srážek, sněžení a případně tání sněhu, vlhkost, teplota a vítr jsou příklady meteorologických faktorů. Vegetace, typ půdy, sklon terénu, hloubka hladiny podzemní vody a propustnost povrchu jsou považovány za topografické charakteristiky. (Clements a Casani, 2016)

Povodeň můžeme charakterizovat jako „*přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod.*“ (ČESKÁ REPUBLIKA, 2001b., § 64)

Vzhledem k tomu, že území České republiky je velmi hornaté, má extrémně hustou hydrografickou síť s délkou okolo 85 000 km. Stálý sezónní cyklus srážek a teplot je způsoben polohou ČR, která se nachází v mírném klimatickém pásmu. Srážky jsou v průběhu roku rozloženy poměrně kontinentálním způsobem. Nejvíce srážek spadne v měsících květen až srpen, naopak nejméně v únoru a březnu. V letních měsících jsou běžné krátkodobé intenzivní srážky, které zasahují poměrně malá území a mohou být bouřkového charakteru. Přestože orografické vlivy reliéfu jsou značné, dlouhodobé srážky obecně stoupají s nadmořskou výškou. (Kovář, 2004)

V rámci práce jsou povodně rozděleny do dvou hlavních kategorií – přirozené povodně a zvláštní povodně. Každý z těchto typů se vyznačuje specifickými příčinami a důsledky, které ovlivňují způsoby jejich prevence a řešení. V následujících podkapitolách budou tyto pojmy podrobněji vysvětleny, přičemž bude kladen důraz na jejich charakteristiku, vznik a možné dopady.

1.1.1 Přirozené povodně

„Přirozenou povodní se rozumí povodeň způsobená přírodními jevy, kdy dochází k přechodnému výraznému zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových toků, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody.“ (EDPP, 2024)

Přirozené povodně můžeme dělit podle sezonního výskytu a příčin na **letní povodeň** způsobenou následkem přívalových nebo regionálních dešťů a **zimní a jarní** způsobenou následkem tání sněhové pokrývky nebo vytváření a pohybu ledové masы v toku. (Slavík a Neruda, 2007)

Letní povodeň způsobená krátkodobým přívalovým deštěm zasahuje převážně malá území. Intenzita srážek se pohybuje často i přes 100 mm za několik málo hodin a vyskytují se hlavně v období od dubna do konce září. Kvůli intenzitě dochází k rychlému vzestupu hladiny vodních toků a následky bývají také označovány jako blesková povodeň. Nejhorší důsledky mají zejména na sklonitých vějířovitých povodích, kdy doba, která uplyne od spadnutí prvních kapek až po překročení kapacity koryta a dojde tak k ohrožení obyvatelstva, které se nachází dále po toku. (Klecze et al., 2011) Dalším druhem letních povodní jsou ty způsobené dlouhotrvajícími regionálními dešti. Srážky zpravidla zasahují rozsáhlé území až do desítek tisíc kilometrů čtverečních. Mívají nižší intenzitu, avšak při dlouhodobém trvání dochází k nasycení půdy a vodních toků, které již nejsou schopny udržet vodu. Důsledky bývají obvykle na středních a větších tocích v zasaženém území. (Kovář, 2004)

Zimní a jarní povodně způsobené táním sněhové pokrývky se nejčastěji vyskytují na podhorských tocích a posunují se dále po směru toku a projevují se v nížinných úsecích velkých toků. Dešťová voda nebo voda z tání může být částečně zadržována silnou vrstvou sněhu, ale pouze do vyčerpání retenční kapacity. Tenká vrstva sněhu taje rychleji, zejména pokud je pod ní zmrzlá půda. V horských oblastech sníh obvykle taje pomaleji, což zvyšuje jarní vodnatost toků. Kvůli střídavému sněžení a následnému tání se vrstva sněhu v nížinách

a pahorkatinách neudrží příliš dlouho. Hlavní příčina tohoto druhu povodní – teplota vzduchu umožňuje lepší předpověď, jelikož srážky jsou méně předvídatelnější než teplota vzduchu. (Kleczek et al., 2011)

Zimní povodňové situace způsobené ledovými jevy se vyskytují zejména v úsecích toků, které jsou náchylné ke vzniku ledových nápěchů a ledových zácp. (Kovář, 2004) Ledové struktury se na tocích od břehu k toku začínají tvořit, jakmile rozdíl mezi maximální a minimální teplotou vzduchu během dne klesne pod 0 °C. Jejich narušení, pohyb nebo uvolnění usnadňuje tání, zejména je-li doprovázeno deštěm. Kvůli většímu proudu je ledová pokrývka narušena v místech, kde je nejslabší. (Kleczek et al., 2011)

1.1.2 Zvláštní povodně

„Zvláštní povodeň je povodeň, způsobená umělými vlivy, tj. situace, jež může nastat při stavbě nebo provozu vodních děl, která vzdouvají nebo mohou vzdouvat vodu, zejména při narušení tělesa vzdouvacího vodního díla, poruše hradicích konstrukcí výpustných zařízení vodního díla nebo nouzovém řešení krizových situací z hlediska bezpečnosti vodního díla.“ (Kovář, 2004)

Vlastníci nebo správci vodních děl jsou povinni zajistit odborný technický a bezpečnostní dozor. Ten se provádí za účelem průběžného posuzování technického stavu vodního díla z hlediska stability, bezpečnosti a případných poruch a navrhování vhodných nápravných opatření. Vodní díla jsou pro účely dohledu rozdělena do kategorií I. až IV. podle toho, jak velké škody by způsobila havárie v oblasti pod vodním dílem. Vlastník (uživatel) nebo vedení vodního díla odpovídá za to, že monitorování vodních děl kategorie I. a II. provádí oprávněná odborná organizace. (Kovář, 2004)

Tabulka 1 Kritéria pro zařazení vodního díla do kategorie

Kategorie vodních děl	Kritéria pro zařazení vodních děl do určité kategorie
Kategorie I	• <i>Ohroženo tisíce až desetitisíce osob, velké ztráty na životech.</i> • <i>Velké škody na vodním díle, obnova je velmi složitá a nákladná.</i> • <i>Rozsáhlé škody na obytné a průmyslové zástavbě, silniční a železniční síti, ohrožena další vodní díla.</i>

	• <i>Ztráty způsobené vyřazením vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy a jiné jsou těžko nahraditelné.</i> • <i>Škody na životním prostředí jsou vysoké, překračují význam kraje, ekonomický dopad na celý stát.</i>
Kategorie II	• <i>Ohroženy stovky až tisíce osob, předpokládány ztráty na životech.</i> • <i>Značné škody na vodním díle, obnova je složitá a nákladná.</i> • <i>Škody na obytné a průmyslové zástavbě, dopravní síti, ohrožena další vodní díla.</i> • <i>Ztráty způsobené vyřazením vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy nebo jiné ztráty jsou značné.</i> • <i>Škody na životním prostředí překračují význam kraje.</i>
Kategorie III	• <i>Ohroženy desítky až stovky osob, mohou být ztráty na životech.</i> • <i>Poškození vodního díla, obnova je proveditelná.</i> • <i>Škody na obytné a průmyslové zástavbě, dopravní síti, mohou být ohrožena další méně významná vodní díla.</i> • <i>Ztráty způsobené vyřazením vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy nebo jiné ztráty jsou nahraditelné.</i> • <i>Škody na životním prostředí nepřekračují význam kraje.</i>
Kategorie IV	• <i>Ztráty na životech jsou nepravděpodobné.</i> • <i>Poškození vodního díla, obnova je proveditelná.</i> • <i>Malé materiální škody.</i> • <i>Ztráty způsobené vyřazením vodního díla z provozu jsou malé.</i> • <i>Škody na životním prostředí jsou zanedbatelné.</i>

V seznamu od ministerstva zemědělství je uvedeno 27 přehrad, které spadají do kategorie I. (MZe, 2025) V kategorii II. je zařazeno přes 70 vodních děl včetně přehrad, jezů a odkališť. Povodněmi jsou často ohrožena i vodní díla třetí a čtvrté kategorie, zejména malé vodní nádrže a rybníky, kterých je v České republice přes 21 tisíc. Kvůli nedostatečné kapacitě vypustných objektů, špatnému technickému stavu nebo zanedbané údržbě tak mohou tato vodní díla představovat další povodňové riziko. Přibližně 20-30 % všech hrází menších nádrží III. a IV. typu v České republice nesplňuje požadavky na bezpečnost a technický dozor, které jsou nutné pro průchod padesátileté a stoleté povodně. Povodňové plány územních celků musí obsahovat analýzu pravděpodobnosti a průběhu zvláštních povodní, posouzení jejich dopadu na profil vodního díla a stanovení standardních limitů stupňů povodňové aktivity při nebezpečí zvláštní povodně. Důležitou součástí provádění technickobezpečnostního dohledu je stanovení směrodatných limitů pro úroveň povodňové aktivity při nebezpečí zvláštní povodně pro vodní díla I. až III. kategorie. Limity jsou uvedeny v programech technickobezpečnostního dohledu nad těmito vodními díly.

Vzhledem ke specifickému průběhu povodňové vlny, odlišnému systému varování a předpokladu významné evakuace osob, zvířat a majetku je třeba při posuzování ničivého účinku v zasaženém území postupovat odděleně od přirozených povodní, pokud povodňové průtoky přesahují hodnoty stoleté povodně a rozsah území ohroženého zvláštní povodní výrazně přesahuje stanovená záplavová území. V těchto případech bude nutné krizové řízení a budou následovat krizové přípravy. (Kovář, 2004)

1.1.3 Přívalová povodeň

Ačkoliv přívalové povodně byly zmíněny již v oddíle 1.1.1 v rámci přirozených povodní, zaslouží si samostatný oddíl, jelikož praktická část bakalářské práce se bude jimi zabývat a věnovat jim značnou část pozornosti.

Přívalové povodně jsou lokální hrozbou, která se může vyskytnout v mnoha částech země a může mít katastrofální dopady na menší vodní toky, které odvodňují především svažité oblasti. Je způsobena krátkými intenzivními srážkami, které trvají jen několik hodin na malém území. (Novák a Tomek, 2015)

V zastavěných oblastech dochází k horším přívalovým povodním také proto, že místní vodní toky jsou často přehrazeny nebo nevhodně upraveny. Nečistoty rychle ucpou vtoky

do těchto úseků a voda, která nemůže přirozeně odtékat, se rozvodní a poškodí okolní budovy, zničí infrastrukturu a způsobí značné materiální škody i oběti na životech.

Negativní dopady má také růst nepropustných ploch ve vnitřním městě, jako jsou budovy, obslužné plochy a související komunikace, jejichž výstavba obvykle nepočítá s vytvořením náhradních retenčních objemů. (Novotný, 2022)

Hlavním rizikem přívalových povodní je jejich rychlý nástup, což ztěžuje jejich přesné předpovědi. (Simon a Sucharda, 2004)

1.2 Legislativní rámec ochrany před povodněmi

V České republice můžeme základní legislativní a institucionální zabezpečení při tématu povodní rozdělit do tří oblastí:

Oblast krizového řízení je upravena právními normami:

- *Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení (dále jen krizový zákon)*, upravuje opatření pro řešení krizových situací včetně povodní. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2000d)
- *Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému*, definuje koordinaci složek IZS při povodních a jiných mimořádných událostech. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2000c)
- *Zákon č. 241/2000 Sb., o hospodářských opatření pro krizové stavy*. Řeší přidělování zásob a služeb při krizových situacích. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2000e)

Obecná ochrana před povodněmi:

- *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (dále jen zákon o vodách)*. Prevence před povodněmi je jednou z mnoha oblastí vodního hospodářství, které zákon plně upravuje, a to jak před vyhlášením stavu nebezpečí, tak i po něm. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2001b)

Územní plánování:

- *Zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním úřadu (Stavební zákon)*, upravuje, kde lze stavět s ohledem na povodňová rizika. (ČESKÁ REPUBLIKA, 1976.)
- *Zákon č. 128/2000 Sb., o obcích (obecní zřízení)*, stanovuje odpovědnost obcí za ochranu před povodněmi. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2000a)

- *Zákon č. 129/2000 Sb., o krajích (krajské zřízení).* Kraje zajišťují regionální protipovodňovou ochranu. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2000b)

Související legislativa v oblasti řešení ochrany před povodněmi:

- *Zákon č. 12/2002 Sb., o státní pomoci při obnově území postiženého živelní nebo jinou pohromou a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojišťovnictví), ve znění pozdějších předpisů (zákon o státní pomoci při obnově území).* Řeší finanční pomoc po povodních. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2002b)
- *Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky schválená vládou usnesením č. 328/2000 Sb.* Dlouhodobý plán řízení povodní v České republice. (Vláda České republiky 2000)
- *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice schválené usnesením vlády ČR č. 799/2010.* Zaměřuje se na přírodě blízká opatření proti povodním. (Vláda České republiky, 2010)
- *Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR č. 178/2012 Sb.,* kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2012)
- *Vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR č. 471/2001 Sb.,* o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2001a)
- *Vyhláška Ministerstva zemědělství ČR č. 216/2011 Sb.,* o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2011)
- *Vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR č. 79/2018 Sb.,* o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovení záplavových území. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2018)
- *Vyhláška Ministerstva financí ČR č. 186/2002 Sb.,* kterou se stanoví náležitosti přehledu o předběžném odhadu nákladů na obnovu majetku sloužícího k zabezpečení. (ČESKÁ REPUBLIKA, 2002a)

Metodické pokyny a normy v oblasti ochrany před povodněmi:

- *Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby.* (DPP ČR, 2011)

- *Metodický pokyn pro provádění technických revizí vodních děl ohlášených podle § 15a vodního zákona. (MŽP, 2023)*
- *Metodický postup pro stanovení účinků zvláštních povodní a jejich začlenění do povodňových plánů podle Nařízení vlády ČR č. 100 o ochraně před povodněmi. (MŽP, 2004)*
- *Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k výkladu některých ustanovení vyhlášky č. 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracovávání návrhu a stanovování záplavových území a jejich dokumentace. (MŽP, 2019)*

2 TRADIČNÍ PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ

Označení tradiční protipovodňové opatření není oficiální název v rámci odborné literatury, ale bude využito v bakalářské práci pro rozlišení metod, které využívají, respektive které nevyžívají umělou inteligenci při ochraně před povodněmi. Nelze explicitně rozdělit metody z pohledu využívání AI, jelikož součástí většiny metod může být její využití, ale konkrétní použití AI bude přiblíženo až v praktické části.

V průběhu věků se tradiční protipovodňové techniky vyvíjely v reakci na časté povodně a jejich dopady na životní prostředí a lidská společenství. Tyto strategie využívají řadu krizových, ochranných a preventivních opatření k regulaci vodních toků, snížení nebezpečí povodní a minimalizaci škod. V zájmu podpory dlouhodobé stability zasažených oblastí je hlavním cílem vytvořit účinný systém, který dokáže rychle reagovat na nadcházející nebezpečí. (Adamec, 2012) Tradiční techniky kombinují organizační procesy pro plánování, varování a řízení povodní s fyzickými kontrolními mechanismy pro regulaci vodních toků. Jejich účinnost závisí nejen na technickém provedení, ale také na správné koordinaci jednotlivých složek odpovědných za krizové řízení a na informovanosti obyvatel o povodňových rizicích. (Máchová a Hovorka, 2013)

2.1 Opatření podle fáze povodně

Opatření k ochraně před povodněmi se dělí na:

- a) přípravná fáze,
- b) fáze při povodni,
- c) fáze po povodni. (HZS ČR, 2022)

Do **přípravné fáze** řadíme aktivity jako zpracování *povodňových plánů*, provádění *povodňových prohlídek*, organizační a technickou přípravu, zajišťování *povodňových rezerv*, vyklizení *záplavových území*, přípravu *informačního systému*, školení *pracovníků povodňové služby*, zajištění *technickobezpečnostního dohledu na vodních dílech*. (HZS ČR, 2022)

Do fáze **při povodni** zařazujeme *činnost předpovědní povodňové služby a informačního systému*, *ovlivňování odtokových poměrů*, *zabezpečovací povodňové práce*, *záchranné povodňové práce (varování a vyrozumění, evakuace obyvatel, humanitární pomoc)*,

náhradní dopravu, zajištění zásobování potravinami, vodou, energií, činnost ostatních účastníků povodňové ochrany atd. (HZS ČR, 2022)

*Ve fázi **po povodni** dochází k **obnovení povodní narušených funkcí v zasaženém území (mimo investiční výstavbu), zjišťování a oceňování povodňových škod, evidenční a dokumentační práce a celkové vyhodnocení průběhu povodně. (HZS ČR, 2022)***

2.2 Metody podle charakteru opatření

Existují dvě hlavní kategorie protipovodňových opatření z hlediska charakteru opatření. Tyto strategie ochrany před povodněmi zahrnují jak **technické**, tak **netechnické** strategie. Příkladem technických protipovodňových opatření jsou retenční nádrže, zkapacitnění koryta a stabilizace, které zahrnují zpevnění koryt toků, výstavbu ochranných hrází a zvýšení retence v povodí. Příkladem netechnických opatření jsou povodňové zóny a jejich právní ochrana, předpovědní varovné systémy a výchova veřejnosti k odpovědnému chování při povodních. (Čamrová a Jílková, 2006)



Obrázek 1 Rozdělení protipovodňového opatření

(zdroj: Čamrová a Jílková, 2006)

2.2.1 Technické opatření

Jsou zaměřena na fyzickou regulaci vodních toků a minimalizaci povodňových škod. Patří mezi ně:

Retence/ retenční prostory:

Retenční prostory, které jsou definovány především menší hloubkou vody a vyšším odtokem než nádrže, vznikají především v povodích nebo v přirozeně vzniklých či člověkem vytvořených inundacích pomocí liniových prvků, jako jsou zdi, hráze apod. Většina retenčních ploch je uměle vytvořena navršením v depresích v oblastech s vhodnou konfigurací terénu; retenční kapacita se zvýší o počáteční samovolnou nebo neexistující infiltraci. V závislosti na místních podmínkách může k zasakování docházet přirozeně nebo může být provedeno umístěním vzdouvací konstrukce nebo jiného srovnatelného zařízení na toku, které vyplní retenční prostory a zajistí potřebné zvýšení hladiny. Takto vytvořené retenční plochy se obvykle využívají k běžným zemědělským účelům, přičemž se dbá na to, aby se v nich zadržovaná voda udržela co nejdéle. Na hlavním toku se zřizuje jez různého typu, zejména jezová zdrž, ale u menších může tuto funkci plnit i retenční přepážka. Retenční plochy mohou mít řízený i neřízený přítok a mohou být využívány na základě předpovědi povodní. (Královéhradecký kraj, 2013b)



Obrázek 2 Retenční prostor obce Novosedly

(zdroj: Obec Novosedly, 2025)

Hráze a protipovodňové zdi slouží k ochraně zastavěných území před rozlitím řeky. V závislosti na tom, kde se nacházejí ve vztahu k toku, jsou hráze obvykle zhotoveny ze zemního materiálu a jsou vedeny buď prakticky těsně za břehovou hranou, přičemž vzniklý pás mezi patou hráze a břehem lze do jisté míry označit jako bermu, nebo jsou vedeny od břehové hrany, což umožňuje určitý rozliv a zabraňuje úplnému narušení původní inundace. Ztráta záplavového území je v podstatě minimalizována, pokud je další umístění tohoto ochranného prvku přímo proti proudu zástavby, kterou je třeba chránit. Hráze určené ke vzdutí vody jsou pak vybaveny nezbytným bezpečnostním a provozním zařízením, které zahrnuje přinejmenším základovou výpust s výpustným objektem, základové výpustné potrubí a výpustný objekt se zařízením pro tlumení vodní energie, v závislosti na cíli stavby. Další nezbytnou součástí infrastruktury je bezpečnostní nebo havarijní přeliv. Pokud je hráz budována za účelem ochrany, další vybavení často tvoří mosty, inundační propustky a obvykle související vegetace umístěná mimo vlastní těleso hráze. (Královéhradecký kraj, 2013a)



Obrázek 3 Ochranné hráze Olešenského potoka

(zdroj: Povodí Vltavy, 2025)

Zkapacitnění koryt vodních toků je technické opatření zaměřené na zvýšení průtočné kapacity koryta, aby bylo schopno pojmout větší objem vody během povodní. Tento zásah často zahrnuje prohloubení, rozšíření nebo narovnání koryta, což umožňuje rychlejší odvedení povodňových průtoků, zejména v zastavěných oblastech. Při realizaci těchto úprav je důležité zohlednit ekologické aspekty a snažit se o řešení blízka přírodě, aby nedošlo k narušení přirozených funkcí vodního toku. (Královéhradecký kraj, 2013c)

Regulace lesního hospodářství představuje významné technické opatření zaměřené na zlepšení schopnosti krajiny zadržovat vodu a tím snižovat riziko povodní. Správné hospodaření v lesích, včetně výběru vhodné skladby dřevin, má přímý vliv na infiltrační schopnost půdy a celkovou retenci vody v krajině. Například smíšené lesy s vyšším zastoupením listnatých dřevin mohou lépe zadržovat vodu než monokultury jehličnanů. Viz obrázek číslo 4, i po odumření stromu zbývají po tlejících kořenech perkolační šachty, jimiž voda proniká do hloubky. Při vývratu buku vznikla hluboká deprese a vodní rezervoár s prameništěm. Kromě toho přirozené prvky, jako jsou padlé kmeny a lesní mokřady, zpomalují odtok vody a podporují její vsáknutí do půdy. Implementace přírodě blízkých opatření v lesním hospodaření tak může významně přispět k efektivnímu zadržení vody v krajině a ke zlepšení ekologického stavu vodních útvarů. (Hnutí DUHA, 2004)



Obrázek 4 Hluboký kořenový systém buku umožňující dobrou perkolaci vody

(zdroj: Hnutí DUHA, 2004)

Regulace zemědělské činnosti. Implementace vhodných zemědělských postupů, jako je zatravnění, zalesňování, protierozní opatření, vytváření vegetačních pásů a úprava hospodaření na zemědělských pozemcích, může významně přispět ke zpomalení odtoku vody a zlepšení infiltrační schopnosti půdy. Tyto praktiky podporují přirozené zasakování srážkových vod, čímž snižují povrchový odtok a následné riziko povodní. Kromě toho zvyšují ekologickou stabilitu krajiny a přispívají k ochraně vodních zdrojů. (Jelínková, 2014)

Stabilizace koryt vodních toků je technické opatření zaměřené na zajištění jejich dlouhodobé stability a funkčnosti. Cílem je předcházet erozi břehů a dna, což napomáhá ochraně okolních pozemků a infrastruktury před poškozením způsobeným vodní erozí. Při stabilizaci se často využívají přírodě blízké metody, jako je instalace dřevní hmoty do koryta, která podporuje hloubkovou stabilizaci a změlčení koryta. Opatření přispívají ke zvýšení retenční schopnosti krajiny a podpoře biologické rozmanitosti. (AOPK ČR, 2025)



Obrázek 5 Stabilizace koryta Motolského potoka

(zdroj: Pražská příroda, 2012)

2.2.2 Netechnická opatření

Žádná/ nulová opatření zachycují zkušenosti lidí, kteří žijí v blízkosti vodních toků. Zejména v minulosti se lidé spoléhali na každoroční záplavy v nivách, které způsobuje vytékající voda. V důsledku toho se vyhýbali výstavbě svých obcí v zaplavených oblastech. Takzvaná povodňová paměť sloužila jako základ této techniky, která vyžaduje neustálé posilování. Citlivost lidí na povodňové riziko (pocit bezpečí, růst osídlení a požadavek na rozšiřování zástavby) se však snižovala s tím, jak se zlepšovalo hospodaření s vodou na vodních tocích a záplavová území se začala více zastavovat. (Zeměpisec.cz, 2025)

Definování záplavových zón a jejich právní zajištění. Vymezení těchto zón pomáhá řídit růst a využívání oblastí s vysokým rizikem povodní. Právní struktura zaručuje, že v těchto oblastech je buď zakázána nová výstavba, nebo jsou činnosti spojeny s požadavkem na dodržování určitých bezpečnostních předpisů. To zahrnuje finanční a pojistná opatření, která vedle územního plánování motivují vlastníky nemovitostí k dodržování limitů. Při účinném uplatňování metody se snižují povodňové škody a obyvatelstvo je chráněno před nebezpečím přírodních katastrof. (Čamrová a Jílková, 2006)

Předpovědní a varovné systémy hrají klíčovou roli při včasném informování obyvatel a krizových složek o hrozícím nebezpečí povodně. Systémy využívají hydrometeorologická data k monitorování vývoje srážek, stavu vodních toků a půdní nasycenosti. Díky moderním technologiím, jako je umělá inteligence a strojové učení, se přesnost předpovědí neustále zlepšuje. Varování se šíří prostřednictvím sirén, SMS zpráv, mobilních aplikací, televizního a rozhlasového vysílání. (RAINMAN Toolbox, 2025)

Výchova veřejnosti k odpovědnému chování při povodňových rizikových situacích. Škodlivé následky povodní lze výrazně zmírnit, pokud se obyvatelé seznámí s povodňovým nebezpečím a budou dodržovat správné postupy. Příkladem vzdělávání veřejnosti jsou informační kampaně, školní výukové programy, školení o evakuaci a šíření informačních materiálů. Kromě varovných signálů a výstražných technik by obyvatelé měli znát bezpečnostní protokoly, včetně toho, jak chránit svůj majetek, co dělat v případě povodně a jak se chovat během evakuace. Zvýšení informovanosti zvyšuje připravenost obyvatel a snižuje možnost paniky nebo špatných rozhodnutí v případě mimořádné události. (Ministerstvo vnitra ČR, 2002)

3 UMĚLÁ INTELIGENCE

V posledních letech se umělá inteligence stala klíčovým nástrojem v různých oblastech, jako je krizové řízení a připravenost na katastrofy. Umělá inteligence se stále více využívá také v oblasti prevence povodní, protože dokáže analyzovat obrovské množství dat, rozpoznávat trendy a vytvářet prediktivní modely. Efektivnější dohled nad záplavovými oblastmi, rychlejší a přesnější předpovídání povodní a lepší pomoc při rozhodování v krizových situacích umožňují současné technologie, jako je například strojové učení a neuronové sítě. Umělá inteligence se stává klíčovým prvkem pro zvýšení účinnosti a přesnosti metod protipovodňové ochrany. Je to způsobeno tím, jak je počítačový výkon stále dostupnější, algoritmy se zdokonalují a systémy mají čím dál tím více dat, se kterými mohou pracovat.

3.1 Historie umělé inteligence

Obor umělé inteligence existuje teprve od poloviny 20. století. Koncept konstrukce robotů s určitou „inteligencí“ je však znám již delší dobu. Většinou se objevují v bájích a pověstech. Příběhy o homunkulech neboli umělých bytostech jsou pravděpodobně nejznámější. Ve starém Řecku prý Hefaistos sestrojil měděného obra Talóa, jehož úkolem bylo chránit pobřeží Kréty. Jedná se o jeden z nejstarších příběhů o umělém člověku. Podle známé středověké legendy vlastnil mechanickou hlavu také papež Sylvestr II. Tato hlava měla dokázat odpovídat na dotazy a vést rozhovor. Podle pražské legendy o Golemovi vytvořil židovský rabín Jehuda Löw hliněnou bytost. Podle pověsti měl Golem bránit židovské obyvatelstvo v Praze a měl být ožívován tzv. šémem. (Koval, 2008) Podobných příběhů existuje celá řada, ale až ve 20. století – kdy nové technologie tak rychle pokročily se začaly objevovat hrubé, ale funkční stroje s určitým stupněm „inteligence“.

Myšlenka umělé inteligence se poprvé objevila v roce 1945, kdy Vannevar Bush, jeden z prvních zakladatelů, navrhl systém, který by zvýšil lidské znalosti a porozumění. Po něm následoval Alan Turing, který v roce 1950 napsal článek o schopnostech strojů simulovat člověka a jejich schopnostech provádět inteligentní činnosti, například hrát šachy. (Smith et al., 2006) Významným mezníkem ve vývoji umělé inteligence se stala konference pořádaná v roce 1956 Johnem McCarthyem na Dartmouth College v New Hampshire. Tato událost měla za cíl prozkoumat možnosti inteligentního chování strojů a definovat směr nově vznikající vědecké disciplíny, kterou McCarthy pojmenoval jako umělou inteligenci.

Na začátku studia umělé inteligence bylo využíváno "symbolické" paradigma, které se snažilo napodobit lidské myšlení. Avšak strategie nepřinesla očekávané výsledky a vedla

k útlumu umělé inteligence, kdy byly investice do výzkumu minimální. V posledním desetiletí se však díky pokroku v informatice, hardwaru a softwaru, komunikaci začala umělá inteligence rychle rozvíjet. Konkrétně v oblasti strojového učení a umělých neuronových sítí dosáhla výrazného pokroku. Některé studie dokonce tvrdí, že neuronové sítě jsou téměř synonymem pro umělou inteligenci. Celkově lze říci, že umělá inteligence dosáhla významného pokroku díky novým technologiím a metodám v posledních letech. (Antebi, 2018)

3.2 Definice umělé inteligence

Umělá inteligence je spjatá se spousty definicemi, které mají podobné jádro obsahu. Cílem práce není vybrat pouze jednu, naopak jejím cílem je přiblížit definice a vnímat je různými pohledy na věc.

Důležité je vymezit si i inteligenci jako takovou, k tomu se dá využít výrok V. Maříka (1993), který inteligenci definuje takto: *„Intelligence je vlastností některých živých organismů, která jim dává v přírodě mimořádné postavení. Vznikla a vyvíjela se v průběhu dlouhého vývoje. Dnes umožňuje některým živým organismům efektivně reagovat na složité projevy prostředí a aktivně je využívat ve svůj prospěch, k dosažení svých cílů.*

Otázka, zda mohou být uměle vytvořené systémy inteligentní, zaměstnávala filozofy již dlouho před vznikem moderních počítačů. Jejich úvahy však zůstávaly převážně v rovině teoretických diskusí. Teprve pokrok v matematické logice a teorii algoritmů, ve 30. letech 20. století, spolu s rychlým rozvojem výpočetní techniky, umožnily přejít od filozofických spekulací k praktickým pokusům o simulaci lidské inteligence.

Termín umělá inteligence se vyvinul o několik let později a jak je již výše zmíněno je připisován Johnu McCarthy, počítačovému vědci a výzkumníkovi v oblasti kognitivních věd, který uspořádal první akademickou konferenci na toto téma, a Marvinu Lee Minskému, který byl vzděláním matematik a podílel se na výzkumu, vynálezech a mnoha pokrocích v této oblasti. Byl to právě Minsky, kdo vytvořil populární definici umělé inteligence, když uvedl, že *„umělá inteligence je věda o tom, jak přimět stroje, aby dělaly věci, které by vyžadovaly inteligenci, kdyby je dělali lidé“* (Geist a Lohn, 2018) nebo jinak interpretováno: *„Umělá inteligence je věda o vytvoření strojů nebo systémů, které budou při řešení určitého úkolu užívat takového postupu, který – kdyby ho dělal člověk – bychom považovali za projev jeho inteligence“* (Mařík, 1993)

Další použitelnou definici můžeme zmínit od profesorky z Texaské univerzity v Austinu ve Spojených státech Elain Richové, která se taktéž zabývá umělou inteligencí. Její slova o umělé inteligenci: „*Umělá intelligence se zabývá tím, jak počítačově řešit úlohy, které dnes zatím zvládají lidé lépe.*“ (Mařík, 1993)

Umělá intelligence představuje schopnost počítačových systémů napodobovat kognitivní funkce lidského mozku, zejména procesy učení a řešení problémů. Využívá pokročilé matematické a logické metody k simulaci způsobu, jakým lidé analyzují nové informace, vyvozují závěry a přijímají rozhodnutí. Díky těmto schopnostem nachází AI uplatnění v široké škále oblastí, kde umožňuje efektivnější zpracování dat a autonomní rozhodování na základě komplexních analýz. (Lálová, 2022) Norma ISO 2382-28:1988 definovala umělou inteligenci jako "schopnost stroje simulovat myšlenkové pochody člověka tím, že vykonává činnosti obvykle spojované s lidskou inteligencí, např. uvažování, učení a sebezdokonalování.

Podle normy ISO/IEC 2382-28:1995 je umělá intelligence definována jako „schopnost funkční jednotky zpracovávat informace a vytvářet rozhodnutí způsobem, který se zdá být inteligentní“. Definice je součástí mezinárodní normy zaměřené na sjednocení terminologie v oblasti umělé inteligence a expertních systémů.

Evropský hospodářský a sociální výbor ve svém stanovisku ze dne 31. května 2017 představil široce pojatou definici umělé inteligence. V tomto dokumentu je AI popsána jako „*zastřešující pojem pro velké množství (pod)oblastí, jako např.: kognitivní informatika (cognitive computing, tedy algoritmy, které argumentují a chápou na vyšší (lidské) úrovni), strojové učení (machine learning, tedy algoritmy, které si osvojují úkoly), rozšířená intelligence (augmented intelligence, tedy spolupráce mezi člověkem a strojem), robotika v oblasti UI (UI integrovaná do robotů). Ústředním cílem výzkumu a vývoje v oblasti UI je však automatizace intelligentního jednání, jako je argumentace, shromažďování informací, plánování, učení, komunikace, manipulace, vysílání signálů a samostatná tvorba, snění a vnímání.*“ (Krausová et al., 2018)

3.3 Současné využívání umělé inteligence

Umělá intelligence nabízí zvláštní šanci snížit nebezpečí a škody, které přinášejí přírodní katastrofy v oblasti krizového řízení a ochrany před povodněmi. Budoucí pokrok v oblasti umělé inteligence bude pravděpodobně směřovat k důkladnější integraci hybridních přístupů a autonomních systémů, které budou spojovat konvenční techniky se špičkovými

technologemi. Tento trend je příslibem významného pokroku v oblasti řízení rizik obecně i v oblasti ochrany obyvatelstva.

Abychom porozuměli praktické části je potřeba si základní technologie umělé inteligence představit.

Strojové učení

Strojové učení je nejrozšířenější podoblastí umělé inteligence. Strojové učení využívá algoritmy založené na statistice, které se „učí“ z rozsáhlých databází, aby replikovaly lidské kognitivní schopnosti a prováděly úkoly v nových kontextech, a umožňuje tak algoritmům učit se z dat a samostatně generovat řešení. (INSS, 2019)

Opakovaným tréninkem umožňuje strojové učení algoritmům učit se a vytvářet výsledky, které se s rostoucím objemem tréninku a zkušeností algoritmů zlepšují. Tím se liší od softwaru napsaného lidským programátorem. Jedním z příkladů je program umělé inteligence, který obdrží databázi ručně psané abecedy a naučí se rozlišovat ručně psaná písmena, i když se rukopis dané osoby v existujícím úložišti nevyskytuje. (Congressional Research Service, 2019)

Mezi různé metody strojového učení patří učení pod dohledem, kdy je učení založeno na počátečním modelu, který již byl vytvořen a vylepšen strojem, a učení bez dohledu, kdy si učící se systémy vytvářejí vlastní model nezávisle na existujícím modelu. Alternativní metodou je učení s posilováním, kdy se software učí na základě chyb namísto již existující databáze. (INSS, 2019)

Neuronové sítě

Klíčovou myšlenkou hlubokého učení a umělé inteligence jsou neuronové sítě. Jedná se o počítačové simulace, které čerpají inspiraci ze složení a fungování lidského mozku. Modely se skládají z umělých neuronů nebo síťových uzlů, které zpracovávají a komunikují data. (Akademie EITCA, 2023)

Vrstvy neuronů tvoří ústřední složku neuronové sítě. Počáteční data jsou posílána do první vrstvy, označované také jako vstupní vrstva. Konečný výsledek vytváří výstupní vrstva, která je poslední vrstvou. Mezi nimi může být přítomna jedna nebo více skrytých vrstev, které pomáhají při extrakci a transformaci funkcí ze vstupních dat. Po obdržení vstupů z předchozí vrstvy je každý neuron v neuronové síti matematicky transformuje a generuje výstup. Obvykle se aktivační funkce aplikuje po transformaci váženého součtu

vstupů. Aktivační funkce dodává modelu nelinearitu a váhy určují, jak silně jsou neurony navzájem propojeny. (Akademie EITCA, 2023)

Neuronová síť během tréninku upravuje své váhy tak, aby se snížil rozdíl mezi zamýšlenými a předpovídanými výstupy. Toho se dosahuje výpočtem gradientu ztrátové funkce vzhledem k vahám pomocí metody známé jako zpětné šíření. Poté se použije optimalizační algoritmus, jako je stochastický sestup po gradientu, k aktualizaci vah v opačném směru, než je gradient. (Akademie EITCA, 2023)

Internet of Things

Přestože se jedná o dvě odlišné technologické oblasti, umělá inteligence a internet věcí (IoT) spolu úzce souvisejí. Internet věcí je síť fyzických objektů se senzory, softwarem a konektivitou, které umožňují shromažďování, sdílení a přenos dat v reálném čase. Naproti tomu umělá inteligence využívá techniky a algoritmy k analýze těchto dat, vyhodnocování souvislostí a rozhodování. Internet věcí proto nabízí služby protipovodňové ochrany, jako je sledování hladiny řek, monitorování intenzity srážek a sledování stavu kanalizace, zatímco umělá inteligence využívá tato data k předpovídání rizik, vytváření scénářů a navrhování řešení. Jak uvádí IoT Alliance Aotearoa (2024), propojení těchto technologií vytváří inteligentní systémy, které umožňují „predikci extrémních událostí v reálném čase a efektivní reakce na klimatické hrozby“ díky synergii senzorické infrastruktury a strojového učení.

4 DÍLČÍ ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část práce přinesla řadu důležitých závěrů. Největším přírodním rizikem v České republice jsou povodně, které mohou být způsobeny jak přírodními, tak i antropogenními faktory. Rozdělení povodní na přirozené a zvláštní je zásadní pro pochopení jejich průběhu, prevence a potřebných zásahů. Přestože jsou zákony České republiky o prevenci před povodněmi poměrně silné, praktická implementace naráží na limity v součinnosti jednotlivých aktérů.

Základem současné ochrany jsou tradiční protipovodňová opatření, ať už technická nebo netechnická, ale vzhledem k rostoucí četnosti extrémních jevů je žádoucí je doplnit o moderní nástroje. V tomto ohledu se slibně ukazuje umělá inteligence jako metoda, která využívá strojové učení, neuronové sítě a senzorové systémy k lepšímu předvídání, modelování a zvládání krizových situací. Její aplikace však vyžaduje odpovídající kvalitu dat, profesionální řízení a legislativní podporu. Vzhledem k těmto informacím je zřejmé, že ochrana před povodněmi vyžaduje komplexní strategii, která zahrnuje jak tradiční postupy, tak nejmodernější technologie.

Teoretický rámec tak poskytuje nezbytné východisko pro praktickou část práce, která se zaměří na konkrétní nástroje, systémy a návrhy využití AI v ochraně před povodněmi v České republice.

5 METODIKA PRÁCE

Kapitola se zaměřuje na metodologický rámec bakalářské práce. Kapitola obsahuje vymezení hlavních omezení, která ovlivnila rozsah a zaměření výzkumu, a dále popis použitých výzkumných metod. Cílem je objasnit, jakým způsobem byla práce koncipována, na jakých principech je postaven její analytický přístup a jaké nástroje byly využity k dosažení stanovených cílů.

5.1 Omezení práce

Pro tuto práci byly stanoveny následující omezující podmínky.

Rozsah práce

Vzhledem k omezenému rozsahu práce není záměrem zcela komplexně analyzovat všechny opatření ochrany před povodněmi do detailu a stejně tak jako není cílem se zabývat použitím umělé inteligence mimo ochranu před povodněmi. Rozsah práce je nejméně 15 normostran v teoretické části a 30 normostran pro celou bakalářskou práci.

Metodologické omezení

Analýza v bakalářské práci bude vycházet z dostupné literatury, studií a odborných článků, přičemž nebude zahrnovat vlastní sběr dat ani experimentální testování systémů umělé inteligence. Cílem není provést komplexní technickou analýzu algoritmů AI, ale spíše poskytnout jejich přehled a zaměřit se na jejich praktické využití. Pozornost bude věnována zejména modelům a systémům využívaným v krizovém řízení a ochraně před povodněmi, zatímco obecné aplikace AI v meteorologii či hydrologii nebudou podrobně rozebírány.

Terminologické vymezení pojmů

V rámci práce jsou některé pojmy související s ochranou před povodněmi používány v širším smyslu, bez striktního rozlišování mezi jejich možnými definicemi. Především pojmy "ochrana před povodněmi" a "protipovodňová opatření" jsou v textu chápány jako ekvivalentní a zahrnují veškeré aktivity, strategie a nástroje sloužící k prevenci, zmírnění dopadů a řešení povodňových situací.

Stejně tak není detailně rozlišován rozdíl mezi preventivními, přípravnými, operativními a obnovovacími opatřeními, pokud to není nezbytné pro kontext dané kapitoly. Všechny tyto kategorie představují součást širšího systému protipovodňové ochrany a jejich vymezení je v literatuře často variabilní. Pro účely této práce jsou tedy zahrnuty

do společného rámce ochrany před povodněmi. Tímto přístupem je zajištěna konzistentnost terminologie a srozumitelnost výkladu.

V práci dále z praktických důvodů používám označení „tradiční metody ochrany před povodněmi“ a „moderní metody ochrany před povodněmi“, přestože nejde o oficiální nebo obecně uznávanou odbornou terminologii. Rozlišení slouží především pro lepší přehlednost a strukturaci tématu. Tradičními metodami jsou v této práci míněna opatření, která jsou dlouhodobě zavedená a běžně využívaná v ochraně před povodněmi, jako jsou například ochranné hráze, retenční nádrže nebo varovné a hlásné systémy. Naproti tomu moderní metody vnímám jako přístupy, které do ochrany před povodněmi zavádějí nové technologie a inovace, především umělou inteligenci, automatizované modely nebo chytré predikční systémy. Moderní přístupy přitom mohou částečně stavět na principech tradičních metod, avšak přinášejí přidanou hodnotu v podobě vyšší přesnosti, rychlosti a adaptability.

5.2 Použité metody

V teoretické i praktické části práce je použita převážně metoda analýzy a syntézy ze získaných informací. Pomocí deskripce byly získané informace vysvětleny a později podrobeny analýze. Porovnávání relevantních kvalitativních údajů je využito v praktické části práce ke zjištění trendu vývoje ochrany před povodněmi s využitím umělé inteligence.

Pro konkrétní vymezení předmětu zkoumání a stanovení cílů byly zformulovány zásady pro vypracování práce. K vypracování první zásady byla použita rešerše a analýza, která byla hlavním prvkem druhé zásady. Třetí zásada pro vypracování práce závisela na metodě komparace.

Charakteristika hlavních použitých metod

K dosažení cíle práce byly použity metody, které patří do oblasti **kvalitativního výzkumu**. Ten je možno definovat pomocí definice od Creswella (1998) jako „*proces hledání porozumění založený na různých metodologických tradicích zkoumání daného sociálního nebo lidského problému. Výzkumník vytváří komplexní, holistický obraz, analyzuje různé typy textů, informuje o názorech účastníků výzkumu a provádí zkoumání v přirozených podmínkách.*

Cílem **rešerše** je „*prohledat dostupné informační zdroje (katalogy knihoven, odborné elektronické databáze, webové stránky univerzit, vědeckých společností apod.). Shromáždění a prostudování vybrané relevantní literatury je předpokladem k vytvoření přehledu o stavu*

poznání v oboru a o tématu vaší práce. Díky rešerši si utřídíte základní poznatky, východiska a získáte inspiraci pro svou vlastní práci.“ (Ústřední knihovna ČVUT, 2021)

Jednou z nejvíce využívaných metod v práci je **analýza**, která „spočívá v rozdělení celku na jeho komponenty a zkoumání, jak tyto komponenty fungují jako relativně samostatné prvky a jaké jsou mezi nimi vztahy. Každá analýza se vyznačuje určitým stupněm explorační. Znamená to, že přitom neprovádíme průzkumové a objevující aktivity.“ (Hendl, 2016)

Analýza je spojována se **syntézou**, jejíž „cílem je skloubit poznatky o zkoumaném jevu, přinést nové poznatky anebo vytvořit novou vědeckou teorii. Syntéza nám umožňuje z jednotlivých faktů vytvořit ucelený pohled na zkoumaný jev.“ (Krč, 2019)

Komparací dokumentů se zjišťují podobnosti a rozdíly mezi více verzemi dokumentu nebo mezi jinými texty, které pojednávají o stejném tématu. Metoda pomáhá analytikům lépe porozumět souvislostem a vzorcům v dokumentech tím, že porovnává, jak se politiky, cíle a postupy mění v čase. (Kempf, 2010)

II PRAKTICKÁ ČÁST

6 ANALÝZA PROTIPOVOĎNOVÝCH OPATŘENÍ S VYUŽITÍM UMĚLÉ INTELIGENCE

Za účelem zlepšení účinnosti předpovědí, reakčních systémů a rozhodovacích procesů bylo v praktické části práce provedeno zkoumání současných strategií a výzkumů zabývajících se protipovodňovou ochranou, která využívá technologie umělé inteligence. Dále používáno také pod názvem Moderní protipovodňové opatření. Byly studovány příklady ze zahraniční praxe i řešení zavedená v konkrétních lokalitách České republiky. Zvláštní pozornost byla věnována systémům včasného varování, které využívají strojové učení k předpovědi srážek, hladin řek a míst ohrožení.

6.1 Protipovodňová opatření v České republice

Většina současných přístupů v rámci opatření před povodněmi se stále opírá o fyzikální rovnice a numerické modely, které jsou výpočetně náročné a nemusí vždy přinést nejpřesnější výsledky, zejména při předpovědi extrémních meteorologických jevů. I když je nepochybně co zlepšovat, nelze je považovat za zastaralé. (iDNES.cz, 2024) V ČR se prozatím opíráme hlavně o projekty, které se vyvíjí a testují pro budoucí implementaci.

Google FloodHub

V roce 2023 byl v České republice oficiálně představen špičkový nástroj pro předpovídání povodní pomocí umělé inteligence Google Flood Hub. Systém kombinuje data z různých zdrojů, včetně satelitních snímků, terénních dat, hydrologických a meteorologických údajů a dalších. Dokáže analyzovat průtok vody v říčních systémech a pomocí sofistikovaných algoritmů strojového učení vytvářet vysoce přesné předpovědi rozlivů až na sedm dní dopředu. (Matias, 2023)

Flood Hub slouží jako webová platforma, ke které mají přístup záchranné služby i široká veřejnost. Poskytuje snadno použitelné vizualizační rozhraní s výstražnými informacemi pro konkrétní místa a umožňuje mapování aktuální povodňové situace. V současné době je v České republice 17 oblastí, které byly označeny jako oblasti se zvýšeným rizikem povodní. (Google, 2025) Na obrázku 6 můžeme vidět mapu, na které je zaznačeno 10 měřících stanic na území ČR. Další měřící stanice se nachází na území sousedních států, ale vliv povodní v sousedních zemích bude mít za následek ohrožení i českého území a obyvatelstva. Měrných profilů je v České republice více než stovka

Hlavní výhodou tohoto systému je jeho schopnost rychle zpracovávat obrovské množství dat a vytvářet výstupy, které lze využít jak pro prevenci obyvatelstva, tak pro rozhodování krizového štábu. Obce a další organizace mohou díky otevřenosti platformy začlenit výstupy z povodňového centra do svých místních krizových plánů. Kromě posílení připravenosti obyvatelstva na budoucí povodně se tak zvyšuje odolnost území vůči extrémním hydrologickým jevům. (Flood Hub, 2025)

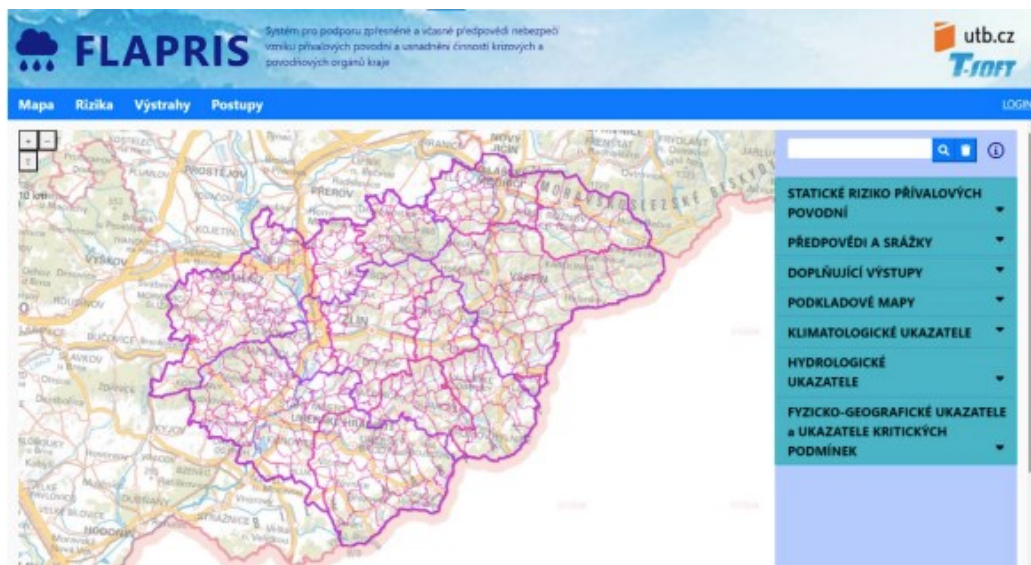
Projekt FLAPRIS

V České republice je novou strategií ochrany před přívalovými povodněmi projekt FLAPRIS. Aplikace FLAPRIS slouží jako nástroj pro předpověď a monitoring nebezpečí výskytu přívalových povodní. Tento systém vznikl jako reakce na potřebu rychlejšího a přesnějšího způsobu vyhodnocování rizik spojených s extrémními srážkami, které mají potenciál rychle zaplavit městské oblasti a menší toky. Ministerstvo vnitra České republiky projekt financuje prostřednictvím Programu bezpečnostního výzkumu. (Informační systém výzkumu, vývoje a inovací, 2023)

Aplikace FLAPRIS se zaměřuje na vývoj a nasazení systému pro přesnou předpověď nebezpečí přívalových povodní a optimalizaci činnosti regionálních a místních povodňových a krizových orgánů. Algoritmus aplikace je založen na vyhodnocování výsledků specifických meteorologických předpovědních charakteristik, klimatologických, fyzicko-geografických a empirických charakteristik reliéfu pomocí lineární regrese technik strojového učení. (CrisCon 2023, 2023)

Systém využívá techniky umělé inteligence vyhodnocení 50 historických přívalových povodní, které se na území Zlínského kraje vyskytly v letech 2018 až 2020, s cílem vypočítat výstupy predikce míry rizika přívalových povodní na základě tzv. statického a dynamického modelu.

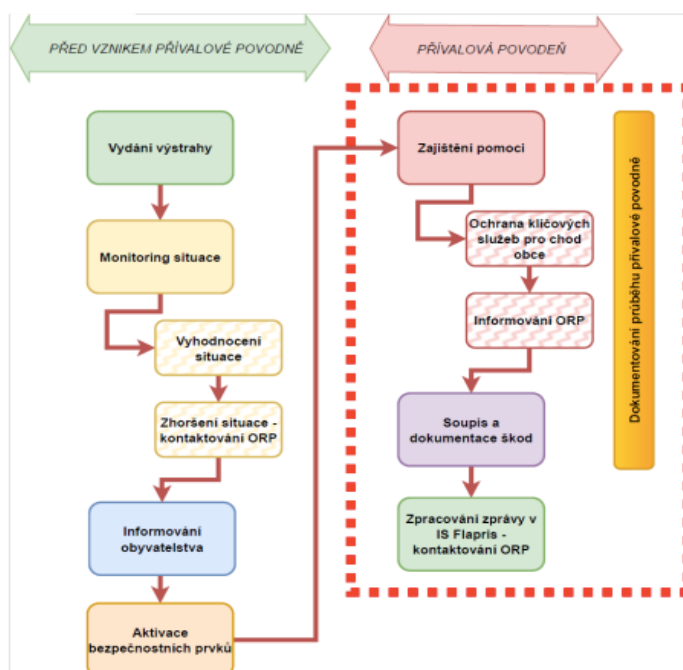
Cílem aplikace je poskytnout uživatelům/ orgánům krizového řízení více předpovědních a varovných údajů týkajících se pravděpodobnosti výskytu přívalových povodní. Rizika a výstrahy týkající se nebezpečí přívalových povodní pro obce s rozšířenou působností a jejich obce lze zobrazit z hlavního menu (Obrázek 8). (CrisCon 2023, 2023)



Obrázek 8 Ukázka aplikace FLAPRIS

(zdroj: CrisCon 2023, 2023)

Záložka „Postupy“ v horní liště nabízí také schéma automatizačního a optimalizačního algoritmu pro povodňové a krizové orgány (Obrázek 9).



Obrázek 9 Schéma algoritmu automatizace a optimalizace krizových a povodňových

(zdroj: CrisCon 2023, 2023)

Přihlášení uživatelé mají rovněž přístup k informacím o minulých přívalových povodních. Na pravé straně obrazovky je k dispozici řada datových vrstev. Pro vyjádření

výsledků ve statickém modelu rizika přívalových povodní se používá řada lineárních a plošných zobrazení odtoku srážek. Uživatel má přístup k primárním výstupům aplikace z dynamického modelu na kartě Předpovědi a srážky. Mezi ně patří 30minutová předpověď, 12hodinová experimentální předpověď a aktuální srážky z meteorologického radaru v Holešově na Zlínsku. Zbývající karty a vrstvy jsou určeny k prohlížení a nabízejí podrobnosti o dílčích vstupech použitých pro stanovení předpovědi stupně povodňového nebezpečí. Aplikace nabízí aktuální a prediktivní údaje o nebezpečí přívalových povodní na úrovni obce, a to až do velikosti jednoho pixelu 50 x 50 m. Budoucí předpovědi bude třeba vylepšit vyhodnocením závažnosti stovek minulých přívalových povodní ve Zlínském kraji nebo jinde. (CrisCon 2023, 2023) Aplikace byla po začlenění do infrastruktury Zlínského kraje plně spuštěna a testována pro konvektivní období (duben-září) roku 2024 v loňském roce. Aplikace není ještě plně zavedená v České republice a její autoři dále pracují na jejím vývoji a jsou připraveni ji nabídnout Českému hydrometeorologickému ústavu. (Vodarenstvi.cz, 2024)

Český hydrometeorologický ústav

ČHMÚ jako hlavní odborná instituce v oblasti meteorologie a hydrologie v České republice začala v posledních letech využívat techniky umělé inteligence, zejména ke zdokonalování meteorologických a hydrologických modelů. Přestože tyto operační systémy ještě nejsou plně nasazeny, výzkumné úsilí se ubírá směrem k začlenění strojového učení do nástrojů pro výstražné předpovědi povodní. (ČHMÚ, 2021)

Jednou z aplikací umělé inteligence, která se testuje, je predikce vývoje hladin vodních toků na základě kombinace historických a aktuálních dat. Pomocí algoritmů strojového učení lze modelovat vztahy mezi srážkami, teplotou, vlhkostí půdy a reakcí konkrétního toku. Výsledkem je předpověď, která dokáže přesněji odhadnout průtoky v reálném čase než tradiční modely, zejména pro menší toky, které jsou náchylné k náhlým povodním, a která také reaguje na aktuální vývoj počasí. (ČHMÚ, 2022)

Další testovanou oblastí je automatizace analýzy snímků z meteorologických radarů, kde umělá inteligence pomáhá odhalit období silných srážek nebo konvektivních bouří, které mohou způsobit bleskové povodně. Umělá inteligence může nakonec pomoci

i při rozhodování o výstrahách. Může například automaticky navrhnout stupeň nebezpečí na základě příkladů z minulosti a aktuálních trendů. (ČHMÚ, 2021)

Smart City

Myšlenka „chytrých měst“ se postupně rozšiřuje o ochranu před povodněmi a krizové řízení. Za účelem lepšího sběru a vyhodnocování dat o aktuálním stavu životního prostředí začínají některá česká města a obce zavádět moderní technologie, které využívají senzory, datové platformy a umělou inteligenci. Kromě monitorování rizikových situací v reálném čase by tyto systémy měly být schopny samostatně rozhodovat o spuštění varování nebo aktivaci krizových postupů.

Jedním z příkladů je instalace inteligentních senzorů do městského kanalizačního systému, které sledují srážky, průtoky a hladinu vody v kanalizaci. Průběžný přenos těchto dat do řídicích center umožňuje jejich vyhodnocování pomocí algoritmů strojového učení nebo automatizovaných pravidel. Pokud systém zaznamená anomální chování, například náhlý nárůst hladiny vody, může automaticky aktivovat varování, informovat orgány pro mimořádné události, otevřít retenční nádrž nebo ovládat semaforey pro evakuaci. (Řehák, 2021)

Jedním z pilířů Smart City přístupu k povodním je instalace IoT senzorů, které sledují:

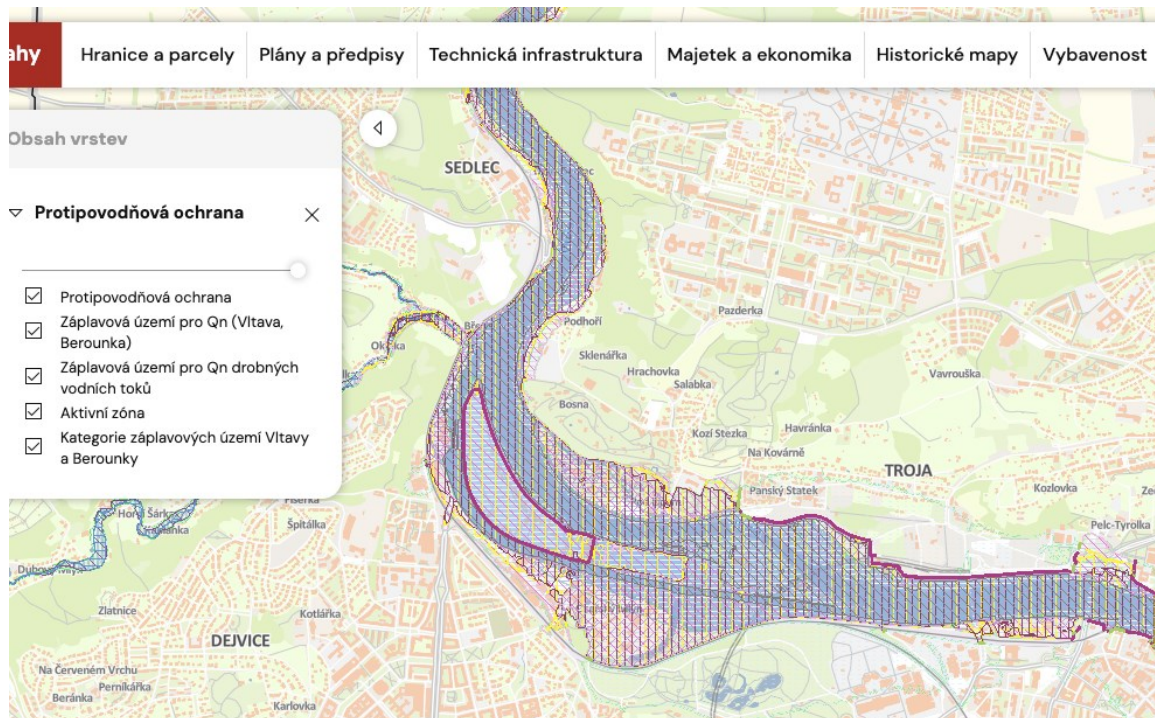
- výšku hladiny v kanalizačních vpustech a odtokových systémech,
- srážko-měrná data v jednotlivých městských čtvrtích,
- naplněnost retenčních nádrží nebo vsakovacích pásů,
- stavy říčních toků a potoků protékajících zastavěným územím.

Senzory sbírají data v reálném čase a přenášejí je na centrální datovou platformu města. Pomocí AI modelů, často založených na strojovém učení se analyzují odchylky od normálu, trendy nárůstu hladin nebo vzorce nebezpečného chování příkladem může být rychlé stoupání vody při bouři.

V některých městech (např. Brno, Praha, Písek) se testují nebo již fungují integrované městské datové platformy, které propojují dopravní, meteorologická, environmentální i krizová data do jednoho systému.

Například v Praze skrze Institut plánování a rozvoje (IPR) se dlouhodobě integruje do městského plánování koncept odolného města. V některých částech města je zavedeno

monitorování dešťové kanalizace a retenčních prvků, a plánuje se zapojení prediktivních modelů, které by samostatně vyhodnocovaly riziko přetížení systému a aktivovaly varovné scénáře. (IPR Praha, 2025)



Obrázek 10 Aplikace města Prahy k protipovodňové ochraně

(zdroj: IPR Praha, 2025)

6.2 Protipovodňová opatření ve světě

Na rozdíl od České republiky, kde se v oblasti AI a ochrany před povodněmi zatím převážně testují pilotní projekty pro budoucí nasazení, v zahraničí se některé systémy již reálně používají v provozu a dosahují velmi slibných výsledků.

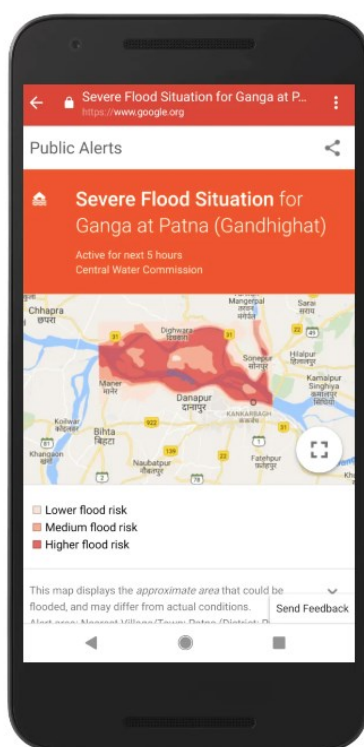
Indie

V Indii, která patří k nejvíce povodněmi ohroženým zemím světa, zahájila společnost Google iniciativu zaměřenou na včasné varování obyvatelstva před hrozícími povodněmi. Region je pro testování a vývoj nových technologií klíčový, protože v něm celosvětově umírá 20 % lidí v důsledku povodní. Společnost Google ve spolupráci s Ústřední vodohospodářskou komisí zavedla systém, který s využitím umělé inteligence a velkého výpočetního výkonu vytváří mimořádně přesné předpovědní modely.

K sestavení modelů se používají historické údaje o povodních, aktuální měření hladiny řeky, údaje o terénu a nadmořská výška lokality. Pro každou studovanou oblast systém

na základě těchto vstupních údajů vygeneruje stovky tisíc simulací, na jejichž základě vzniknou komplexní mapy povodňového rizika a údaje o pravděpodobnosti a intenzitě povodní.

Veřejnost je o výsledných předpovědích informována prostřednictvím systému **Google Public Alerts** (veřejných výstrah Google), což umožňuje rychlou akci a preventivní opatření. Po výrazných deštích bylo v oblasti Patny vydáno varování na základě modelu, což znamenalo první reálné nasazení. Obyvatelům v oblasti Patny bylo zasláno varování, že na řece Ganze došlo ke zvýšení riziku povodní na následujících X hodin. (Matias, 2018)



Obrázek 11 Upozornění na povodně zobrazované uživatelům v oblasti Patna

(zdroj: Matias, 2018)

Tchaj-wan

Jak ukazuje článek *Artificial Intelligence Methodologies Applied to Prompt Pluvial Flood Estimation and Prediction* publikovaný v časopise *Water* použití technik umělé inteligence je jednou ze sofistikovaných metod předpovídání přívalových povodní. Aby bylo možné rychle a přesně předpovídat povodně v městském prostředí, zaměřuje se výzkum na vytvoření systému, který integruje zpracování obrazu, hluboké učení a hydrologické a hydraulické modelování.

Základem systému je vytvoření rozsáhlého souboru syntetických dat – simulací různých srážkových scénářů a jejich dopadů na konkrétní urbanizované oblasti. Pro zobrazení rozsahu záplav jsou tyto simulace převedeny do formátu obrazové mapy. Tento obrazový dataset slouží pro trénink konvolučních neuronových sítí (CNN), které se naučí předpovídat záplavové scénáře na základě nových vstupních dat, jako jsou meteorologické podmínky nebo topografie území. (Chen et al., 2020)

Spolehlivost celého modelu byla ověřena pomocí běžně používaných hodnoticích ukazatelů, které se používají při vyhodnocování přesnosti předpovědních systémů. Mezi ně patří například střední kvadratická chyba (RMSE), která udává, jak moc se model v průměru odchyluje od skutečných hodnot – čím je tato hodnota nižší, tím je předpověď přesnější. Dále byl použit Nashův-Sutcliffeův koeficient účinnosti (NSCE), který vyjadřuje, jak dobře model kopíruje reálný průběh události – hodnoty blízké 1 značí velmi dobrou shodu. Třetím ukazatelem byla průměrná absolutní procentuální chyba (MAPE), která udává, o kolik procent se model v průměru liší od skutečnosti – i zde platí, že čím menší hodnota, tím lépe. Tyto metody společně potvrdily, že navržený AI systém má vysokou přesnost a může být prakticky využitelný při varování před přívalovými povodněmi. (Chen et al., 2020)

Nový Zéland

Projekt realizovaný v pobřežní obci Piha v oblasti Aucklandu na Novém Zélandu slouží jako příklad současného přístupu k řízení povodňových rizik v souvislosti se změnou klimatu. Pro pilotní realizaci v této lokalitě byl vybrán inteligentní systém předpovídání povodní, který kombinuje několik vrstev současných technologií – IoT, radarová data, strojové učení a hydrodynamické modely. Cílem bylo vyvinout „digitální dvojče“ povodňového systému, které by umožnilo modelování a předpovídání následků povodní a přívalových dešťů v reálném čase. (Mingallon, 2023)

K realizaci projektu byla použita platforma Moata Smart Water, integrační prostředí pro zpracování a vizualizaci dat z různých zdrojů, jako je satelitní monitoring, senzory hladiny vody, kanalizační sítě a modely počasí. Platforma dokáže simulovat průběh povodní, analyzovat srážky v reálném čase a okamžitě vytvářet doporučení pro operativní rozhodování. Klíčovou složkou systému je umělá inteligence, která zpracovává aktuální i historická data pomocí algoritmů strojového učení a zlepšuje předpovědi s každou novou událostí. Tím se zkracuje doba, která uplyne mezi vznikem hrozby a reakcí příslušných orgánů. (Mingallon, 2023)

Z technického a organizačního hlediska se zavedením systému v obci Piha zvýšila odolnost vůči neočekávaným povodním. Systém umožnil předem simulovat různé scénáře, výrazně urychlil přenos informací a usnadnil komunikaci mezi jednotlivými aktéry krizového řízení. Velký důraz byl kladen také na snadné používání výstupů, které jsou zobrazovány jak pro odborníky, tak pro širokou veřejnost v podobě map, grafů a interaktivních výstrah. (Mingallon, 2023)

Nizozemsko

Velmi zajímavým projektem, který vznikl konsorciem zahrnujícím společnosti Nelen & Schuurmans, Deltares, Technickou univerzitu v Delftu a Stelling Hydraulics je projekt nesoucí název **3Di Water Management**. Nizozemsko s jeho dlouhou historií boje proti povodním a pokročilým vodohospodářským inženýrstvím, poskytlo ideální prostředí pro vznik a testování takto sofistikovaného nástroje. (Nelen, 2018)

Současný cloudový program pro hydrodynamické modelování je 3Di Water Management. Jeho hlavní výhodou je důkladný pracovní postup, který zahrnuje celý modelový cyklus, od vytvoření modelu přes jeho simulaci až po automatické zpracování výsledků a jejich analýzu. To z něj činí účinný nástroj, který kromě odborníků na vodní hospodářství slouží i k prevenci povodní, krizovému řízení a územnímu plánování. (3Di Water Management, 2025)

Špičkový hydrodynamický simulační program 3Di Water Management umožňuje modelovat a analyzovat povodňové scénáře v městských i venkovských oblastech. Díky softwaru je možno i řízení jak přívalových, tak i říčních povodní. Jeho hlavní předností je schopnost vytvářet podrobné, interaktivní a rychlé simulace, které v sobě spojují vysokou výpočetní rychlost a přesnost. S cílem pomoci při rozhodování, vzdělávání veřejnosti a plánování preventivních opatření mohou uživatelé pomocí interaktivního rozhraní simulovat scénáře „co kdyby“. (3Di Water Management, 2025)

Uživatel během modelování v QGIS vytvoří síť vodních toků, kanalizace nebo protipovodňových opatření. Podrobné mapy záplav, hloubky vody, odhady škod nebo doby příchodu povodňové vlny jsou výsledkem simulací prováděných v cloudu pomocí přesných numerických řešení rovnic proudění. Změnou výšky terénu, přidáním hrází nebo úpravou množství srážek lze scénáře přímo ovlivnit pomocí webové aplikace 3Di Live. Systém lze začlenit do výstražných systémů nebo do vytváření digitálních dvojčat a je propojen s radarovými daty prostřednictvím otevřeného programového rozhraní aplikace.

3Di je tak moderním nástrojem pro řízení, prevenci a plánování mimořádných událostí souvisejících s povodněmi. (3Di Water Management, 2025)



Obrázek 12 Ukázka softwaru 3Di Water Management

(zdroj: 3Di Water Management, 2025)

6.3 Komparace tradičních a moderních protipovodňových opatření

Ochrana před povodněmi se dlouhodobě opírá o tradiční přístupy, které zahrnují jak technická opatření, tak netechnická opatření. Tyto přístupy jsou založeny na historických zkušenostech, fyzikálně-hydrologických modelech a empirických datech. V posledních letech však dochází k významnému posunu směrem k moderním metodám, které integrují digitální technologie a umělou inteligenci.

V podkapitole dochází ke komparaci v několika oblastech a zdůraznění potenciálních výhod/ nevýhod implementací umělé inteligence do opatření před povodněmi.

Oblasti komparace:

Finanční náročnost

Technická tradiční opatření, jako jsou retenční nádrže, zkapacitnění koryt nebo výstavba ochranných hrází, patří k nejvíce kapitálově náročným opatřením v rámci protipovodňové ochrany. Vyžadují velké výdaje na plánování, údržbu, technický dozor a stavební práce. Na druhé straně netechnická opatření, jako jsou varovné systémy nebo

vymezení záplavových zón, jsou obvykle méně nákladná, ale jsou s nimi spojeny i průběžné výdaje na provoz, údržbu a aktualizace.

Pokročilá opatření založená na umělé inteligenci, jako jsou automatizované varovné systémy a prediktivní modely, mohou být nákladná na realizaci, zejména pokud jde o datovou infrastrukturu, vývoj algoritmů a pořízení počítačů. Na rozdíl od fyzických stavebních zásahů jsou dlouhodobě efektivní, protože umožňují automatizaci činnosti, rychlé aktualizace modelů a nízké provozní náklady.

Časová náročnost

Životní cyklus tradičních inženýrských opatření je obvykle dlouhý, od počátečního plánování a projektování přes povolování, posuzování vlivu na životní prostředí až po realizaci, což může trvat několik let až desítek let. Kromě toho je nutné počítat s pravidelnou údržbou, inspekcemi a případnou modernizací, které prodlužují časovou náročnost řešení. Složitost územních, environmentálních a majetkových vztahů se často odráží ve zdoluhavých administrativních, právních a konzultačních postupech, které jsou nutné pro netechnická opatření, jako je vytváření regulačních zón, legislativní vymezování záplavových území a tvorba povodňových plánů.

Na druhou stranu se současná opatření založená na umělé inteligenci vyznačují výrazně vyšší mírou flexibility a rychlosti implementace, zejména v oblastech, jako je analýza dat, prediktivní modelování nebo automatizované varovné systémy. Systém může produkovat výstupy v reálném čase bez nutnosti fyzického zásahu, jakmile je navržen a odzkoušen na dostatečném množství kvalitních dat. Systémy lze navíc snadno aktualizovat nebo přizpůsobit novým scénářům, což je výhodné v situacích, kdy se místní klima často mění nebo kde dochází k urbanizaci.

Personální náročnost

Pro tradiční technická opatření je z hlediska personálních nároků nezbytná spolupráce různých odborníků, včetně vodohospodářů, projektantů, geodetů, stavebních firem, technických dozorců a správců vodních toků. Jejich realizace vyžaduje velké množství pracovníků, zejména v počátečních fázích plánování a výstavby, jakož i při údržbě a provozu. Na netechnických opatřeních, jako jsou povodňové mapy, vymezení pozemků nebo tvorba výstražných scénářů, se musí podílet úředníci veřejné správy, pracovníci krizového řízení, právníci a územní plánovači. Výhodou tradičních metod je, že odborné profese jsou v místní samosprávě a veřejné správě dobře zavedené a pevně zakořeněné.

Oproti tomu moderní systémy umělé inteligence mění charakter požadavků na zaměstnance tím, že kladou důraz na jejich technologické dovednosti a odborné znalosti spíše než na jejich množství. Pro jejich tvorbu a provoz jsou zapotřebí datoví analytici, IT specialisté, vývojáři algoritmů, specialisté na GIS a odborníci na krizovou komunikaci v digitálním prostředí. Výhodou těchto systémů je, že po jejich inicializaci a nasazení mohou výrazně snížit nároky na rutinní lidskou práci. Mohou například automatizovat sběr dat, detekci hrozeb a distribuci výstrah. Zároveň však přinášejí nové obtíže v oblasti kybernetické bezpečnosti, mezioborové spolupráce a průběžné odborné podpory, která je nezbytná pro to, aby řešení zůstala dlouhodobě životaschopná.

Zranitelnost

Každý druh protipovodňového opatření má určitý stupeň zranitelnosti, což znamená, že je náchylný k poruše, poškození nebo ztrátě funkčnosti v důsledku vnitřních nebo vnějších faktorů. Ochranné hráze, retenční nádrže a stabilizace koryta jsou příklady tradičních technických opatření, která jsou obzvláště náchylná k extrémním hydrologickým událostem, které překračují jejich projektovanou kapacitu. Může například dojít k přelití hráze, narušení podloží nebo k technickému zanedbání či špatné údržbě. Netechnická opatření, jako jsou varovné systémy nebo vymezení záplavových území, jsou náchylná k institucionální nedůslednosti, zastaralým údajům nebo nedostatečné koordinaci mezi složkami krizového řízení.

Moderní opatření založená na umělé inteligenci naproti tomu odhalují zranitelnosti zcela jiného druhu. Spoléhají na stálý přísun aktuálních dat, kvalitní datovou infrastrukturu, funkční síťové připojení a odpovídající kybernetické zabezpečení. Jakékoli přerušení spojení se senzory, výpadky proudu, chyby algoritmů nebo útoky na datové servery mohou způsobit jejich nesprávnou funkci nebo nepřesné výsledky. Pokud je systém závislý na automatickém rozhodování, může být náročné pohotově a přesně reagovat na nové problémy bez lidského dohledu, zejména během mimořádných událostí.

Geografické využití

Jedním z klíčových faktorů efektivního protipovodňového opatření je jeho možnost uplatnění v různých lokalitách a měřítkách – od malých obcí až po celé povodí.

Tradiční technická opatření jsou specifická pro danou lokalitu a mají místní charakter; jejich přenesení do jiné lokality vyžaduje nový proces návrhu, financování a výstavby. Kromě toho se často potýkají s konflikty v oblasti územního plánování, vlastnickými právy

a prostorovými omezeními v městském prostředí. Jejich výstavba v exponovaných oblastech je často obtížná nebo nemožná.

Na druhou stranu jsou současné nástroje umělé inteligence velmi dobře přenosné a škálovatelné. I když je vývoj modelu zpočátku obtížný, jakmile je vytvořen základní rámec například digitální dvojče nebo predikční algoritmus, je poměrně snadné jej přizpůsobit jiné oblasti pouhou změnou prostorových parametrů a vstupních dat.

6.3.1 Výsledek komparace

Než práce přejde k vyhodnocení komparace jako celku, je vhodné se podívat na tabulku, která nám ve zkratce shrne hlavní myšlenky výhod/nevýhod jednotlivých oblastí.

Tabulka 2 Shrnutí oblastí komparace

Oblast	Tradiční opatření	Moderní (AI) opatření
Finanční náročnost	Vysoké investiční náklady na výstavbu a údržbu	Vyšší vstupní náklady, nižší provozní náklady
Časová náročnost	Dlouhá příprava a realizace (roky)	Rychlá implementace a aktualizace (týdny až měsíce)
Personální náročnost	Široké spektrum odborníků (inženýři, úředníci)	Menší tým, ale vyšší odbornost (AI, data, IT, GIS)
Zranitelnost	Odolné fyzicky, ale selhávají při překročení kapacity	Adaptivní, ale citlivé na výpadky dat, IT infrastruktury
Geografické využití	Lokálně specifická, obtížně přenositelná	Vysoce škálovatelná a přizpůsobitelná různým územím

(zdroj: vlastní)

Srovnání tradičních a moderních strategií protipovodňové ochrany odhaluje hlubší rozdíly v povaze těchto opatření i v jejich institucionálním kontextu a historii fungování.

Ukazuje, že ačkoli tradiční opatření na ochranu před povodněmi, ať už netechnická v podobě administrativní regulace, nebo technická v podobě strukturálních zásahů do krajiny zůstávají silnou součástí systému krizového řízení, avšak se potýkají s výzvami moderní doby, které přesahují jejich původní záměr. Nástroje založené na umělé inteligenci naproti tomu nabízejí svěží strategii založenou na datech, která rozšiřuje prediktivní rozhodování, flexibilitu a dynamické vyhodnocování rizik.

Z hlediska financí a času lze říci, že zatímco digitální řešení mají vyšší počáteční náklady, ale umožňují rychlejší realizaci a levnější provoz, fyzická výstavba a údržba technických opatření představuje významnou dlouhodobou investici spojenou se složitým procesem plánování. V souvislosti s touto změnou struktury nákladů se také nově definují požadavky na zaměstnance; místo širokého spektra technických pracovníků a klasických systémových úředníků nyní nastupují specialisté na analýzu dat, vývoj algoritmů a správu IT infrastruktury. V důsledku toho se ochrana před povodněmi díky technikám umělé inteligence stává spíše informační připraveností než fyzickou prevencí.

Míra zranitelnosti obou strategií se výrazně liší. Tradiční opatření jsou náchylná k selhání při překročení návrhových kapacit, ale fungují méně závisleji na datech a technologii. Na druhou stranu systémy využívající umělou inteligenci jsou sice výborně flexibilní a včasné, ale jejich účinnost přímo souvisí s dostupností datových toků a stabilitou digitální infrastruktury. Tento rozdíl je patrný i v tom, že datové modely a predikční systémy lze flexibilně aplikovat v různých administrativních a geografických kontextech, zatímco tradiční opatření jsou lokalizovaná a náročná na přenos.

Celkově se zdá, že současný systém protipovodňové ochrany může vyhovovat oběma souborům opatření. Zatímco nástroje umělé inteligence nabízejí rychlost, přizpůsobivost a schopnost reagovat na nové hrozby, tradiční metody nabízejí stabilitu a fyzickou bezpečnost. Proto je pravděpodobné, že synergická kombinace obou strategií bude cestou budoucnosti pro účinnou ochranu před povodněmi, přičemž fyzická infrastruktura bude záviset na prediktivních schopnostech intelligentních systémů, které zvýší celkovou odolnost oblasti vůči extrémním hydrometeorologickým událostem.

6.4 Dílčí závěr

Praktická část práce ukázala, že využití umělé inteligence v oblasti ochrany před povodněmi v České republice již není pouhou vizí, ale stává se postupně realitou. Na příkladech systémů jako Google Flood Hub, FLAPRIS nebo AI modelování v rámci ČHMÚ bylo prokázáno,

že umělá inteligence dokáže významně přispět ke zlepšení přesnosti predikce, rychlosti reakce i informovanosti obyvatelstva. Komparace tradičních a moderních metod ochrany před povodněmi ukázala, že zatímco klasické přístupy zůstávají základem krizového řízení, AI rozšiřuje jejich schopnosti o prvky prediktivního modelování, automatizace a práce s velkými daty v reálném čase.

7 NÁVRHOVÁ ČÁST

Na základě provedené komparace tradičních a moderních přístupů k ochraně před povodněmi se jako efektivní krok do budoucna jeví vytvoření hybridního modelu, který by kombinoval osvědčená fyzická opatření s adaptivními nástroji založenými na umělé inteligenci. Jedním z konkrétních doporučení je pilotní implementace systému 3Di Water Management v podmínkách České republiky, a to s cílem posílit predikční a rozhodovací schopnosti současné protipovodňové infrastruktury.

Není náhodou, že jako klíčový nástroj pro návrh implementace byl vybrán software 3Di Water Management. Po letech vývoje je tento systém pozoruhodný svou technologickou vyspělostí i schopností integrovat současné strategie s tradičními technikami protipovodňové ochrany. Přestože se jedná o digitální nástroj postavený na umělé inteligenci a sofistikovaném hydrodynamickém modelování, umožňuje do simulací zahrnout i fyzické ochranné prvky. Prvky lze do modelu zadat jako vstupy a následně je použít k plánování zásahů, analýze účinnosti nebo generování různých scénářů. Právě interoperabilita mezi digitálním a fyzickým světem činí 3Di vhodným nástrojem pro komplexní a systémový přístup k řízení povodňových rizik v podmínkách České republiky.

Zavedení systému 3Di Water Management do povodňové infrastruktury České republiky by mohlo probíhat formou pilotního projektu na povodí řeky Moravy v oblasti Olomouce, kde se již dlouhodobě uplatňují kombinace technických i netechnických opatření a kde je zároveň rozvinutá infrastruktura pro sběr hydrologických dat.

První fází realizace by bylo shromáždění a integrace aktuálních dat, jako jsou digitální modely terénu, sítě vodních toků, kanalizace, záplavová území, infrastruktura (např. čerpadla a stavidla) a historické záznamy o srážkách a povodních. Na základě těchto údajů by bylo vytvořeno místní schéma, které je vstupem do modelu 3Di. K provedení celého procesu modelování v prostředí QGIS by se použil nástroj Modeller Interface, který umožňuje důkladné nastavení různých složek hydrodynamického systému.

Následně by bylo možné model nasadit na cloudové výpočetní platformě 3Di, což by umožnilo simulovat řadu různých situací, jako jsou přívalové deště, poruchy hrází při povodních nebo ucpané kanály. Výsledky těchto simulací by se využívaly ke aktualizaci povodňových map, vytváření evakuačních plánů a plánování manipulací na vodních dílech. Systém by mohl vytvářet automatické výstrahy na základě předem nastavených prahových

hodnot a mohl by být propojen s již existujícími sítěmi varovných systémů jako je jednotný systém varování a vyrozumění.

Současně by měl projekt zahrnovat vizualizační komponentu, která by umožnila prezentaci simulací odborníkům i veřejnosti. Pomocí rozhraní 3Di Live by bylo možné testovat scénáře v reálném čase, například při povodňových cvičeních krizových štábů. Výsledky by mohly být rovněž propojeny s městskými digitálními dvojčaty, která by mohly být součástí Smart City projektů v ČR, čímž by se zvýšila míra zapojení městských samospráv i veřejnosti.

Strategie by se v budoucnu mohla rozšířit i na další oblasti ohrožené povodněmi, například na povodí Labe, Vltavy nebo Ohře. Dlouhodobým cílem by mělo být zřízení centrální datové platformy provozované státní správou, například prostřednictvím ČHMÚ nebo konkrétních povodí. Platforma by shromažďovala a zpracovávala data z jednotlivých regionů a poskytla by základ pro národní systém předpovědí a rozhodování založený na umělé inteligenci.

Do budoucna se nabízí i řada dalších možností, jak rozšířit využití umělé inteligence v oblasti ochrany před povodněmi. Analýza dat ze sociálních sítí v reálném čase je jednou z potenciálních oblastí, kterou lze využít jako další zdroj poznatků o aktuální situaci v terénu. Pomocí algoritmů zpracování přirozeného jazyka a geolokačních dat je možné identifikovat krizová místa, šíření povodní nebo požadavky obyvatelstva. Umělou inteligenci lze také využít k automatické klasifikaci a analýze snímků a videí z dronů, bezpečnostních kamer a veřejně zveřejněných záznamů, což pomůže monitorovat oblasti ohrožené povodněmi.

Další potenciál je spatřován ve vylepšené predikci chování obyvatelstva během mimořádných událostí, kdy algoritmy mohou na základě minulých trendů simulovat pravděpodobné evakuační trasy, shromaždiště nebo nouzové požadavky. Významný prostor pro rozvoj má rovněž personalizované varování obyvatelstva, které by využívalo individuální polohu, digitální chování a jazykové preference uživatelů. A v neposlední řadě pomocí simulací, které integrují hydrologické modely s informacemi o infrastruktuře, demografických a socioekonomických proměnných, lze umělou inteligenci využít k přípravě na dlouhodobou adaptaci měst na změnu klimatu.

ZÁVĚR

V České republice zůstávají povodně jednou z nejničivějších přírodních katastrof z hlediska škod, které způsobují na životech a zdraví lidí, ale i na životním prostředí a hospodářství. Existuje několik strategií, jak tyto škody snížit, včetně výstavby ochranných hrází, poldrů a přečerpávacích stanic, technických opatření, která regulují průtoky v tocích, stanovení záplavových území a vypracování krizových plánů. Musíme si však uvědomit, že žádné z těchto opatření neposkytuje stoprocentní bezpečnost. Jsou dimenzována pouze na určité scénáře a v případě překročení návrhových hodnot může dojít k jejich selhání.

Z tohoto důvodu je třeba upřednostnit prevenci a včasnou reakci, které jsou stále více spojeny s využíváním současných digitálních technologií a nástrojů umělé inteligence. Ty umožňují rychlejší šíření informací veřejnosti, účinnější podporu rozhodování a přesnější předvídání rizik, konkrétně se umělá inteligence v této oblasti uplatňuje především při zpracování rozsáhlých hydrologických dat, tvorbě predikčních modelů průtoků a hladin toků a zasílání varovných zpráv.

Přestože má Česká republika poměrně dobře rozvinutou fyzickou infrastrukturu protipovodňové ochrany, stále zde přetrvávají nedostatky v oblasti aktuálnosti dat, digitálních modelů a připravenosti obcí na krizové situace. Příklady z jiných zemí poukazovaly na to, že v porovnání s Českou republikou již mnoho jiných zemí využívá umělou inteligenci při řízení povodňových rizik na mnohem vyšší úrovni. Systémy umělé inteligence jsou často součástí předpovědních modelů, varovných systémů a nástrojů pro rozhodování v krizovém řízení v řadě zemí, včetně Indie, Nového Zélandu a Nizozemska. Tyto metody výrazně snižují dopady povodní tím, že umožňují rychlejší a přesnější reakce. Přestože se v posledních letech objevily první pokusy o aplikaci umělé inteligence v České republice – například projekt FLAPRIS nebo testování nových modelovacích platforem, jsou tyto snahy stále do značné míry ojedinělé a izolované.

Česká republika musí postupovat metodicky a na národní úrovni zavádět moderní technologie včetně umělé inteligence, aby se dokázala vypořádat s častějšími extrémními jevy a přizpůsobit se měnícím se klimatickým podmínkám. Kromě podpory pilotních projektů to znamená vytvořit institucionální, právní a technický rámec pro jejich širokou implementaci, a to jak na místní úrovni, tak ve spolupráci s důležitými státními orgány, jako je krizový štáb, vodohospodářský úřad a Český hydrometeorologický úřad. Včasné zavedení technologií umělé inteligence může výrazně zlepšit celkovou odolnost společnosti vůči

povodním a sloužit jako klíčová součást současného krizového řízení v jednadvacátém století.

V rámci praktické části práce byla provedena komparace tradičních a moderních protipovodňových opatření napříč několika klíčovými oblastmi. Zjištění ukázala, že tradiční opatření sice mají dlouhou dobu realizace a vysoké náklady na výstavbu, ale zároveň jsou fyzicky odolná a dlouhodobě stabilní. Moderní techniky umělé inteligence naproti tomu nabízely rychlejší realizaci, nižší provozní náklady a větší prostorovou flexibilitu, ale také vyžadovaly více odborných znalostí a byly náchylnější k technologickým poruchám. Systémy umělé inteligence prokázaly schopnost přizpůsobit se různým geografickým podmínkám, díky čemuž se hodí zejména pro urbanizované oblasti a měnící se klima.

Tradiční opatření, jako jsou retenční nádrže, protipovodňové hráze, regulační objekty nebo systémy odvodnění, zůstávají i nadále klíčovými prvky ochrany území. Nástroje umělé inteligence jsou ale žádoucí náhradou a doplňkem tradičních přístupů díky své rychlé reakční době a schopnosti situační adaptace, zejména pokud jde o krizové řízení a včasné varování.

Na základě těchto výsledků lze říci, že nejlepším postupem do budoucna je kombinace moderních a tradičních přístupů, které vzájemně vyvažují své výhody a nevýhody a mohou pomoci vybudovat robustní a všestranný systém protipovodňové ochrany v České republice. Vzhledem k rostoucí proměnlivosti klimatu a nárůstu extrémních jevů bude role AI v meteorologii a hydrologii v příštích letech nepochybně narůstat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

3Di WATER MANAGEMENT, 2025. *3Di Live* [online]. [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://3diwatermanagement.com/features/3di-live/>

3Di WATER MANAGEMENT, 2025. *Flood Risk Modellers* [online]. [cit. 2025-02-26]. Dostupné z: <https://3diwatermanagement.com/for/flood-risk-modellers/>

3Di WATER MANAGEMENT, 2025. *Fluvial flooding with 3Di* [online]. [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: <https://3diwatermanagement.com/applications-3di/fluvial-flooding/>

ADAMEC, Vilém, 2012. *Ochrana před povodněmi a ochrana obyvatelstva*. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. 131 s. ISBN 978-80-7385-118-7.

AGENTURA OCHRANY PŘÍRODY A KRAJINY ČR, 2025. *Povodňová ochrana* [online]. [cit. 2025-03-01]. Dostupné z: <https://portal.nature.cz/w/cinnost-1219#/>

AKADEMIE EITCA, 2023. Co jsou neuronové sítě a jak fungují? [online]. Publikováno 8. srpna 2023. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://cs.eitca.org/programmes/eitc-ai-dltf-deep-learning-with-tensorflow/>

ANTEBI, Liran, 2018. *What is Artificial Intelligence?* In: *Artificial Intelligence and National Security in Israel* [online]. Tel Aviv: Institute for National Security Studies, s. 7–20. [cit. 2025-03-02]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/resrep30590.7>

CLEMENTS, W. a P. CASANI, 2016. *Disasters and Public Health: Planning and Response* [online]. Butterworth-Heinemann. 538 s. ISBN 978-0-12-801980-1. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128019801/disasters-and-public-health>

CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE, 2019. *Artificial Intelligence and National Security* [online]. CRS Report R45178. Washington, DC: Congressional Research Service. [cit. 2025-03-02]. Dostupné z: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45178>

CRESWELL, J.W., 1998. *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Traditions*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. ISBN 978-0-7619-0481-5.

CRISCON 2023 – Krizové řízení a řešení krizových situací, 2023. *Sborník příspěvků z konference CrisCon 2023* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7454-144-6. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z:

https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/52464/Katerina_Vichova_Sbornik_CrisCon_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ČAMROVÁ, Lenka a Jitka JÍLKOVÁ, 2006. Povodňové škody a nástroje k jejich snížení. 1. vyd. Praha: Institut pro ekonomickou a ekologickou politiku, Fakulty národohospodářské, Vysoká škola ekonomická v Praze. 420 s. ISBN 80–86684–35–0.

ČESKÁ REPUBLIKA, 1976. *Zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-03-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1976-50>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2000a. *Zákon č. 128/2000 Sb., o obcích (obecní zřízení)* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-128>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2000b. *Zákon č. 129/2000 Sb., o krajích (krajské zřízení)* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-129>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2000c. *Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2000d. *Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení (krizový zákon)* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-240>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2000e. *Zákon č. 241/2000 Sb., o hospodářských opatřeních pro krizové stavy* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-241>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2001a. *Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-471>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2001b. *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2002a. *Vyhláška č. 186/2002 Sb., kterou se stanoví náležitosti přehledu o předběžném odhadu nákladů na obnovu majetku sloužícího k zabezpečení*

[online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-186>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2002b. *Zákon č. 12/2002 Sb., o státní pomoci při obnově území postiženého živelní nebo jinou pohromou a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojišťovnictví)*, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-12>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2011. *Vyhláška č. 216/2011 Sb., o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-216>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2012. *Vyhláška č. 178/2012 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-178>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2018. *Vyhláška č. 79/2018 Sb., o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovení záplavových území* [online]. In: *Sbírka zákonů České republiky*. [cit. 2025-02-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-79>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2021. *Hydrologické dny 2021 a XXIX. Konference podunajských států* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: <https://info.chmi.cz/konference/hydroDny2021/summary.pdf>info.chmi.cz

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2022. *Dlouhodobá koncepce rozvoje výzkumné organizace na období 2023–2027* [online]. Praha: ČHMÚ. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/politika_kvality/DKRVO_CHMU_2023-2027.pdf

DRUŽSTVO PRO POVODŇOVOU PREVENCI ČR, 2011. *Metodický pokyn k zabezpečení hlásné a povodňové služby* [online]. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: https://www.dppcr.cz/prilohy/pravo/Metodicky_pokyn_HPPS_2011.pdf

EDUKAČNÍ PORTÁL PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY, 2024. *Přírodní povodeň* [online]. [cit. 2025-02-27]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/poc_prirozena-povoden

FLOOD HUB, 2025. *Flood Hub* [online]. [cit. 2025-03-15]. Dostupné z: <https://sites.research.google/floods/1/0/0/3>

GEIST, Edward a Andrew J. LOHN, 2018. *How Might Artificial Intelligence Affect the Risk of Nuclear War?* Santa Monica: RAND Corporation. ISBN 978-1-9774-0196-6.

GOOGLE, 2025. *Co je Flood Hub od Googlu* [online]. [cit. 2025-03-15]. Dostupné z: <https://support.google.com/flood-hub/answer/15636593?hl=cs>

HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY, 2022. *Povodně – informace pro veřejnost* [online]. [cit. 2025-03-05]. Dostupné z: <https://hzscr.gov.cz/soubor/povodne-pdf.aspx>

HENDL, Jan, 2016. *Kvalitativní výzkum: základní teorie, metody a aplikace*. Čtvrté, přepracované a rozšířené vydání. Praha: Portál. ISBN 978-80-262-0982-9.

HNUTÍ DUHA, 2004. *Vliv hospodaření v krajině na průběh a účinek povodní: přehled problémů a doporučená opatření* [online]. Brno: Hnutí DUHA. [cit. 2025-03-03]. Dostupné z: https://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/Povodne_a_krajina.pdf

CHEN, A., ZHANG, Y., WANG, Y. a kol., 2020. *Artificial Intelligence Methodologies Applied to Prompt Pluvial Flood Estimation and Prediction*. Water [online]. Sv. 12, č. 12, článek 3552. DOI 10.3390/w12123552. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3552>

iDNES.cz, 2024. *Umělá inteligence může zpřesnit předpovědi, meteorology ale nenahradí* [online]. [cit. 2025-03-22]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/povodne-2024-predpoved-pocasi-vliv-ai-modely-meteorologove-david-strejc.A240920_104614_domaci_zofiDNES

INFORMAČNÍ SYSTÉM VÝZKUMU, VÝVOJE A INOVACÍ, 2023. *FLAPRIS – Systém pro podporu zpřesněné a včasné předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní a usnadnění činností krizových a povodňových orgánů kraje* [online]. [cit. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://www.isvavai.cz/cep?s=jednoduche-vyhledavani&ss=detail&n=0&h=VB01000008>

INSTITUTE FOR NATIONAL SECURITY STUDIES (INSS), 2019. Chapter Two: Fields of Artificial Intelligence. In: *Artificial Intelligence and National Security in Israel* [online]. [cit. 2025-03-02]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/resrep30590.8?seq=2>

INSTITUT PLÁNOVÁNÍ A ROZVOJE HL. M. PRAHY, 2025. *Atlas Prahy* [online]. [cit. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://app.iprpraha.cz/apl/app/atlas-prahy/>

- INSTITUT PLÁNOVÁNÍ A ROZVOJE HL. M. PRAHY, 2025. *Životní prostředí* [online]. [cit. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://iprpraha.cz/stranka/50>
- JELÍNKOVÁ, Iva, 2014. *Protipovodňová opatření* [online]. Brno: Masarykova univerzita. [cit. 2025-02-19]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/podzim2014/Z0059/um/protipovodnova_opatreni-1__1_.pdf
- KEMPF, W., 2010. *Comparative document analysis (CODA): A method for cross-case analysis*. Quality & Quantity, vol. 44, no. 2. ISSN 0033-5177.
- KLECZEK, J. et al., 2011. *Voda ve vesmíru, na Zemi, v životě a v kultuře*. Praha: Radioservis. 665 s. ISBN 978-80-86212-98-2.
- KMONÍČKOVÁ, Petra, 2024. *Klíč k úspěchu českých e-shopů na zahraničních trzích* [online]. IT People, 9. dubna 2024. [cit. 2025-02-14]. Dostupné z: <https://www.itpeoplecz.cz/klic-k-uspechu-ceskych-e-shopu-na-zahranicnich-trzich/>
- KOVAL, David, 2008. *Příležitosti a hrozby umělé inteligence* [online]. Bakalářská diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. [cit. 2025-02-19]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/s2meey/>
- KOVÁŘ, Milan, 2004. *Ochrana před povodněmi: řešení přirozených a zvláštních povodní*. V Praze: Triton. ISBN 80-7254-499-3.
- KRÁLOVÉHRADECKÝ KRAJ, 2013a. *Ochranné hráze* [online]. Vyhodnocení protipovodňové ochrany Královéhradeckého kraje. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://mapy.khk.cz/ppo/index.html?hraze.htm>
- KRÁLOVÉHRADECKÝ KRAJ, 2013b. *Retenční prostory* [online]. Vyhodnocení protipovodňové ochrany Královéhradeckého kraje. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: https://mapy.khk.cz/ppo/index.html?retencni_prostory.htm
- KRÁLOVÉHRADECKÝ KRAJ, 2013c. *Vyhodnocení protipovodňové ochrany Královéhradeckého kraje: Zkapacitnění koryta* [online]. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: https://mapy.khk.cz/ppo/index.html?zkapacitneni_koryta.htm
- KRAUSOVÁ, Alžběta, Ján MATEJKA, Alex IVANČO, Eva FIALOVÁ, Veronika ŽOLNERČÍKOVÁ a Tomáš ŠČERBA, 2018. *Analýza právně-etických aspektů rozvoje umělé inteligence a jejích aplikací v ČR* [online]. Praha: Úřad vlády České republiky. [cit. 2025-02-20]. Dostupné z: https://vlada.gov.cz/assets/evropske-zalezitosti/aktualne/AI-pravne-eticka-zprava-2018_final.pdf

KRČ, Miroslav, 2019. Metodologie vědecké práce. Brno: Petr Brázda. ISBN 978-80-87387-65-8.

LÁLOVÁ, Barbora, 2022. *Umělá inteligence ve zdravotnictví* [online]. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií. [cit. 2025-02-25]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103765/MU-DP-2022-Lalova-Barbora-](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103765/MU-DP-2022-Lalova-Barbora-Umela%20intelligence%20ve%20zdravotnictvi_DP_Barbora%20Lalova.pdf?sequence=-1)

[Umela%20intelligence%20ve%20zdravotnictvi_DP_Barbora%20Lalova.pdf?sequence=-1](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103765/MU-DP-2022-Lalova-Barbora-Umela%20intelligence%20ve%20zdravotnictvi_DP_Barbora%20Lalova.pdf?sequence=-1)

MÁCHOVÁ, Jana a Petr HOVORKA, 2013. *Protipovodňová opatření*. 1. vyd. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie. 169 s. ISBN 978-80-87096-17-8.

MAŘÍK, Vladimír, 1993. *Umělá inteligence* 1. 1. vyd. Praha: Academia. 264 s. ISBN 80-200-0496-3.

MATIAS, Yossi, 2018. *Keeping people safe with AI-enabled flood forecasting* [online]. Google Blog. [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://blog.google/products/search/helping-keep-people-safe-ai-enabled-flood-forecasting/>

MATIAS, Yossi, 2023. *Google přináší předpověď povodní i do Česka* [online]. Google Blog. [cit. 2025-03-10]. Dostupné z: https://blog.google/intl/cs-cz/produkty-sluzby/objevujte-ziskavejte-odpovedi/2023_05_floodhubczsk/

MINGALLON, Maria, 2023. AI Transforms Flood Management: Enhancing Resilience to the Climate Crisis [online]. New Zealand IoT Alliance, 7. června 2023. [cit. 2025-03-22]. Dostupné z: <https://iotalliance.org.nz/ai-transforms-flood-management-enhancing-resilience-to-the-climate-crisis/>

MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY, 2002. *Pro případ ohrožení – Příručka pro obyvatele* [online]. [cit. 2025-02-28]. Dostupné z: <https://mv.gov.cz/clanek/pro-pripad-ohrozeni-prirucka-pro-obyvatele.aspx> Ministerstvo vnitra

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2025. *Seznam vodních děl I.–III. kategorie TBD* [online]. [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://mze.gov.cz/public/portal/mze/voda/technickobezpecnostni-dohled/seznam-vodnich-del-i-iii-kategorie-tbd>

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2004. *Státní politika životního prostředí České republiky 2004–2010* [online]. [cit. 2025-02-28]. Dostupné z:

<https://www.mzp.cz/www/dbp->

[pub.nsf/dd3139ac00208be4c1256dde003333e8/f29764ce227462afc1256e310048d0f1?OpenDocument](https://www.mzp.cz/www/dbp-pub.nsf/dd3139ac00208be4c1256dde003333e8/f29764ce227462afc1256e310048d0f1?OpenDocument)

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2019. *Metodický pokyn k zabezpečení hlásné a povodňové služby podle § 67 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách* [online]. [cit. 2025-02-20]. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/system/files/2024-10/OOV_inalni_zneni_met_pokyn_%C2%A7%2067_20191004.pdf

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2023. *Technické revize vodních děl – metodika* [online]. [cit. 2025-02-20]. Dostupné z: https://mzp.gov.cz/cz/technicke_revize_vodnich_del_metodika

NELEN, 2018. *3Di Hydrodynamic Simulation Software | Overview* [online]. YouTube. [cit. 2025-03-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=BvS8ijgUvuc>

NOVOTNÝ, Patrik, 2022. *Využití nástrojů GIS pro analýzu a vyhodnocení povodňového nebezpečí* [online]. Diplomová práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: https://theses.cz/id/062ine/Patrik_Novotny_diplomova_prace.pdf

OBEC NOVOSEDLY, 2025. *Retenční prostor* [online]. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://www.novosedly.eu/fotogalerie-1/ostatni-foto/retencni-prostor-252cs.html>

POVODÍ VLTAVY, 2025. *17. Zkapacitnění toku a ochranné hráze Olešenského potoka* [online]. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/podpora-prevence-pred-povodnemi-ii/prehled-staveb-protipovodnovych-opatreni/>

PRAŽSKÁ PŘÍRODA, 2012. *Stabilizace koryta Motolského potoka* [online]. [cit. 2025-03-07]. Dostupné z: <https://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/motolsky-potok/revitalizace-a-opravy-na-motolskem-potoce/>

RAINMAN TOOLBOX, 2025. *Zlepšete včasné varování* [online]. [cit. 2025-02-20]. Dostupné z: <https://rainman-toolbox.eu/cs/home-2/tools-methods-cz/risk-reduction-measures-cz/early-warning-systems-cz/>

ŘEHÁK, Tomáš, 2021. *Smart Cities aneb Chytrá města* [online]. Diplomová práce. Praha: Vysoká škola hotelová v Praze 8, katedra marketingu. Vedoucí práce doc. Ing. Dagmar Jakubíková, Ph.D. [cit. 2025-03-15]. Dostupné z: https://is.ucp.cz/th/mzw40/Rehak__17635__Smart_Cities_aneb_chytra_mesta.pdf

SIMON, Ondřej a Martin SUCHARDA, 2004. *Vliv hospodaření v krajině na průběh a účinek povodní: přehled problémů a doporučená opatření*. Brno: Hnutí Duha. 34 s. ISBN 80-86834-04-2.

SLAVÍK, L. a M. NERUDA, 2007. *Voda v krajině*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí. 171 s. ISBN 978-80-7044-882-3

SMITH, Chris et al., 2006. *The History of Artificial Intelligence* [online]. Seattle: University of Washington. [cit. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590/06au/projects/history-ai.pdf>

STREJC, David, 2024. *Přínos AI pro zpřesnění předpovědi počasí a včasnou identifikaci rizik* [online]. Roklen24.cz, 10. října 2024. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: https://roklén24.cz/?quick_news=komentar-na-tema-prinos-ai-pro-zpresneni-predpovedi-pocasi-a-vcasnou-identifikaci-rizik

ŠAUR, David, 2023. *Souhrnná výzkumná zpráva o systému předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní, včetně využití pro účely krizového řízení a povodňového plánování*. Zlín.

ÚSTŘEDNÍ KNIHOVNA ČVUT, 2021. *Co je rešerše* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze. [cit. 2025-03-06]. Dostupné z: <https://knihovna.cvut.cz/katalogy-a-databaze/reserse/co-je-reserse>

Vláda České republiky, 2000. *Strategie ochrany před povodněmi pro území České republiky*, schválená usnesením vlády č. 328/2000. Praha: Ministerstvo zemědělství.

Vláda České republiky, 2010. *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice*, schválená usnesením vlády č. 799/2010. Praha: Ministerstvo životního prostředí.

VODARENSTVI.CZ, 2024. *Při povodních pomůže nová aplikace* [online]. 11. listopadu 2024. [cit. 2025-03-20]. Dostupné z: <https://www.vodarenstvi.cz/2024/11/11/pri-povodnich-pomuze-nova-aplikace/>

ZEMĚPISEC.CZ, 2025. *Co je povodeň a protipovodňová opatření* [online]. [cit. 2025-03-02]. Dostupné z: <https://zemepisec.cz/hydrologie/protipovodnova-opatreni>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení protipovodňového opatření	23
Obrázek 2 Retenční prostor obce Novosedly	24
Obrázek 3 Ochranné hráze Olešenského potoka	25
Obrázek 4 Hluboký kořenový systém buku umožňující dobrou perkolaci vody	26
Obrázek 5 Stabilizace koryta Motolského potoka	27
Obrázek 6 Mapa spolehlivých měřících stanic Google Flood Hub	40
Obrázek 7 Mapa měrných profilů s nižší spolehlivostí	40
Obrázek 8 Ukázka aplikace FLAPRIS	42
Obrázek 9 Schéma algoritmu automatizace a optimalizace krizových a povodňových.....	42
Obrázek 10 Aplikace města Prahy k protipovodňové ochraně	45
Obrázek 11 Upozornění na povodně zobrazované uživatelům v oblasti Patna	46
Obrázek 12 Ukázka softwaru 3Di Water Management	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Kritéria pro zařazení vodního díla do kategorie	16
Tabulka 2 Shrnutí oblastí komparace.....	52

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AI	Artificial Intelligence Umělá inteligence
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i> Konvoluční neuronová síť
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
GIS	<i>Geographic Information System</i> Geografický informační systém
HZS	Hasičský záchranný sbor
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> Mezinárodní elektrotechnická komise
IoT	Internet of Things Internet věcí
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> Mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	Information Technology informační technologie
IZS	Integrovaný záchranný systém
MAPE	Mean Absolute Percentage Error Průměrná absolutní procentní chyba
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NSCE	Nash–Sutcliffe Coefficient of Efficiency Nashův–Sutcliffův koeficient účinnosti
QGIS	Quantum Geographic Information System Open-source GIS software