

HODNOCENÍ A VERIFIKACE VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS PŘI ANALÝZE PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ VE ZLÍNSKÉM KRAJI (2024)

DavidŠaur

ODBORNÁ MONOGRAFIE

**Hodnocení a verifikace výstupů aplikace
FLAPRIS při analýze přívalových povodní ve
Zlínském kraji (2024)**

DAVID ŠAUR

2026

KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Šaur, David, 1988-

Hodnocení a verifikace výstupů aplikace FLAPRIS při analýze přívalových povodní ve Zlínském kraji (2024) : odborná monografie / David Šaur. -- Pořadí vydání: 1. -- Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, nakladatelství UTB, 2026. -- 1 online zdroj

Česká a anglické resumé

Nad názvem: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta aplikované informatiky. -- Obsahuje bibliografii a bibliografické odkazy

ISBN 978-80-7678-411-6 (online ; pdf)

* 556.166-026.512 * 556.166.06 * 004.42FLAPRIS * (437.323) * (048.8) * (0.034.2:08)

– bleskové povodně -- Česko

– předpovědi povodní

– FLAPRIS (software)

– Zlínský kraj (Česko : 2000-)

– monografie

– elektronické knihy

556 - Hydrologie [7]

David Šaur

Zlín 2026

Recenzent:

doc. Mgr. Michal Žák, Ph.D., Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta

doc. Ing. Jozef Kubás, PhD., Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA), Fakulta bezpečnostného inžinierstva

Vydala: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Nakladatelství UTB

Tisk: UTB Tiskové a vydavatelské centrum, Zlín

Rok vydání: 2026

Počet stran: 131: ilustrace, tabulky, mapy

ISBN: 978-80-7678-410-9 [tisková verze]

ISBN: 978-80-7678-411-6 [elektronická verze]

Anotace:

Odborná monografie představuje metodiku a výsledky verifikace aplikace FLAPRIS určené pro zpřesněnou identifikaci a předpověď nebezpečí přívalových povodní. Publikace analyzuje příčinné meteorologické a hydrologické podmínky vzniku přívalových povodní ve Zlínském kraji během roku 2024, využívá radarové produkty VIL a nowcastingové nástroje a hodnotí jejich úspěšnost v rámci dynamického a statického modelu rizika. Monografie přináší komplexní přehled výpočetních metod, kritických bodů, odtokových modelů a limitů verifikace a navrhuje směřování dalšího výzkumu v oblasti modelování extrémních konvektivních srážek.

Klíčová slova:

přívalové povodně; konvektivní srážky; radarová meteorologie; VIL; nowcasting; hydrologické modely; verifikace modelů; kritické body; povodňové riziko; krizové řízení; Zlínský kraj

Poděkování:

Publikace byla vytvořena na základě výzkumného projektu Ministerstva vnitra ČR č. VB01000008 „FLAPRIS – Systém pro podporu zpřesněné a včasné předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní a usnadnění činností krizových a povodňových orgánů kraje“.

© Ing. David Šaur, Ph.D., 2026

© Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2026

Text prošel odbornou korekturou; neprošel jazykovou korekturou. Vybrané části byly vytvořeny nebo upraveny s využitím generativní umělé inteligence (Microsoft Copilot, 2025 a Chat GPT) na základě autorských podkladů.

Všechna práva vyhrazena.

Abstract / Souhrn

Souhrn (česky)

Monografie prezentuje komplexní metodiku a výsledky ověření funkčnosti aplikace FLAPRIS (Flash Flood Prediction System), která slouží ke zpřesnění a včasné detekci i predikci přívalových povodní ve Zlínském kraji. Publikace detailně popisuje postupy hodnocení historických povodňových událostí, včetně využití pokročilých radarových a numerických modelů, a analyzuje úspěšnost systému FLAPRIS během konvektivní sezóny roku 2024. Výsledky potvrzují významný přínos systému pro krizové řízení a meteorologickou praxi, zejména v oblasti rychlé identifikace ohrožených lokalit a optimalizace preventivních opatření. Monografie zároveň formuluje doporučení pro další rozvoj systému, včetně automatizace verifikačních procesů a rozšíření jeho využití na území České republiky i střední Evropy.

Abstract (English)

This monograph presents a comprehensive methodology and the results of verifying the FLAPRIS (Flash Flood Prediction System) application, designed to improve the accuracy and timeliness of flash flood detection and prediction in the Zlín Region. The publication provides a detailed account of the evaluation procedures for historical flood events, including the use of advanced radar and numerical models, and assesses the performance of FLAPRIS during the convective season of 2024. The findings confirm the system's significant contribution to crisis management and meteorological practice, particularly in the rapid identification of threatened areas and the optimization of preventive measures. The monograph also offers recommendations for further development, such as automating verification processes and expanding the system's application across the Czech Republic and Central Europe.

Obsah

ABSTRACT / SOUHRN	4
SOUHRN (ČESKY).....	4
ABSTRACT (ENGLISH)	4
PŘEDMLUVA	9
ÚVOD.....	10
1. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
1.1.ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VE SVĚTĚ	13
1.2. PROBLEMATIKA PREDIKCE A HODNOCENÍ RIZIKA PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ V ČESKÉ REPUBLICCE	14
1.3. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU SYSTÉMŮ VČASNÉHO VAROVÁNÍ PŘED PŘÍVALOVÝMI POVODNĚMI V ČR.....	17
1.4.PROBLEMATIKA LOKÁLNÍ PREDIKCE POVODŇOVÝCH JEVŮ Z HLEDISKA SYSTÉMŮ VČASNÉHO VAROVÁNÍ A KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ V ČESKU.....	19
1.5.UKAZATEL KRITICKÝCH PODMÍNEK A VÁŽENÉ ZOBRAZENÍ RIZIKA PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ V APLIKACI FLAPRIS	21
2. METODIKA HODNOCENÍ HISTORICKÝCH POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ	24
2.1. PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ	26
2.1.1. HLAVNÍ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ	26
2.1.2. VEDLEJŠÍ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ.....	28
HYDRAULICKÁ KONDUKTIVITA	28
NASYCENOST PŮD.....	29
SKLONITOST SVAHŮ	31
URBANIZACE A KRITICKÉ BODY	33
2.2. STUPEŇ ZÁVAŽNOSTI HISTORICKÝCH PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ	34
2.2.1. UKAZATEL KRITICKÝCH PODMÍNEK.....	36
3. METODIKA VERIFIKACE VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS	38
3.1. APLIKACE FLAPRIS	38
3.2. POSTUP PŘI HODNOCENÍ VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS.....	40
3.3. HODNOCENÉ KATEGORIE A VÝSTUPY APLIKACE FLAPRIS	43
4. VERIFIKACE VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS ZA ROK 2024	48
4.1. POVODŇOVÁ UDÁLOST VE ZLÍNSKÉM KRAJI - 10.06.2024	48
4.1.1. PŘÍČINNÉ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÉ POVODNĚ	50
METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 10.06.2024	50
PŘEDPOVĚDNÍ VÝSTUPY NUMERICKÝCH MODELŮ	52
ANALÝZY VÝSTUPŮ Z MĚŘICÍCH METEOROLOGICKÝCH SYSTÉMŮ.....	53
AEROLOGICKÉ MĚŘENÍ ATMOSFÉRY	53
RADAROVÉ SUMARIZAČNÍ MĚŘENÍ SRÁŽEK.....	55
1HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	55
3HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	56
24HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	56
OSTATNÍ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 10.06.2024	57
4.1.2. HODNOCENÍ ÚSPĚŠNOSTI VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS PRO 10.06.2024.....	57

PRVNÍ SRÁŽKOVÁ EPIZODA OD 15-16:00 SELČ – JIH ZLÍNSKÉHO KRAJE	58
A) PRAKŠICE	58
B) 1.2. HLUK.....	59
C) BISKUPICE	60
DRUHÁ SRÁŽKOVÁ EPIZODA OD 16-17:00 SELČ – VÝCHOD ZLÍNSKÉHO KRAJE	62
A) LUHAČOVICE.....	62
B) VLACHOVICE.....	63
C) BORŠICE U BLATNICE.....	64
D) VALAŠSKÉ KLOBOUKY	65
4.1.3. VÝSLEDKY VERIFIKACE PŘÍVALOVÉ POVODNĚ ZE DNE 10.06.2024	66
3.2. POVODŇOVÁ UDÁLOST VE ZLÍNSKÉM KRAJI - 26.06.2024	68
4.2.1. PŘÍČINNÉ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÉ POVODNĚ.....	69
METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 26.06.2024.....	69
PŘEDPOVĚDNÍ VÝSTUPY NUMERICKÝCH MODELŮ.....	71
VÝSTUPY Z MĚŘÍCÍCH METEOROLOGICKÝCH SYSTÉMŮ	71
AEROLOGICKÉ MĚŘENÍ ATMOSFÉRY	72
RADAROVÉ SUMARIZAČNÍ MĚŘENÍ SRÁŽEK	73
1HODINOVÁ A 3HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	73
24HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	73
OSTATNÍ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 26.06.2024	74
4.2.2. HODNOCENÍ ÚSPĚŠNOSTI VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS PRO 26.06.2024	74
1. VALAŠSKÉ MEZIŘÍČÍ.....	74
2. STŘÍTEŽ (CHORYNĚ)	75
4.2.3. VÝSLEDKY VERIFIKACE PŘÍVALOVÉ POVODNĚ ZE DNE 26.06.2024	76
4.3. POVODŇOVÁ UDÁLOST VE ZLÍNSKÉM KRAJI - 28.06.2024	78
4.3.1. PŘÍČINNÉ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÉ POVODNĚ.....	79
METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 28.06.2024.....	79
PŘEDPOVĚDNÍ VÝSTUPY NUMERICKÝCH MODELŮ.....	80
ANALÝZA VÝSTUPŮ Z MĚŘÍCÍCH METEOROLOGICKÝCH SYSTÉMŮ.....	81
AEROLOGICKÉ MĚŘENÍ ATMOSFÉRY	82
RADAROVÉ SUMARIZAČNÍ MĚŘENÍ SRÁŽEK	83
1HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	83
3HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	83
24HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	84
OSTATNÍ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 28.06.2024	85
4.3.2. HODNOCENÍ ÚSPĚŠNOSTI VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS PRO 28.06.2024	86
ROŽNOV POD RADHOŠTĚM.....	86
1. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM – V MOKRÉM 761, V MOKRÉM 300.....	87
2. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM – KŘÍŽOVATKA ULIC NÁDRAŽNÍ, 5. KVĚTNA A MEZIŘÍČSKÁ	87
3. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM – ULICE LÁZEŇSKÁ.....	88
4. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM – OSTRAVSKÁ Č.P. 1619.....	89
5. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM – KARLOVA Č.P. 1726.....	90
6. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM – ULICE RADHOŠTŠKÁ U GIBON PARKU	91
7. DOLNÍ BEČVA – HLAVNÍ SILNICE	92
4.3.3. VÝSLEDKY VERIFIKACE PŘÍVALOVÉ POVODNĚ ZE DNE 28.06.2024	93

4.4	POVODŇOVÁ UDÁLOST VE ZLÍNSKÉM KRAJI - 30.06.2024	95
4.4.1.	PŘÍČINNÉ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÉ POVODNĚ	97
	METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 30.06.2024	97
	PŘEDPOVĚDNÍ VÝSTUPY NUMERICKÝCH MODELŮ	100
	PŘEDPOVĚĎ SRÁŽEK.....	100
	PŘEDPOVĚĎ VÝZNAMNÝCH ATMOSFÉRICKÝCH PODMÍNEK PRO VZNIK LINIE KONVERGENCE.....	101
	ANALÝZA VÝSTUPŮ Z MĚŘICÍCH METEOROLOGICKÝCH SYSTÉMŮ	103
	AEROLOGICKÉ MĚŘENÍ ATMOSFÉRY	103
	RADAROVÉ SUMARIZAČNÍ MĚŘENÍ SRÁŽEK.....	104
	1HODINOVÁ A 3HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	104
	24HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK.....	105
	OSTATNÍ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 30.06.2024	105
4.4.2.	HODNOCENÍ ÚSPĚŠNOSTI VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS PRO 30.06.2024.....	106
	1. SAZOVICE.....	107
	2. ZLÍN.....	111
	3. RACKOVÁ.....	113
	4. FRYŠTÁK U ZLÍNA.....	117
	5. KAŠAVA.....	119
	6. ROŽNOV POD RADHOŠTĚM (ULICE HÁŽOVICE).....	120
4.4.3.	VÝSLEDKY VERIFIKACE PŘÍVALOVÉ POVODNĚ ZE DNE 30.06.2024	121
4.5.	POVODŇOVÁ UDÁLOST VE ZLÍNSKÉM KRAJI - 08.08.2024	123
4.5.1.	PŘÍČINNÉ PODMÍNKY VZNIKU PŘÍVALOVÉ POVODNĚ	125
	METEOROLOGICKÉ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 08.08.2024	125
	PŘEDPOVĚDNÍ VÝSTUPY NUMERICKÝCH MODELŮ	126
	VÝSTUPY Z MĚŘICÍCH METEOROLOGICKÝCH SYSTÉMŮ	126
	AEROLOGICKÉ MĚŘENÍ ATMOSFÉRY	127
	RADAROVÉ SUMARIZAČNÍ MĚŘENÍ SRÁŽEK.....	128
	1HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK	128
	3HODINOVÁ SUMACE RADAROVÉHO MĚŘENÍ SRÁŽEK.....	129
	OSTATNÍ PŘÍČINY VZNIKU POVODŇOVÉ UDÁLOSTI DNE 08.08.2024	129
4.5.2.	HODNOCENÍ ÚSPĚŠNOSTI VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS PRO 08.08.2024.....	130
	1. STARÉ MĚSTO U UHERSKÉHO HRADIŠTĚ	130
	2. SILNICE Č. 424821 MEZI OBCEMI VELEHRAD – TUPEŠY	131
	3. OTROKOVICE	132
4.5.3.	VÝSLEDKY VERIFIKACE PŘÍVALOVÉ POVODNĚ ZE DNE 08.08.2024	133
5.	CELKOVÉ HODNOCENÍ ÚSPĚŠNOSTI VÝSTUPŮ FLAPRIS V ROCE 2024.....	135
6.	DISKUSE A SYNTÉZA ZÁVĚRŮ Z VERIFIKAČNÍ ANALÝZY	138
6.1.	DISKUSE VÝSLEDKŮ	138
6.2.	LIMITY METODIKY A ZDROJE NEJISTOT VERIFIKACE	140
6.2.2.	LIMITY VÝBĚRU ANALYZOVANÝCH UDÁLOSTÍ	142
6.2.3.	LIMITY INTERPRETACE DOPADŮ PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ	143
6.2.4.	FYZIKÁLNÍ A ALGORITMICKÁ OMEZENÍ RADAROVÝCH PRODUKTŮ A NOWCASTINGOVÝCH METOD ...	144

6.2.5. PROSTOROVÁ A ČASOVÁ OMEZENÍ APLIKACE FLAPRIS	147
6.3.IMPLIKACE VÝSLEDKŮ VERIFIKACE FLAPRIS PRO KRIZOVÉ ŘÍZENÍ NA ÚROVNI ORP, KRAJE A SLOŽEK KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ	148
6.4. OPTIMALIZACE PŘESNOSTI VÝSTUPŮ APLIKACE FLAPRIS	151
6.5. NÁVRH AKTUALIZACE SYSTÉMU PRO DISTRIBUCI VAROVNÝCH ZPRÁV O NEBEZPEČÍ PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ V APLIKACI FLAPRIS	151
6.6. VYUŽITÍ SENZORICKÝCH SÍTÍ NA VODNÍCH TOCÍCH PRO VALIDACI A ZPŘESNĚNÍ VÝSTUPŮ FLAPRIS	152
6.7. NÁVRH OPTIMALIZACE DATABÁZE HISTORICKÝCH POVODŇOVÝCH UDÁLOSTÍ	153
7. BUDOUCÍ VÝZKUM A SMĚRY DALŠÍHO ROZVOJE APLIKACE FLAPRIS	155
7.1. ROZŠÍŘENÍ A ZKVALITNĚNÍ VSTUPNÍCH RADAROVÝCH DAT	155
7.2.REGIONÁLNÍ A DLOUHODOBÁ VALIDACE APLIKACE	156
7.3. INTEGRACE POKROČILÝCH METOD ZPRACOVÁNÍ DAT (AI / ML)	157
7.4. AUTOMATIZACE VERIFIKAČNÍHO PROCESU	159
7.5. IMPLEMENTACE DO SYSTÉMŮ VČASNÉHO VAROVÁNÍ.....	160
ZÁVĚR.....	161
SEZNAM LITERATURY	162
SEZNAM OBRÁZKŮ	168
SEZNAM TABULEK	172

PŘEDMLUVA

V kontextu probíhající klimatické změny lze očekávat změny v charakteru extrémních hydrometeorologických jevů, včetně intenzivních konvektivních srážek. Přímé hodnocení trendu četnosti přívalových povodní však vyžaduje samostatnou dlouhodobou klimatologickou a hydrologickou analýzu, která přesahuje rámec této monografie. Přesto je zřejmé, že přívalové povodně představují významné přírodní nebezpečí, které může výrazně ovlivňovat společnost nejen v České republice, ale i v širším prostoru střední Evropy.

Vedle meteorologických podmínek se na vzniku a rozsahu přívalových povodní významně podílejí také charakteristiky území, zejména míra urbanizace, způsob využívání krajiny, stav půdního pokryvu, sklonitost terénu a schopnost území zadržet nebo vsakovat srážkovou vodu. Nevhodné hospodaření na lesních a zemědělských půdách, vedoucí například ke zvýšené půdní erozi nebo ke snížení infiltrační schopnosti půdy, může zvyšovat náchylnost území k rychlému povrchovému odtoku a následným lokálním povodňovým událostem. Tyto faktory společně zdůrazňují potřebu rozvoje přesnějších nástrojů pro identifikaci, predikci a operativní hodnocení nebezpečí přívalových povodní.

Z tohoto důvodu je nezbytné vyvíjet a implementovat kvalitní systémy včasného varování, které umožní přesnější detekci a predikci přívalových povodní a tím přispějí k účinné ochraně lidských životů, majetku i kritické infrastruktury.

Předkládaná monografie je výsledkem několikaletého výzkumu a mezioborové spolupráce odborníků z oblastí meteorologie, hydrologie, krizového řízení a informačních technologií. V rámci tohoto výzkumu byl navržen a vyvinut systém zpřesněné detekce a předpovědi nebezpečí přívalových povodní – FLAPRIS (Flash Flood Prediction System), jehož funkčnost byla ověřena na historických datech ze Zlínského kraje.

Publikace představuje metodiku hodnocení a verifikace výstupů systému FLAPRIS prostřednictvím detailních analýz povodňových událostí zaznamenaných ve Zlínském kraji v roce 2024. V závěrečné části jsou formulována doporučení pro optimalizaci a další rozvoj systému FLAPRIS s cílem umožnit jeho operativní využití nejen v České republice, ale i v dalších evropských zemích.

Rád bych vyjádřil poděkování všem spolupracovníkům, zejména Krajskému ředitelství Hasičského záchranného sboru Zlínského kraje, Českému hydrometeorologickému ústavu a pracovníkům Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, kteří poskytli cenné podněty, data a odbornou podporu při ověřování výstupů aplikace FLAPRIS. Bez jejich přispění by tato publikace nemohla vzniknout.

Věřím, že tato monografie přispěje nejen k rozvoji vědeckého poznání v oblasti extrémních hydrometeorologických jevů, ale také k efektivnějšímu krizovému řízení a ke zvyšování úrovně ochrany obyvatelstva před přírodními hrozbami.

ÚVOD

Cílem této publikace je představit ucelený postup hodnocení výstupů aplikace FLAPRIS a poskytnout detailní charakteristiku historických přívalových povodní, které byly zaznamenány ve Zlínském kraji v roce 2024. Hlavním výstupem monografie je verifikace jednotlivých částí systému FLAPRIS a zhodnocení jejich přesnosti při detekci a predikci nebezpečí přívalových povodní.

První část publikace přibližuje metodiku hodnocení historických povodňových událostí se zaměřením na posouzení skutečné míry nebezpečí přívalových povodní na území Zlínského kraje. Součástí jsou rovněž teoretická východiska potřebná pro následnou verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS.

Druhá část obsahuje výsledky samotného hodnocení (verifikace) aplikace FLAPRIS, provedeného na vybraných historických situacích z období červen–srpen 2024. Výstupy systému jsou analyzovány ve třech kategoriích: Aktuální situace, Předpověď a Statický model, přičemž tyto kategorie jsou detailně popsány v úvodní části publikace.

V rámci Úvodu je rovněž upřesněna terminologie používaná v textu. Pojem „*přívalová povodeň*“ je v médiích často označován jako „*blesková povodeň*“. Tento výraz však nemusí být terminologicky přesný. V odborné hydrometeorologii se jedná o typ krátkodobé letní povodně způsobené přívalovými dešti s velmi vysokou intenzitou. Pro účely této monografie je proto používán jednotný termín **přívalová povodeň**.

Podle [1] je přívalová povodeň definována jako:

„Rychlý povrchový odtok vznikající v důsledku přívalového deště o velmi silné intenzitě, zpravidla přesahující 30 mm/h. Vyskytuje se na území o rozloze od několika km² po desítky, ojediněle stovky km², s dobou trvání od několika minut po několik hodin.“

Hlavní příčinou přívalových povodní jsou intenzivní krátkodobé srážky – přívalové deště. K dalším faktorům ovlivňujícím vznik přívalových povodní jsou morfologie území, sklon svahů, charakter a nasycenost půd, hydrologické skupiny půd a hydraulická konduktivita. Významnou roli hrají také klimatologické charakteristiky, například stoleté úhrny srážek či jednohodinové akumulace získané z radarových a staničních měření.

Míra infiltrace srážkové vody, zejména při intenzivních letních bouřkách, je dále ovlivněna způsobem využití krajiny – rozmístěním lesních porostů a zemědělských plodin, které mohou podporovat rychlejší povrchový odtok. Kombinace těchto faktorů společně podmiňuje vznik přívalových povodní.

Přívalové povodně se mohou vyskytovat nejen na vodních tocích, ale také mimo jejich koryta, například v suchých korytech, kterými mimo extrémní srážkové situace voda běžně neprotéká. Vznik přívalových povodní mimo vodní toky se v projektu je řešeno pomocí výpočtu historické stoleté srážky na semi-distributivním odtokovém modelu, který zohledňuje prostorově nerovnoměrný výskyt srážek ve Zlínském kraji[1].

Celkovou úspěšnost výstupů aplikace FLAPRIS výrazně ovlivňuje přesnost měřených i předpovědních radarových produktů meteorologického radaru Zlínského kraje. Tato aplikace poskytuje řadu radarových produktů, z nichž byl pro reálné nasazení a testování vybrán produkt VIL (Vertically Integrated Liquid), poskytující odhad množství kapalné

vody v oblacích. Jde o jednu z klíčových veličin odvozených z radiolokační odrazivosti, která je zásadní pro odhad potenciální intenzity přívalových srážek.

Produkt VIL je také implementován v aplikaci SNPKS KUC (Systém nowcastingové předpovědi konvektivních srážek pro krajský územní celek), vyvinutý v předchozím projektu Ministerstva vnitra¹. Tento produkt je poskytován ve dvou typech výstupů – jako numerický a grafický produkt pro měření množství kapalných srážek a jako předpovědní produkt VIL Alert (Nowcast) s délkou předpovědi 30–60 minut. Tyto produkty jsou klíčové pro monitoring a predikci potenciálního množství přívalových srážek a mají nejvyšší váhu při výpočtu statického liniového a plošného rizika přívalových povodní.

Výstupy nejsou veřejně dostupné, protože vznikly jako experimentální výsledky aplikovaného výzkumu, například pro účely aplikace FLAPRIS. Paralelně s produktem VIL bude testován také produkt PCAPPI v měřené verzi a jeho předpovědní varianta PCAPPI Alert (Nowcast) ve výšce 2 km z aplikace SNPKS KUC. Cílem testování je zpřesnění odhadu intenzity srážek dopadajících na zemský povrch a porovnání s produktem VIL s ohledem na snížení míry falešných poplachů.

V následujících letech bude nutné pokračovat v dlouhodobém testování, aby bylo možné identifikovat příčiny falešných poplachů a dále zvyšovat úspěšnost výstupů aplikace FLAPRIS [1], [2].

Nevýhodou současných radarových produktů je jejich omezený dosah – zaměřují se primárně na území v okruhu 200 km od průmyslové zóny v Holešově, kde je radar umístěn. Přestože zařízení umožňuje monitorovat rozsáhlé oblasti Moravy, Slezska, jižního Polska, západního a jižního Slovenska či severního Rakouska, po důkladném otestování se předpokládá jeho rozšíření pro celé území Česka. To by však bylo možné pouze integrací radarů sítě CZRAD provozované Českým hydrometeorologickým ústavem.

Současně se v rámci plánovaných projektů zvažuje spolupráce se Slovenským hydrometeorologickým ústavem, aby obě instituce mohly nezávisle otestovat funkčnost a přidanou hodnotu aplikace FLAPRIS při zpřesnění informací o nebezpečí přívalových povodní a jejich dopadech v souvislosti s výskytem silných konvektivních bouří. Cílem je získat odborné garance pro další rozvoj aplikace FLAPRIS a umožnit její využití nejen v Česku, ale i v dalších státech Evropské unie a ve světě.

Po úvodním vymezení cíle publikace je nejprve provedena analýza současného stavu řešené problematiky, která shrnuje zahraniční a české přístupy k predikci přívalových povodní, systémy včasného varování, metodiku kritických bodů a hlavní limity

¹ Projekt č. VI20192022134 – “Systém zpřesněné předpovědi konvektivních srážek pro krajský územní celek”, Ministerstvo vnitra, Bezpečnostní výzkum, 3. veřejná soutěž 2015-2022. Cílem tohoto projektu bylo navrhnout a realizovat funkční vzorky a softwary zaměřené na:

1. Statistický odhad a predikci konvektivních a přívalových srážek pro území Česka na 24 hodin (Systém statistické předpovědi konvektivních srážek pro krajský územní celek – SSPKS KUC).
2. Měření a nowcasting konv. a přívalových srážek pro území zlínského kraje na 60 minut dopředu (Systém nowcastingové předpovědi konvektivních srážek pro krajský územní celek – SNPKS KUC) [2].

současných nástrojů. Na tento rámec následně navazuje metodika hodnocení historických povodňových událostí a metodika verifikace výstupů aplikace FLAPRIS.

1. Analýza současného stavu řešené problematiky

1.1. Analýza současného stavu ve světě

Problematika předpovědi přívalových povodní, v mezinárodní terminologii označovaných jako *flash floods*, je na globální úrovni řešena mimo jiné prostřednictvím systému **Flash Flood Guidance System with Global Coverage** (FFGS). Tento systém představuje nástroj včasného varování, jehož cílem je podporovat meteorologické a hydrologické služby i orgány krizového řízení při vyhodnocování rizika vzniku přívalových povodní v reálném nebo téměř reálném čase. Program FFGS vznikl jako mezinárodní iniciativa realizovaná ve spolupráci Světové meteorologické organizace, USAID/OFDA, NOAA/NWS a Hydrologic Research Center, které se podílejí na jeho globální implementaci a odborné podpoře [3], [24].

FFGS je koncipován jako podpůrný systém pro tvorbu výstrah před přívalovými povodněmi, zejména v malých povodích, kde je reakční doba území velmi krátká. Systém využívá kombinaci dat dálkového průzkumu Země, radarových a satelitních odhadů srážek, pozemních srážkoměrných pozorování, numerických modelů předpovědi počasí a hydrologických modelů. Součástí vyhodnocení je také posouzení aktuálního nasycení půdy a dalších faktorů ovlivňujících odtokovou odezvu povodí. Významnou roli přitom nadále sehrává odborná zkušenost meteorologa nebo hydrologa, který může výsledné produkty interpretovat s ohledem na místní podmínky a aktuální vývoj meteorologické situace [3], [24].

Výstupy systému FFGS jsou určeny jako podklad pro rozhodování o vydání výstrahy v případě, že předpovídané nebo pozorované meteorologické a hydrologické veličiny překročí stanovené prahové hodnoty. Mezi typické produkty systému patří odhady srážek, informace o půdní vlhkosti, hodnoty tzv. *flash flood guidance*, vyhodnocení aktuální i předpokládané hrozby přívalové povodně a v některých implementacích také doplňkové produkty související například s rizikem sesuvů nebo říčních povodní. WMO uvádí, že systém FFGS je postupně rozvíjen v řadě regionálních a národních implementací a významně přispívá ke zvyšování připravenosti na hydrometeorologická rizika [23], [24].

V rámci globálního programu FFGS jsou realizovány regionální projekty zejména v oblastech Černého moře a Středního východu, Střední Asie, Střední Ameriky, Jižní a Jihovýchodní Asie, Jihovýchodní Evropy, Oceánie, části Jižní Ameriky, západní Afriky a dalších regionů. Podle dostupných údajů WMO systém pokrývá více než 40 % světové populace ve více než 72 zemích, přičemž vedle samotných technických nástrojů zahrnuje také rozsáhlé vzdělávací a tréninkové programy pro hydrometeorology a pracovníky krizového řízení [23], [24].

Vedle provozních systémů typu FFGS se v současnosti rozvíjejí také výzkumné a aplikační přístupy využívající metody umělé inteligence pro predikci výskytu přívalových povodní. Tyto přístupy se zaměřují především na vytváření modelů, které kombinují meteorologická, hydrologická, fyzicko-geografická a případně i historická povodňová data. Mezi často využívané metody lze zařadit algoritmy strojového učení, statistické predikční modely, umělé neuronové sítě a v některých aplikacích také metody hlubokého učení, fuzzy modelování nebo hybridní modely kombinující více výpočetních přístupů [4]–[8]. V kontextu analýzy současného stavu je proto vhodné rozlišovat mezi provozním

rámcem FFGS jako systémem podpory včasného varování a navazujícími výzkumnými modely, které umožňují zpřesnit predikci přívalových povodní pomocí pokročilých datových a výpočetních metod [4] –[8].

Statistické a datově orientované modely strojového učení umožňují odhadovat riziko vzniku přívalových povodní na základě vztahů mezi vstupními meteorologickými, hydrologickými a fyzicko-geografickými proměnnými. Typicky se jedná například o vazby mezi intenzitou a úhrnem srážek, průtokovými charakteristikami, nasyceností půdy, morfometrií povodí nebo historickým výskytem povodňových událostí. Výhodou těchto přístupů je schopnost identifikovat i složité a nelineární vztahy, které nemusí být dostatečně postižitelné tradičními deterministickými modely [5], [6].

Významnou skupinu metod představují umělé neuronové sítě, které jsou využívány jak pro krátkodobou predikci povodňových stavů, tak pro modelování náchylnosti území k přívalovým povodním. Jejich přínos spočívá zejména ve schopnosti pracovat s vícerozměrnými vstupními daty a poskytovat rychlé predikce i v územích, kde je dostupná pouze omezená znalost fyzikálních procesů nebo detailních hydrologických parametrů. V posledních letech se v této oblasti prosazují také metody hlubokého učení, které umožňují efektivněji zpracovávat rozsáhlá časoprostorová data, včetně geografických, radarových, satelitních a hydrometeorologických vstupů [5]-[7].

Neuronové sítě a metody hlubokého učení jsou využívány také při tvorbě map náchylnosti území k přívalovým povodním v prostředí geografických informačních systémů. Tyto modely umožňují kombinovat informace o reliéfu, využití území, půdních vlastnostech, srážkových charakteristikách a dalších faktorech ovlivňujících vznik rychlé odtokové odezvy. V některých studiích jsou hluboké neuronové sítě kombinovány s dalšími metodami strojového učení, například s rozhodovacími stromy, metodou random forest, podpůrnými vektory nebo statistickými klasifikačními a regresními modely. Cílem těchto hybridních přístupů je zvýšit přesnost, robustnost a interpretační hodnotu výsledného predikčního modelu [4] –[8].

Vedle neuronových sítí jsou pro predikci a podporu včasného varování před přívalovými povodněmi využívány také metody fuzzy logiky a fuzzy modelování. Tyto přístupy jsou vhodné zejména v situacích, kdy je nutné pracovat s nejistotou, neurčitostí nebo expertně stanovenými pravidly. Fuzzy modely mohou zohledňovat například kombinaci srážkových úhrnů, nasycenosti půdy, sklonitosti území, velikosti povodí a dalších faktorů, jejichž vliv nelze vždy vyjádřit ostrými prahovými hodnotami. Pro optimalizaci parametrů modelů, výběr vstupních proměnných nebo ladění rozhodovacích pravidel mohou být dále využívány genetické algoritmy, hejnové algoritmy a další optimalizační metody [5], [7], [11], [12].

1.2. Problematika predikce a hodnocení rizika přívalových povodní v České republice

V České republice je problematika predikce a hodnocení rizika přívalových povodní řešena prostřednictvím několika odborných, výzkumných a aplikačních přístupů. Mezi významné projekty a metodické nástroje lze zařadit zejména projekt VI20192021166

„Hydrometeorologická rizika v České republice – změny rizik a zlepšení jejich predikcí“, jehož součástí je systém Flash Flood Guidance pro podmínky České republiky, označovaný také jako FFG-CZ, dále fuzzy model pro odhad rizika přívalové povodně, metodiku kvalitativního hodnocení rizika přívalové povodně a metodiku identifikace kritických bodů ve vztahu k působnosti obcí [9], [11]–[17]. Tyto přístupy se liší použitými vstupními daty, mírou hydrologického modelování, prostorovým rozlišením, dobou předstihu i způsobem využití ve vztahu k předpovědní a krizové praxi [[9]–[17].

Nejvýznamnějším provozním nástrojem pro hodnocení rizika přívalových povodní v České republice je Indikátor přívalových povodní, označovaný také jako Flash Flood Indicator. Tento systém je rozvíjen Českým hydrometeorologickým ústavem a jeho cílem je informovat o možném riziku vzniku nebo výskytu jevů spojených s přívalovými srážkami, zejména lokálního zatopení a přívalové povodně [10], [25], [26], [33]. Podle informací Českého hydrometeorologického ústavu jsou výstupy indikátoru určeny odborné i poučené laické veřejnosti a nenahrazují oficiální předpovědi ani výstrahy vydávané Českým hydrometeorologickým ústavem [25], [26].

Indikátor přívalových povodní pracuje se třemi základními funkcionalitami. První z nich je odhad aktuální nasycenosti území na základě bilance srážek, odtoku a aktuální evapotranspirace. Druhou funkcionalitou je odvození potenciálně rizikových úhrnů srážek pro stanovenou dobu trvání, které mohou při aktuálním stavu nasycení vyvolat významnější povrchový odtok. Třetí funkcionalitou je stanovení rizika výskytu nebo potenciálního vzniku přívalové povodně a lokálního zatopení na základě aktuální nasycenosti půdy, odhadů spadlých srážek za poslední dvě až tři hodiny a jejich velmi krátkodobé předpovědi [25], [26].

Ukazatel nasycení reprezentuje odhad aktuální nasycenosti území vodou a je odvozován v denním kroku pomocí jednoduchého modelu bilance srážek, odtoku a evapotranspirace. Vysoká nasycenost území představuje zvýšené potenciální riziko povrchového odtoku při výskytu intenzivních srážek, zatímco s klesající nasyceností roste infiltrační schopnost půdy. Potenciálně rizikové úhrny srážek jsou odvozovány pro území o velikosti 3×3 km a vyjadřují takové množství srážek, které by při aktuálním stavu nasycení mohlo způsobit významnější povrchový odtok [25], [26]. Český hydrometeorologický ústav zároveň upozorňuje, že v urbanizovaných územích nebo na zemědělsky nevhodně obhospodařovaných pozemcích mohou být skutečné rizikové hodnoty nižší než prezentované údaje [25], [26].

Souhrnné riziko je v rámci Indikátoru přívalových povodní vyjadřováno pro obce s rozšířenou působností. Může zahrnovat jednak riziko lokálního zatopení v důsledku odtoku z pozemků v obci a jejím blízkém okolí, jednak riziko přívalové povodně, kdy se voda dostává do stálých nebo občasných vodních toků a může dojít k vyběžení. Riziko lokálního zatopení je podle popisu Českého hydrometeorologického ústavu odvozováno ve čtvercové síti 3×3 km na základě překročení kritické velikosti odtoku, vycházející ze spadlých srážek, krátkodobé předpovědi a aktuálního nasycení půdy [25], [26].

Dalším přístupem k predikci povodní z přívalových srážek je fuzzy model. Petr Janál jej charakterizuje jako nástroj založený na metodách umělé inteligence, který přímo navazuje na nowcasting srážek a poskytuje prvotní informaci o možné hydrologické

odezvě. Výhodou tohoto přístupu je zejména rychlost výpočtu a schopnost pracovat s neurčitostí, která je typická jak pro předpověď přívalových srážek, tak pro modelování srážkoodtokového procesu v malých povodích. Fuzzy model byl v odborných pracích popisován jako model sestavený v prostředí MATLAB a kalibrovaný s využitím genetických algoritmů, neuronových sítí a dalších optimalizačních metod [11], [12].

Vstupními veličinami fuzzy modelu mohou být zejména intenzita a doba trvání srážek, ukazatel předchozích srážek, plocha povodí, tvarové charakteristiky povodí, sklonitost a lesnatost. Výstupem modelu je odhad kulminačního odtoku, na jehož základě lze stanovit míru ohrožení povodí. Z hlediska praktického využití je však nutné zohlednit, že výsledná spolehlivost takového modelu je výrazně ovlivněna kvalitou vstupních dat, přesností nowcastingu srážek a velmi krátkou dobou možného předstihu [11], [12].

Samostatnou skupinu nástrojů představují metodické přístupy založené na vyhodnocení radarových dat a prostorových charakteristik území. Petr Rapant, Jaromír Kolečka a Tomáš Inspektor publikovali přístup zaměřený na predikci rizika vzniku přívalové povodně s využitím dat meteorologických radarů. Jejich práce uvádí, že metodika umožňuje včas předpovědět povodeň na jednotlivých úsecích toků i mimo oblast bezprostředně zasaženou extrémními srážkami [13], [14].

Kvalitativní hodnocení rizika přívalové povodně vychází ze snahy o rychlé vyhodnocení rizika v situacích, kdy je časový odstup mezi příčinnou srážkou a nástupem povodně velmi krátký. Přístup Petra Rapanta a Jaromíra Kolečky byl podle dostupného popisu implementován v prostředí ArcGIS a testován na epizodách přívalových srážek. Jeho cílem bylo poskytnout jednoduchou metodu pro rychlé ohodnocení rizika vzniku přívalové povodně a podporu včasné výstrahy potenciálně ohroženým obcím [13], [14].

Vedle dynamických nebo operativních nástrojů má v českém prostředí význam také identifikace kritických bodů. Přívalové povodně se mohou vyskytnout prakticky kdekoli, a to i mimo síť trvalých vodních toků; z tohoto důvodu byly identifikovány kritické body, které označují zastavěná území potenciálně ohrožená soustředěným povrchovým odtokem při intenzivních srážkách. Kritické body jsou definovány jako průsečíky drah soustředěného odtoku s hranicemi zastavěných území a ke každému z nich jsou vymezeny přispívající plochy [16], [17], [30], [31], [32].

Metodický návod pro identifikaci kritických bodů popisuje postup tvorby digitálního modelu terénu, generování drah soustředěného odtoku, vymezení kritických bodů, stanovení jejich sběrných ploch a určení fyzicko-geografických charakteristik těchto ploch. Tento přístup je důležitý zejména pro preventivní mapování území a podporu územního plánování, nikoliv pouze pro operativní předpověď konkrétní srážkové epizody [16], [17], [30], [31], [32].

V návaznosti na uvedené nástroje lze jako specifický přístup uvést také Algoritmus předpovědi bouří, který je v dřívějších odborných podkladech popsán jako systém zpřesněné předpovědi konvektivních bouří pro území obcí s rozšířenou působností a jejich regionů. Tento nástroj využívá informace o nasycenosti území a potenciálně rizikových srážkách z FFG-CZ a dále parametry související s pravděpodobností výskytu konvektivních srážek, intenzitou bouří, mechanismy podporujícími pohyb konvektivních

bouří a sumarizací nebezpečných jevů [15]. V odborných podkladech je uváděno, že předpověď rizika přívalových povodní může být tímto způsobem počítána s delším časovým předstihem než u čistě nowcastingových přístupů [15].

Z uvedeného přehledu vyplývá, že současný stav řešení problematiky přívalových povodní v České republice kombinuje několik vzájemně se doplňujících přístupů. FFG-CZ a Indikátor přívalových povodní představují provozně orientovaný nástroj pro odhad aktuálního rizika, fuzzy modely a radarově založené metodiky rozšiřují možnosti rychlého vyhodnocení hydrologické odezvy a metodika kritických bodů poskytuje podklad pro preventivní identifikaci zranitelných lokalit [9]–[17], [25], [26]. Významným směrem dalšího rozvoje je proto integrace operativních meteorologických a hydrologických dat, prostorových charakteristik území a metod umělé inteligence do systémů, které budou schopny poskytovat přesnější, prostorově detailnější a pro krizové řízení lépe využitelné informace [4]–[8], [15].

1.3. Analýza současného stavu systémů včasného varování před přívalovými povodněmi v ČR

Jedním z hlavních limitů současných nástrojů včasného varování před přívalovými povodněmi je krátká doba předstihu a omezená prostorová přesnost poskytované informace. Tento problém se týká zejména situací, kdy jsou predikční postupy založeny převážně na radarových odhadech srážek a jejich velmi krátkodobé extrapolaci. Indikátor přívalových povodní pracuje s aktuální nasyceností území, odhady spadlých srážek za předchozí období a krátkodobou předpovědí srážek, přičemž ČHMÚ u tohoto nástroje uvádí nowcasting maximálně na jednu hodinu [25], [26]. Radarový nowcasting ČHMÚ současně umožňuje extrapolační předpověď radarových odrazů až na 90 minut dopředu [25], [26], [33].

Takto krátký předstih je z hlediska operativního vyhodnocení aktuální hrozby velmi cenný, avšak pro realizaci preventivních a přípravných opatření v území může být nedostatečný. Přívalové povodně jsou zpravidla spojeny s lokálními nebo regionálně organizovanými konvektivními srážkami, jejichž vývoj je prostorově i časově velmi proměnlivý [7], [10], [15]. U lokálních konvektivních buněk může docházet k rychlému zesílení, zeslabení nebo zániku srážkové aktivity, případně ke změně směru jejich postupu v důsledku aktuálních dynamických, termodynamických a orografických podmínek [7], [15].

Z uvedených důvodů nelze samotnou extrapolaci radarového pole považovat za dostatečný nástroj pro předpověď rizika přívalových povodní s delším časovým předstihem. Radarová data velmi dobře zachycují aktuální rozložení srážkové oblačnosti a její bezprostřední pohyb, avšak jejich využití pro delší předpovědní horizont je omezeno tím, že budoucí vývoj konvekce závisí také na podmínkách, které nejsou z radarového měření plně odvoditelné [10], [15], [25], [26]. Prodloužení předstihu včasné informace proto vyžaduje propojení radarových dat, numerických modelů předpovědi počasí, hydrologických charakteristik území, informací o nasycenosti půdy a dalších prediktorů ovlivňujících vznik a průběh přívalové povodně [6], [9], [10], [15], [25].

Dostatečná doba předstihu je přitom jednou z klíčových podmínek účinného krizového a povodňového řízení. Informace dostupná pouze v horizontu desítek minut může být využitelná zejména pro operativní varování a bezprostřední reakci, zatímco předstih v řádu několika hodin umožňuje lépe připravit organizační, technická a informační opatření v ohroženém území [15]. Z tohoto hlediska je žádoucí rozvíjet systémy, které by vedle velmi krátkodobého nowcastingu poskytovaly také orientační predikci rizika v horizontu několika hodin. V odborných podkladech k systému FLAPRIS je takový přístup spojován s Algoritmem předpovědi bouří [15].

Dalším zásadním limitem současných výstražných a informačních systémů je prostorová agregace poskytované informace. Systém integrované výstražné služby ČHMÚ je koncipován jako výstražná služba pro nebezpečné meteorologické a hydrologické jevy a výstražné informace jsou vydávány pro určené území a časový úsek [20], [28]. ČHMÚ uvádí, že výstražné informace jsou poskytovány ve formátu CAP, který umožňuje jejich další technologické zpracování a tvorbu výstupů na míru jednotlivým uživatelům [20], [28]. V evropském kontextu je významným nástrojem pro sdílení a harmonizaci meteorologických výstrah také systém Meteoalarm, který sdružuje výstražné informace národních meteorologických služeb evropských států a umožňuje jejich jednotnou prezentaci pro veřejnost i odborné uživatele [21].

Indikátor přívalových povodní poskytuje souhrnné riziko pro obce s rozšířenou působností. ČHMÚ u tohoto nástroje uvádí, že riziko lokálního zatopení je odvozováno v pravidelné čtvercové síti 3×3 km a souhrnné riziko je zobrazováno pro úroveň ORP [25], [26]. Z hlediska charakteru přívalových povodní však může být území ORP příliš rozsáhlé, protože intenzivní konvektivní srážky a následná odtoková odezva mají často výrazně lokální charakter [7], [10], [15]. Jednotná informace vztažená na celé území ORP proto nemusí dostatečně vystihovat rozdíly mezi jednotlivými obcemi, dílčími povodími, urbanizovanými plochami a lokalitami s odlišnou náchylností k rychlému povrchovému odtoku [15], [16], [30], [31], [32].

Pro podporu rozhodování krizových a povodňových orgánů je proto vhodné usilovat o vyšší prostorovou podrobnost predikční informace. Praktickým směrem je zpracování rizika na úrovni menších územních jednotek v rámci ORP, například na úrovni jednotlivých obcí, dílčích povodí nebo jinak vymezených rizikových lokalit. Takto zpřesněná informace může být využita při plánování preventivních opatření, přípravě zasahujících složek, informování obyvatelstva i při prioritizaci území, v nichž lze očekávat vyšší pravděpodobnost vzniku lokálního zatopení nebo přívalové povodně [15], [16], [30], [31], [32]. Na základě těchto důvodů je vhodné rozvíjet predikční systémy, které kombinují informace o aktuální nasycenosti území a potenciálně rizikových srážkách z FFG-CZ s dalšími meteorologickými, hydrologickými a fyzicko-geografickými parametry [9], [10], [15], [25], [26].

V odborném konceptu FLAPRIS je navrhovaný systém spojován mimo jiné s využitím stupně nasycení území z FFG-CZ, potenciálně rizikových srážek, pravděpodobnosti výskytu konvektivních srážek, intenzity bouří, mechanismů podporujících pohyb konvektivních bouří a sumarizace nebezpečných jevů [15]. Pilotní aplikace takového přístupu na území ORP Uherský Brod může sloužit jako modelový příklad prostorově

podrobnější predikce, která je lépe využitelná pro podporu rozhodování krizových a povodňových orgánů v konkrétním území [15].

1.4.Problematika lokální predikce povodňových jevů z hlediska systémů včasného varování a krizového řízení v Česku

V podmínkách České republiky tvoří základní rámec povodňové informační podpory hlásná a předpovědní povodňová služba. Předpovědní povodňová služba informuje povodňové orgány a další účastníky ochrany před povodněmi o nebezpečí vzniku povodně, o jejím vzniku, dalším nebezpečném vývoji a o hydrometeorologických prvcích, zejména o srážkách, vodních stavech a průtocích ve vybraných profilech [18], [22], [27]. Tuto službu zabezpečuje Český hydrometeorologický ústav ve spolupráci se správci povodí [18], [27].

Hlásná povodňová služba je určena k zajištění informací potřebných pro varování obyvatelstva v místě očekávané povodně i v územích ležících níže na vodním toku. Současně předává povodňovým orgánům a dalším účastníkům ochrany před povodněmi zprávy a hlášení potřebná k vyhodnocování situace a k řízení opatření na ochranu před povodněmi. Podle vodního zákona ji organizují povodňové orgány obcí a povodňové orgány obcí s rozšířenou působností [18], [22], [27], [44].

Přestože hlásná a předpovědní povodňová služba představuje základní systémový nástroj ochrany před povodněmi, její využití při lokálních a přívalových povodních je limitováno charakterem těchto jevů. Přívalové povodně mohou vznikat velmi rychle, často na malých povodích nebo mimo hlavní vodní toky, a jejich průběh je výrazně ovlivněn lokálními srážkami, aktuální nasyceností území, sklonitostí, charakterem povrchu a dalšími místními podmínkami [7], [10], [15], [16]. Z tohoto důvodu je obtížné opírat operativní rozhodování výhradně o informace z vybraných hlásných a předpovědních profilů, které nemusí vždy dostatečně reprezentovat lokální hydrologickou odezvu malých povodí [15], [18], [19].

Na tuto potřebu navazují lokální výstražné a varovné systémy. Metodický pokyn k zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby uvádí, že obce mohou v případě potřeby budovat automatické lokální výstražné systémy poskytující včasné informace zejména pro náhlé povodně z přívalových srážek na malých povodích [19], [22], [29]. Tyto systémy obvykle zahrnují jednu nebo více automatických stanic pro sledování srážek v povodí a vodních stavů v tocích s přenosem hodnot do lokálního centra [19], [29].

Lokální výstražné systémy jsou v praxi často založeny na měření vodních stavů, srážek a na dálkovém přenosu dat. Dostupné technické a metodické popisy uvádějí například měření výšky hladiny, dešťových srážek, správu naměřených dat z automatických stanic a zasilání varovných informací při překročení definovaných mezí [19], [29]. Z hlediska krizového řízení je však důležité, aby tyto systémy nebyly chápány pouze jako měřicí infrastruktura, ale také jako součást širšího informačního řetězce, který podporuje vyhodnocení hrozby a následné rozhodování povodňových orgánů [18], [19], [22], [27], [29].

Podle analytických podkladů k povodňovému a krizovému řízení mohou být hlášení z hlásných profilů kategorie C a ze stanic automatických LVS při nebezpečí povodně a za povodně předávána jejich provozovateli povodňovému orgánu příslušné ORP. Provozovatel LVS může aktuální údaje ze svého systému zveřejňovat ve vlastní webové prezentaci nebo se při datové kompatibilitě dohodnout s Českým hydrometeorologickým ústavem či podnikem Povodí na zařazení hlásného profilu do jejich prezentace hlásné služby [18], [19], [22], [27], [29].

Významným zdrojem výstražných informací je také Systém integrované výstražné služby. Český hydrometeorologický ústav uvádí, že SIVS je společně poskytovaná výstražná služba Českého hydrometeorologického ústavu a meteorologické služby Armády České republiky v oblasti operativní meteorologie a hydrologie pro území České republiky [20], [28], [44]. Výstražné informace jsou vydávány na nebezpečné meteorologické a hydrologické jevy a jejich úroveň je stanovována podle kombinace očekávané intenzity jevu a pravděpodobnosti jeho výskytu [20], [28], [44].

SIVS je relevantní i ve vztahu k povodňové službě, protože jeho vydávání je podle Českého hydrometeorologického ústavu zčásti naplněním hlásné a předpovědní povodňové služby, kterou Český hydrometeorologický ústav zabezpečuje podle § 73 vodního zákona [20], [28], [44]. Výstražné informace jsou vydávány ve formátu CAP, který umožňuje technologické zpracování a tvorbu výstupů pro různé uživatele [20], [28], [44]. Pro lokální rozhodování však zůstává podstatné, aby informace z celostátních a regionálních systémů byly vhodně propojeny s místními daty z LVS, s povodňovými plány a s aktuálním vyhodnocením situace v konkrétním území [18], [19], [20], [22], [27], [28], [29].

Informační toky mezi povodňovými a krizovými orgány jsou významné zejména při vyhlášení krizového stavu. Pokyny pro zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby platí i v případě vyhlášení krizového stavu z důvodu povodně a informační toky jsou v území s vyhlášeným krizovým stavem směřovány na příslušné orgány krizového řízení, které přebírají řízení ochrany před povodněmi. Současně musí být na každé úrovni řízení zajištěno sdílení informací mezi povodňovým a krizovým orgánem [18], [22], [27], [44].

Pro předávání informací předpovědní a hlásné povodňové služby se podle vodního zákona využívají operační a informační střediska Hasičského záchranného sboru České republiky a složky integrovaného záchranného systému [18], [22], [27], [44]. Produkty typu PVI, IVN] a HIZ/HRIZ jsou v praxi součástí informačních toků směřujících k povodňovým a krizovým orgánům [18], [22], [27], [44].

Z hlediska dalšího rozvoje lze proto za klíčový problém označit nikoliv samotnou absenci měřicích nebo výstražných systémů, ale omezenou míru jejich automatizovaného propojení, interpretace a využití pro lokální rozhodování. Lokální výstražné systémy poskytují cenná data o srážkách a vodních stavech, SIVS a HPPS poskytují výstražný a předpovědní rámec a OPIS HZS zajišťují významný distribuční a koordinační prvek. Pro potřeby lokálních a přívalových povodní však zůstává prostor pro rozvoj systémů, které budou automatizovaně kombinovat místní měření, výstražné informace, hydrometeorologická data a charakteristiky území do podoby srozumitelného

vyhodnocení aktuální a očekávané hrozby pro obce, ORP a další složky krizového řízení [15], [18], [19], [20], [22], [27], [28], [29].

Takto koncipovaná podpora rozhodování by mohla snížit závislost lokálního vyhodnocení pouze na individuální zkušenosti obsluhy LVS, například starosty obce, člena jednotky sboru dobrovolných hasičů nebo pověřené osoby. Současně by umožnila jednodušší interpretaci dostupných dat, rychlejší identifikaci rizikových lokalit a efektivnější návaznost na opatření uvedená v povodňových a krizových plánech. V podmínkách malých povodí a lokálních přívalových srážek je právě propojení měření, predikce, automatizovaného vyhodnocení a rozhodovací podpory jedním z hlavních směrů dalšího rozvoje informačních systémů pro krizové a povodňové orgány [15], [18], [19], [20], [22], [27], [28], [29].

1.5. Ukazatel kritických podmínek a vážené zobrazení rizika přívalových povodní v aplikaci FLAPRIS

Přívalové povodně představují v podmínkách České republiky specifický typ povodňového nebezpečí, který je charakteristický rychlým vznikem, lokálním rozsahem a výraznou závislostí na fyzicko-geografických vlastnostech území. Jejich výskyt může být ovlivněn zejména intenzitou přívalových srážek, sklonitostí území, způsobem využití půdy, mírou urbanizace, půdními vlastnostmi a schopností území zadržet nebo vsakovat vodu [34], [40]-[43]. Pro potřeby aplikace **FLAPRIS** je proto důležité nejen sledovat aktuální a předpovědní meteorologickou situaci, ale také předem identifikovat území, která jsou z hlediska rychlého soustředěného povrchového odtoku predisponována ke vzniku lokálního ohrožení.

Významným metodickým východiskem pro tento přístup je metoda kritických bodů, která byla v českém prostředí rozpracována jako nástroj pro identifikaci míst ohrožených soustředěným povrchovým odtokem z přívalových srážek [30]. Metodický postup zahrnuje tvorbu digitálního modelu terénu, generování drah soustředěného odtoku, vymezení kritických bodů, stanovení jejich přispívajících ploch a určení fyzicko-geografických charakteristik těchto ploch [30]. Kritické body jsou chápány jako místa, kde dráhy soustředěného povrchového odtoku vstupují do zastavěného území nebo jej bezprostředně ohrožují [30], [31], [32]. Tento přístup je současně v souladu s legislativním pojetím povodně podle vodního zákona, který zahrnuje také povodňové situace vznikající v důsledku soustředěného odtoku srážkových vod [44].

Pro aplikaci **FLAPRIS** je koncept kritických bodů významný především tím, že umožňuje převést obecné fyzicko-geografické předpoklady vzniku přívalové povodně do prostorově interpretovatelné podoby. Metoda kritických bodů pracuje s parametry sběrných ploch, jako je velikost přispívající plochy, průměrný sklon, podíl orné půdy a další charakteristiky ovlivňující vznik a koncentraci povrchového odtoku [30], [32]. V odborné literatuře je zároveň zdůrazněno, že identifikace kritických bodů může sloužit jako podklad pro návrh preventivních, organizačních a technických opatření v povodích, a to ještě před vznikem konkrétní povodňové události [32].

V prostředí FLAPRIS může být tato metodika dále rozvíjena prostřednictvím **ukazatele kritických podmínek**, který vyjadřuje relativní predispozici území ke vzniku soustředěného povrchového odtoku a následného ohrožení zastavěných území. Takový ukazatel může být konstruován na základě fyzicko-geografických vstupních vrstev, zejména sklonitosti, charakteru povrchu, využití půdy, půdních vlastností, zastoupení nepropustných ploch a parametrů přispívajících ploch [30], [31], [32], [40], [41]. Podobný princip využívají také zahraniční studie zaměřené na hodnocení potenciálu přívalových povodní pomocí fyziografických faktorů, vícekritériálního rozhodování, statistických metod a metod strojového učení [38], [39].

Vážené zobrazení rizika v aplikaci FLAPRIS lze chápat jako rozšíření tradičního bodového vyjádření kritických bodů. Smyslem není pouze určit místo vstupu soustředěného odtoku do intravilánu, ale také vyjádřit relativní význam jednotlivých drah soustředěného odtoku, přispívajících ploch nebo dílčích úseků území z hlediska jejich potenciálního podílu na vzniku přívalové povodně. Tento přístup navazuje na metodu kritických bodů [30], [31], [32], ale rozšiřuje ji o interpretační rovinu vhodnou pro mapovou vizualizaci a podporu rozhodování. V mezinárodním kontextu lze tento postup srovnat s přístupy zaměřenými na tvorbu indexů závažnosti, mapování prostorové náchylnosti a hodnocení rizika přívalových povodní [35]-[38].

Důležitým faktorem pro vážené zobrazení rizika je urbanizace a podíl nepropustných ploch. Nárůst zastavěných a zpevněných povrchů významně ovlivňuje odtokové poměry, snižuje infiltrační kapacitu území a může zvyšovat rychlost i objem povrchového odtoku [42], [43]. Studie zaměřená na městská povodí v indickém Nagpuru ukazuje, že růst nepropustných ploch má dopad na hodnoty SCS-CN a na velikost odtoku [42]. Obdobně výzkum periurbánního povodí ve Spojeném království prokázal, že urbanizace, změna nepropustného pokryvu a odvodňovací infrastruktura mohou výrazně zvyšovat kulminační průtok a zkracovat dobu odezvy povodí [43]. Tyto poznatky podporují začlenění urbanizačních a povrchových charakteristik do váženého modelu FLAPRIS.

FLAPRIS zároveň navazuje na provozní přístupy používané v České republice pro odhad rizika přívalových povodní. Významným referenčním systémem je **Indikátor přívalových povodní** Českého hydrometeorologického ústavu, který je zaměřen na detekci potenciálního rizika přívalových povodní a využívá informace o aktuálním nasycení území, potenciálně rizikových srážkách a srážkoodtokové odezvě [33]. Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky jsou dlouhodobě diskutovány také v odborných pracích ČHMÚ, které zdůrazňují obtížnost předpovědi těchto jevů vzhledem k jejich lokálnímu charakteru, rychlému vývoji a krátké době odezvy povodí [34].

Z hlediska odborného vymezení lze FLAPRIS chápat jako nástroj propojující tři základní roviny hodnocení. První rovinou je **statická predispozice území**, vyjádřená prostřednictvím kritických bodů, drah soustředěného odtoku a fyzicko-geografických charakteristik přispívajících ploch [30], [31], [32]. Druhou rovinou jsou **dynamické hydrometeorologické vstupy**, zejména aktuální a předpovědní srážky, nasycenost území a další faktory ovlivňující vznik rychlé odtokové odezvy [33], [34]. Třetí rovinou je **interpretační a rozhodovací vrstva**, která převádí výstupy modelování do mapové a

uživatelsky srozumitelné podoby pro potřeby krizových a povodňových orgánů [31], [32], [35], [37].

V tomto kontextu představuje ukazatel kritických podmínek důležitý mezičlánek mezi odbornou hydrologickou analýzou a praktickou podporou rozhodování. Umožňuje vyjádřit míru predispozice území ke vzniku přívalové povodně a současně vytváří podklad pro vážené zobrazení rizikových linií nebo ploch v prostředí FLAPRIS. Takové zobrazení může napomoci prioritizaci ohrožených lokalit, plánování preventivních opatření, přípravě krizových scénářů a efektivnějšímu využití informací o lokálních povodňových rizicích [30], [31], [32], [33].

Závěrem lze konstatovat, že využití ukazatele kritických podmínek a váženého zobrazení rizika v aplikaci FLAPRIS představuje logické rozšíření stávajících metodických a provozních přístupů. Metoda kritických bodů poskytuje ověřený rámec pro identifikaci lokalit ohrožených soustředěným povrchovým odtokem [30], [31], [32] zatímco vážené zobrazení umožňuje podrobnější prostorovou interpretaci významnosti jednotlivých drah odtoku, sběrných ploch a urbanizovaných lokalit [38], [42], [43]. FLAPRIS tak může být chápán jako nástroj, který propojuje metodiku kritických bodů, fyzicko-geografické faktory, urbanizační vlivy a dynamické hydrometeorologické informace do formy využitelné pro prostorově zpřesněné hodnocení rizika přívalových povodní a podporu krizového řízení.

2. Metodika hodnocení historických povodňových událostí

Tato kapitola představuje metodický rámec pro stanovení stupně závažnosti historických přívalových povodní. Metodika je založena na vyhodnocení souboru meteorologických, hydrologických a geografických podmínek, které významně ovlivňují vznik a intenzitu přívalových povodní. Současně umožňuje experimentálně určit odchylku mezi skutečnou mírou nebezpečí a výsledky statického modelu f , jenž je založen na výpočtu ukazatele kritických podmínek.

Těmito podmínkami jsou:

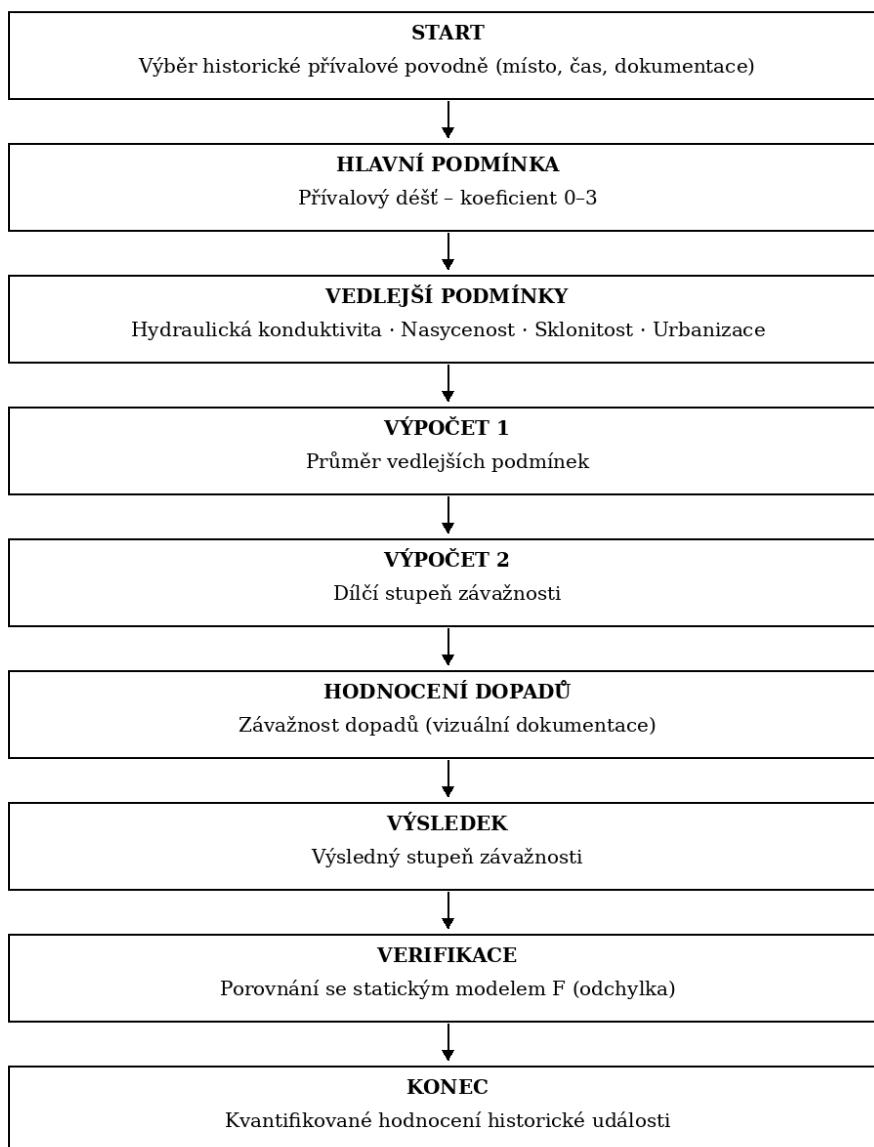
1. Přívalový déšť (hlavní podmínka).
2. Nasycenost území (vedlejší podmínka).
3. Sklonitost území (vedlejší podmínka).
4. Míra urbanizace a přítomnost kritických bodů (vedlejší podmínka) [1].

Stupeň závažnosti přívalových povodní vyhodnocujeme z těchto webových zdrojů:

- Prohlížeč pro analýzu historických povodňových událostí (data statického modelu) [45].
- Povodňový informační systém (kritické body, povodí kritických bodů a sklonitost území) [46].

Výsledný stupeň závažnosti je určen na základě kombinace výše uvedených faktorů a doplněn o analýzu dostupných prostorových dat, historických údajů a dokumentace dopadů konkrétních povodní na základě schematického zobrazení metodiky (Obrázek 1).

Schéma postupu hodnocení historických přívalových povodní



Obrázek 1: Schéma postupu stanovení stupně závažnosti historických přívalových povodní. Vlastní zpracování.

Postup při stanovení stupně závažnosti přívalové povodně je uveden v těchto krocích:

1. Výběr historické události s takovým popisem typu události, který přímo souvisí s přívalovou povodní (zatopení sklepů, voda v území apod.) na základě databáze historických událostí spojenými s letními přívalovými povodněmi a pomocí multimediální dokumentace z internetu.
2. Určení přesné lokace a času výskytu daného místa buď podle zadané obce, ulice a čísla popisného nebo dalších údajů na základě dat o výjezdů HZS.
3. Vyhodnocení koeficientů pro hlavní a vedlejší podmínky.
4. Výpočet průměru vedlejších podmínek.
5. Stanovení výsledné hodnoty koeficientu stupně závažnosti přívalové povodně na základě porovnání koeficientu průměru vedlejší podmínky s koeficientem hlavní

podmínky a závažnosti dopadů přívalové povodně podle fotografie dokumentující dopady přívalové povodně.

6. Stanovení velikosti odchylky mezi stupněm závažnosti a ukazatelem kritických podmínek (statický model f) [1].

2.1. Podmínky vzniku přívalových povodní

Vznik přívalových povodní je determinován kombinací meteorologických, půdních a geografických faktorů. Pro správné vyhodnocení jednotlivých historických událostí je nutné rozlišit hlavní podmínku, která přívalovou povodeň přímo spouští, a vedlejší podmínky, které ovlivňují její rozsah a intenzitu.

2.1.1. Hlavní podmínka vzniku přívalových povodní

Přívalový déšť je zásadním spouštěcím faktorem přívalových povodní. Jedná se o krátkodobý a prostorově omezený srážkový jev s velmi vysokou intenzitou, typicky vznikající v pozdním vývojovém stádiu silných konvektivních bouří.

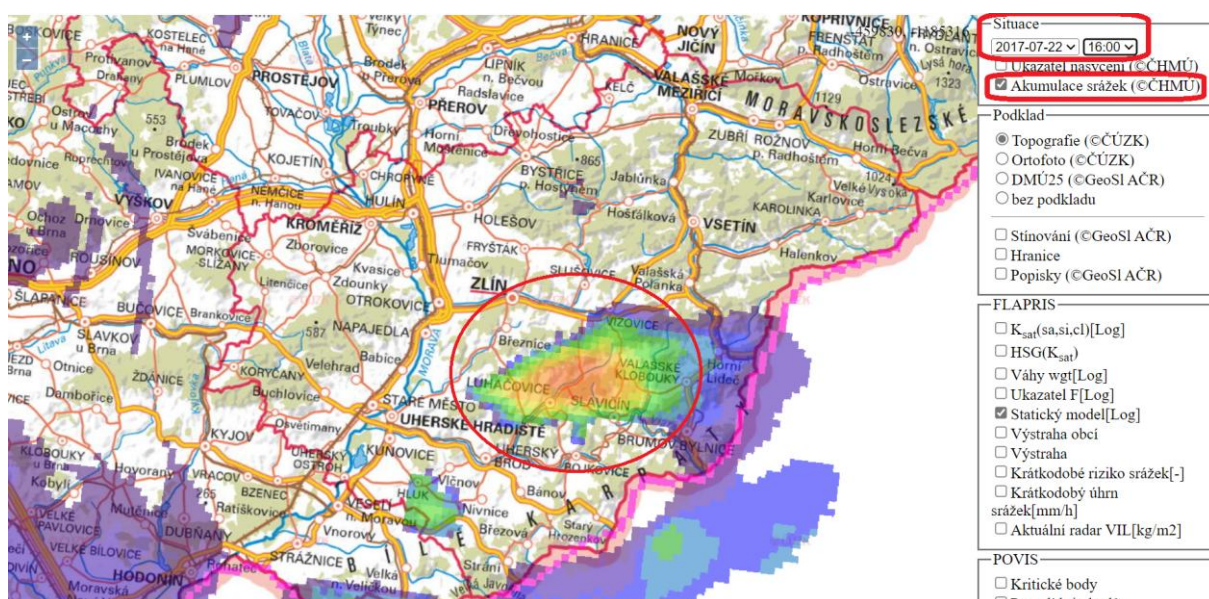
Vznik přívalového deště je podmíněn kombinací následujících faktorů:

1. **Spouštěcí mechanismy konvekce** – zahrnují zejména přítomnost frontálního rozhraní nebo lokálních spouštěčů iniciace konvekce uvnitř vzduchových hmot (orografická konvekce), charakterizovaných například zvýšenou relativní vlhkostí ve spodních a vyšších hladinách atmosféry, parametrem frontogeneze v hladině 850 hPa, relativní vorticitou a modifikovanými parametry kombinujícími podmínky vlhkosti a větru, například průměrovaným parametrem **MFDIV** v hladinách 0–1 km.
2. **Teplotní podpůrné podmínky** – jsou klíčové zejména pro vznik letní konvekce s vyšším potenciálem intenzivních srážek, krupobití a silných nárazů větru. Mezi významné parametry patří **MLCAPE** a **MUCAPE**, které jsou určeny k odhadu potenciální konvektivní dostupné energie vzestupných proudů pro denní i noční konvekci; teplota v hladině 850 hPa pro sledování podmínek vzniku konvekce zejména u zvlněných studených front; a vlhká potenciální teplota v hladině 850 hPa pro odhad výskytu tzv. linií konvergence (squall-line) před zvlněnou studenou frontou, které obvykle produkují intenzivnější srážky než jiné typy atmosférických front.
3. **Větrné podpůrné podmínky** – jsou zásadní pro dynamiku atmosféry a podporu organizovaných konvektivních bouří, zejména linií konvergence (**SQL, squall-line**), které mohou generovat přívalové srážky vysoké intenzity. Mezi významné faktory patří:
 - a. střih větru (**DLS**) v hladinách 0–6 km s hodnotami ≥ 15 m/s,
 - b. rychlost větru v hladině 850 hPa podporující návětrné efekty pro vznik intenzivních srážek,

c. rychlost větru v hladině 300 hPa (**jet stream**), která v kombinaci s přítomností front a vhodných teplotních podmínek může indikovat vznik extrémních jevů – přívalových dešťů, krup nad 4 cm, silných nárazů větru a tornád.

4. Důležitými parametry pro odhad rychlosti pohybu konvektivních bouří jsou například **Corfidiho vektor** nebo podmínky směrového stříhu větru. Platí, že čím pomaleji se konvektivní bouře pohybuje při splnění ostatních podmínek, tím vyšší je potenciál vzniku přívalových srážek a následně i přívalových povodní [1].

Tyto faktory určují intenzitu a trvání přívalového deště a výrazně ovlivňují dynamiku následné povodně.



Obrázek 2: Ukázka stanovení hlavní příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Přívalový dešť [45]

Koeficient historického přívalového deště je stanoven na základě kombinovaných radarových a staničních HODINOVÝCH dat (produkt SUM MERGE 1 h.) podle této klasifikační tabulky:

Tabulka 1: Klasifikační tabulka hlavní podmínky vzniku přívalové povodně – Přívalový dešť [1].

Koeficienty (barva)					Hodinové srážkové úhrny
0					0-14 mm/hod. - slabé srážky
1					15-19 mm/hod. - mírné srážky
2					20-29 mm/hod. - silné srážky
3	3	3	3	3	nad 30 mm/hod. - velmi silné srážky

Tabulka 1 dokumentuje barevné vyjádření ve vztahu k měřenému historickému hodinovému úhrnu srážek podle produktu SUM MERGE 1 h. Přívalová povodeň může vzniknout i při nižším srážkovém úhrnu kolem 20–29 mm/h, a to v důsledku přítomnosti dalších příznivých podmínek, například vyšší nasycenosti a sklonitosti půd nebo vyššího podílu urbanizovaných ploch v zasaženém území.

Historicky a statisticky se přívalové deště vyskytují nejčastěji na západě, zejména v západních a centrálních oblastech Zlínského kraje, při přechodu čela tzv. squall line před zvlněnou studenou frontou. Lokální zesílení přívalových dešťů lze očekávat na návětrí, například v oblasti Hostýnsko-vsetínské vrchoviny (v okolí obcí Hošťálková a Huslenky) a v Moravskoslezských Beskydech, zejména v okolí Rožnova pod Radhoštěm a Valašského Meziříčí.

2.1.2. Vedlejší podmínky vzniku přívalových povodní

Vedlejší podmínky modifikují důsledky přívalového deště a určují, do jaké míry se srážky projeví v podobě rychlého odtoku a lokální povodně.

Hydraulická konduktivita

Hydraulická konduktivita půdy ovlivňuje rychlost vsakování srážkové vody. Půdy s nízkou konduktivitou (např. jílovité) velmi rychle dosahují nasycení, což vede k převaze povrchového odtoku. Tento parametr je využíván například při klasifikaci půd podle USDA, která rozlišuje tři základní typy – písek, prach a jíl – včetně jejich kombinací, a to ve vztahu k rychlosti odtoku srážkové vody z daného území [1].

Koeficient hydraulické konduktivity stanovíme manuálně z Prohlížeče pro analýzu historických povodňových událostí podle klasifikační tabulky, který je dostupný pouze po přihlášení přes VPN UTB [45].



Obrázek 3: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Hydraulická konduktivita [45]

Tabulka 2: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Hydraulická konduktivita [1]

Koeficienty (barva)	Míra rychlosti odtoku srážek
0	Velmi pomalý
1	Pomalý
2	Rychlý
3	Velmi rychlý

Koeficient hydraulické konduktivity je stanoven z Tabulky 2 jako konstantní parametr a představuje významnou vedlejší podmínku pro vznik přívalových povodní. Rudě červená barva označuje vysoký podíl jílovitých a prachových půd, které podporují rychlý odtok srážkové vody z krajiny. Nejvyšší hodnoty odtoku srážek se ve Zlínském kraji vyskytují zejména v následujících lokalitách:

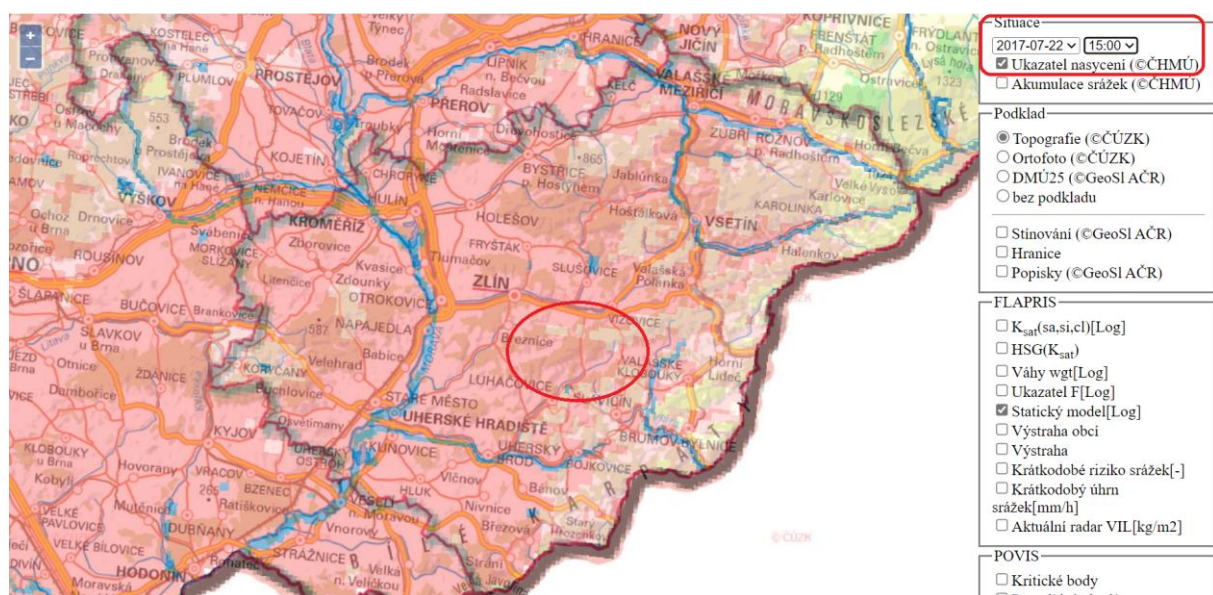
- Jihozápadních a západních oblastí Zlínského kraje v obcích Polešovice, Stříbrnice, Ořechov-Vážany, Stupava, mezi Babicemi a Starým Městem.
- Centrální části obcí Provodov, Doubravy, Hřivínův Újezd, Ludkovice, Horní Lhota, Sehradice a Slopné,
- Jižních oblastech v okolí obcí Slavkov, Bánov, Nivnice a Komňa.
- Východních oblastech v okolí obcí Horní Lideč, Lidečko a Huslenky.
- Severních oblastech v okolí obcí Jablůnka, Loučka, Police, Branky a Valašské Meziříčí.
- Severovýchodních oblastech v okolí obce Vidče, Dolní Bečva a města Rožnov pod Radhoštěm (místní část Hážovice).

V případě výskytu přívalových dešťů, v kombinaci s vysokými hodnotami hydraulické konduktivity a zvýšeným sklonem půd, mohou vzniknout velmi příznivé podmínky pro formování přívalových povodní.

Nasycenost půd

Nasycenost půdy je dalším klíčovým faktorem ovlivňujícím vznik přívalových povodní. Stupeň předchozí nasycenosti zásadním způsobem ovlivňuje odtokové poměry. Silně nasycené území může reagovat povodňovou odezvou i při relativně nižších intenzitách srážek.[1].

Koeficient nasycenosti půdy stanovíme manuálně z Prohlížeče pro analýzu historických povodňových událostí podle klasifikační tabulky, který je dostupný pouze po přihlášení přes VPN UTB [45].



Obrázek 4: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Nasycenost půd [45]

Aktuální nasycenost území je vyjádřena prostřednictvím tzv. ukazatele nasycení, který udává relativní odchylku od stavu nasycení odpovídající retenční vodní kapacitě půdy. Ukazatel je odvozován na základě jednoduchého modelu bilance srážek, odtoku a aktuální evapotranspirace. Základem výpočtu je metoda CN, pomocí níž je odhadována velikost přímého odtoku na základě spadlých srážek [1].

Tabulka 3: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Nasycenost půdy [1].

Koeficienty (barva)	Míra nasycení
0	Velmi slabé až slabé nasycení
1	Nasycení na retenční vodní kapacitu (RVK)
2	Silné nasycení
3	Extrémně silné nasycení

Na rozdíl od hydraulické konduktivity je nasycenost proměnným parametrem, který poskytuje informaci o aktuálním stavu nasycení půd. Z klasifikace tohoto parametru (Tabulka 3) vyplývá, že růžová a tmavě zelená barva představují velmi příznivé vedlejší podmínky pro vznik přívalové povodně.

- Velmi slabé až slabé nasycení půd:** K přímému odtoku srážek dochází na velmi vyschlých a vyprahlých površích v důsledku přetrvávajícího sucha a dlouhodobého nedostatku srážek. Postupné nasycení těchto půd při přítomnosti srážek nastává řádově během několika minut, než dojde k narušení svrchní vrstvy vyprahlé a ztvrdlé krusty.
- Extrémně silné nasycení půd:** Tento stav nasycení vzniká v důsledku předchozích významných a opakujících se srážkových epizod během několika dní. Vyskytuje se

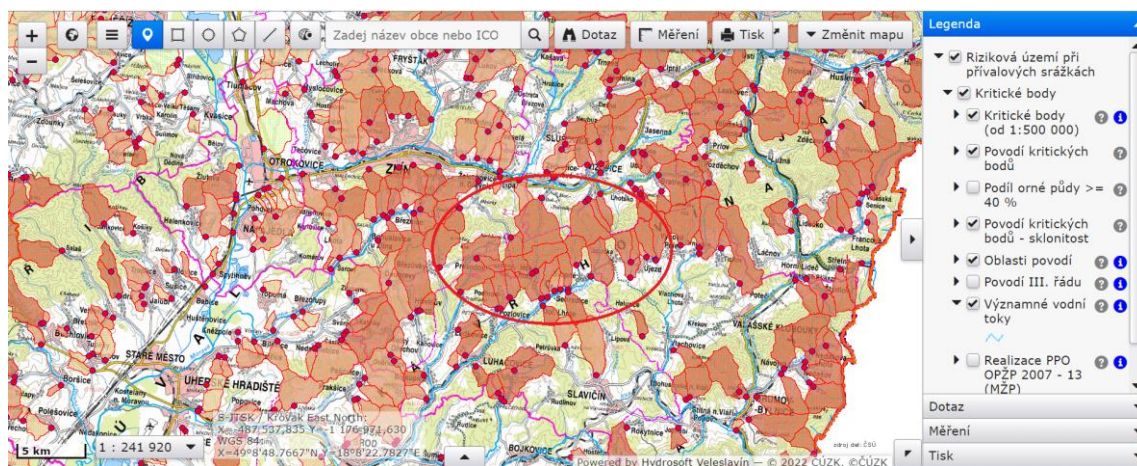
po vydatných nebo intenzivních deštích, zejména v horských oblastech po silných bouřkách.

Míra nasycenosti půd závisí na množství srážek v předchozích dnech. Lze však konstatovat, že velmi slabá až slabá nasycenost se často vyskytuje v rovinatých oblastech, včetně mírně zvlněného terénu západních, centrálních a jižních částí Zlínského kraje. Nasycenost půd postupně vzrůstá směrem na sever, východ a severovýchod kraje, zejména v oblastech Hostýnsko-vsetínské hornatiny, Bílých Karpat, Javorníků a nejvíce v Moravskoslezských Beskydech, kde se srážky opakují častěji. Vyšší nasycenost v severních a severovýchodních oblastech, v kombinaci s intenzivními srážkami, vysokou hydraulickou konduktivitou a strmějšími svahy, představuje významný předpoklad pro vznik přívalových povodní, například v oblastech Rožnovska, Valašského Meziříčí a Vsetínska.

Sklonitost svahů

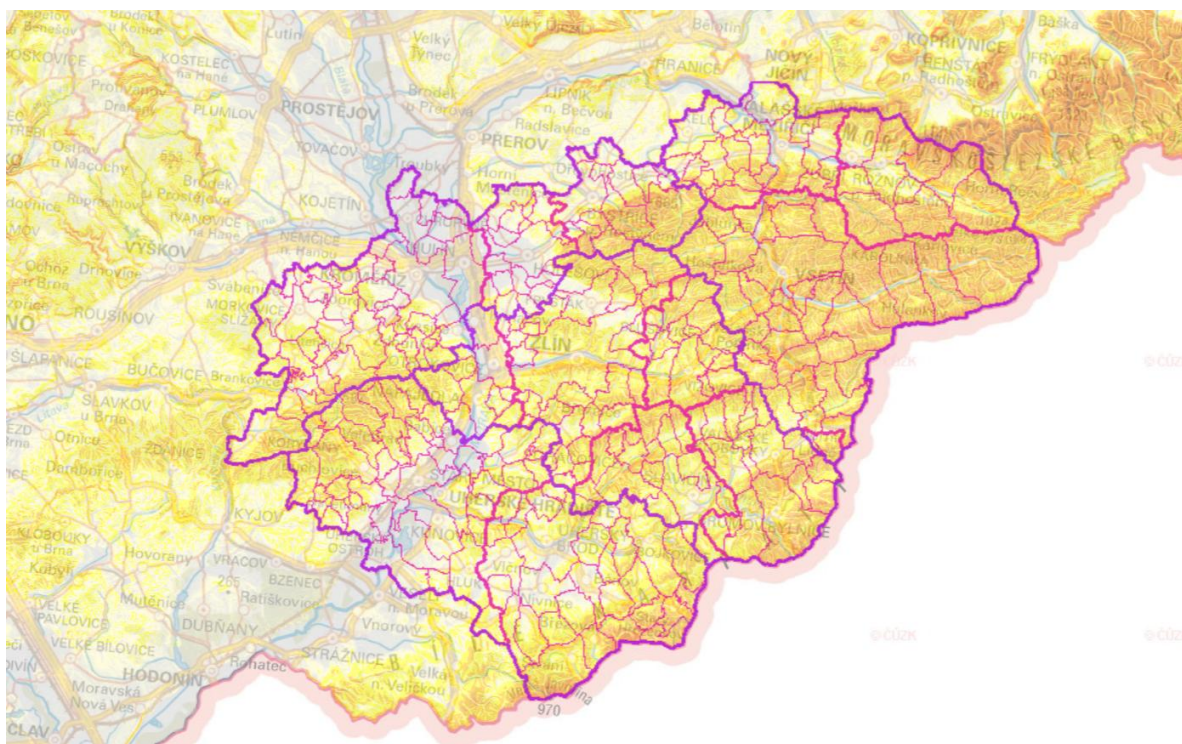
Sklonitost svahů (svažitost) v kombinaci s nízkou nasyceností půd a omezenou infiltrací významně zvyšuje rychlost odtoku srážkové vody z území. Tento parametr představuje úhel mezi terénní čarou reliéfu a vodorovnou rovinou, který charakterizuje změnu výšky terénu ve směru jeho největšího spádu. Pro jeho výpočet byla použita data Digitálního modelu reliéfu 4G pro území Zlínského kraje [1].

Nejprve, koeficient sklonitosti svahů stanovíme z mapového prohlížeče Povodňového informačního systému POVIS [46]:



Obrázek 5: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Sklonitost svahů z IS POVIS [46]

Za druhé, stanovíme sklonitost svahu z Prohlížeče historických událostí [45]:



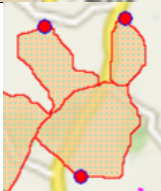
Obrázek 6: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Sklonitost svahů [45]

Následně, výstupy Sklonitosti zprůměrujeme z obou webových zdrojů [45], [46] a stanovíme výsledný koeficient sklonitosti svahů.

Parametr sklonitosti svahů je konstantní veličinou určující míru svažitosti terénu. Klasifikace podle Tabulky 4 vychází z vizualizace sklonitostí polygonů přispívající plochy kritických bodů. Nejprůzračnějšími podmínkami jsou polygony se svažitostí nad 22°, typicky v oblastech vrchovin a hornatin na severu a severovýchodě Zlínského kraje. V kombinaci s vysokým podílem jílovitých a prachovitých půd a jejich vyšší nasyceností lze při intenzivních srážkách, zejména během silnějších bouřek, s vysokou pravděpodobností očekávat vznik extrémního rizika přívalové povodně.

Koeficient sklonitosti určujeme na základě přítomnosti kritických bodů a sklonitosti okolního terénu ve vztahu k lokalitě spojené s výskytem přívalových povodní:

Tabulka 4: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Sklonitost svahů [1].

Barevné schéma	Koeficient	Popis
	0	0°-3° - rovina
	1	4°-10° - mírný sklon
	2	11°-21° - značná sklonitost
	3	22° a více – příkrý sklon, srázy

Urbanizace a kritické body

Míra urbanizace a podíl kritických bodů určují zranitelnost území vzhledem k vyššímu zastoupení zpevněných (betonových) ploch, které mohou v městské zástavbě nebo jejím okolí významně zvyšovat rychlost odtoku srážkové vody a tím přispívat k vzniku přívalových povodní. V kombinaci s faktory, jako jsou svažitost terénu, nasycenost půd a jejich infiltrační schopnost, poskytuje tento parametr komplexní obraz potenciálního ohrožení daného území [1]. „Kritický bod představuje průsečík hranice zastavěného území obce s liniemi soustředěného odtoku s velikostí přispívající plochy větší nebo rovno 0,3 km²“ [16].

Výsledný koeficient určujeme průměrem míry urbanizované plochy a přítomností kritických bodů dle této klasifikační tabulky:

Tabulka 5: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Urbanizace a kritické body [1].

Koeficient	Míra urbanizace	Specifikace urbanizace a kritických bodů
0	bez urbanizované plochy	bez kritického bodu, vzdálenost nad 3 km
1	malá plocha, jednotlivá stavení, domy s kritickým bodem	kritický bod, <3 km
2	obec, kritické body	kritický bod, <2 km
3	větší obec, město, kritické body	kritický bod <1 km

Tento parametr je konstantní veličinou, který umožňuje stanovit podíl urbanizace území s ohledem na přítomnost kritických bodů a jejich přispívající plochy se svažitostí terénu. Nejvyšší stupeň urbanizace je definován ve větších obcích a městech s vysokým podílem zastavěných ploch a současnou přítomností kritického bodu ve vzdálenosti menší než jeden kilometr. Vyšší podíl zastavěných ploch podporuje soustředěný povrchový odtok srážek, což významně zvyšuje riziko vzniku přívalové povodně. Území s vysokou mírou urbanizace a kritickými body se nachází zejména v oblastech velkých měst a obcí Zlínského kraje:

- Na jihozápadě, západě a severozápadě Zlínského kraje s výskytem měst Uherské Hradiště, Uherský Brod, Otrokovice, Kroměříž, Holešov a Bystřice p. Hostýnem.
- V centrálních oblastech Zlínského kraje s hlavním krajským městem Zlín a Vizovicemi.
- V severních oblastech Zlínského kraje s městy Vsetín, Valašské Meziříčí a Rožnov pod Radhoštěm.

Kombinace faktorů – nasycenost půd, svažitost terénu, podíl jílovitých a prachovitých půd, hydraulická konduktivita, míra urbanizace a přítomnost kritických bodů – poskytuje komplexní obraz potenciálního rizika přívalových povodní v jednotlivých částech území.

2.2. Stupeň závažnosti historických přívalových povodní

Cílem této části metodiky je stanovit kvantifikovaný stupeň závažnosti každé historické přívalové povodně. Stanovení je založeno na kombinaci hlavní a vedlejší podmínky a na dokumentovaných dopadech události.

Hodnocení vychází z následujících datových zdrojů:

- Prohlížeč pro analýzu historických povodňových událostí (statický model)[45].
- Povodňový informační systém (kritické body, povodí, sklonitost)[46].

Postup stanovení stupně závažnosti:

Postup se skládá z několika kroků:

1. **Výběr historické události**, která je v dokumentaci jednoznačně spojena s přívalovou povodní (např. zatopené objekty, zaplavené komunikace).
2. **Určení přesného místa a času**, vycházející z údajů HZS, obcí nebo doplňujících zdrojů.
3. **Vyhodnocení hlavní a vedlejších podmínek** na základě klasifikačních tabulek.
4. **Výpočet průměrné hodnoty vedlejších podmínek**.
5. **Stanovení finálního stupně závažnosti** porovnáním hlavní a vedlejší podmínky a analýzy dokumentovaných dopadů (fotografie, videa, zprávy).
6. **Výpočet odchylky od statického modelu** – tj. rozdíl mezi stanoveným stupněm závažnosti a ukazatelem kritických podmínek f .

Dopady počasí - povodně													
P.č.	Rok	Město	Adresa	1	Čas	GIS1	GIS2	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace	Průměr vedlejší	Stupeň závažnosti
47.	2019	Kroměříž	ulice Kotojedska		16:00	-539705	-1156915	1	3	0	3	2,0	2
48.	2019	Kroměříž	místní nemocnice		16:00	-541005	-1155965	1	3	0	3	2,0	2
49.	2019	Kroměříž	ulice Třebitzského		16:00	-540455	-1154615	1	3	0	3	2,0	2
50.	2019	Pozlovice	Pozlovice		13:00			2	3	3	2	2,7	=ZAOKROUHLIT(PRŮMÉR(R57; V57);0)

Obrázek 7: Ukázka výpočtu stupně závažnosti přívalové povodně průměrem hlavních a vedlejších podmínek vzniku přívalové povodně zaokrouhleně směrem nahoru v MS Excel

Obrázek 7 ilustruje příklad zadávání údajů o historických přívalových povodních ve Zlínském kraji. Kromě základních informací, jako jsou rok, město a místo výskytu včetně GIS souřadnic, se zadávají také hodnoty koeficientů hlavních a vedlejších podmínek podporujících vznik historické přívalové povodně. Výpočet výsledného stupně závažnosti se provádí postupně v následujících krocích:

- **Výpočet vedlejšího průměru** – průměrování koeficientů vedlejších podmínek. Dílčí stupeň závažnosti se následně stanoví jako průměr hodnot hlavní podmínky (přívalového deště) a vedlejšího průměru, přičemž výsledný průměr se zaokrouhluje směrem dolů.
- **Výsledný stupeň závažnosti** je určen na základě průměru dílčího stupně závažnosti, vypočteného z hlavních a vedlejších podmínek vzniku přívalové povodně, a stupně závažnosti dopadů přívalové povodně podle Obrázku 8:

Závažnost dopadů přívalové povodně	Podmínky dopadů závažnosti
1 – Nízká závažnost dopadů přívalové povodně	- Výška hladiny vody do 10 cm, - Splavení kamení, nečistot - Nízký rozsah zasaženého území (několik desítek čtverečních metrů)
2 – Vysoká závažnost dopadů přívalové povodně	- Výška hladiny vody od 10 do 30 cm, - Povodňová voda protékající umělými koryty – silnice, cesty - Nízký až vysoký rozsah zasaženého území (několik desítek až stovek čtverečních metrů)
3 – Extrémní závažnost dopadů přívalové povodně	- Výška hladiny vody nad 30 cm a výše - Povodňová voda protékající umělými koryty (silnice, cesty) a přírodními koryty (vylití malého toku z břehů koryta) - Vysoký rozsah zasaženého území (několik desítek až stovek čtverečních metrů)

Obrázek 8: Klasifikační tabulka Stupně závažnosti dopadů přívalové povodně [1]

Stupeň závažnosti dopadů přívalové povodně je stanoven metodou „pohledem od oka“ na základě multimediální dokumentace získané z veřejně dostupných webových zdrojů. Současně se na základě těchto multimediálních materiálů provádí výběr lokalit spojených s historickými přívalovými povodněmi.

2.2.1. Ukazatel kritických podmínek

Ukazatel kritických podmínek byl navržen v rámci metodiky pro stanovení kritických bodů VÚV TGM. Výpočet tohoto ukazatele je realizován na základě tohoto vzorce:

$$F = P_{p,r} \cdot H_{m,r} \cdot (a_1 \cdot I_p + a_2 \cdot ORP + a_3 \cdot CNII)$$

kde:

- F – ukazatel kritických podmínek [-],
- a – vektor vah [1,48876; 3,09204; 0,467171],
- $P_{p,r}$ – relativní hodnota velikosti přispívající plochy (vzhledem k max. 10 km²) [-],
- I_p – hodnota průměrného sklonu přispívající plochy [%],
- ORP – podíl plochy orné půdy [%],
- $CNII$ – hodnoty CNII pro území ČR,
- $H_{m,r}$ – relativní hodnota úhrnu jednodenních srážek s dobou opakování 100 let pro území ČR (vzhledem k max. 285,7 mm) [-][16].

Ukazatel kritických podmínek (F) je stanoven na základě linií soustředěného odtoku a dalších geografických charakteristik pro extrémní srážkové zatížení (100letá srážka o

maximálním úhrnu 285,7 mm) [1], [16]. Odtud se odvozuje statický stupeň rizika pro jednotlivé obce či územní celky.

Zkrácené varování v aplikaci	Úroveň nebezpečí	Význam	Ukazatel KRITICKÝCH podmínek F
NEHROZÍ ŽÁDNÉ NEBEZPEČÍ přívalových povodní		Běžná situace, nehrozí žádné nebezpečí, jelikož nejsou předpovídaný žádné přívalové srážky. Není nutné realizovat žádná preventivní opatření.	0
NÍZKÉ NEBEZPEČÍ přívalových povodní		Představuje potenciální nebezpečí NÍZKÉHO stupně výskytu lokálních přívalových povodní. V rámci krizového řízení se doporučuje věnovat pozornost hydrometeorologickým podmínkám s využitím SIVS ČHMÚ, numerických modelů apod. V rámci preventivních protipovodňových opatření provést např. povodňové prohlídky vodních toků, kontrola povodňových plánů, sil a prostředků pro realizaci záchranných a likvidačních prací.	0 až 6
VYSOKÉ NEBEZPEČÍ přívalových povodní		Představuje potenciální nebezpečí VYSOKÉHO stupně výskytu přívalových povodní. V rámci činnosti krizových orgánů je NEZBYTNÁ BDĚLOST při sledování hydrometeorologické situace s využitím SIVS ČHMÚ, numerických modelů apod. V rámci preventivních protipovodňových opatření provést např. povodňové prohlídky vodních toků, kontrola povodňových plánů, sil a prostředků pro realizaci záchranných a likvidačních prací. Lze očekávat materiální škody na větším území nebo velké následky při lokálním postižení a omezení prováděných aktivit.	7 až 20
EXTRÉMNI NEBEZPEČÍ přívalových povodní		Představuje potenciální nebezpečí EXTRÉMNĚ VYSOKÉHO stupně výskytu přívalových povodní. Je nezbytná NEJVYŠŠÍ OSTRÁŽITOST a potřeba častého sledování informací o hydrometeorologické situaci s využitím SIVS ČHMÚ, numerických modelů apod. V rámci preventivních protipovodňových opatření provést např. povodňové prohlídky vodních toků, kontrola povodňových plánů, sil a prostředků pro realizaci záchranných a likvidačních prací. Lze očekávat značné materiální škody na velkém území nebo katastrofické následky při lokálním postižení , ohrožení životů a výrazné omezení prováděných aktivit.	nad 20

Obrázek 9: Charakteristika ukazatele kritických podmínek (Statické riziko přívalových povodní) [6]

Na základě stupně závažnosti historické přívalové povodně stanovujeme tzv. „odchylka kritických podmínek“ jako rozdíl mezi stupněm závažnosti přívalových povodní a ukazatelem kritických podmínek [1] a to pro experimentální účely.

Tato metodika umožňuje jednotně a reprodukovatelně hodnotit historické přívalové povodně a poskytuje nezbytné podklady pro verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS. Následující kapitola detailně popisuje metodiku vyhodnocování úspěšnosti samotných predikčních a diagnostických výstupů aplikace.

3. Metodika verifikace výstupů aplikace FLAPRIS

Cílem této kapitoly je podrobně popsat metodiku použitou při verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS ve Zlínském kraji v roce 2024. Metodika se soustředí na posouzení přesnosti jednotlivých produktů aplikace, jejich časové i prostorové validity a schopnosti včas identifikovat riziko přívalových povodní.

Verifikace zahrnuje porovnání skutečného průběhu historických událostí s odpovídajícími výstupy systému FLAPRIS ve třech kategoriích:

- **Aktuální situace** – okamžité informace získané z měření
- **Předpověď** – krátkodobý nowcasting (předpověď srážek)
- **Statický model** – odhad inherentního povodňového nebezpečí vycházející z geografických a klimatických podmínek

Cílem je vyhodnotit, do jaké míry jednotlivé komponenty systému dokázaly zachytit vznik a vývoj přívalových povodní a jaké jsou jejich silné a slabé stránky. Verifikace se zaměřuje na přesnost prostorové lokalizace, intenzity indikovaného nebezpečí i časové shody se skutečným průběhem událostí.

V následujících podkapitolách je metodika popsána krok za krokem, včetně stručného představení aplikace FLAPRIS, jejího datového zázemí a postupů využitých při hodnocení.

3.1. Aplikace FLAPRIS

V současnosti je problematika přívalových povodní v praxi řešena prostřednictvím Indikátoru přívalových povodní FFG-CZ, vyvíjeného Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), a metodikou kritických bodů zpracovanou Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka (VÚV TGM). Hlavním výstupem těchto metod je odhad aktuálního rizika výskytu přívalových povodní, založený na extrapolaci dat z meteorologických radarů s předstihem přibližně jedné hodiny. Výsledky jsou prezentovány ve formě map s prostorovým rozlišením na úroveň obcí s rozšířenou působností v rámci České republiky. Metodika kritických bodů dále poskytuje informace o tzv. ukazateli kritických podmínek, který specifikuje konkrétní místa s nejvyšším potenciálem akumulace srážkové vody, tedy lokality, kam může natékat největší množství spadlých srážek. [1].

Aplikace FLAPRIS (Flash Flood Prediction System) je součástí nové unikátní technologie – funkčního vzorku VB01000008-V2: FLAPRIS – Systém pro podporu zpřesněné a včasné předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní a usnadnění činností krizových a povodňových orgánů kraje. Tato aplikace představuje jednu z hlavních softwarových komponent daného funkčního vzorku.

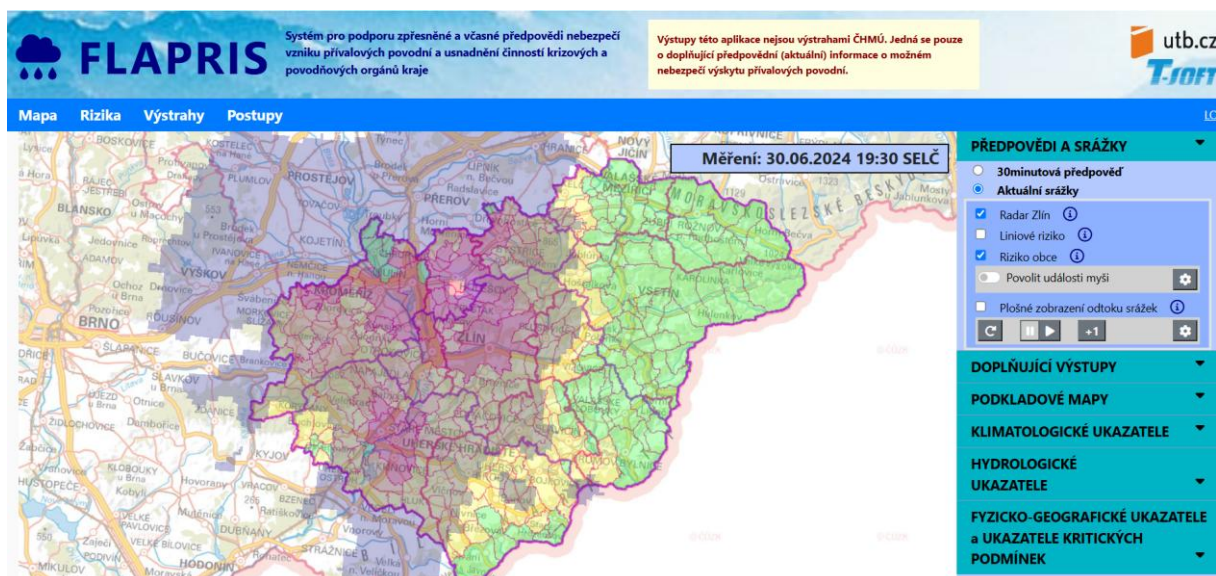
Hlavním cílem vývoje nové technologie bylo vytvořit metodu umožňující zpřesněnou předpověď výskytu přívalových povodní oproti dosavadním přístupům. Systém poskytuje aktuální odhad nebezpečí vzniku přívalových povodní na úrovni obce (2. stupeň), přičemž umožňuje další zpřesnění prostřednictvím výpočtu linií soustředěného odtoku přívalových srážek. Tyto linie jsou generovány s rozlišením 50 × 50 metrů pro

účely operativního využití při aktuálních možnostech datového připojení v terénu a s rozlišením 5 × 5 metrů pro zobrazení statického liniového rizika přívalových povodní.

Současně s výpočtem linií soustředěného odtoku je v systému vypočítáván a vizualizován i plošný odtok přívalových srážek, který poskytuje doplňující informaci o rozložení odtoku na celém území a napomáhá tak zpřesnit výpočet linií soustředěného odtoku srážek v dané oblasti [1].

Aplikace FLAPRIS obsahuje tyto části:

1. Uživatelské rozhraní aplikace – vlastní návrh rozložení funkcionalit aplikace.
2. Výpočetní model nebezpečí přívalových povodní – nová unikátní metoda vážených liniových kritických bodů, která vyjadřuje míru rizika soustředěného odtoku přívalových srážek (nízké-vysoké-extrémně vysoké riziko) do vypočítaných linií kritických bodů. Současně poskytuje informaci o území tzv. plošného odtoku přívalových srážek do linií soustředěného odtoku. Pro výpočetní model byly použity metody AI strojového učení – statistické lineární regrese na základě hodnocení několika desítek historických přívalových povodní v letech 2007-2022 ve Zlínském kraji. Výpočetní model se skládá ze dvou unikátně navržených částí:
 - *Statický model* – výpočet ploch a linií soustředěného odtoku přívalových srážek je počítán na základě konstantní hodnoty nejvyšší srážkového úhrnu 285 mm naměřeného v Česku.
 - *Dynamický model* – výstupy jsou počítány každých 5 minut na základě vstupních radarových produktů VIL a VIL-Nowcast z meteorologického radaru MMR-116 Zlínského kraje.
3. Unikátní algoritmus 30minutové předpovědi přívalových srážek VIL-Nowcast vytvořený v předchozím výzkumném projektu společností Micro-Step-MIS, s.r.o.
4. Mapový výstup hydraulické konduktivity vypočtený na základě dostupných hydrologických skupin a CNII křivek s využitím neuronové sítě Rosseta.
5. Vlastní databáze historických přívalových povodní s detailními popisnými údaji o historické přívalové povodni (lokalizace, rozsah zasaženého území, kritické body způsobující vznik přívalové povodně v dané lokalitě a multimediální dokumentace). Stupeň závažnosti nebezpečí přívalových povodní je stanoven na základě vlastní navržené metodiky hodnocení přívalových povodní. Tato databáze je k dispozici pouze přihlášeným uživatelům pod panelem „Události“ a umožňuje generovat formálně centralizovaný dokument pro povodňovou zprávu orgánům krizového řízení a povodňového plánování obce.
6. Vlastní algoritmus optimalizace činností krizových a povodňových orgánů před a v průběhu přívalové povodně.
7. Vlastní systém vydávaných rizik a upozornění o aktuálním a budoucím nebezpečí přívalových povodní vydávaných prostřednictvím mailů nebo SMS. Tento systém je navázán na univerzální systém RÚIAN pro účely řešení povodní, ale i ostatních mimořádných událostí orgány krizového řízení a povodňových orgánů.
8. Vlastní administrační systém pro správu registrovaných uživatelů [1], [47], [48].



Obrázek 10: Uživatelské rozhraní aplikace FLAPRIS [48]

Uživatelské rozhraní aplikace FLAPRIS obsahuje tyto následující prvky:

- Hlavní okno aplikace – rozvrh ovládacích prvků
- Osoby – správa uživatelů, funkce admin/běžný uživatel (může přidávat libovolně spravovaná a zájmová území), včetně dalších nastavení aplikace.
- Mapové vrstvy (zobrazení z různých projekcí), vyhledávání obce.
- Spravovaná území – území vybraná při prvotním nastavení uživatelem, pro které jsou zasílány mailové zprávy o nebezpečí přívalových povodní.
- Zájmová území – území, pod které je zařazen uživatel.
- Události – databáze historických přívalových povodní pro území Zlínského kraje.
- Rizika – zobrazení aktuálních rizik (stupňů nebezpečí přívalových povodní).
- Výstrahy – popis výstražné informace.
- Protokol – výpis monitoringu aktivit přihlášených uživatelů v aplikaci.
- Postupy – algoritmus optimalizace krizových a povodňových orgánů před a během přívalové povodně [1], [47], [48].

Díky tomu systém poskytuje uživatelům nepřetržitě aktualizovaný a spolehlivý obraz o podmínkách, které mohou vést ke vzniku přívalové povodně.

3.2. Postup při hodnocení výstupů aplikace FLAPRIS

Verifikace výstupů aplikace FLAPRIS byla provedena na základě porovnání skutečného průběhu vybraných přívalových povodní s odpovídajícími diagnostickými, předpovědními a statickými produkty systému. Cílem hodnocení bylo zjistit, zda jednotlivé vrstvy aplikace dokázaly zachytit vznik, intenzitu a lokalizaci nebezpečí v dostatečném časovém předstihu a v jaké míře odpovídají realitě.

Obecný postup při verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS je uveden v tabulce (Obrázek 11):

Fáze	Kategorie	Fáze
1.	REÁLNÝ stav historické př. povodně (stupeň závažnosti)	Výběr lokalit s výskytem přívalové povodně dle fotografií (internet + soc. sítě)
2.		Určení hlavních a vedlejších podmínek nebezpečí přívalové povodně
3.		Výpočet stupně nebezpečí historické př. povodně (podmínky + foto)
4.	Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS	Stanovení přesného času výskytu přívalových srážek dle radaru
5.		Stanovení stupně nebezpečí dle aktuálního měření, předpovědi a stat. rizika
6.		Stanovení verifikačních kategorií (a, b, e, f) – REAL stav x VÝSTUPY
7.		Výpočet verifikačních kritérií a hodnocení úspěšnosti výstupů

Obrázek 11: Tabulkový obecný postup pro hodnocení výstupů aplikace FLAPRIS

Na obrázku 11 je uveden obecný postup při hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS, který je rozdělený na dvě hlavní kategorie:

- I. Stanovení stupně závažnosti historické události s výskytem přívalové povodně.
- II. Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS na základě výsledků první kategorie.

První kategorie je zaměřena na identifikaci a hodnocení historických událostí na základě neveřejně dostupných dat poskytnutých Krajským ředitelstvím Hasičského záchranného sboru Zlínského kraje (KŘ HZS ZK) a veřejně dostupných zdrojů z internetu, jako jsou textové popisy a multimediální dokumentace dopadů přívalových povodní. Zejména se jedná o fotodokumentaci sdílenou příslušníky Hasičského záchranného sboru ČR a veřejností, na jejímž základě je stanoven výsledný stupeň závažnosti dané historické události. Cílem této kategorie je určení stupně závažnosti podle Metodiky hodnocení stupně závažnosti přívalových povodní, která je podrobně popsána v kapitole 1 této zprávy.

Druhá kategorie je zaměřena na vyhodnocení úspěšnosti predikčních výstupů aplikace FLAPRIS prostřednictvím porovnání stanovených stupňů závažnosti historických povodňových událostí s měřenými a predikovanými hodnotami generovanými touto aplikací.

Každý typ výstupu byl posuzován samostatně, aby bylo možné identifikovat jeho silné i slabé stránky. Hodnocení probíhalo ve čtyřech krocích:

1. **Rekonstrukce skutečného průběhu události.** Na základě dostupné dokumentace (záznamy IZS, obecní kroniky, fotografie, videa, radarová data, srážkoměry) byl sestaven časový vývoj dané situace. Zvláštní pozornost byla věnována okamžiku vzniku nebezpečí a lokalizaci nejzávažnějších dopadů.
2. **Analýza výstupů aplikace FLAPRIS.** Pro stejný časový úsek byly vyhodnoceny dostupné produkty aplikace – radarové odhady, indikátory intenzity nebezpečí, modelové predikce a statické ukazatele rizikovosti. Hodnotila se zejména jejich časová a prostorová přesnost.
3. **Vzájemné porovnání skutečnosti a výstupů FLAPRIS.** Výstupy FLAPRIS byly porovnány s rekonstrukcí události s cílem zjistit:
 - zda aplikace dokázala identifikovat ohrožené lokality,

- zda odhadla intenzitu rizika,
- jaký byl časový předstih detekce,
- zda se výstupy shodovaly s dokumentovaným průběhem.

4. **Vyhodnocení úspěšnosti podle definovaných kritérií.** Pro každou událost byla úspěšnost stanovena zvlášť v kategoriích Aktuální situace, Předpověď a Statický model. Hodnocení zohlednilo:

- přesnost prostorové lokalizace,
- intenzitu indikovaného nebezpečí,
- časovou shodu se skutečným vývojem,
- míru podhodnocení a nadhodnocení daného výstupu.

V případě potřeby byly výsledky doplněny grafickými příklady z mapového rozhraní FLAPRIS, ukázkami radarových snímků nebo srážkových polí, aby bylo možné závěry jednoznačně ilustrovat.

Tento postup umožnil objektivně posoudit, do jaké míry je aplikace schopna identifikovat přívalové povodně v reálných podmínkách a jak vhodná je pro operativní rozhodování během extrémních srážkových situací.

Cílem je kvantifikovat míru shody a odchylek, tj. identifikovat úspěšné, chybné, podhodnocené a nadhodnocené predikce. Hlavní metodou pro stanovení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS je metoda tzv. Skill Scores, která umožňuje objektivní vyhodnocení přesnosti a spolehlivosti predikčních modelů.

Verifikačními kategoriemi použitými pro verifikaci jsou:

- a – hit (zásah) – úspěšné měření/předpověď
- b – error (chyba) – chybné měření/předpověď

		Předpověď	
		+	-
Měření	+	a Zásah	b Chyba
	-	c Falešný poplach	d Správné vyloučení

Obrázek 12: Čtyřpolní kontingenční tabulka (pivot table) s využitím tzv. Skill Scores [1].

Důvodem použití pouze prvních dvou kategorií je zaměření hodnocení historických přívalových povodní výhradně na úspěšnou detekci skutečného stavu, resp. na validní výstupy aplikace FLAPRIS, bez zahrnutí falešných poplachů a případů správného vyloučení.

Stanovení kategorií c) a d) bude předmětem řešení v rámci navazujících výzkumných projektů, jejichž cílem bude návrh a realizace plně automatizovaného systému pro komplexní verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS.

Verifikačními kritérii použitými pro verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS jsou:

Verifikační kritérium	Rovnice
ÚSPĚŠNÉ měření/předpověď	$\frac{a}{a+b} * 100$
CHYBNÉ měření/předpověď	$\frac{b}{a+b} * 100$
PODHODNOCENÍ měření/předpověď	$\frac{e}{a+e+f} * 100$
NADHODNOCENÍ měření/předpověď	$\frac{f}{a+e+f} * 100$

Obrázek 13: Verifikační kritéria použité v metodice

Místo kategorií c a d byla použita nově navržená kritéria (tabulka v Obrázku 13) sledující míru podhodnocování a nadhodnocování výstupů aplikace FLAPRIS:

- **e – Podhodnocení** měření/předpovědi (VYŠŠÍ hodnota REÁLNÉHO stavu oproti NIŽŠÍ hodnotě předpovědi/ měření)
- **f – Nadhodnocení** měření/předpovědi (NIŽŠÍ hodnota REÁLNÉHO stavu oproti VYŠŠÍ hodnotě předpovědi/ měření)

3.3.Hodnocené kategorie a výstupy aplikace FLAPRIS

Hodnocenými kategoriemi aplikace FLAPRIS jsou:

- I. **Aktuální srážky** – výstupy získané z měřených vstupních dat, které poskytují informaci o aktuálním nebezpečí přívalových povodní pro konkrétní území.
- II. **30minutová předpověď** – výstupy získané z předpovědních vstupních dat, které poskytují informaci o budoucím nebezpečí přívalových povodní pro konkrétní území.
- III. **Statické riziko přívalových povodní** – výstupy získané z měřených historických a statických vstupních dat, které poskytují informaci o statickém nebezpečí přívalových povodní pro konkrétní území.

Obrázek 14: Hlavní hodnocené kategorické výstupy aplikace FLAPRIS [47]

Zobrazení jednotlivých kategorií je uvedeno na Obrázku 14. Kategorie „**Aktuální srážky**“ je vypočítána na základě měřených dat z meteorologického radaru (produkt VIL) s aktualizací v intervalu pěti minut a dále na základě údajů o nasycenosti území, které jsou aktualizovány jednou za 24 hodin v rámci tzv. dynamického modelu s proměnnými hodnotami. Tento model využívá data z meteorologického radaru MMR-116 Zlínského kraje. Součástí této kategorie jsou rovněž data o charakteristikách reliéfu, včetně hydrologických a klimatologických ukazatelů, která jsou zahrnuta v tzv. statickém modelu s neměnnými hodnotami.

Kategorie „**30minutová předpověď**“ využívá předpovědní data z meteorologického radaru (produkt VIL Alert – Nowcast) společně s údaji o nasycenosti území v rámci dynamického modelu. Zároveň pracuje se stejnými vstupními daty statického modelu, jaká jsou použita u kategorie „Aktuální srážky“.

Kategorie „**Statické riziko přívalových povodní**“ vychází z historicky nejvyšší zaznamenané srážkové události (tzv. stoleté srážky) a využívá shodná vstupní data statického modelu jako předchozí dvě kategorie.

Kategorie „**Aktuální srážky**“ obsahují tyto výstupy:

Radar Zlín: Zobrazuje aktuálně naměřené srážky prostřednictvím produktu VIL (množství kapalně vody v oblacích) z meteorologického radaru Zlínského kraje v Holešově. Data jsou aktualizována každých 5 minut. Vstupními daty pro výstup „Radar Zlín“ je radarový měřený produkt VIL. Tento produkt udává celkové množství srážek, které by dopadly na zemský povrch, pokud by veškerá tekutá voda ve sloupci nad daným pixelem skutečně spadla. Produkt VIL se vypočítává na základě odrazivosti měřené radarem a udává se v jednotkách kg/m^3 pro jednotlivé pixely. Zobrazení probíhá pomocí kontinuální barevné stupnice.

- *Liniové riziko*: Zobrazuje aktuální nebezpečí přívalových povodní formou linií soustředěného odtoku přívalových srážek s prostorovým rozlišením 50 x 50 metrů na pixel². Data jsou aktualizována každých 5 minut.
- *Riziko obce*: Představuje aktuální nebezpečí přívalových povodní přepočtené pro celé území obce s predikcí na 30 minut dopředu. Aktualizace probíhá každých 5 minut.
- *Plošné zobrazení odtoku srážek*: Zobrazuje aktuální nebezpečí přívalových povodní v plošném formátu odtoku srážek. Data jsou aktualizována každých 5 minut. [47].

Kategorie „**30minutová předpověď**“ má tyto výstupy:

- *Radar Zlín*: Předpověď přívalových srážek na 30 minut dopředu, vypočtená na základě dat z meteorologického radaru Zlínského kraje v Holešově. Data jsou aktualizována každých 5 minut. Vstupními daty pro výstup „Radar Zlín“ je radarový předpovědní produkt VIL Alert (Nowcast). Produkt VIL Alert (Nowcast) představuje třídy varování v rozmezí od {0} do {3}, které označují stupeň pozorované nebo očekávané intenzity srážek.
 - {0} – žádné konvektivní srážky,
 - {1} – mírné konvektivní srážky,
 - {2} – silné konvektivní srážky,
 - {3} – extrémní konvektivní srážky.

Třídy varování VIL Alert jsou odvozeny z radarového produktu VIL na základě nowcastingové metodiky označené jako max(CoPe). Metoda max(CoPe) produkuje finální odhady třídy varování prostřednictvím maximalizace parciálních výsledků získaných z modelů COTREC³ a Persistence⁴. Tento postup vychází z kombinace nowcastingových modelů a metod strojového učení s využitím tzv. voting algoritmu⁵.

Vstupními hodnotami tohoto produktu jsou numerické výsledky získané bezprostředně po výpočtu algoritmu metody max(CoPe) [2], nikoli již výsledné třídy varování. Podrobnější informace o výše uvedených metodách a principu tohoto předpovědního produktu jsou uvedeny v nepublikované výzkumné zprávě k hlavním výsledkům projektu č. VI20192022134 – „*Systém zpřesněné předpovědi konvektivních srážek pro krajský územní celek*“ [2].

²**Zobrazení 50 x 50 metrů** na pixel je zobrazení liniového rizika na výstupech hodnocených v roce 2024. Od roku 2025 bude použito přesnější zobrazení 5 x 5 metrů na pixel.

³ **Metoda COTREC** (*Continuity Tracking Radar Echoes by Correlation*): Tato metoda se opírá o analýzu sekvencí radarových snímků, z nichž extrahuje informace o pohybu bouřkových ozvěn. Klíčovým principem je korelace obrazců radarových ozvěn mezi po sobě jdoucími snímky, což umožňuje výpočet vektorů pohybu a následné určení trajektorií bouřkových buněk.

⁴ **Metoda Persistence**: Jedná se o metodiku, která předpokládá, že radarové pole se v blízké budoucnosti nezmění, tj. metoda Persistence extrapoluje pozorovaný stav do budoucnosti beze změny. Jde o běžně používaný základní přístup při vzájemném porovnávání různých předpovědních modelů.

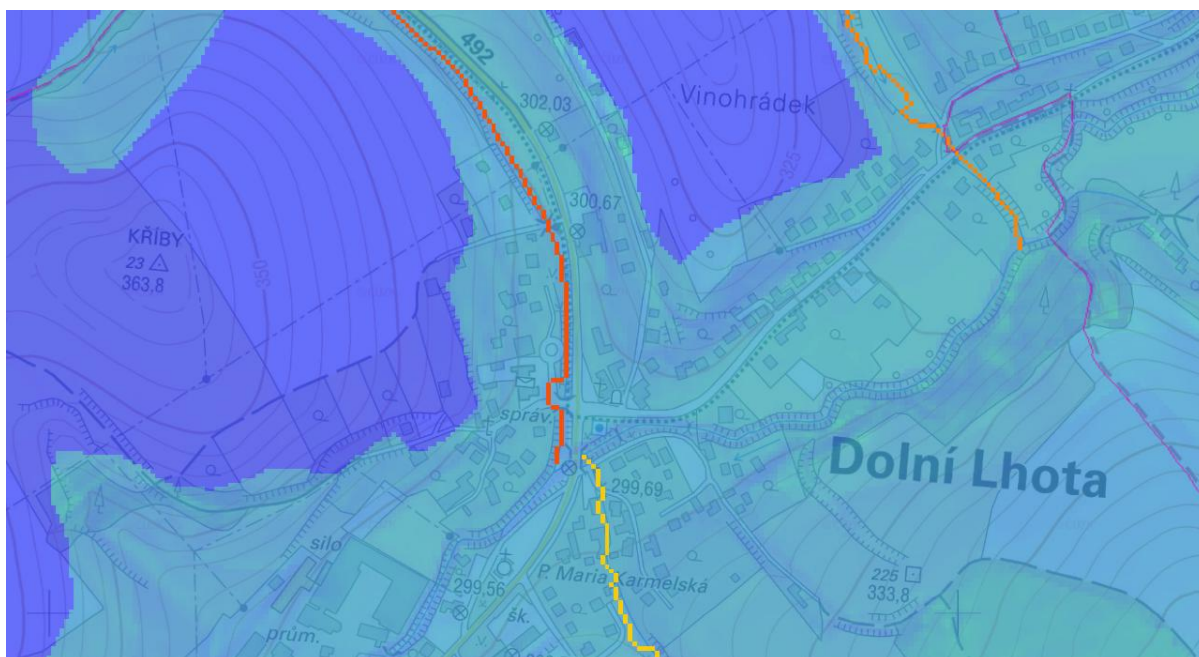
⁵ **Voting algoritmus** obsahuje parametry Model1, Model2 a Weight1 a Weight2, kde funkce „vote“ jsou vážené hodnoty tříd varování [2].

- *Liniové riziko*: Předpověď nebezpečí přívalových povodní zobrazovaná ve formě linií soustředěného odtoku přívalových srážek na 30 minut dopředu, s prostorovým rozlišením 50 x 50 metrů na pixel⁶. Data jsou aktualizována každých 5 minut.
- *Riziko obce*: Předpověď nebezpečí přívalových povodní přepočtená pro celé území obce na 30 minut dopředu. Aktualizace probíhá každých 5 minut.
- *Plošné zobrazení odtoku srážek*: Předpověď nebezpečí přívalových povodní zobrazovaná plošně podle odtoku přívalových srážek na 30 minut dopředu. Data jsou aktualizována každých 5 minut [47].

Kategorie „**Statické riziko přívalových povodní**“ definuje tyto výstupy:

- *Liniové riziko*: Liniové vyjádření stupně nebezpečí výskytu přívalových povodní vyvolaných jednodenními srážkami s dobou opakování 100 let pro území České republiky (odpovídající maximálnímu úhrnu 285,7 mm). Tento výstup je zobrazen v prostorovém rozlišení 5 × 5 m na pixel a udává maximální hodnotu vody vypočteného na základě parametrů ovlivňujících přímý odtok srážek v jednom pixelu. Jelikož se jedná o statický výstup, jeho hodnoty se v čase nemění; lze jej využít pro účely kontroly území a plánování preventivních opatření proti povodním.
- *Plošné zobrazení odtoku srážek*: Tento výstup poskytuje informaci o plošném rozložení území z hlediska parametrů ovlivňujících odtok srážkové vody. Oblasti s maximálním odtokem jsou znázorněny tmavě modrými odstíny a zpravidla odpovídají orným plochám s vyšší svažitostí terénu a nízkou infiltrační schopností půdy. Naopak oblasti s minimálním odtokem jsou vyjádřeny odstíny zelené barvy. Grafická interpretace tohoto výstupu je uvedena na Obrázku 15. [47].

⁶ Zobrazení 50 x 50 metrů na pixel je zobrazení liniového rizika na výstupech hodnocených v roce 2024. Od roku 2025 je použito přesnější zobrazení 5 x 5 metrů na pixel [47].



Obrázek 15: Výstupy Liniové riziko a Plošné zobrazení odtoku srážek v kategorii „Statické liniové riziko přívalových povodní“ [47].

Obrázek 15 ilustruje jeden z hlavních výstupů aplikace FLAPRIS v rámci kategorie *Statické riziko přívalových povodní*, konkrétně Liniové a plošné zobrazení odtoku srážek.

Jednotlivé linie soustředěného odtoku srážek, vyjádřené barevnou škálou žlutá – oranžová – červená, reprezentují stupeň nebezpečí v pořadí nízké – vysoké – extrémní nebezpečí. Linie zobrazené červenou barvou odpovídají oblastem s extrémním stupněm rizika, tedy územím s nejvyšší pravděpodobností vzniku intenzivního odtoku srážkové vody. Tento prvek poskytuje statickou charakteristiku odtokových poměrů daného území, kterou lze využít pro účely prevence a územního plánování.

Plošné zobrazení odtoku srážek je vyjádřeno modrozelenou barevnou škálou, která znázorňuje vážené rozložení odtoku srážek z ploch území směrem k liniím soustředěného odtoku. Modré odstíny označují plochy s vyšší náchylností k rychlému odtoku – typicky orné nebo zpevněné plochy s nízkou infiltrační schopností půdy a vyšší svažitostí terénu. Naproti tomu zelené odstíny představují území s nižší rychlostí odtoku, tedy oblasti s vyšší schopností vsakování (např. luční či lesní porosty) nebo s menšími sklony terénu, jako jsou nížiny či oblasti v blízkosti hřebenů a vrcholů.

Hlavní výhodou výstupů této kategorie je jejich statické zobrazení, které je dostupné celoročně a je určeno pro monitorování území náchylných ke vzniku přívalových povodní. Tyto informace mohou významně přispět k plánování a realizaci protipovodňových opatření na území konkrétní obce – jak z hlediska preventivní ochrany, tak při operativním řízení mimořádných situací spojených s výskytem přívalových povodní.

Cílem této kapitoly bylo poskytnout základní a přehledné informace o metodice verifikace výstupů aplikace FLAPRIS, včetně jejich popisu a interpretace. Následující kapitola se zaměřuje na prezentaci výstupů z metodik uvedených v první a druhé kapitole, aplikovaných na historické případy přívalových povodní z roku 2024 ve Zlínském kraji, za účelem vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých výstupů systému FLAPRIS.

4. Verifikace výstupů aplikace FLAPRIS za rok 2024

Na území Zlínského kraje bylo ve sledovaném období identifikováno několik přívalových povodní, které sloužily jako referenční události pro verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS. Jednalo se o situace různého rozsahu a intenzity, avšak všechny měly společný základní rys – vznikly v důsledku silných konvektivních bouří a přívalových dešťů.

Verifikace výstupů aplikace FLAPRIS byla provedena na základě hodnocení vybraných historických událostí z roku 2024, které jsou přehledně uvedeny v Tabulce 6.

Tabulka 6: Přehled hodnocených historických událostí spojených s výskytem přívalových povodní ve Zlínském kraji 2024

Datum	Čas výskytu (UTC)	Data KŘ HZS ZK	Data FB HZS Zlínského kraje
10.06.2024	12:45-15:15	ANO	Záznam na FB + foto
26.06.2024	15:00-20:15	ANO	Záznam na FB + foto
28.06.2024	12:00-13:00	ANO	Záznam na FB + foto
30.06.2024	16:15-20:40	ANO	Záznam na FB + foto
08.08.2024	14:00-16:45	ANO	Záznam na FB + foto

Celkem bylo hodnoceno šest historických povodňových událostí, které se v roce 2024 vyskytly na území Zlínského kraje, s využitím 47 záznamů povodňových stavů poskytnutých Krajským ředitelstvím Hasičského záchranného sboru Zlínského kraje.

Každá z vybraných událostí byla porovnána s výstupy aplikace FLAPRIS z časů bezprostředně před jejich vznikem. Cílem bylo posoudit, do jaké míry aplikace identifikovala riziko přívalové povodně a zda měřené a předpovídané hodnoty ostatních výstupů aplikace FLAPRIS odpovídaly skutečnému vývoji.

Při verifikaci byly brány v úvahu především údaje o intenzitě srážek získané z radaru a srážkoměrné sítě, včetně doplňkových informací o vývoji bouřkové oblačnosti a synoptické situaci. Některé slabší události nebyly zachyceny srážkoměrnými stanicemi, což částečně komplikuje jejich detailní analýzu. I v těchto případech však bylo možné využít radarová data a dostupné záznamy zasažených obcí k rekonstrukci průběhu povodní.

4.1. Povodňová událost ve Zlínském kraji - 10.06.2024

Dne 10. června 2024 zasáhla Zlínský kraj výrazná konvektivní činnost, která vedla ke vzniku přívalových srážek a lokálních povodní zejména v západní a jihozápadní části regionu. Událost byla způsobena sérií bouřkových buněk postupujících na zvlněné studené frontě od jihozápadu k severovýchodu. Tato činnost byla doprovázena velmi intenzivními přívalovými dešti, jež způsobily rychlý povrchový odtok, zaplavování komunikací, místní erozní procesy a lokální nárůst hladin menších toků. Srážková činnost byla zaznamenána v odpoledních hodinách, nejprve v územní působnosti obce s rozšířenou působností (ORP) Uherský Brod mezi 15. a 16. hodinou SELČ, a následně v ORP Luhačovice a Valašské Klobouky mezi 16. a 17. hodinou SELČ.

Událost byla současně charakterizována nepříznivými synoptickými podmínkami, které podpořily opakovaný vznik bouřkových jader nad stejnou oblastí. Kromě samotných

srážek se v průběhu události vyskytovaly také doprovodné jevy, včetně silných nárazů větru a intenzivní bleskové aktivity.

Kromě intenzity a úhrnu příčinných srážek se na vzniku lokálních přívalových povodní podílela také zvýšená nasycenost půdního profilu po předchozích srážkových epizodách, vyšší sklonitost svahů podporující rychlý povrchový odtok a rovněž vysoký stupeň urbanizace postižených území (zejména měst Valašské Klobouky, Luhačovice a Hluk – Obrázek 16).

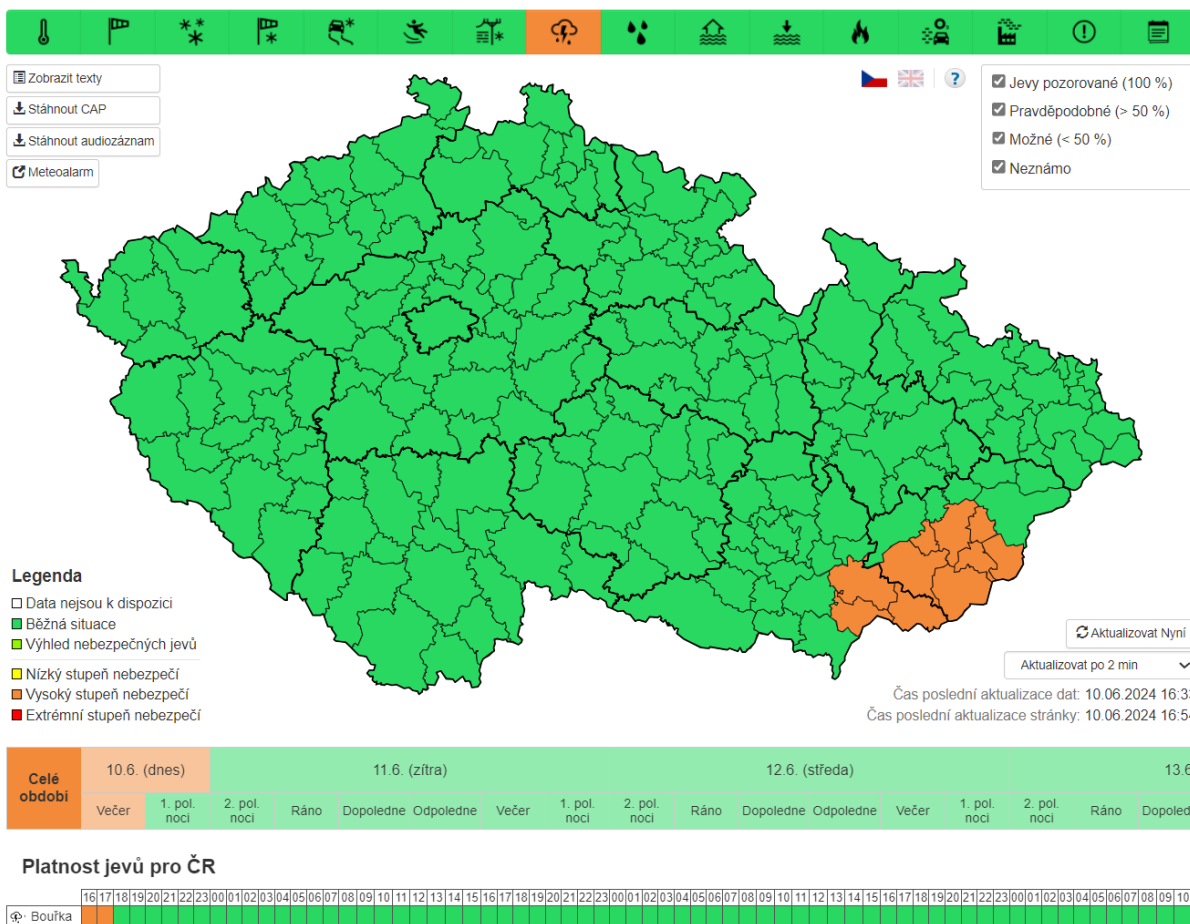
Atributy	Charakteristika	Atributy	Charakteristika
DATUM	10.06.2024	DATUM	10.06.2024
ČAS výskytu přívalových srážek	15-16:00 SELČ (1. vlna srážek s nejvyšší intenzitou)	ČAS výskytu přívalových srážek	16-17:00 SELČ (2. vlna srážek s nižší intenzitou)
Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	Prakšice: centrální část, komunikace Hluk: severní část v místě průniku lin. rizika Biskupice: centrální část, komunikace	Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	Luhačovice: západně, severně za Luhačovickým p. Vlachovice: okrajová část, zatopené skladiště Valašské Klobouky: centrální část, koupaliště
HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Valašské Klobouky (20-30 mm/hod.) - Biskupice (61 mm/hod.) - Luhačovice (20-30 mm/hod.)	HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Prakšice (40-50 mm/hod.) - Vlachovice (20-30 mm/hod.) - Hluk (40-50 mm/hod.)
VEDLEJŠÍ příčinné faktory	1. Vysoká míra urbanizace a betonových ploch 2. Vysoká nasycenost půdy 3. Významná sklonitost svahů	VEDLEJŠÍ příčinné faktory	1. Vysoká míra urbanizace a betonových ploch 2. Významnější sklonitost svahů 3. Vysoká nasycenost půdy
DOPADY přívalových povodní	Zatopené domy, zaplavené komunikace, laguny	DOPADY přívalových povodní	Zatopené domy, zaplavené komunikace, skladiště

Obrázek 16: Charakteristika povodňové události ze dne 10.06.2024

Dokumentace následků, získaná z místních zpravodajských zdrojů, IZS, sociálních sítí a radarových či staničních dat, potvrzuje, že přívalové srážky měly na postižené lokality výrazné dopady. Silný povrchový odtok zejména v oblastech s vyšší mírou urbanizace a omezenou infiltrační schopností půd vedl k zaplavování níže položených míst, zatěžování kanalizačních systémů a k erozi zemědělských ploch.

Některé části postiženého území nebyly pokryty srážkoměrnou sítí, což ztěžovalo přímé ověření intenzity srážek pomocí staničních údajů. Klíčovou roli zde sehrála radarová data, která umožnila rekonstruovat prostorové i časové rozložení konvektivní aktivity a ověřit rozsah přívalových dešťů.

Povodňová událost z 10. června 2024 představuje významný referenční případ pro hodnocení přesnosti výstupů aplikace FLAPRIS, zejména z hlediska schopnosti identifikovat nástup a intenzitu přívalových srážek v krátkém časovém horizontu.



Obrázek 17: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 10.06.2024 [49]

V souvislosti s povodňovou situací ze dne 10. června 2024 vydal Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) výstrahu před výskytem velmi silných bouřek (stupeň nebezpečí vysoký) s předpokládanou intenzitou srážek $50\text{--}89\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Výstraha byla platná pro území obcí s rozšířenou působností (ORP) Uherské Hradiště, Uherský Brod, Otrokovice, Zlín, Vizovice, Luhačovice a Valašské Klobouky, a dále pro tři ORP ve východní části Jihomoravského kraje.

Cílem výstrahy bylo upozornit na zvýšené riziko lokálních přívalových povodní, přechodného zatopení níže položených oblastí a poškození infrastruktury v důsledku intenzivních srážek.

4.1.1. Příčinné podmínky vzniku přívalové povodně

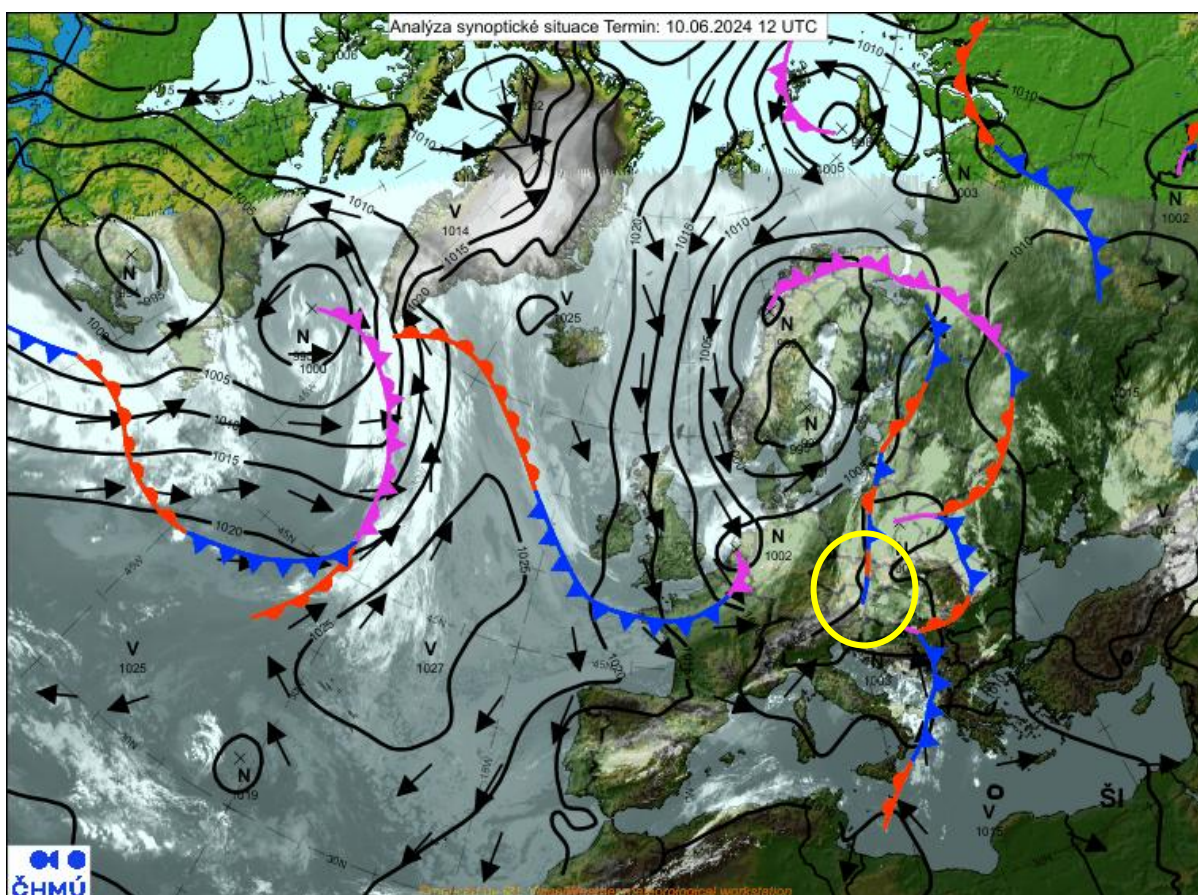
Meteorologické příčiny vzniku povodňové události dne 10.06.2024

Ze synoptického hlediska byla hlavní příčinou vzniku přívalových povodní ve Zlínském kraji dne 10. června 2024 **zvlněná studená fronta**, která byla součástí rozsáhlé cyklonální oblasti nízkého tlaku vzduchu rozprostírající se nad severní a střední Evropou. Tato fronta představovala teplotní a vlhkostní rozhraní mezi chladnější, oceánskou

vzduchovou hmotou pronikající od severu a teplejším, vlhčím vzduchem tropického původu proudícím z jihu. Území Zlínského kraje se v době události nacházelo v bezprostřední blízkosti frontálního rozhraní, kde docházelo ke konvergenci vzduchu v přízemní vrstvě atmosféry.

Frontální rozhraní se nad střední Evropou udržovalo několik dní, od 6. června 2024, a vykazovalo znaky stacionární fronty s velmi omezeným horizontálním pohybem směrem k východu i západu. Tato setrvalá synoptická situace byla doprovázena příznivými termodynamickými podmínkami pro rozvoj hluboké konvekce – zejména vysokými hodnotami konvektivní dostupné potenciální energie (CAPE), dostatečnou vlhkostí ve spodních vrstvách troposféry a mírným stříhovým polem větru podporujícím vznik organizovaných konvektivních systémů.

V odpoledních hodinách 10. června 2024 se za těchto podmínek vytvořil multicelární, liniově uspořádaný konvektivní systém, který se pohyboval jen velmi pomalu a opakovaně zasahoval stejné oblasti. Výsledkem byl tzv. „train effect“ (řetězový efekt), kdy jednotlivé bouřkové buňky vznikaly a regenerovaly se postupně na stejném území. Tento mechanismus vedl k extrémním srážkovým úhrnům, které místy přesáhly $60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (např. v Biskupicích bylo zaznamenáno až 66 mm). Nejvýraznější projevy srážkové aktivity byly pozorovány mezi 15. a 16. hodinou SELČ v jižní části území (okolí Biskupic) a mezi 16. a 17. hodinou SELČ v oblasti Valašských Klobouk.



Obrázek 18: Aktuální synoptická situace ze dne 10.06.2024 v 12 UTC [50]

Předpovědní výstupy numerických modelů

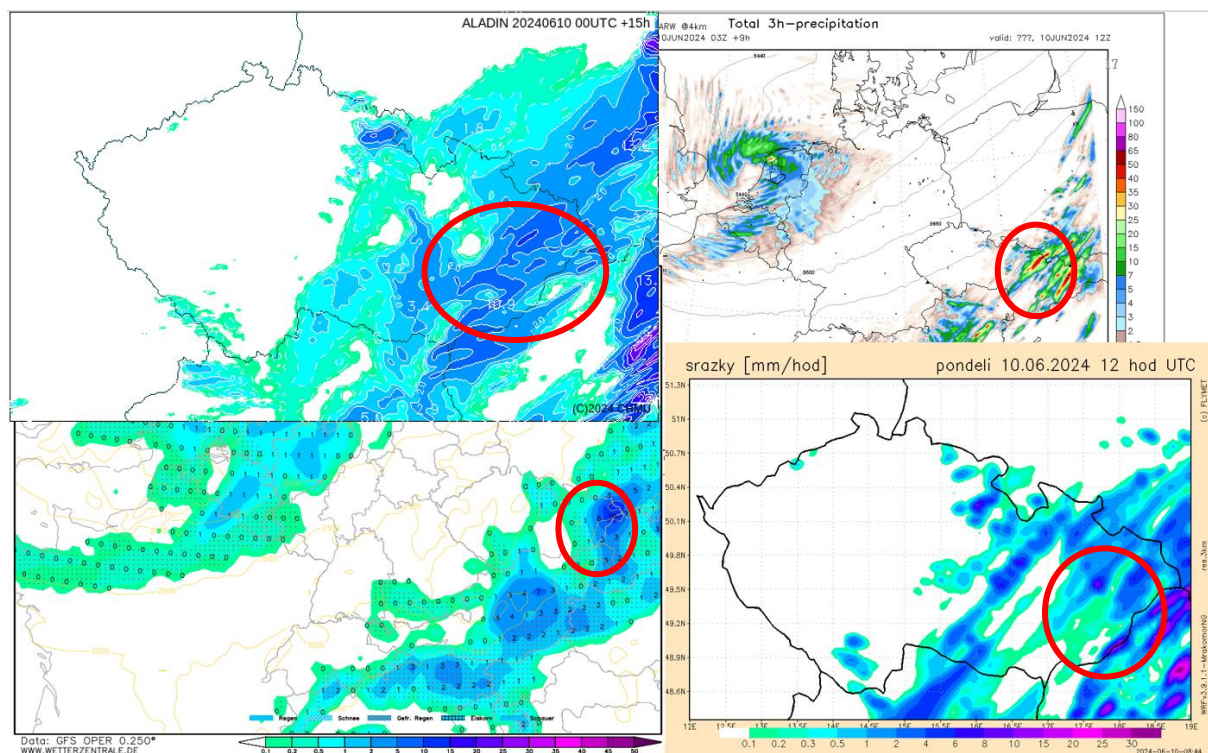
Numerické modely předpovědi počasí jako regionální model ALADIN (0,02°), WRF ARW (0,04°), WRF NMM (0,03°) a globální model GFS (0,13°) předpovídaly s 12hodinovým předstihem výskyt frontálních srážek na jižním okraji zvlněné studené fronty převážně mezi 12 a 15 h. v UTC.

Numerický model ALADIN (Obrázek 19) nejpřesněji vystihl prostorové rozložení srážek až po 15 UTC, avšak nejintenzivnější srážková činnost byla ve skutečnosti pozorována již mezi 13. a 14. hodinou UTC v jižních částech Zlínského kraje, především v okolí Biskupic a Luhačovic, kde byly zaznamenány úhrny přesahující $60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Z porovnání výstupů všech hodnocených numerických modelů (ALADIN, WRF a GFS) vyplývá, že modely významně podhodnotily intenzitu konvektivních srážek ve srovnání se skutečně naměřenými hodnotami a zároveň nepřesně předpověděly polohu hlavních srážkových jader. Modely WRF a GFS předpokládaly nejvyšší srážkové úhrny po 12 UTC na krajním východě a severovýchodě České republiky, tedy mimo oblast skutečného výskytu nejintenzivnějších srážek.

Příčinou této odchylky je pravděpodobně omezené horizontální rozlišení modelů a nedostatečná parametrizace hluboké konvekce, která v prostředí se silnou vlhkostní konvergencí a nízkou vertikální stabilitou vede k významným lokálním extrémům, jež modely v měřítku několika kilometrů nedokážou adekvátně simulovat. Dalším faktorem mohla být i nepřesnost v počátečním poli vlhkosti a teploty v přízemní vrstvě atmosféry, která se u konvektivních situací projevuje disproporčně – drobné chyby v inicializaci mohou zásadně ovlivnit načasování i polohu konvekční aktivity.

Z hlediska prediktivní schopnosti lze konstatovat, že model ALADIN zachytil časový průběh a prostorový charakter srážkové aktivity relativně nejlépe, avšak všechny zkoumané modely vykazovaly podhodnocení intenzity konvektivních srážek a posun maxima srážkové činnosti o několik hodin a desítek kilometrů oproti reálnému průběhu události.



Obrázek 19: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 12-15 UTC [51], [52], [53], [54]

Modelové výstupy lze proto využít pouze orientačně, jelikož poskytují především informaci o pravděpodobném přechodu frontálního rozhraní, na němž se mohou vyskytnout srážky zvýšené intenzity (přibližně do 30 mm). Z hlediska predikce lokálních přívalových povodní však stále není možné tyto numerické nástroje operativně využívat pro účely zpřesněné krátkodobé předpovědi s časovým předstihem 12 hodin, který je nezbytný pro včasné nasazení preventivních a přípravných opatření ze strany orgánů krizového řízení a jednotek profesionálních i dobrovolných hasičů.

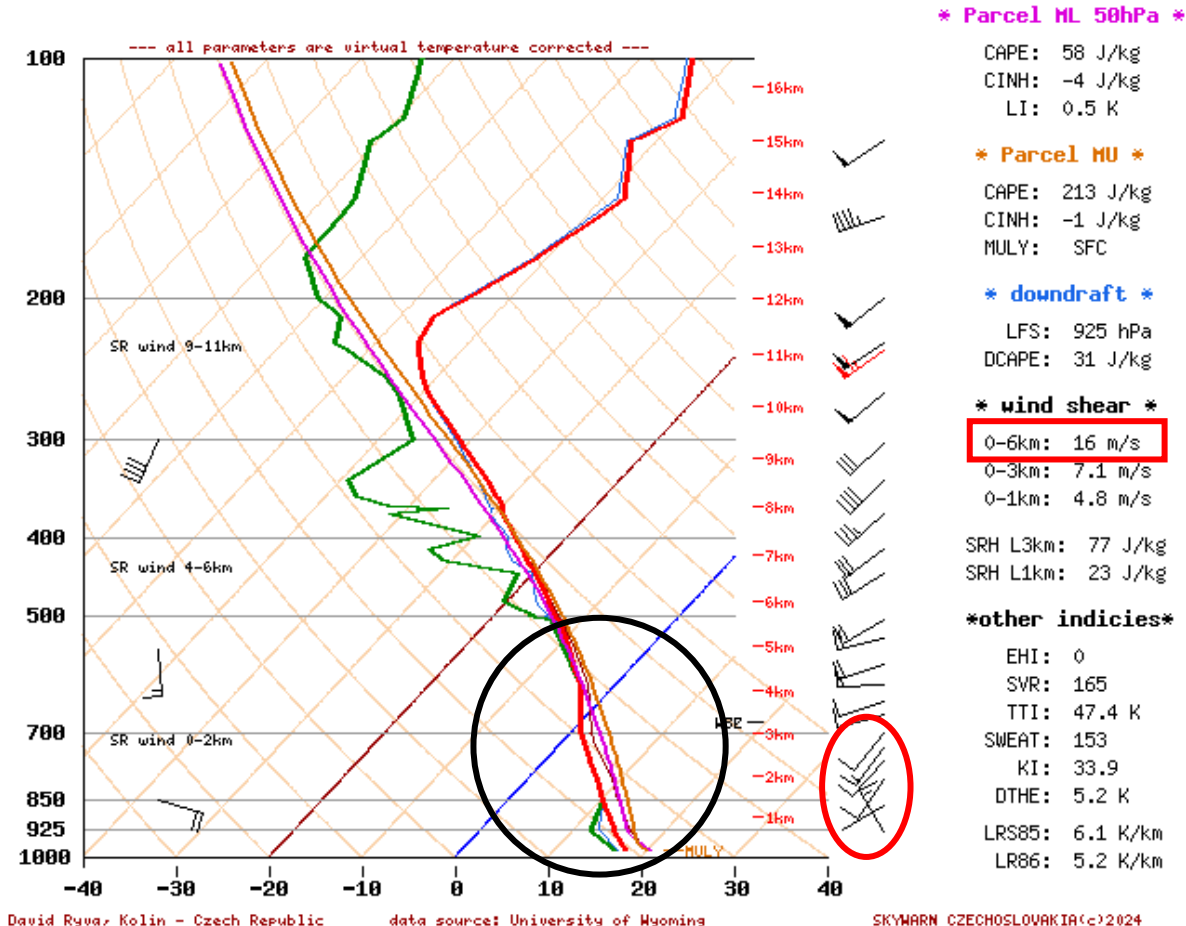
Analýzy výstupů z měřících meteorologických systémů

V této části budou nejprve představeny výsledky aerologického měření vertikálního profilu atmosféry ve vztahu ke vzniku multicelární, liniově uspořádané konvektivní bouře. V následující části budou poté analyzována data ze sumarizačních měření srážkových úhrnů za 1, 3 a 24 hodin.

Aerologické měření atmosféry

Výstup z aerologického měření v Prostějově dne 10.06.2024 z 12 UTC nám dokumentuje podmínky na zvlněné studené frontě pro oblast východní Moravy na Obrázku 20:

11747 Prostějov 10.06.2024 12 UTC



Obrázek 20: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 10.06. 2024 v 12 UTC [55]

Hlavními podmínkami, které vedly ke vzniku multicelární liniové bouře mezi 14:00 a 15:00 UTC, byly mimořádně příznivé vlhkostní poměry ve všech hladinách atmosféry (90–100 % relativní vlhkosti) v kombinaci s výrazným střihem větru dosahujícím až $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ do výšky přibližně 6 km nad zemským povrchem. Tyto faktory jednoznačně indikují přítomnost zvlněného frontálního rozhraní, charakterizovaného velmi vysokou vlhkostí nejen ve spodních, ale i ve středních a vyšších vrstvách troposféry.

Kromě silného střihu větru byl patrný i směrový střih, kdy proudění ve spodních hladinách atmosféry přecházelo z jižních na severní směry. Tento jev vytvářel příznivé podmínky pro vznik přívalových srážek. Řetězový efekt opakovaného výskytu srážek byl dále podpořen kombinací výrazného střihu větru ($16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), směrového střihu a vysokých rychlostí proudění v hladinách kolem 10 km (jet stream) přesahujících $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

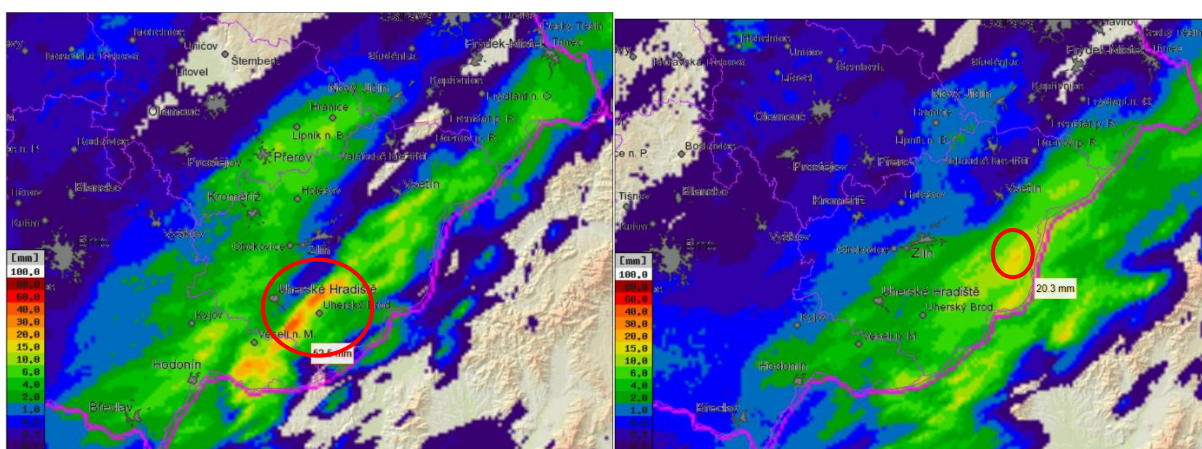
Přestože termodynamické podmínky, vyjádřené hodnotou MLCAPE okolo $213 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, nebyly extrémní z důvodu rozsáhlé oblačnosti od ranních hodin, která omezila intenzivnější prohřívání povrchu, vlhkostní a dynamické faktory byly natolik výrazné, že umožnily vznik velmi silných konvektivních srážek s intenzitou přesahující $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Radarové sumarizační měření srážek

V této části budou nejprve prezentovány výstupy radarového měření se sumací srážek za 1 hodinu, které představují hlavní potenciál pro vznik přívalových povodní. Následně bude uvedeno srovnání se 3hodinovou sumací a na závěr 24hodinová sumace srážek, dokumentující celkový srážkový úhrn za celý den.

1hodinová sumace radarového měření srážek

Z jednohodinové sumace srážek, naměřené meteorologickým radarem, vyplývá (Obrázek 21 vlevo), že nejintenzivnější srážky se vyskytovaly mezi 15. a 16. hodinou SELČ (14 UTC), nejprve v pásu od Uherského Ostrohu přes Hluk a Biskupice až po Luhačovice, s intenzitou přes 50 mm/h (v Biskupicích na místní stanici až 61 mm/h).



Obrázek 21: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 14 UTC (vlevo) a 15 UTC (vpravo) [56]

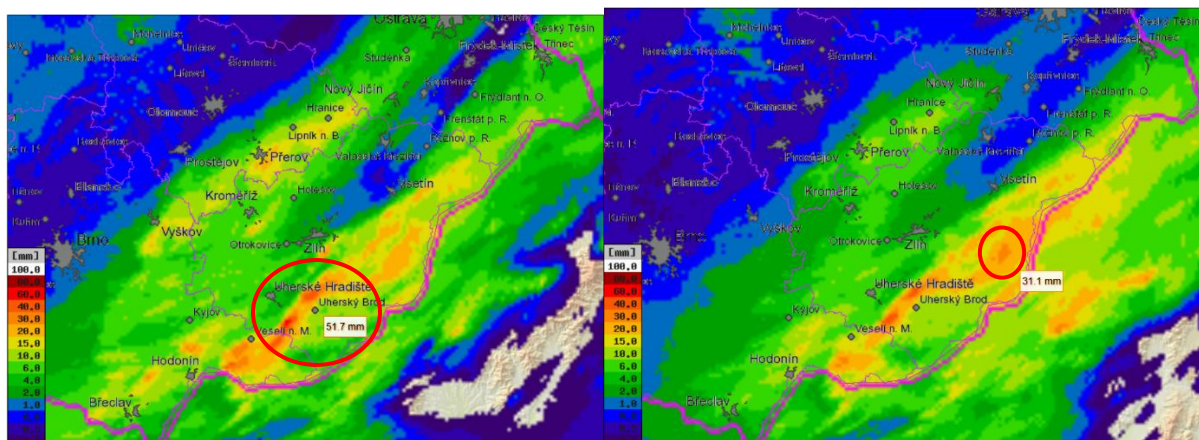
Mezi 16:00 a 17:00 SELČ (15 UTC) se podle Obrázku 21 (vpravo) nejvýznamnější část frontálního pásma přesunula na východní okraj sledované oblasti. Z jednohodinové sumace radarového měření vyplývá, že na levém snímku (15:00 UTC) je patrné pásmo srážek s maximy přes $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ v oblasti Uherského Hradiště, zatímco na pravém snímku (16:00 UTC) se pásmo přesunulo dále na východ, přičemž intenzita klesla na cca $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Z hlediska dynamiky přesunu srážkového pásma mezi oběma snímky je zřejmý východní posun frontálního systému, což odpovídá postupné translaci multicelární bouřkové linie. Tento pohyb je typický pro zvlněné frontální rozhraní, kdy dochází k postupnému slábnutí konvekce vlivem vyčerpání energie (CAPE) a změny dynamických podmínek. Přestože intenzita srážek klesla, plošný rozsah zasaženého území zůstal značný, což znamená, že kumulativní úhrny mohly být vysoké.

Z hydrologického hlediska vyplývá, že v oblasti Valašských Klobouk byly škody největší, a to i přes nižší radarově detekovanou intenzitu srážek (cca $20\text{--}30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$). Důvodem je kombinace vysoké nasycenosti půdy po předchozích srážkách, svažitosti terénu a urbanizace, která omezuje vsakování a zvyšuje riziko lokálních povodní. Následkem těchto příčin došlo k extrémnímu zatížení odvodňovací infrastruktury a vzniku povodňových škod.

3hodinová sumace radarového měření srážek

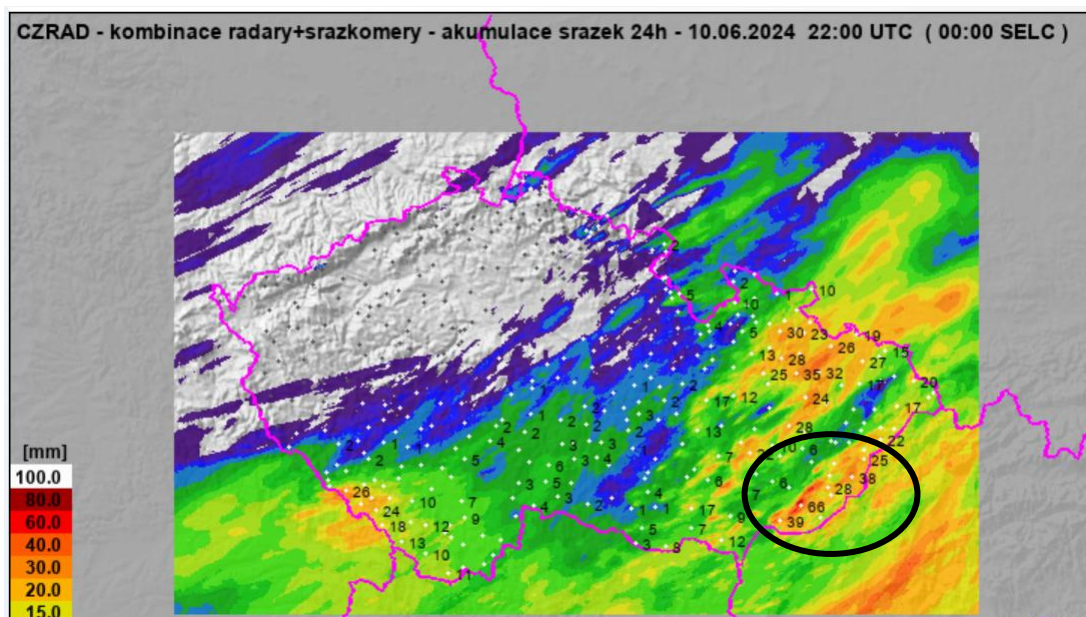
Tříhodinová sumace oproti jednohodinové poskytuje přesnější odhad celkového množství srážek naměřených radarovým měřením. Největší rozdíly jsou patrné u sumací pro 15 UTC (16.–17. hodina SELČ).



Obrázek 22: 3hodinová sumace radarového měření srážek pro 14 UTC (vlevo) a 15 UTC (vpravo) [56]

Z jednohodinových sumací zobrazených na Obrázku 22 vyplývá poměrně rychlý postup jižního okraje frontálního pásma přes jihovýchodní a východní části Zlínského kraje, což se projevilo nižšími naměřenými srážkovými úhrny v rozmezí $10\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Naproti tomu tříhodinová sumace na Obrázku 22 (vpravo) mezi 15:00 a 18:00 SELČ ukazuje výraznější srážkový úhrn přesahující $30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, který následně vedl ke vzniku přívalových povodní ve Valašských Kloboukách.

24hodinová sumace radarového měření srážek



Obrázek 23: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 10.06.2024 [56]

Z Obrázku 23 je patrné množství denních sumovaných srážek naměřených meteorologickými radary dne 10. 06. 2024. Maximální úhrn dosáhl hodnoty $66\text{ mm}/24\text{ h}$

v jižní části Zlínského kraje, konkrétně v Biskupicích u Luhačovic. Na krajním východě, zejména ve Valašských Kloboukách, spadlo přibližně 40 mm, což vzhledem k příznivým lokálním podmínkám (vysoká nasycenost půdy, sklonitý terén, urbanizace) stačilo k vyvolání přívalové povodně. Ve srovnání s oblastí Biskupic se povodeň ve Valašských Kloboukách objevila při 1,5násobně až dvojnásobně nižším srážkovém úhrnu, zatímco v Biskupicích způsobila přívalová voda zatopení sklepů bytových domů, místních komunikací a okolních zemědělských ploch.

Ostatní příčiny vzniku povodňové události dne 10.06.2024

Ostatní (vedlejší) příčinné podmínky jsou zvýrazněny tučně obdélníkem na Obrázku 24:

P.č.	Rok	Město	Adresa	Popis události	Stupeň závažnosti	Datum	Trvání v čase (hodiny)	Počet srážek za hodinu	Dopady	Důvod	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
1.	2024	Prakšice	Prakšice 312	150 cm vody před garážovými vraty (snížený nájezd ke sklepu)	1	10.06.2024	16-17:00	40 až 50 mm	zatopené sklepy domů	přívalový déšť	3	2	2	3
2.	2024	Prakšice	Prakšice 321	zatopená komunikace, zatopené okolní cesty	2	10.06.2024	16-17:00	40 až 50 mm	zatopené sklepy domů	přívalový déšť	3	2	1	2
3.	2024	Prakšice	Silnice mezi Prakšicemi a Pašovicemi	zatopená komunikace, zatopené okolní cesty	2	10.06.2024	16-17:00	40 až 50 mm	zatopené sklepy domů	přívalový déšť	3	2	3	3
4.	2024	Hluk	Hradištská 606	30 cm vody v RD, ucpané koryto potoka, MěP na místě	3	10.06.2024	17-18:00	40 až 50 mm	zatopené sklepy domů	přívalový déšť	3	2	0	3
5.	2024	Biskupice	Biskupice 122	voda teče do RD; laguna na zahradě	2	10.06.2024	16:03; 18:54	61 mm	zatopené sklepy domů, zahrady	přívalový déšť	3	2	2	3
6.	2024	Biskupice	Biskupice 36	zatopená komunikace	2	10.06.2024	16-17:00	61 mm	zatopená komunikace	přívalový déšť	3	2	3	3
7.	2024	Biskupice	Silnice 490	zatopená komunikace	2	10.06.2024	16-17:00	61 mm	zatopená komunikace	přívalový déšť	3	2	2	1
8.	2024	Luhačovice	V Drahách 1105	voda ve sklepech, pořád stoupá	2	10.06.2024	15:58-17:28	20 až 30 mm	zatopené sklepy domů	přívalový déšť	2	2	3	3
9.	2024	Vlachovice	Vlachovice 306	vytopené SKLADY	2	10.06.2024	od 19:21	20 mm	zatopené sklady podniku	přívalový déšť	2	2	0	2
10.	2024	Boršice u Blatnice	Boršice u Blatnice 346	zatopený sklep	2	10.06.2024	16-20:30	30 až 40 mm	zatopené sklepy domů	přívalový déšť	3	2	1	3
11.	2024	Pitín	Pitín	zatopená komunikace	1	10.06.2024	16-17:00	10 až 20 mm	zatopená komunikace	přívalový déšť	1	2	2	3
12.	2024	Valašské Klobouky	Cyrlometodějská 655	čerpání sklepů	2	10.06.2024	17:43-18:49	20 mm	zatopené komunikace, sklepy domů	přívalový déšť	2	2	1	2
13.	2024	Valašské Klobouky	Partyzánská	zatopení koupaliště	3	10.06.2024	16 až 18:00	20 mm	zatopení koupaliště	přívalový déšť	2	2	3	2

Obrázek 24: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 10.06.2024

Kromě jednohodinových srážkových úhrnů se jako klíčové podmínky pro vznik přívalových povodní dne 10. 06. 2024 ukázaly zejména vyšší sklonitost svahů (lokality Valašské Klobouky a Biskupice) a vyšší podíl urbanizovaných ploch – zastavěných, zpevněných a betonových povrchů (Biskupice, Luhačovice, Prakšice, Hluk). Významnou roli sehrála také vysoká nasycenost půdy na celém území po předchozích srážkových epizodách koncem května a začátkem června. Interakce těchto faktorů spolu s přívalovými dešti přesahujícími 60 mm vedla k lokálním povodním s odhadovanými škodami v řádu desítek až stovek milionů korun.

4.1.2. Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS pro 10.06.2024

Tato kapitola obsahuje informace o účinnosti výstupů aplikace FLAPRIS v jednotlivých lokalitách s ohledem na výskyt přívalových povodní. Jedná se o údaje o historické míře závažnosti přívalových povodní, stanovené metodikou odrážející skutečný stav jejich intenzity.

Povodňové události jsou verifikovány pro tyto lokality na základě srážkových epizod:

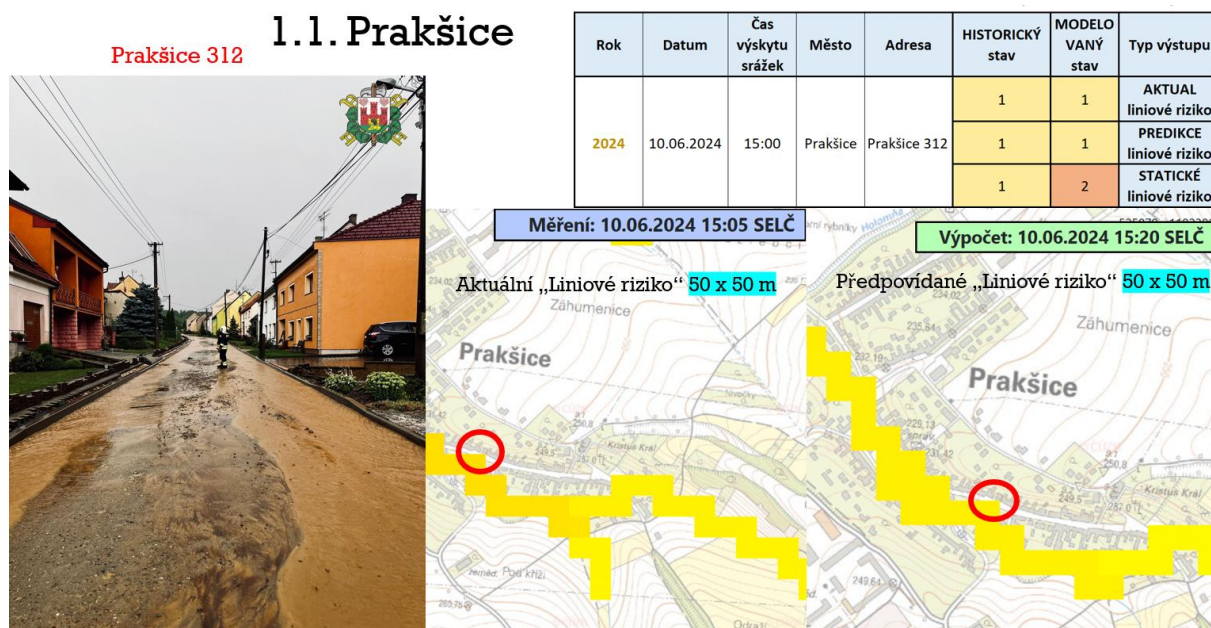
1. Srážková epizoda v čase 15-16 hod. SELČ s nejintenzivnějšími srážkami v jižních oblastech Zlínského kraje (ORP Uherské Hradiště, Uherský Brod + Luhačovice):
 - 1.1. Prakšice
 - 1.2. Hluk
 - 1.3. Biskupice
2. Srážková epizoda v čase od 16-17 hod. SELČ s méně intenzivními, zato opakujícími se srážkami v jihovýchodních a východních oblastech Zlínského kraje (ORP Uherský Brod a ORP Valašské Klobouky):
 - 2.1. Luhačovice
 - 2.2. Vlachovice
 - 2.3. Boršice u Blatnice
 - 2.4. Valašské Klobouky

První srážková epizoda od 15-16:00 SELČ – jih Zlínského kraje

a. Prakšice

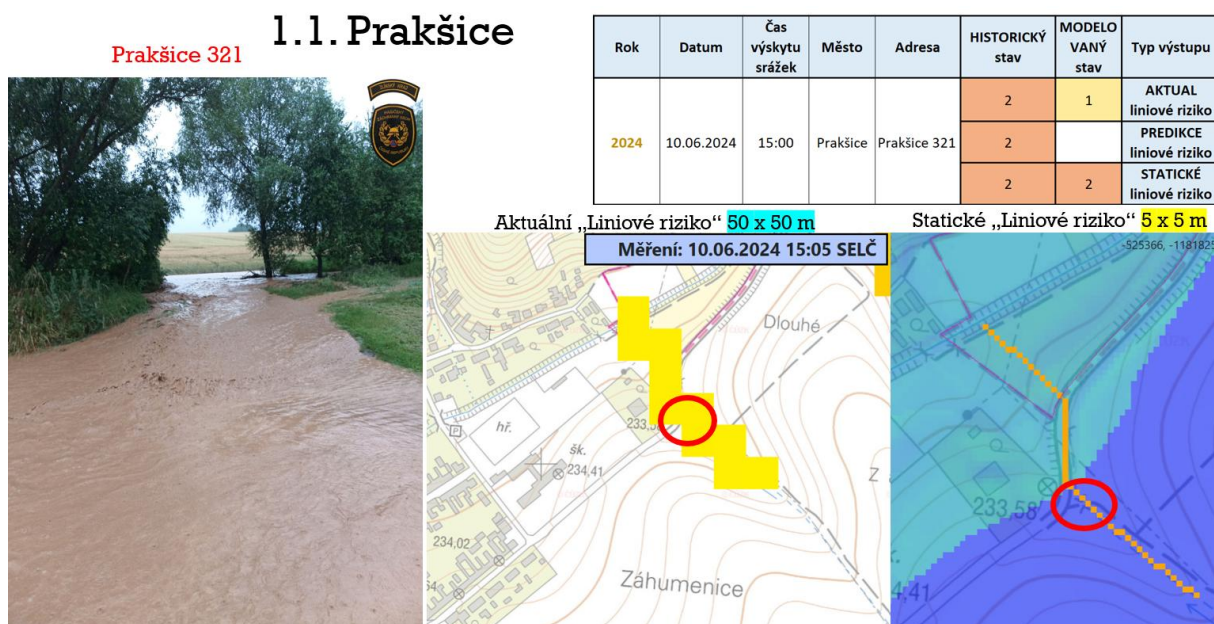
Před 15. hodinou SELČ se objevily první velmi intenzivní srážky s intenzitou 40–50 mm/hod. Během několika minut došlo k lokální přívalové povodni, která se podle dat o výjezdech HZS Zlínského kraje a dostupných fotografií projevila v následujících lokalitách.

- **Prakšice č. 312** v centrální části obce (vedlejší komunikace souběžně s hlavní komunikací vedoucí přes obec).
- **Prakšice č. 321** na severním okraji obce – silnice č. 49714 k obci Pašovice (travnatá a orná plocha „U Buráně“ za školním komplexem).



Obrázek 25: Verifikace výstupů Liniového rizika pro aktuální, předpovědní a statický stav pro lokalitu Prakšice 312 [48], [57]

Dalšími významnými příčinami vzniku přívalové povodně v centrální části obce Prakšice (lokalita Prakšice 312) byl vysoký podíl zastavěných a urbanizovaných ploch, které výrazně omezují vsakování srážkové vody, v kombinaci se sklonitostí okolního terénu a vysokou nasyceností půd po předchozích srážkových epizodách. Dopady povodně, klasifikované jako událost s nízkým stupněm nebezpečí, se projevily zejména průtokem povodňové vody napříč místní komunikací a zatopením sklepních prostor obytných domů.



Obrázek 26: Verifikace výstupů Liniového rizika pro aktuální, předpovědní a statický stav pro lokalitu Prakšice 312 [48], [57]

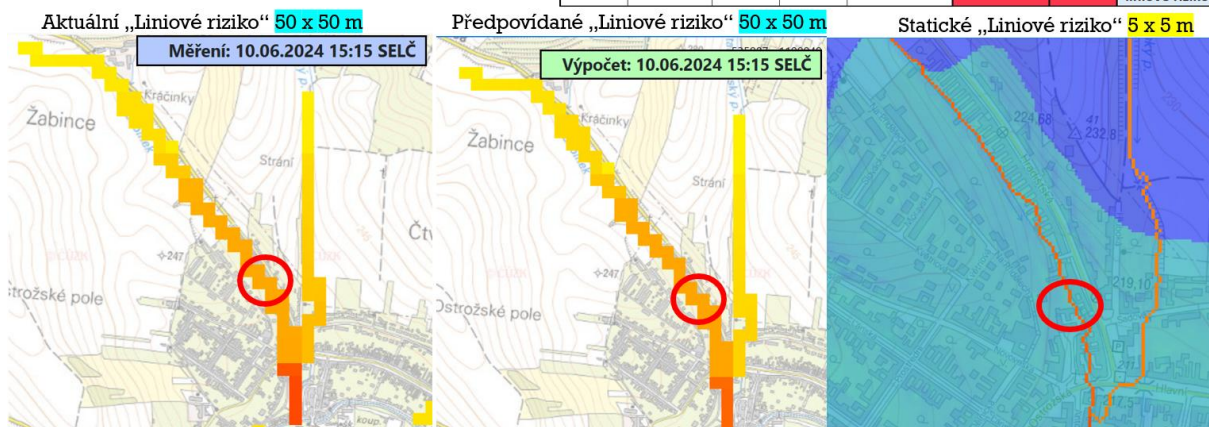
Příčinami přívalové povodně, klasifikované stupněm 2 – vysoké nebezpečí přívalových povodní (viz Obrázek 26), na výpadovce směrem k obci Pašovice byl vysoký podíl orných a zastavěných ploch v dané lokalitě v kombinaci s výraznou nasyceností půdy po předchozích srážkových epizodách.

b) 1.2. Hluk

Lokální přívalová povodeň zasáhla severní okraj města Hluk dne 10.06.2024 v 15:15 SELČ. Vysoký stupeň nebezpečí přívalových povodní byl detekován a předpovězen pro oblast husté zástavby na adrese Hradištská 606. Statický model klasifikoval tuto událost jako extrémní riziko. Hlavní příčinou byl přívalový déšť o intenzitě $40\text{--}50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, obdobně jako v případě povodně v Prakšicích.

1.2. Hluk

Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
2024	10.06.2024	15:15	Hluk	Hradištská 606	3	2	AKTUAL liniové riziko
					3	2	PREDIKCE liniové riziko
					3	3	STATICKE liniové riziko



Obrázek 27: Verifikace výstupů Liniového rizika pro aktuální, předpovědní a statický stav pro lokalitu Hradištská 606, Hluk [47], [48]

Na Obrázku 27 jsou zobrazeny výstupy aplikace FLAPRIS pro hodnocení liniového rizika. Přestože chyběla fotodokumentace skutečného stavu, díky záznamům od HZS a vysokému až extrémnímu stupni rizika byla tato událost zahrnuta do dílčí verifikace. Aktuální a předpovězené Liniové riziko bylo mírně podhodnocené, zatímco Statické liniové riziko odpovídalo reálným dopadům přívalové povodně dle dat HZS. Mezi další příčiny vzniku povodně patřila vysoká míra urbanizace v kombinaci s ornými plochami lemujícími severní okraj města Hluk. Významným faktorem bylo také ucpané koryto místního potoka, které způsobilo vylití vody z jeho břehů a následné zatopení sklepů a dvora (až 50 cm vody).

c) Biskupice

V této obci byl na místní stanici zaznamenán nejvyšší srážkový úhrn 61,21 mm, přičemž přibližně 60 mm napršelo během jediné hodiny. Zasažené a současně zdokumentované lokality v obci Biskupice k 15:30 SELČ byly následující:

- **Biskupice č. 36** v centrální části obce na silnici č. 490 u místního kostela.
- **Biskupice č. 122** v jihozápadní části obce v místního sportovního komplexu.
- **Silnice č. 490** z Biskupic do obce Kaňovice.

První lokalitou byla zaplavená silnice č. 490 v blízkosti místního kostela na adrese Biskupice 36, kde se voda vylila z okolních polí a ulic. Hlavními příčinami byly výrazná sklonitost terénu, vysoký podíl orných a urbanizovaných ploch a vysoká nasycenost půdy po předchozích srážkách.

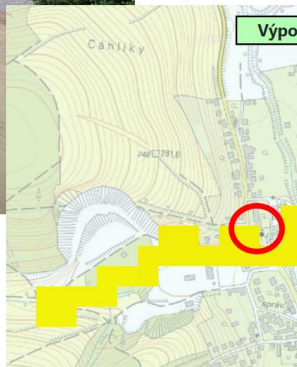
1.3. Biskupice



Biskupice 36

Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELO VANÝ stav	Typ výstupu
2024	10.06.2024	15:30	Biskupice	Biskupice 36	2	1	AKTUAL liniové riziko
					2	1	PREDIKCE liniové riziko
					2	2	STATICKÉ liniové riziko

Předpovídané „Liniové riziko“ 50 x 50 m



Výpočet: 10.06.2024 15:55 SELČ

Statické „Liniové riziko“ 5 x 5 m



Obrázek 28: Verifikace výstupů Liniového rizika pro předpovědní a statický stav pro silnici č. 490, Biskupice č. 36 [48], [57]

Podle Obrázku 28 byla předpověď i aktuální stav nebezpečí přívalových povodní mírně podhodnoceny oproti skutečnosti. Dopady však nebyly závažné – kromě zatopené komunikace a nánosů bahna nedošlo k zaplavení sklepů místních bytových domů.

Další lokalitou byla Biskupice č. 12, kde se na jihozápadním okraji obce vytvořily lokální laguny na zahradách. Tato událost nebyla zdokumentována, protože aplikace FLAPRIS pro tuto oblast nevypočítala žádné liniové riziko (aktuální, predikované ani statické). Kromě zatopených zahrad přívalová povodeň nezpůsobila žádné závažnější škody.

Poslední lokalitou mimo intravilán obce Biskupice, kde povodňová voda způsobila škody a komplikace v dopravě, byla silnice č. 490 vedoucí z Biskupic do Kaňovic. Vlivem extrémně silných srážek, vysoké nasycenosti půdy, sklonitosti okolních svahů a zejména vysokého podílu orných ploch došlo k přívalové povodni s vysokým stupněm závažnosti. Doprava na této komunikaci byla částečně přerušena a k úklidu komunikace i jejího okolí museli být povoláni místní hasiči (SDH Biskupice), jak je patrné z Obrázku 29.

1.3. Biskupice

Silnice č. 490 mezi Biskupicemi a Kaňovicemi



Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELO VANÝ stav	Typ výstupu
2024	10.06.2024	15:30	Biskupice	Silnice 490	2		AKTUAL liniové riziko
					2		PREDIKCE liniové riziko
					2	2	STATICKÉ liniové riziko

Statické „Liniové riziko“ 5 x 5 m



Obrázek 29: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro silnici č. 490 z Biskupic do Kaňovic [48], [57]

Přívalová povodeň na silnici č. 490 mezi obcemi Biskupice a Kaňovice byla zaznamenána dne 10.06.2024 v 15:30 SELČ. Událost byla klasifikována jako vysoké riziko podle historických záznamů i statického modelu aplikace FLAPRIS, který vyhodnotil liniové riziko v rozsahu 5 × 5 m, což odpovídá přesné lokalizaci kritického úseku komunikace.

Hlavními příčinami byly extrémní intenzita srážek, vysoká nasycenost půdy po předchozích epizodách, výrazná sklonitost okolních svahů a vysoký podíl orných ploch s nízkou infiltrační schopností. Tyto faktory společně vytvořily podmínky pro rychlý povrchový odtok a koncentraci vody na komunikaci.

Hydrologické dopady zahrnovaly zaplavování vozovky, nánosy bahna a částečné přerušení dopravy, což vyžadovalo zásah jednotek SDH Biskupice k odstranění sedimentů a obnovení průjezdnosti. Přestože se jednalo o lokalitu mimo intravilán obce, rozsah škod a dopravní komplikace potvrzují vysokou zranitelnost silničních úseků v zemědělsky využívaných oblastech.

Druhá srážková epizoda od 16-17:00 SELČ – východ Zlínského kraje

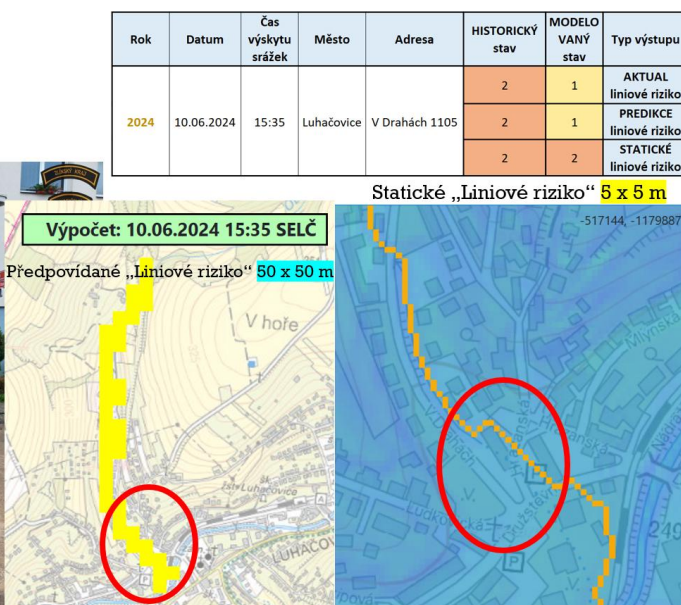
a) Luhačovice

Přívalová povodeň v intravilánu města Luhačovice byla zaznamenána dne 10.06.2024 v 15:35 SELČ. Voda začala stékat z ulice V Drahách, která se nachází ve vyšší poloze, a následně natekla do níže položených ulic Družstevní a Stráň. Statický model aplikace FLAPRIS vyhodnotil liniové riziko v rozsahu 5 × 5 m, což odpovídá přesné lokalizaci kritického úseku, zatímco predikovaný stav byl mírně podhodnocen.

Hlavními příčinami byly slabší přívalové srážky s úhrnem 20–30 mm/h, vysoká nasycenost půdy po předchozích epizodách, výrazná sklonitost terénu a hustá urbanizace s vysokým podílem zpevněných ploch, které výrazně omezily infiltrační schopnost. Tyto faktory společně vytvořily podmínky pro rychlý povrchový odtok a koncentraci vody do nižších částí města.

2.1. Luhačovice

V Drahách 1105 – ulice směrem nahoru



Obrázek 30: Verifikace výstupu Předpovědního a statického liniového rizika pro lokalitu „V Drahách 1105“, Luhačovice [48], [57]

Z Obrázku 30 vyplývá, že voda a bahno se pohybovaly v linii soustředěného odtoku (žlutá linie) z výše položených částí do nižších lokalit města Luhačovice. Detekované i předpovězené Liniové riziko bylo mírně podhodnoceno vzhledem k závažnosti a skutečným dopadům přívalové povodně. Hlavní příčinou byl přívalový déšť s intenzitou $20\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ v kombinaci s dalšími faktory, jako je výrazná sklonitost terénu a vysoký podíl urbanizovaných ploch přímo v městské části. Významnou roli v šíření povodně sehrál také místní potok Oborka, který při zvýšeném průtoku přispěl k rozlivu vody.

Dopady povodně se projeví v podobě nánosů bahna a kamení, které voda spláchla po cestě a soustředila do níže položených ulic Družstevní a Stráž. V důsledku toho došlo k zaplavení sklepů bytových a rodinných domů, ucpání propustí a kanalizačních systémů, což výrazně umocnilo celkový dopad povodně – a to i přesto, že v této oblasti spadlo přibližně dvakrát méně srážek než v sousedních obcích Biskupice a Prakšice.

b) Vlachovice

Lokální přívalová povodeň zasáhla jihovýchodní okraj obce Vlachovice, kde se nachází areál místního průmyslového podniku. Výstupy aplikace FLAPRIS byly pro tuto lokalitu počítány kolem 15:50 SELČ při intenzitě srážek přibližně $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

2.2. Vlachovice



Obrázek 31: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce a Statického liniového rizika pro lokalitu „Vlachovice č. 306“ [48], [57]

Lokální přívalová povodeň zasáhla jihovýchodní okraj obce Vlachovice, kde se nachází areál místního průmyslového podniku. Výstupy aplikace FLAPRIS byly pro tuto lokalitu počítány kolem 15:50 SELČ při intenzitě srážek přibližně $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Z Obrázku 31 vyplývá, že pro kategorii „Riziko obce“ byl předpovězen extrémní stupeň nebezpečí přívalových povodní, což se ukázalo jako mírně nadhodnocené vzhledem k reálným dopadům. Zásadním problémem bylo, že linie soustředěného odtoku nebyla vypočítána přesně pro území průmyslového areálu – nejbližší linie byla určena až 100–200 m za

místním potokem Smolinka. V důsledku přívalové povodně došlo k zatopení skladových ploch průmyslového areálu.

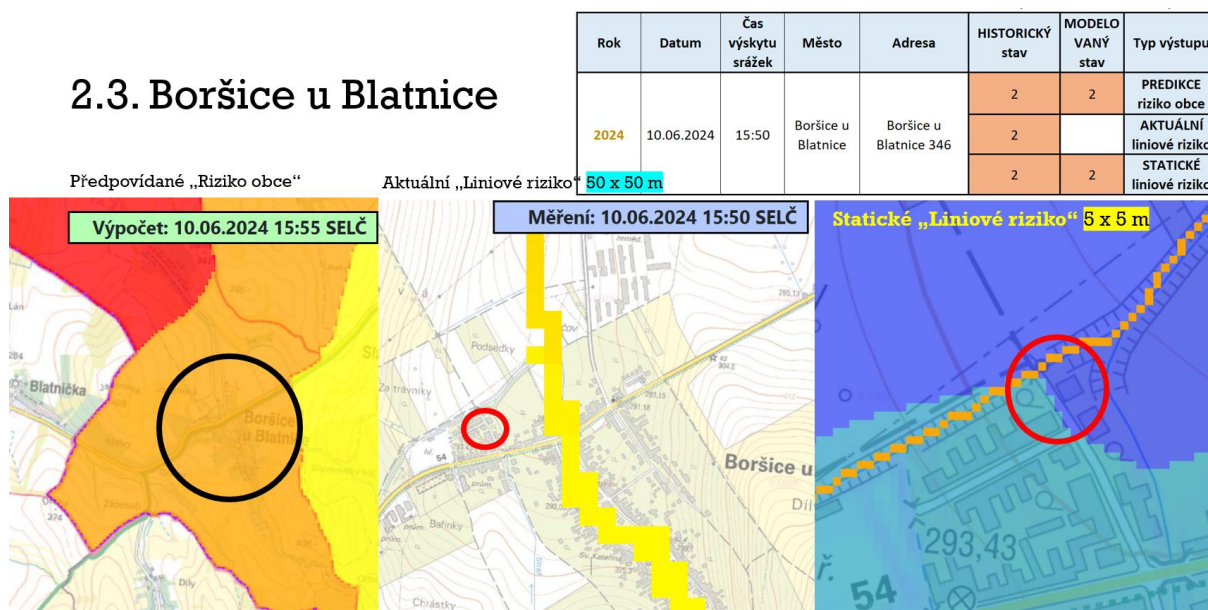
c) Boršice u Blatnice

Přívalová povodeň byla zaznamenána dne 10.06.2024 v 15:55 SELČ. Podle výstupu Riziko obce bylo předpovězeno vysoké riziko pro tuto lokalitu, což odpovídalo skutečným dopadům. Klíčovými faktory byly intenzivní srážky, nasycenost půdy, zastavěné plochy a blízkost vodního toku Stráž, který při zvýšeném průtoku přispěl k rozlivu vody. Významným problémem byla nepřesná lokalizace aktuální linie soustředěného odtoku, která byla vypočtena mimo kritické místo, zatímco statické hodnocení liniového rizika poskytlo nejpřesnější predikci.

Hydrologické dopady zahrnovaly zatopení sklepa rodinného domu, ucpání propustí a lokální omezení provozu. Událost potvrzuje, že i při relativně nižším rozsahu povodně mohou vzniknout škody, pokud se kombinují nepříznivé lokální podmínky.

Z odborného hlediska tato událost dokládá nutnost zahrnout do predikčních modelů nejen meteorologické parametry, ale také přesnou lokalizaci liniového odtoku, geomorfologické faktory a antropogenní vlivy. Hodnocení Statického liniového rizika se ukázalo jako nejpřesnější pro predikci reálných dopadů, což je klíčové pro plánování preventivních opatření.

2.3. Boršice u Blatnice



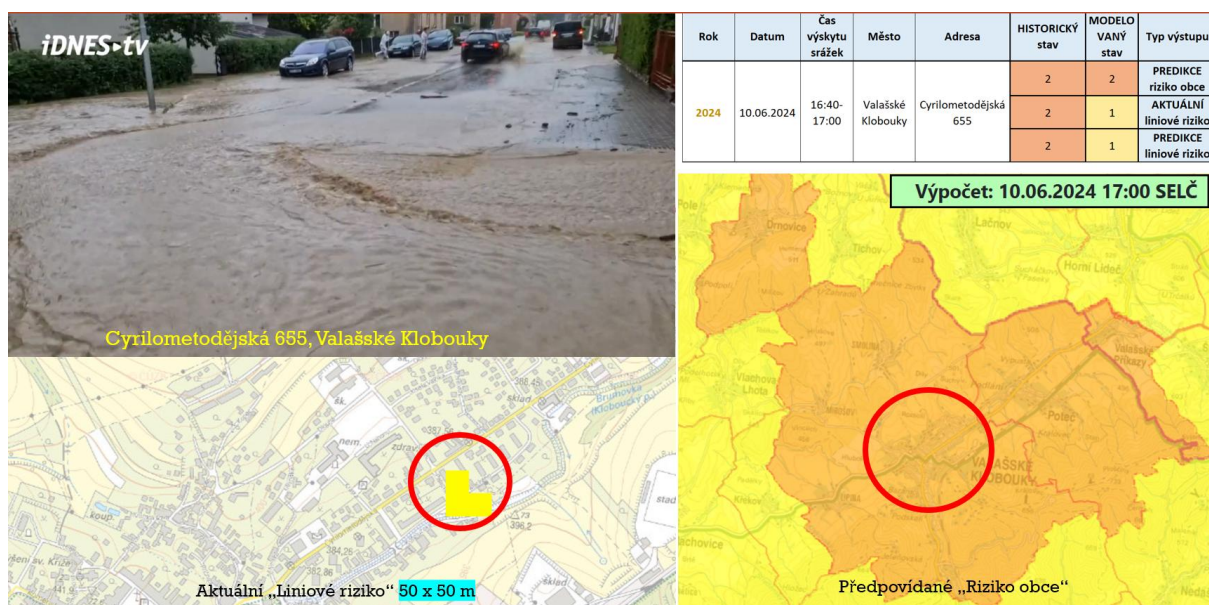
Obrázek 32: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce, Aktuálního a statického liniového rizika pro lokalitu „Boršice č. 346“ [48]

Obec Boršice u Blatnice měla pro čas 15:55 SELČ při intenzitě srážek $30\text{--}40\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ předpovězené riziko obce a aktuální liniové riziko. U této situace došlo k lokálnímu zatopení sklepa rodinného domu na adrese Boršice u Blatnice č. 346, a to také vlivem blízkosti místního potoka Stráž. Dalšími příčinnými faktory byla vysoká míra zastavěných ploch v okolí a vysoká nasycenost půdy po předchozích srážkách.

Předpověď rizika obce korespondovala se skutečným stavem. Avšak linie soustředěného odtoku byla vypočtena o 100–200 m dál, než byla hlášena povodňová událost. Nejlepších výsledků v hodnocení úspěšnosti bylo dosaženo u statického liniového rizika, které s vysokým stupněm nebezpečí přívalových povodní a svou blízkou polohou nejpresněji odhadlo možný aktuální nebo budoucí stav.

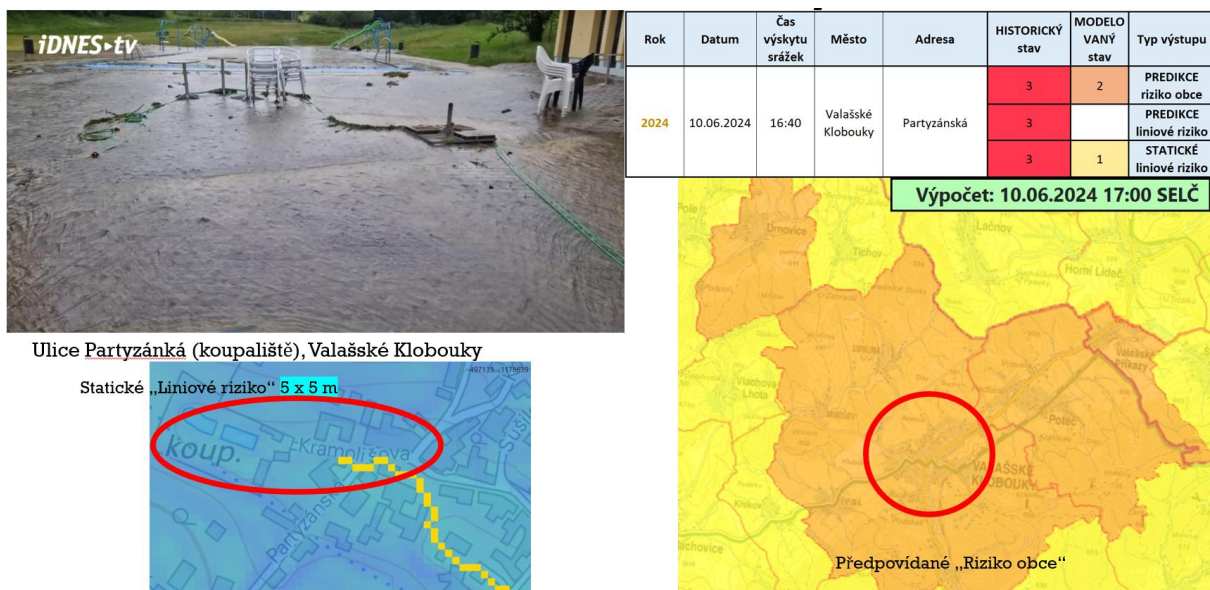
d) Valašské Klobouky

Nejvíce zasaženým městem byly Valašské Klobouky dne 10. 06. 2024, konkrétně ulice Cyrilometodějská (Obrázek 33), Partyzánská – koupaliště (Obrázek 34), dále Luční, Jana Nerudy a Trhovisko. Hlavní příčinou byl přívalový déšť s intenzitou $20\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, podpořený opakovanými srážkami, které se nad touto oblastí vyskytovaly po dobu předchozí hodiny. Vlivem řetězení srážek v kombinaci s nasycením půdy, výraznou sklonitostí svahů v okolí koupaliště a četným výskytem orných a urbanizovaných ploch došlo k maximálnímu nasycení půdy a vzniku přívalové povodně na území města. Hydrologické dopady zahrnovaly zaplavování komunikací, nánosy bahna a kamení, zatopení sklepů obytných domů a ucpání kanalizačních systémů, což vyžadovalo zásah jednotek IZS. V důsledku této situace zasedala povodňová komise v 17:30 SELČ.



Obrázek 33: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce a předpovídaného liniového rizika pro lokalitu „Cyrilometodějská 655“ ve Valašských Kloboukách [48], [57]

Z výsledků verifikace vyplývá, že aktuální a predikované liniové riziko bylo mírně podhodnoceno. Vypočtené liniové riziko nekorespondovalo přesně s výskytem povodní.



Obrázek 34: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce a předpovídaného liniového rizika pro lokalitu „ulici Partyzánská – místní koupaliště“ ve Valašských Kloboukách [48], [57]

Další zasaženou oblastí byl objekt místního koupaliště na ulici Partyzánská (Obrázek 34) ve Valašských Kloboukách. Aplikace FLAPRIS poskytla předpovědní informaci o vysokém stupni nebezpečí přívalových povodní, zatímco hodnocení ukázalo nízký stupeň Liniového rizika. Následkem povodně došlo k ucpání propustků a kanalizace, což v kombinaci s nasycením půdy po srážkách z předchozího týdne vedlo k zatopení sklepů rodinných a bytových domů v okolí.

4.1.3. Výsledky verifikace přívalové povodně ze dne 10.06.2024

Nejprve jsou prezentovány výsledky verifikace, které hodnotí míru shody mezi měřeními a předpovědními výstupy aplikace FLAPRIS pro den 10. června 2024, zahrnující jak úspěšné, tak chybné predikce.

Hodnocení úspěšnosti 10.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	83	42	
Riziko obce	100	100	
Liniové riziko	58	50	67
Plošné riziko	83	75	92

Hodnocení úspěšnosti 10.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	50	0	
Riziko obce	58	50	
Liniové riziko	17	8	50
Plošné riziko	33	25	58

Hodnocení úspěšnosti 10.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	17	58	
Riziko obce	0	0	
Liniové riziko	42	50	33
Plošné riziko	17	25	8

Hodnocení úspěšnosti 10.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	50	100	
Riziko obce	42	50	
Liniové riziko	83	92	50
Plošné riziko	67	75	42

Obrázek 35: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 10.06.2024

Zobrazené tabulky (Obrázek 35) shrnují verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS pro události z 10. 06. 2024 ve dvou režimech hodnocení: se započtením tolerance ± 1 stupně nebezpečí a bez tolerance. Cílem bylo porovnat schopnost jednotlivých produktů (Radar/VIL, Riziko

obce, Liniové riziko, Plošné riziko) správně identifikovat prostor výskytu a míru nebezpečí přívalových povodní v aktuálním stavu, v předpovědi a ve statickém (časově invariantním) hodnocení. Režim s tolerancí je operativně relevantnější, protože preferuje včasné a prostorově správné zachycení ohrožených míst, zatímco přísnější hodnocení bez tolerance je vhodné pro interní benchmark a kalibraci modelů.

Nejvyšší spolehlivost v obou dimenzích (detekce i predikce) vykázal výstup Riziko obce. Se započtením tolerance dosáhl v aktuálním stavu i v předpovědi prakticky plné úspěšnosti (100 %) a nulové chybovosti, což potvrzuje, že tento výstup velmi dobře identifikuje, kde se dopady pravděpodobně budou koncentrovat. Bez tolerance však jeho úspěšnost klesá (cca 58 % u aktuálního stavu a 50 % u předpovědi), což naznačuje, že přesná kvantifikace stupně nebezpečí je náročnější než pouhé prostorové zacílení. Statické přístupy si vedly stabilně: statické plošné riziko dosáhlo s tolerancí přibližně 92 % a bez tolerance 58 %, statické liniové riziko pak zhruba 67 % a 50 %. Tyto výsledky ukazují, že statické mapy spolehlivě zachycují internistickou zranitelnost území (geomorfologie, odtokové koridory), i když logicky neposkytují informaci o okamžité intenzitě a načasování.

Dynamické Liniové riziko potvrdilo vysokou citlivost na polohové nepřesnosti. Zatímco s tolerancí dosahuje aktuální/predikční hodnocení kolem 58/50 %, bez tolerance klesá na přibližně 17/8 %. Tento propad je typický pro produkty, které pracují s úzkými koridory soustředěného odtoku: malá geolokační odchylka (desítky metrů), generalizace mapových podkladů či chybějící drobná odvodňovací infrastruktura (propustky, uliční žlaby) výrazně ovlivní metrický výsledek, i když praktický zásah by se v terénu zaměřil do stejného mikro-území. Radarový produkt VIL představuje slabší článek řetězce: v režimu s tolerancí je sice aktuální úspěšnost přijatelná ($\approx 83\%$), avšak předpovědní složka klesá ($\approx 42\%$), a bez tolerance je predikce prakticky nespolehlivá (0 %). Důvodem je systematické podhodnocování lokálních konvektivních jader a obtížné zachycení „train effect“ (řetězení srážek), případně radarové artefakty (attenuace, bright-band, orografické stínění) a časoprostorová agregace.

Z hydrologického hlediska z analýzy plyne, že pro operativní varování a řízení zásahů je nejefektivnější kombinovat Riziko obce (spolehlivá prostorová indikace ohrožených lokalit) se Statickým liniovým rizikem (pravděpodobné trasy koncentrovaného odtoku), přičemž je vhodné uplatnit polohovou toleranci a využít lokální znalost kritických prvků odvodnění.

Zásadním problémem byla vyšší míra chybných předpovědí u radarem odvozeného produktu VIL (Vertically Integrated Liquid), zejména ve formě podhodnocení (viz Obrázek 36):

Hodnocení úspěšnosti 10.6.2024	Míra PODHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	42	100	
Riziko obce	33	33	
Liniové riziko	83	92	33
Plošné riziko	67	67	25

Hodnocení úspěšnosti 10.6.2024	Míra NADHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	8	0	
Riziko obce	8	17	
Liniové riziko	0	0	17
Plošné riziko	0	8	17

Obrázek 36: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 10.06.2024

Analýza jasně ukazuje dominanci podhodnocení u srážkového vstupu VIL a u dynamických liniových výstupů, zejména v předpovědi. To se následně promítá do podhodnoceného odhadu dopadů v intravilánu. Naopak, Riziko obce dlouhodobě vykazuje nejnižší podíl podhodnocení a představuje nejspolehlivější operativní indikátor ohrožených lokalit; statické mapy (liniové i plošné) pak poskytují stabilní obraz internistické zranitelnosti území. Prakticky to znamená, že pro včasné a účinné varování je nejefektivnější kombinace „Riziko obce“ + „Statické liniové riziko“, doplněná o polohovou toleranci, lokální znalost odvodnění a kombinaci srážkových zdrojů. Tato integrovaná strategie redukuje podhodnocení konvektivních epizod, zlepšuje cílení zásahů IZS a podporuje racionální plánování preventivních opatření.

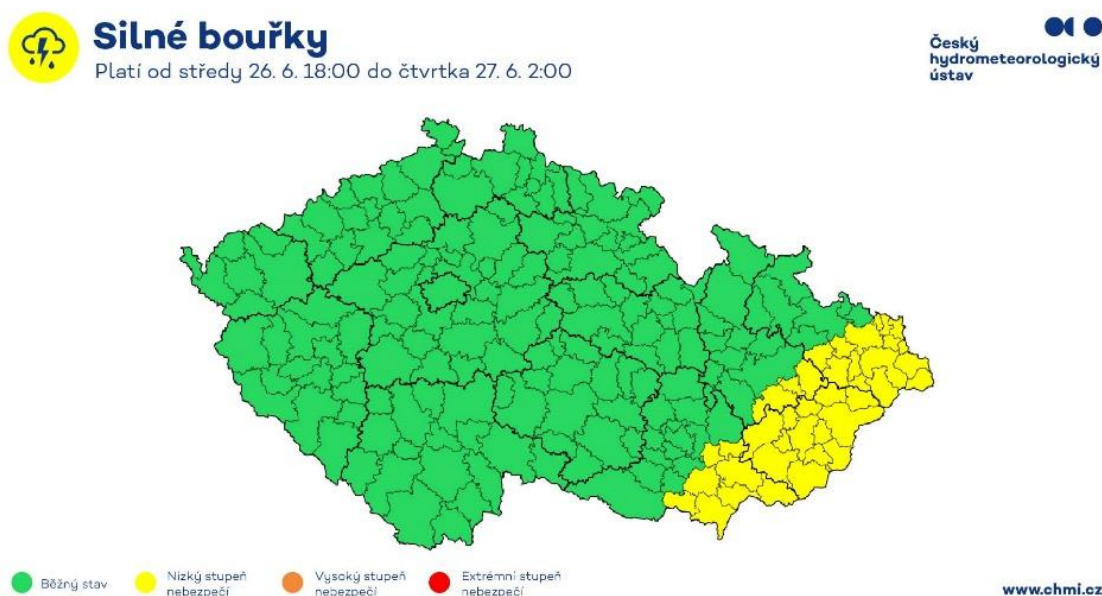
4.2. Povodňová událost ve Zlínském kraji - 26.06.2024

Lokální přívalové povodně se v jižních a východních oblastech Zlínského kraje vyskytly dne 10. června 2024. Hlavní příčinnou podmínkou jejich vzniku byly přívalové srážky spojené se zvlněnou studenou frontou od jihozápadu. Tyto srážky se projevíly v odpoledních hodinách nejprve v ORP Uherský Brod mezi 15:00 a 16:00 SELČ a následně v ORP Luhačovice a Valašské Klobouky mezi 16:00 a 17:00 SELČ. Na intenzitě a rozsahu lokálních přívalových povodní se kromě samotných srážek podílela také vysoká nasycenost půdy po předchozích srážkových epizodách, výrazná sklonitost svahů podporující rychlý přímý odtok srážek a vysoká míra urbanizace zasaženého území, zahrnující města Valašské Klobouky, Luhačovice a Hluk.

Následky přívalových povodní se projevíly v několika základních formách. Mezi nejvýznamnější patřilo zatopení obytných domů a sklepních prostor, dále zaplavení skladovacích ploch a komunikací. Na zemědělských pozemcích a zahradách došlo k tvorbě lagun a splavení povrchového bahna z okolních polí. Rovněž byly zaznamenány problémy v infrastruktuře, zejména ucpání propustků, mostků a kanalizačních systémů, které významně zhoršily odtok vod z postiženého území.

Atributy	Charakteristika
DATUM	26.06.2024
ČAS výskytu přívalových srážek	19-20:00 SELČ
Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	Valašské Meziříčí: železniční podjezd Choryně: místní část obce - Stráž
HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Valašské Meziříčí (30-40 mm/hod.) - Choryně - Stráž (20-30 mm/hod.)
VEDLEJŠÍ příčinné faktory	1. Vysoká nasycenost půdy 2. Vysoká míra urbanizace a betonových ploch
DOPADY přívalových povodní	Zatopené sklepy, zaplavené komunikace, laguny

Obrázek 37: Charakteristika povodňové události ze dne 26.06.2024



Obrázek 38: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 26.06.2024 [58]

Obrázek 38 uvádí výstrahu ČHMÚ – silné bouřky, 26. 6. (18:00) až 27. 6. (02:00). Žlutě vyznačené okresy jihovýchodní Moravy signalizují nízký stupeň nebezpečí se zvýšenou pravděpodobností krátkodobě intenzivních srážek, nárazů větru a ojedinělého krupobití. Prostorové zacílení na dolnomoravský a karpatský sektor odpovídá častému nočnímu scénáři s přísunem vlhkého vzduchu směrem od jihozápadu a jihu z Panonské pánve a orograficky zesílenou konvekcí.

4.2.1. Příčinné podmínky vzniku přívalové povodně

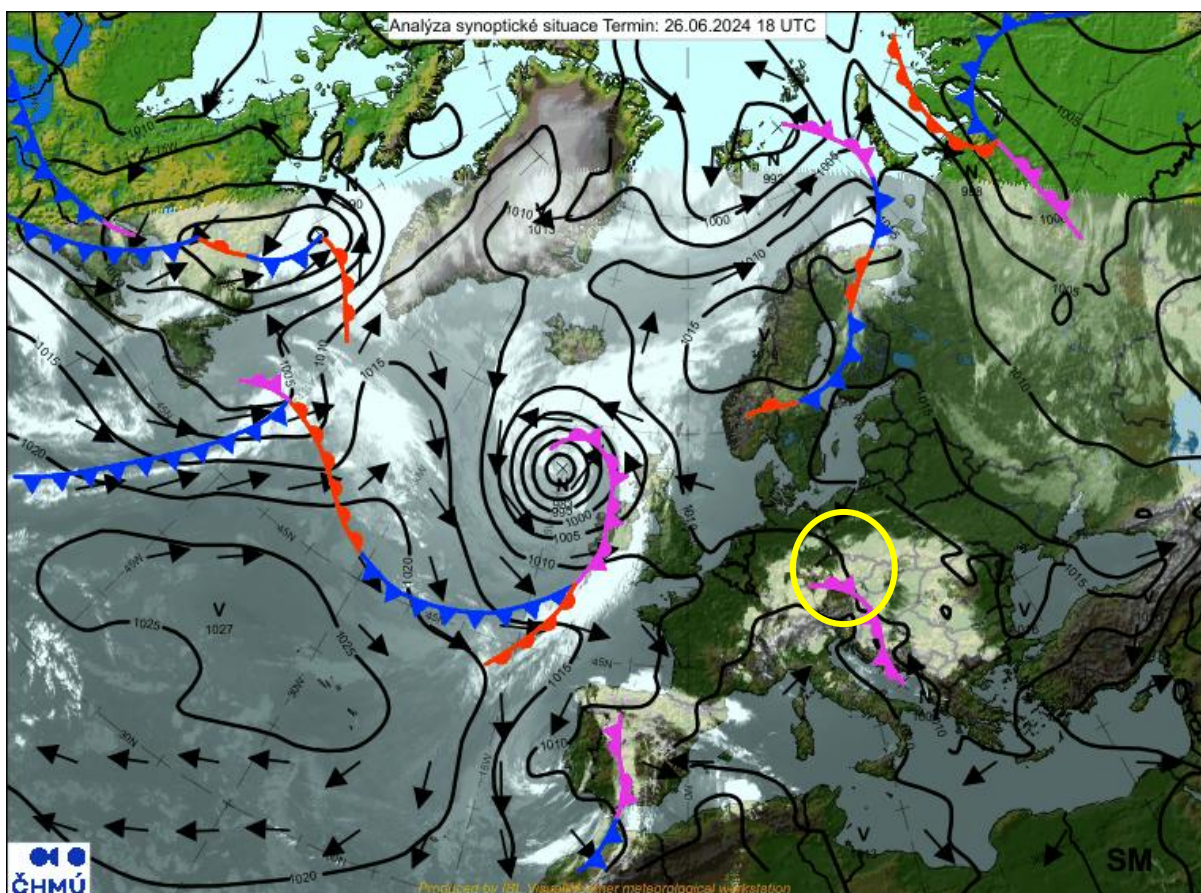
Meteorologické příčiny vzniku povodňové události dne 26.06.2024

Ze synoptického hlediska byla hlavní příčinou vzniku přívalových povodní ve Zlínském kraji dne 26. června 2024 teplá okluzní fronta spojená s mělkou oblastí nízkého tlaku

vzduchu, která se rozkládala nad západní, střední, východní a jihovýchodní Evropou. Tato mělká tlaková níže se začala formovat nad centrálním Středomořím již od 23. června 2024 a postupně se pomalu přesouvala na sever do oblasti střední Evropy. Pomalý postup byl podmíněn blokující polohou tlakové výše nad severní a severovýchodní Evropou, která inhibovala rychlejší posun níže směrem na sever a současně umožnila intenzivní prohřívání zemského povrchu nad střední Evropou.

Synoptické podmínky umožnily příliv velmi teplého a vlhkého vzduchu od jihovýchodu, typický pro tzv. jihovýchodní cyklonální situaci, což vytvořilo příznivé termodynamické, vlhkostní a dynamické podmínky pro vznik uspořádaných multicelárních konvekčních bouří. Tyto bouře ve večerních hodinách přinesly vysoké úhrny srážek, v okolí Valašského Meziříčí dosahující 30–40 mm za hodinu.

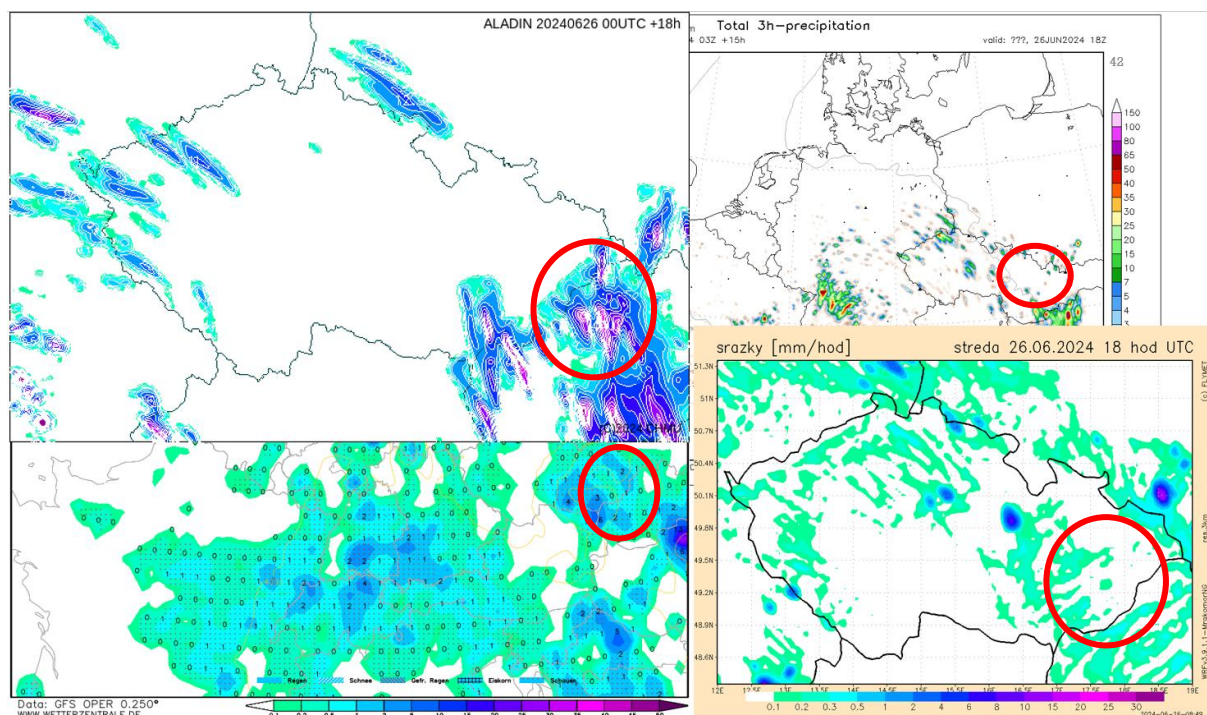
Dynamické podmínky rovněž hrály klíčovou roli. Rychlost větru od jihovýchodu činila 8 a více m/s ve všech hladinách atmosféry, přičemž ve vyšších hladinách (300 hPa, jet-stream) dosahovala až 16 m/s. Tento silný horizontální transport vzduchu způsoboval rychlý pohyb srážkových systémů, čímž nedošlo k akumulaci extrémního množství srážek na malém prostoru. Výsledkem byly prostorově omezené, avšak intenzivní přívalové povodně, zasahující pouze dvě lokality, zatímco rozsáhlejší škody byly díky rychlému přesunu konvekce zabráněny.



Obrázek 39: Aktuální synoptická situace ze dne 26.06.2024 v 12 UTC [50]

Předpovědní výstupy numerických modelů

Numerické modely předpovědi počasí, konkrétně regionální model ALADIN (rozlišení 0,02°), WRF ARW (0,04°), WRF NMM (0,03°) a globální model GFS (0,13°), předpověděly s dvanáctihodinovým předstihem výskyt frontálních srážek na severním okraji teplé okluzní fronty v intervalu mezi 18. a 21. hodinou UTC.



Obrázek 40: Výstupy NWP modelů ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 18-21 UTC [51], [52], [53], [54]

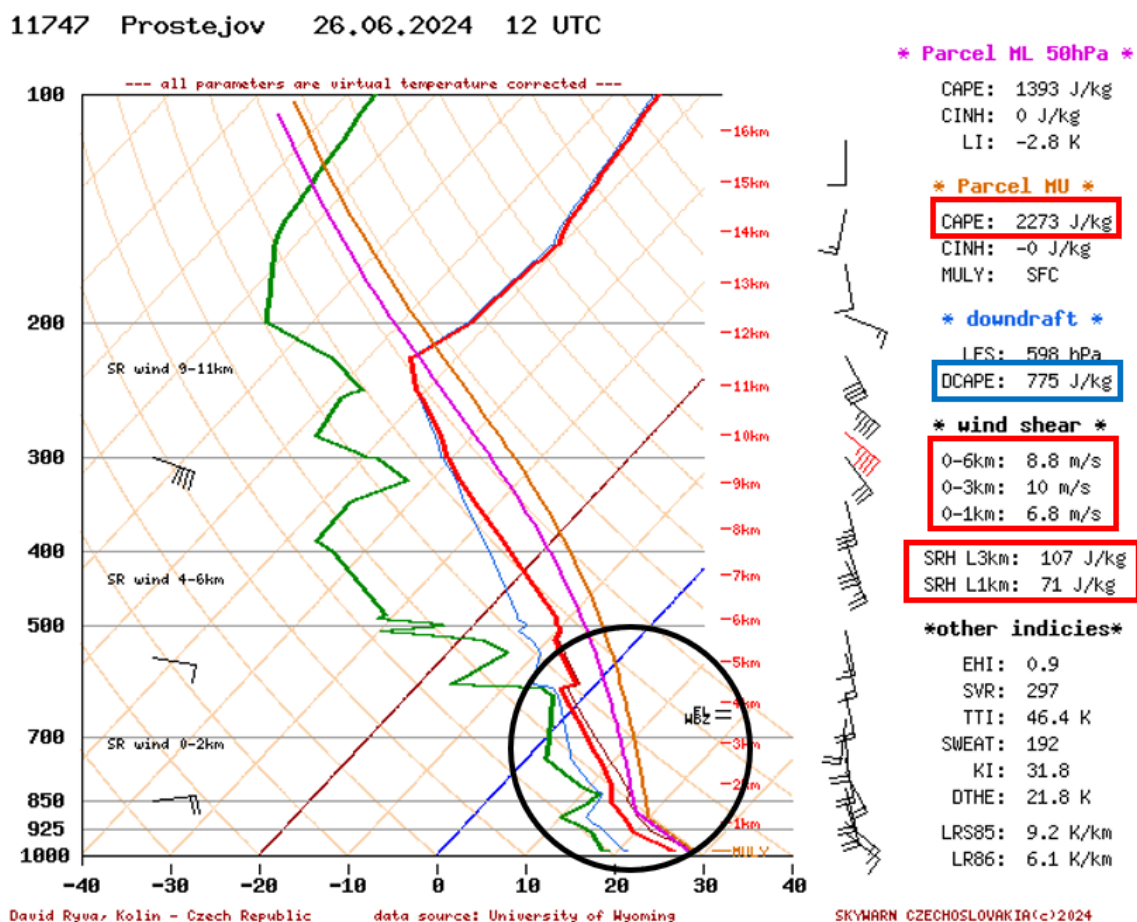
Porovnání výstupů numerických modelů ALADIN, WRF (ARW a NMM) a GFS (Obrázek 40) pro období kolem 18:00 UTC dne 26. června 2024 ukazuje výrazné rozdíly v přesnosti předpovědi konvektivních srážek nad Zlínským krajem. Model ALADIN vykázal nejvyšší schopnost zachytit prostorové rozložení srážek, přestože časová fáze byla mírně posunuta – nejintenzivnější srážky se ve skutečnosti vyskytly již mezi 17:00 a 18:00 UTC, nejprve ve východních, následně v severních a severozápadních částech regionu. Modely WRF ARW a WRF NMM naopak srážky výrazně podhodnotily, případně je nepředpověděly vůbec, což poukazuje na omezenou schopnost těchto konfigurací simulovat lokální konvekční procesy v komplexním synoptickém prostředí. Model GFS sice indikoval srážky pro sledovanou oblast, avšak jejich intenzita byla z hlediska skutečných úhrnů nedostatečná, což je typické pro jeho hrubší horizontální rozlišení.

Výstupy z měřicích meteorologických systémů

V této části nejprve představíme výstupy z aerologického měření vertikální struktury atmosféry v souvislosti se vznikem uspořádané multicelární konvektivní bouře. Ve druhé části budou prezentována data ze sumarizačních měření srážek za období 1, 3 a 24 hodin.

Aerologické měření atmosféry

Výstup z aerologického měření v Prostějově dne 26.06.2024 z 12 UTC nám dokumentuje podmínky na teplé okluzní frontě pro oblast východní Moravy na Obrázku 41:



Obrázek 41: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 26.06. 2024 v 12 UTC [55]

Hlavními podmínkami vzniku multicelární liniové bouře mezi 17:00 a 18:00 UTC byly středně příznivé vlhkostní poměry ve výškových hladinách do přibližně 600 hPa (okolo 80 % relativní vlhkosti) v kombinaci s výrazným stříhem větru, zejména ve středních a nízkých hladinách, kde dosahoval hodnot 7–10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nižší vlhkostní parametry a stříh větru byly kompenzovány velmi příznivými teplotními podmínkami pro večerní období, charakterizovanými vysokými hodnotami MUCAPE ($2273 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$), typickými pro teplou, výrazně instabilní vzduchovou hmotu. Takto vysoké hodnoty MUCAPE v kombinaci s dostatečnou vlhkostí a stříhem větru v nižších hladinách, doplněné rychlostí větru 16 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ v hladině 300 hPa, vytvářely ideální podmínky pro vznik silných multicelárních konvekčních bouří. Kombinace těchto faktorů potvrzuje vysoký potenciál pro vznik multicelárních bouří doprovázených silnými nárazy větru a lokálními přívalovými srážkami.

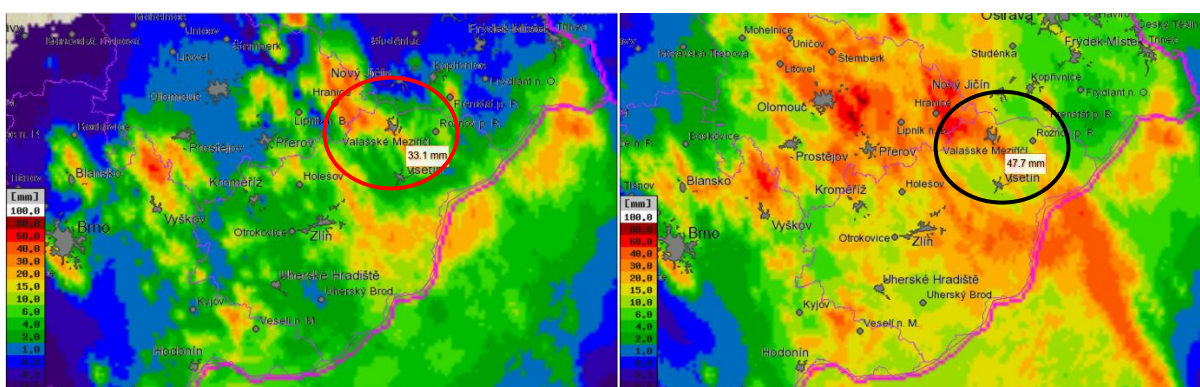
Vyšší rychlost proudění ve všech hladinách atmosféry paradoxně vedla k nižším srážkovým úhrnům, maximálně kolem $30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, což však i tak představuje dostatečný potenciál pro vznik lokálních přívalových povodní. Nelze opomenout ani hodnoty DCAPE ($775 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$) zjištěné ze sondážního měření, které v kombinaci s vyšším stříhem větru ve

středních a nízkých hladinách a výskytem relativní helicity nad $100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ signalizují příznivý potenciál pro vznik silných nárazů větru na čele konvekční bouře.

Radarové sumarizační měření srážek

1hodinová a 3hodinová sumace radarového měření srážek

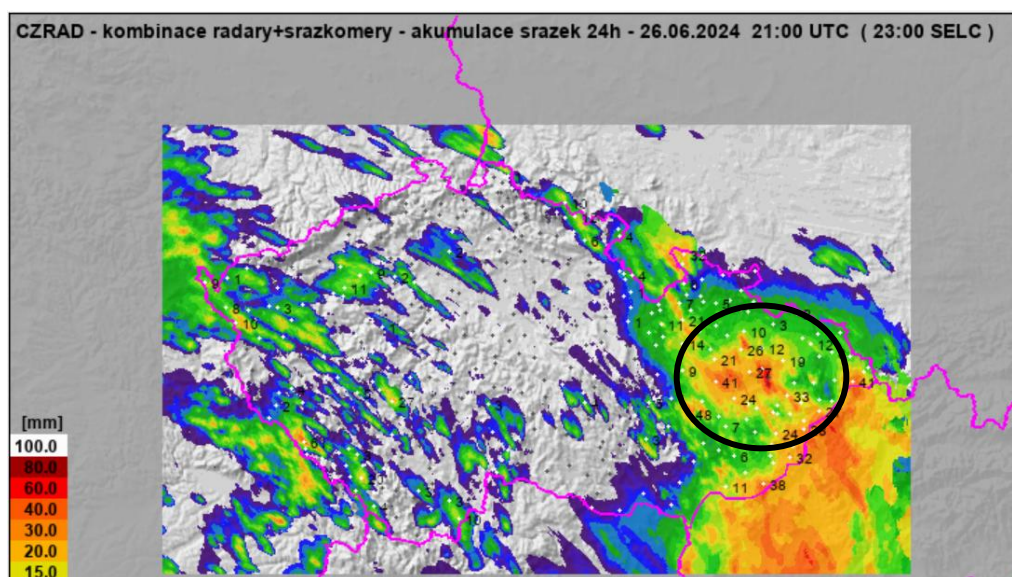
Na základě jednohodinové sumace srážek zaznamenané meteorologickým radarem (viz Obrázek 42 vlevo) lze konstatovat, že nejintenzivnější srážky se vyskytly mezi 18:00 a 19:00 SELČ (tj. 17:00 UTC). Tyto srážky byly soustředěny především do pásu sahajícího od severní části Vsetína přes Valašské Meziříčí až po města Hranice a Nový Jičín. V uvedené oblasti byly zaznamenány úhrny přesahující $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$, což představuje významný potenciál pro vznik lokálních přívalových povodní.



Obrázek 42: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 16-17 UTC (vlevo) a 3hodinová sumace 14-17 UTC (vpravo) [56]

Tříhodinová sumace srážek dokumentuje celkové množství spadlých srážek mezi 16:00 a 19:00 SELČ (14:00–17:00 UTC) v severozápadní části Zlínského kraje. V této oblasti byly zaznamenány úhrny v rozmezí 40–70 mm, což představuje výrazně nadprůměrné hodnoty typické pro intenzivní konvektivní bouře s multicelární strukturou.

24hodinová sumace radarového měření srážek



Obrázek 43: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 26.06.2024 [56]

Z Obrázku 43 je patrné denní množství srážek zaznamenané meteorologickými radary dne 26. června 2024. Nejvyšší úhrny byly naměřeny mimo území Zlínského kraje, zejména v okolí měst Hranice a Nový Jičín, kde dosáhly až 80 mm za 24 hodin. Ve Zlínském kraji byly nejvíce zasažené oblasti v okolí Valašského Meziříčí s úhrny do 50 mm, zatímco na krajním východě, v horských oblastech Javorníků a Velkých Karlovic, spadlo přibližně do 30 mm. V těchto horských lokalitách se však vzhledem k nižší míře urbanizace a vysokému podílu zalesněného území nevyskytly žádné zaznamenané přívalové povodně.

Ostatní příčiny vzniku povodňové události dne 26.06.2024

Ostatní (vedlejší) příčinné podmínky jsou zvýrazněny tučně obdélníkem na Obrázku 44:

Rok	Město	Adresa	Popis události	Stupeň závažnosti	Datum	Trvání v čase (hodiny)	Počet srážek za hodinu	Dopady	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
2024	Valašské Meziříčí	Sokolská II/150	voda na silnici, tvoří se laguna	2	26.06.2024	19:01-19:50	30 až 40 mm	zaplavení komunikace	3	2	0	3
2024	Choryně	Choryně 160	voda v garáži a laguna před domem a na dvoře	2	26.06.2024	19:14-20:28	20 až 30 mm	zaplavení sklepů bytových domů, zaplavení soukromého pozemku	2	2	0	1

Obrázek 44: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 26.06.2024

Kromě jednohodinových srážkových úhrnů přesahujících 30 mm se jako klíčové faktory vzniku přívalové povodně dne 26. června 2024 ukázaly zejména vyšší míra nasycenosti půdy a výrazná urbanizace v okolí města Valašského Meziříčí. Velký podíl zastavěných ploch významně snížil infiltrační schopnost povrchu, což vedlo k rychlému povrchovému odtoku. Paradoxně i relativně rovinný charakter zasaženého území přispěl ke kumulaci srážkové vody, čímž se zvýšilo riziko vzniku lokálních povodní.

4.2.2. Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS pro 26.06.2024

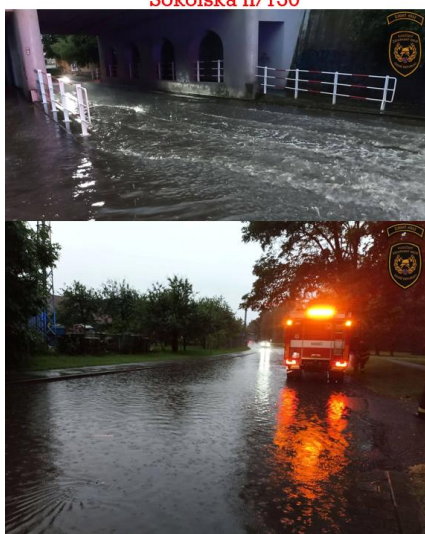
Povodňové události jsou verifikovány pro tyto lokality na základě srážkových epizod:

1. Valašské Meziříčí

Ve Valašském Meziříčí došlo k lokální přívalové povodni na ulici Sokolská (silnice II/150) v podjezdu pod železničním mostem. Jedním z hlavních faktorů vzniku povodně byla nedostatečná kapacita kanalizačního systému, který nebyl schopen odvést nahromaděnou vodu z komunikace a z prostoru podjezdu, kde se voda kumulovala z širšího okolí.

1. Valašské Meziříčí

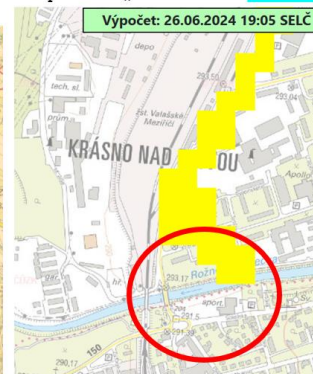
Sokolská II/150



Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
2024	26.06.2024	19:05	Valašské Meziříčí	Sokolská II/150	2	1	PREDIKCE riziko obce
					2	1	PREDIKCE liniové riziko
					2		STATICKE liniové riziko

Aktuální „Riziko obce“

Předpovídané „Liniové riziko“ 50 x 80 m



Obrázek 45: Verifikace výstupu Aktuálního rizika obce a předpovídaného liniového rizika ve Valašském Meziříčí (podjezd na ulici Sokolská, silnice II/150) [48], [57]

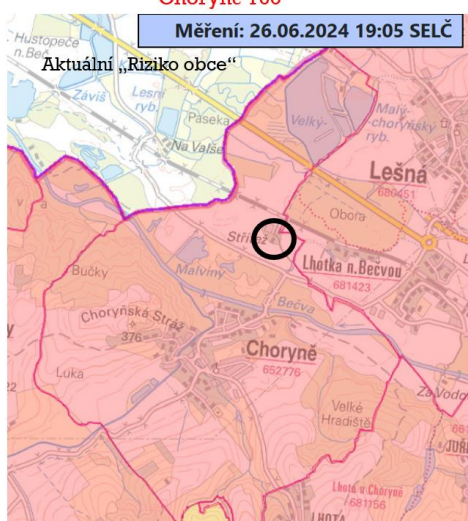
Podle verifikace výstupů této události z Obrázku 45 vyplývá, že aktuální hodnocení Rizika obce a předpověď Liniového rizika byly mírně podhodnocené. Liniové riziko bylo vypočteno pro území Valašského Meziříčí, avšak jeho prostorová přesnost nekorespondovala zcela s místem výskytu povodně. Stejný problém se týkal i Statického liniového rizika. Nejvyšší míru shody vykazovalo aktuální i předpovědní Riziko obce, které správně identifikovalo vysoké riziko přívalových povodní, ovšem plošně pro celé město.

2. Střítež (Choryně)

Situace v obecní části Střítež (Choryně) byla ještě komplikovanější, neboť došlo k velmi lokálnímu zatopení sklepů rodinných domů.

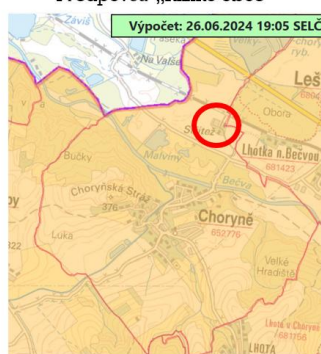
2. Choryně

Choryně 160



Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
2024	26.06.2024	19:05	Choryně	Choryně 160	2	3	AKTUAL Riziko obce
					2	2	PREDIKCE Riziko obce

Předpověď „Riziko obce“



Obrázek 46: Verifikace výstupu Aktuálního a předpovídaného rizika obce pro lokalitu Choryně 160 (Střítež) [48]

Pro tuto lokalitu nebylo liniové riziko ve všech variantách vůbec vypočteno, což poukazuje na limity prostorové přesnosti modelu. Nejpresnějším výstupem se ukázalo hodnocení Rizika obce, zejména jeho předpovědní varianta, která nejlépe odhadla stupeň nebezpečí přívalových povodní podle Obrázku 46.

4.2.3. Výsledky verifikace přívalové povodně ze dne 26.06.2024

Nejprve jsou uvedeny výsledky verifikace zaměřené na míru úspěšných/chybných měření a předpovědních výstupů aplikace FLAPRIS pro 26.06.2024:

Hodnocení úspěšnosti 26.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +/- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICÉ RIZIKO
Radar Holešov	50	50	
Riziko obce	100	100	
Liniové riziko	50	50	0
Plošné riziko	100	100	100

Hodnocení úspěšnosti 26.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICÉ RIZIKO
Radar Holešov	0	0	
Riziko obce	0	100	
Liniové riziko	0	0	0
Plošné riziko	100	100	50

Hodnocení úspěšnosti 26.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +/- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICÉ RIZIKO
Radar Holešov	50	50	
Riziko obce	0	0	
Liniové riziko	50	50	100
Plošné riziko	0	0	0

Hodnocení úspěšnosti 26.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICÉ RIZIKO
Radar Holešov	100	100	
Riziko obce	100	0	
Liniové riziko	100	100	100
Plošné riziko	0	0	50

Obrázek 47: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 26.06.2024

Analýza úspěšnosti predikčních modelů zobrazená na Obrázku 47 ukazuje výrazné rozdíly mezi jednotlivými typy výstupů při hodnocení rizika přívalových povodní dne 26. června 2024. Hodnocení bylo provedeno ve dvou režimech – s tolerancí ($\pm$ stupeň nebezpečí) a bez tolerance.

Nejvyšší míru úspěšnosti vykazovalo Riziko obce v předpovědním režimu (100 %), což potvrzuje jeho schopnost plošně identifikovat ohrožené oblasti. Naopak v aktuálním stavu byla úspěšnost nulová, což naznačuje, že tento model je vhodnější pro predikci než pro okamžitou verifikaci. Plošné riziko dosahovalo vysoké úspěšnosti jak v aktuálním stavu, tak v předpovědi (100 %), což ukazuje na jeho stabilní výkon při plošné identifikaci rizikových zón. Liniové riziko vykazovalo nízkou úspěšnost (50 % s tolerancí, 0 % bez tolerance), což potvrzuje jeho omezenou schopnost přesně lokalizovat riziko na úrovni komunikací a liniových prvků. Radar Holešov dosáhl pouze 50% úspěšnosti s tolerancí, což ukazuje na limity samotného radarového měření pro detailní predikci povodňového rizika.

Z pohledu chybovosti se nejvyšší hodnoty bez tolerance objevily u Rizika obce v aktuálním stavu (100 %), což je dáno plošným charakterem hodnocení, které nezachycuje lokální specifika. Vysokou chybovost vykazovalo také liniové riziko a radarová data, což potvrzuje nutnost kombinace více zdrojů informací pro přesnější predikci.

Výsledky ukazují, že plošné modely (Riziko obce, Plošné riziko) jsou vhodné pro strategické hodnocení rizika na úrovni obcí, zatímco liniové modely vyžadují další optimalizaci pro přesnější lokalizaci ohrožených míst. Doporučuje se integrace radarových dat s predikčními modely, zohlednění urbanizačních faktorů a kapacity

odvodňovací infrastruktury v liniových modelech a rozšíření verifikačních metod o kombinaci terénních dat a hydrologických simulací.

Zásadní byla míra chybných předpovědí u produktu VIL, zejména v podobě podhodnocených předpovědí u tohoto produktu (Obrázek 48):

Hodnocení úspěšnosti 26.6.2024	Míra PODHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	100	100	
Riziko obce	0	33	
Liniové riziko	100	100	100
Plošné riziko	0	0	0

Hodnocení úspěšnosti 26.6.2024	Míra NADHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	0	0	
Riziko obce	100	0	
Liniové riziko	0	0	0
Plošné riziko	0	0	50

Obrázek 48: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 26.06.2024

Výsledky verifikace výstupů FLAPRIS na Obrázku 48 ukazují míru podhodnocených a nadhodnocených měření a předpovědí pro různé modelové výstupy při hodnocení rizika přívalových povodní dne 26. června 2024. Výsledky potvrzují výrazné rozdíly mezi jednotlivými přístupy.

Radarová data z Holešova vykazovala extrémní míru podhodnocení (100 %) jak v aktuálním stavu, tak v předpovědi, což dokládá omezenou schopnost samotného radarového měření zachytit intenzitu srážek vedoucích k povodním. Liniové riziko vykazovalo podobně vysokou míru podhodnocení (100 %) ve všech režimech, což potvrzuje jeho nízkou spolehlivost při lokalizaci ohrožených míst na úrovni komunikací. Naproti tomu plošné riziko nevykazovalo žádné podhodnocení, což ukazuje na jeho stabilní výkon při plošné identifikaci ohrožených oblastí. Riziko obce bylo v aktuálním stavu přesné (0 % podhodnocení), avšak v předpovědi dosahovalo 33 %, což naznačuje tendenci mírně podhodnocovat riziko v predikčním režimu.

Z hlediska nadhodnocení se nejvyšší hodnota objevila u Rizika obce v aktuálním stavu (100 %), což znamená, že model plošně přisuzoval vyšší riziko, než jaké se reálně vyskytlo. Tento konzervativní přístup sice zvyšuje bezpečnostní rezervu, ale může vést k přeceňování ohrožených oblastí. Statické riziko vykazovalo 50 % nadhodnocení, což naznačuje, že dlouhodobé hodnocení nemusí vždy odpovídat aktuálním podmínkám.

Ostatní modely (Radar Holešov, Liniové riziko, Plošné riziko) nevykazovaly nadhodnocení, což potvrzuje jejich spíše podhodnocující charakter.

Celkově lze konstatovat, že plošné modely (Riziko obce, Plošné riziko) jsou vhodné pro strategické hodnocení rizika na úrovni obcí, zatímco liniové modely vyžadují zásadní optimalizaci pro přesnější lokalizaci ohrožených míst. Doporučuje se kombinace radarových dat s dynamickými predikčními modely, zohlednění urbanizačních faktorů a využití adaptivních algoritmů pro korekci podhodnocení a nadhodnocení.

4.3. Povodňová událost ve Zlínském kraji - 28.06.2024

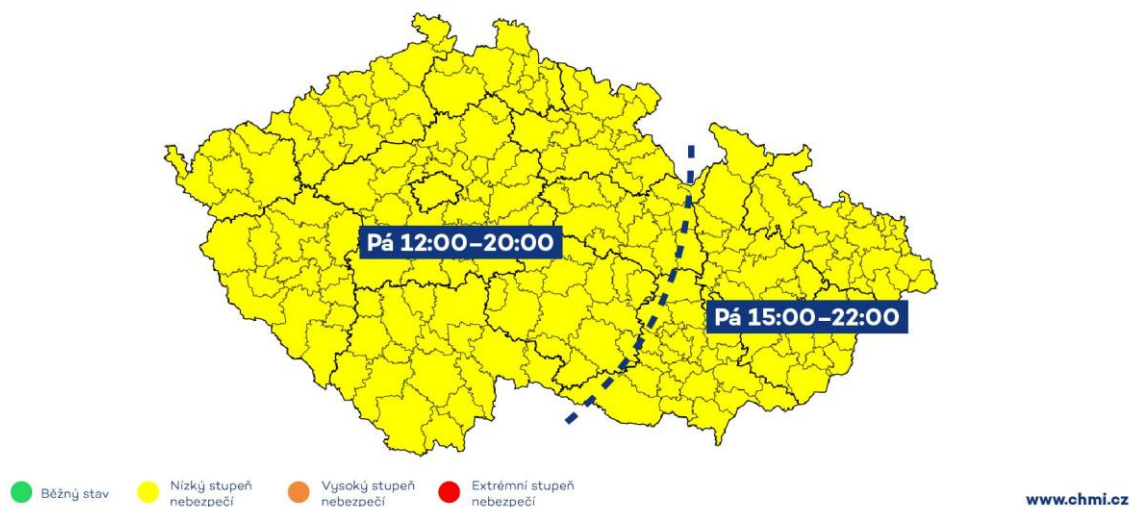
Lokální přívalové povodně se vyskytly v severovýchodní části Zlínského kraje dne 28. června 2024. Přívalové deště, představující hlavní příčinný faktor vzniku těchto povodní, byly vázány na zvlněnou studenou frontu postupující od jihozápadu, která se projevila v odpoledních hodinách na území správního obvodu obce s rozšířenou působností (ORP) Rožnov pod Radhoštěm. Nejintenzivnější srážková činnost byla zaznamenána mezi 14. a 15. hodinou SELČ, přičemž srážková aktivita následně doznívala přibližně do 16. hodiny SELČ.

Na vzniku lokálních přívalových povodní se kromě intenzivních konvektivních srážek podílela také vysoká míra urbanizace zasaženého území (zejména města Rožnova pod Radhoštěm a obce Dolní Bečva), zvýšená nasycenost půdního profilu po předchozích srážkových epizodách a výraznější sklonitost svahů v okrajových částech Rožnova pod Radhoštěm, která napomohla rychlejšímu povrchovému odtoku srážkové vody.

Následky přívalových povodní se projevily především zaplavením místních komunikací, způsobeným ucpáním propustků a úseků se zúženým průtokovým profilem, kde odtok vody znemožňovalo nahromaděné bahno a splaveniny. V několika případech došlo rovněž k zaplavení sklepních prostor rodinných domů, což představovalo typický doprovodný jev obdobných lokálních událostí.

Atributy	Charakteristika
DATUM	28.06.2024
ČAS výskytu přívalových srážek	14-15:00 SELČ (nejsilnější srážky) 15-16:00 SELČ (slabší, doznívající srážky)
Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	• Rožnov p. Radhoštěm • Dolní Bečva
HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Rožnov p. Radhoštěm (20-30 mm/hod.) - Dolní Bečva (10 až 20 mm/hod.)
VEDLEJŠÍ příčinné faktory	1. Vysoká míra urbanizace a betonových ploch 2. Vysoká nasycenost půdy 3. Významná sklonitost svahů
DOPADY přívalových povodní	Zatopené domy, zaplavené komunikace

Obrázek 49: Charakteristika povodňové události ze dne 28.06.2024



Obrázek 50: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 28.06.2024 [58]

Pro povodňovou situaci ze dne 28.06.2024 byly ČHMÚ vydány výstrahy na silné bouřky nejprve pro Čechy a Vysočinu od 12-20:00 a následně pro Moravu a Slezsko od 15-22:00 na základě přechodu frontálního systému od západu na východ. Tento stupeň výstrahy indikuje možnost vzniku povodňových škod způsobených přívalovými srážkami nad 30 mm/h., krup, silných nárazů větru do 20 m/s a zvýšenou bleskovou aktivitou.

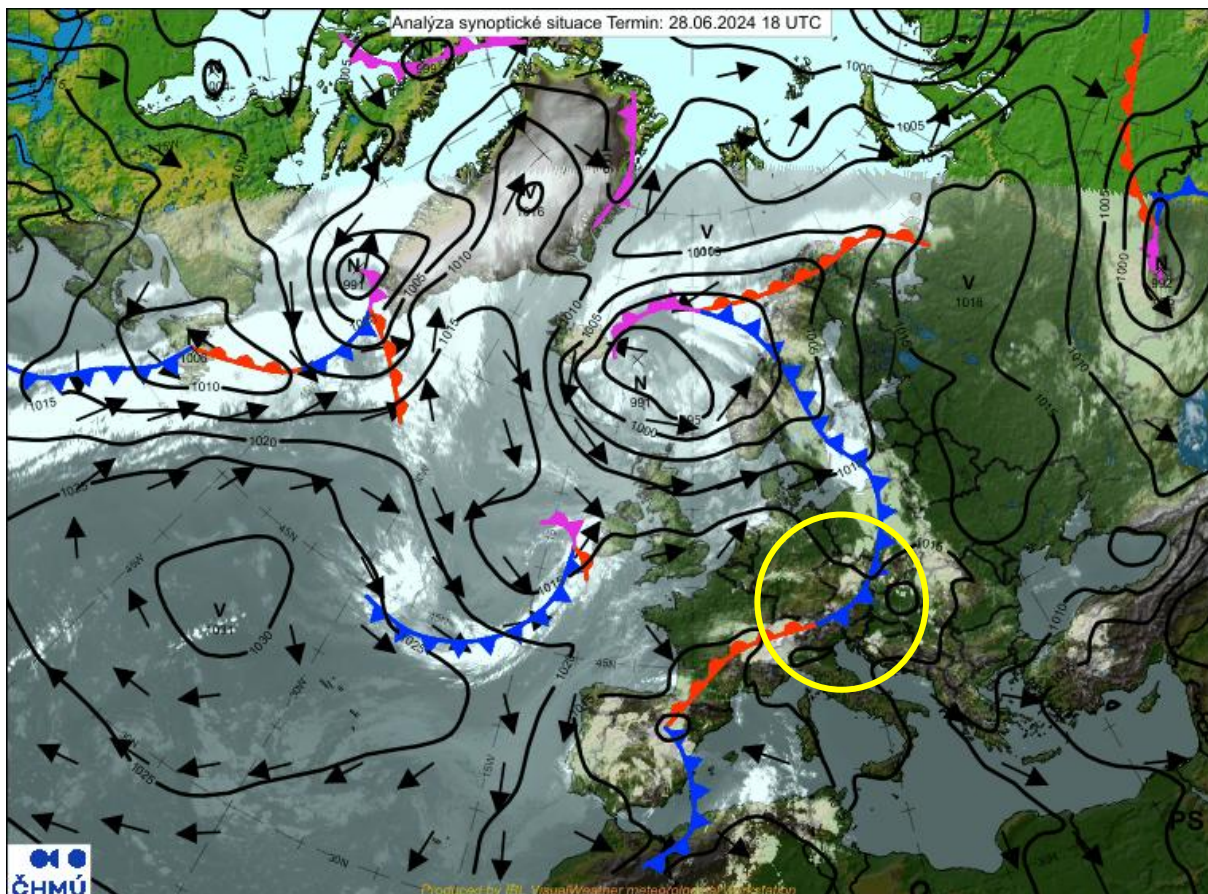
4.3.1. Příčinné podmínky vzniku přívalové povodně

Meteorologické příčiny vzniku povodňové události dne 28.06.2024

Ze synoptického hlediska byla hlavní příčinou vzniku přívalových povodní ve Zlínském kraji dne 28. června 2024 zvlněná studená fronta, spojená s rozsáhlou oblastí nízkého tlaku vzduchu zasahující nad severní, jižní a jihozápadní Evropu. Tato tlaková níže se začala formovat nad centrálním Středomořím již dne 23. června 2024 a následně se pomalu přesouvala směrem k severu do oblasti střední Evropy. V jejím důsledku se již 26. června 2024 vyskytly lokální přívalové povodně na území ORP Valašské Meziříčí.

Vývoj situace byl dále ovlivněn příznivou polohou tlakové výše nad východním Atlantikem a zároveň nad severovýchodní a východní Evropou, která blokovala západní zonální proudění a zpomalovala proces vyplňování tlakové níže nad severní Evropou.

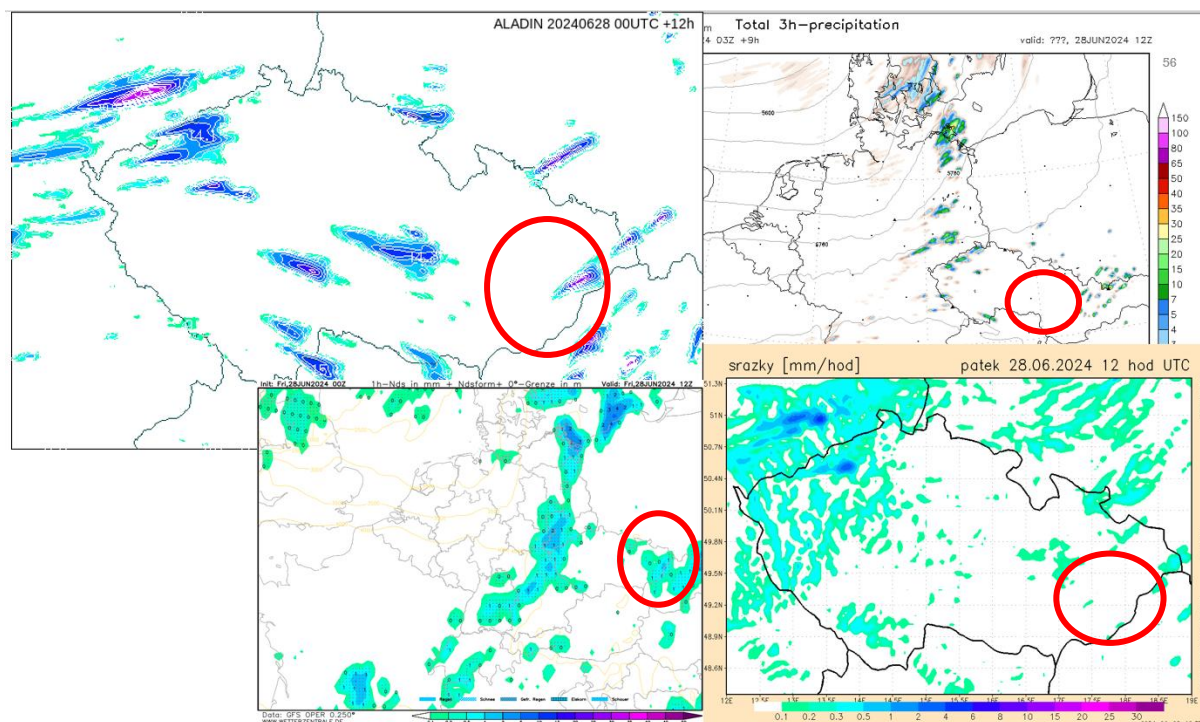
V důsledku této synoptické konfigurace začal do střední Evropy pronikat velmi teplý a vlhký vzduch od jihozápadu, a to v brázdě nízkého tlaku vzduchu. Tím se vytvořily velmi příznivé teplotní, vlhkostní a větrné podmínky v nižších i středních vrstvách atmosféry pro rozvoj organizovaných multicelárních konvekčních bouří. Tyto bouře se v odpoledních hodinách projeví intenzivní srážkovou činností, kdy byly na území okolí Rožnova pod Radhoštěm zaznamenány srážkové úhrny v rozmezí 20 až 30 mm za hodinu.



Obrázek 51: Aktuální synoptická situace ze dne 28.06.2024 v 18 UTC [50]

Předpovědní výstupy numerických modelů

Numerické modely předpovědi počasí, konkrétně regionální modely ALADIN (s horizontálním rozlišením $0,02^\circ$), WRF-ARW ($0,04^\circ$) a WRF-NMM ($0,03^\circ$), doplněné o globální model GFS ($0,13^\circ$), předpovídaly s dvanáctihodinovým předstihem výskyt frontálních srážek na západním okraji zvlněné studené fronty v časovém intervalu mezi 12:00 a 15:00 UTC.



Obrázek 52: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 12-15 UTC [51], [52], [53], [54]

Na základě Obrázku 52, numerický model ALADIN vykázal nejvyšší přesnost při predikci prostorového rozložení srážek po 12:00 UTC, a to přímo pro oblast ORP Rožnov pod Radhoštěm. Model správně indikoval intenzitu srážek přesahující 30 mm za tři hodiny, což odpovídá charakteru přívalových srážek spojených s konvekčními bouřkami.

V porovnání s modelem ALADIN vykázaly modely WRF ARW a WRF NMM výrazné podhodnocení předpovídaných srážkových úhrnů, případně srážky pro danou oblast nepředpověděly vůbec. Model GFS sice predikoval výskyt srážek v zasažené oblasti, avšak jejich množství bylo z hlediska skutečných úhrnů značně podhodnoceno.

Tato analýza potvrzuje, že model ALADIN, optimalizovaný pro středoevropské podmínky, poskytuje vyšší spolehlivost při krátkodobé předpovědi konvekčních srážek než globální modely (GFS) či regionální varianty WRF. Přesná predikce intenzity srážek je klíčová pro včasné vydávání výstrah a minimalizaci škod způsobených přívalovými dešti, zejména v horských oblastech s vysokým povodňovým rizikem.

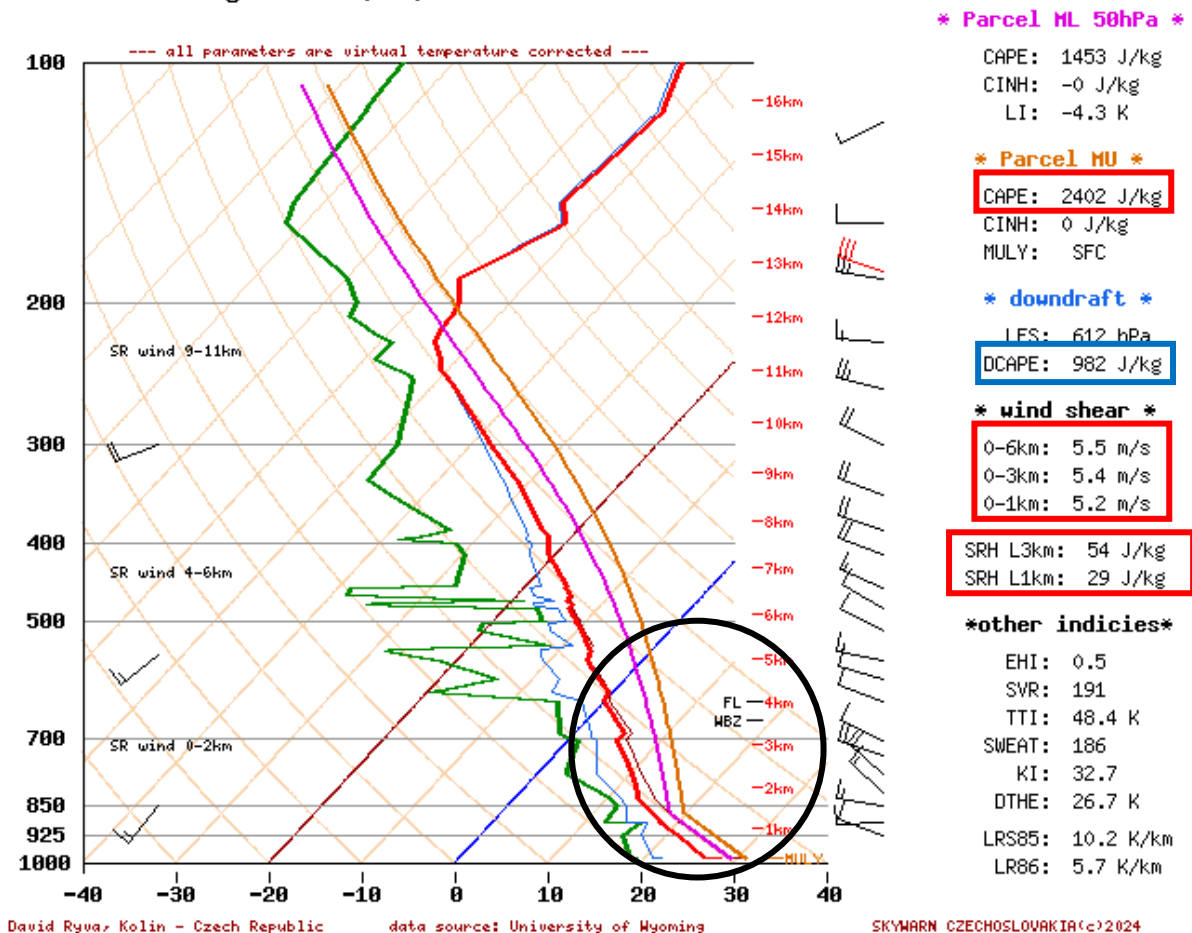
Analýza výstupů z měřících meteorologických systémů

V této kapitole jsou nejprve představeny výsledky aerologických měření zaměřených na vertikální strukturu atmosféry v souvislosti se vznikem multicelárně uspořádané konvektivní bouře.

V následující části jsou poté analyzována data ze sumarizačních měření úhrnů srážek za 1, 3 a 24 hodin, která poskytují podrobnější charakteristiku srážkové činnosti během sledovaného období.

Aerologické měření provedené v Prostějově dne 28. června 2024 ve 12:00 UTC dokumentuje atmosférické podmínky na teplé okluzní frontě pro oblast východní Moravy (viz. Obrázek 53):

11747 Prostejov 28.06.2024 12 UTC



Obrázek 53: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 28.06. 2024 v 12 UTC [55]

Hlavními podmínkami vzniku multiceleární bouře mezi 12:00 a 14:00 UTC byly středně příznivé vlhkostní poměry ve výškových hladinách do přibližně 600 hPa, dosahující relativní vlhkosti kolem 80 %, v kombinaci s velmi příznivými termodynamickými podmínkami charakterizovanými hodnotou MLCAPE až $1\,453\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ potvrzující vysoký potenciál tvorby konvektivních bouří. Tyto podmínky byly doplněny nepřliš výrazným stříhem větru v jednotlivých hladinách, zejména ve středních a nízkých vrstvách troposféry, kde rychlost stříhu dosahovala hodnot $5\text{--}6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto hodnoty představují poměrně nízký potenciál pro vznik organizovaných konvekčních systémů, avšak dostatečné pro vznik multiceleárních konvekčních systémů při vysoké vlhkosti vzduchu.

Ačkoli sondážní měření neindikovalo na první pohled výrazně příznivé podmínky stříhu větru, hlavní příčinou vzniku lokálních přívalemých srážek byl proces známý jako „backbuilding“⁷. V daném případě byl tento proces podpořen vysokou vlhkostí vzduchu a

⁷ **Backbuilding** v meteorologii je proces, při kterém se vytvářejí a obnovují konvektivní buňky na zadní straně již existujících konvekčních bouří (struktury), zatímco přední část postupuje dál. Tento proces je dán kombinací vysoké

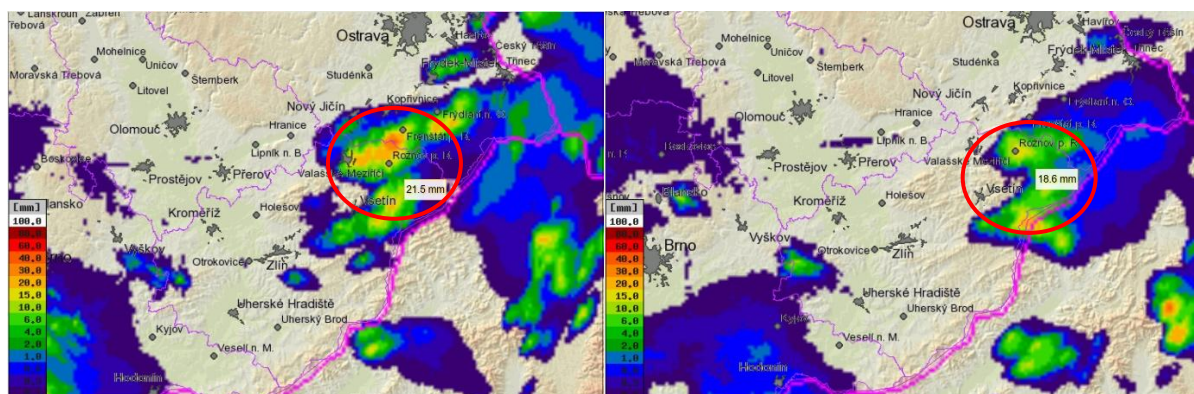
pravděpodobně i orografickými podmínkami návětrné strany Moravskoslezských Beskyd, které vytvořily lokálně příznivé stříhové poměry. Tyto podmínky umožnily udržení bouřkového komplexu po dobu přibližně 90 minut, což vedlo k intenzivním srážkám.

Dalším faktorem mohly být příznivé stříhové podmínky v oblasti Alp, které ovlivnily dynamiku proudění ve vyšších hladinách. V důsledku rychlého postupu zvlněné studené fronty od západu však srážky postupně slábly na intenzity kolem $10\text{--}15\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, což se projevilo tím způsobem, že frontální systém postupně slábl a na mnoha místech ve Zlínském kraji se nevyskytovaly téměř žádné srážky.

Radarové sumarizační měření srážek

1hodinová sumace radarového měření srážek

Na základě jednohodinové sumace srážek z meteorologického radaru (Obrázek 54) lze konstatovat, že nejintenzivnější srážky se vyskytovaly mezi 14:00 a 15:00 SELČ (13 UTC). Tyto srážky byly lokalizovány především na severním okraji Zlínského kraje, v oblasti návětrí Moravskoslezských Beskyd. Naměřené úhrny dosahovaly hodnot 20 až 30 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, což odpovídá charakteru přívalových srážek typických pro konvekční bouřky.



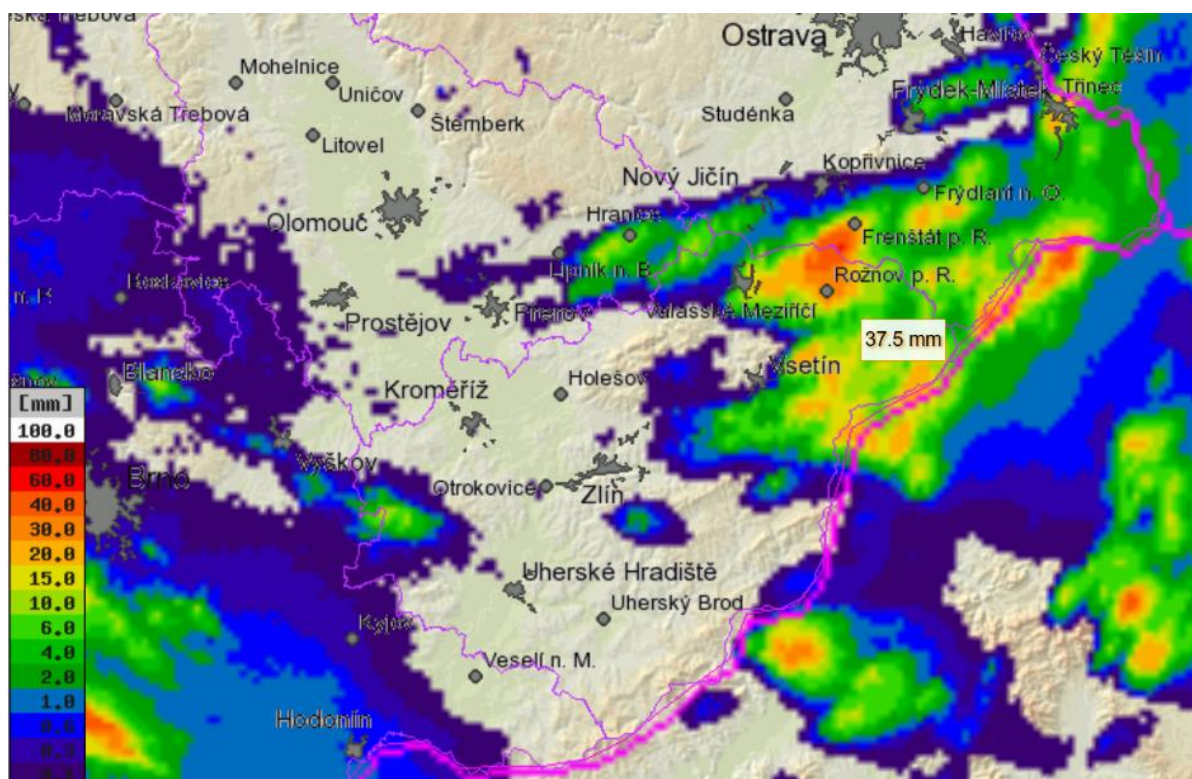
Obrázek 54: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 13-14 UTC (vlevo) [56]

Jednohodinová sumace srážek znázorněná na obrázku vpravo pro období mezi 15. a 16. hodinou SELČ (14:00 UTC) ilustruje postupný útlum srážkové činnosti nad nejvýchodnějšími a severovýchodními částmi Zlínského kraje.

3hodinová sumace radarového měření srážek

Na obrázku 55 je zobrazena tříhodinová sumace z radarového měření srážek pro území Zlínského kraje dne 28.06.2024:

vlhkosti, výrazné instability a orografického efektu pro podporu regenerace buněk. Díky tomuto procesu se mohou vytvářet opakovaně přívalové srážky nad daným místem, což představuje extrémně vysoký potenciál vzniku lokálních přívalových povodní [15]



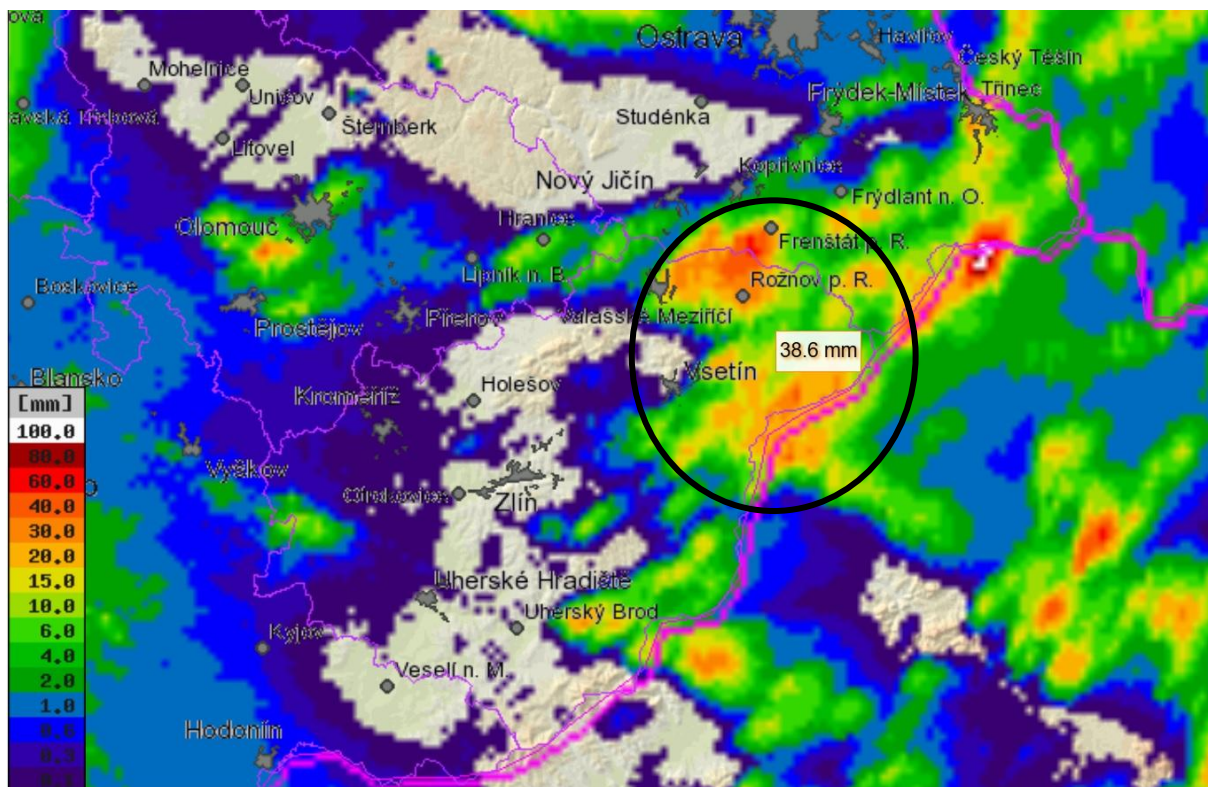
Obrázek 55: 3hodinová sumace radarového měření srážek pro 12-14 UTC (vlevo) [56]

Radarová data zobrazená na Obrázku 55 dokumentují výskyt nejintenzivnějších srážek mezi 12:00 a 14:00 UTC v severní a severovýchodní části Zlínského kraje. Maximální tříhodinový srážkový úhrn dosáhl hodnoty 37,5 mm, což výrazně překračuje prahové limity pro přívalové srážky a představuje vysoké riziko vzniku bleskových povodní.

V této oblasti se nejvýrazněji projevil proces „backbuilding“, charakterizovaný opakovanou regenerací konvektivních buněk nad stejným územím. Tento mechanismus byl podpořen vysokou vlhkostí vzduchu a orografickým efektem návětrné strany Moravskoslezských Beskyd při přechodu zvlněné studené fronty. Výsledkem byla dlouhodobá koncentrace intenzivních srážek, která vedla ke vzniku lokálních přívalových povodní, zejména ve městě Rožnov pod Radhoštěm a jeho okolí. Tyto povodně způsobily významné škody na majetku a infrastruktuře, včetně poškození komunikací a zatopení obytných objektů.

24hodinová sumace radarového měření srážek

Posledním analyzovaným výstupem byla 24hodinová sumace srážek, která dokumentuje denní srážkový úhrn při přechodu zvlněné studené fronty. Tento výstup zdůrazňuje lokální zesílení srážek na návětrných stranách Moravskoslezských Beskyd, Javorníků a Bílých Karpat, kde orografické podmínky významně ovlivnily intenzitu konvekčních procesů.



Obrázek 56: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 28.06.2024 [56]

Obrázek 56 znázorňuje prostorové rozložení denních sumovaných srážek naměřených meteorologickými radary dne 28. června 2024. Nejvyšší úhrny byly zaznamenány mimo území Zlínského kraje, konkrétně v okolí města Frenštát pod Radhoštěm, kde spadlo až 60 mm srážek. Ve Zlínském kraji byly nejvíce zasažené oblasti Rožnov pod Radhoštěm s denním úhrnem přibližně 38,6 mm, a dále východní část regionu v oblasti Javorníků a Velkých Karlovic, kde byly naměřeny hodnoty do 30 mm.

Navzdory vysokým úhrnům srážek se v horských oblastech Javorníků a Velkých Karlovic nevyskytly přívalové povodně, což lze přičíst méně urbanizovanému prostředí s vysokým podílem zalesněných ploch, které zajišťují vyšší infiltrační schopnost půdy a tím snižují riziko rychlého odtoku.

Ostatní příčiny vzniku povodňové události dne 28.06.2024

Ostatní (vedlejší) příčinné podmínky jsou zvýrazněny tučně obdélníkem na Obrázku 57:

Rok	Město	Adresa	Datum	Trvání zásahu jednotek HZS v čase	Počet srážek za hodinu	Dopady	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
2024	Rožnov p. Radhoštěm	V Mokřem 761; V Mokřem 300	28.06.2024	15:06-17:11	20 až 30 mm	zaplavení pozemků vlivem ucpaného propustku	2	2	3	2
2024	Rožnov p. Radhoštěm	ulice Nádražní - 5. května a Meziříčská	28.06.2024	15:30-16:06	20 až 30 mm	zaplavení komunikací na křižovatce kvůli kanalizaci	2	2	0	3
2024	Dolní Bečva	Dolní Bečva	28.06.2024	15:42-16:02	10 až 20 mm	zaplavená komunikace	1	2	3	3
2024	Rožnov p. Radhoštěm	Ostravská 1619	28.06.2024	15:52-17:11	20 až 30 mm	zaplavená komunikace	2	2	3	2
2024	Rožnov p. Radhoštěm	Karlova 1726	28.06.2024	15:55-20:05	20 až 30 mm	zaplavená sklepy rodinných domů	2	2	1	3
2024	Rožnov p. Radhoštěm	ulice Radhošťská u Gibon parku	28.06.2024	16:05-17:11	20 až 30 mm	zaplavená komunikace	2	1	0	3
2024	Rožnov p. Radhoštěm	ulice Lázeňská	28.06.2024	17:03-18:51	20 až 30 mm	zaplavená komunikace	2	2	0	2

Obrázek 57: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 28.06.2024

Kromě jednohodinových srážkových úhrnů dosahujících hodnot až 30 mm, sehrály klíčovou roli při vzniku přívalové povodně dne 28. června 2024 další faktory. Mezi nejvýznamnější patřila vyšší míra nasycenosti půdy po předchozích srážkových epizodách, zejména po přívalových deštích dne 26. června 2024, a dále vysoký podíl urbanizovaných, zastavěných ploch v okolí města Rožnov pod Radhoštěm. Tyto podmínky výrazně snížily infiltrační schopnost území, což vedlo k rychlému povrchovému odtoku.

Dalším významným faktorem byla sklonitost terénu, která přispěla k akceleraci odtoku a vzniku přívalových povodní, například na severním okraji Rožnova pod Radhoštěm (ulice Mokrá) a v obci Dolní Bečva, ležící na návětrné straně Moravskoslezských Beskyd. Kombinace těchto faktorů vytvořila vysoce rizikové prostředí pro vznik lokálních povodní.

4.3.2. Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS pro 28.06.2024

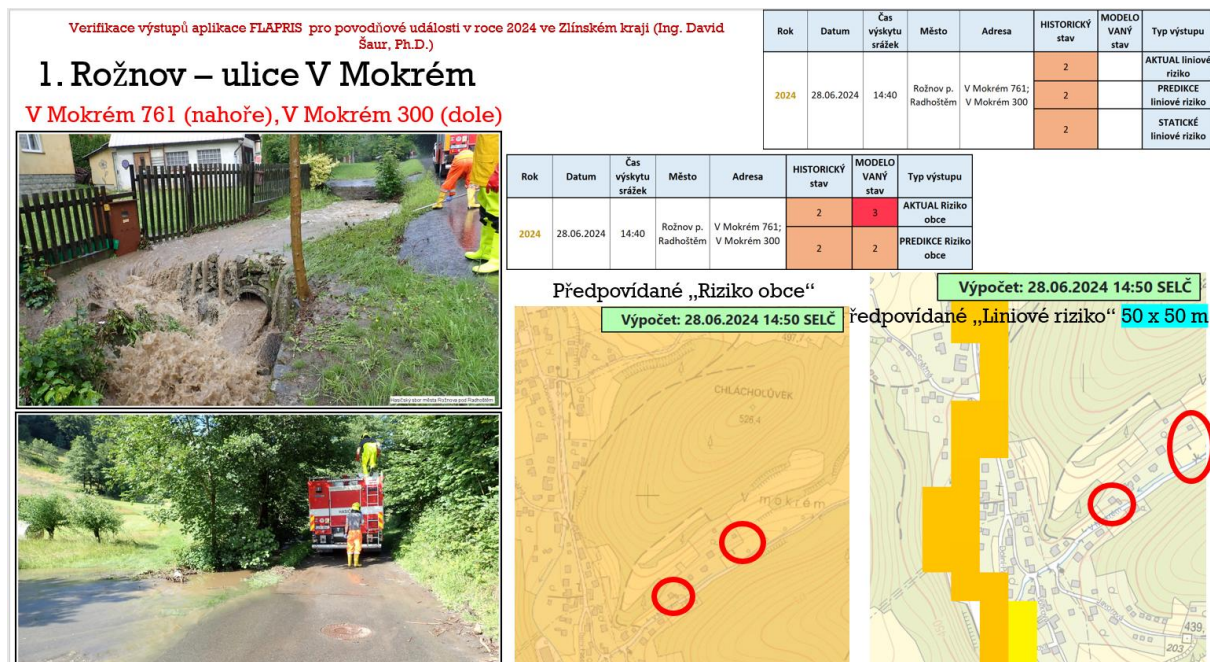
Rožnov pod Radhoštěm

V Rožnově pod Radhoštěm byly zaznamenány lokální přívalové povodně v časové posloupnosti v těchto oblastech:

- Ulice Mokrá 761, 300
- Křižovatka na ulici Nádražní, 5. května a Meziříčská
- Ulice Lázeňská
- Ostravská 1619
- Rodinné domy v ulici Karlova 1726
- Ulice Radhošťská u Gibon parku
- Hlavní silnice v obci Dolní Bečva

1. Rožnov pod Radhoštěm – V Mokrém 761, V Mokrém 300

V ulici Mokrá v Rožnově pod Radhoštěm došlo k lokální přívalové povodni, jejíž příčinou byla kombinace intenzivních přívalových srážek o hodnotách $20\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ a ucpaného propustku, který znemožnil odtok vody. Tato situace vedla k zaplavení komunikace a přilehlých pozemků.

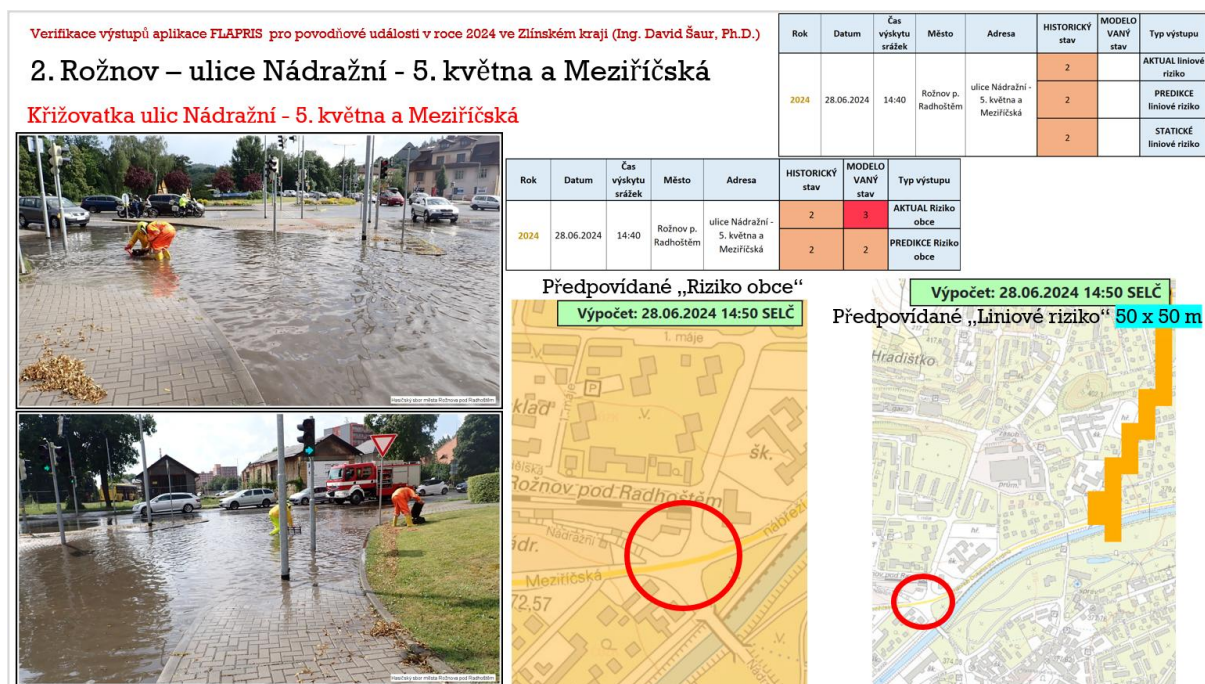


Obrázek 58: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro lokalitu V Mokrém č.p. 731, 300 [48], [59]

Podle verifikace výstupů aplikace FLAPRIS (viz Obrázek 57) odpovídala předpověď „Rizika obce“ skutečnosti, neboť pro danou lokalitu byl indikován vysoký stupeň nebezpečí. Naopak „Liniové riziko“ nebylo pro tuto oblast předpovězeno, což lze vysvětlit tím, že hlavní příčinou povodně nebyl vliv okolního terénu, ale technická závada – ucpaný propustek.

2. Rožnov pod Radhoštěm – křižovatka ulic Nádražní, 5. května a Meziříčská

Lokální přívalová povodeň vznikla v důsledku akumulace srážkové vody z okolních ulic Nádražní, 5. května a Meziříčská do víceúrovňové křižovatky. Hlavními příčinami byly intenzivní přívalové srážky o úhrnu $20\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ v kombinaci s nedostatečně kapacitní kanalizační sítí, která nebyla schopna odvádět vodu z přilehlých komunikací. V důsledku toho došlo k zatopení frekventované křižovatky vodou do výšky přibližně $10\text{--}20\text{ cm}$, což způsobilo omezení dopravy a zásah složek IZS.

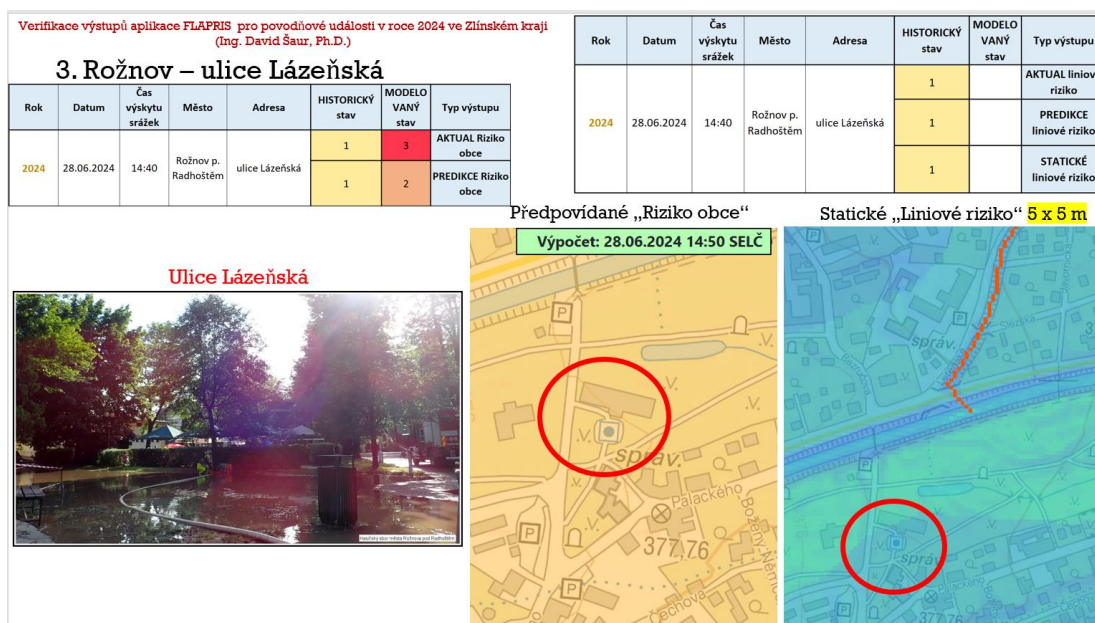


Obrázek 59: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro křižovatku ulic Nádražní, 5. května a Meziříčské [48], [59]

Stejně jako v případě ulice V Mokrém byla předpověď aplikace FLAPRIS pro „Riziko obce“ správná – indikovala vysoký stupeň nebezpečí. Naopak „Liniové riziko“ nebylo pro tuto lokalitu vypočteno, což lze vysvětlit tím, že hlavní příčinou povodně nebyl vliv terénních charakteristik, ale technická infrastruktura (nedostatečná kapacita kanalizace).

3. Rožnov pod Radhoštěm – ulice Lázeňská

Lokální přívalová povodeň vznikla v důsledku akumulace srážkové vody z okolních urbanizovaných ploch místního parku, která byla umocněna nedostatečnou kapacitou kanalizační sítě. Voda se hromadila v nejnižších částech území, což vedlo ke vzniku lagun, které musely být následně odčerpány jednotkami HZS.



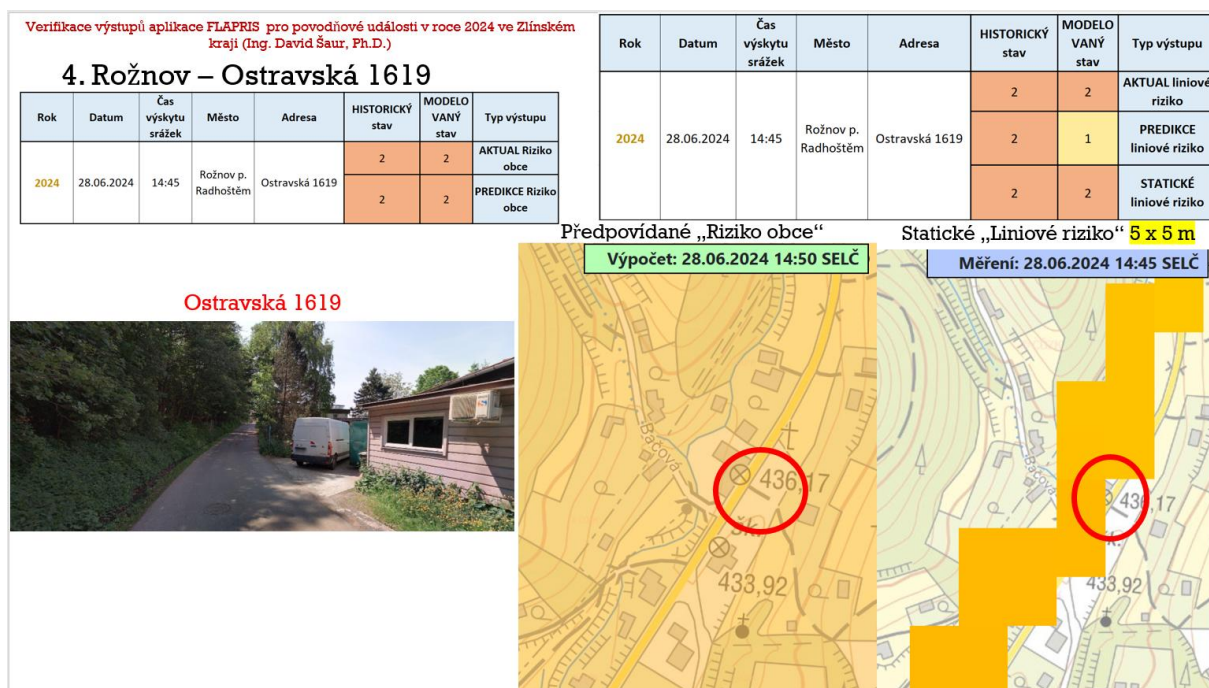
Obrázek 60: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro ulici Lázeňská [48], [59]

Stejně jako v předchozích případech byla aplikací FLAPRIS správně předpovězena vysoká míra nebezpečí pro celé území polygonu obce Rožnov pod Radhoštěm („Riziko obce“), avšak „Liniové riziko“ nebylo pro konkrétní místo vypočteno – ani v aktuální, ani v předpovědní, ani ve statické verzi. Tento nedostatek ukazuje na omezenou schopnost modelu zohlednit lokální technické faktory, jako je kapacita kanalizace, které mohou být rozhodující pro vznik povodní v urbanizovaných oblastech.

Hlavními příčinami události byly kromě přívalových srážek nad $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ zejména vysoký stupeň urbanizace a nedostatečná kapacita odvodňovací infrastruktury, což vedlo k rychlému povrchovému odtoku a akumulaci vody.

4. Rožnov pod Radhoštěm – Ostravská č.p. 1619

Lokální přívalová povodeň v této lokalitě vznikla v důsledku intenzivních přívalových srážek o úhrnu $20\text{--}30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ a zejména vlivem značné sklonitosti okolního terénu v kombinaci s ucpaným propustkem, který znemožnil odtok vody. Akumulace srážkové vody vedla k zaplavení místní komunikace a následně i přilehlého objektu.

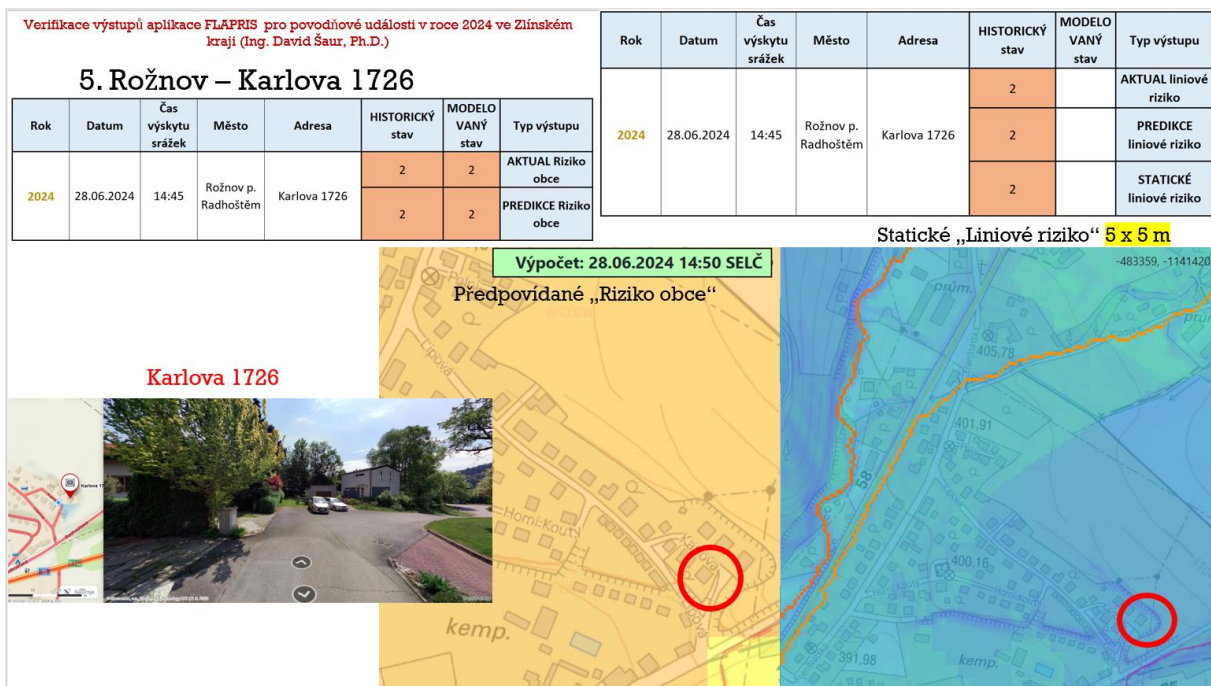


Obrázek 61: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro Ostravská č.p. 1619 [48], [65]

Podle verifikace výstupů aplikace FLAPRIS na Obrázku 61 byla tato událost předpovězena vysokým stupněm nebezpečí jak v rámci „Rizika obce“, tak i prostřednictvím Liniového rizika, což potvrzuje vysokou přesnost modelu pro tuto lokalitu. Důvodem správného odhadu byla přesný výpočet fyzicko-geografických faktorů (např. sklonitost terénu), odhad vysokého množství srážek a nižší míra urbanizace, která sice snižuje riziko plošného odtoku, avšak v kombinaci s technickou závadou (ucpaný propustek) vedla k lokálnímu zaplavení.

5. Rožnov pod Radhoštěm – Karlova č.p. 1726

Lokální přívalová povodeň v této lokalitě vznikla kombinací intenzivních přívalových srážek o úhrnu $20\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ a vysokého podílu urbanizace. Srážková voda, která spadla během velmi krátkého časového intervalu, stékala z okolních polí a místních komunikací, což vedlo k zatopení sklepních prostor rodinného domu na uvedené adrese. Hladina vody dosáhla výšky až 70 cm, což způsobilo významné škody na majetku.



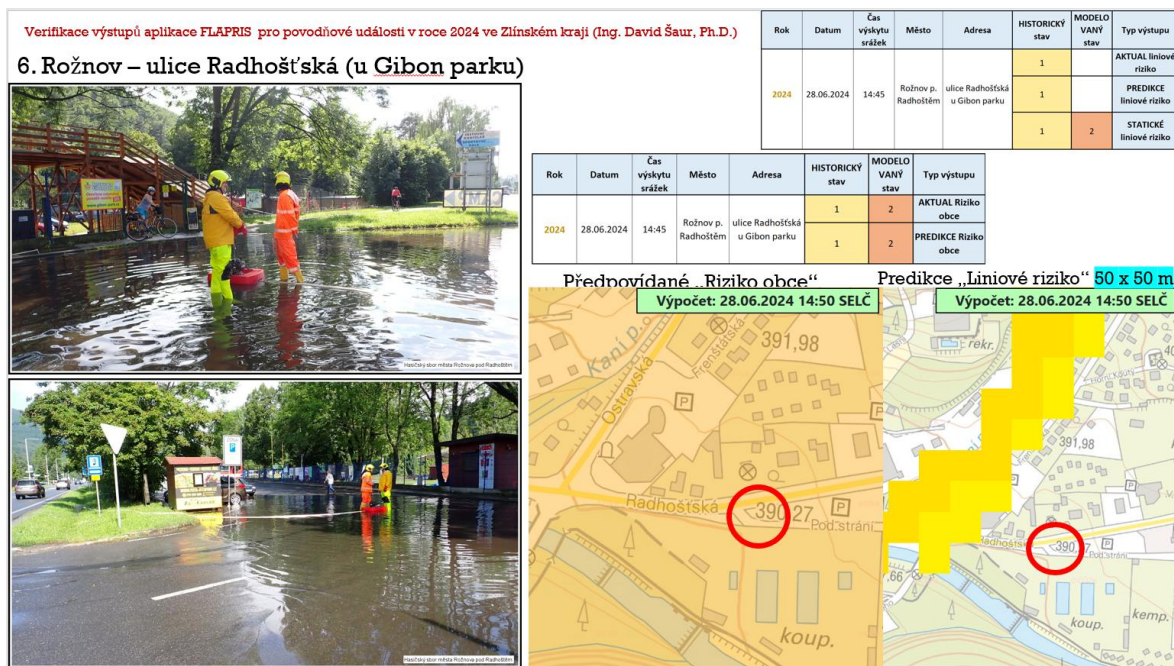
Obrázek 62: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro Karlova č.p. 1726 [48], [65]

Výsledky hodnocení této situace na Obrázku 62 potvrzují, že aplikace FLAPRIS správně předpověděla vysoký stupeň nebezpečí prostřednictvím výstupu Předpověď rizika obce. Naopak liniové riziko, ať už statické nebo predikční, nebylo pro tuto lokalitu stanoveno, což lze vysvětlit tím, že hlavním faktorem vzniku povodně byla urbanizace a nedostatečná kapacita odvodňovací infrastruktury, nikoli geomorfologické charakteristiky terénu.

6. Rožnov pod Radhoštěm – ulice Radhošťská u Gibon parku

Lokální přívalová povodeň byla zaznamenána také na ulici Radhošťská v blízkosti zábavního centra *Gibon park*. Hlavními příčinami byly intenzivní přívalové srážky o úhrnu $20\text{--}30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ v kombinaci s významným podílem urbanizace, který výrazně snížil infiltrační schopnost povrchu a urychlil povrchový odtok.

Výstupy aplikace FLAPRIS správně indikují vysoký stupeň nebezpečí prostřednictvím předpovědi Rizika obce. Liniové riziko bylo předpovězeno přibližně 50–100 metrů od místa skutečného výskytu povodně, což naznačuje určitou prostorovou nepřesnost modelu. Z dostupné fotodokumentace nelze jednoznačně potvrdit, zda v oblasti predikovaného liniového rizika došlo k akumulaci vody, nicméně samotná povodeň se projevila zaplavením komunikace a přilehlých ploch na Obrázku 63:

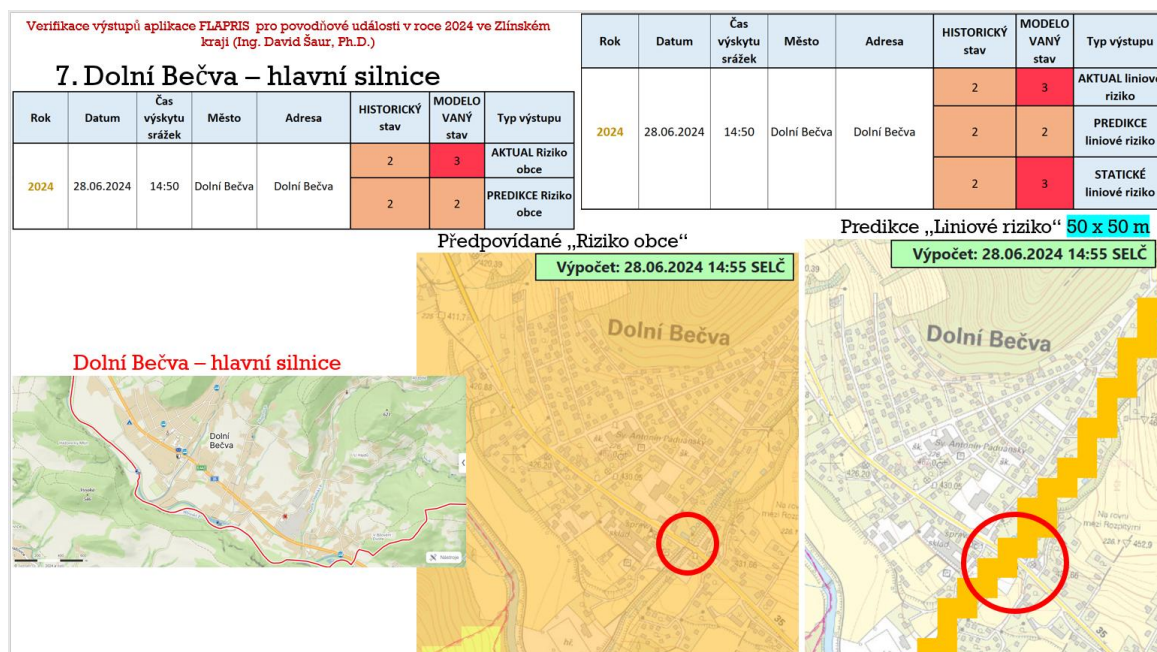


Obrázek 63: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro ulici Radhošťská u Gibon parku [48], [59]

Příčiny této události jsou obdobné jako v předchozích případech, avšak s výrazným akcentem na vliv urbanizace, který v kombinaci s krátkodobou intenzivní srážkou vedl k rychlému vzniku povodně.

7. Dolní Bečva – hlavní silnice

Lokální přívalová povodeň zasáhla hlavní silniční tah vedoucí skrze obec Dolní Bečva. Hlavními příčinami byly intenzivní přívalové srážky o úhrnu $10\text{--}20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, značná sklonitost terénu a vysoký podíl urbanizace, které společně výrazně zvýšily rychlost povrchového odtoku v daném území.



Obrázek 64: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro hlavní silnici vedoucí přes obec Dolní Bečva [48], [65]

Výsledky verifikace (viz Obrázek 64) potvrzují, že tato událost byla přesně předpovězena jak prostřednictvím výstupu Riziko obce s vysokým stupněm nebezpečí, tak i pomocí Liniového rizika. Tento případ jasně dokládá, jak zásadní vliv mají geomorfologické faktory (sklonitost terénu) a urbanizace na vznik přívalových povodní. V dané lokalitě se uplatnily oba faktory současně, což vedlo k přesné predikci povodňového rizika.

4.3.3. Výsledky verifikace přívalové povodně ze dne 28.06.2024

Nejprve jsou představeny výsledky verifikační analýzy, zaměřené na hodnocení úspěšnosti a chybovosti měřených a předpovědních výstupů aplikace FLAPRIS pro 28. červen 2024.

Hodnocení úspěšnosti 28.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	100	57	
Riziko obce	86	100	
Liniové riziko	29	29	43
Plošné riziko	100	100	100

Hodnocení úspěšnosti 28.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	29	86	
Riziko obce	29	71	
Liniové riziko	14	14	14
Plošné riziko	100	43	86

Hodnocení úspěšnosti 28.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	0	43	
Riziko obce	14	0	
Liniové riziko	71	71	57
Plošné riziko	0	0	0

Hodnocení úspěšnosti 28.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	71	14	
Riziko obce	71	29	
Liniové riziko	86	86	86
Plošné riziko	0	57	14

Obrázek 65: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 28.06.2024

Na Obrázku 65 je znázorněno hodnocení úspěšnosti a chybovosti výstupů aplikace FLAPRIS v rámci verifikace pro den 28. června 2024, a to ve vztahu k míře úspěšných a chybných měření či předpovědí jednotlivých kategorií rizika. Výsledky jsou uvedeny jak s tolerancí ± 1 stupně nebezpečí, tak bez tolerance, což umožňuje objektivnější posouzení kvality modelových výstupů.

Z analýzy vyplývá, že nejvyšší míra úspěšnosti byla zaznamenána u aktuálního stavu ve všech sledovaných kategoriích. V rámci hodnocení s tolerancí dosáhl radarový výstup z Holešova a plošné riziko hodnoty 100 %, což dokládá velmi dobrou shodu měření se skutečným průběhem jevu. Riziko pro jednotlivé obce bylo úspěšně identifikováno z 86 %, zatímco liniové riziko vykazovalo úspěšnost pouze 29 %, což naznačuje obtížnost přesného prostorového vymezení přívalového charakteru srážek v liniové formaci bouří.

Naopak při přísnějším hodnocení bez tolerance dochází k výraznému poklesu úspěšnosti u většiny kategorií. Zatímco statické riziko si udrželo vysokou úspěšnost (86 %), předpovědní výstupy vykazují snížení úspěšnosti až na 14 % v kategorii liniového rizika a 43 % v kategorii plošného rizika. To poukazuje na nižší schopnost modelu zachytit přesnou lokalizaci a intenzitu srážkové činnosti při dynamicky se vyvíjejících konvektivních procesech.

Z hlediska míry chybných měření a předpovědí je patrné, že největší chybovost se objevuje opět u liniového rizika (až 86 % bez tolerance), zatímco plošné riziko vykazuje minimální podíl chybných detekcí. Tato skutečnost potvrzuje, že model FLAPRIS je schopen poměrně dobře odhadnout prostorový rozsah ohroženého území, avšak s nižší přesností v případě lokálních a úzce vymezených konvektivních jevů.

Hodnocení úspěšnosti 28.6.2024	Míra PODHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	43	86	
Riziko obce	0	0	
Liniové riziko	86	86	86
Plošné riziko	0	43	0

Hodnocení úspěšnosti 28.6.2024	Míra NADHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	29	0	
Riziko obce	71	29	
Liniové riziko	0	0	0
Plošné riziko	0	0	14

Obrázek 66: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 28.06.2024

Analýza úspěšnosti předpovědních výstupů aplikace FLAPRIS a radarových měření pro povodňovou situaci dne 28. června 2024 ukazuje rozdíly mezi mírou podhodnocení a nadhodnocení jednotlivých kategorií podle Obrázku 66. Výsledky potvrzují, že Riziko obce je nejspolehlivějším indikátorem povodňového nebezpečí, zatímco Liniové riziko vykazuje výrazné podhodnocení, což omezuje jeho praktickou využitelnost pro predikci konkrétních lokalit.

Radarová měření vykazují podhodnocení srážkových úhrnů v aktuálním stavu na úrovni 43 %, přičemž v předpovědi dosahuje až 86 %, což poukazuje na omezenou schopnost radaru zachytit extrémní lokální srážky. Naopak riziko obce nevykazuje podhodnocení, ale vykazuje nadhodnocení až 71 % v aktuálním stavu, což může vést k častějšímu vydávání výstrah. Tento přístup je však z hlediska prevence akceptovatelný, protože minimalizuje riziko podcenění extrémních událostí.

Liniové riziko je podhodnoceno ve všech kategoriích (86 %), včetně Statického rizika, což naznačuje slabší schopnost modelu identifikovat konkrétní rizikové linie. Plošné riziko vykazuje podhodnocení v předpovědi (43 %) a mírné nadhodnocení ve statickém hodnocení (14 %), což ukazuje na potřebu zlepšení prostorové přesnosti modelu.

Celkově výsledky zdůrazňují nutnost optimalizace predikčních algoritmů, zejména pro Liniové riziko, a zlepšení prostorové přesnosti plošných výstupů. Zároveň potvrzují, že

mírné nadhodnocení Rizika obce je z hlediska krizového řízení vhodné, protože snižuje pravděpodobnost podcenění extrémních srážkových událostí.

4.4 Povodňová událost ve Zlínském kraji - 30.06.2024

Lokální přívalové povodně zasáhly dne 30. června 2024 především centrální části Zlínského kraje, včetně jeho severovýchodních oblastí. Přívalové deště, představující hlavní příčinný faktor vzniku těchto povodní, byly vázány na konvergenční linii (tzv. squall line), která se vytvořila před zvlněnou studenou frontou postupující od jihozápadu. Intenzivní konvektivní srážky se vyskytly ve večerních hodinách, nejprve na území správních obvodů obcí s rozšířenou působností (ORP) Zlín a Holešov mezi 19. a 20. hodinou SELČ, a následně také v ORP Rožnov pod Radhoštěm přibližně kolem 20. hodiny SELČ.

Na vzniku lokálních přívalových povodní se kromě bezprostředních příčinných srážek významně podílela také vysoká nasycenost půdního profilu, způsobená opakovanými srážkovými epizodami ve dnech 21., 26. a 28. června 2024. Dalšími přispívajícími faktory byla vysoká míra urbanizace zasaženého území (zejména měst Zlín a Rožnov pod Radhoštěm a obcí Sazovice, Racková, Fryšták a Kašava) a rovněž výraznější sklonitost svahů v kombinaci s vysokým podílem orných ploch v okrajových částech měst a obcí, která přispěla k urychlení povrchového odtoku srážkové vody a následné akumulaci odtoku v intravilánech.

Následky přívalových povodní se projevily především zaplavením místních komunikací, a to zejména v důsledku ucpání propustků a úseků se zúženým průtokovým profilem, kde odtok vody byl znemožněn nahromaděným bahnem a splaveninami. Dále došlo, obdobně jako při předchozích epizodách, k zatopení sklepních prostor rodinných domů, zaplavení veřejných prostranství, zahrad a přilehlých pozemků.

Dopady těchto přívalových povodní byly nejvýraznější ze všech povodňových situací zaznamenaných v roce 2024. Odhadované škody na majetku obyvatelstva, soukromých subjektů a na infrastruktuře měst a obcí dosáhly řádově vyšších desítek až nižších stovek milionů korun.

Atributy	Charakteristika
DATUM	30.06.2024
ČAS výskytu přívalových srážek	18:45-19:35
Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	Sazovice: zasaženo více jak 50% území Zlín: Jižní Svahy – Billa, centrální část města Zlína Racková: hlavní silnice napříč celou obcí
HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Sazovice (50-60 mm/hod.) - Zlín (30-40 mm/h.) - Racková (50-60 mm/hod.)
VEDLEJŠÍ příčinné faktory	- Vysoká míra urbanizace a betonových ploch - Vysoká nasycenost půdy po předchozích deštích - Vysoký podíl orných ploch
DOPADY přívalových povodní	Zatopené domy, zaplavené komunikace

Obrázek 67: Charakteristika povodňové události ze dne 30.06.2024

Podle Obrázku 67 dorazila hlavní vlna srážek s nejvyšší intenzitou nejprve na západní část Zlínského kraje mezi 18:00 a 19:00 SELČ, konkrétně do ORP Kroměříž. Průměrná intenzita srážek se zde pohybovala v rozmezí 30–50 mm/hod., přičemž lokální maxima detekovaná radarovými pozorováními dosahovala až 64 mm/hod. v oblasti na krajním západě, v bezprostřední blízkosti města Morkovice-Slížany. Tyto hodnoty odpovídají srážkám s extrémní intenzitou, charakteristickým pro krátkodobé, silně konvektivní jevy.

Atributy	Charakteristika
DATUM	30.06.2024
ČAS výskytu přívalových srážek	19:35-20:05
Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	Fryšták: jižní a severní okraj Kašava: místní komunikace + okolí kostela Rožnov p. Radhoštěm (ul. Hážovice): místní hlavní komunikace + vytopené sklepy RD
HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Fryšták (40-50 mm/hod.) - Kašava (30-40 mm/hod.) - Rožnov p. Radhoštěm – ul. Hážovice (20-30 mm/hod.)
VEDLEJŠÍ příčinné faktory	- Vysoká míra urbanizace a orných ploch - Vysoká nasycenost půdy po předchozích deštích
DOPADY přívalových povodní	Zatopené domy, zaplavené komunikace

Obrázek 68: Charakteristika povodňové události ze dne 30.06.2024



Silné a velmi silné bouřky

Platí od neděle 30. 6. 13:00 do pondělí 1. 7. 01:00

Český
hydrometeorologický
ústav



Neděle odpoledne a večer



Noc na pondělí



Aktuální výstraha na www.chmi.cz

Obrázek 69: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 30.06.2024 [58]

V následující hodině, mezi 19:00 a 20:00 SELČ (Obrázek 68), se intenzita srážek zvýšila na maximum v centrálních částech Zlínského kraje, zejména v ORP Zlín. Nejvíce zasazené oblasti zahrnovaly obce Sazovice u Zlína, Racková a Fryšták, přičemž výrazné dopady byly zaznamenány i v samotném krajském městě Zlín. Podle radarových dat lze tyto srážky charakterizovat jako lokalizované, velmi intenzivní, s vysokou vertikální konvekcí, což odpovídá podmínkám vhodným pro vznik přívalových povodní a lokálních záplav.

Výstražná mapa Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) pro období od neděle 30. června 13:00 do pondělí 1. července 01:00 na Obrázku 69 zobrazuje nejvyšší stupeň nebezpečí (oranžová barva) s lokalizací na Moravě a ve Slezsku, zatímco centrální část Čech vykazuje nízký stupeň nebezpečí (žlutá) a západní část republiky zůstává v běžném stavu (zelená). Meteorologické podmínky indikují vysoký potenciál pro silné konvektivní bouře s přívalovými srážkami přesahujícími 30–50 mm během 1–3 hodin, nárazy větru až $20\text{--}25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, krupobitím a zvýšenou elektrickou aktivitou. Na základě těchto informací je předpokládán výskyt organizovaných multicelárních bouří, které se zpočátku mohou transformovat do squall-line (linií konvergence) nebo prostřednictvím orografického zesílení srážek na návětrí Moravskoslezských Beskyd, Javorníků, Bílých Karpat a Jeseníků může podpořit tzv. backbuilding vedoucí k regeneraci konvektivních buněk s možným výskytem přívalových srážek a lokálních přívalových povodní s ohledem na vyšší nasycení půdy způsobené z předchozích srážkových epizod.

4.4.1. Příčinné podmínky vzniku přívalové povodně

Meteorologické příčiny vzniku povodňové události dne 30.06.2024

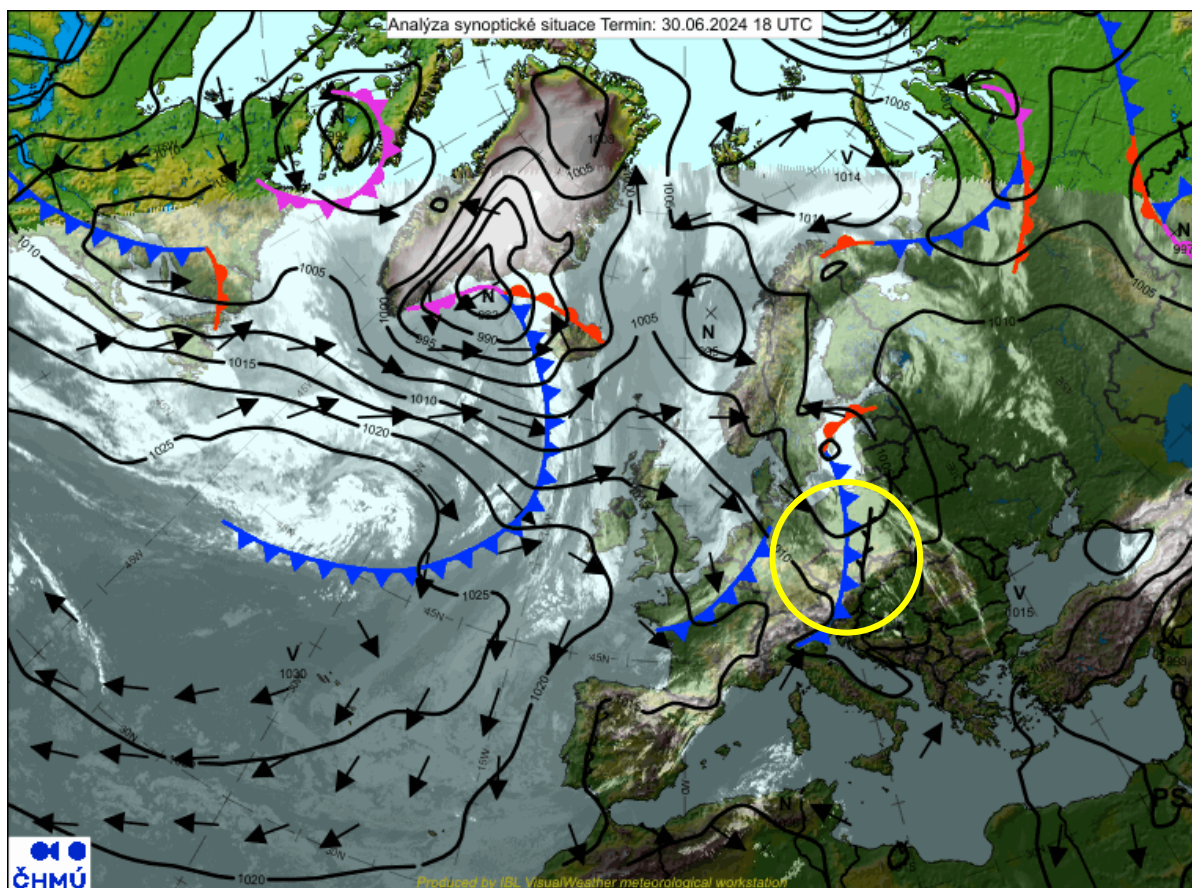
Ze synoptického hlediska na Obrázku 70 byla hlavní příčinou vzniku přívalových povodní ve Zlínském kraji tzv. **linie konvergence**, která se utvářela před zvlněnou studenou

frontou spojenou s brázdou nízkého tlaku vzduchu nad severní a střední Evropou. Tato konvergentní linie představuje oblast, kde se střetávají proudy vzduchu různých vlastností, což vede k intenzivnímu vzestupu vlhkého vzduchu a následné tvorbě lokálně extrémních srážek.

Povodňová situace dne 30. 6. 2024 byla důsledkem kumulace několika významných srážkových epizod, probíhajících ve dvou srážkových obdobích. První období bylo charakteristické působením brázdy nízkého tlaku nad severní a střední Evropou, kdy přes území České republiky postupovaly jednotlivé frontální systémy od západu na východ. Tyto systémy přinášely krátkodobé, ale lokálně silné srážky, typické pro dynamické frontální procesy.

Druhé srážkové období začalo 19. 6. 2024, kdy nad jihozápadní a jižní Evropou vznikla mělká oblast nízkého tlaku, postupující směrem na sever přes střední Evropu. Na počátku ovlivnila naše území slábnoucí okluzní fronta od jihu, která vyvolala lokální přívalové povodně ve Zlínském kraji dne 26. 6. 2024. Mělká tlaková níže se postupně vyplňovala a ve spojení s vysokou vlhkostí a teplotou vzduchu docházelo k vytváření linie konvergence, která od 27. 6. protínala území České republiky od jižní Moravy přes Vysočinu až po severozápadní Čechy.

Od 28. 6. postupovala přes naše území zvlněná studená fronta spojená s tlakovou níží nad severní Evropou. Fronta se stala téměř stacionární, čímž se významně prodloužila doba působení konvergence. Před frontou vznikla linie konvergence, která byla klíčovým mechanismem vzniku srážek s extrémní intenzitou přesahující 50 mm/hod. Vertikální profily ukazovaly výraznou instabilitu v nízké troposféře, vysoký obsah vlhkosti a proudění s výrazným součinitelem divergence v horní troposféře, což společně umožnilo vznik velmi intenzivních lokálních srážkových epizod. Tyto podmínky odpovídaly scénářům vhodným pro přívalové povodně s vysokou lokalizovanou akumulací srážek.



Obrázek 70: Aktuální synoptická situace ze dne 30.06.2024 v 18 UTC [50]

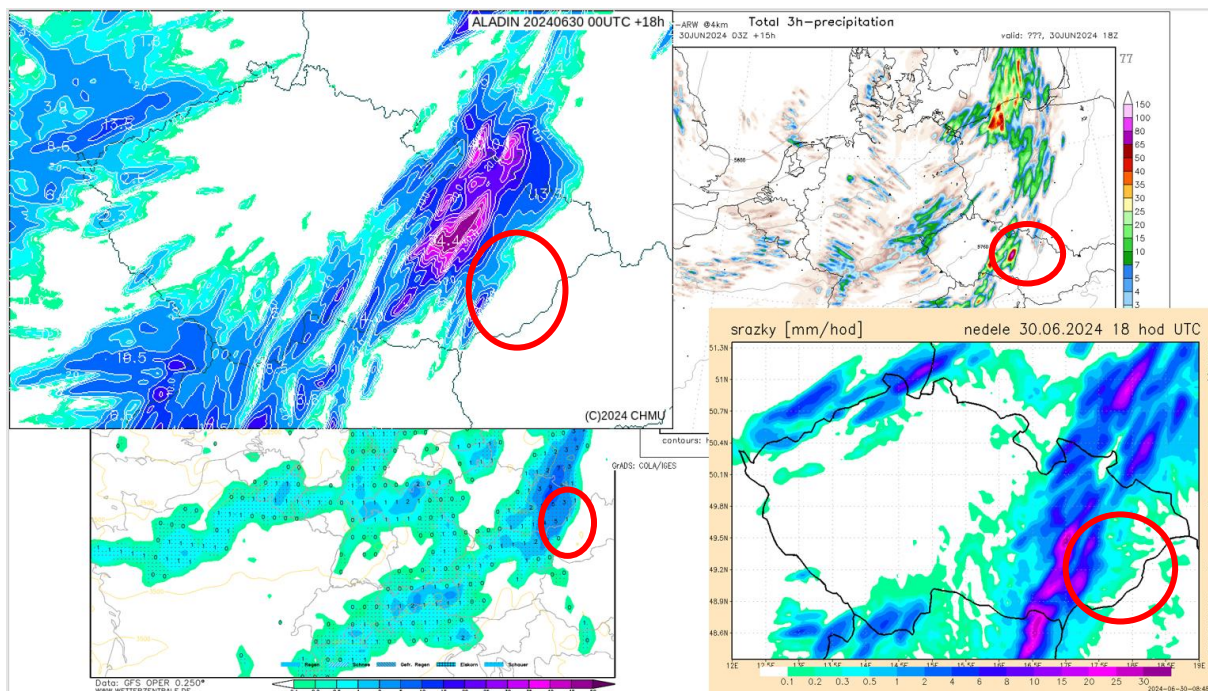
Závěrem lze konstatovat, že nejvýznamnější povodňová situace dne 30. 6. 2024 byla způsobena příznivou synoptickou situací, charakterizovanou působením mělké oblasti nízkého tlaku vzduchu, nejprve nad severní a následně nad jižní Evropou, která se opakovaně přesouvala nad střední Evropu. V důsledku intenzivnějšího prohřívání zemského povrchu a vysokého obsahu vlhkosti v atmosféře vznikaly příznivé podmínky pro tvorbu srážek jak frontálního, tak lokálně konvektivního charakteru. Tyto procesy vyvrcholily koncem června 2024 v nejvýznamnější srážkovou epizodu celé konvektivní sezóny ve Zlínském kraji.

Kombinace dalších terénních faktorů, zejména vysoké až extrémní nasycenosti půdy v horských oblastech v důsledku předchozích srážek, spolu s významným podílem urbanizovaných a orných ploch s lokálně zvýšenou sklonitostí, vytvořila velmi příznivé podmínky pro vznik přívalových povodní. Vysoká nasycenost půdy vedla ke snížení infiltrační kapacity, zatímco urbanizované plochy s nepropustným povrchem urychlily povrchový odtok. Sklonitost terénu dále zvýšila kinetickou energii odtékající vody, což podporovalo rychlý a lokálně intenzivní přítok do vodních toků. Následky těchto povodní, včetně rozsahu akumulace srážek, rychlosti odtoku a jejich dopadu na hydrologickou síť, budou detailněji analyzovány v následujících kapitolách.

Předpovědní výstupy numerických modelů

Předpověď srážek

Numerické modely předpovědi počasí, konkrétně regionální model ALADIN (rozlišení $0,02^\circ$), WRF ARW ($0,04^\circ$), WRF NMM ($0,03^\circ$) a globální model GFS ($0,13^\circ$), předpovídaly s 12hodinovým předstihem výskyt frontálních srážek na západním okraji zvlněné studené fronty v období mezi 18:00 a 21:00 UTC.



Obrázek 71: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 18-21 UTC [51], [52], [53], [54]

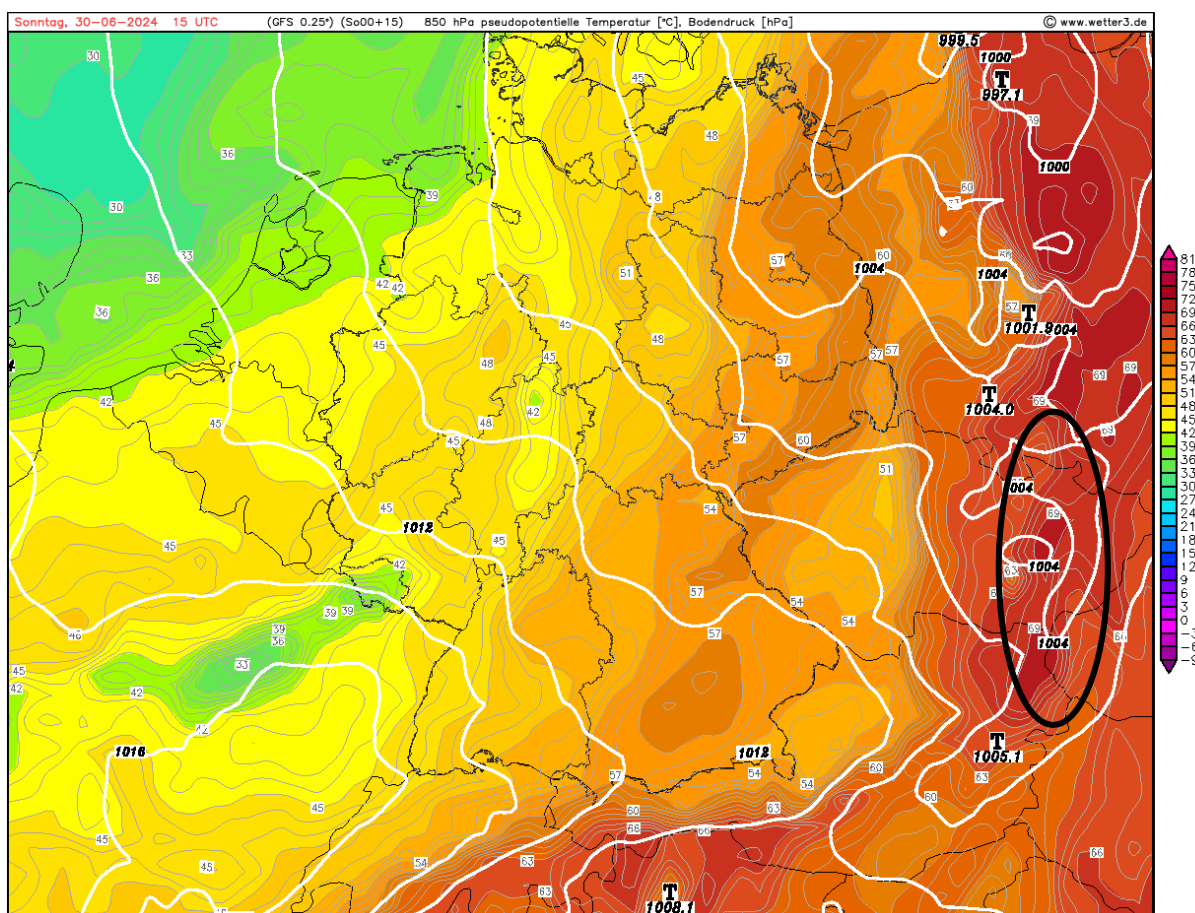
Numerické modely vykázaly rozdílnou úspěšnost při predikci intenzity a prostorového rozložení srážek během konvektivní epizody dne 30. června 2024. Modely WRF ARW a WRF NMM poskytly nejpresnější odhad první vlny nejintenzivnějších srážek pro krajní západ Zlínského kraje, kde byly očekávány úhrny přesahující 30 mm. Naproti tomu model ALADIN předpovídal první výraznější srážky pouze pro jihozápadní okraj regionu, což ukazuje na omezenou schopnost zachytit počáteční konvekční iniciaci v centrální části kraje.

V následujících výstupech mezi 21:00 a 24:00 SELČ všechny modely indikují srážky téměř na celém území Zlínského kraje, s výjimkou jeho krajního východu a severovýchodu. Předpovězené intenzity byly však podstatně nižší než skutečnost – modely odhadovaly úhrny 20–30 mm, což částečně odpovídalo realitě, avšak nezachytily nejintenzivnější pásmo srážek v centrální části kraje, zejména v okolí města Zlín, kde byly zaznamenány extrémní úhrny. Globální model GFS předpovídal srážky pro větší část regionu, avšak s výrazně podhodnocenou intenzitou do 10 mm.

Z uvedeného vyplývá, že všechny modely značně podhodnotily celkovou srážkovou situaci, především z důvodu nedostatečné schopnosti přesně simulovat rychlost pohybu a posun srážkového pásma podél linie konvergence. Tento nedostatek je typický pro

konvektivní situace s vysokou mírou lokální variability, kdy je klíčová role nowcastingu a radarových dat pro korekci modelových výstupů.

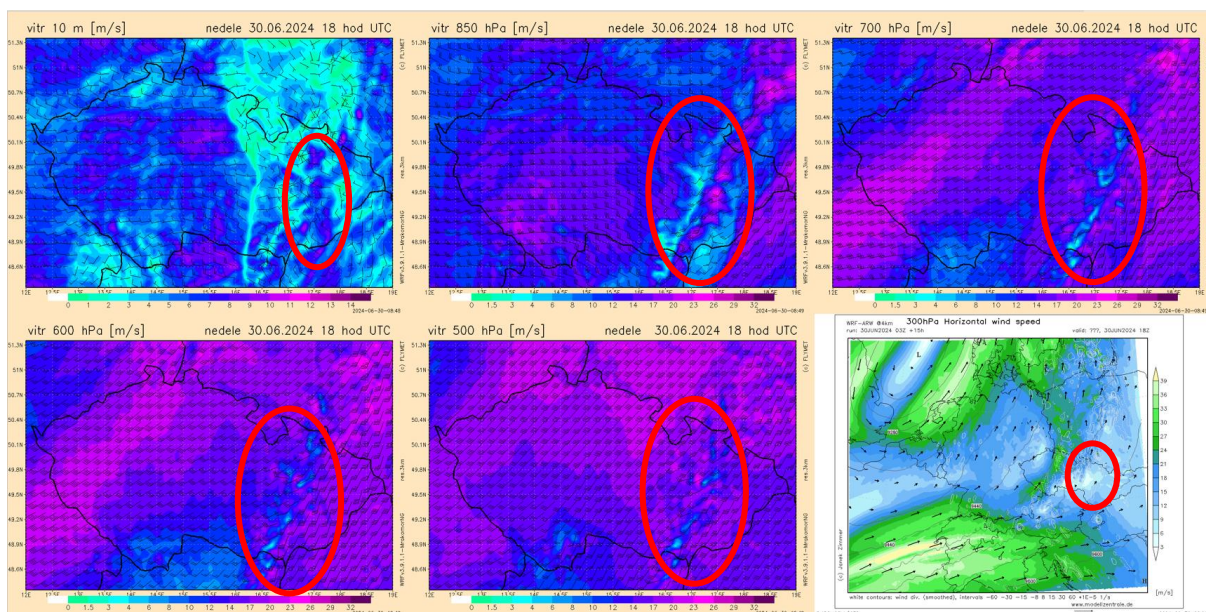
Předpověď významných atmosférických podmínek pro vznik linie konvergence
Vzhledem k tomu, že se jedná o srážkově nejvýznamnější událost, je zde zařazena kapitola věnovaná podrobnějšímu popisu atmosférických podmínek vedoucích k vytvoření linie konvergence.



Obrázek 72: Teplotní podmínky před příchodem linie konvergence – Vlhká potenciální teplota v 850 hPa [60]

Prvním modelovým výstupem indikujícím velmi příznivé termodynamické podmínky ve středních hladinách troposféry je pole vlhké potenciální teploty v hladině 850 hPa, získané z globálního modelu GFS pro období 15–18 UTC. Z obrázku 72 jsou patrné velmi příznivé hodnoty dosahující 60 až 70 °C, které pokrývají rozsáhlé oblasti jižní, střední a severní Moravy.

Takto vysoké hodnoty vlhké potenciální teploty jsou klíčovým indikátorem výrazné vlhkosti a tepelné energie v atmosféře, což vytváří podmínky pro silnou konvekci. Gradient mezi západní částí území (hodnoty kolem 45–50 °C) a východní částí (hodnoty nad 65 °C) naznačuje přítomnost linie konvergence, která je typickým spouštěcím mechanismem pro vznik multicelárních bouřkových systémů a lokálně i supercelárních struktur.



Obrázek 73: Větrné podmínky v hladinách 1000, 850, 700, 600, 500 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** a 300 hPa (modely WRF NMM, WRF ARW) [52]

Druhým klíčovým ukazatelem možného výskytu linie konvergence jsou větrné podmínky v hladinách atmosféry od zemského povrchu až po výšky přesahující 10 km. Typické znaky přítomnosti linie konvergence zahrnují:

- Zóny snížené rychlosti větru, nejvýrazněji patrné v hladině 850 hPa, kde se konvergence projevuje akumulací vzduchu.
- Výrazně vyšší rychlosti větru na čele linie konvergence v hladině 850 hPa, což naznačuje dynamické zesílení proudění.
- Významný stříh větru z hlediska směru ve spodních a středních hladinách troposféry, který podporuje organizaci konvektivních systémů.

Tyto větrné charakteristiky, v kombinaci s vysokými hodnotami vlhké potenciální teploty v hladině 850 hPa, indikují s vysokou pravděpodobností vznik linie konvergence před čelem studené fronty. Přejít samotné fronty je patrný na základě zvýšených hodnot rychlosti větru v hladině 300 hPa (jet stream), typicky 200–300 km před linií konvergence.

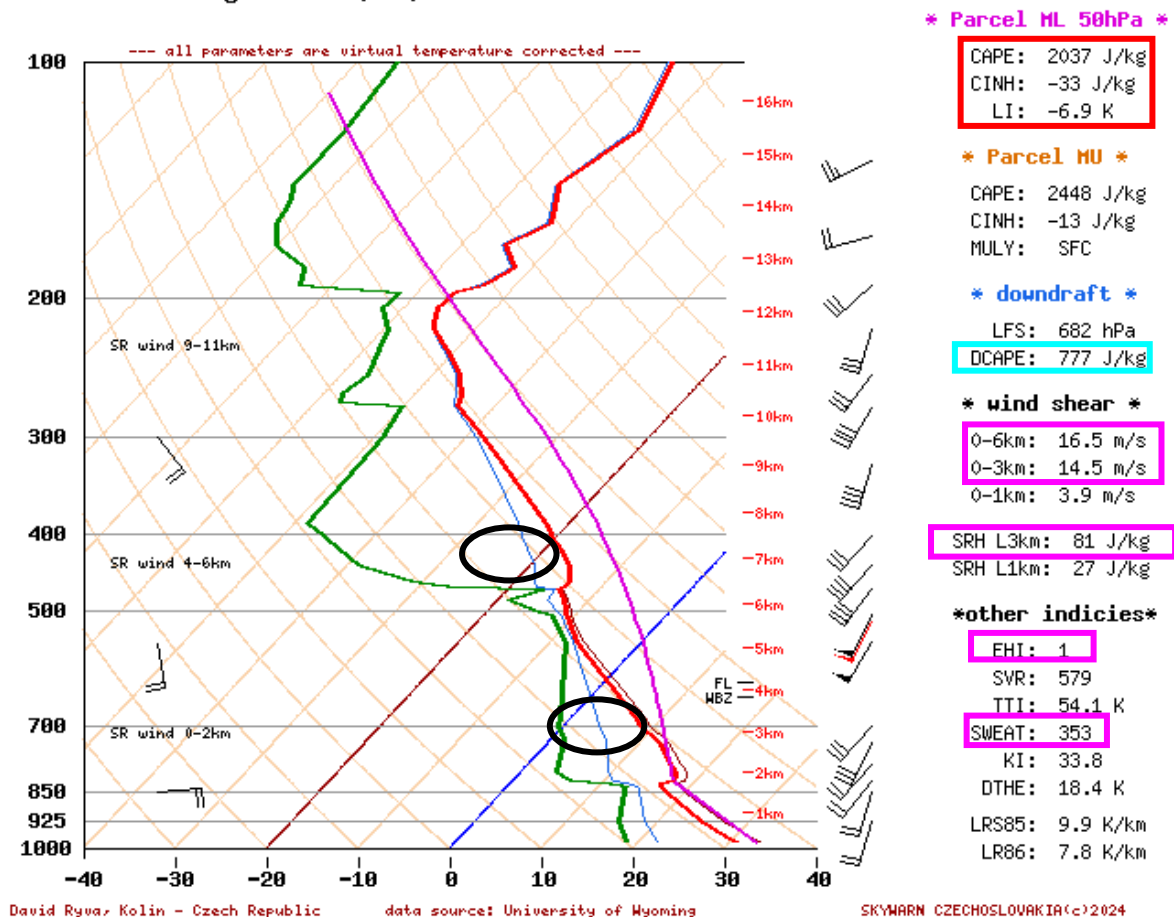
Níže rychlosti větru v hladině 300 hPa nad linií konvergence charakterizují relativně klidnější podmínky, což je běžné před studenou frontou. Tyto podmínky však nevylučují výskyt linie konvergence s jejími nejnebezpečnějšími projevy, jako jsou velmi intenzivní přívalové srážky, krupobití a silné nárazy větru. Pravděpodobnost výskytu tornáda je v tomto případě nízká, protože chybí výrazný jet stream ($>20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), který je pro tvorbu tornád klíčový. Zásadní rozdíl však ukazuje aerologické měření z Prostějova v 12 UTC, kde byla naměřena rychlost větru v hladině 300 hPa $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což naznačuje lokální zvýšení dynamické podpory.

Analýza výstupů z měřících meteorologických systémů

Aerologické měření atmosféry

Výstup z aerologického měření provedeného v Prostějově dne 30. 6. 2024 v 12:00 UTC dokumentuje synoptické a lokální podmínky na teplé okluzní frontě pro oblast východní Moravy (Obrázek 73):

11747 Prostějov 30.06.2024 12 UTC



Obrázek 74: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 30.06. 2024 v 12 UTC [55]

Hlavními příčinnými podmínkami vzniku liniových multicelárních konvektivních bouří
Hlavními příčinnými faktory vzniku liniových multicelárních konvektivních bouří byla kombinace následujících parametrů:

- **Vlhkostní podmínky:** Ve středních hladinách troposféry dosahovala relativní vlhkost průměrně 76 %, zatímco ve vyšších hladinách kolem 500 hPa až 90 %, což poskytovalo dostatek vodní páry pro intenzivní konvekci.
- **Termodynamické podmínky:** Hodnota MLCAPE dosahovala $2037 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ v kombinaci s příznivým MLCIN ($-33 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$) a indexem Lifted Index (LI) $-6,9 \text{ K}$, což indikovalo vysokou instabilitu a nízkou inhibici konvekce.
- **Střihové podmínky:** Dynamické parametry byly ideální pro organizaci bouřkových systémů – DLS (0–6 km) dosahoval $16,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, SLS (0–3 km) až $14,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což podporovalo vznik uspořádaných multicelárních struktur.

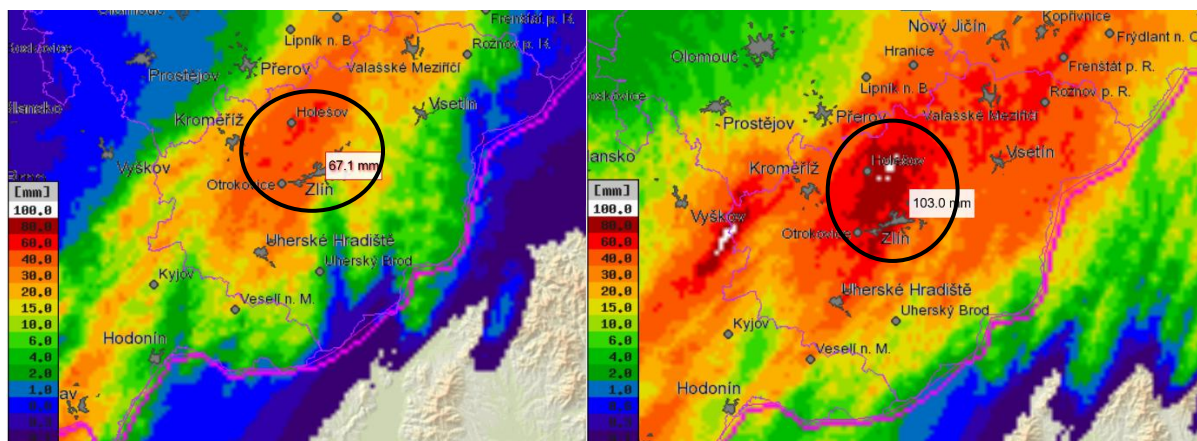
- **Podmínky příznivé pro vznik supercelárních bouří:** Relativní helicity $81 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, index SWEAT 353, rychlost větru v hladině 300 hPa (jet stream) $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a parametr EHI = 1 naznačovaly možnost vzniku rotujících vzestupných proudů a potenciál pro supercelární bouře. Přestože podmínky pro tornadické supercely byly částečně splněny, tornádo nebylo pozorováno.
- **Energetické podmínky sestupných proudů:** Hodnota DCAPE (Downdraft CAPE) dosahovala $777 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, což indikovalo vysoký potenciál pro silné nárazy větru při zemi.

Tyto parametry společně potvrzují vliv blížícího se frontálního systému s možností výskytu linie konvergence, která je typicky spojena s přívalovými srážkami, krupobitím a silnými nárazy větru. Přestože podmínky umožňovaly vznik supercel a tornád na čele linie konvergence, tyto jevy nebyly v dané situaci zaznamenány.

Radarové sumarizační měření srážek

1hodinová a 3hodinová sumace radarového měření srážek

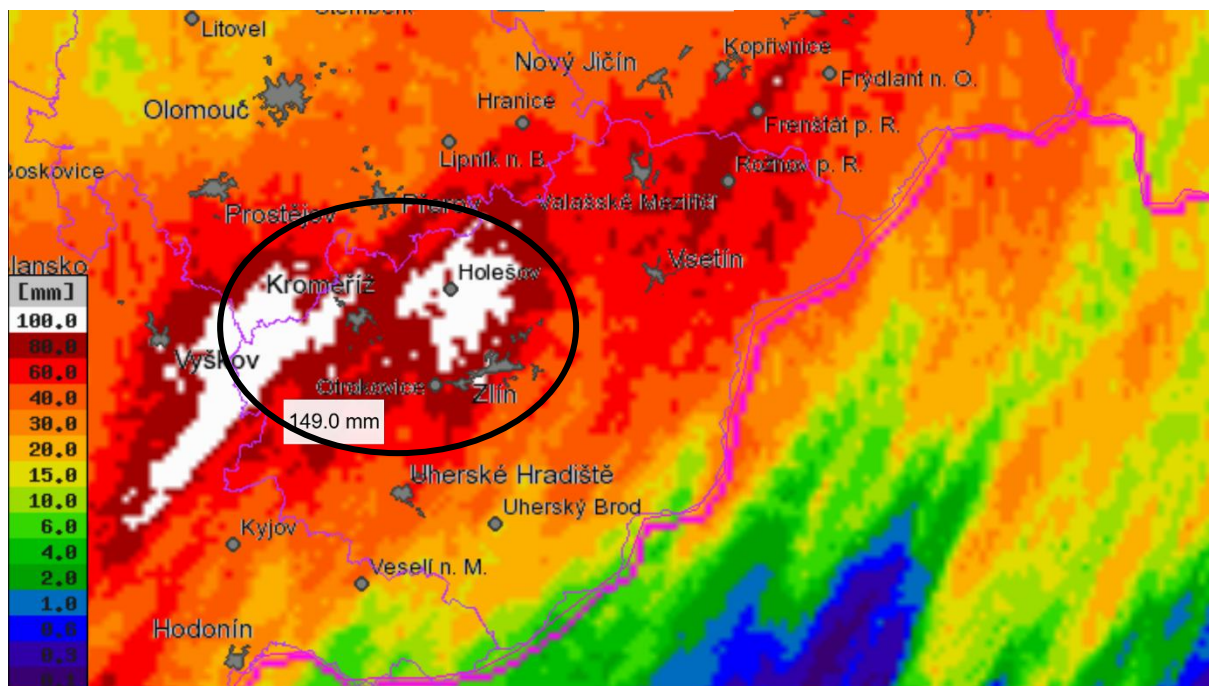
Z jednohodinových a tříhodinových sumací srážek vyplývá, že nejintenzivnější srážky se vyskytovaly mezi 19:00 a 20:00 SELČ (18:00 UTC), především v centrálních oblastech Zlínského kraje (Obrázek 74):



Obrázek 75: 1hodinová sumace pro 18 UTC (vlevo) a 3hodinová sumace radarového měření srážek 18-21 UTC (vpravo) [56]

Na snímcích radarových snímků (Obrázek 75) jsou zaznamenány výrazné srážkové úhrny nad jihovýchodní Moravou, zejména v okolí Zlína při hodinovém srážkovém úhrnu 67,1 mm a tříhodinovém srážkovém úhrnu až 103 mm, což představuje extrémně vysoký úhrn na linii konvergence indikující extrémní nebezpečí vzniku přívalových povodní a následných povodňových škod na majetku a infrastruktuře. Takto vysoké hodinové i denní úhrny představují mimořádnou konvektivní srážkovou epizodu s významným potenciálem pro vznik přívalových povodní. Jejich hodnocení v širším kontextu dlouhodobých klimatických trendů by však vyžadovalo samostatnou klimatologickou analýzu delší časové řady, která přesahuje rámec této monografie.

24hodinová sumace radarového měření srážek



Obrázek 76: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 30.06.2024 [56]

Z obrázku 76 je patrné rozložení denních sumovaných srážek zaznamenaných meteorologickými radary dne 30. 6. 2024. Nejvyšší úhrn byl naměřen mimo území Zlínského kraje, konkrétně u obce Ždánice v Jihomoravském kraji, kde dosáhl hodnoty až 177 mm za 24 hodin. Na území Zlínského kraje byla nejvyšší denní hodnota zaznamenána u obce Morkovice-Slížany na západním okraji regionu, a to 149 mm. V rámci správního obvodu ORP Zlín činil úhrn 129 mm u obce Racková a 113 mm u obce Sazovice. Pro srovnání, v Rožnově pod Radhoštěm spadlo přibližně 86 mm.

Takto vysoké hodinové i denní srážkové úhrny jsou typické pro situace spojené s konvergenční linií před studenou frontou, která může v podmínkách střední Evropy generovat lokálně extrémní srážkové epizody. Uvedené hodnoty představují nejvyšší radarem zaznamenané denní úhrny srážek ve Zlínském kraji v roce 2024 a byly hlavní příčinou vzniku desítek lokálních přívalových povodní. Z těchto událostí bylo 22 případů podrobně analyzováno a vyhodnoceno pomocí aplikace FLAPRIS, a to s ohledem na dostupnost fotodokumentace a dalších podkladů dokládajících reálné dopady povodňových jevů.

Ostatní příčiny vzniku povodňové události dne 30.06.2024

Ostatní (vedlejší) příčinné podmínky jsou na Obrázku 77 zvýrazněny tučně ohraničeným obdélníkem; týkají se celkem 22 hodnocených povodňových událostí. Z hlediska vlivu reliéfu na vznik přívalových povodní se za významné příčinné faktory považuje zejména nasycenost půdy po předchozích srážkách, vysoký podíl jílovitých půd a rozloha urbanizovaných a zemědělsky využívaných (orných) ploch.

P.č.	Rok	Město	Adresa	Popis udalosti	Stupeň závažnosti	Datum	Trvání zásahu jednotek HZS v čase	Počet srážek za hodinu	Dopady	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
23.	2024	Sazovice	Sazovice 222	Zatopený Sportovní areál Na Koupališti	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení místního sportovní areálu	3	2	2	3
24.	2024	Sazovice	Sazovice 166	zatopení místní komunikace a RD	3	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a rodinných domů	3	2	2	3
25.	2024	Sazovice	Sazovice 128	zatopení místní komunikace u sběrného dvora	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zatopení místní komunikace	1	2	0	3
26.	2024	Sazovice	Sazovice 61, Sazovice 180	zatopení místní komunikace a okolních domů	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a domů	3	2	0	2
27.	2024	Zlín	Okružní 5290, 760 05 Zlín	Zaplavená prodejna Billa	2	30.06.2024	19-21:00	40 až 50 mm	Zaplavená prodejna Billa	3	2	1	2
28.	2024	Zlín	Zlín, Univerzitní park	Zaplavená cesta Mostní a zastávka Univerzitní park	1	30.06.2024	19-21:00	30 až 40 mm	naplaveniny na cestě	3	1	2	2
29.	2024	Fryšták	Zlínská 260	zaplavení sportovního hřiště	2	30.06.2024	19-21:00	40 až 50 mm	voda na hřiště	3	2	1	1
30.	2024	Fryšták	Holešovská 268	Zaplavená komunikace Holešovská včetně přiléhajících pozemků v okolí	3	30.06.2024	19-21:00	40 až 50 mm	zaplavená komunikace	3	2	1	3
31.	2024	Racková	Racková 119	zaplavení RD do 30 cm	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení interiéru RD	3	2	2	3
32.	2024	Racková	Racková 146	zaplavení RD 50-100 cm	3	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení interiéru RD	3	2	2	3

P.č.	Rok	Město	Adresa	Popis udalosti	Stupeň závažnosti	Datum	Trvání zásahu jednotek HZS v čase	Počet srážek za hodinu	Dopady	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
33.	2024	Racková	Racková 2, Racková 45	zaplavení místní komunikace, mateřské školy a RD, výška vody 50-100 cm	3	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a interiéru MŠ a RD	3	2	2	3
34.	2024	Racková	Racková 2, Racková 10	zaplavení místní komunikace, mateřské školy a RD, výška vody 50-100 cm	3	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a interiéru MŠ a RD	3	2	2	3
35.	2024	Racková	Racková 10	zaplavení místní komunikace a RD, výška vody 30-50 cm	3	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a RD	3	2	2	3
36.	2024	Racková	Racková 45	zaplavení místní komunikace, obecního úřadu a RD, výška vody 30-50 cm	3	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a RD	3	2	2	3
37.	2024	Racková	Racková 50	zaplavení místní komunikace, potravin Vajdová a RD, výška vody 30-50 cm	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace, obchodu Vajdová a RD	3	2	2	3
38.	2024	Racková	Racková 67 Racková 155	zaplavení místní komunikace, restaurace Guru-Caffè pizzeria & ristorante a RD, výška vody 30-50 cm	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace, obchodu Vajdová a RD	3	2	2	3

P.č.	Rok	Město	Adresa	Popis udalosti	Stupeň závažnosti	Datum	Trvání zásahu jednotek HZS v čase	Počet srážek za hodinu	Dopady	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
39.	2024	Racková	Racková 6	zaplavení místní komunikace, RD, výška vody do 30 cm	1	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a RD	3	2	2	3
40.	2024	Racková	Racková 7	zaplavení místní komunikace, RD, výška vody do 30 cm	2	30.06.2024	19-21:00	50 až 60 mm	zaplavení komunikace a RD	3	2	2	3
41.	2024	Kašava	Kašava 268	zaplavení místní komunikace	3	30.06.2024	19-21:00	30 až 40 mm	zaplavení komunikace	3	2	1	2
42.	2024	Kašava	Kašava 165	zaplavení místní komunikace, výška vody do 30 cm	3	30.06.2024	19-21:00	30 až 40 mm	zaplavení komunikace	3	2	3	3
43.	2024	Rožnov pod Radhoštěm	ulice Hážovice	zaplavení místní komunikace, sklepy RD, výška vody nad 50 cm	3	30.06.2024	19-21:00	20 až 30 mm	zaplavení komunikace a RD	2	3	3	3

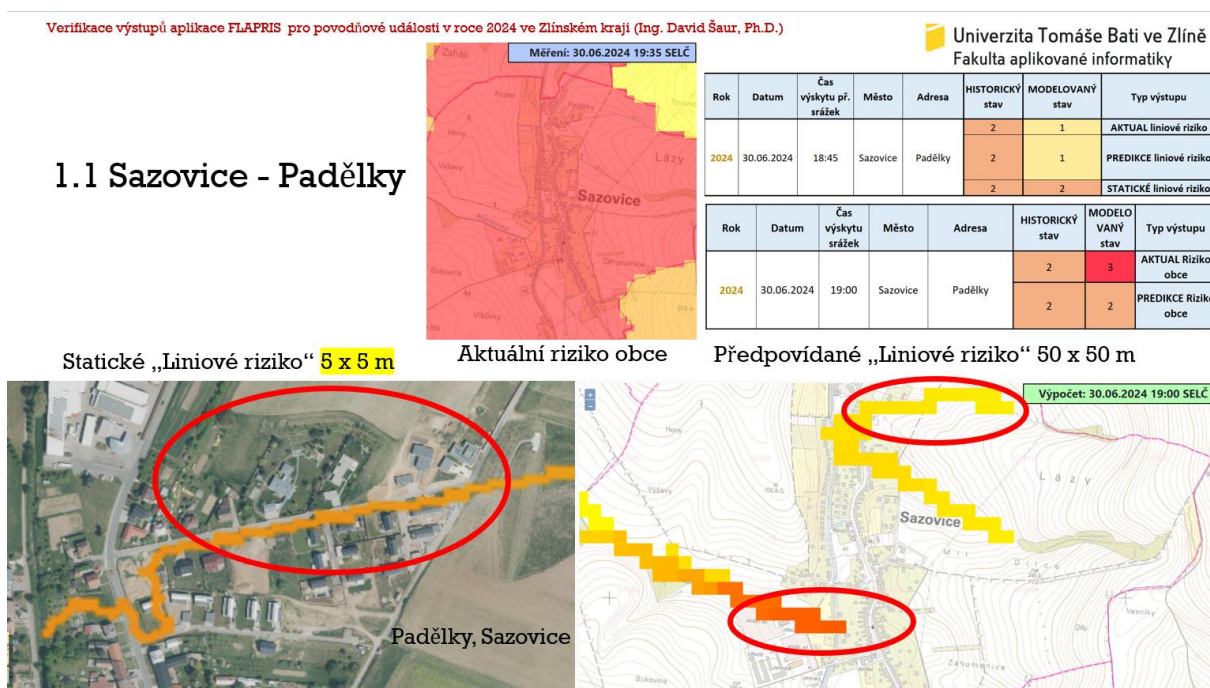
Obrázek 77: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 30.06.2024

4.4.2. Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS pro 30.06.2024
Povodňové události byly verifikovány pro následující lokality na základě hlavní srážkové epizody, která proběhla mezi 19:10 a 20:05 SELČ, pro tyto obce a města:

- Sazovice
- Zlín
- Racková
- Fryšták
- Kašava
- Rožnov pod Radhoštěm (ulice Hážovice)

1. Sazovice

V obci Sazovice se dne 30. června 2024 vyskytly rozsáhlé přívalové povodně, které postupně zasáhly několik částí obce. Klíčovou roli při vzniku povodně sehrála lokalita Padělky na severním okraji obce. Vlivem extrémních srážek došlo k intenzivnímu odtoku vody z okolních zemědělských ploch do retenčního poldru. Kapacita poldru byla nedostatečná, což vedlo k jeho přetečení a následnému protržení hráze. Voda se poté rozlila do dvou třetin zastavěného území obce.



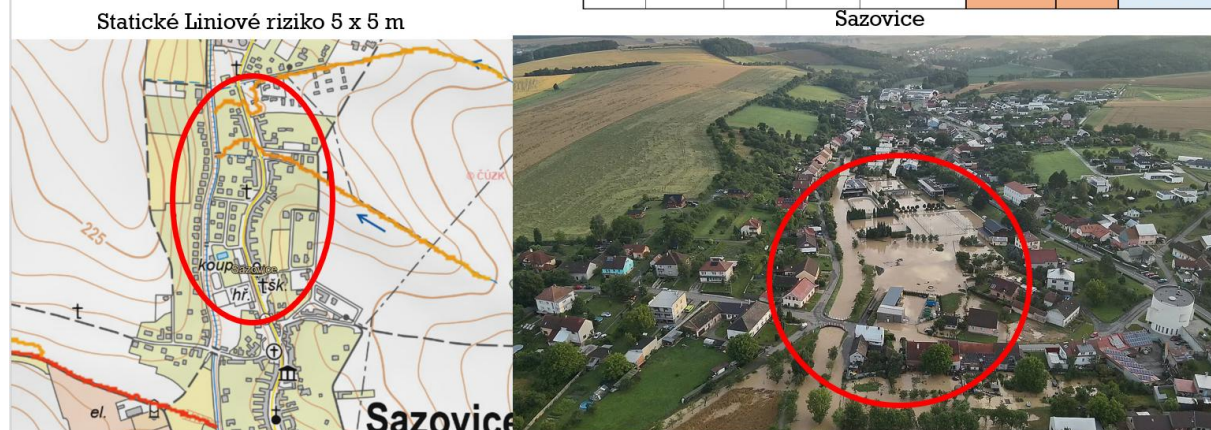
Obrázek 78: Verifikace výstupu Aktuálních rizika obce, Statického liniového rizika a Předpovídaného liniového rizika pro lokalitu Sazovice – Padělky [48]

Tato událost má charakter tzv. zvláštní povodně, která vzniká porušením vodního díla a náhlým únikem vody do okolí. Vzhledem k tomu, že příčinou byla přirozená meteorologická situace – přívalové deště spojené s konvergenční linií před studenou frontou – je tato povodeň hodnocena jako přirozená povodeň.

Modelovaný stav aktuálního i predikovaného nebezpečí přívalové povodně byl oproti skutečnosti mírně podhodnocen. Obrázek 78 dokumentuje rozdíl mezi statickým liniovým rizikem (rozlišení 5 × 5 m) a predikovaným liniovým rizikem (rozlišení 50 × 50 m), přičemž jemnější model lépe vystihuje skutečný průběh povodňové vlny. Tabulka v

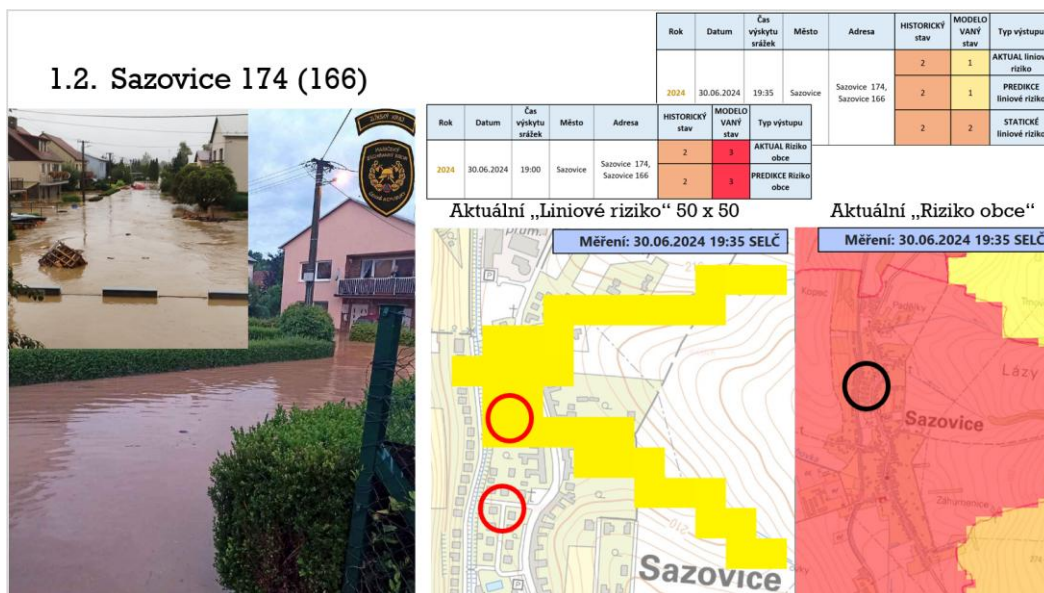
horní části obrázku ukazuje historické, aktuální a predikované hodnoty rizika pro lokalitu Padělky, což potvrzuje nutnost zpřesnění modelů pro krizové plánování.

Verifikace výstupu aplikace FLAPRIS pro povodňové události v roce 2024 ve Zlínském kraji (Ing. David Šaur, Ph.D.)								Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu								
2024	30.06.2024	19:00	Sazovice	Sazovice	2	3	AKTUAL Riziko obce	2024	30.06.2024	19:35	Sazovice	Sazovice	2	1	AKTUAL liniové riziko
					2	3	PREDIKCE Riziko obce						2	1	PREDIKCE liniové riziko
					2	3	PREDIKCE Riziko obce						2	2	STATICKÉ liniové riziko



Obrázek 79: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro obec Sazovice [48], [61]

Tento výstup poskytuje pouze souhrnný pohled na povodňovou situaci v Sazovicích. Na levé straně Obrázku 79 je znázorněn vysoký stupeň nebezpečí podle výstupu *Statické liniové riziko*, který se vztahuje k liniím přímého odtoku srážkové vody směřujícím do intravilánu obce.



Obrázek 80: Verifikace výstupu Aktuálního rizika obce a Aktuálního liniového rizika pro lokalitu Sazovice 174 [48], [57]

Obrázek 80 dokumentuje povodňovou situaci v lokalitě Sazovice 174, kde hladina vody dosáhla výšky přibližně 30 cm, což odpovídá předpokladu vysokého stupně nebezpečí. Tento stupeň byl přesně identifikován pouze pomocí statického liniového rizika s vysokým prostorovým rozlišením. Naproti tomu aktuální i předpovědní výstupy modelu

generovaly pouze nízký stupeň nebezpečí, což znamená mírné podhodnocení skutečné situace.

Na obrázku je patrné porovnání dvou přístupů:

- Aktuální liniové riziko (50 × 50 m) – výstup s hrubším rozlišením, který nedokázal přesně zachytit kritické body ohrožení.
- Aktuální riziko obce – výstup, který poskytuje obecný přehled, avšak postrádá detailní lokalizaci rizikových míst.

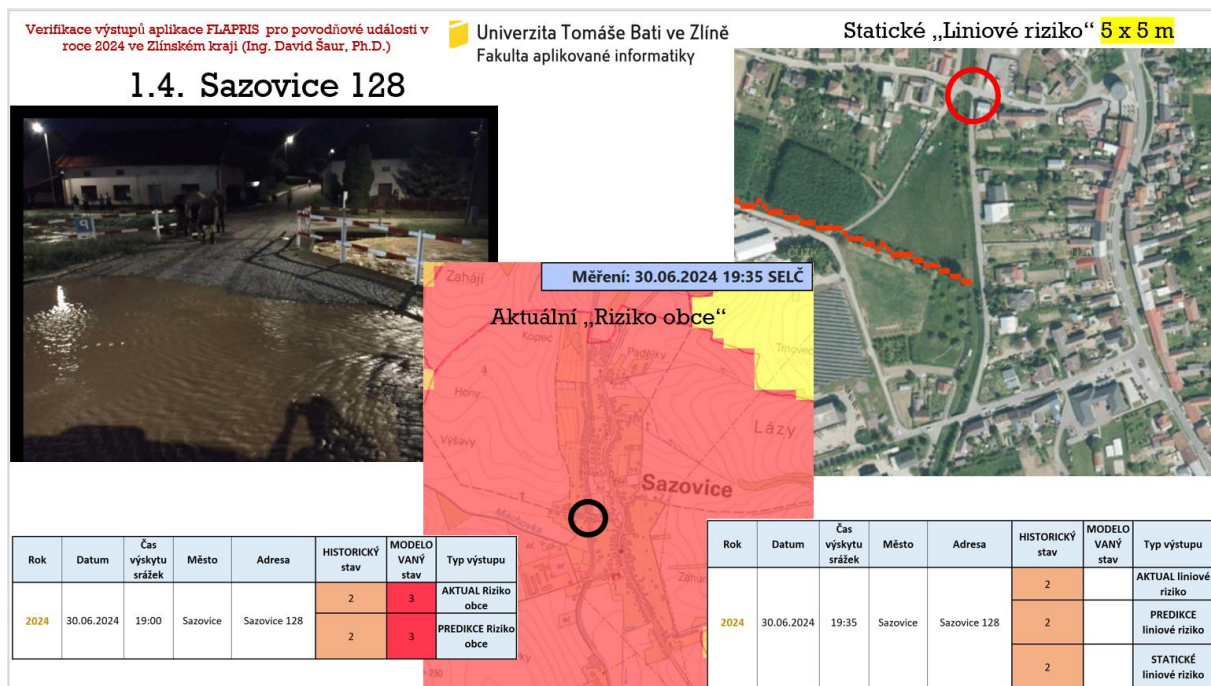


Obrázek 81: Verifikace výstupu Předpovídaného rizika obce pro lokalitu Sazovice 222 (Sportovní areál Na Koupališti) [48], [57]

Obrázek 81 dokumentuje povodňovou situaci v lokalitě Sportovní areál Na Koupališti, evidované pod adresou Sazovice 222, kde došlo k zatopení místního koupaliště. Pro tuto lokalitu nebyla v rámci modelu vypočítána žádná linie soustředěného odtoku srážek, což znamená, že predikční model nedokázal identifikovat konkrétní rizikové body. Jediným orientačním výstupem bylo aktuální a předpovědní riziko obce, které pro celou obec Sazovice indikovalo extrémní stupeň nebezpečí přívalových povodní.

Z Obrázku 81 je patrné porovnání predikovaného rizika obce s reálným stavem, kdy plošný model sice správně vyhodnotil vysoké ohrožení na úrovni obce, avšak nedokázal lokalizovat kritické místo – sportovní areál. Fotodokumentace potvrzuje rozsah zaplavení bazénů a přilehlých ploch, což dokládá nutnost zpřesnění predikčních algoritmů.

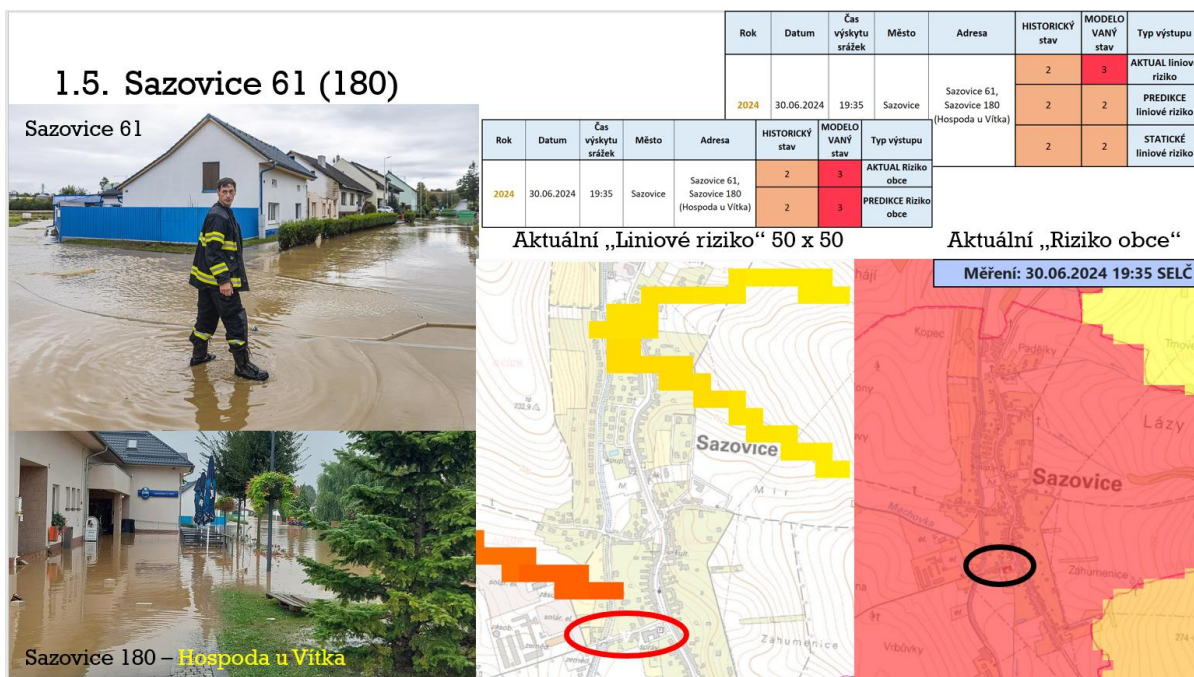
Jednou z postižených lokalit byla zatopená místní komunikace vedoucí kolem Sběrného dvora Sazovic. Nejbližší vypočtená linie soustředěného odtoku srážek se nacházela několik desítek metrů od místa skutečného výskytu povodně, což naznačuje možné odchylky v predikčním modelu. Otázkou zůstává, do jaké míry ke vzniku povodně přispěl místní vodní tok, který se nachází v blízkosti komunikace (viz Obrázek 82).



Obrázek 82: Verifikace výstupu Předpovídaného rizika obce pro lokalitu Sazovice 128 (u Sběrného dvora Sazovice) [48], [57]

Z Obrázku 82 je patrné porovnání aktuálního rizika obce se Statickým liniovým rizikem (rozlišení 5 × 5 m). Jemnější model identifikoval potenciální rizikovou oblast, avšak nikoli přesně v místě zaplavení. Fotodokumentace potvrzuje rozsah zatopení komunikace a přilehlých objektů, což dokládá nutnost zpřesnění predikčních algoritmů a zohlednění vlivu lokálních hydrologických prvků.

Ve druhé polovině dne 30. června 2024 došlo v jižní části obce Sazovice k zatopení místní restaurace Hospoda u Vítka (Sazovice 180) a přilehlé ulice s adresou Sazovice 61, jak dokumentuje Obrázek 83. Pro tuto lokalitu bylo modelem vypočteno Aktuální riziko na úrovni extrémního stupně nebezpečí, avšak predikovaná poloha rizika byla vzdálena několik desítek metrů od skutečného místa zaplavení.



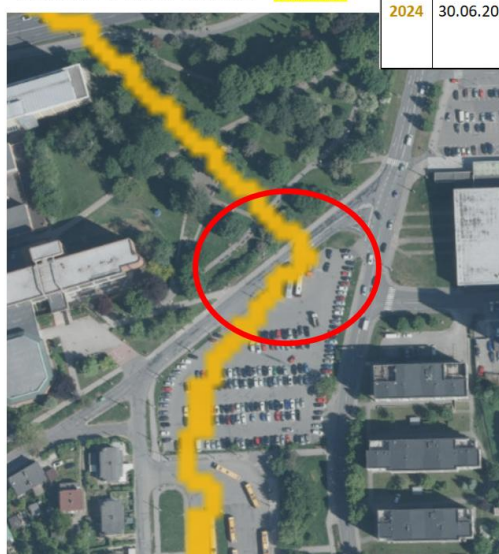
Obrázek 83: Verifikace výstupu Předpovídaného rizika obce pro lokalitu Sazovice 61 (180) [48], [57]

2. Zlín

Ve městě Zlín, jakožto krajském centru, bylo zaznamenáno celkem 17 lokalit spojených s technickými zásahy při odstraňování následků povodně z 30. června. Z důvodu velmi omezeného množství dostupné fotodokumentace však byly výstupy aplikace FLAPRIS vyhodnoceny pouze pro dvě lokality – jednu v centru města Zlína a druhou na parkovišti před supermarketem Billa v oblasti Jižních Svahů.

2.1 Zlín – Univerzitní park

Statické „Liniové riziko“ 5 x 5 m



Rok	Datum	Čas výskytu př. srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
2024	30.06.2024	19:35	Zlín	Zlín, Univerzitní park	1	1	AKTUAL liniové riziko
					1	1	PREDIKCE liniové riziko
					1	1	STATICKE liniové riziko

Ulice Mostní, Zlín



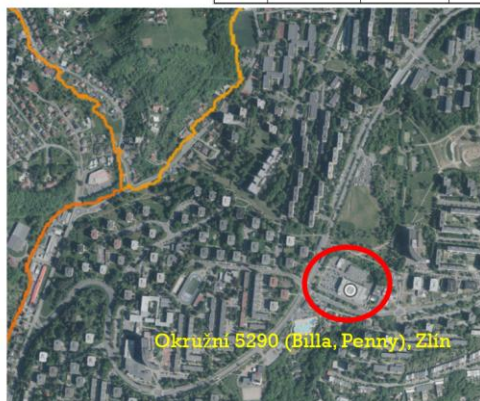
Obrázek 84: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro lokalitu Univerzitní park (ulice Mostní) ve městě Zlín [48], [57], [62]

První zasaženou lokalitou, uvedenou na Obrázku 84, byla trolejbusová zastávka Univerzitní park na ulici Mostní ve Zlíně. V tomto případě byly modelové výstupy – Aktuální riziko, Předpovědní riziko i Statické liniové riziko – vypočteny s vysokou přesností a odpovídaly skutečnému stavu. Lokalita byla klasifikována jako nízký stupeň nebezpečí, což se potvrdilo i v terénu: přes komunikaci protékala voda spolu s bahnem a kamennými částicemi do výšky maximálně 10 cm.

Z Obrázku 84 je patrné porovnání predikčního modelu s reálným stavem. Statické liniové riziko s jemným rozlišením 5 × 5 m přesně identifikovalo trasu soustředěného odtoku, která se shoduje s místem výskytu povodňového jevu. Fotodokumentace potvrzuje mírný charakter zaplavení, který neohrozil dopravní infrastrukturu ani přilehlé objekty.

2.2 Zlín – Okružní 5290

Rok	Datum	Čas výskytu př. srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
2024	30.06.2024	19:15	Zlín	Okružní 5290,	2	0	AKTUAL liniové riziko
					2	0	PREDIKCE liniové riziko
					2	0	STATICKE liniové riziko



Okružní 5290 (Billa, Penny), Zlín



Obrázek 85: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro lokalitu Okružní 5290 (parkoviště u obchodu Billa) [48], [57], [62]

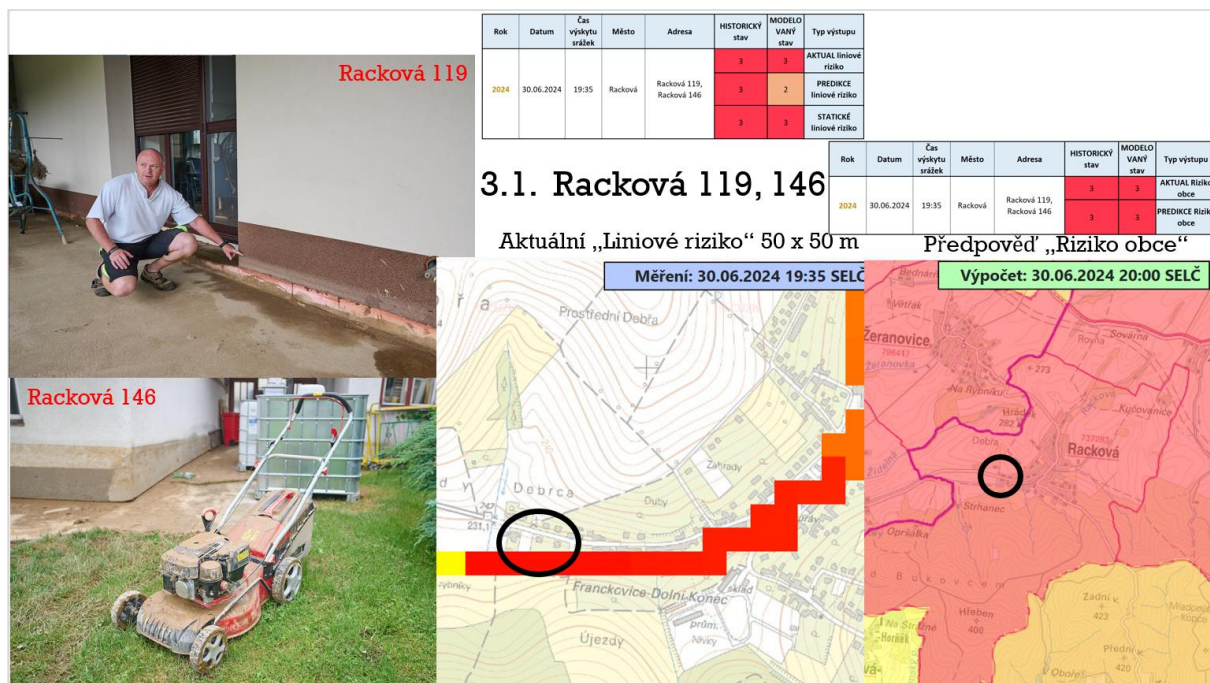
Druhou zasaženou lokalitou bylo parkoviště u supermarketu Billa na sídlišti Jižní Svahy ve Zlíně. Tato oblast je dlouhodobě známá častým výskytem povodní, což souvisí s její polohou pod úrovní okolních svahů a komunikací. V kombinaci s nedostatečnou kapacitou kanalizační sítě došlo při extrémních srážkách dne 30. června 2024 k zatopení nejen parkoviště, ale i samotného objektu supermarketu Billa.

Pro tuto lokalitu nebylo modelem vypočteno žádné Liniové riziko soustředěného odtoku, což znamená, že predikční algoritmus nedokázal identifikovat konkrétní rizikové body. Jediným výstupem byla klasifikace extrémního nebezpečí pro celé území města Zlína. Hloubka vody na parkovišti dosahovala 10 až 30 cm, což odpovídá limitu pro vysoký stupeň nebezpečí přívalové povodně.

Na Obrázku 85 je patrné porovnání predikčního modelu s reálným stavem. Fotodokumentace potvrzuje rozsah zaplavení, které výrazně ovlivnilo dopravní obslužnost i provoz obchodního centra.

3. Racková

Tato obec, obdobně jako obec Sazovice, patřila mezi nejvíce postižené lokality v celém Zlínském kraji. Během jedné hodiny zde spadlo téměř 60 mm srážek (více než 100 mm za 24 hodin).



Obrázek 86: Verifikace výstupu Aktuálního liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 119 a Racková 146 [48], [63]

Šíření přívalové povodně v obci Racková probíhalo od západu směrem k severní části obce. Na západním okraji byly nejprve zatopeny venkovní i vnitřní prostory rodinných domů. Na adrese Racková 119 dosáhla hladina vody výšky přes 30 cm, obdobně jako na adrese Racková 146, což je doloženo přiloženou fotodokumentací.

Obrázek 86 ukazuje porovnání Aktuálního liniového rizika (rozlišení 50 × 50 m) s výstupem Předpověď rizika obce. Model identifikoval rizikovou oblast, avšak s mírným prostorovým posunem vůči skutečnému místu zaplavení. Tato odchylka poukazuje na omezení predikčních algoritmů při detailní lokalizaci povodňových jevů.

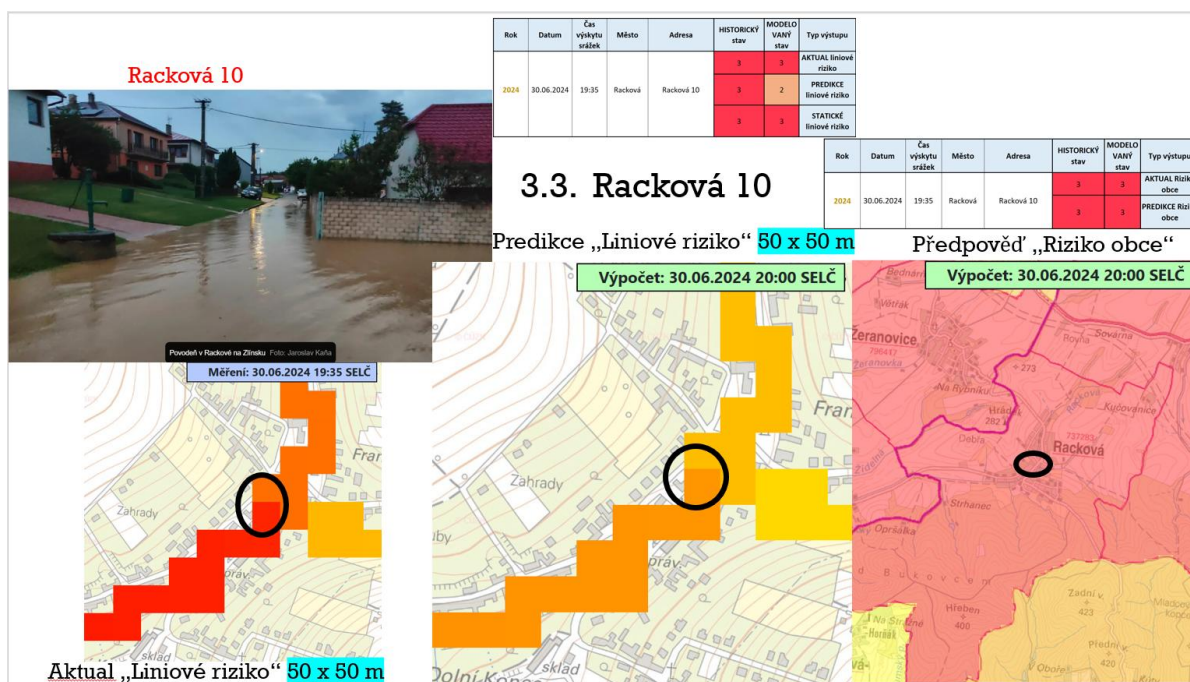
Aktuální liniové riziko i Předpovědní riziko obce byly pro tuto lokalitu vypočteny na extrémní stupeň nebezpečí v souvislosti s místním potokem pod hlavní komunikací. Právě vylití vody z koryta tohoto toku bylo hlavní příčinou vzniku lokální přívalové povodně, jak dokumentuje Obrázek 87. Zaplavení zasáhlo mimo jiné objekt mateřské školy (Racková 2) a rodinný dům na adrese Racková 45.

Z Obrázku 87 je patrné porovnání statického liniového rizika (rozlišení 5 × 5 m) s Předpovědí rizika obce. Model správně identifikoval kritickou oblast, avšak rozsah zaplavení byl ovlivněn kombinací extrémních srážek a nedostatečné kapacity koryta potoka. Fotodokumentace potvrzuje vysoký stupeň ohrožení, kdy voda dosahovala značné hloubky a způsobila škody na objektech.



Obrázek 87: Verifikace výstupu Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 2 a Racková 45 [48], [64]

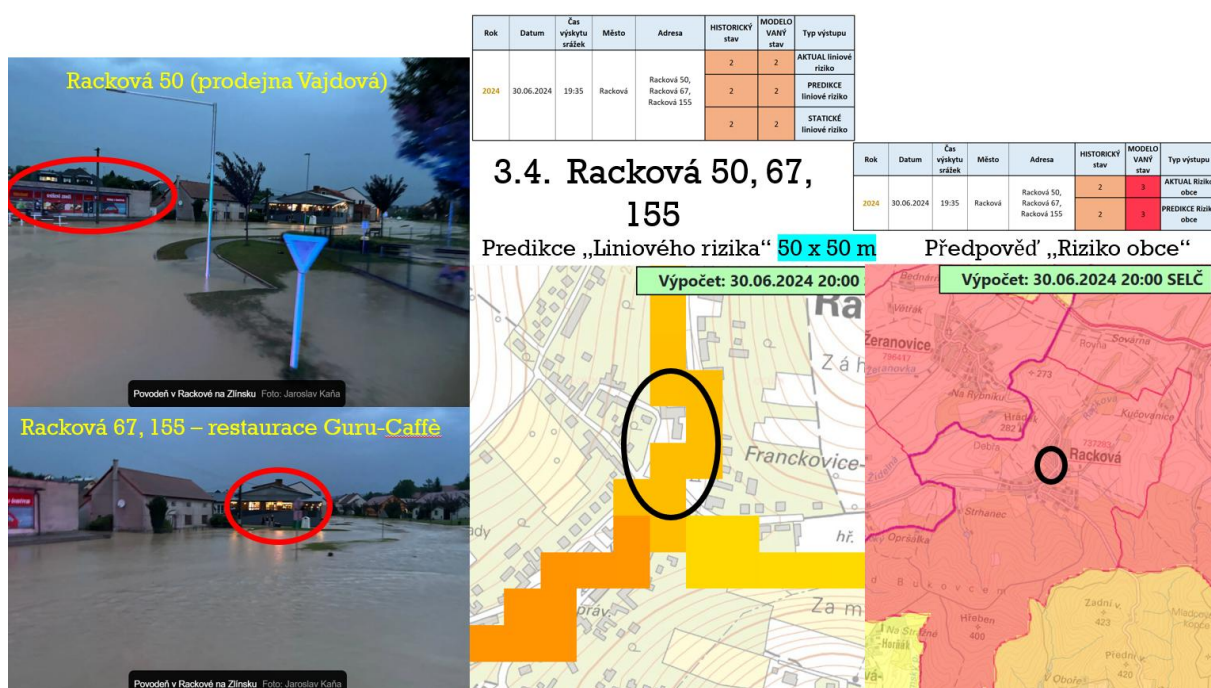
Druhou, západně položenou lokalitou zasaženou přívalovou povodní byla mateřská škola (Racková 2) a autobusová zastávka v blízkosti adresy Racková 45. V tomto případě dosáhla hladina vody více než 0,5 metru, čímž byl naplněn extrémní stupeň nebezpečí přívalové povodně. Aplikace FLAPRIS generovala výstupy aktuálního i předpovědního nebezpečí na třetí, tedy nejvyšší stupeň, a to včetně Statického liniového rizika s vysokou přesností (rozlišení 5×5 m).



Obrázek 88: Verifikace výstupu Předpovědi liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 10 [48], [64]

Další zasaženou lokalitou byla místní komunikace mezi bytovými a rodinnými domy na adrese Racková 10, jak dokumentuje Obrázek 88. Pro tuto oblast byl modelem vypočten vysoký stupeň nebezpečí (označen oranžovou barvou) pro obě varianty liniových rizik, přičemž Riziko obce bylo mírně nadhodnoceno na extrémní stupeň. Skutečný stav ukázal, že největší množství vody proudilo po hlavní komunikaci od západu a postupně se rozlévalo do okolních ulic, včetně této adresy. Hloubka vody dosahovala přibližně 10–30 cm, což je pod hranicí extrémního rizika, avšak docházelo k zatopení sklepů rodinných domů.

Na Obrázku 89 je patrné porovnání Aktuálního liniového rizika (rozlíšení 50 × 50 m) s Předpovědí rizika obce, které ukazuje rozdíl mezi plošným a liniovým modelem. Fotodokumentace potvrzuje charakter povodně – povrchový odtok s lokálním zaplavením, nikoli plošné zatopení.



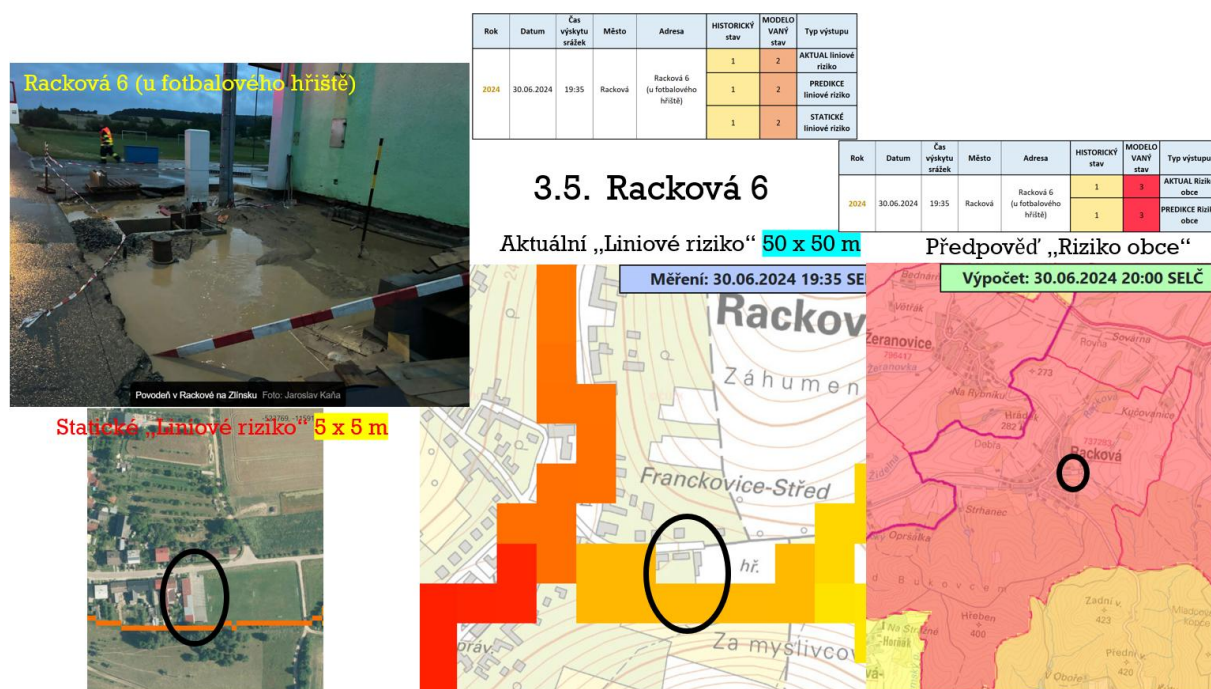
Obrázek 89: Verifikace výstupu Předpovědi liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 50, 67 a 155 [48], [64]

Po směru hlavní komunikace vedoucí napříč obcí byly dalšími zatopenými lokalitami prodejna Vajdová (Racková 50), restaurace & pizzeria Guru-Caffe (Racková 67) a objekt na adrese Racková 155. V důsledku rozšiřující se hlavní komunikace se výška hladiny snížila pod 30 cm, což odpovídá vysokému stupni nebezpečí (Obrázek 89). Hodnoty všech výstupů aplikace FLAPRIS pro liniové riziko (soustředěný odtok přívalových srážek) přesně odpovídaly skutečnosti.

Přestože výška hladiny nebyla extrémní, voda se rozlila do širšího intravilánu obce v okolí hlavní komunikace a způsobila rozsáhlé zaplavení veřejných prostor a přilehlých objektů. Fotodokumentace potvrzuje, že povodňová vlna zasáhla centrální část obce, což mělo významný dopad na dopravní obslužnost i provoz komerčních zařízení.

Na adrese Racková 6, v blízkosti místního fotbalového hřiště, došlo k zatopení vedlejší komunikace a sousedních objektů v důsledku vylití většího množství vody z hlavní komunikace. Hladina vody dosahovala maximálně 10 cm, což znamená, že nedošlo k významnějším škodám na majetku ani infrastruktuře (viz Obrázek 90). Přesto byla situace evidována jako povodňový jev, protože došlo k omezení průjezdnosti komunikace a zatopení přilehlých ploch.

Na Obrázku 90 je uvedeno porovnání Aktuálního liniového rizika (rozlišení 50 × 50 m) a Statického liniového rizika (rozlišení 5 × 5 m) s Předpovědí rizika obce. Model FLAPRIS správně identifikoval trasu soustředěného odtoku, avšak intenzita povodně byla nižší, než naznačovalo plošné riziko obce.



Obrázek 90: Verifikace výstupu Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 6 (u fotbal. hřiště) [48], [64]



Obrázek 91: Verifikace výstupu Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 6 (u fotbal. hřiště) [48], [63]

Poslední zasaženou lokalitou byl rodinný dům na adrese Racková 7. Tento objekt se nachází přímo na hlavní komunikaci, po které se přívalová povodeň šířila, a současně v bezprostřední blízkosti místního potoka, který se při extrémních srážkách vylil z koryta. Kombinace těchto faktorů způsobila, že hladina vody vystoupala až na 30 cm, což odpovídá vysokému stupni nebezpečí přívalové povodně (viz Obrázek 91).

Obrázek 91 dokumentuje shodu mezi predikčními modely a skutečným stavem. Statické liniové riziko s jemným rozlišením (5 × 5 m) přesně identifikovalo trasu soustředěného odtoku, zatímco predikované riziko obce správně klasifikovalo oblast jako vysoce ohroženou. Fotodokumentace potvrzuje rozsah škod na majetku, zejména v interiéru rodinného domu.

4. Fryšták u Zlína

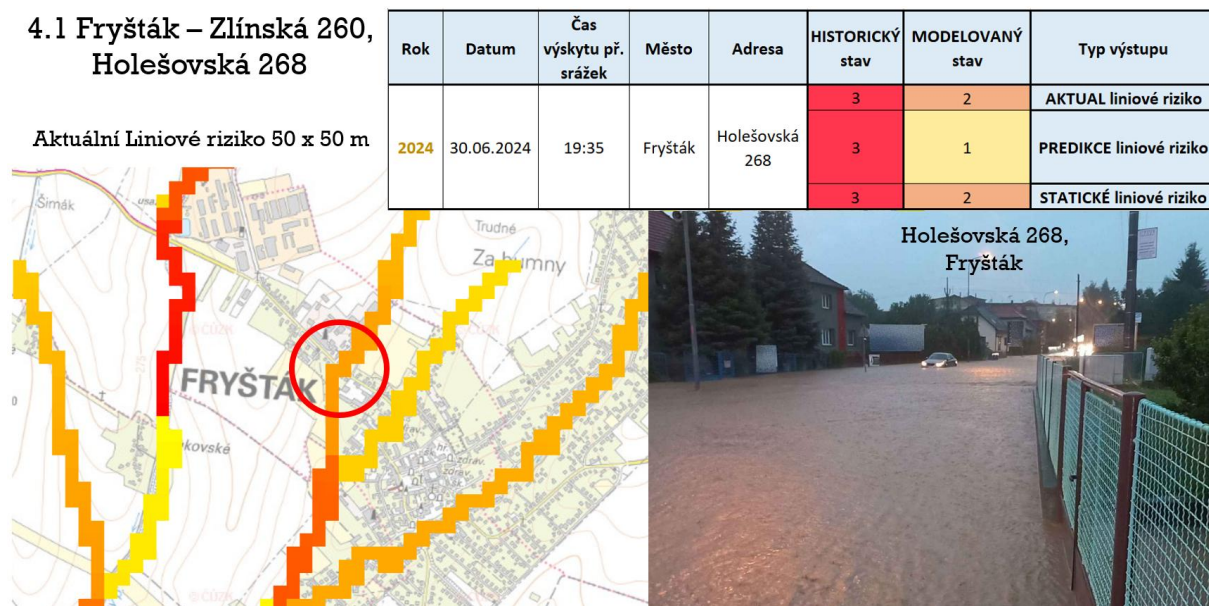
Další zasaženou obcí ve směru postupu linie konvergence byl Fryšták u Zlína, kde mezi 19:00 a 20:00 SELČ spadlo přibližně 40 až 50 mm srážek. Takto mimořádně intenzivní přívalové srážky vyvolaly výraznou hydrologickou odezvu území, charakterizovanou rychlým nárůstem povrchového odtoku. V důsledku nízké infiltrační kapacity půd a vysokého koeficientu odtoku v území s převahou urbanizovaných a zemědělsky využívaných (orných) ploch došlo k rozvoji přívalových povodní v jižní, centrální a severozápadní části obce.

4.1 Fryšták – Zlínská 260, Holešovská 268



Obrázek 92: Verifikace výstupu Aktuálního rizika obce pro lokalitu Zlínská 260 (u fotbal. hřiště) a Holešovská 268 [48], [57]

4.1 Fryšták – Zlínská 260, Holešovská 268



Obrázek 93: Verifikace výstupů Aktuálního liniového rizika pro lokalitu Zlínská 260 (u fotbal. hřiště) a Holešovská 268 [48], [57]

Na Obrázku 93 je zachycena lokalita Zlínská 260 s zatopeným fotbalovým hřištěm, kam voda natekla z okolních zemědělských ploch v důsledku intenzivních srážek. V druhém případě je dokumentována situace v lokalitě Holešovská 268, zejména na hlavní komunikaci směrem do Holešova. Zde hladina vody vystoupala na více než 0,5 metru, což odpovídá extrémnímu stupni nebezpečí přívalové povodně. Hlavní příčinou byla koncentrace srážkových vod z okolních ulic do nejnižší položené části komunikace a současně nedostatečná kapacita kanalizační sítě.

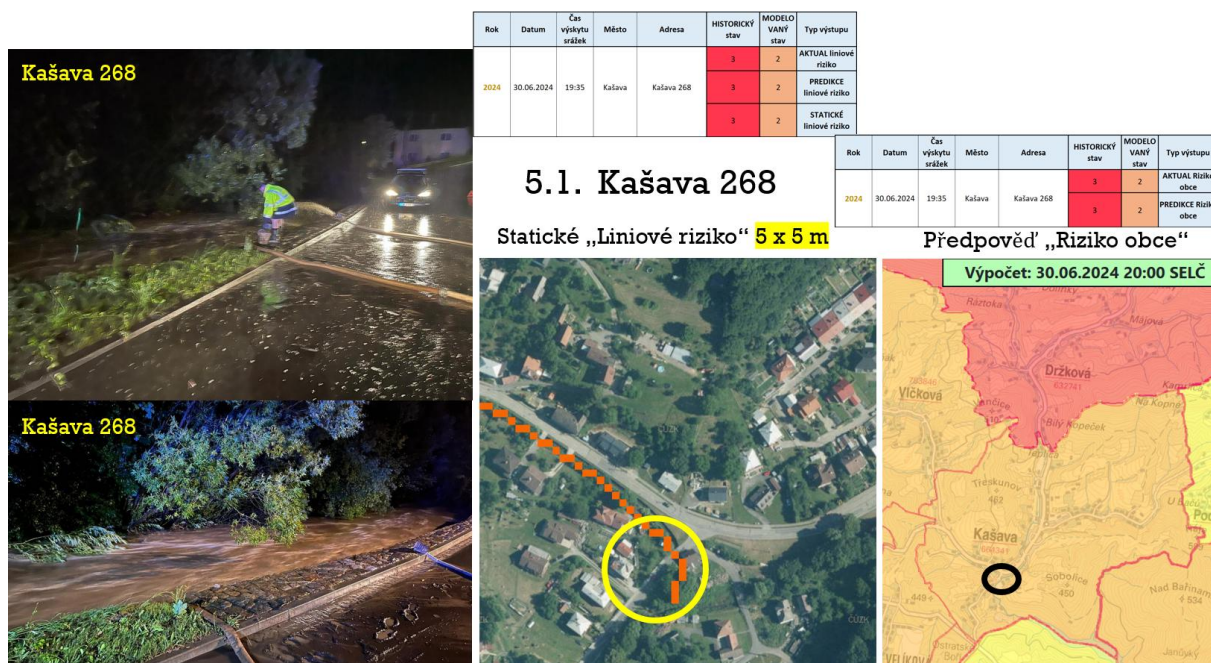
Predikční model FLAPRIS správně identifikoval obě lokality jako vysoce rizikové, což potvrzuje shoda mezi Aktuálním rizikem obce a historickým stavem. Fotodokumentace

dokládá rozsah zaplavení, které výrazně ovlivnilo dopravní obslužnost a způsobilo škody na infrastruktuře.

Předpověď kritických linií byla stanovena na vysoký stupeň nebezpečí, což se ukázalo jako mírné podhodnocení oproti skutečnému stavu. Přesnější odhad intenzity povodně na extrémní stupeň poskytl výstup Riziko obce, jak je patrné na Obrázku 93. Skutečný průběh povodně byl ovlivněn kombinací koncentrace srážkových vod z okolních ulic, nedostatečné kapacity kanalizační sítě a akumulace vody v nejnižší položené části komunikace. Fotodokumentace potvrzuje rozsah zaplavení, kdy hladina vody dosahovala více než 0,5 metru, což způsobilo významné omezení dopravní obslužnosti a škody na infrastruktuře.

5. Kašava

Na Obrázku 94 je zachycena lokalita Kašava 268, která byla zasažena přívalovou povodní v blízkosti odbočky z hlavní silnice procházející obcí Kašava na vedlejší komunikaci směrem k silnici spojující obce Hrobice a Veliková. V této lokalitě došlo k zatopení vedlejší komunikace v důsledku přívalového deště s intenzitou přesahující 40 mm/hod., přítomnosti urbanizovaných ploch a zejména vlivem řeky Dřevnice, která protéká paralelně s postiženou komunikací. Rozvodněná Dřevnice způsobila významné omezení provozu na této komunikaci.



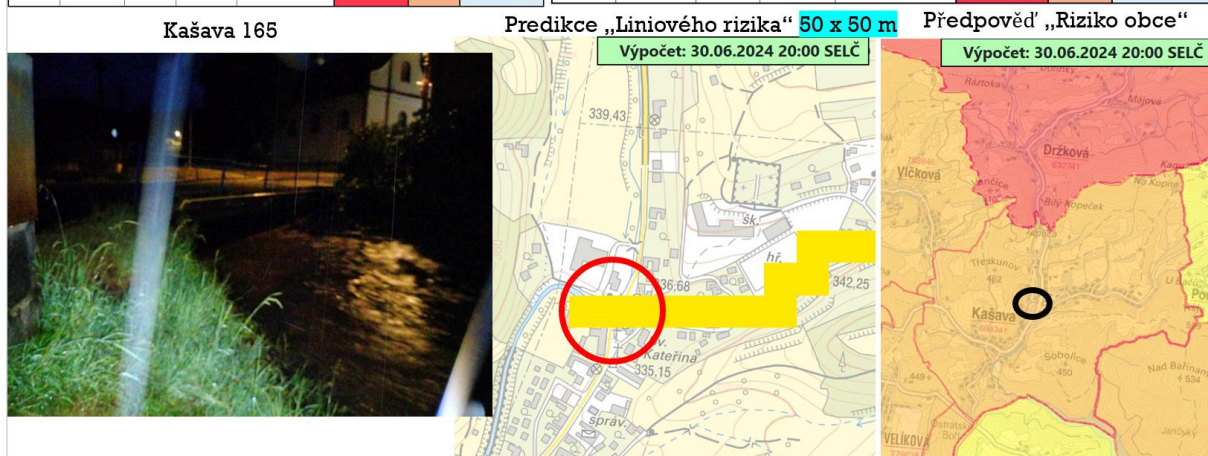
Obrázek 94: Verifikace výstupů Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Kašava 268 [48], [57]

Výpočet Rizika obce i Statického liniového rizika byl mírně podhodnocen – předpověď stanovila vysoký stupeň nebezpečí, zatímco skutečný stav odpovídal historickému extrémnímu stupni. Fotodokumentace potvrzuje rozsah zaplavení a dynamiku povodňové vlny.

5.2. Kašava 165

Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELO VANÝ stav	Typ výstupu
2024	30.06.2024	19:35	Kašava	Kašava 165	3	1	AKTUAL liniové riziko
					3	1	PREDIKCE liniové riziko
					3	2	STATICKÉ liniové riziko

Rok	Datum	Čas výskytu srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELO VANÝ stav	Typ výstupu
2024	30.06.2024	19:35	Kašava	Kašava 165	3	2	AKTUAL Riziko obce
					3	2	PREDIKCE Riziko obce



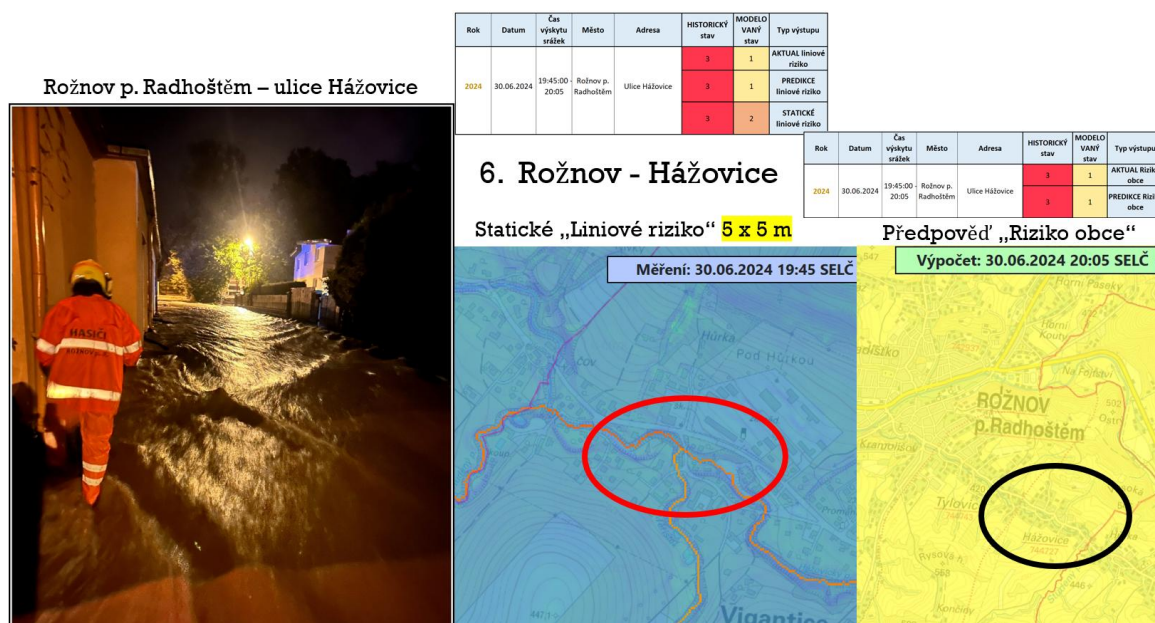
Obrázek 95: Verifikace výstupů Předpovědi liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Kašava 165 [48], [57]

Druhou zasaženou lokalitou byla Kašava 165, nacházející se v blízkosti místního kostela. V této oblasti došlo k vylití vody z koryta vodního toku Dřevnice, což bylo hlavní příčinou vzniku povodňového jevu. Dalším významným faktorem byl most, který v daném místě vytváří zúžené podmínky pro odtok vody, čímž se zvýšila pravděpodobnost rozlivu (viz Obrázek 95).

Aplikace FLAPRIS detekuje Aktuální liniové riziko na nižší stupeň, zatímco Statické liniové riziko i Riziko obce byly vyhodnoceny jako vysoké. Skutečný stav však odpovídal extrémnímu stupni nebezpečí, což poukazuje na podhodnocení intenzity povodně v předpovědním výpočtu. Výpočty předpovědi Liniového rizika a Rizika obce byly stejné jako u předchozího případu mírně podhodnocené oproti historickému stavu.

6. Rožnov pod Radhoštěm (ulice Hážovice)

Poslední zasaženou lokalitou dne 30. června 2024, kde byly zaznamenány výjezdy jednotek HZS k odstraňování povodňových škod (včetně fotodokumentace), bylo okolí ulice Hážovice v Rožnově pod Radhoštěm. Povodňová událost nastala po 20:00 SELČ. Hlavními příčinami vzniku přívalové povodně byly intenzivní srážky (20–30 mm/hod.), vysoký podíl urbanizovaných ploch s nedostatečnou kapacitou kanalizace a zejména Hážovický potok, který se vylil z koryta do okolí.



Obrázek 96: Verifikace výstupů Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro okolí ulice Hážovice [48], [59]

Poslední zasaženou lokalitou dne 30. června 2024, kde byly zaznamenány výjezdy jednotek HZS k odstraňování povodňových škod (včetně fotodokumentace), bylo okolí ulice Hážovice v Rožnově pod Radhoštěm. Povodňová událost nastala po 20:00 SELČ. Hlavními příčinami vzniku přívalové povodně byly intenzivní srážky (20–30 mm/hod.), vysoký podíl urbanizovaných ploch s nedostatečnou kapacitou kanalizace a zejména Hážovický potok, který se vylil z koryta do okolí.

4.4.3. Výsledky verifikace přívalové povodně ze dne 30.06.2024

Nejprve jsou prezentovány výsledky verifikace zaměřené na hodnocení míry shody mezi měřeními a předpovědními výstupy aplikace FLAPRIS pro událost z 30. června 2024, a to s ohledem na úspěšnost a chybovost modelových predikcí.

Hodnocení úspěšnosti 30.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	41	46	
Riziko obce	86	86	
Liniové riziko	68	68	86
Plošné riziko	68	82	96

Hodnocení úspěšnosti 30.6.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	5	5	
Riziko obce	36	32	
Liniové riziko	41	27	50
Plošné riziko	32	27	41

Hodnocení úspěšnosti 30.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	59	54	
Riziko obce	14	14	
Liniové riziko	32	32	14
Plošné riziko	32	18	4

Hodnocení úspěšnosti 30.6.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	95	95	
Riziko obce	64	68	
Liniové riziko	59	73	50
Plošné riziko	68	73	59

Obrázek 97: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 30.06.2024

Na Obrázku 97 jsou shrnuty výsledky verifikace modelových výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou epizodu z 30. června 2024. Hodnocení úspěšnosti bylo provedeno pro čtyři základní výstupní kategorie – Radar Holešov, Riziko obce, Liniové riziko a Plošné riziko – a to v režimech aktuálního stavu, předpovědi a statického rizika. Analýza

zohledňuje jak míru úspěšnosti, tak i chybovosti měření a modelových předpovědí, a to s tolerancí ± 1 stupně nebezpečí i bez tolerance.

Výsledky s tolerancí potvrzují relativně vysokou spolehlivost modelu, především u kategorií liniového a plošného rizika, kde byla dosažena úspěšnost v rozmezí 68–96 %. Nejvyšší hodnoty vykazuje výstup Statické riziko, jehož výsledky jsou konzistentní a stabilní napříč jednotlivými lokalitami. Tato skutečnost naznačuje, že statický režim modelu adekvátně odráží dlouhodobé fyzicko-geografické predispozice území k přívalovým povodním. Naopak nejnižší míru úspěšnosti zaznamenala kategorie Radar Holešov, což lze přičíst prostorové nepřesnosti radarových odhadů srážek a jejich omezené schopnosti zachytit lokální extrémy srážkové intenzity.

Při hodnocení bez tolerance dochází ke znatelnému poklesu úspěšnosti napříč všemi kategoriemi, přičemž rozdíly mezi měřenými a modelovými daty odhalují citlivost modelu na prostorové a časové nepřesnosti vstupních údajů. Přesto si statické riziko udržuje relativně vyšší míru přesnosti (až 50 %), což potvrzuje jeho využitelnost pro plošné a dlouhodobé hodnocení povodňové ohroženosti.

Z hlediska chybovosti je patrné, že radarové a obecní výstupy vykazují vyšší podíl nesouladů, zatímco liniové a plošné hodnocení jsou vůči těmto odchylkám robustnější. Výsledky tak potvrzují, že model FLAPRIS je vhodným nástrojem pro identifikaci prostorových vzorců povodňového rizika, především při agregovaném hodnocení odtokových linií a plošné zranitelnosti území.

Hodnocení úspěšnosti 30.6.2024	Míra PODHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	96	96	
Riziko obce	14	18	
Liniové riziko	46	73	41
Plošné riziko	64	73	46

Hodnocení úspěšnosti 30.6.2024	Míra NADHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	0	0	
Riziko obce	54	14	
Liniové riziko	14	5	9
Plošné riziko	0	0	14

Obrázek 98: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 30.06.2024

Obrázek 98 dokumentuje míru podhodnocení a nadhodnocení predikčních výstupů aplikace FLAPRIS pro přívalové povodně. Hodnocení je rozděleno podle kategorií: Radar Holešov, Riziko obce, Liniové riziko a Plošné riziko, a to pro aktuální stav, předpověď a statické riziko.

Podhodnocení bylo nejvýraznější u radarových dat (96 %), což potvrzuje omezenou schopnost radaru zachytit lokální extrémy srážek. Plošné a liniové zobrazení rizika vykazovaly podhodnocení v rozmezí 46–73 %, zejména u předpovědních výstupů. Riziko obce bylo podhodnoceno pouze mírně (14–18 %), což naznačuje relativní spolehlivost plošného modelu na úrovni obce.

Nadhodnocení se nejvíce projevilo u rizika obce v aktuálním stavu (54 %), což znamená, že plošné modely často přisuzují vyšší riziko, než jaké se reálně vyskytlo. Liniové riziko vykazovalo mírné nadhodnocení (5–14 %), zatímco radarová data a plošné riziko zůstala prakticky bez nadhodnocení.

Interpretace výsledků ukazuje, že největší slabinou predikčních modelů je podhodnocení intenzity povodní u liniových a plošných rizik, zatímco radarová data jsou nedostatečně citlivá na lokální extrémy. Statické riziko poskytuje vyváženější výsledky, ale stále vykazuje podhodnocení u plošných scénářů.

4.5. Povodňová událost ve Zlínském kraji - 08.08.2024

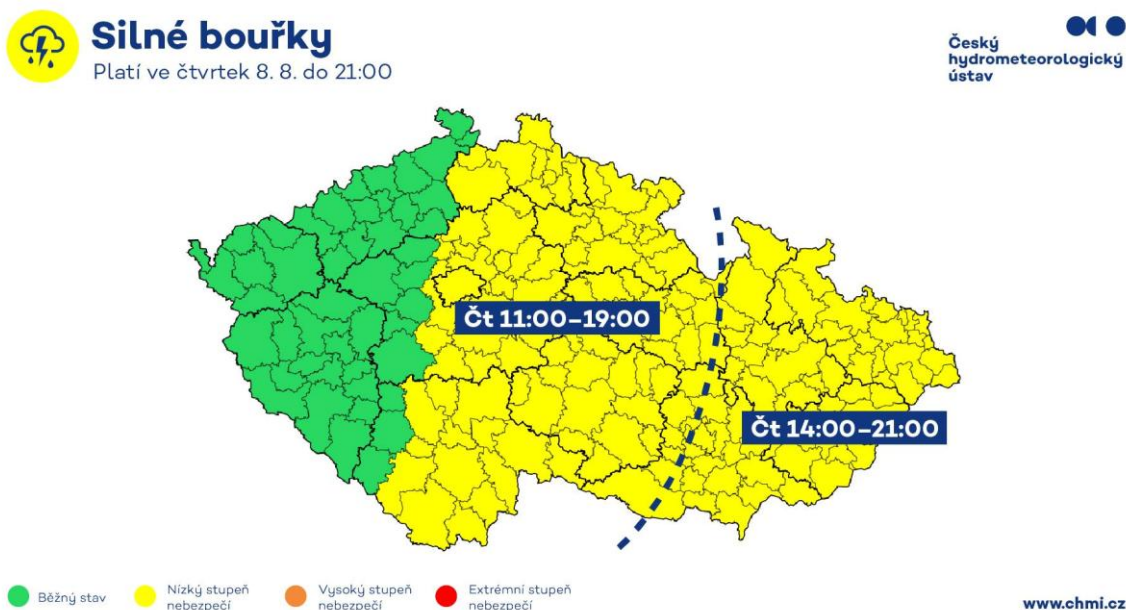
Lokální přívalové povodně se dne 8. srpna 2024 vyskytly v západní, jihozápadní, jižní a centrální části Zlínského kraje. Přívalové deště, které představovaly hlavní spouštěcí faktor těchto povodní, byly vázány na postupující studenou frontu od západu a objevily se v odpoledních hodinách v územní působnosti ORP Uherské Hradiště, Otrokovice a Luhačovice, a to mezi 16. až 19. hodinou SELČ. Na vzniku lokálních přívalových povodní se kromě intenzivních srážek významně podílela také vysoká nasycenost půdy v kombinaci s rozsáhlou urbanizací a převahou orných ploch v postiženém území.

Atributy	Charakteristika
DATUM	08.08.2024
ČAS výskytu přívalových srážek	16:43-18:39
Nejvíce zasažená MÍSTA povodní	Staré Město: Velehradská 168, severní okraj města
	Velehrad-Tupesy: Silnice č. 424821 mezi obcemi
	Otrokovice: ulice J. Jabůrkové u hlavního nádraží
	Slavičín: Hasičská 307 (blízko centra města)
HLAVNÍ příčinné faktory	Přívalové srážky (zvlněná studená fronta): - Staré Město (30-40 mm/h.) - Silnice č. 424821 Velehrad-Tupesy (40-50 mm/hod.) - Otrokovice (20-30 mm/hod.) - Slavičín (20-30 mm/hod.)
VEDLEJŠÍ příčinné faktory	- Vysoká nasycenost půdy - Vysoká míra urbanizace a betonových ploch - Vysoký podíl orných ploch (silnice Velehrad-Tupesy)
DOPADY přívalových povodní	Zatopené domy, zaplavené komunikace

Obrázek 99: Charakteristika povodňové události ze dne 08.08.2024

Následky přívalových povodní se projevily především zatopením pozemních komunikací v důsledku ucpání propustků a míst se zúženým odtokovým profilem, kde nemohlo docházet k efektivnímu odvedení vody vlivem nánosů bahna a splavenin. Současně byly

na čele frontální bouřkové oblačnosti zaznamenány silné nárazy větru, které vedly k častým pádům stromů a lámání větví, čímž byla ohrožena průjezdnost místních komunikací.



Obrázek 100: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ pro 08.08.2024 [58]

Český hydrometeorologický ústav vydal pro čtvrtek 8. srpna výstrahu na výskyt silných bouřek s časovou platností diferencovanou podle regionů:

- 11:00–19:00 SELČ pro rozsáhlou oblast jižních, středních, severních, severovýchodních a východních Čech včetně Vysočiny,
- 14:00–21:00 SELČ pro celé území Moravy a Slezska.

Z uvedené mapy na Obrázku 100 je patrný předpokládaný postup zvlněné studené fronty, která bude během dne přecházet přes území České republiky. Očekáván byl výskyt přívalových srážek s úhrnem přesahujícím 30 mm za hodinu, doprovázených menšími kroupami a silnými nárazy větru. Tyto jevy zasáhnou nejprve jižní, centrální a severní části Čech, následně se přesunou v odpoledních a večerních hodinách nad většinu Moravy a Slezska.

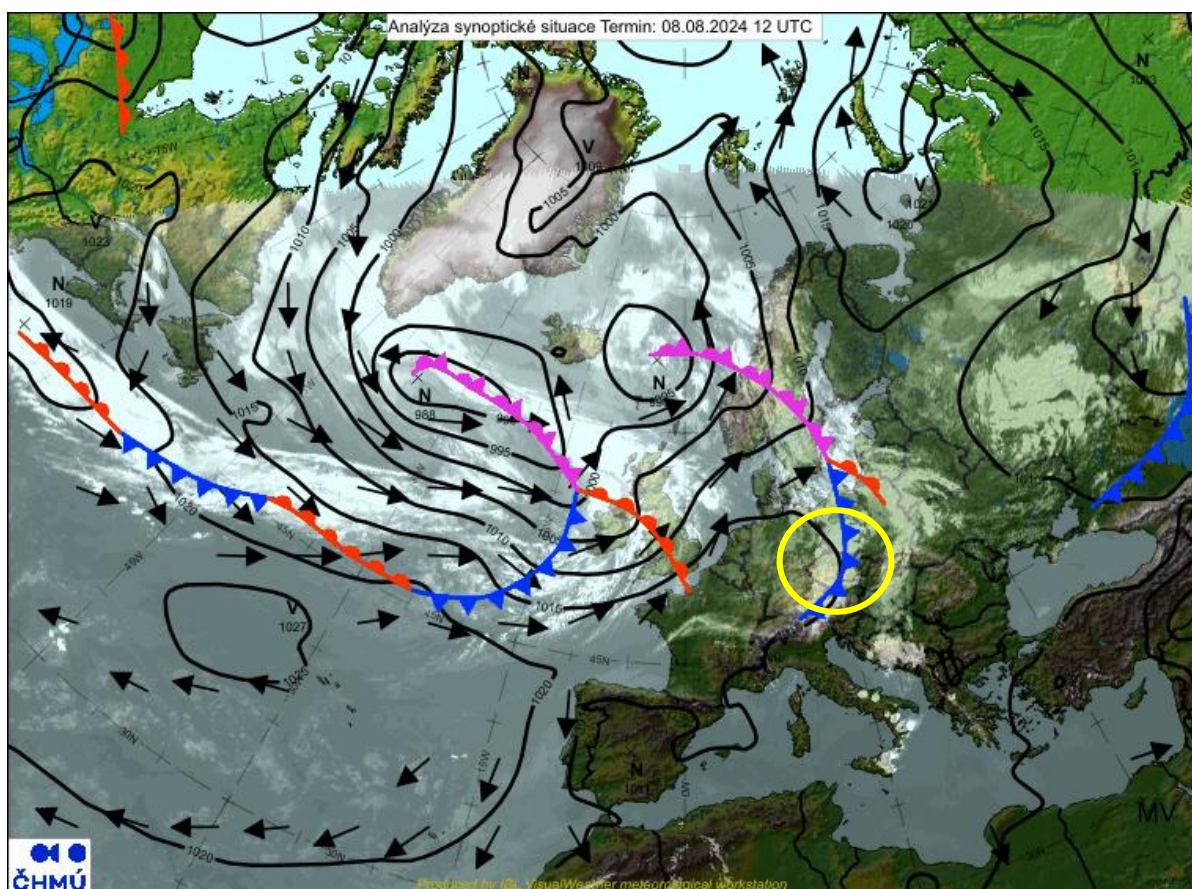
Přesnější odhad intenzity a lokalizace přívalových srážek bude možný s krátkým předstihem, přibližně 30 až 60 minut před jejich výskytem, na základě výstupů z radarového měření srážek. Tato skutečnost zdůrazňuje význam operativního sledování konvekčních procesů a využívání moderních metod krátkodobé predikce.

4.5.1. Příčinné podmínky vzniku přívalové povodně

Meteorologické příčiny vzniku povodňové události dne 08.08.2024

Ze synoptického hlediska byla hlavní příčinou vzniku přívalových povodní ve Zlínském kraji dne 28. 6. 2024 studená fronta spojená s rozsáhlou oblastí nízkého tlaku vzduchu nad severozápadní a severní Evropou. Tato cyklonální oblast nad severní Evropou a severovýchodním Atlantikem přetrvávala již několik předchozích dní a způsobovala přísun čerstvého západního oceánského proudění nad území Velké Británie, severní Francie, Německa, Dánska a Skandinávie, v jehož rámci docházelo k rychlému přechodu jednotlivých frontálních systémů. Opakovaná srážková činnost nad střední Evropou vedla k výraznému nasycení půdního profilu, což významně přispělo ke vzniku povodňové události dne 8. 8. 2024.

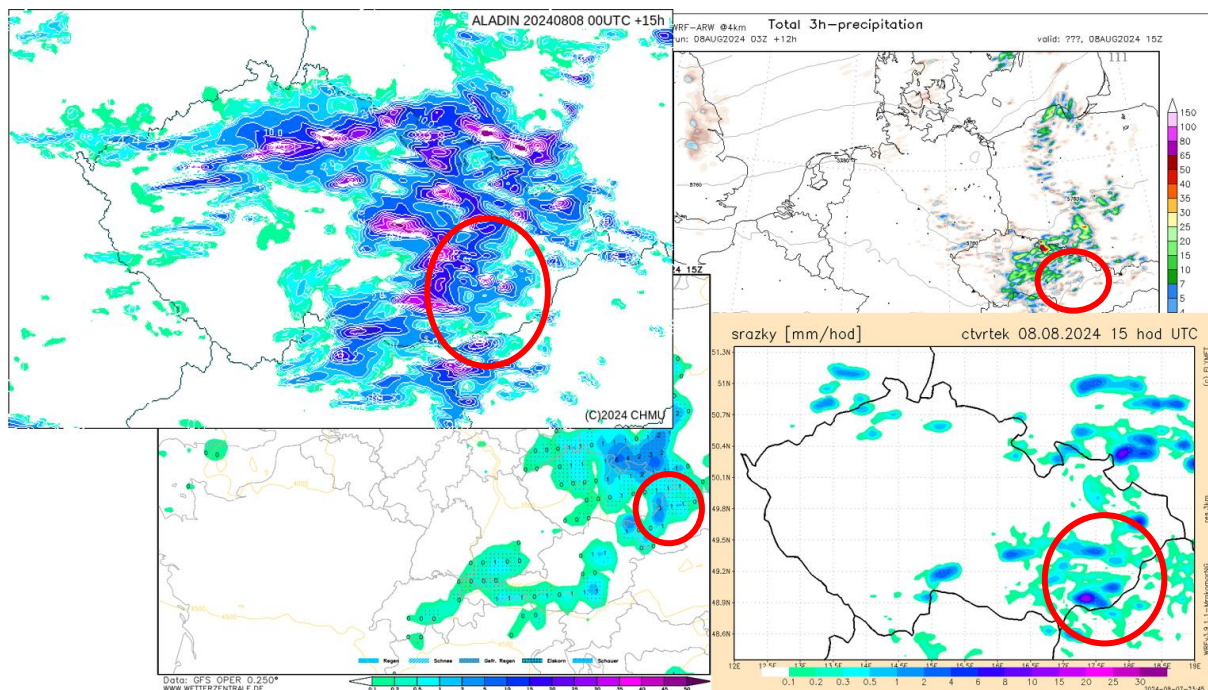
Před přechodem studené fronty pronikal nad naše území teplejší vzduch od jihozápadu, který vytvářel příznivé teplotní podmínky v nižších a středních hladinách troposféry. Samotný přechod fronty následně poskytl velmi příznivé vlhkostní a větrné podmínky pro rozvoj konvekce. V důsledku toho se vytvořila frontální oblačnost charakteru liniového, nepravidelně uspořádaného systému multicelárních konvektivních buněk, jež se projevovaly silnými nárazy větru a přívalovými srážkami. Hodinové srážkové úhrny dosahovaly v ORP Uherské Hradiště 30–50 mm a v ORP Otrokovice a Luhačovice 20–30 mm.



Obrázek 101: Aktuální synoptická situace ze dne 08.08.2024 v 12 UTC [50]

Předpovědní výstupy numerických modelů

Numerické modely předpovědi počasí, konkrétně regionální modely ALADIN (0,02°), WRF ARW (0,04°) a WRF NMM (0,03°), stejně jako globální model GFS (0,13°), předpovídaly s dvanáctihodinovým předstihem výskyt frontálních srážek na západním okraji zvlněné studené fronty, a to v časovém intervalu mezi 15. a 18. hodinou UTC:



Obrázek 102: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 15-18 UTC [51], [52], [53], [54]

Numerický model ALADIN poskytl nejpresnější odhad prostorového rozložení srážek po 15:00 UTC, zejména pro správní obvody obcí s rozšířenou působností (ORP) Otrokovice a Zlín, kde předpovídal úhrny přesahující 30 mm za tři hodiny. Tento model vykazoval vysokou shodu s reálným průběhem konvekčních srážek, což potvrzuje jeho spolehlivost při krátkodobé predikci intenzivních bouřkových jevů.

Ve srovnání s modelem ALADIN předpovědní systémy WRF ARW a WRF NMM indikují podle Obrázku 102 obdobné rozložení srážek, avšak s maximálními hodnotami situovanými spíše do západní a centrální části Zlínského kraje, včetně jižních oblastí spadajících pod ORP Uherský Brod. Tyto rozdíly lze přičíst odlišným dynamickým jádrům modelů a parametrizaci konvekce, která ovlivňuje přesnost lokalizace srážkových jader.

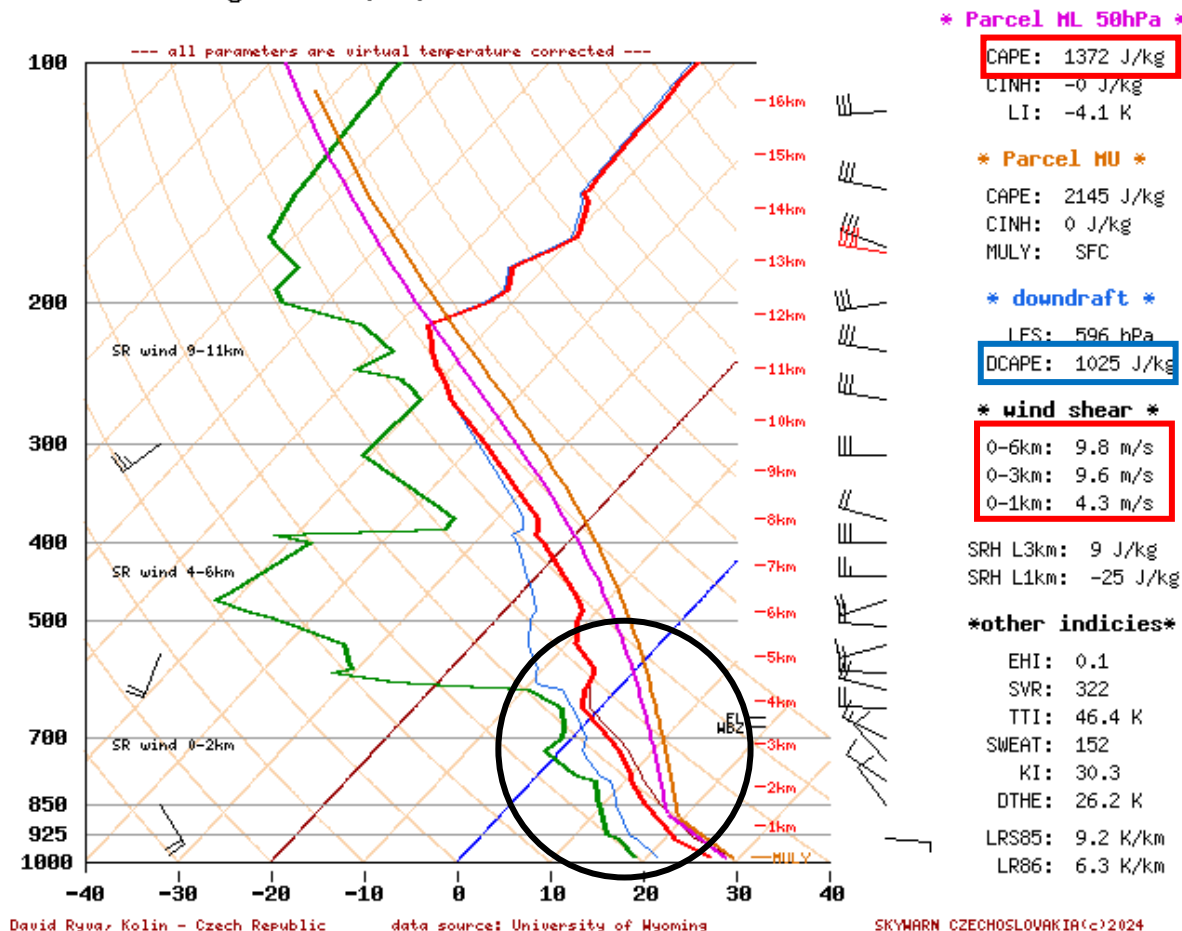
Výstupy z měřících meteorologických systémů

V této části nejprve představíme výstupy z aerologických měření zachycujících vertikální strukturu atmosféry ve vztahu ke vzniku liniově uspořádané multicelární konvektivní bouře. V následující části budou poté prezentována sumarizační data srážkových úhrnů za 1, 3 a 24 hodin.

Aerologické měření atmosféry

Výstup z aerologického měření v Prostějově ze dne 8. 8. 2024 v termínu 12 UTC dokumentuje atmosférické podmínky na teplé okluzní frontě pro oblast východní Moravy (viz Obrázek 103):

11747 Prostějov 08.08.2024 12 UTC



Obrázek 103: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 08.08.2024 v 12 UTC [55]

Hlavními příčinnými faktory vzniku multicelární bouře mezi 12:00 a 14:00 UTC byly středně příznivé vlhkostní podmínky ve výškových hladinách do cca 600 hPa, kde relativní vlhkost dosahovala hodnot 70–80 %, v kombinaci s velmi příznivými teplotními podmínkami vyjádřenými parametrem MLCAPE až $1\,372\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Tyto podmínky byly doplněny průměrně příznivým stříhem větru do $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v hladinách do 6 km nad zemí. Významným destabilizačním faktorem byla také změna směru větru s výškou – od východních směrů při zemi po západní proudění ve středních a vyšších hladinách atmosféry. Tato konfigurace indikuje přítomnost frontálního rozhraní nad územím Moravy a Slezska v odpoledních hodinách.

Kromě silné konvektivní aktivity, která vedla k přívalovým srážkám s úhrny $30\text{--}50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, byly dalším významným projevem silné nárazy větru na čele studené fronty. Potenciál pro vznik těchto nárazů byl podpořen vyššími rychlostmi větru ve středních a vyšších hladinách atmosféry (průměrně $10\text{--}15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), přítomností jet streamu s rychlostí kolem $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a vysokou hodnotou energie sestupného proudu $\text{DCAPE} = 1\,025\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ spolu s indexem $\text{DTHE} = 26,2\text{ K}$. Tyto parametry naznačují vysokou dynamiku sestupných

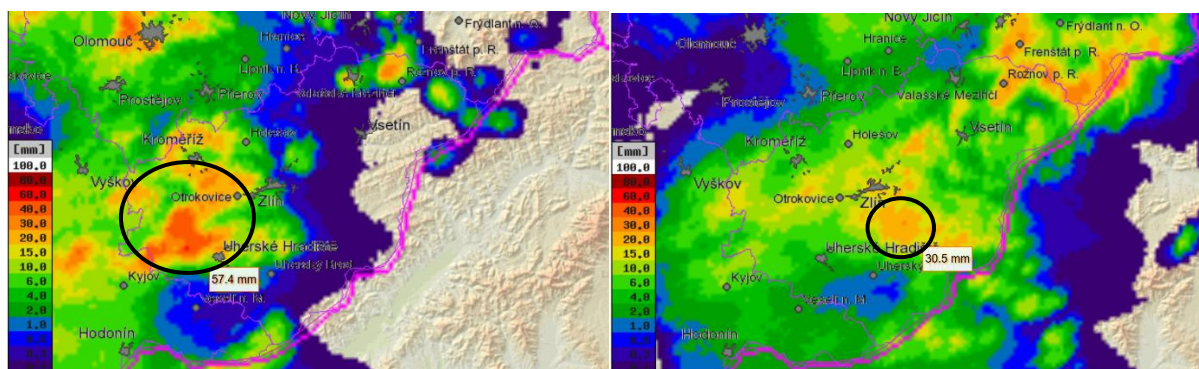
proudů, což v kombinaci s čerstvým západním prouděním vedlo k rychlému postupu multiceleárních konvektivních buněk. Právě vysoká translační rychlost bouřkového systému zvyšuje pravděpodobnost výskytu extrémních nárazů větru.

Z přiloženého aerologického diagramu (Obrázek 103) je patrná výrazná instabilita atmosféry, příznivý stříh větru a dostatečná vlhkostní podpora pro vznik organizovaných konvektivních struktur. Tyto faktory společně vytvářely podmínky pro vznik multiceleárních bouří s výraznými doprovodnými jevy.

Radarové sumarizační měření srážek

1hodinová sumace radarového měření srážek

Z jednohodinové sumace srážek naměřené meteorologickým radarem (Obrázek 104) vyplývá, že nejintenzivnější srážková činnost byla zaznamenána mezi 16:00 a 17:00 SELČ (15 UTC), zejména v západní části Zlínského kraje, konkrétně v oblastech správních obvodů ORP Uherské Hradiště a ORP Otrokovice, kde úhrny dosahovaly hodnot 30 až 60 mm·h⁻¹. Tyto hodnoty odpovídají silným konvektivním srážkám typickým pro multiceleární bouřkové systémy.



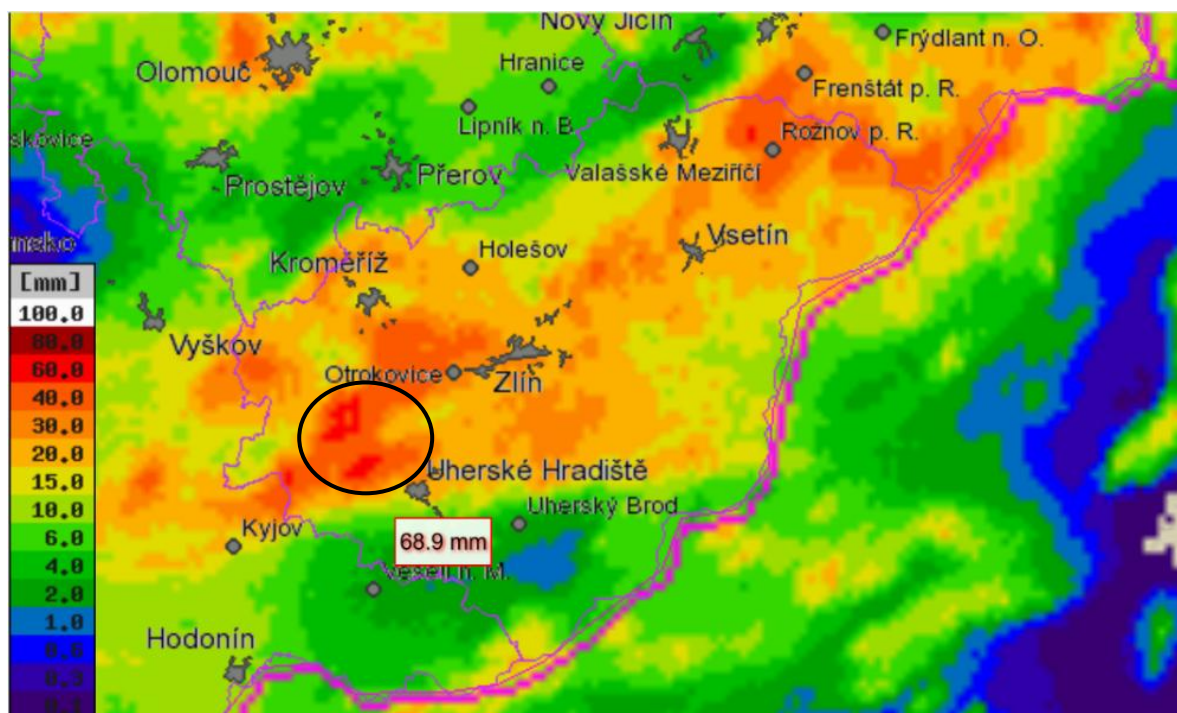
Obrázek 104: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 15 UTC (vlevo) a 16 UTC (vpravo) [56]

V následující hodině, tj. mezi 17:00 a 18:00 SELČ (16 UTC), byla zaznamenána slabší intenzita srážek v rozmezí 20–30 mm·h⁻¹, zejména v oblastech ORP Zlín, Vizovice a Luhačovice. Radarová analýza (Obrázek 104 vpravo) indikuje postupné slábnutí srážkové činnosti na studené frontě nad centrálními částmi Zlínského kraje, což je typický projev vyčerpání konvektivní energie v pozdním odpoledni.

Z hydrologického hlediska lze při přechodu čela fronty v západní části Zlínského kraje, zejména na území ORP Uherské Hradiště a Otrokovice, očekávat při srážkových intenzitách kolem 50 mm·h⁻¹ velmi vysoké riziko vzniku lokálních přívalových povodní. V této oblasti, charakteristické vysokým stupněm urbanizace a zároveň omezenou infiltrační schopností půdního profilu, lze předpokládat krátkodobé zaplavování pozemních komunikací, zvýšené zatížení kanalizačních systémů a také zvýšené riziko erozních procesů na zemědělsky využívaných plochách.

3hodinová sumace radarového měření srážek

Na Obrázku 105 je zdokumentována tříhodinová sumace srážek v časovém intervalu 12:00–14:00 UTC dne 8. 8. 2024 při přechodu zvláště studené fronty:



Obrázek 105: 3hodinová sumace radarového měření srážek pro 12-14 UTC (vlevo) [56]

Radarová mapa na Obrázku 105 dokumentuje tříhodinový úhrn srážek ve Zlínském kraji během odpoledních hodin, kdy bylo zaznamenáno maximum 68,9 mm. Takto vysoký úhrn v krátkém časovém intervalu představuje extrémní zatížení pro povrchový odtok a malé vodní toky, což výrazně zvyšuje riziko lokálních přívalových povodní. V urbanizovaných oblastech, jako jsou Otrokovice a Uherské Hradiště, lze očekávat zatopení komunikací, přetížení kanalizačních systémů a erozi půdy na zemědělských plochách.

Výskyt těchto hodnot je typický pro multicelární konvektivní bouře spojené s frontální konvergencí. V daném případě byly podmínky podpořeny vysokou instabilitou atmosféry (MLCAPE přes $1300 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$), dostatečnou vlhkostí ve středních hladinách a příznivým stříhem větru, který umožnil organizovaný vývoj bouřkových buněk. Dynamiku proudění dále zesílila přítomnost jet streamu a vysoká hodnota DCAPE, což zvýšilo riziko silných sestupných proudů a nárazů větru.

Tyto extrémní úhrny potvrzují nutnost operativního monitoringu a využívání krátkodobých předpovědí (nowcastingu) pro minimalizaci škod. V kontextu klimatické změny lze očekávat zvýšení četnosti podobných jevů, což podtrhuje význam integrace radarových dat a numerických modelů do systému včasného varování.

Ostatní příčiny vzniku povodňové události dne 08.08.2024

Ostatní (vedlejší) příčinné podmínky jsou zvýrazněny tučně obdélníkem na Obrázku 106:

P.č.	Rok	Město	Adresa	Popis udalosti	Stupeň závažnosti	Datum	Trvání zásahu jednotek HZS v čase	Počet srážek za hodinu	Dopady	Suma srážek	Nasycenost	Sklonitost	Urbanizace
44.	2024	Staré Město	Velehradská 1468	voda teče do sklepů z cesty	2	08.08.2024	16:43	30 až 40 mm	zaplavení komunikace a domů	3	3	1	2
45.	2024	Velehrad-Tupesy	silnice 424821	zaplavená silnice z okolních polí	3	08.08.2024	16-17:00	40 až 50 mm	zaplavení komunikace	3	2	2	2
46.	2024	Otrokovice	J.Jabůrkové	zatopená ulice i chodník, voda se drží a neodtéká	2	08.08.2024	18:39	20 až 30 mm	zaplavení komunikace a domů	2	3	0	3
47.	2024	Slavičín	Hasičská 307	asi 2m vody uvnitř	3	08.08.2024	18:15	20 až 30 mm	zaplavení domů	2	2	1	3

Obrázek 106: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 08.08.2024

Kromě extrémních srážkových úhrnů byly klíčovými faktory vzniku přívalové povodně dne 8. srpna 2024 zejména vyšší míra nasycenosti půdy po předchozích srážkových epizodách od začátku srpna a vysoký podíl urbanizovaných, zastavěných a orných ploch v západní části Zlínského kraje. Tyto podmínky významně snížily infiltrační schopnost povrchu a zvýšily rychlost povrchového odtoku.

4.5.2. Hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS pro 08.08.2024

Povodňové události byly verifikovány pro následující lokality na základě výskytu hlavní srážkové epizody při přechodu studené fronty v časovém intervalu 16:20–17:20 SELČ:

1. Staré Město u Uherského Hradiště
2. Silnice 424821 mezi obcemi Velehradem a Tupesy
3. Otrokovice

1. Staré Město u Uherského Hradiště

Lokální přívalová povodeň, vyvolaná přívalovými dešti o intenzitě $30\text{--}40\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ v počáteční fázi přechodu studené fronty, byla zaznamenána na severním okraji Starého Města u Uherského Hradiště.

Rok	Datum	Čas výskytu př. srážek	Město	Adresa	HISTORICKÝ stav	MODELOVANÝ stav	Typ výstupu
2024	08.08.2024	16:25	Staré Město	Velehradská 1468	2	0	AKTUAL liniové riziko
					2	0	PREDIKCE liniové riziko
					2	0	STATICKÉ liniové riziko

Statické „Liniové riziko“ 5 x 5 m

Velehradská 1468, Staré Město



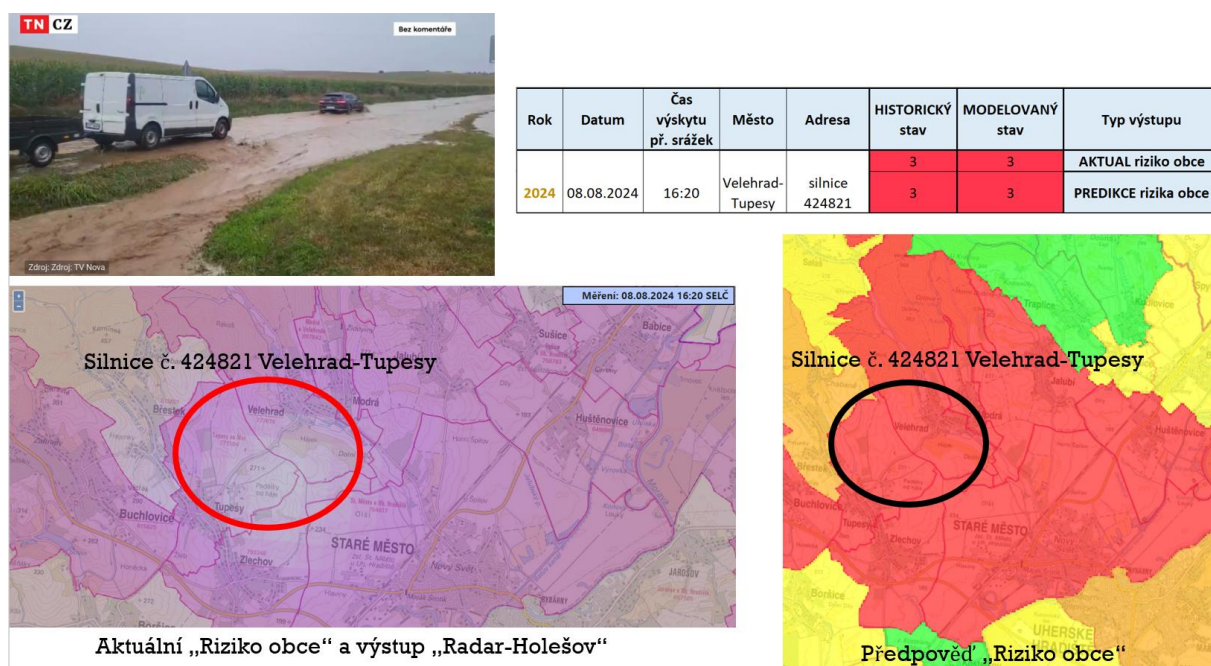
Obrázek 107: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro lokalitu Velehradská 1468, Staré Město [48], [57]

Hlavními příčinami vzniku povodně, kromě samotné intenzity srážek, byla vysoká míra urbanizace a nedostatečná kapacita místní kanalizační sítě, která nezvládla rychlý odtok vody z povrchů s nízkou infiltrační schopností.

Z přiložené tabulky (Obrázek 107) vyplývá, že pro tuto lokalitu nebyly vypočteny žádné hodnoty Statického liniového rizika ani další výstupy týkající se Liniového a Plošného rizika, což poukazuje na nedostatečné pokrytí predikčních modelů v intravilánech s vysokou hustotou zástavby. Tato skutečnost má zásadní význam pro krizové plánování, protože absence modelových dat omezuje možnost včasného varování a preventivních opatření.

2. Silnice č. 424821 mezi obcemi Velehrad – Tupesy

Nejintenzivnější srážky o hodinové intenzitě $40\text{--}50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ zasáhly západní a jihozápadní část Zlínského kraje, konkrétně silnici č. 424821 mezi obcemi Velehrad a Tupesy, kde byl vizuálně potvrzen výskyt přívalové povodně (Obrázek 108):



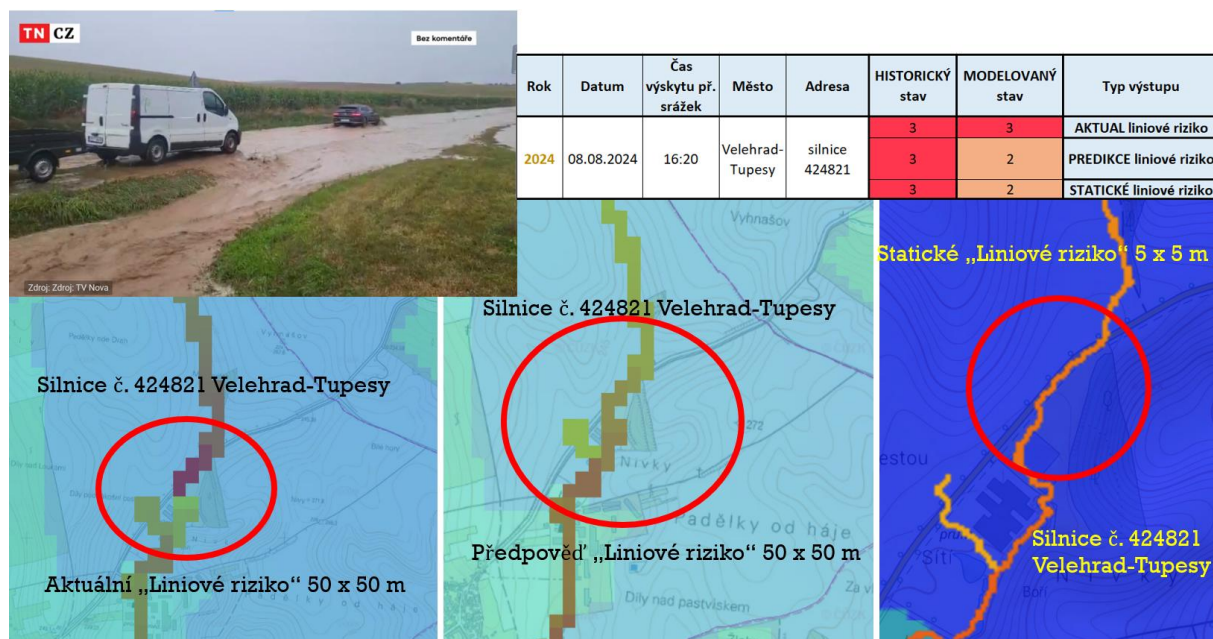
Obrázek 108: Verifikace výstupů Aktuálního rizika obce a Předpovědi rizika obce pro silnici č. 424821 mezi Velehrad-Tupesy [48]

Na Obrázku 108 vlevo dole lze z výstupu „Aktuální riziko obce“ identifikovat vysokou hodnotu VIL (Vertically Integrated Liquid), tedy množství kapalné vody v oblacích, s průměrnými hodnotami $30\text{--}40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ v čase 16:20 SELČ pro tuto lokalitu.

Aktuální i předpovězené riziko obce bylo vyhodnoceno na extrémním stupni, což odpovídalo skutečnému stavu – zaplavené komunikaci s plošným rozsahem, který významně komplikoval dopravní spojení mezi obcemi Velehrad a Tupesy.

Obrázek 109 prezentuje výsledky hodnocení zpřesněných výstupů v podobě Aktuálního, Předpovědního a Statického liniového rizika. Aktuální liniové riziko, vypočtené na extrémním stupni nebezpečí, nejpřesněji odpovídalo skutečné závažnosti situace.

Předpovědní i Statické liniové riziko byly stanoveny pouze o jeden stupeň níže, což lze vzhledem k statistické chybě považovat za velmi přesné.

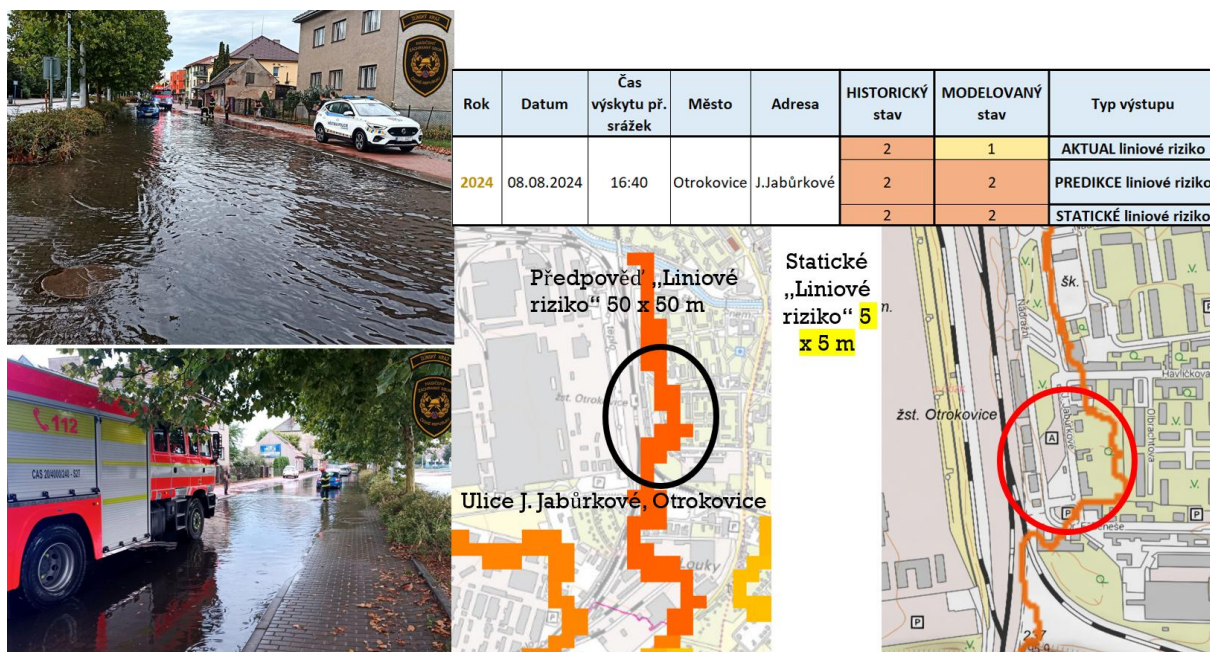


Obrázek 109: Verifikace výstupů Aktuální, Předpovědané a Statické liniové riziko pro silnici č. 424821 mezi Velehrad-Tupesy [48]

Měřené, předpovědní i statické výstupy rizika obce a Liniového rizika včetně Plošného zobrazení byly velmi přesné pro tak malou lokalitu jako je silnice. Kromě intenzivních srážek sehrály významnou roli orné plochy s vysázenou kukuřicí, které v kombinaci s vysokou nasyceností půdy a mírným sklonem terénu přispěly ke vzniku lokální přívalové povodně. Tyto faktory zvyšují rychlost povrchového odtoku a snižují infiltrační schopnost půdy, což vede k okamžitému zatížení komunikací a odvodňovacích systémů. Případ potvrzuje nutnost zahrnout detailní informace o využití půdy, sklonitosti a nasycenosti do modelů liniového rizika, aby bylo možné přesně identifikovat kritické úseky infrastruktury.

3. Otrokovice

Poslední zdokumentovaná povodňová událost, doložená fotografiemi od HZS Zlínského kraje, nastala v ulici J. Jabůrkové v těsné blízkosti vlakového nádraží v Otrokovicích. Předpovědní i Statické liniové riziko, vyhodnocené na vysokém stupni nebezpečí, se velmi dobře přiblížilo skutečnému stavu. V této lokalitě došlo vlivem silných srážek a vysoké míry urbanizace na rovinatém terénu k zatopení místní komunikace.



Obrázek 110: Verifikace výstupů Předpovídané a Statické liniové riziko pro lokalitu ulice J. Jabůrkové v Otrokovicích [48], [57]

Na rozdíl od lokality Velehradská č. 1468, která vykazovala obdobné podmínky, se zde podařilo přesně odhadnout linii soustředěného odtoku intenzivních srážek, což potvrzuje význam detailního modelování odtokových tras v intravilánech. Příklad Otrokovic ukazuje, že kombinace extrémních srážek, urbanizace a nízkého sklonu terénu představuje kritický faktor pro vznik lokálních povodní.

4.5.3. Výsledky verifikace přívalové povodně ze dne 08.08.2024

Nejprve jsou prezentovány výsledky verifikace, zaměřené na hodnocení úspěšnosti a chybovosti měřených a předpovědních výstupů aplikace FLAPRIS k datu 8. srpna 2024.

Hodnocení úspěšnosti 8.8.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	75	25	
Riziko obce	75	100	
Liniové riziko	50	50	50
Plošné riziko	100	100	100
PRŮMĚR	75	68,75	75

Hodnocení úspěšnosti 8.8.2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	25	0	
Riziko obce	25	50	
Liniové riziko	25	25	25
Plošné riziko	50	75	75
PRŮMĚR	31,25	37,5	50

Hodnocení úspěšnosti 8.8.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	25	75	
Riziko obce	25	0	
Liniové riziko	50	50	50
Plošné riziko	0	0	0
PRŮMĚR	25	31,25	25

Hodnocení úspěšnosti 8.8.2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKE RIZIKO
Radar Holešov	75	100	
Riziko obce	75	50	
Liniové riziko	75	75	75
Plošné riziko	50	25	25
PRŮMĚR	68,75	62,5	50

Obrázek 111: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 08.08.2024

Analýza prezentovaná na Obrázku 111 hodnotí úspěšnost měření a předpovědí pro povodňovou událost dne 8. srpna 2024 ve čtyřech kategoriích: radarová data (Radar Holešov), Riziko obce, Liniové riziko a Plošné riziko. Hodnocení bylo provedeno jak s tolerancí ± 1 stupeň nebezpečí, tak bez tolerance.

Výsledky ukazují, že při započtení tolerance dosahují nejvyšší přesnosti Plošného zobrazení (100 %) a Rizika obce (75 %), zatímco Předpověď liniového rizika vykazuje 50 %. Průměrná úspěšnost všech kategorií činí 75 % pro aktuální stav a 68,75 % pro předpověď. Bez tolerance se úspěšnost výrazně snižuje – průměrně na 31,25 % pro aktuální stav a 37,5 % pro předpověď, což potvrzuje citlivost hodnocení na přesnost klasifikace stupně nebezpečí. Statické modely vykazují vysokou přesnost u Plošného rizika.

Tyto výsledky potvrzují, že výstup Plošné zobrazení jsou nejstabilnější, zatímco výstup Liniové riziko jsou citlivé na lokální podmínky, jako je urbanizace, sklonitost a nasycenost půdy. Rozdíl mezi hodnocením s tolerancí a bez tolerance zdůrazňuje význam intervalového přístupu při verifikaci predikčních modelů, protože absolutní shoda je u konvektivních srážek obtížně dosažitelná.

5. Celkové hodnocení úspěšnosti výstupů FLAPRIS v roce 2024

V této kapitole jsou prezentovány souhrnné výsledky hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS za rok 2024. Analýza zahrnuje celkem 47 záznamů vztahujících se k pěti hodnoceným povodňovým událostem.

Hodnocení výstupů aplikace FLAPRIS bylo provedeno z hlediska míry správnosti měření a předpovědí, přičemž byly sledovány následující aspekty:

- podíl úspěšných a chybných měření/předpovědí,
- míra podhodnocení a nadhodnocení jednotlivých měření/předpovědí.

Hodnocenými výstupy jsou:

1. Riziko obce
2. Liniové riziko
3. **Liniové riziko***
4. Plošné riziko

Tyto výstupy byly hodnoceny z hlediska míry správnosti aplikace FLAPRIS podle následujících kritérií:

- s tolerancí $\pm 1^\circ$,
- bez tolerance, tj. s požadavkem na absolutní přesnost.

Liniové riziko bylo ověřeno u všech 47 událostí bez výjimky.

Podrobnější verifikace **Liniového rizika*** byla provedena pouze u 34 historických povodňových situací, při nichž přívalová povodeň vznikla převážně vlivem reliéfu a jeho dopadu na odtokové poměry, bez významného vlivu urbanizovaného území (např. rozsáhlé asfaltové plochy s nedostatečnou kapacitou kanalizační sítě).

Tento výstup nezahrnoval následujících 13 záznamů:

- Biskupice č. 122, Biskupice
- Choryně č. 160, obec Choryně
- V Mokré 761, Rožnov pod Radhoštěm
- V Mokré 300, Rožnov pod Radhoštěm
- ulice Nádražní - 5. května a ulice Meziříčská, Rožnov pod Radhoštěm
- Karlova 1726, Rožnov pod Radhoštěm
- ulice Radhošťská u Gibon parku, Rožnov pod Radhoštěm
- Sazovice 222, Sazovice
- Sazovice 128, Sazovice
- Okružní 5290, Zlín
- Velehradská 1468, Staré Město u Uherského Hradiště
- Hasičská 307, Slavičín

Tyto čtyři hlavní výstupy jsou verifikovány pro následující stavy:

- a) Aktuální stav – měřené riziko přívalových povodní.
- b) Předpovídaný stav – prognózované riziko přívalových povodní.

c) Statický stav – statické riziko přívalových povodní vypočtené na základě nejvyšší naměřené 100leté srážky na území České republiky.

Celkové hodnocení úspěšnosti 2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +/- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	64	45	
Riziko obce	89	94	
Liniové riziko	57	55	68
Liniové riziko*	77	74	89
Plošné riziko	81	85	96

Celkové hodnocení úspěšnosti 2024	Míra ÚSPĚŠNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	21	4	
Riziko obce	38	47	
Liniové riziko	28	19	40
Liniové riziko*	37	26	54
Plošné riziko	47	36	55

Celkové hodnocení úspěšnosti 2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) S TOLERANCÍ +/- stupně nebezpečí		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	36	55	
Riziko obce	11	6	
Liniové riziko	43	45	32
Liniové riziko*	23	26	11
Plošné riziko	19	15	4

Celkové hodnocení úspěšnosti 2024	Míra CHYBNÝCH měření/předpovědí (%) BEZ TOLERANCE		
Výstupy/kategorie	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	79	96	
Riziko obce	62	53	
Liniové riziko	72	81	60
Liniové riziko*	63	74	46
Plošné riziko	53	64	45

Obrázek 112: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS v roce 2024

Verifikace hlavních výstupů aplikace FLAPRIS je znázorněna na Obrázku 112. Míra úspěšnosti se přímo odvíjí od úrovně zpřesnění modelu a od zohlednění stanovené tolerance při určování stupně rizika.

Následuje komentář k hodnoceným výstupům s tolerancí ± 1 stupně:

Nejvyšších hodnot úspěšnosti bylo dosaženo u výstupu Riziko obce, počítaného pro území správní jednotky obce druhého stupně, a to jak pro aktuální, tak pro předpovědní stav. Průměrná hodnota činila přibližně 90 %, což představuje velmi vysokou úroveň přesnosti, dostatečnou pro operativní využití. Zajímavostí je mírně vyšší úspěšnost u předpovědního stavu oproti stavu aktuálnímu.

U hlavního výstupu Liniové riziko pro aktuální a budoucí stav, omezeného na situace bez vlivu urbanizovaných ploch měst, byla na základě 34 historických událostí dosažena průměrná úspěšnost 74–77 %. Tento výsledek znamená ve srovnání s výstupem Riziko obce výrazně vyšší míru zpřesnění na úroveň 5 metrů. Naproti tomu průměrná hodnota úspěšnosti u výstupu Liniové riziko zahrnujícího všech 47 událostí byla přibližně o 20 % nižší než u varianty Liniové riziko s omezením. Zajímavostí je také vyšší průměrná hodnota úspěšnosti Statického liniového rizika – reálný stav více odpovídal pevně vypočtenému statickému stavu na základě maximální zaznamenané 100leté srážky než výstupům odvozeným z radarového měření a následné predikce.

Úspěšnost Plošného rizika, počítaného pro plochy podporující soustředěný odtok v rámci liniového rizika, dosáhla průměrných hodnot 81–85 % pro aktuální a budoucí stav; u statického stavu až 96 %. Míra chybných výstupů byla nejnižší u Rizika obce a Plošného zobrazení, zatímco u Liniového rizika s omezením byla nepatrně vyšší.

Výstupy hodnocené s absolutní přesností (bez tolerance) vykazují oproti výstupům s tolerancí průměrně o 40–50 % nižší úspěšnost. Nejvyšší průměrné hodnoty byly opět dosaženy u výstupů Riziko obce a Plošné riziko ve srovnání s Liniovým rizikem. Jediným částečně použitelným výstupem z této skupiny je Liniové riziko vypočtené pro statický stav, jehož průměrná hodnota přesahuje 50 %.

Celkové hodnocení úspěšnosti 2024	Míra PODHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	72	96	
Riziko obce	16	20	
Liniové riziko	66	79	51
Liniové riziko*	54	72	34
Plošné riziko	53	62	30

Celkové hodnocení úspěšnosti 2024	Míra NADHODNOCENÝCH měření/předpovědí (%)		
	AKTUÁLNÍ STAV	PŘEDPOVĚĎ	STATICKÉ RIZIKO
Radar Holešov	4	0	
Riziko obce	38	31	
Liniové riziko	4	1	7
Liniové riziko*	7	2	13
Plošné riziko	0	2	17

Obrázek 113: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS v roce 2024

Obrázek 113 znázorňuje souhrn verifikace výstupů aplikace FLAPRIS z hlediska míry jejich podhodnocení a nadhodnocení. Obecně lze konstatovat, že výstupy typu Liniové riziko a Plošné riziko byly podhodnocovány výrazněji než výstup Riziko obce. Platí tedy, že čím vyšší byla míra zpřesnění předpovědi, tím více byly tyto výstupy podhodnoceny.

Průměrně nižší míra podhodnocení byla zaznamenána u Statického liniového i Plošného zobrazení oproti aktuálnímu a budoucímu stavu odvozenému z měření a předpovědi meteorologického radaru. Naopak, zpřesněné výstupy Liniového a Plošného zobrazení rizika vykazovaly velmi nízkou míru nadhodnocení ve srovnání s výstupem Riziko obce.

Závěrem lze konstatovat, že pro praktické využití jsou nejvhodnější výstupy zohledňující toleranci ± 1 stupně rizika. Velmi vysoké hodnoty úspěšnosti u méně zpřesněné předpovědi na úrovni obcí druhého stupně představují významný milník pro aplikaci plošného odhadu rizika přívalových povodní ve všech sledovaných stavech. Zpřesněný měřený odhad a předpověď prostřednictvím Liniového rizika vykazují dostatečně vysokou úspěšnost pro zajištění spolehlivosti těchto výstupů.

Kromě uvedených výsledků lze spoléhat také na statický stav liniového i plošného rizika, který z hlediska přesnosti umožňuje orientační předpověď i na delší časový horizont, například obdobný předpovědím poskytovaným ČHMÚ na 24 hodin a více dopředu.

6. Diskuse a syntéza závěrů z verifikační analýzy

6.1. Diskuse výsledků

Výsledky verifikační analýzy aplikace FLAPRIS za rok 2024 potvrzují, že systém je schopen poskytovat využitelné informace o nebezpečí vzniku přívalových povodní, zejména na úrovni obcí a širších rizikových území. Nejvyšší míru praktické využitelnosti vykazoval výstup **Riziko obce**, který v řadě analyzovaných situací správně indikoval zvýšené nebo vysoké nebezpečí v lokalitách, kde následně došlo k dokumentovaným dopadům povodňové události. Tento závěr je v souladu s poznatky současného výzkumu v oblasti včasného varování před přívalovými povodněmi, podle nichž je při velmi rychlém vývoji konvektivních srážek často spolehlivější pracovat s prostorově agregovanou informací o riziku než s příliš detailní predikcí konkrétního místa dopadu [4]–[8], [11], [12], případně také domácím pracím věnovaným metodě kritických bodů a hodnocení ohrožení urbanizovaných území [30], [31], [32]. Obdobný princip je využíván také u systémů typu FFGS, FFG-CZ a Indikátoru přívalových povodní, které kombinují radarové a satelitní odhady srážek, pozemní srážkoměrná pozorování, numerické modely předpovědi počasí, hydrologické modely, informace o nasycenosti půdy a další faktory ovlivňující odtokovou odezvu povodí [9], [10], [23]–[26].

Z hlediska shody s domácími a zahraničními studiemi lze konstatovat, že výsledky aplikace FLAPRIS potvrzují význam více faktorového přístupu k hodnocení přívalových povodní. Analyzované události ukázaly, že samotná intenzita srážek není jediným faktorem určujícím rozsah dopadů. Významně se uplatňovala také předchozí nasycenost půd, sklonitost terénu, hydraulická konduktivita, podíl urbanizovaných ploch, přítomnost kritických bodů a stav lokální odvodňovací infrastruktury. Tento závěr odpovídá studiím zaměřeným na mapování náchylnosti území k přívalovým povodním, které zdůrazňují význam kombinace reliéfu, využití území, půdních vlastností, srážkových charakteristik, fyziografických faktorů, urbanizace a dalších proměnných ovlivňujících rychlý povrchový odtok [4]–[8], [38]–[43], a zároveň navazuje na domácí metodické přístupy věnované identifikaci kritických bodů a preventivnímu mapování zranitelných lokalit [30]–[32]. V podmínkách Zlínského kraje se tato kombinace výrazně projevila například při událostech ve Valašských Kloboukách, Rožnově pod Radhoštěm, Sazovicích, Rackové a Zlíně.

Významnou shodu s odbornou literaturou potvrzuje také skutečnost, že největší obtíže modelových a radarových nástrojů souvisejí s přesnou lokalizací a odhadem intenzity velmi lokálních konvektivních jader. Přívalové povodně jsou zpravidla spojeny s lokálními nebo regionálně organizovanými konvektivními srážkami, jejichž vývoj je prostorově i časově velmi proměnlivý, a proto samotná extrapolace radarového pole nemusí být dostatečná pro spolehlivou predikci rizika s delším časovým předstihem [2], [7], [10], [15], [25], [26], [34]. Rozhodující rozdíly v dopadech přitom mohou vznikat na úrovni jednotlivých ulic, propustků, podjezdů nebo drobných vodotečí. Tento problém se v aplikaci FLAPRIS nejvýrazněji projevilo u výstupu **Liniové riziko**, který byl v některých případech prostorově posunut o desítky až stovky metrů, případně konkrétní rizikovou lokalitu vůbec nezachytil. Tuto skutečnost však nelze interpretovat jako selhání celého

systému, ale spíše jako potvrzení obecně známého limitu detailního modelování přívalových povodní v urbanizovaném a morfologicky členitém území.

Odlišnosti mezi výstupy aplikace FLAPRIS a skutečnými dopady lze vysvětlit několika příčinami. První skupinu tvoří meteorologické nejistoty, zejména nejistota radarového odhadu srážek, obtížná predikce regenerace konvektivních buněk, procesů typu „*backbuilding*“, řetězového efektu srážkových buněk „*training effect*“ a rychlých změn pohybu bouřkových systémů [2], [10], [25], [26], [34]. V některých analyzovaných situacích, například dne 10. 6. 2024 a 30. 6. 2024, byly skutečné srážkové úhrny lokálně výrazně vyšší než hodnoty indikované některými modelovými nebo radarovými výstupy. Druhou skupinu tvoří **hydrologické a prostorové nejistoty**, zejména nedostatečné zachycení mikromorfologie terénu, propustků, kapacity kanalizační sítě, lokálních překážek odtoku nebo přelivů menších vodních a retenčních objektů. Tyto faktory byly významné například v Sazovicích, Rožnově pod Radhoštěm a ve Zlíně na Jižních Svazích.

Samostatnou pozornost si zaslouží rozdíl mezi plošnými a liniovými výstupy. Výstupy typu **Riziko obce** a **Plošné riziko** poskytovaly stabilnější a z hlediska krizového řízení lépe využitelnou informaci, protože dokázaly identifikovat širší ohrožené území. Naproti tomu výstup **Liniové riziko** byl výrazně citlivější na prostorovou přesnost vstupních dat a na skutečný průběh soustředěného povrchového odtoku. V případech, kdy přívalová povodeň vznikla primárně v důsledku technické příčiny, například ucpaného propustku, poddimenzované kanalizační sítě nebo přelivu lokálního retenčního objektu, nebylo možné očekávat, že čistě geomorfologicky a radarově založený liniový výstup přesně zachytí skutečné místo dopadu. Tato zjištění ukazují, že detailní liniová predikce by měla být v budoucnu doplněna o data technické infrastruktury, lokálních odtokových bariér a kapacitních omezení odvodňovacích systémů [1], [15], [30]–[32], [42], [43].

Výsledky zároveň ukazují, že určitá míra nadhodnocení rizika, zejména u výstupu **Riziko obce**, nemusí být z hlediska krizového řízení zásadním nedostatkem. V prostředí přívalových povodní je zpravidla přijatelnější konzervativnější indikace rizika než jeho podhodnocení, protože časový prostor pro reakci obcí, jednotek požární ochrany a povodňových orgánů je velmi krátký. Naopak systematické podhodnocení, které se v některých situacích projevilo u radarového produktu VIL nebo u dynamického liniového rizika, představuje závažnější problém, neboť může vést k opožděné nebo nedostatečné reakci odpovědných subjektů. Z tohoto hlediska se jako nejvhodnější jeví kombinované využívání výstupů **Riziko obce**, **Statické liniové riziko** a aktuálních radarových informací, a to vždy s vědomím jejich nejistot a interpretačních omezení [1], [15], [18], [19], [22], [27] – [29].

Limity verifikační metodiky souvisejí rovněž s povahou dostupných validačních dat. Hodnocení bylo založeno na vybraných historických událostech roku 2024, záznamech Hasičského záchranného sboru, veřejně dostupné fotodokumentaci, radarových datech a dalších podpůrných zdrojích. Tato data umožnila rekonstruovat hlavní dopady přívalových povodní, avšak ne vždy poskytovala plně jednotný, časově přesný a prostorově úplný obraz skutečného průběhu události. Některé lokality nebyly dostatečně fotograficky doloženy, zatímco u jiných nebylo možné jednoznačně rozlišit relativní podíl přívalových srážek, kapacity kanalizačního systému, lokálního vodního toku nebo technické závady. Výsledky verifikace proto nelze chápat jako absolutní měření přesnosti

modelu, ale spíše jako odborně podložené experimentální vyhodnocení jeho chování v reálných situacích [1].

Z praktického hlediska výsledky potvrzují, že aplikace FLAPRIS může sloužit jako významný podpůrný nástroj pro krizové a povodňové orgány, zejména při rychlé identifikaci obcí a dílčích lokalit, v nichž může dojít k rozvoji přívalové povodně. Přidaná hodnota systému spočívá zejména v propojení aktuálních radarových dat, nowcastingových výstupů, statických charakteristik území a informací o liniích soustředěného odtoku. Tento přístup umožňuje lépe prioritizovat pozornost krizových štábů, jednotek Hasičského záchranného sboru, obcí a správců infrastruktury. V operativní praxi však nelze výstupy aplikace FLAPRIS interpretovat izolovaně; měly by být vždy kombinovány s výstrahami Českého hydrometeorologického ústavu, lokální znalostí území, informacemi z obcí a aktuálními hlášeními z terénu [1], [15], [18], [19], [22], [27] – [29].

Zjištěné odchylky současně vymezují hlavní směry dalšího rozvoje aplikace. Za prioritní lze považovat zpřesnění vstupních radarových produktů, testování kombinace produktu VIL s dalšími radarovými poli, rozšíření validace na více sezón a regionů, zavedení plně automatizované verifikace a doplnění modelu o prvky technické infrastruktury, zejména kanalizační sítě, propustky, mostky, malé vodní nádrže a retenční objekty. Významný potenciál má také využití metod strojového učení pro korekci systematického podhodnocení nebo nadhodnocení jednotlivých výstupů a pro adaptivní úpravu prahových hodnot v závislosti na typu území, nasycenosti půd a charakteru konvektivní situace [1], [2], [4]–[8], [30]–[32], [42], [43].

Celkově lze konstatovat, že výsledky verifikace aplikace FLAPRIS jsou v základních závěrech v souladu se současným poznáním v oblasti meteorologie, hydrologie a modelování extrémních povodňových událostí. Potvrzují, že predikce přívalových povodní je zatížena vysokou mírou nejistoty, zejména v důsledku lokálního charakteru konvektivních srážek, rychlé hydrologické odezvy malých povodí, krátké doby možného předstihu, nejistoty nowcastingu srážek a výrazného vlivu aktuálních místních podmínek, jako jsou nasycenost půdy, sklonitost, charakter povrchu a urbanizace [2], [7], [10], [12], [15], [25], [26], [34], [40]–[43]. Současně však ukazují, že kombinace radarových, nowcastingových, statických a prostorově analytických výstupů může významně zvýšit schopnost včasné identifikace ohrožených území. Aplikaci FLAPRIS proto nelze chápat jako náhradu oficiálních výstražných systémů, ale jako specializovaný podpůrný nástroj, který může zpřesnit lokální rozhodování na úrovni obcí, obcí s rozšířenou působností a složek krizového řízení.

6.2. Limity metodiky a zdroje nejistot verifikace

Verifikace výstupů aplikace FLAPRIS je nezbytným krokem pro posouzení její spolehlivosti a praktické využitelnosti při identifikaci rizika přívalových povodní. Vzhledem k vysoké prostorové a časové proměnlivosti konvektivních srážek a komplexní povaze povodňových procesů je však nutné počítat s existencí celé řady metodických omezení a zdrojů nejistot, které mohou ovlivňovat interpretaci dosažených výsledků.

Tyto nejistoty vyplývají jak z vlastností použitých vstupních dat a radarových produktů, tak ze způsobu výběru analyzovaných událostí, interpretace skutečných dopadů povodní a prostorově-časových charakteristik samotné aplikace FLAPRIS.

Cílem této kapitoly je systematicky identifikovat a diskutovat hlavní limity použité metodiky verifikace a objasnit jejich vliv na přesnost a spolehlivost výstupů aplikace FLAPRIS. Jednotlivé podkapitoly se postupně zaměřují na omezení vstupních radarových a staničních dat, limity výběru analyzovaných událostí, nejistoty spojené s interpretací povodňových dopadů, fyzikální a algoritmická omezení radarových produktů a prostorová a časová omezení systému jako celku. Identifikované limity zároveň představují východisko pro návrh konkrétních opatření směřujících k dalšímu zpřesnění a rozvoji aplikace FLAPRIS, která jsou diskutována v následující kapitole 5.2.

Verifikace aplikace FLAPRIS byla primárně zaměřena na vybrané případy dokumentovaného výskytu přívalových povodní. Tento přístup umožnil posoudit schopnost systému identifikovat riziko v situacích, kdy se povodňové dopady reálně projeví, současně však nezahrnoval systematické hodnocení období bez výskytu přívalových povodní. Pro komplexnější posouzení spolehlivosti aplikace by bylo vhodné v navazujícím výzkumu analyzovat také období s intenzivními konvektivními srážkami, při nichž k povodňovým dopadům nedošlo. Taková data by umožnila lépe hodnotit výskyt falešně pozitivních a falešně negativních predikcí, míru nadhodnocení či podhodnocení rizika a celkovou robustnost modelu. Tento aspekt lze považovat za vhodný námět pro další vědecké publikování.

6.2.1. Limity vstupních radarových a staničních použitých dat

V rámci výpočtu a verifikace výstupů aplikace FLAPRIS za rok 2024 byl jako klíčový vstupní radarový produkt použit produkt VIL (Vertically Integrated Liquid), který je v operativní radarové meteorologii standardně využíván k odhadu celkového množství kapalné vody obsažené v oblacích v celé vertikální vrstvě atmosféry. Hodnota VIL představuje indikátor potenciální intenzity konvektivních srážek a je považována za jednu z hlavních veličin popisujících příčinné podmínky vzniku přívalových srážek, které jsou dominantním spouštěčem přívalových povodní.

Analýza operativního nasazení produktu VIL v aplikaci FLAPRIS však odhalila několik zásadních limitů, které mají přímý dopad na přesnost a spolehlivost výsledných výstupů systému. Tyto limity souvisejí jak s fyzikální podstatou samotného radarového produktu, tak s jeho interpretací v kontextu prostorově a časově velmi proměnlivých konvektivních srážkových situací.

Prvním identifikovaným problémem je výskyt zvýšeného počtu falešných poplachů v situacích, kdy se nad územím Zlínského kraje vyskytovala výrazná konvektivní oblačnost s vysokými hodnotami VIL, avšak bez vzniku významných srážek dopadajících na zemský povrch. V těchto případech docházelo k výraznému nadhodnocení potenciálního srážkového zatížení, což se v aplikaci FLAPRIS projevovalo výpočtem vysokého až extrémního stupně nebezpečí přívalových povodní, a to i při absenci reálných povodňových projevů. Tento jev je typický zejména pro situace s výskytem silných

vzestupných proudů, kdy je v oblaku akumulováno značné množství kapalné vody, která však není efektivně přeměněna na srážky dopadající na povrch.

Dalším významným limitem je prostorové nadhodnocení rizika v případech, kdy byly na základě vysokých hodnot VIL generovány nejvyšší stupně nebezpečí pro rozsáhlé části území obcí nebo celých regionů, zatímco skutečné přívalové povodně se vyskytly pouze velmi lokálně. Tento efekt souvisí s plošným charakterem produktu VIL, který integruje informace o vertikálním profilu oblačnosti, avšak neposkytuje dostatečně přesnou informaci o prostorové distribuci intenzivních srážek na zemském povrchu. V důsledku toho může docházet k přeceňování rozsahu ohroženého území, což má negativní dopad na operativní využitelnost výstupů systému v krizovém řízení.

Naopak v menší, avšak z hlediska hodnocení úspěšnosti systému významné míře, byly identifikovány také případy podhodnocení výstupů aplikace FLAPRIS. Tyto situace nastávaly zejména v případech lokálně zesílených srážek, například v orograficky členitém terénu, kdy hodnota VIL nedosahovala extrémních hodnot, avšak skutečný srážkový úhrn vedl ke vzniku přívalové povodně. Tento fakt poukazuje na omezenou schopnost produktu VIL zachytit všechny typy srážkových situací relevantních pro vznik přívalových povodní, zejména v případech s výrazným vlivem lokálních geografických podmínek.

Vedle radarových dat je nutné zmínit také limity staničních srážkoměrných měření, která sloužila k verifikaci radarových odhadů. Srážkoměrná síť je prostorově heterogenní a bodová měření nemusí vždy reprezentovat skutečný průběh vysoce lokalizovaných konvektivních srážek. Časová nesouladnost mezi radarovými produkty a staničními daty navíc může vést k dodatečné nejistotě při hodnocení přesnosti výstupů aplikace FLAPRIS.

Identifikované limity vstupních radarových a staničních dat potvrzují, že samotný radarový produkt VIL nemůže být považován za univerzální a plně dostačující nástroj pro přesnou identifikaci rizika přívalových povodní ve všech meteorologických situacích. Tyto skutečnosti představují významný impuls pro další optimalizaci výpočetního schématu aplikace FLAPRIS, zejména ve smyslu úpravy prahových hodnot, integrace alternativních radarových produktů a kombinace více zdrojů dat. Návrhy konkrétních opatření ke zvýšení přesnosti výstupů aplikace FLAPRIS jsou diskutovány v následující kapitole 5.2.

6.2.2. Limity výběru analyzovaných událostí

Výběr analyzovaných povodňových událostí představuje jeden z klíčových kroků verifikačního procesu aplikace FLAPRIS, neboť zásadním způsobem ovlivňuje interpretaci dosažených výsledků. V rámci této monografie byly do analýzy zahrnuty výhradně události spojené s výskytem přívalových povodní vyvolaných intenzivními konvektivními srážkami, které byly zaznamenány na území Zlínského kraje v průběhu konvektivní sezóny roku 2024.

Tento výběr byl proveden cíleně s ohledem na primární zaměření aplikace FLAPRIS, která je koncipována jako nástroj pro včasnou identifikaci a predikci nebezpečí přívalových povodní vznikajících v důsledku krátkodobých, prostorově omezených a intenzivních

srážkových epizod. Do hodnocení proto nebyly zahrnuty povodňové situace způsobené dlouhotrvajícími stratiformními srážkami, táním sněhu ani kombinovanými hydrologickými jevy, jejichž dynamika a příčinné mechanismy se od přívalových povodní zásadně liší.

Dalším kritériem výběru analyzovaných událostí byla dostupnost dostatečně kvalitní dokumentace skutečných dopadů povodňových jevů. Do verifikace byly zahrnuty pouze ty případy, u nichž bylo možné na základě záznamů složek integrovaného záchranného systému, hlášení obcí a dostupné fotodokumentace či videodokumentace jednoznačně identifikovat místo, časový průběh a rozsah dopadů přívalové povodně. Tento přístup umožnil aplikovat jednotnou metodiku stanovení stupně závažnosti historických událostí a zajistit srovnatelnost jednotlivých případových studií.

Zvolený způsob výběru analyzovaných událostí však současně představuje určitý metodický limit. Výsledky verifikace jsou do značné míry závislé na úplnosti a kvalitě dostupných podkladů, přičemž nelze vyloučit, že některé lokální přívalové povodně s omezenými nebo nedostatečně zdokumentovanými dopady nebyly do analýzy zahrnuty. Tento fakt může vést k částečné selekci výraznějších událostí a tím i k potenciálnímu zkreslení statistického hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS.

Dalším omezením je časové a prostorové vymezení analyzovaného souboru událostí. Verifikace byla provedena na relativně krátkém časovém období jedné konvektivní sezóny a na území jediného kraje, což omezuje možnost zobecnění výsledků na jiné regiony s odlišnými geografickými, klimatickými či urbanizačními podmínkami. Specifické rysy reliéfu Zlínského kraje, zejména výrazná členitost severní a východní části území, mohou navíc ovlivňovat charakter srážkových polí i odtokové poměry a tím i chování samotného systému FLAPRIS.

Z výše uvedených důvodů je nutné výsledky verifikace interpretovat v kontextu zvoleného souboru analyzovaných událostí a chápat je jako reprezentativní především pro typické konvektivní situace s výskytem přívalových srážek ve Zlínském kraji. Současně tyto závěry potvrzují potřebu dlouhodobého testování aplikace FLAPRIS na širším spektru meteorologických situací, v delším časovém horizontu a v dalších regionech České republiky, což představuje jeden z hlavních směrů další optimalizace a rozvoje systému, diskutovaných v následující kapitole 5.2.

6.2.3. Limity interpretace dopadů přívalových povodní

Interpretace skutečných dopadů přívalových povodní představuje nezbytný, avšak metodicky náročný krok při verifikaci výstupů aplikace FLAPRIS. Zatímco meteorologické vstupy a radarové produkty umožňují relativně přesné časové a prostorové vymezení srážkových situací, hodnocení reálných povodňových dopadů je do značné míry závislé na dostupnosti, kvalitě a objektivitě podkladových dat popisujících průběh a následky jednotlivých událostí.

V rámci této studie byla interpretace dopadů přívalových povodní založena především na kombinaci záznamů složek Hasičského záchranného systému, hlášení obcí a dostupné fotodokumentace a videodokumentace z postižených lokalit. Tento přístup umožnil

zpětně identifikovat místa výskytu povodňových jevů a orientačně stanovit jejich závažnost, avšak současně s sebou nese několik významných omezení.

Jedním z hlavních limitů je neúplnost a nerovnoměrná dostupnost dokumentačních materiálů. Zatímco výraznější události s většími materiálními škodami bývají zpravidla dobře zdokumentovány, méně závažné nebo prostorově velmi omezené přívalové povodně mohou zůstat nedostatečně zaznamenány nebo zcela bez dostupné dokumentace. Tento fakt může vést k selektivnímu zahrnutí především extrémnějších případů do verifikačního souboru a tím i k částečnému zkreslení hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS.

Dalším omezením je subjektivní charakter vizuální interpretace dopadů povodní. Hodnocení rozsahu zaplavení, intenzity proudění nebo míry způsobených škod je v řadě případů založeno na expertním odhadu vycházejícím z vizuálních záznamů, které nemusí vždy poskytovat úplnou informaci o skutečném průběhu události. Rozdílná kvalita snímků, omezený záběr kamery či absence časové posloupnosti mohou komplikovat jednoznačné posouzení závažnosti dané povodňové epizody.

Specifickým problémem je také prostorová a časová nesouladnost mezi zaznamenanými dopady a výstupy aplikace FLAPRIS. Přívalové povodně se často vyznačují velmi rychlým nástupem a krátkým trváním, přičemž maximální dopady mohou nastat v časovém okně, které není plně zachyceno dostupnou dokumentací. To může vést k obtížím při přesném přiřazení zaznamenaných dopadů k jednotlivým časovým krokům modelových výstupů a k následnému hodnocení jejich správnosti.

Významným interpretačním limitem je rovněž skutečnost, že intenzita dopadů přívalových povodní není dána pouze množstvím a intenzitou srážek, ale je výrazně ovlivněna lokálními podmínkami prostředí, zejména charakterem reliéfu, mírou urbanizace, stavem odvodňovacích systémů a předchozím nasycením půdy. Tyto faktory mohou vést k výrazně odlišným dopadům i při srovnatelných meteorologických podmínkách, což ztěžuje jednoznačné hodnocení souladu mezi vypočteným stupněm nebezpečí a skutečným průběhem události.

Uvedené limity interpretace dopadů přívalových povodní je nutné zohlednit při vyhodnocování úspěšnosti aplikace FLAPRIS a při interpretaci dosažených výsledků. Současně však představují důležitý podklad pro další rozvoj systému, zejména ve směru integrace kvantitativnějších datových zdrojů, zpřesnění metodiky hodnocení závažnosti dopadů a lepšího časového a prostorového sladění modelových výstupů s reálnými povodňovými projevy. Tyto možnosti další optimalizace jsou podrobně diskutovány v kapitole 5.2.

6.2.4. Fyzikální a algoritmická omezení radarových produktů a nowcastingových metod

Radarové produkty představují klíčový zdroj informací pro operativní identifikaci a hodnocení rizika přívalových povodní v aplikaci FLAPRIS. Jejich využití však naráží na řadu fyzikálních a algoritmických omezení, která vyplývají jak z principu radarového

měření, tak ze způsobu zpracování a interpretace radarových dat. Tato omezení mají přímý vliv na přesnost výstupů aplikace a je nezbytné je zohlednit při hodnocení úspěšnosti systému. V monografii je produkt VIL uváděn jako jeden z klíčových vstupních radarových produktů využívaných pro dynamické výstupy aplikace FLAPRIS v roce 2024.

Základním vstupním produktem aplikace FLAPRIS v roce 2024 byl radarový produkt VIL (*Vertically Integrated Liquid*), který vyjadřuje vertikálně integrované množství kapalné vody obsažené v oblaku. Fyzikální podstata tohoto produktu spočívá v integraci radarové odrazivosti v celé vertikální vrstvě atmosféry, přičemž předpokládá nepřímou vazbu mezi množstvím kapalné vody v oblaku a intenzitou srážek dopadajících na zemský povrch. Tento předpoklad však nemusí být splněn ve všech meteorologických situacích. Hodnota VIL proto nepředstavuje přímé měření srážkového úhrnu na povrchu, ale indikátor potenciálu konvektivní oblačnosti k produkci intenzivních srážek.

Jedním z hlavních fyzikálních omezení produktu VIL je jeho omezená schopnost rozlišit mezi konvektivními oblaky s vysokým srážkovým potenciálem a situacemi, kdy dochází k akumulaci kapalné vody v oblaku bez efektivního srážkového výtěžku. V případech silných vzestupných proudů může docházet k výraznému nárůstu hodnot VIL, aniž by následně došlo k odpovídajícímu zvýšení intenzity srážek na povrchu. Tento jev se v aplikaci FLAPRIS projevoval zvýšeným výskytem falešných poplachů a nadhodnocením stupně rizika přívalových povodní. Podobné limity byly v předchozích verzích textu identifikovány právě u situací s výraznou konvektivní oblačností, vysokými hodnotami VIL, ale bez odpovídajících povrchových srážek.

Dalším významným omezením je skutečnost, že produkt VIL neposkytuje dostatečně podrobnou informaci o vertikálním rozložení hydrometeorů v oblaku ani o výšce hladiny tání, které jsou důležité pro odhad skutečné srážkové účinnosti konvektivních buněk. Algoritmus výpočtu VIL tak nedokáže vždy rozlišit situace s podobnou celkovou hodnotou VIL, avšak s odlišnou vnitřní strukturou oblačnosti a rozdílným dopadem na povrchové srážky. Z hlediska predikce přívalových povodní je proto problematické, že stejná nebo obdobná hodnota VIL může v různých meteorologických podmínkách vést k odlišné srážkové odezvě na zemském povrchu.

Z algoritmického hlediska představuje omezení také plošný charakter produktu VIL, který je interpretován na relativně hrubém prostorovém měřítku. V důsledku toho může docházet k prostorovému rozmazání srážkových struktur a k nadhodnocení rozsahu potenciálně ohroženého území, zejména v případech velmi lokalizovaných konvektivních bouří. Tento efekt se může projevit generováním vysokých stupňů nebezpečí pro rozsáhlé části obcí nebo regionů, zatímco skutečné přívalové povodně mají pouze lokální charakter. Právě prostorová nepřesnost radarových odhadů a omezená schopnost zachytit lokální extrémy srážkové intenzity se podle výsledků verifikace promítaly do nižší úspěšnosti některých radarově odvozených výstupů.

Vedle nadhodnocení rizika byly v menší míře zaznamenány také případy podhodnocení výstupů aplikace FLAPRIS. Tyto situace se vyskytovaly zejména při srážkových událostech s výrazným vlivem lokálních faktorů, například orografického zesílení srážek, konvergence proudění nebo rychlé regenerace konvektivních buněk. V takových případech nemusí hodnoty VIL dosahovat extrémních hodnot, přestože skutečné

srážkové úhrny na malém území mohou vyvolat přívalovou povodeň. Tento fakt poukazuje na omezenou univerzálnost produktu VIL při identifikaci všech typů povodňově významných srážkových situací.

Významným zdrojem nejistoty je také přesná lokalizace konvektivních jader. Konvektivní srážky jsou prostorově a časově velmi proměnlivé a jejich nejintenzivnější část může zasáhnout pouze úzký pás území. Malý prostorový posun srážkového jádra může v praxi rozhodnout o tom, zda bude zasažena konkrétní obec, ulice, podjezd, propustek nebo drobný vodní tok. Tento problém je zásadní zejména u malých povodí a urbanizovaných území, kde se hydrologická odezva může projevit v řádu minut. Odborná literatura současně potvrzuje, že konvektivní bouře patří mezi meteorologické jevy obtížně předpověditelné, zejména z hlediska přesného určení jejich polohy, intenzity a rychlého vývoje.

Samostatnou skupinu omezení představují nowcastingové metody. Ty jsou obvykle založeny na extrapolaci již existujícího radarového pole a jsou vhodné zejména pro velmi krátkodobý odhad pohybu pozorovaných srážkových struktur. Jejich základní předpoklad spočívá v určité setrvačnosti pozorovaného srážkového pole, tedy že se srážkové struktury budou v nejbližším časovém horizontu pohybovat obdobným směrem a podobnou rychlostí. Tento předpoklad však nemusí být splněn u rychle se vyvíjejících konvektivních situací, kdy bouřkové buňky mohou během krátké doby zesílit, zeslábnout, zaniknout nebo se nově vytvořit v jiné části systému. Moderní studie věnované nowcastingu konvektivních bouří potvrzují, že přesná a včasná předpověď konvekce je náročná právě kvůli její vnitřní dynamice a rychlé prostorově-časové proměnlivosti.

Z hlediska přívalových povodní jsou problematické zejména procesy typu *backbuilding* a řetězový efekt srážkových buněk (*training effect*). Při *backbuildingu* dochází k opakované tvorbě nových konvektivních buněk na návětrné nebo zadní straně bouřkového systému, zatímco starší buňky postupují dále po směru proudění. Při řetězovém efektu mohou jednotlivé srážkové buňky opakovaně postupovat přes stejné území, což vede k vysokým kumulativním úhrnům srážek. Tyto mechanismy mohou způsobit vznik přívalové povodně i v situaci, kdy jednotlivé radarové snímky samostatně neindikují mimořádně rozsáhlé ohrožení. Nowcasting založený převážně na extrapolaci již existujícího radarového pole může tyto procesy zachytit pouze omezeně, protože vznik nových buněk závisí na dynamických, termodynamických, vlhkostních a orografických podmínkách, které nejsou z radarového měření plně odvoditelné.

Skutečná hydrologická odezva území se proto může odlišovat od radarového nebo modelového výstupu i tehdy, pokud je srážková situace meteorologicky zachycena relativně správně. Vznik přívalové povodně není určen pouze intenzitou srážek, ale také aktuální nasyceností půdy, sklonitostí terénu, půdními vlastnostmi, podílem urbanizovaných a zpevněných ploch, kapacitou kanalizační sítě, stavem propustků, mostků a dalších prvků lokální odvodňovací infrastruktury. Lokální technická závada, ucpaný propustek nebo nedostatečná kapacita kanalizace mohou vést k povodňovým dopadům i při nižším srážkovém úhrnu. Naopak v území s vyšší retenční schopností, větším podílem vegetace nebo dostatečně kapacitním odvodněním se nemusí povodňový dopad projevit ani při zvýšené radarově indikované srážkové aktivitě.

Uvedené nejistoty se promítly také do verifikace výstupů aplikace FLAPRIS za rok 2024. U některých povodňových událostí se projevilo nadhodnocení rizika v situacích, kdy produkt VIL indikoval vysoký potenciál srážkové činnosti, avšak reálné povodňové dopady byly prostorově omezené nebo se v daném místě neprojevily. Naopak u některých lokálních událostí došlo k podhodnocení rizika, zejména tam, kde sehrály významnou roli velmi lokální srážkové extrémy, orografické zesílení srážek, rychlá hydrologická odezva nebo technické faktory v intravilánu. Souhrnné výsledky verifikace v monografii ukazují, že výstupy typu Liniové riziko a Plošné riziko byly podhodnocovány výrazněji než výstup Riziko obce, zatímco agregovaný výstup Riziko obce vykazoval vyšší praktickou využitelnost při určování širších ohrožených území.

Uvedená fyzikální a algoritmická omezení potvrzují, že radarový produkt VIL **neumožňuje samostatně zajistit dostatečně přesnou identifikaci rizika přívalových povodní ve všech situacích**. Z tohoto důvodu je žádoucí jeho doplnění nebo částečné nahrazení alternativními radarovými produkty, které poskytují detailnější informaci o vertikální a prostorové struktuře srážek. Perspektivním řešením je využití produktů typu PseudoCAPPI ve výšce 2 km nad zemí, které mohou lépe zachytit intenzitu srážek relevantní pro povrchové hydrologické procesy a jsou dostupné jak ve formě měřených, tak předpovědních dat. Možnosti integrace těchto produktů do výpočetního schématu aplikace FLAPRIS, úpravy prahových hodnot vstupních parametrů a zapojení více radarových zdrojů jsou dále rozpracovány v navazující části věnované optimalizaci vstupních radarových dat a zvýšení přesnosti výstupů aplikace FLAPRIS.

6.2.5. Prostorová a časová omezení aplikace FLAPRIS

Prostorová a časová charakteristika přívalových povodní klade vysoké nároky na přesnost, rozlišení a aktuálnost vstupních dat i výpočetních postupů aplikace FLAPRIS. Krátké trvání, rychlý nástup a výrazná prostorová lokalizace těchto jevů představují zásadní výzvu pro jejich operativní identifikaci a včasné vyhodnocení stupně nebezpečí. V této souvislosti je nutné zohlednit několik klíčových prostorových a časových omezení systému, která ovlivňují interpretaci dosažených výsledků.

Jedním z hlavních prostorových omezení aplikace FLAPRIS je závislost na dosahu a kvalitě radarového měření. Přesnost radarových produktů se s rostoucí vzdáleností od radarového pracoviště snižuje, zejména v důsledku zvyšující se výšky radarového svazku nad terénem, částečného stínění paprsku orografií a zhoršené reprezentativnosti měření pro povrchové srážky. Tyto faktory mohou vést k systematickému zkreslení odhadů intenzity srážek, zejména v okrajových částech sledovaného území, a tím i k nepřesnostem ve výstupech aplikace FLAPRIS.

Dalším prostorovým omezením je měřítko, na kterém jsou výstupy aplikace FLAPRIS interpretovány. Aplikace pracuje s plošnými radarovými produkty, které nemusí vždy odpovídat skutečnému, velmi lokálnímu charakteru přívalových povodní. V důsledku toho může docházet k nadhodnocení rozsahu ohroženého území, kdy jsou vysoké stupně nebezpečí přiřazeny širší oblasti, než jaké byly ve skutečnosti povodní zasaženy. Tento efekt byl pozorován zejména u izolovaných konvektivních buněk s omezeným prostorovým dosahem.

Z časového hlediska představuje významné omezení frekvence aktualizace vstupních radarových dat a návaznost výpočetních kroků aplikace FLAPRIS. Přestože radarová data poskytují relativně vysoké časové rozlišení, extrémně rychlá dynamika konvektivních bouří může vést k situacím, kdy klíčové fáze vývoje srážkového systému probíhají mezi jednotlivými časovými kroky analýzy. V takových případech může být nástup nebezpečí identifikován se zpožděním, nebo naopak může dojít k prodlouženému setrvání vysokého stupně rizika i po odeznění nejintenzivnějších srážek.

Specifickým časovým omezením je rovněž závislost aplikace FLAPRIS na kvalitě a přesnosti krátkodobých předpovědních vstupů (nowcasting). Nejistoty v predikci trajektorie a vývoje konvektivních buněk se mohou promítnout do prostorového i časového posunu predikovaného rizika, což má přímý dopad na praktickou využitelnost výstupů systému v operativním řízení krizových situací.

V neposlední řadě je nutné zmínit omezení vyplývající z časového rozsahu provedené verifikace. Hodnocení výstupů aplikace FLAPRIS bylo provedeno na základě dat z jediné konvektivní sezóny roku 2024, což omezuje možnost posoudit dlouhodobou stabilitu a robustnost systému při výskytu méně častých nebo extrémních meteorologických situací. Stejně tak prostorové zaměření analýzy výhradně na území Zlínského kraje limituje přenositelnost výsledků do oblastí s odlišnými klimatickými, orografickými či urbanistickými podmínkami.

Uvedená prostorová a časová omezení aplikace FLAPRIS je nutné vnímat jako přirozený důsledek snahy o operativní a plošné hodnocení rizika přívalových povodní. Zároveň však představují důležitý podklad pro další rozvoj systému, zejména ve směru zvýšení prostorového a časového rozlišení výstupů, optimalizace aktualizací intervalů a rozšíření verifikace na delší časová období a další regiony. Tyto aspekty jsou dále rozpracovány v kapitole 5.2, která se zaměřuje na konkrétní možnosti optimalizace přesnosti výstupů aplikace FLAPRIS.

6.3. Implikace výsledků verifikace FLAPRIS pro krizové řízení na úrovni ORP, kraje a složek krizového řízení

Výsledky verifikace aplikace FLAPRIS za rok 2024 mají význam nejen z hlediska hodnocení přesnosti modelových a radarových výstupů, ale také z hlediska jejich praktického využití v systému krizového a povodňového řízení. Přívalové povodně představují mimořádné události s velmi rychlým nástupem, krátkou dobou pro přijetí účinných opatření a často výrazně lokálním dopadem. Pro krizové manažery proto není zásadní pouze informace o existenci zvýšeného rizika, ale také schopnost správně interpretovat její prostorovou přesnost, časovou platnost, míru nejistoty a vazbu na konkrétní opatření v území. Aplikaci FLAPRIS je proto vhodné chápat nikoliv jako náhradu oficiálních výstražných systémů, ale jako specializovaný podpůrný nástroj pro zpřesnění lokálního rozhodování na úrovni obcí, obcí s rozšířenou působností, kraje a složek integrovaného záchranného systému.

Z hlediska krizového řízení je klíčové rozlišovat interpretační význam jednotlivých výstupů aplikace. Výstup **Riziko obce** je určen zejména pro rychlou orientaci, zda se daná obec nebo její správní území nachází v prostoru zvýšeného nebezpečí. Největší význam má pro rozhodování na úrovni obcí, ORP a kraje, například při aktivaci zvýšené pohotovosti, komunikaci se starosty dotčených obcí nebo při předběžném zaměření pozornosti složek krizového řízení. Výstupy **Liniové riziko** a **Plošné riziko** mají podrobnější prostorovou interpretační hodnotu. Liniové riziko umožňuje identifikovat potenciální dráhy soustředěného povrchového odtoku, zatímco plošné riziko poskytuje širší informaci o územní predispozici k rychlému odtoku srážkové vody. Pro praktické rozhodování je proto vhodné tyto výstupy kombinovat: Riziko obce využít pro vymezení širšího ohroženého území, Plošné riziko pro orientační posouzení zranitelnosti území a Liniové riziko pro identifikaci konkrétních lokalit vyžadujících zvýšenou pozornost.

Zvláštní význam má **Statické riziko přívalových povodní**, které vyjadřuje dlouhodobou predispozici území ke vzniku soustředěného povrchového odtoku a není závislé na aktuální srážkové epizodě. Tento výstup je využitelný zejména v preventivní a plánovací fázi krizového řízení. Může sloužit jako podklad pro aktualizaci povodňových plánů, identifikaci kritických míst v obcích, přípravu rozmístění protipovodňových prostředků, plánování objízdných tras, stanovení lokalit vhodných pro pravidelnou kontrolu propustků a kanalizačních vpustí nebo pro přípravu cvičení jednotek požární ochrany. V kombinaci s historickou databází událostí umožňuje Statické riziko identifikovat místa, kde se dlouhodobě překrývá morfologická predispozice území, urbanizace, přítomnost kritických bodů a dokumentované dopady povodňových událostí.

Při interpretaci výstupů aplikace FLAPRIS je nezbytné systematicky pracovat s nejistotou predikce. Predikce přívalových povodní je zatížena vysokou mírou nejistoty zejména v důsledku lokálního charakteru konvektivních srážek, rychlé hydrologické odezvy malých povodí, prostorových limitů radarových odhadů a vlivu lokálních prvků, které model nemusí plně zachytit. Mezi tyto prvky patří zejména propustky, mostky, kanalizační vpusti, retenční objekty, drobné vodní toky, lokální terénní deprese nebo místa se sníženou kapacitou odvodnění. Výstupy aplikace proto nelze chápat jako deterministickou předpověď přesného místa a času vzniku povodně, ale jako odborně podloženou indikaci zvýšené pravděpodobnosti nebezpečí.

Pro krizové manažery z toho vyplývá několik praktických zásad. Jednotlivé výstupy FLAPRIS by neměly být posuzovány izolovaně, ale ve vzájemné kombinaci. Pokud se v určitém území současně překrývá zvýšené **Riziko obce**, dynamické nebo statické **Liniové riziko**, vysoká nasycenost půdy a intenzivní radarově detekovaná nebo předpovídaná srážková činnost, měla by být daná lokalita považována za prioritní pro operativní sledování. Při prostorovém vyhodnocení je zároveň vhodné počítat s možným posunem rizikové lokality, zejména u liniových výstupů. V prostředí přívalových povodní může být přiměřeně konzervativní interpretace rizika vhodnější než jeho podhodnocení, protože časový prostor pro reakci obcí, jednotek požární ochrany a povodňových orgánů je velmi krátký.

Výstupy FLAPRIS lze účelně využít již ve fázi preventivní přípravy. Na úrovni obcí a ORP mohou sloužit k vytipování míst vyžadujících pravidelnou kontrolu, technická opatření nebo zvýšenou připravenost. Typicky se jedná o úseky komunikací ohrožené

soustředěným odtokem, podjezdy, propustky, místa častého zanášení splaveninami, okolí drobných vodních toků, níže položené části obcí a lokality s vysokým podílem zpevněných nebo zemědělsky využívaných ploch. Před očekávaným výskytem silných konvektivních srážek mohou výstupy systému podpořit kontrolu rizikových míst, přípravu pytlů s pískem, rozmístění čerpací techniky, ověření dostupnosti jednotek sborů dobrovolných hasičů a včasné informování starostů dotčených obcí.

Na krajské úrovni mohou výstupy FLAPRIS přispět k prioritizaci území, kterým má být věnována zvýšená pozornost při očekávaných konvektivních situacích. Krajské orgány krizového řízení mohou na jejich základě předběžně identifikovat obce a správní obvody ORP s vyšší pravděpodobností potřeby zásahu, koordinovat komunikaci s Hasičským záchranným sborem, správci vodních toků a dotčenými obcemi a připravit přehled nejohroženějších lokalit. Pro složky integrovaného záchranného systému představují výstupy FLAPRIS doplňkový podklad pro předběžné rozmístění sil a prostředků, plánování monitoringu, přípravu techniky a prioritizaci zásahů v územích, kde lze očekávat rychlou koncentraci povrchového odtoku nebo zaplavení dopravní infrastruktury.

Začlenění aplikace FLAPRIS do systému včasného varování by mělo být založeno na její doplňkové roli vůči oficiálním výstražným informacím. Výstrahy Českého hydrometeorologického ústavu, Systém integrované výstražné služby, hlásná a předpovědní povodňová služba a lokální výstražné systémy představují základní institucionální rámec varování. FLAPRIS může tento rámec rozšířit o prostorově podrobnější informaci zaměřenou na lokální riziko přívalových povodní, zejména na identifikaci ohrožených obcí, linií soustředěného odtoku a rizikových ploch. V praxi je vhodné výstupy FLAPRIS využívat zejména při vydání výstrahy na silné nebo velmi silné bouřky, kdy mohou pomoci ověřit, zda se očekávaná srážková aktivita překrývá s územími vykazujícími zvýšené statické nebo dynamické riziko.

Pro efektivní využití v krizové praxi je důležité, aby byly výstupy FLAPRIS propojeny s konkrétními interpretačními pravidly. Nízký stupeň rizika může představovat potřebu sledování vývoje, vysoký stupeň rizika důvod k předběžné přípravě a extrémní stupeň rizika impuls k aktivnímu prověření situace, komunikaci s dotčenými obcemi a připravenosti k zásahu. Takové propojení modelového výstupu s typovými opatřeními je nezbytné pro to, aby systém nebyl pouze analytickým nástrojem, ale skutečnou podporou rozhodování. Součástí praktického využití by měla být také zpětná vazba po každé významnější události, tedy porovnání skutečných dopadů s modelovými výstupy, aktualizace rizikových lokalit a promítnutí získaných poznatků do povodňové dokumentace a krizových scénářů.

Celkově lze konstatovat, že hlavní přínos aplikace FLAPRIS pro krizové řízení spočívá ve schopnosti propojit meteorologické, hydrologické a prostorové informace do podoby využitelné pro rozhodování v konkrétním území. Systém umožňuje lépe identifikovat obce a lokality s potenciálním rizikem přívalových povodní, podporuje cílenou přípravu preventivních opatření a poskytuje podklad pro operativní rozhodování v situacích s velmi krátkou dobou reakce. Jeho výstupy však musí být vždy interpretovány s ohledem na nejistotu predikce, lokální znalost území a aktuální informace z oficiálních výstražných a povodňových systémů. Při správném začlenění do rozhodovacích procesů může

FLAPRIS přispět ke zkrácení reakční doby, lepší prioritizaci zásahů, efektivnějšímu využití sil a prostředků a ke zvýšení připravenosti obcí, ORP, kraje i složek krizového řízení na přívalové povodně.

6.4. Optimalizace přesnosti výstupů aplikace FLAPRIS

V rámci výpočtu výstupů aplikace FLAPRIS za rok 2024 byl jako hlavní nástroj pro měření množství kapalně vody v oblacích použit radarový produkt VIL. Tento produkt se běžně využívá v operativní meteorologii k měření a odhadu množství kapalně vody v oblacích v celé vertikální vrstvě atmosféry, která představuje významný potenciál pro vznik přívalových srážek – hlavní příčinné podmínky vzniku přívalových povodní.

Při operativním nasazení tohoto radarového produktu byly identifikovány následující nedostatky:

- Výskyt zvýšeného počtu falešných poplachů v situacích, kdy se nad územím Zlínského kraje vyskytovala oblačnost bez významných srážek, avšak byly naměřeny vysoké hodnoty VIL. Tyto hodnoty vedly k výraznému nadhodnocení bezesrážkových situací a následně k výpočtu vysokého až extrémního stupně rizika přívalových povodní pro celé území kraje.
- Výskyt zvýšeného počtu falešných poplachů v případech, kdy byly generovány výpočty nejvyšších stupňů rizika pro rozsáhlé části území obcí, zatímco přívalové povodně se vyskytly pouze lokálně.
- Vyšší míra podhodnocených výstupů na základě komplexního hodnocení úspěšnosti všech výstupů aplikace FLAPRIS.

Tyto výše uvedené problémy lze řešit následujícími způsoby:

1. Rekonfigurací prahových limitů (koeficientů) pro stávající radarový produkt VIL.
2. Získáním modifikovaného produktu VIL pro hladiny ve výšce např. 2–5 km nad zemí od ČHMÚ.
3. Nahrazením radarového produktu VIL produktem PseudoCAPPI 2 km, pro který jsou k dispozici jak měřené, tak předpovědní výstupy.

6.5. Návrh aktualizace systému pro distribuci varovných zpráv o nebezpečí přívalových povodní v aplikaci FLAPRIS

Vzhledem k vysokému počtu zasílaných zpráv upozorňujících na riziko přívalových povodní pro jednotlivé obce a správní obvody ORP jsou navrženy následující podmínky ke snížení jejich četnosti a zvýšení efektivity současného systému:

- Zpráva bude zasílána pouze při dosažení nejvyššího (extrémního) stupně rizika pro sledovanou obec.
- Tato zpráva bude odeslána pouze jednou za den, a to v okamžiku vzniku extrémního stupně rizika. Aktualizace bude zaslána pouze v případě snížení na

nižší stupeň rizika nebo při úplném zániku rizika (pominutí nebezpečí přívalových povodní).

- Extrémní stupeň rizika přívalových povodní bude garantovat skutečný výskyt přívalové povodně.

Mapa	Osoby	Spravovaná území	Zájmová území	Události	Rizika	Výstrahy	Protokol	Postupy
☐	obec	spravce	Holubice		Ne			
☐	orp	spravce	Holubice		Ne			
☐	Rak	Jakub	Prakšice		Ano			
☐	Rak	Jakub			Ano			
☐	Rak	Jakub	Suchá Loz		Ano			
☐	Řeha	Jakub			Ano			
☐	Šaur	David			Ano			
☐	soukup	ales gmail	Horní Bečva		Ano			
☐	soukup	ales volny	Držková		Ano			
☐	Soukup	Ales			Ano			
☐	Štílip	Pavel			Ano			
☐	Tureček	Tomáš			Ne			

Počet záznamů: 18

500

Zlín (Zlín, Zlínský kraj) :obec

Poznámka

Mobilní telefon

Není zadán žádný telefon/mobil

Email

david.saur88@gmail.com email / login

Spravované oblasti	Osoby	Události	Nový
Obec / ORP / Kraj	Zobrazení	Správa	Správa
Zlín (Zlín, Zlínský kraj) :obec	☒	☐	☐
Vizovice (Zlínský kraj) :ORP	☒	☐	☐
Horní Lhota (Luhačovice, Zlínský kraj) :obec	☒	☐	☐

Obrázek 114: Postup nastavení zasílání výstrah (aktualizací) v aplikaci FLAPRIS [48]

Kromě uvedených podmínek mohou uživatelé aplikace FLAPRIS s rolí „běžný uživatel“ snížit počet zasílaných zpráv prostřednictvím nastavení v záložce „Osoby“, kde lze konfigurovat zasílání výstrah nebo aktualizací.

6.6. Využití senzorických sítí na vodních tocích pro validaci a zpřesnění výstupů FLAPRIS

Dalším směrem rozvoje aplikace FLAPRIS je doplnění systému o data z lokálních senzorických sítí instalovaných na vybraných vodních tocích a v hydrologicky citlivých profilech. Kontinuální měření vodních stavů, průtoků a případně dalších doplňkových veličin by umožnilo získávat reálná data o hydrologické odezvě území na přívalové srážky. Tato data by vhodně doplnila současné radarové, nowcastingové a statické výstupy aplikace a zvýšila jejich praktickou využitelnost v systému včasného varování.

Lokální senzory by měly být umísťovány zejména do území s opakovaným výskytem přívalových povodní, do blízkosti kritických profilů drobných vodních toků, propustků, mostků, retenčních objektů a intravilánových úseků se zvýšenou zranitelností. Zásadní význam má zejména schopnost zachytit rychlý vzestup hladiny a krátkodobou kulminaci, které jsou pro přívalové povodně typické a které nemusí být dostatečně podchyceny běžnými zdroji dat.

Propojení senzorických dat s aplikací FLAPRIS by umožnilo průběžně porovnávat modelově predikované riziko s reálně měřeným stavem na vodních tocích. Výstupy typu **Riziko obce**, **Liniové riziko**, **Plošné riziko** a **Statické riziko přívalových povodní** by mohly být validovány podle aktuálního vývoje hladin a průtoků. Tím by bylo možné přesněji posoudit, zda se zvýšené riziko indikované aplikací skutečně promítá do hydrologické odezvy konkrétního povodí.

Významným přínosem by byla možnost validace modelových výstupů v reálném čase. Senzorická data by umožnila rychleji rozpoznat situace, kdy model riziko podhodnocuje nebo nadhodnocuje, a poskytla by podklad pro další kalibraci prahových hodnot. Z dlouhodobého hlediska by tato data mohla být využita také pro automatizovanou verifikaci a pro rozvoj metod strojového učení zaměřených na zpřesnění predikce přívalových povodní.

V systému včasného varování by senzory představovaly důležitý doplňkový zdroj informací. Zatímco radarové a modelové výstupy poskytují informaci o pravděpodobnosti vzniku nebezpečí, senzory na vodních tocích umožňují ověřit, zda již dochází ke skutečné hydrologické odezvě. Kombinace zvýšeného rizika ve FLAPRIS, intenzivní radarové detekované srážkové činnosti a rychlého vzestupu hladiny v monitorovaném profilu by mohla sloužit jako silný podnět pro aktivaci preventivních nebo operativních opatření.

Celkově lze konstatovat, že doplnění senzorických sítí na vodních tocích představuje prakticky významný směr dalšího rozvoje aplikace FLAPRIS. Umožnilo by propojit predikci nebezpečí s reálně měřenou hydrologickou odezvou, zvýšit spolehlivost systému včasného varování, podpořit rozhodování krizových a povodňových orgánů a současně vytvořit kvalitnější datový základ pro další validaci a výzkumný rozvoj aplikace.

6.7. Návrh optimalizace databáze historických povodňových událostí

V aplikaci FLAPRIS je po přihlášení v kartě „Události“ dostupná databáze historických povodňových událostí ve Zlínském kraji. V současné době tato databáze neobsahuje žádná data, avšak do budoucna se počítá s její aktualizací a doplněním stovek záznamů dokumentujících výskyt přívalových povodní ve Zlínském kraji v období let 2007–2024.

The screenshot displays the 'Události' (Events) section of the FLAPRIS application. On the left, a table lists various flood events with columns for event name, date, reporting person, and municipality. The first event, 'Povodeň 1', is selected. On the right, a detailed view of this event is shown, including its name 'Přívalová povodeň v obci Kunovice', date '30.10.2023 10:04', reporting person 'Šaur David', and municipality 'Kunovice (Uherské Hradiště, Zlínský kraj) :obec'. The event's coordinates are also provided: 49.0449958N, 17.4701102E. The interface includes search filters, a list of events, and a detailed view of a selected event.

Název události	Datum ud...	Oznamující osoba	Obec
☒ Povodeň 1	30.10.2023 10:04	Šaur David	Kunovice (Uherské Hradiště, Zlínský kraj) :obec
☐ Velký déšť	02.10.2023 6:30	Kudrlová soukr Mo...	Horní Lapač (Holešov, Zlínský kraj) :obec
☐ Přívalová povodeň Dolní Lhota	20.04.2023 9:05	Kudrlová Monika	Dolní Lhota (Luhačovice, Zlínský kraj) :obec
☐ Test přívalová povodeň	31.03.2023 11:13	asuser3 ales	Uherský Brod (Uherský Brod, Zlínský kraj) :ob
☐ Test povodeň Bystřice	24.03.2023 11:07	asuser3 ales	Bystřice pod Hostýnem (Bystřice pod Hostýn
☐ Povodeň	23.03.2023 11:56	Soukup Ales	Zlín (Zlín, Zlínský kraj) :obec
☐ asuse3 babice	22.03.2023 14:29	asuser3 ales	Babice (Říčany, Středočeský kraj) :obec
☐ Test události Uherský brod	22.03.2023 11:11	Soukup Ales	Uherský Brod (Uherský Brod, Zlínský kraj) :ob
☐ Nová událost Kyjov	20.03.2023 12:05	Kudrlová Monika	Archlebov (Kyjov, Jihomoravský kraj) :obec

Detail události: **Přívalová povodeň v obci Kunovice**
Datum události: 30.10.2023 10:04
Evidující osoba: Šaur David
Evidující osoba - email: saur@utb.cz
Evidující osoba - mobil:
Obec: Kunovice (Uherské Hradiště, Zlínský kraj) :obec
Souřadnice události [lat, lon], WGS84: 49.0449958N, 17.4701102E
Rozsah zasaženého území - Mimo obec: ☐ zemědělská plocha, ☐ nezastavěná část obce
Rozsah zasaženého území - V obci: ☐ několik nemovitostí, ☒ část obce, ☐ velká část obce

Obrázek 115: Ukázka vizualizace obsahu karty Události v aplikaci FLAPRIS [48]

Výstupy této databáze bude možné využít například pro:

- Analýzu odtokových poměrů ve Zlínském kraji s využitím statického liniového a plošného rizika přívalových povodní.
- Návrh preventivních protipovodňových opatření v konkrétním území z dlouhodobého hlediska přípravy (např. v zimních a jarních měsících).

- Návrh preventivních protipovodňových opatření v konkrétním území z krátkodobého hlediska přípravy před a v průběhu výskytu přívalové povodně.
- Export a následné zpracování povodňové zprávy s návrhem uceleného formátu dokumentu pro oddělení krizového řízení obce, případně oddělení životního prostředí ORP zabývající se monitoringem povodňových událostí.

Cílem této funkcionality aplikace FLAPRIS je zajistit dostatečnou a kvalitní informovanost o historických přívalových povodních ve Zlínském kraji. Tyto události, na základě společných znaků – například opakujícího se výskytu míst omezujících odtokové poměry (mosty, propustky, kanály apod.) – mohou poskytnout včasné informace o lokalitách s potenciálním rizikem budoucího výskytu přívalové povodně.

Důkladný monitoring terénních a přírodních překážek, které ovlivňují odtokové poměry na daném území, může významně přispět k přípravě preventivních i operativních opatření proti vzniku přívalových povodní. Cílem je snížit následky a dopady na zdraví a životy obyvatel a zajistit ochranu soukromého i veřejného majetku.

7. Budoucí výzkum a směry dalšího rozvoje aplikace FLAPRIS

Identifikované limity metodiky a zdroje nejistot verifikace, diskutované v předchozí kapitole, zároveň vymezují hlavní směry dalšího výzkumu a rozvoje aplikace FLAPRIS. Ačkoli dosažené výsledky potvrzují schopnost systému identifikovat riziko přívalových povodní v konvektivních situacích, další zvýšení jeho přesnosti, robustnosti a operativní využitelnosti vyžaduje rozšíření vstupních dat, zpřesnění výpočetních postupů a dlouhodobé testování v širším spektru podmínek.

Tato kapitola se zaměřuje na klíčové oblasti budoucího výzkumu, které přímo reagují na identifikovaná omezení aplikace FLAPRIS. Pozornost je věnována zejména zkvalitnění a kombinaci radarových vstupů, regionální a časově rozsáhlejší validaci systému, integraci pokročilých metod zpracování dat včetně přístupů založených na umělé inteligenci, automatizaci verifikačního procesu a možnostem implementace aplikace FLAPRIS do národních i mezinárodních systémů včasného varování. Tyto směry dalšího rozvoje představují nezbytný krok k posílení praktické použitelnosti aplikace FLAPRIS v oblasti operativního řízení rizik spojených s přívalovými povodněmi.

Směry dalšího rozvoje aplikace FLAPRIS jsou:

1. Rozšíření a zkvalitnění vstupních radarových dat.
2. Regionální a dlouhodobá validace aplikace.
3. Integrace pokročilých metod zpracování dat (AI / ML).
4. Automatizace verifikačního procesu.
5. Implementace do systémů včasného varování.

7.1. Rozšíření a zkvalitnění vstupních radarových dat

Závěry uvedené v kapitole 5.1.1 jednoznačně prokázaly, že využití radarového produktu VIL jako dominantního vstupního parametru aplikace FLAPRIS je zatíženo řadou fyzikálních i interpretačních omezení. Tyto limity se projevují zejména zvýšeným výskytem falešných poplachů v situacích s výraznou konvektivní oblačností bez odpovídajících povrchových srážek, prostorovým nadhodnocením rozsahu ohroženého území a v menší míře také podhodnocením rizika při lokálně zesílených srážkách v orograficky členitém terénu. Identifikované nedostatky potvrzují, že další rozvoj aplikace FLAPRIS musí být založen na rozšíření a zkvalitnění vstupních radarových dat a na omezení závislosti systému na jediném radarovém produktu.

Jedním z klíčových kroků v tomto směru je zapojení radarů sítě CZRAD provozované Českým hydrometeorologickým ústavem, konkrétně meteorologického radaru v oblasti Protivanova na Dražanské vrchovině. V kombinaci se stávajícím meteorologickým radarem Zlínského kraje v Holešově umožňuje řešení sloučeného radarového pole s výrazně lepším prostorovým pokrytím sledovaného území. Tento přístup přímo reaguje na v kapitole 5.1.1 popsané problémy spojené s prostorovou nejistotou radarových odhadů, zejména v okrajových částech území a v oblastech ovlivněných orografií, kde dochází ke zhoršení reprezentativnosti jednotlivých radarových měření.

Multiradarové zpracování dat současně přispívá ke zvýšení robustnosti systému vůči výpadkům jednotlivých radarových zdrojů a ke snížení rizika nedostupnosti vstupních

dat v operativním provozu. Tato redundance má význam nejen z hlediska kontinuity výpočtů, ale i z hlediska omezení náhodných chyb, které se mohou promítat do výstupů aplikace FLAPRIS v kritických situacích.

Vedle rozšíření radarové sítě představuje zásadní směr dalšího vývoje také kombinace více radarových produktů v rámci více vstupového výpočetního schématu. Jak bylo uvedeno v kapitole 5.1.1, samotný produkt VIL neposkytuje dostatečně přesnou informaci o prostorové distribuci intenzivních srážek na zemském povrchu ani o vnitřní struktuře konvektivních systémů. Integrace produktů typu PseudoCAPPI ve výšce 2 km nad zemí a základní radarové odrazivosti umožňuje lépe zachytit srážkovou účinnost konvektivních buněk a omezit situace, kdy vysoké hodnoty VIL vedou k nadhodnocení rizika bez reálných povodňových dopadů.

Multiparametrický přístup rovněž vytváří předpoklad pro snížení počtu falešných poplachů identifikovaných v rámci verifikace a pro lepší zachycení lokálně intenzivních srážkových epizod, které byly v některých případech produktem VIL podhodnoceny. Očekávaným výsledkem zapojení multiradarových dat a kombinace radarových produktů je postupné zvýšení přesnosti a spolehlivosti jak měřených, tak předpovědních výstupů aplikace FLAPRIS, a tím i zlepšení její operativní využitelnosti v oblasti včasného varování před přívalovými povodněmi.

Na základě toho bude vytvořen sloučený radarový výstup, který významně podpoří:

- Snížení rizika nedostupnosti vstupních radarových dat v případě blackoutu nebo výpadku buď sítě CZRAD nebo meteorologického radaru Zlínského kraje v Holešově
- Snížení nejistoty uvnitř a v okrajových částech sledovaného území.
- Zlepšení odhadu vertikální struktury konvektivních systémů.
- Zvýšení úspěšnost měřených a předpovídaných výstupů řádově v jednotkách až desítkách procent.

7.2. Regionální a dlouhodobá validace aplikace

Závěry uvedené v kapitole 5.1.2 jednoznačně ukázaly, že výsledky verifikace aplikace FLAPRIS jsou významně ovlivněny způsobem výběru analyzovaných povodňových událostí. Omezení vyplývající z prostorového i časového rozsahu hodnoceného souboru událostí, jejich typové homogenity a dostupnosti dokumentovaných dopadů představují zásadní zdroj nejistot při interpretaci dosažené úspěšnosti systému. Tyto skutečnosti potvrzují, že objektivní posouzení výkonnosti aplikace FLAPRIS nelze založit výhradně na analýze omezeného počtu extrémních případů v jednom regionu a během jediné konvektivní sezóny.

Verifikace provedená na událostech ze Zlínského kraje v roce 2024 byla záměrně zaměřena na situace s jednoznačně prokázanými dopady přívalových povodní. Tento přístup umožnil detailní kvalitativní hodnocení funkčnosti aplikace v kritických scénářích, současně však vedl k selektivnímu zkreslení souboru analyzovaných případů. Výsledky tak odrážejí především chování systému při silných a dobře zdokumentovaných

epizodách, zatímco slabší, prostorově omezené nebo nejednoznačně klasifikovatelné události zůstaly do značné míry mimo hodnocení. Tento faktor se může promítat zejména do nadhodnocení celkové úspěšnosti aplikace v oblasti detekce extrémního rizika.

Dalším identifikovaným limitem výběru analyzovaných událostí je regionální specifikum Zlínského kraje, které je charakterizováno výraznou orografií, vysokým podílem kritických bodů a častým výskytem lokálně zesílených konvektivních srážek. Tyto podmínky jsou pro testování aplikace FLAPRIS z hlediska přívalových povodní velmi vhodné, avšak současně snižují zobecnitelnost výsledků na území s odlišným charakterem krajiny, například do nížinných oblastí s menší svažitostí, jinou strukturou povodí a odlišným režimem srážek. Regionální validace v dalších krajích České republiky je proto nezbytným krokem k ověření stability a přenositelnosti dosažených závěrů.

Z časového hlediska představuje významné omezení skutečnost, že hodnocení bylo provedeno pouze za jednu konvektivní sezónu. Jak bylo uvedeno v kapitole 5.1.2, charakter bouřkové aktivity, synoptických situací i prostorového rozložení extrémních srážek se mezi jednotlivými roky výrazně liší. Krátkodobá validace proto nemůže zachytit plnou škálu meteorologických scénářů, při nichž může aplikace FLAPRIS vykazovat odlišnou míru úspěšnosti. Dlouhodobé sledování výstupů systému v horizontu několika let je nezbytné pro získání statisticky robustních výsledků a pro spolehlivé vyhodnocení četnosti falešných poplachů i případů podhodnocení rizika.

Rozšíření analyzovaného souboru událostí o méně výrazné, lokální a hraniční případy přívalových povodní současně umožní lépe posoudit citlivost aplikace FLAPRIS na počáteční podmínky a na variabilitu vstupních dat. Takový přístup je klíčový pro optimalizaci prahových hodnot jednotlivých výstupů a pro omezení nejistot, které vyplývají z binárního hodnocení úspěšnosti založeného pouze na nejzávažnějších událostech.

Regionální a dlouhodobá validace aplikace FLAPRIS tak představuje zásadní metodický krok k překonání limitů identifikovaných v kapitole 5.1.2. Systematické rozšiřování verifikovaného souboru událostí v prostoru i čase vytvoří předpoklad pro objektivnější hodnocení výkonnosti systému, zpřesnění interpretace jeho výstupů a zvýšení důvěryhodnosti aplikace při jejím operativním využití. Očekávaným výsledkem tohoto procesu je nejen stabilnější a lépe kalibrovaný predikční systém, ale také možnost jeho širší implementace v rámci České republiky a následně i v mezinárodním kontextu.

7.3. Integrace pokročilých metod zpracování dat (AI / ML)

Závěry uvedené v kapitole 5.1.3 jednoznačně prokázaly, že interpretace reálných dopadů přívalových povodní představuje jeden z nejvýznamnějších zdrojů nejistot při verifikaci aplikace FLAPRIS. Nejednoznačnost dostupných informací o rozsahu, intenzitě a časovém průběhu povodňových škod, rozdílná kvalita hlášení zasažených lokalit a omezená prostorová přesnost dokumentovaných událostí výrazně komplikují objektivní vyhodnocení úspěšnosti predikčních výstupů. Tyto limity potvrzují, že další rozvoj aplikace FLAPRIS nemůže být založen výhradně na deterministickém porovnávání

modelových výstupů s často neúplnými či subjektivně interpretovanými záznamy o dopadech.

Jedním z klíčových směrů dalšího vývoje aplikace FLAPRIS je proto integrace pokročilých metod zpracování dat založených na principech umělé inteligence a strojového učení. Tyto přístupy umožňují pracovat s daty zatíženými vysokou mírou nejistoty, neúplnosti a heterogenity a zároveň dokáží identifikovat skryté vzorce a vztahy, které nejsou při klasickém expertním hodnocení snadno postižitelné. V kontextu limitů popsaných v kapitole 5.1.3 představují metody AI/ML nástroj, jak částečně překlenout rozdíl mezi fyzikálně založeným modelem a reálnými, často obtížně kvantifikovatelnými dopady přívalových povodní.

Integrace strojového učení do aplikace FLAPRIS umožňuje zejména probabilistickou interpretaci rizika, která lépe odpovídá nejisté povaze vstupních dat o povodňových škodách. Namísto binárního hodnocení úspěšnosti na základě přítomnosti či absence dokumentovaných dopadů lze využít modely, které pracují s pravděpodobnostním rozdělením rizika a zohledňují variabilitu lokálních podmínek, míru zranitelnosti území i kvalitu dostupných informací. Tento přístup přímo reaguje na problém nejednoznačného vymezení zasažených oblastí, který byl identifikován jako zásadní limit verifikace.

Další významnou výhodou metod AI/ML je jejich schopnost kombinovat široké spektrum datových zdrojů, včetně radarových a srážkoměrných údajů, charakteristik povodí, historických záznamů o povodňových událostech, ale také alternativních zdrojů informací, jako jsou hlášení Integrovaného záchranného systému, textové zprávy, fotografie či data z dálkového průzkumu Země. Automatizovaná analýza těchto heterogenních dat může významně přispět ke zpřesnění interpretace reálných dopadů přívalových povodní a ke snížení subjektivity při jejich vyhodnocování.

Z hlediska dlouhodobého rozvoje aplikace FLAPRIS představuje zapojení metod strojového učení také nástroj pro průběžnou adaptaci systému na nové poznatky. Učení modelu na základě rozšiřující se databáze historických událostí umožňuje postupné zpřesňování predikčních charakteristik a snižování systematických chyb, které byly v rámci verifikace identifikovány. Tento adaptivní přístup je zásadní zejména v kontextu měnících se klimatických podmínek a rostoucí variability extrémních srážkových epizod.

Integrace pokročilých metod AI/ML tak představuje logickou reakci na limity interpretace dopadů přívalových povodní popsané v kapitole 5.1.3. Očekávaným výsledkem tohoto kroku je zvýšení objektivity verifikace, lepší využití dostupných dat a celkové posílení predikční schopnosti aplikace FLAPRIS. V dlouhodobém horizontu může tento přístup významně přispět k transformaci aplikace v komplexní, adaptivní systém včasného varování, který bude schopen poskytovat spolehlivé a odborně podložené informace i v podmínkách vysoké nejistoty.

7.4. Automatizace verifikačního procesu

Závěry uvedené v kapitole 5.1 jednoznačně prokázaly, že současný verifikační proces aplikace FLAPRIS je zatížen vysokými nároky na manuální zpracování dat, expertní interpretaci a časově náročnou syntézu informací z různorodých zdrojů. Tyto limity se projevují zejména v omezené opakovatelnosti hodnocení, v riziku subjektivního zkreslení výsledků a v praktické nemožnosti provádět dlouhodobou a plošně rozsáhlou verifikaci v operativním režimu. Identifikované nedostatky potvrzují, že další rozvoj aplikace FLAPRIS musí být založen nejen na zkvalitnění vstupních dat a modelových přístupů, ale také na systematické automatizaci celého verifikačního procesu.

Jedním z klíčových kroků v tomto směru je vytvoření automatizovaného verifikačního rámce, který umožní průběžné a standardizované vyhodnocování výstupů aplikace FLAPRIS v reálném čase i v retrospektivním režimu. Automatizace umožní odstranit závislost verifikace na individuálních expertních rozhodnutích a zajistí jednotnou metodiku hodnocení napříč různými regiony i časovými obdobími. Tento přístup přímo reaguje na v kapitole 5.1 popsané problémy spojené s nejednoznačnou interpretací dopadů přívalových povodní a s rozdílnou kvalitou dostupných referenčních dat.

Automatizovaný verifikační proces by měl být založen na integraci více typů datových zdrojů, včetně radarových a srážkoměrných měření, hydrologických pozorování, databází historických povodňových událostí a záznamů o zásazích složek integrovaného záchranného systému. Automatizované párování modelových výstupů s reálnými projevy povodňové aktivity umožní objektivnější a konzistentnější vyhodnocení úspěšnosti aplikace FLAPRIS, a to i v případech, kdy jsou dostupné informace o dopadech neúplné nebo prostorově nepřesné.

Významným přínosem automatizace je rovněž možnost systematického sledování výkonnostních metrik aplikace v čase. Průběžné vyhodnocování četnosti falešných poplachů, úspěšnosti detekce rizikových situací a stability predikčních charakteristik poskytne cennou zpětnou vazbu pro další optimalizaci modelových parametrů. Tento mechanismus je klíčový pro dlouhodobé snižování nejistot verifikace identifikovaných v kapitole 5.1 a pro zajištění konzistentní kvality výstupů aplikace v různých meteorologických a hydrologických podmínkách.

Automatizace verifikačního procesu současně vytváří předpoklad pro efektivní propojení aplikace FLAPRIS s pokročilými metodami strojového učení. Automaticky generované verifikační výstupy mohou sloužit jako trénovací a validační data pro adaptivní modely, které se budou průběžně učit na základě nových událostí. Tím se posiluje schopnost systému reagovat na měnící se charakter extrémních srážek a na rostoucí variabilitu povodňových dopadů v důsledku klimatické změny.

Z dlouhodobého hlediska představuje automatizace verifikačního procesu zásadní krok k transformaci aplikace FLAPRIS v plně operativní nástroj včasného varování. Očekávaným výsledkem tohoto přístupu je nejen zvýšení objektivity, transparentnosti a opakovatelnosti verifikace, ale také výrazné snížení časových a personálních nároků na její provádění. Automatizovaný verifikační rámec tak tvoří nezbytný základ pro dlouhodobý rozvoj aplikace FLAPRIS, její plošné nasazení a její využití v podmínkách reálného krizového řízení.

7.5. Implementace do systémů včasného varování

Závěry uvedené v kapitole 5.1 jednoznačně prokázaly, že aplikace FLAPRIS disponuje významným potenciálem pro využití v systémech včasného varování před přívalovými povodněmi, současně však poukázaly na řadu metodických a datových omezení, která je nutné zohlednit při jejím operativním nasazení. Identifikované limity, zejména nejistoty spojené s interpretací radarových dat, výběrem verifikačních událostí a hodnocením reálných dopadů, potvrzují, že implementace aplikace FLAPRIS do varovných systémů musí být koncipována jako víceúrovňový a podpůrný nástroj, nikoli jako izolovaný rozhodovací mechanismus.

Jedním z klíčových předpokladů úspěšné implementace je integrace aplikace FLAPRIS do systému varování ČHMÚ, tak do systémů varování krajských a obecních krizových orgánů. Výstupy aplikace by měly sloužit jako doplňková informace k tradičním meteorologickým a hydrologickým předpovědím, přičemž jejich hlavní přidanou hodnotou je vysoké prostorové rozlišení a schopnost identifikovat lokálně zvýšené riziko přívalových povodní. Tento přístup umožňuje využít silné stránky aplikace FLAPRIS při současném omezení rizik spojených s falešnými poplachy.

Implementace do operativního prostředí vyžaduje také jasně definovanou interpretaci výstupů aplikace. Vzhledem k identifikovaným limitům verifikace je nezbytné, aby výstupy FLAPRIS byly prezentovány v pravděpodobnostní nebo kategoriální formě, která reflektuje míru nejistoty predikce. Takto strukturované informace mohou být efektivně využity při rozhodování o preventivních opatřeních, cíleném monitoringu rizikových lokalit nebo aktivaci lokálních varovných mechanismů.

Významným aspektem implementace je rovněž technická a provozní robustnost systému. Jak vyplývá z předchozích kapitol, zapojení multiradarových dat, automatizace verifikačního procesu a integrace adaptivních metod zpracování dat představují klíčové kroky ke zvýšení spolehlivosti výstupů aplikace v reálném čase. Tyto prvky jsou zásadní pro zajištění kontinuální dostupnosti varovných informací i v situacích zvýšené zátěže systému nebo částečné nedostupnosti vstupních dat.

Z pohledu uživatelského rozhraní a praktického využití je důležité, aby aplikace FLAPRIS poskytovala srozumitelné a přehledné výstupy odpovídající potřebám koncových uživatelů. Implementace do systémů včasného varování by měla zahrnovat možnost prostorové vizualizace rizika, časového vývoje hrozby a jednoduché identifikace kritických bodů v území. Takový způsob prezentace podporuje rychlou orientaci uživatelů a efektivní rozhodování v časově kritických situacích.

V dlouhodobém horizontu představuje implementace aplikace FLAPRIS do systémů včasného varování významný krok k posílení prevence škod způsobených přívalovými povodněmi. Systematické využívání výstupů aplikace v kombinaci s průběžnou validací a optimalizací modelu vytváří předpoklad pro postupné zvyšování důvěryhodnosti systému a jeho širší akceptaci ze strany odborné i aplikační sféry. Aplikace FLAPRIS se tak může stát nedílnou součástí moderních varovných systémů, které reflektují rostoucí komplexitu a nejistotu extrémních hydrometeorologických jevů v podmínkách probíhající klimatické změny.

ZÁVĚR

Cílem této verifikační zprávy bylo prezentovat výsledky hodnocení úspěšnosti výstupů aplikace FLAPRIS. Hodnocení bylo realizováno prostřednictvím podrobné analýzy 47 záznamů vztahujících se k pěti historickým situacím, při nichž se ve Zlínském kraji vyskytly přívalové povodně v období od června do srpna roku 2024. Použitá data ve formě obrazových materiálů jsou veřejně dostupná a dohledatelná na internetu bez nutnosti přihlášení.

Výsledky verifikace lze rozdělit do dvou částí:

První část je zaměřena na hodnocení výstupu Liniového rizika, u něhož byly z analýzy vyřazeny povodňové události, které se vyskytly na území urbanizovaných ploch měst a obcí bez vlivu okolního terénu na odtokové poměry. Celkem bylo vyjmuto 14 událostí, což vedlo k průměrnému nárůstu úspěšnosti přibližně o 20 %.

Druhá část se soustředila na hodnocení výstupů Riziko obce, Liniové riziko a Plošné riziko pro všechny historické události, včetně těch s výskytem povodní v urbanizovaných oblastech. Nejvyšších hodnot úspěšnosti bylo dosaženo u Plošného rizika (přes 80 %) a u statického liniového rizika (kolem 70 %). Obecně lze konstatovat, že statické liniové riziko dosáhlo výrazně vyšších průměrných hodnot oproti měřeným či předpovídaným výstupům založeným na vstupních datech z radarového měření – produktu VIL.

Poslední část se zaměřuje na analýzu a návrhy řešení problémů spojených s přesností výstupů aplikace FLAPRIS. Zásadním problémem při zvyšování úspěšnosti výstupů jsou vstupní data, konkrétně použitý radarový produkt. Tento problém lze řešit buď nahrazením produktu VIL jiným vhodným produktem, nebo rekonfigurací prahových limitů pro jednotlivé stupně rizika přívalových povodní.

Dalším identifikovaným problémem je nastavení systému vydávání upozornění ve formě výstrah a jejich aktualizací v aplikaci FLAPRIS. V rámci páté kapitoly byly navrženy podmínky pro snížení míry falešných poplachů, které úzce souvisejí s přesností používaného radarového produktu.

Na základě dalšího testování, například s využitím radarového produktu PseudoCAPPI ve výškové hladině 2 km pro měření intenzity srážek dopadajících na zemský povrch, bude provedena nová verifikace na povodňových událostech v roce 2025.

Současně je cílem zpřístupnit výstupy aplikace FLAPRIS co nejširšímu okruhu uživatelů, zejména pracovníkům krizového řízení všech obcí a správních obvodů ORP ve Zlínském kraji, a to pro účely monitoringu i aktivní účasti na testování výstupů. Tato spolupráce by měla přinést cenné připomínky a podněty pro budoucí zlepšování přesnosti a kvality poskytovaných informací.

SEZNAM LITERATURY

- [1] **ŠAUR, David, Tomáš TUREČEK a Jakub RAK.** *Souhrnná výzkumná zpráva o systému předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní, včetně využití pro účely krizového řízení a povodňového plánování.* Projekt č. VB01000008: FLAPRIS – Systém pro podporu zpřesněné a včasné předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní a usnadnění činností krizových a povodňových orgánů kraje. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2023. Dostupné z: <https://www.isvavai.cz/riv?s=jednoduche-vyhledavani&ss=detail&n=0&h=RIV%2F70883521%3A28140%2F23%3A63573238%21RIV24-MV0-28140>
- [2] **GAÁL, Ladislav.** *Technická dokumentace k softwarové aplikaci „SNPKS KUC – Systém nowcastingové předpovědi konvektivních srážek pro krajský územní celek“.* Bratislava: MicroStep-MIS, s.r.o., 2022.
- [3] **WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION.** *Flash Flood Guidance System (FFGS) with Global Coverage* [online]. © 2017 [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://wmo.int/projects/ffgs>.
- [4] **ZENG, Ziyue; TANG, Guoqiang; LONG, Di; XU, Hui; CHEN, Yun a HONG, Y.** *Development of GIS-based FFPI for China's flash flood forecasting.* In: 2015 23rd International Conference on Geoinformatics. Wuhan, China, 2015, s. 1–4. DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2015.7378697
- [5] **COSTACHE, R.; NGO, P. T. T. a BUI, D. T.** *Novel ensembles of deep learning neural network and statistical learning for flash-flood susceptibility mapping.* Water [online]. 2020, 12, 1549 [cit. 2026-07-03]. DOI: 10.3390/w12061549. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w12061549>.
- [6] **COSTACHE, R.; ARABAMERI, A.; BLASCHKE, T.; PHAM, Q. B.; PHAM, B. T.; PANDEY, M.; ARORA, A.; LINH, N. T. T. a COSTACHE, I.** *Flash-flood potential mapping using deep learning, alternating decision trees and data provided by remote sensing sensors.* Sensors [online]. 2021, 21, 280 [cit. 2026-07-03]. DOI: 10.3390/s21010280. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s21010280>.
- [7] **PANAHI, M.; JAAFARI, A.; SHIRZADI, A.; SHAHABI, H.; RAHMATI, O.; OMIDVAR, E.; LEE, S. a BUI, D. T.** *Deep learning neural networks for spatially explicit prediction of flash flood probability.* Geoscience Frontiers [online]. 2021, 12(3), 101076 [cit. 2026-07-03]. ISSN 1674-9871. DOI: 10.1016/j.gsf.2020.09.007. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.007>.
- [8] **CHANG, Den-Lin; YANG, Sheng-Hsueh; HSIEH, Sheau-Ling; WANG, Hui-Jung a YEH, Keh-Chia.** *Artificial intelligence methodologies applied to prompt pluvial flood estimation and prediction.* Water [online]. 2020, 12(12), 3552 [cit. 2026-07-03]. DOI: 10.3390/w12123552. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/w12123552>.
- [9] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Hydrometeorologická rizika v České republice – změny rizik a zlepšení jejich predikcí.* Projekt VI20192021166, 2019–2021.

- [10] **ŠERCL, R.** *Indikátor přívalových povodní*. In: Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu – Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2015, sv. 60, s. 10–28. ISBN 978-80-87577-27-1.
- [11] **ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE; ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE; ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV a VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.** *Predikční a simulační modely v teorii operativního řízení vodohospodářských soustav*. Projekt GA103/07/1620, 2007–2009.
- [12] **JANÁL, P. a STARÝ, M.** *Fuzzy model use for prediction of the state of emergency of river basin in the case of flash flood*. Journal of Hydrology and Hydromechanics [online]. 2009, 57(3) [cit. 2026-07-03]. ISSN 0042-790X. DOI: 10.2478/v10098-009-0013-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/v10098-009-0013-1>.
- [13] **ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.** *Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích*. Projekt OC 189, 2007–2009.
- [14] **RAPANT, P.** *Možnosti predikce přívalových povodní*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava; Ústav geoniky AV ČR, 2017.
- [15] **ŠAUR, D.** *Informační podpora krizového řízení kraje z hlediska hodnocení výskytu povodní*. Zlín: Academia Centrum UTB ve Zlíně, 2017. 172 s. ISBN 978-80-7454-712-6. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/41602>.
- [16] **VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i.** *Metodický návod pro identifikaci kritických bodů*. 2013–2015 [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/uap/kritickebody/Metodika_KritBodu_v_er2018.pdf.
- [17] **VÝZKUMNÝ ÚSTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY, v.v.i.** *Prevence a zmírňování následků živelních a jiných pohrom ve vztahu k působnosti obcí*. Projekt TB010MMR027, 2013–2015.
- [18] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Průvodce informacemi Hlásné a předpovědní povodňové služby ČHMÚ pro povodňové orgány* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://mzp.gov.cz/cz/agenda/voda/ochrana-pred-povodnemi/řízení-behem-povodne/hlasna-a-predpovedni-povodnova-sluzba>
- [19] **KUBÁT, J. a KOČMAN, T.** *Lokální výstražné a varovné systémy v ochraně před povodněmi* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: http://www.ochranaobyvatel.cz/codelat-info/files/files_prispevky/file_1360234307.pdf.
- [20] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Systém integrované výstražné služby*. [online]. 1997–2021 [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://vystrahy-cr.chmi.cz/>
- [21] **EUMETNET.** *Meteoalarm EU* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://www.meteoalarm.org>.

- [22] KUBÁT, J., ČEKAL, R., DAŇHELKA J. a MATOUŠEK, V. *Odborné pokyny pro provádění hlásné povodňové služby* [online]. Verze prosinec 2012. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012 [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hppsoldv/hpps_document.php
- [23] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Flash Flood Guidance System with Global Coverage (FFGS)* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://wmo.int/activities/flash-flood-guidance-system-global-coverage-ffgs>.
- [24] HYDROLOGIC RESEARCH CENTER. *Global Flash Flood Guidance Program* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://www.hrcwater.org/projects/project-1/>
- [25] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Indikátor přívalových povodní – informace* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/indikator-privalovych-povodni-informace>
- [26] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Indikátor přívalových povodní (Flash Flood Indicator)*. [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/ppov>
- [27] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/?id=act&key=map&sx=1722724.5&sy=6415123.5&sz=0>
- [28] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Systém integrované výstražné služby* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/predpoved-pocasi/system-integrované-vystrazne-sluzby>
- [29] OPŽP. *Lokální výstražné, varovné a informační systémy v ochraně před povodněmi* [online]. Aktualizace 2023 [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: https://opzp.cz/files/documents/storage/2023/06/05/1685954772_Prirucka_lvs_vis_2023.pdf.
- [30] DRBAL, K.; OŠLEJŠKOVÁ, J.; DZURÁKOVÁ, M. a DUMBROVSKÝ, M. *Metodický návod pro identifikaci kritických bodů* [online]. 2009 [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/uap/kritickebody/Metodika_KritBodu_v_er2018.pdf.
- [31] ŠTĚPÁNKOVÁ, P.; DUMBROVSKÝ, M. a DRBAL, K. *The assessment of level of flash floods threat of urbanised areas*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis [online]. 2017, 65(2), 519–526 [cit. 2026-07-03]. DOI: 10.11118/actaun201765020519. Dostupné z: <https://doi.org/10.11118/actaun201765020519>.
- [32] DRBAL, K.; DUMBROVSKÝ, M.; MUCHOVÁ, Z.; SOBOTKOVÁ, V.; ŠTĚPÁNKOVÁ, P. a ŠARAPATKA, B. *Mitigation of flood risks with the aid of the critical points method*. Agronomy [online]. 2022, 12, 1300 [cit. 2026-07-03]. DOI: 10.3390/agronomy12061300. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061300>.

- [33] ŠERCL, P.; PECHA, M.; NOVÁK, P.; KYZNAROVÁ, H.; LEDVINKA, O.; SVOBODA, V. a DAŇHELKA, J. *Flash Flood Indicator*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023. 52 s. ISBN 978-80-7653-050-8. DOI: 10.59984/978-80-7653-050-8.
- [34] DAŇHELKA, J.; JANÁL, P. a ŠERCL, P. *Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2015. 50 s. Sborník prací ČHMÚ, sv. 60. ISBN 978-80-87577-27-1.
- [35] SCHROEDER, A. J.; GOURLEY, J. J.; HARDY, J.; HENDERSON, J. J.; PARHI, P.; RAHMANI, V.; REED, K. A.; SCHUMACHER, R. S.; SMITH, B. K. a TARALDSEN, M. J. *The development of a flash flood severity index*. Journal of Hydrology. 2016, 541, 523–532. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.04.005.
- [36] SHEHATA, M. a MIZUNAGA, H. *Flash flood risk assessment for Kyushu Island, Japan*. Environmental Earth Sciences. 2018, 77, 76. DOI: 10.1007/s12665-018-7250-8.
- [37] SAHARIA, M.; KIRSTETTER, P. E.; VERGARA, H.; GOURLEY, J. J.; HONG, Y. a GIROUD, M. *Mapping flash flood severity in the United States*. Journal of Hydrometeorology. 2017, 18, 397–411. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0082.1.
- [38] COSTACHE, R. a TIEN BUI, D. *Identification of areas prone to flash-flood phenomena using multiple-criteria decision-making, bivariate statistics, machine learning and their ensembles*. Science of the Total Environment. 2020, 712, 136492. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136492.
- [39] MINEA, G. *Assessment of the flash flood potential of Bâsca River Catchment, Romania, based on physiographic factors*. Open Geosciences. 2013, 5, 344–353. DOI: 10.2478/s13533-012-0137-4.
- [40] GREŠKOVÁ, A. *Analýza vybraných parametroch povodia z hľadiska výskytu prívalových povodní*. Geografický časopis. 2005, 57, 131–144.
- [41] BRYNDAL, T. *A method for identification of small Carpathian catchments more prone to flash flood generation*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2014, 9, 109–122.
- [42] ANSARI, T. A.; KATPATAL, Y. B. a VASUDEO, A. D. *Spatial evaluation of impacts of increase in impervious surface area on SCS-CN and run-off in Nagpur urban watersheds, India*. Arabian Journal of Geosciences. 2016, 9, 702. DOI: 10.1007/s12517-016-2702-5.
- [43] MILLER, J. D.; KIM, H.; KJELDSSEN, T. R.; PACKMAN, J.; GREBBY, S. a DEARDEN, R. *Assessing the impact of urbanisation on storm run-off in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover*. Journal of Hydrology. 2014, 515, 59–70. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.04.011.
- [44] ČESKO. *Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, vodní zákon*. 2001. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.

- [45] **TUREČEK, Tomáš.** *Prohlížeč pro analýzu historických povodňových událostí* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2022. Dostupné z: <http://10.53.26.33/flapris/>
- [46] **MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR; HYDROSOFT VELESLAVÍN.** *Povodňový informační systém POVIS* [online]. 2024. Dostupné z: https://webmap.dppcr.cz/dpp_cr/povis.dll?MAP=rizika_prival&lon=17.7918579&lat=49.1279252&scale=60480
- [47] **ŠAUR, David, Jakub RAK a Monika KUDRLOVÁ.** *Uživatelský manuál – Aplikace FLAPRIS*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2025.
- [48] **UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ; T-SOFT, a. s. FLAPRIS – Systém pro podporu zpřesněné a včasné předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní a usnadnění činností krizových a povodňových orgánů kraje** [online]. 2025. Dostupné z: <https://flapris.utb.cz/>
- [49] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Aktuální výstrahy pro Českou republiku* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://vystrahy-cr.chmi.cz/>
- [50] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Synoptická situace* [online]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/predpoved-pocasi/synopticka-situace>
- [51] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Předpovědní mapy ALADIN* [online]. Dostupné z: <https://produkty.chmi.cz/aladin/>
- [52] **ZIMMER, Janek.** *WRF-ARW 4 km Central Europe* [online]. Dostupné z: <http://www.modellzentrale.de/WRF4km/index.php#>
- [53] **WETTERZENTRALE.** *Top Karten: GFS Europe* [online]. [cit. 2026-07-03]. Dostupné z: <https://www.wetter-zentrale.de/en/topkarten.php?model=gfs&lid=OP>
- [54] **FLYMET.INFO.** *Předpověď počasí pro plachtáře a ostatní piloty: PanelView.* [online]. Dostupné z: <https://flymet.meteopress.cz/panel3x.php>
- [55] **RONGE, Lukáš.** *SKEW-T – Sondážní diagramy* [online]. Dostupné z: <https://sondaze.bourky.cz/>
- [56] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Srážky na území ČR: kombinace radarového odhadu a pozemních srážkoměrů* [online]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/srazky>
- [57] **HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ZLÍNSKÉHO KRAJE.** *Facebook – HZS Zlínského kraje* [online]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/hzszlk>
- [58] **ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV.** *Facebook – Český hydrometeorologický ústav* [online]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/chmi.cz>
- [59] **HASISKÝ SBOR MĚSTA ROŽNOVA POD RADHOŠTĚM, JPO II/2 – AED.** *Facebook stránka jednotky* [online]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/hasiciroznov>
- [60] **BEHRENDT, Rainer a Holger MAHLKE.** *Wetter3.de: High resolution weather charts* [online]. 2003- Dostupné z: https://www.wetter3.de/highres_gfs_en.html

[61] **MAFRA.** *Bouřka proměnila část Sazovic v obří lagunu* [online]. iDNES.cz, 2024. Dostupné z: https://tv.idnes.cz/domaci/sazovice-pod-vodou-nedelni-bourka-promenila-cast-obce-v-lagunu.V240701_115639_idnestv_jda

[62] **DOSTÁL, Jakub.** *Rozvodněné řeky i popadané stromy: Česko v neděli zasáhly silné bouřky* [online]. Deník.cz, 2024. Dostupné z: https://www.denik.cz/z_domova/silne-bourky-v-cesku-30-cerven-2024-nasledky.html

[63] **LIBIGER, Milan.** *„Přišla strašná voda, babička pořád brečí.“ Rodiny vyklízejí domy po smršti* [online]. iDNES.cz, 2024. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zlin/zpravy/sazovice-rackova-bourka-rodiny-povoden-voda-zatopeni.A240701_153337_zlin-zpravy_jfuk

[64] **KAŇA, Jaroslav.** *Drsné záběry zbleskových povodní na Zlínsku. Ulice se proměnily v řeku* [online]. Novinky.cz, 2024. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/clanek/domaci-drsne-zabery-z-bleskovych-povodni-na-zlinsku-ulice-se-promenily-v-reku-40478464>

[65] **SEZNAM.CZ, a.s.** *Mapy.com* [online]. Dostupné z: <https://mapy.com/cs>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma postupu stanovení stupně závažnosti historických přívalových povodní. Vlastní zpracování.....	25
Obrázek 2: Ukázka stanovení hlavní příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Přívalový déšť [3].	27
Obrázek 3: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Hydraulická konduktivita [3].	28
Obrázek 4: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Nasycenost půd [3].	30
Obrázek 5: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Sklonitost svahů z IS POVIS [4]	31
Obrázek 6: Ukázka stanovení vedlejší příčinné podmínky vzniku přívalových povodní – Sklonitost svahů [3].	32
Obrázek 7: Ukázka výpočtu stupně závažnosti přívalové povodně průměrem hlavních a vedlejších podmínek vzniku přívalové povodně zaokrouhleně směrem nahoru v MS Excel.....	35
Obrázek 8: Klasifikační tabulka Stupně závažnosti dopadů přívalové povodně [1]	36
Obrázek 9: Charakteristika ukazatele kritických podmínek (Statické riziko přívalových povodní) [6].....	37
Obrázek 10: Uživatelské rozhraní aplikace FLAPRIS [7]	40
Obrázek 11: Tabulkový obecný postup pro hodnocení výstupů aplikace FLAPRIS	41
Obrázek 12: Čtyřpolní kontingenční tabulka (pivot table) s využitím tzv. Skill Scores [1].....	42
Obrázek 13: Verifikační kritéria použité v metodice.....	43
Obrázek 14: Hlavní hodnocené kategorické výstupy aplikace FLAPRIS [6]	44
Obrázek 15: Výstupy Liniové riziko a Plošné zobrazení odtoku srážek v kategorii „Statické liniové riziko přívalových povodní“ [7]	47
Obrázek 16: Charakteristika povodňové události ze dne 10.06.2024	49
Obrázek 17: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 10.06.2024 [8] ...	50
Obrázek 18: Aktuální synoptická situace ze dne 10.06.2024 v 12 UTC [9].....	51
Obrázek 19: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 12-15 UTC [10], [11], [12], [13].....	53
Obrázek 20: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 10.06. 2024 v 12 UTC [14]	54
Obrázek 21: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 14 UTC (vlevo) a 15 UTC (vpravo) [15].....	55
Obrázek 22: 3hodinová sumace radarového měření srážek pro 14 UTC (vlevo) a 15 UTC (vpravo) [15].....	56
Obrázek 23: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 10.06.2024 [15]	56
Obrázek 24: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 10.06.2024	57
Obrázek 25: Verifikace výstupů Liniového rizika pro aktuální, předpovědní a statický stav pro lokalitu Prakšice 312 [16].....	58
Obrázek 26: Verifikace výstupů Liniového rizika pro aktuální, předpovědní a statický stav pro lokalitu Prakšice 312 [15].....	59
Obrázek 27: Verifikace výstupů Liniového rizika pro aktuální, předpovědní a statický stav pro lokalitu Hradištská 606, Hluk.....	60
Obrázek 28: Verifikace výstupů Liniového rizika pro předpovědní a statický stav pro silnici č. 490, Biskupice č. 36 [15]	61
Obrázek 29: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro silnici č. 490 z Biskupic do Kaňovic [15]	61

Obrázek 30: Verifikace výstupu Předpovědního a statického liniového rizika pro lokalitu „V Drahách 1105“, Luhačovice [15]	63
Obrázek 31: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce a Statického liniového rizika pro lokalitu „Vlachovice č. 306“ [15]	63
Obrázek 32: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce, Aktuálního a statického liniového rizika pro lokalitu „Boršice č. 346“	64
Obrázek 33: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce a předpovídaného liniového rizika pro lokalitu „Cyrilometodějská 655“ ve Valašských Kloboukách [15].....	65
Obrázek 34: Verifikace výstupu Předpovědi rizika obce a předpovídaného liniového rizika pro lokalitu „ulici Partyzánská – místní koupaliště“ ve Valašských Kloboukách [15]	66
Obrázek 35: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 10.06.2024	66
Obrázek 36: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 10.06.2024.....	68
Obrázek 37: Charakteristika povodňové události ze dne 26.06.2024.....	69
Obrázek 38: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 26.06.2024 [17]	69
Obrázek 39: Aktuální synoptická situace ze dne 26.06.2024 v 12 UTC [9]	70
Obrázek 40: Výstupy NWP modelů ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 18-21 UTC [10], [11], [12], [13]	71
Obrázek 41: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 26.06. 2024 v 12 UTC [14].....	72
Obrázek 42: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 16-17 UTC (vlevo) a 3hodinová sumace 14-17 UTC (vpravo) [15]	73
Obrázek 43: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 26.06.2024 [15].....	73
Obrázek 44: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 26.06.2024.....	74
Obrázek 45: Verifikace výstupu Aktuálního rizika obce a předpovídaného liniového rizika ve Valašském Meziříčí (podjezd na ulici Sokolská, silnice II/150) [18]	75
Obrázek 46: Verifikace výstupu Aktuálního a předpovídaného rizika obce pro lokalitu Choryně 160 (Střítež).....	75
Obrázek 47: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 26.06.2024	76
Obrázek 48: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 26.06.2024.....	77
Obrázek 49: Charakteristika povodňové události ze dne 28.06.2024.....	78
Obrázek 50: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 28.06.2024 [17]	79
Obrázek 51: Aktuální synoptická situace ze dne 28.06.2024 v 18 UTC [9]	80
Obrázek 52: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 12-15 UTC [10], [11], [12], [13]	81
Obrázek 53: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 28.06. 2024 v 12 UTC [14].....	82
Obrázek 54: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 13-14 UTC (vlevo) [15]	83
Obrázek 55: 3hodinová sumace radarového měření srážek pro 12-14 UTC (vlevo) [15]	84
Obrázek 56: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 28.06.2024 [15].....	85
Obrázek 57: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 28.06.2024.....	86
Obrázek 58: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro lokalitu V Mokřém č.p. 731, 300 [18]	87
Obrázek 59: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro křižovatku ulic Nádražní, 5. května a Meziříčské [18].....	88
Obrázek 60: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro ulici Lázeňská [18]	89

Obrázek 61: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro Ostravská č.p. 1619	90
Obrázek 62: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro Karlova č.p. 1726	91
Obrázek 63: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro ulici Radhošťská u Gibon parku [18]	92
Obrázek 64: Verifikace výstupu Předpovídaného Rizika obce a Liniového rizika pro hlavní silnici vedoucí přes obec Dolní Bečva	93
Obrázek 65: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 28.06.2024	93
Obrázek 66: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 28.06.2024	94
Obrázek 67: Charakteristika povodňové události ze dne 30.06.2024	96
Obrázek 68: Charakteristika povodňové události ze dne 30.06.2024	96
Obrázek 69: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ ze dne 30.06.2024 [17]	97
Obrázek 70: Aktuální synoptická situace ze dne 30.06.2024 v 18 UTC [9]	99
Obrázek 71: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 18-21 UTC [10], [11], [12], [13]	100
Obrázek 72: Teplotní podmínky před příchodem linie konvergence – Vlhká potenciální teplota v 850 hPa [19]	101
Obrázek 73: Větrné podmínky v hladinách 1000, 850, 700, 600, 500 [13] a 300 hPa (modely WRF NMM, WRF ARW) [11]	102
Obrázek 74: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 30.06. 2024 v 12 UTC [14]	103
Obrázek 75: 1hodinová sumace pro 18 UTC (vlevo) a 3hodinová sumace radarového měření srážek 18-21 UTC (vpravo) [15]	104
Obrázek 76: 24hodinová sumace radarového měření srážek pro 22 UTC 30.06.2024 [15]	105
Obrázek 77: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 30.06.2024	106
Obrázek 78: Verifikace výstupu Aktuálních rizika obce, Statického liniového rizika a Předpovídaného liniového rizika pro lokalitu Sazovice – Padělky	107
Obrázek 79: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro obec Sazovice [20]	108
Obrázek 80: Verifikace výstupu Aktuálního rizika obce a Aktuálního liniového rizika pro lokalitu Sazovice 174 [16]	108
Obrázek 81: Verifikace výstupu Předpovídaného rizika obce pro lokalitu Sazovice 222 (Sportovní areál Na Koupališti) [16]	109
Obrázek 82: Verifikace výstupu Předpovídaného rizika obce pro lokalitu Sazovice 128 (u Sběrného dvora Sazovice) [16]	110
Obrázek 83: Verifikace výstupu Předpovídaného rizika obce pro lokalitu Sazovice 128 (u Sběrného dvora Sazovice) [16]	111
Obrázek 84: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro lokalitu Univerzitní park (ulice Mostní) ve městě Zlín [16], [21]	111
Obrázek 85: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro lokalitu Okružní 5290 (parkoviště u obchodu Billa) [16], [21]	112
Obrázek 86: Verifikace výstupu Aktuálního liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 119 a Racková 146 [22]	113
Obrázek 87: Verifikace výstupu Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 2 a Racková 45 [23]	114
Obrázek 88: Verifikace výstupu Předpovědi liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 10 [23]	114

Obrázek 89: Verifikace výstupu Předpovědi liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 50, 67 a 155 [23]	115
Obrázek 90: Verifikace výstupu Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 6 (u fotbal. hřiště) [23]	116
Obrázek 91: Verifikace výstupu Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Racková 6 (u fotbal. hřiště) [22]	117
Obrázek 92: Verifikace výstupu Aktuálního rizika obce pro lokalitu Zlínská 260 (u fotbal. hřiště) a Holešovská 268 [16]	118
Obrázek 93: Verifikace výstupů Aktuálního liniového rizika pro lokalitu Zlínská 260 (u fotbal. hřiště) a Holešovská 268 [16]	118
Obrázek 94: Verifikace výstupů Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Kašava 268 [16]	119
Obrázek 95: Verifikace výstupů Předpovědi liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro lokalitu Kašava 165 [16]	120
Obrázek 96: Verifikace výstupů Statického liniového rizika a Předpovědi rizika obce pro okolí ulice Házovice [18]	121
Obrázek 97: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 30.06.2024	121
Obrázek 98: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 30.06.2024	122
Obrázek 99: Charakteristika povodňové události ze dne 08.08.2024	123
Obrázek 100: Výstražné informace na velmi silné bouřky od SIVS ČHMÚ pro 08.08.2024 [17]	124
Obrázek 101: Aktuální synoptická situace ze dne 08.08.2024 v 12 UTC [9]	125
Obrázek 102: Výstupy numerických modelů předpovědi počasí ALADIN, WRF (ARW, NMM) a GFS 15-18 UTC [10], [11], [12], [13]	126
Obrázek 103: Aerologické měření atmosféry v Prostějově dne 08.08.2024 v 12 UTC [14]	127
Obrázek 104: 1hodinová sumace radarového měření srážek pro 15 UTC (vlevo) a 16 UTC (vpravo) [15]	128
Obrázek 105: 3hodinová sumace radarového měření srážek pro 12-14 UTC (vlevo) [15]	129
Obrázek 106: Souhrn hlavních a vedlejších příčinných podmínek vzniku přívalové povodně pro události ze dne 08.08.2024	130
Obrázek 107: Verifikace výstupu Statického liniového rizika pro lokalitu Velehradská 1468, Staré Město [16]	130
Obrázek 108: Verifikace výstupů Aktuálního rizika obce a Předpovědi rizika obce pro silnici č. 424821 mezi Velehrad-Tupesy	131
Obrázek 109: Verifikace výstupů Aktuální, Předpovídané a Statické liniové riziko pro silnici č. 424821 mezi Velehrad-Tupesy	132
Obrázek 110: Verifikace výstupů Předpovídané a Statické liniové riziko pro lokalitu ulice J. Jabůrkové v Otrokovicích [16]	133
Obrázek 111: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS pro povodňovou situaci ze dne 08.08.2024	133
Obrázek 112: Výsledky verifikace úspěšných/chybných výstupů aplikace FLAPRIS v roce 2024	136
Obrázek 113: Výsledky verifikace podhodnocených/nadhodnocených výstupů aplikace FLAPRIS v roce 2024	137
Obrázek 114: Postup nastavení zaslání výstrah (aktualizací) v aplikaci FLAPRIS	152
Obrázek 115: Ukázka vizualizace obsahu karty Události v aplikaci FLAPRIS	153

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Klasifikační tabulka hlavní podmínky vzniku přívalové povodně – Přívalový déšť [1].	27
Tabulka 2: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Hydraulická konduktivita [1].	29
Tabulka 3: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Nasycenost půdy [1].	30
Tabulka 4: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Sklonitost svahů [1].	33
Tabulka 5: Klasifikační tabulka vedlejší podmínky vzniku přívalové povodně – Urbanizace a kritické body [1].	34
Tabulka 6: Přehled hodnocených historických událostí spojených s výskytem přívalových povodní ve Zlínském kraji 2024.....	48

David Šaur

Hodnocení a verifikace výstupů aplikace FLAPRIS při analýze přívalových povodní ve Zlínském kraji (2024)

Recenzent:

doc. Mgr. Michal Žák, Ph.D., Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta

doc. Ing. Jozef Kubás, PhD., Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA), Fakulta bezpečnostného inžinierstva

Vydala: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Nakladatelství UTB

Tisk: UTB Tiskové a vydavatelské centrum, Zlín

Rok vydání: 2026

Pořadí vydání: 1

ISBN: 978-80-7678-410-9 [tisková verze]

ISBN: 978-80-7678-411-6 [elektronická verze]

Publikace byla vytvořena na základě výzkumného projektu Ministerstva vnitra ČR č. VB01000008 „FLAPRIS – Systém pro podporu zpřesněné a včasné předpovědi nebezpečí vzniku přívalových povodní a usnadnění činností krizových a povodňových orgánů kraje“.

© Ing. David Šaur, Ph.D., 2026

© Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2026

Text prošel odbornou korekturou; neprošel jazykovou korekturou. Vybrané části byly vytvořeny nebo upraveny s využitím generativní umělé inteligence (Microsoft Copilot, 2026 a Chat GPT) na základě autorských podkladů.

Všechna práva vyhrazena.

