Adaptace urbanizovaných území na povodně a sucho

Sborník příspěvků z odborné konference

Praha 2026

Sborník příspěvků z konference konané 26. 3. 2026 ve Výzkumném ústavu vodohospodářském v. v. i. v Praze

Editor: Ing. Roman Kožín

1. vydání, květen 2026, Praha

Vydal: Výzkumný ústav vodohospodářský v.v.i.

ISBN: 978-80-88484-16-5

Obsah

Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho: úvod do problematiky a představení řešeného projektu 4

Atlas IDF a metodika zpracování srážkových dat 11

Modelové posouzení adaptačních opatření pro urbanizovaná území ohrožená přívalovými srážkami 14

Dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku jako nástroj adaptace urbanizovaných území na extrémní srážky 20

Odvození návrhových srážek (IDF) a jejich změn pro území ČR 26

Odvození a charakteristiky urbanizovaných území a jejich přispívajících povodí pro potřeby hydrologických analýz 28

Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho: úvod do problematiky a představení řešeného projektu

Autoři: Ing. Roman Kožín
Pracoviště: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i

Kontakt: roman.kozin@vuv.cz

Abstrakt

Urbanizovaná území jsou stále častěji vystavena hydrologickým extrémům, zejména přívalovým povodním a epizodám sucha. V podmínkách České republiky představuje zásadní problém skutečnost, že dosud používané podklady pro krátkodobé návrhové srážky vycházely z historických metodických základů, zejména z práce Trupla z roku 1958, případně z pozdějších modifikací. Tyto podklady již neodpovídají současným požadavkům na návrh městské odvodňovací infrastruktury, modrozelené infrastruktury ani adaptačních opatření, a to zejména s ohledem na očekávanou změnu klimatu.

Příspěvek představuje cíle a hlavní výstupy projektu zaměřeného na adaptaci urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho. Klíčovým výstupem je Atlas IDF, který poskytuje návrhové srážky pro dobu trvání 15 minut až 24 hodin, doby opakování 2 až 100 let a výhledové horizonty 2050 a 2085. Při zpracování byly využity staniční i radarové srážkové údaje, subhodinové návrhové srážky z projektu PERUN a klimatické scénáře vycházející z hodinových výstupů regionálních klimatických modelů CORDEX RCM. Součástí projektu je také matematické modelování systémů odvodnění ve vybraných lokalitách, tvorba metodiky pro dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku a příprava mapy kategorizace urbanizovaných území České republiky. Výsledky poskytují odborný podklad pro navrhování adaptačních opatření, posuzování kapacity odvodňovacích systémů a strategické plánování rozvoje sídel v podmínkách měnícího se klimatu.

Klíčová slova: návrhové srážky; IDF křivky; přívalové povodně; urbanizovaná území; změna klimatu; městské odvodnění; modrozelená infrastruktura

Úvod

Přívalové povodně patří mezi nejvýznamnější hydrologická rizika v urbanizovaném prostředí. Vyznačují se rychlou odezvou povodí, výraznou prostorovou i časovou proměnlivostí srážek a často i nedostatečnou možností včasné operativní reakce. Ve městech je jejich dopad zesilován vysokým podílem nepropustných povrchů, zrychleným povrchovým odtokem, omezenou infiltrační kapacitou a koncentrací ohrožených objektů, infrastruktury i obyvatelstva.

Současně narůstá potřeba zohlednit změnu klimatu při návrhu a posuzování vodohospodářských a urbanistických opatření. Krátkodobé extrémní srážky, které jsou

rozhodující pro návrh městských odvodňovacích systémů, kanalizací, retenčních objektů, vsakovacích zařízení a prvků modrozelené infrastruktury, mohou při oteplování atmosféry zesilovat. Zahraniční studie opakovaně ukazují, že intenzita extrémních srážek obecně roste s teplotou a u subdenních až subhodinových srážek může být tento nárůst v některých regionech ještě výraznější než u denních úhrnů.

V České republice byl dlouhodobě využíván soubor návrhových krátkodobých srážek založený na historických podkladech, zejména na práci Trupla z roku 1958, případně na Hrádkových modifikacích. Tyto podklady měly zásadní význam pro technickou praxi, avšak z hlediska současných požadavků jsou již metodicky i datově zastaralé. Pro malá povodí a návrh opatření ve volné krajině byly v posledních letech vytvořeny šestihodinové průběhy návrhových srážek odvozené ze staničních měření a radarových odhadů. Pro urbanizovaná území jsou však klíčové zejména návrhové maximální intenzity se subhodinovou dobou trvání, které lépe odpovídají časovým měřítkům odezvy městských povodí a technických odvodňovacích systémů.

Cílem projektu „Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho“ je vytvořit odborné podklady umožňující návrh a posouzení adaptačních opatření v sídlech s ohledem na současné i očekávané budoucí srážkové extrémy. Projekt propojuje hydrometeorologickou analýzu extrémních srážek, klimatické scénáře, geostatistické modelování, hydrodynamické modelování městského odvodnění a prostorovou kategorizaci urbanizovaných území.

Změna klimatu a krátkodobé srážkové extrémy

Fyzikálním základem očekávaného nárůstu srážkových extrémů je schopnost teplejší atmosféry pojmout větší množství vodní páry. Podle vztahu Clausiusovy--Clapeyronovy rovnice se s rostoucí teplotou zvyšuje potenciální obsah atmosférické vlhkosti přibližně o 7 % na 1 K. V praxi se proto u extrémních srážek často diskutuje tzv. teplotní škálování, tedy vztah mezi intenzitou extrémních srážek a teplotou či rosným bodem.

Westra et al. (2014) upozorňují, že extrémní krátkodobé srážky se s oteplováním pravděpodobně zesilují a že u kratších dob trvání může být nárůst intenzit výraznější než u denních extrémů. Tento poznatek je zásadní právě pro městská povodí, kde jsou rozhodující srážky v řádu desítek minut až jednotek hodin. Pokud budou krátkodobé extrémy zesilovat, lze očekávat nárůst rizika a závažnosti přívalových povodní, zejména v sídlech s vysokým podílem nepropustných ploch.

Globální analýza změn extrémních srážek publikovaná Sun et al. (2021) ukazuje rostoucí trend maximálních jednodenních srážkových úhrnů na globální i kontinentální úrovni. Autoři dále prokazují statistickou vazbu mezi extrémními srážkami a globální průměrnou teplotou. Mediánový nárůst extrémních srážek pro index Rx1day činí přibližně 6,6 % na 1 K, což je v souladu s fyzikálním očekáváním vyplývajícím z Clausiusovy--Clapeyronovy rovnice.

Pro návrh opatření v urbanizovaných územích jsou zvláště důležité poznatky o subdenních srážkách. Fowler (2021) shrnuje důkazy o antropogenním zesilování krátkodobých srážkových extrémů a uvádí, že u hodinových a zejména desetiminutových srážek může být teplotní škálování v některých případech vyšší než u denních srážek. Modely s vysokým rozlišením,

pozorované trendy i analýzy vztahu intenzity srážek k rosnému bodu ukazují, že krátkodobé extrémy mohou místy růst tempem přesahujícím očekávání založené pouze na změně atmosférické vlhkosti.

Tyto poznatky mají přímý dopad na praxi. Zesílení krátkodobých srážek může vést k častějšímu překročení kapacity kanalizačních a odvodňovacích systémů, k nárůstu povrchového odtoku, k častějšímu zaplavování snížených částí měst a ke zvyšování škod na dopravní a technické infrastruktuře. Adaptace proto musí zahrnovat nejen technické úpravy odvodňovacích systémů, ale i územní plánování, zadržování vody v místě dopadu srážky, modrozelenou infrastrukturu, vymezování nouzových cest odtoku a využívání dočasných retenčních prostor.

Cíle projektu a koncepce řešení

Hlavním cílem projektu je vytvořit návrhové srážky zohledňující očekávanou změnu klimatu a poskytnout je jako podklad pro návrh a posouzení adaptačních opatření snižujících dopady srážkových extrémů v urbanizovaných územích.

Projekt je koncipován ve čtyřech vzájemně propojených tematických liniích:

1. **Tvorba návrhových srážek a Atlasu IDF** pro současné i budoucí klimatické podmínky.
2. **Kvantifikace dopadu změny klimatu na městské odvodnění** pomocí matematického modelování ve vybraných lokalitách.
3. **Zpracování metodiky pro dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku**, která umožní omezit zaplavení urbanizovaného území při přívalových srážkách.
4. **Kategorizace urbanizovaných území České republiky** z hlediska charakteristik souvisejících s povrchovým odtokem a rizikem zaplavení.

Důraz je kladen na využitelnost výsledků v technické a plánovací praxi. Výstupy projektu mají sloužit projektantům, správcům odvodňovacích systémů, obcím, vodoprávním úřadům, zpracovatelům územně plánovacích dokumentací i dalším subjektům zapojeným do adaptace sídel na změnu klimatu.

Data a metodický postup

Srážková data a návrhové intenzity

Pro zpracování návrhových srážek byla využita staniční i radarová data srážek z předchozích a současných projektů. Významným vstupem byly také subhodinové návrhové srážky zpracované v rámci projektu PERUN. Kombinace staničních měření a radarových odhadů umožňuje lépe postihnout prostorovou variabilitu extrémních srážek, která je u přívalových srážek zásadní.

Výsledkem je soubor návrhových srážek vyjádřených ve formě IDF vztahů, tedy vztahů mezi intenzitou srážky, dobou trvání a dobou opakování. V Atlasu IDF jsou zahrnuty doby trvání od 15 minut do 24 hodin a doby opakování od 2 do 100 let. Takto zvolený rozsah pokrývá jak krátké subhodinové události relevantní pro městské odvodnění, tak delší srážkové epizody významné pro širší hydrologické posouzení.

Klimatické scénáře

Pro odhad vlivu změny klimatu byly použity hodinové výstupy regionálních klimatických modelů CORDEX RCM. Scénáře byly rozklastrovány a pro projekt byla vybrána pesimistická skupina klimatických projekcí. Tento přístup umožňuje zohlednit nejistotu budoucího vývoje a současně poskytnout návrhové podklady, které jsou vhodné pro posuzování odolnosti urbanizovaných území vůči závažnějším klimatickým dopadům.

Návrhové srážky byly zpracovány pro výhledové horizonty 2050 a 2085. Tyto horizonty umožňují rozlišit střednědobé a dlouhodobé dopady změny klimatu a promítnout je do návrhu opatření s různou životností. To je důležité zejména u investic do kanalizačních systémů, retenčních objektů, dopravní infrastruktury a urbanistických koncepcí, jejichž funkční období může přesahovat několik desetiletí.

Geostatistické zpracování a mapové výstupy

Pro prostorové vyjádření změn IDF křivek byl vytvořen geostatistický model, na jehož základě jsou změny popsány pro celé území České republiky v rámci souboru map. Tento postup umožňuje převést výsledky bodových či modelových analýz do formy územně spojitých podkladů použitelných v praxi.

Mapové výstupy mají zásadní význam pro uživatele, kteří potřebují získat návrhové srážkové charakteristiky pro konkrétní lokalitu. Umožňují také identifikovat regionální rozdíly v očekávaných změnách krátkodobých srážkových extrémů a tím lépe zacílit adaptační opatření.

Modelování městského odvodnění

Dopady změny klimatu na odtokové poměry v urbanizovaných územích byly dokumentovány pomocí matematického modelování systémů odvodnění. Modelování bylo provedeno pro různé scénáře zapojení hospodaření s dešťovou vodou a modrozelené infrastruktury. Pro simulace byly vybrány tři lokality: Bukovno, Pečky a Běchovice.

Modelové simulace umožňují kvantifikovat, jak se mění zatížení odvodňovacího systému při různých návrhových srážkách a jaký účinek mohou mít adaptační opatření. Mezi hodnocené scénáře mohou patřit opatření podporující vsak, retenci, zpomalení odtoku nebo bezpečné převedení přebytečné vody mimo ohrožené objekty.

Kategorizace urbanizovaných území

Další část projektu je zaměřena na tvorbu mapy kategorizace urbanizovaných území, respektive intravilánů obcí. Urbanizovaná území jsou z hlediska odtokových charakteristik komplikovaná především vysokým podílem zpevněných ploch, výrazně vyššími odtokovými součiniteli a silnou prostorovou heterogenitou využití území.

Dosud chyběl ucelený datový podklad, který by umožňoval systematicky hodnotit urbanizovaná území z hlediska rizika povrchového odtoku. Projekt proto připravuje nejen

prostorové vymezení urbanizovaných území, ale také charakteristiky související s povrchovým odtokem. Vedlejším produktem je detailní vrstva využití území pro celou Českou republiku.

Hlavní výsledky

Atlas IDF

Nejdůležitějším hydrometeorologickým výstupem projektu je Atlas IDF. Ten poskytuje aktualizované návrhové srážky pro různé doby trvání a doby opakování a zároveň zahrnuje výhledové klimatické horizonty 2050 a 2085. Atlas je zaměřen na potřeby urbanizovaných území, kde jsou klíčové zejména krátké doby trvání srážek od 15 minut výše.

V praxi může Atlas IDF sloužit jako vstup pro návrh kanalizačních systémů, posouzení stávající kapacity odvodnění, návrh retenčních a vsakovacích zařízení, dimenzování prvků modrozelené infrastruktury nebo pro modelování povrchového odtoku v sídlech. Důležitou přidanou hodnotou je zahrnutí budoucích klimatických podmínek, které umožňuje navrhovat opatření nejen na základě historického klimatu, ale i s ohledem na očekávané změny.

Modelové ověření adaptačních opatření

Matematické modelování systémů odvodnění v lokalitách Bukovno, Pečky a Běchovice umožnilo ověřit dopady návrhových srážek a různých scénářů zapojení hospodaření s dešťovou vodou a modrozelené infrastruktury. Modelování poskytuje kvantitativní podklad pro hodnocení účinnosti adaptačních opatření a pro porovnání scénářů bez opatření a se zapojením retenčních, vsakovacích či odtok usměrňujících prvků.

Takové posouzení je nezbytné zejména tam, kde samotné zvýšení kapacity kanalizace není technicky, ekonomicky nebo prostorově vhodným řešením. Kombinace technické infrastruktury, modrozelených opatření a bezpečného povrchového odtoku představuje robustnější přístup k adaptaci urbanizovaných území.

Metodika dočasných retenčních prostor a nouzových cest odtoku

Na základě výsledků modelování byla vytvořena metodika k zadržení nebo usměrnění odtoku z přívalových srážek. Metodika popisuje budování dočasných retenčních prostor a nouzových cest odtoku tak, aby bylo minimalizováno zaplavení urbanizovaného území.

Dočasné retenční prostory mohou využívat například veřejná prostranství, parky, sportoviště, dopravní plochy nebo jiné vhodné části území, které lze při extrémní události řízeně zatopit s přijatelnými škodami. Nouzové cesty odtoku naopak slouží k bezpečnému převedení vody mimo nejzranitelnější objekty a infrastrukturu. Oba typy opatření vyžadují mezioborovou koordinaci vodohospodářů, urbanistů, dopravních inženýrů, správců sítí a samospráv.

Mapa kategorizace urbanizovaných území

Mapa kategorizace urbanizovaných území poskytuje nový datový podklad pro hodnocení intravilánů obcí z hlediska odtokových charakteristik. Kromě samotného prostorového vymezení urbanizovaných území budou k dispozici také charakteristiky související s rizikem

povrchového odtoku. To umožní lépe identifikovat území, kde lze očekávat zvýšenou tvorbu povrchového odtoku a kde je vhodné prioritně řešit adaptační opatření.

Významným vedlejším výstupem je kompletní detailní vrstva využití území České republiky. Ta může být využitelná i mimo rámec projektu, například pro hydrologické modelování, územní plánování, environmentální hodnocení nebo analýzy modrozelené infrastruktury.

Diskuse a závěr

Výsledky projektu reagují na dlouhodobou potřebu aktualizovat návrhové srážkové podklady pro urbanizovaná území. Historicky využívané návrhové srážky sehrály důležitou roli v české inženýrské praxi, avšak současné podmínky kladou vyšší nároky na časové rozlišení, prostorovou podrobnost i zohlednění klimatické změny. Atlas IDF proto představuje významný krok směrem k modernizaci návrhových podkladů.

Z pohledu praktické aplikace je důležité, aby návrhové srážky nebyly vnímány izolovaně. Samotná informace o intenzitě a době opakování srážky musí být propojena s odtokovou odezvou konkrétního urbanizovaného území. Tu ovlivňuje morfologie terénu, podíl nepropustných povrchů, kapacita kanalizační sítě, přítomnost retenčních a vsakovacích prvků, charakter zástavby i možnosti bezpečného převedení vody po povrchu.

Adaptační opatření by proto měla být navrhována jako kombinace více přístupů. Patří mezi ně zvyšování retenční a infiltrační kapacity území, zpomalení odtoku, decentralizované hospodaření s dešťovou vodou, posílení odolnosti kritické infrastruktury a plánování nouzových cest odtoku. V hustě zastavěných územích bude často nezbytné pracovat s konceptem přijatelného a řízeného zaplavení vybraných ploch, protože úplné odstranění rizika přívalových povodní není reálné.

Nejistoty spojené s klimatickými scénáři je nutné chápat jako přirozenou součást rozhodování. Volba pesimistické skupiny scénářů umožňuje prověřit odolnost opatření vůči závažnějším dopadům změny klimatu. Pro investice s dlouhou životností je tento přístup opodstatněný, protože poddimenzování opatření může vést k opakovaným škodám a vyšším nákladům v budoucnosti.

Poděkování

Příspěvek vznikl na základě výsledků projektu „Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho“. Autor děkuje spoluřešitelům projektu: prof. Martinu Hanelovi, Ph.D. a Ing. Filipu Strnadovi, Ph.D. z Fakulty životního prostředí ČZU v Praze; doc. Petru Kavkovi, Ph.D., doc. Davidu Stránskému, Ph.D., Ing. Luďku Strouhalovi, Ph.D. a Ing. Kateřině Škvařilové z Fakulty stavební ČVUT v Praze; Ing. Tomáši Metelkovi, Ph.D. a Ing. Ivaně Strnadové ze společnosti AquaProcon; Mgr. Petru Štěpánkovi, Ph.D. z CzechGlobe; a Ing. Adamu Vizinovi, Ph.D. z VÚV TGM.

Literatura

Fowler, H. J. (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nat Rev Earth Environ* **2**, 107–122 (2021). https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781009157896.

Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V. (2021). A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation. *Journal of Climate*, 34, 243--258. DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0892.1.

Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 522--555. DOI: 10.1002/2014RG000464.

Atlas IDF a metodika zpracování srážkových dat

Autoři: Ing. Filip Strnad, Ph.D., prof. Martin Hanel, Ph.D.
Pracoviště: Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita

Kontakt: strnadf@fzp.czu.cz

Abstrakt

Příspěvek představuje ucelený a rozšířený abstrakt, který shrnuje metodiku, architekturu a datovou základnu vyvíjené softwarové aplikace Atlas IDF. Aplikace vznikla jako výstup projektu SrUrb (Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho, podpořeného TAČR) a slouží jako sjednocená platforma pro generování dešťového katalogu.

Klíčová slova: návrhové srážky, změna klimatu, stochastická disagregace

Úvod a definice řešeného problému

Při hodnocení dopadů změny klimatu na srážkové extrémy a při navrhování adaptačních opatření v urbanizovaných územích naráží vodohospodářská praxe na dva zásadní problémy. Prvním je absence dostatečně dlouhých a kvalitních přímých měření srážek v mnoha lokálních oblastech (v rámci pilotní studie se jednalo o lokality Bukovno, Pečky a VÚ Běchovice). Druhým, ještě komplexnějším problémem, je skutečnost, že výstupy z globálních a regionálních klimatických modelů jsou standardně dostupné pouze v hodinovém časovém kroku, což je pro návrh prvků modré a zelené infrastruktury, které reagují na subhodinové přívalové srážky, zcela nedostačující.

Cílem projektu SrUrb je na tyto výzvy reagovat vytvořením jednotné metodické a datové platformy. Tento sjednocený přístup zajišťuje konzistenci použitých metod, jednotné zacházení s klimatickým signálem a přímou návaznost výsledků (map i katalogových řad) bez nutnosti vnášet do výpočtů dodatečné transformace.

Geostatistické zpracování současného klimatu

Aby bylo možné odhadnout srážkové extrémy pro referenční období v lokalitách bez měření, využívá systém Regionální frekvenční analýzu (RFA). Zpracování zahrnuje:

1. Výběr referenčních stanic: Vytvoření bufferu o poloměru 30 km kolem zájmového území a aplikace statistických testů pro zajištění hydrologické homogenity dat.

2. Analýza extrémů: Kvantilová funkce je odhadována s pomocí obecného rozdělení extrémních hodnot (GEV), jehož parametry (poloha, měřítko a tvar) jsou odhadnuty metodou L-momentů, která je méně citlivá na odlehlé hodnoty.

3. Prostorová interpolace: K přenosu odhadnutého škálovacího faktoru na zájmovou lokalitu bez dat se využívá metoda inverzní vzdálenostní váhy (IDW).

Stochastická disagregace a modelování budoucího klimatu

Projekce budoucího klimatu vycházejí z rozsáhlé sady dat klimatických modelů ze sítě Earth System Grid Federation (ESGF) v doménách EUR-11 (rozlišení 11 km) a EUR-22. Analyzovány jsou různé globální a regionální modely (např. CNRM-CM5, EC-EARTH, ALADIN63) napříč emisními scénáři RCP 2.6, RCP 4.5 a RCP 8.5.

Nejvýznamnějším metodickým posunem je **stochastická disagregace** hodinových srážek do **pětiminutového časového kroku**. Volba pětiminutového kroku je strategickým kompromisem, který zajišťuje dostatečné rozlišení, fyzikální věrohodnost i statistickou a výpočetní stabilitu.

Model pro disagregaci je založen na dvou pilířích:

- **Marginální rozdělení:** Nenulové srážkové úhrny jsou modelovány pomocí zobecněného gamma rozdělení (respektujícího sezónní proměnlivost), zatímco výskyt nulových srážek je řízen empirickým parametrem pro zachování reálné intermitence.

- **Autokorelační struktura (ACS):** Zásadní je popis krátkodobé časové závislosti. Algoritmus nevyužívá klasické exponenciální modely, ale **Pareto II rozdělení (Lomaxovo rozdělení)**. To dokáže přesněji zachytit pomalý rozpad korelace typický pro subhodinové srážkové procesy.

Disagregovaná řada je tvořena transformací gaussovského procesu na uniformní rozdělení a následnou kvantilovou transformací na srážkové úhrny. Z pětiminutových úhrnů jsou následně dopočítávány 15, 30 a 60minutové agregace pro tvorbu blokových dešťů.

Architektura a funkcionalita aplikace Atlas IDF

Výsledkem implementace výše zmíněných metodických postupů je interaktivní webová aplikace **Atlas IDF**, vyvinutá v programovacím jazyce R s využitím frameworku Shiny. Aplikace je optimalizována pro práci s rozsáhlými prostorovými a tabulkovými daty pomocí balíčků jako leaflet, plotly, data.table a fst.

Uživatelské rozhraní je logicky členěno do tří hlavních sekcí:

- **Mapa změn (Interaktivní mapový modul):** Jádrem této záložky je mapové okno využívající podkladové vrstvy (včetně ortofotomapy ČÚZK) a vrstvu domény regionálních klimatických modelů (RCM). Uživatel může kliknutím na konkrétní bod v mapě vyvolat plovoucí, přesouvatelný a měnitelný panel. Tento panel dynamicky vykresluje interaktivní grafy křivek IDF (intenzita-doba trvání-četnost) nebo DDF (úhrn-doba trvání-četnost) pro různé doby trvání a doby opakování (2, 5, 10, 20, 50 a 100 let). Vizualizace porovnává hodnoty pro současnost a dva budoucí horizonty (2035–2065 a 2070–2100). Z mapy lze rovněž vyexportovat bodová data přímo do formátu CSV včetně výpočtu klimatického faktoru (poměr budoucí a současné hodnoty).

• **Data v tabulce:** Modul nabízí detailní pohled na hrubá data. Zatímco mapová část prezentuje medián změn pro třetí cluster* (skupinu modelů vykazující největší změnu IDF), tabulková část umožňuje uživateli vybrat konkrétní klimatický model a procházet jeho výsledky přes responzivní tabulku s možností pokročilého filtrování a exportu do Excelu či CSV.

• **O aplikaci:** Informační a metodická sekce, která uživatelům vysvětluje, jak data správně číst a interpretovat, a specifikuje, pro jaké obory (vodní hospodářství, územní plánování) je nástroj určen.

Závěr a aplikační potenciál

Výsledná aplikace **Atlas IDF** se tak stává robustním vědeckým a praktickým nástrojem určeným pro odborníky navrhující technickou infrastrukturu, města připravující adaptační strategie a inženýry zabývající se hospodařením se srážkovými vodami. Nástroj efektivně překlenuje mezeru mezi hrubými výstupy globální klimatologie a potřebou detailních subhodinových dat pro lokální inženýrskou praxi.

---

*Třetí cluster představuje z hlediska hodnocení dopadů změny klimatu takzvaný „nejhorší možný scénář“ (worst-case scenario), sdružuje skupinu modelů predikujících největší nárůst intenzit návrhových srážek, a je tak stěžejní pro bezpečnou adaptaci infrastruktury. Tato sada patnácti simulací operuje nad evropskou doménou v prostorovém rozlišení 11 km (EUR-11) s hodinovým časovým krokem srážkových dat. Skupina se dominantně opírá o pesimistický emisní scénář vysokých koncentrací skleníkových plynů RCP 8.5 (třináct simulací), který je okrajově doplněn o střední scénář RCP 4.5 (dvě simulace). Z hlediska využitých globálních klimatických modelů (GCM) v tomto clusteru převažuje model MPI-ESM-LR, následovaný modely IPSL-CM5A-MR, CNRM-CM5 a HadGEM2-ES, přičemž jejich dynamický downscaling do jemnějšího měřítka je nejčastěji realizován regionálními modely (RCM) SMHI-RCA4 a COSMO-crCLIM-v1-1. Celý tento specifický cluster je tvořen uceleným výčtem následujících modelových řetězců:

- pr_EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1_1hr
- pr_EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1_1hr
- pr_EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r12i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1_1hr
- pr_EUR-11_IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1_1hr
- pr_EUR-11_IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85_r1i1p1_GERICS-REMO2015_v1_1hr
- pr_EUR-11_IPSL-IPSL-CM5A-MR_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1_1hr
- pr_EUR-11_MOHC-HadGEM2-ES_rcp45_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1_1hr
- pr_EUR-11_MOHC-HadGEM2-ES_rcp85_r1i1p1_CNRM-ALADIN63_v1_1hr
- pr_EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_CNRM-ALADIN63_v1_1hr
- pr_EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_ICTP-RegCM4-6_v1_1hr
- pr_EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r1i1p1_SMHI-RCA4_v1a_1hr
- pr_EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r2i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1_1hr
- pr_EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r2i1p1_SMHI-RCA4_v1_1hr
- pr_EUR-11_MPI-M-MPI-ESM-LR_rcp85_r3i1p1_GERICS-REMO2015_v1_1hr
- pr_EUR-11_NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1_v1_1hr

Modelové posouzení adaptačních opatření pro urbanizovaná území ohrožená přívalovými srážkami

Autoři: [1]Ing. Kateřina Škvařilová, [2]Ing. Ivana Strnadová, [2]Ing. Tomáš Metelka, Ph.D. a [1]doc. David Stránský, Ph.D.
Pracoviště: [1]Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze; [2]Aqua Procon s.r.o.

Kontakt: [1]katerina.skvarilova@fsv.cvut.cz

Abstrakt

Článek shrnuje výsledky modelového posouzení účinnosti hospodaření s dešťovou vodou (HDV), dočasných retenčních prostor (DRP) a nouzových cest odtoku v podmínkách současného i očekávaného budoucího klimatu. Analýzy byly provedeny ve třech pilotních povodích: v obci Bukovno, v areálu výzkumných ústavů Běchovice a ve městě Pečky. Simulace vycházely z pětiletých minutových srážkových řad a z blokových extrémních srážek s dobou opakování N10 až N100 pro časové horizonty 2020, 2050 a 2085. Výsledky potvrzují, že klimatická změna povede k nárůstu hydraulického zatížení stokových sítí, četnosti výronů vody na povrch a rozsahu přetížení sítě. Prvky HDV výrazně zlepšují dlouhodobou vodní bilanci a snižují objemy přepadů i výronů, ale při extrémních srážkách samostatně nezajišťují úplnou ochranu území. Pro zvládání mimořádných událostí je proto nutné kombinovat HDV s DRP, řízenými povrchovými koridory a koncepčními opatřeními v území.

Klíčová slova: přívalové srážky; urbanizované povodí; hospodaření s dešťovou vodou; srážko-odtokový model; dočasné retenční prostory; klimatická změna

Úvod

Urbanizovaná území jsou vůči přívalovým srážkám citlivá zejména z důvodu vysokého podílu nepropustných ploch, omezené infiltrace a závislosti na kapacitě kanalizačních systémů. V podmínkách klimatické změny se očekává nejen nárůst extrémních srážkových intenzit, ale také vyšší proměnlivost srážkového režimu, která zvyšuje nároky na návrh, provoz i dlouhodobou odolnost městského odvodnění.

Projekt Adaptace urbanizovaných území na přívalové povodně a sucho (SrUrb), řešený v období 05/2023-03/2026 v programu TAČR Prostředí pro život, se zaměřil na vytvoření metodického a datového podkladu pro návrh adaptačních opatření. Významná část řešení byla věnována tvorbě a využití srážko-odtokových modelů v pilotních povodích, které umožnily kvantifikovat účinnost HDV a dalších opatření v současných i výhledových klimatických podmínkách.

Článek předkládá zkrácenou syntézu metodiky a výsledků modelových simulací. Důraz je kladen na porovnání dlouhodobé vodní bilance, reakci systémů odvodnění na extrémní srážky a na úlohu dočasných retenčních prostorů jako nástroje pro řízené zvládání nadbytečných objemů vody v intravilánu.

Metodika a data

Modelové analýzy byly provedeny pro tři pilotní lokality reprezentující rozdílné typy urbanizované zástavby: venkovskou zástavbu obce Bukovno, průmyslový areál výzkumných

ústavů Běchovice a menší městskou aglomeraci Pečky. Pro Běchovice byl použit model MIKE URBAN [1], zatímco pro Bukovno a Pečky byl využit model SWMM [2]. Simulační modely byly připraveny a upraveny tak, aby umožnily hodnocení současného stavu, výhledových srážkových scénářů a různých úrovní zapojení adaptačních opatření.

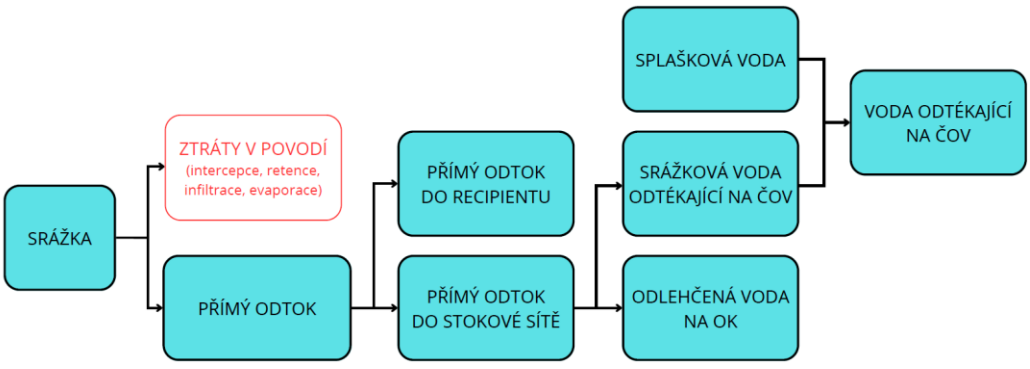
Zatěžovací srážky byly sestaveny ve dvou základních formách. První tvořily pětileté srážkové řady s krokem 1 minuta, které sloužily pro hodnocení dlouhodobé vodní bilance. Druhou tvořily blokové extrémní deště s dobou opakování N10, N20, N50 a N100. Pro Bukovno a Běchovice byla na základě analýzy doby dotoku zvolena délka blokového deště 30 minut, pro Pečky 60 minut. Výhledové srážky pro horizonty 2050 a 2085 byly odvozeny pomocí klimatických faktorů, přičemž pro extrémní scénáře byl zvolen cluster představující vyšší očekávané riziko nárůstu srážkových intenzit.

Scénáře zapojení HDV byly definovány pro odpojení 0 %, 20 % a 40 % nepropustných ploch. Uvažovány byly retenční, vsakovací nebo kombinované objekty navrhované v návaznosti na místní podmínky a platné technické požadavky, zejména ČSN 75 9010 [3]. V Běchovicích byl odtok z prvků HDV zaústěn zpět do jednotné kanalizace, zatímco v Bukovně a Pečkách byl veden mimo jednotnou kanalizaci do recipientu nebo byl započten do retenčních ztrát území.

Vyhodnocení bylo založeno na ukazatelích vodní bilance a hydraulické spolehlivosti. U dlouhodobých řad byly sledovány objem spadlé srážkové vody, odtok do kanalizace, přepady přes odlehčovací komory, objem vody přivedený na ČOV a objem zadržený v intravilánu. U extrémních srážek byly navíc vyhodnoceny počty přetížených uzlů, objemy výronů vody na terén a míra přetížení sítě (MPS), definovaná jako podíl délky přetížených úseků na celkové délce systému.

Tab. 1: Přehled pilotních lokalit a modelových vstupů

Lokalita	Charakter území	Model	Blokový déšť	Scénáře HDV
Bukovno	venkovská zástavba	SWMM	30 min	0 / 20 / 40 %
Běchovice	průmyslový areál	MIKE URBAN	30 min	0 / 20 / 40 %
Pečky	menší městská aglomerace	SWMM	60 min	0 / 20 / 40 %



Obr. 1: Schéma řešení vodní bilance použité pro vyhodnocení simulací.

Výsledky

Dlouhodobá vodní bilance

Dlouhodobé simulace ukázaly, že přínos HDV je patrný ve všech pilotních lokalitách, avšak mechanismus účinku se liší podle charakteru povodí a kanalizační soustavy. V Bukovně byla již ve výchozím období zjištěna vysoká retenční schopnost území: podíl zadržené srážkové vody v intravilánu přesahoval 82 % a při zapojení 40 % HDV se zvýšil na přibližně 86 %. Odtok srážkové vody kanalizací i přepady přes odlehčovací komory se přitom zřetelně snižovaly.

V Běchovicích se HDV neprojevilo významnou změnou celkového podílu zadržené vody, protože retenční objekty byly v modelu napojeny zpět do jednotné kanalizace. Přínos se projevil zejména redistribucí odtoku: snížením objemů vody odlehčované přes odlehčovací komory a současným zvýšením objemů vedených kontrolovaně na ČOV. Tento výsledek je významný z hlediska řízení provozu jednotné kanalizace, avšak současně ukazuje, že návrh HDV musí respektovat kapacitu navazující stokové sítě.

V Pečkách byl účinek HDV nejvýraznější z hlediska dlouhodobé bilance. V referenčním období 2020 vzrostl podíl zadržené vody z přibližně 78 % na více než 85 % při zapojení 40 % HDV. Současně došlo k poklesu odtoku srážkové vody kanalizací a k významnému snížení přepadů přes odlehčovací komory. Ve výhledových horizontech 2050 a 2085 se absolutní objemy odtoku zvyšovaly, relativní přínos HDV však zůstal zachován.

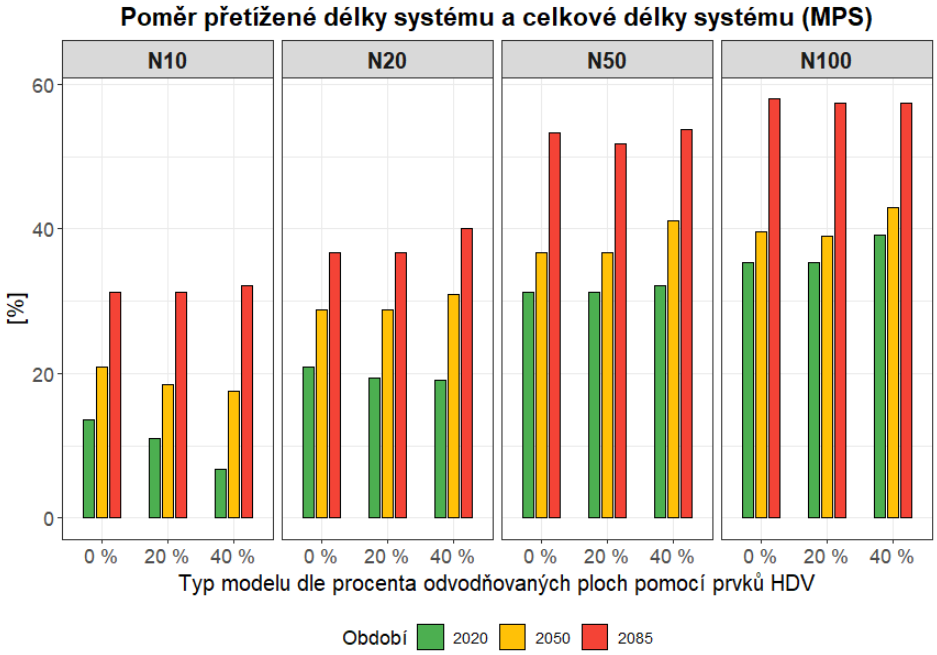
Tab. 2: Vybrané indikátory účinnosti HDV v pilotních lokalitách

Lokalita	h 2020 -> 2085 [mm/rok]	Vztráty 2020 HDV0/40 [%]	VOK 2020 HDV0/40 [tis. m3/rok]	Vvýron N100 2085 HDV0/40 [tis. m3]	MPS N100 2085 HDV0/40 [%]
Bukovno	498,4 -> 520,2	82,1 / 85,7	7,0 / 3,3	15,5 / 15,0	38 / 38
Běchovice	519,4 -> 550,9	70,5 / 70,5	52,4 / 43,0	34,4 / 31,0	26 / 27
Pečky	622,7 -> 670,5	78,4 / 85,3	56,1 / 30,3	28,6 / 27,0	53 / 57

Extrémní srážky a přetížení sítě

Reakce systémů odvodnění na extrémní srážky byla výrazně nelineární. U méně extrémních srážek, zejména N10 a N20, snižovalo zapojení HDV počet přetížených uzlů i objem výronů vody na terén. U scénářů N50 a N100 se však retenční kapacita prvků HDV rychle vyčerpávala a jejich vliv na MPS byl omezený. V některých scénářích došlo dokonce k mírnému nárůstu MPS, což souviselo s časovým posunem odtoku z retenčních objektů a prodloužením doby hydraulického zatížení potrubí.

Nejcitlivější reakci vykazovaly Pečky. Ve výhledovém horizontu 2085 dosáhl při dešti N100 objem výronů vody z šachet 28,6 tis. m3 bez HDV a 27,0 tis. m3 při zapojení 40 % HDV. MPS se ve stejném scénáři pohybovalo v rozmezí 53-57 %. Tyto hodnoty ukazují, že při velmi extrémních srážkách HDV snižuje zejména nekontrolovaný objem vody na povrchu, nikoli plošný rozsah hydraulického přetížení sítě.

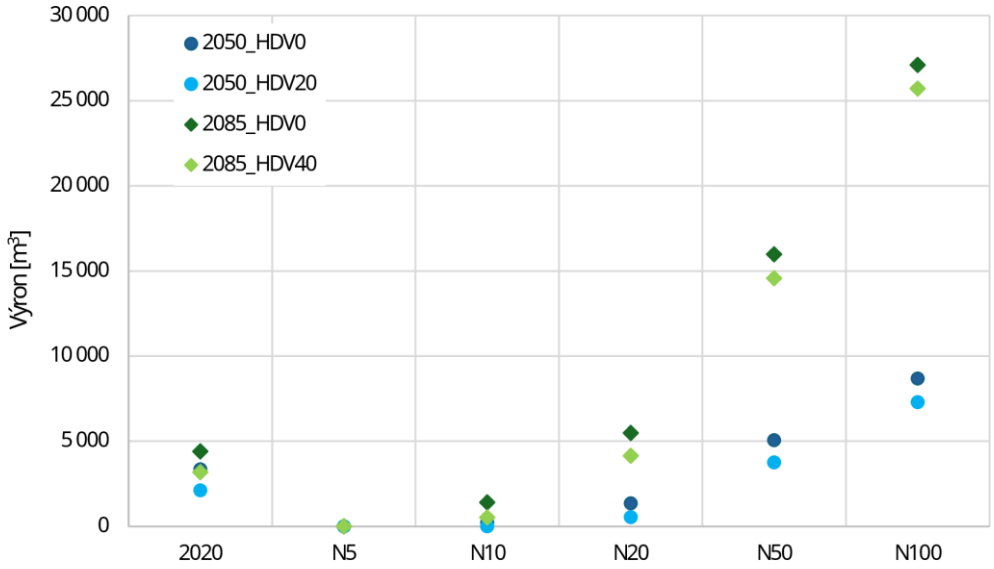


Obr. 2: Míra přetížení sítě (MPS) v jednotlivých scénářích v povodí Pečky.

Dočasné retenční prostory

Výsledky simulací potvrdily, že extrémní srážkové události nelze bezpečně zvládnout pouze kapacitou stokové sítě a standardních prvků HDV. Proto byly v místech opakovaného výronu vody a významného přetížení navrženy dočasné retenční prostory. Jejich účelem není plně eliminovat všechny výrony, ale řízeně zachytit nebo zpomalit nadbytečné objemy vody a omezit jejich neřízené šíření v intravilánu.

V pilotním povodí Pečky vedlo zapojení DRP k výrazné redukci objemů výronu zejména u srážek s nižší a střední dobou opakování. V horizontu 2050 bylo u scénáře N10 dosaženo téměř úplné eliminace výronů a u N20 přibližně 60% redukce. V horizontu 2085 se absolutní objemy výronů zvýšily, ale opatření si zachovala významný relativní přínos. U nejextrémnějších scénářů N50 a N100 se účinnost snižovala na jednotky až nižší desítky procent, což odpovídá postupnému vyčerpání retenční kapacity.



Obr. 3: Porovnání objemů výronu srážkové vody při zapojení DRP v povodí Pečky pro vybrané scénáře 2050 a 2085.

Diskuze

Výsledky potvrzují, že účinnost adaptačních opatření nelze hodnotit jedním ukazatelem. Z hlediska dlouhodobé bilance jsou prvky HDV velmi účinné, protože zvyšují zadržení vody v území a snižují objemy přepadů. Z hlediska extrémních srážek je však jejich přínos závislý na velikosti události, předchozím nasycení retenční kapacity a způsobu napojení na kanalizační systém. To je patrné zejména u jednotných kanalizací, kde regulovaný odtok z HDV může přispět k vyššímu zatížení sítě po delší dobu.

Zjištění jsou v souladu s evropskými přístupy k adaptaci měst na klimatickou změnu, které zdůrazňují potřebu kombinace technických, organizačních a plánovacích opatření [4]-[8]. Městské metodiky, například z Kodaně a Malmö, kladou důraz na prioritizaci chráněných území, definování přijatelné míry rizika a koordinaci mezi správci infrastruktury, veřejnou správou a investory [9], [10]. Výsledky projektu SrUrb tento přístup podporují, protože ukazují, že samotné dimenzování kanalizace nebo plošná aplikace HDV není pro extrémní události postačující.

Důležitý je také legislativní kontext. Nová směrnice EU 2024/3019 o čištění městských odpadních vod zavádí požadavky související s odlehčováním přívalových vod, vodní bilancí a využitím hydrodynamických modelů zohledňujících aktuální klimatické prognózy [11]. Použitý metodický rámec, založený na dlouhodobých i extrémních simulacích a na vyhodnocení vodní bilance, je s tímto směrem v souladu.

Z praktického hlediska je proto vhodné chápat HDV, DRP a nouzové cesty odtoku jako navzájem se doplňující vrstvy ochrany. HDV zlepšuje běžnou a středně zatěžující vodní bilanci, DRP snižují dopady extrémních událostí a nouzové povrchové koridory umožňují řízené převedení vody tam, kde již nelze spoléhat na podzemní kanalizační systém.

Závěr

Modelové simulace pro tři pilotní povodí prokázaly, že změna klimatu bude významně zvyšovat hydraulické zatížení systémů městského odvodnění. Ve výhledových horizontech se zvyšují srážkové úhrny i extrémní intenzity, což vede k nárůstu přepadů, výronů vody na terén a rozsahu přetížení stokové sítě.

Prvky hospodaření s dešťovou vodou představují účinný nástroj zejména pro dlouhodobou vodní bilanci a pro srážky s nižší a střední dobou opakování. Největší relativní přínos se zpravidla projevuje již při základním zapojení opatření, zatímco další navyšování rozsahu přináší menší přírůstkový efekt. Účinnost HDV však závisí na typu území, konfiguraci kanalizace a způsobu napojení retenčních objektů.

Při extrémních srážkách s vysokou dobou opakování HDV samo o sobě nepostačuje k zabránění poruchovým stavům. Dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku proto představují nezbytný doplněk adaptační strategie. Jejich hlavní přínos spočívá ve snížení objemu a prostorové koncentrace nekontrolovaných výronů vody a ve zvýšení bezpečnosti obyvatel a infrastruktury.

Další výzkum by měl směřovat k přesnějšímu zohlednění nejistot klimatických scénářů, optimalizaci kombinací opatření a rozvoji nástrojů pro operativní řízení odvodňovacích systémů při očekávaných extrémních srážkách.

Literatura

[1] DHI. MIKE URBAN+ Migration Guide. Hørsholm: DHI, 2022.

[2] United States Environmental Protection Agency. Storm Water Management Model (SWMM) User's Manual Version 5.1. Cincinnati: U.S. EPA, 2015.

[3] ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[4] Abarca-Alvarez, F. J., Navarro-Ligero, M. L., Valenzuela-Montes, L. M., Campos-Sánchez, F. S. European strategies for adaptation to climate change with the Mayors adapt initiative by self-organizing maps. Applied Sciences, 2019, 9(18).

[5] Aguiar, F. C., Bentz, J., Silva, J. M. N., Fonseca, A. L., Swart, R., Santos, F. S., Penha-Lopes, G. Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview. Environmental Science & Policy, 2018, 86, s. 38-63.

[6] Birkmann, J., Garschagen, M., Kraas, F., Quang, N. Adaptive urban governance: new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. Sustainability Science, 2010, 5(2), s. 185-206.

[7] Dai, L., Wörner, R., van Rijswick, H. F. M. W. Rainproof cities in the Netherlands: approaches in Dutch water governance to climate-adaptive urban planning. International Journal of Water Resources Development, 2018, 34(4), s. 652-674.

[8] Göpfert, C., Wamsler, C., Lang, W. A framework for the joint institutionalization of climate change mitigation and adaptation in city administrations. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2019, 24(1), s. 1-21.

[9] Dufbäck Fornander, S. Urban climate change adaptation: an assessment of Malmö municipality's Cloudburst Management Plan. Lund University, 2020.

[10] The City of Copenhagen. Cloudburst Management Plan 2012. Copenhagen, 2012.

[11] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/3019 o čištění městských odpadních vod. 27. 11. 2024.

Dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku jako nástroj adaptace urbanizovaných území na extrémní srážky

Autoři: [1]Ing. Kateřina Škvařilová, [2]Ing. Ivana Strnadová, [2]Ing. Tomáš Metelka, Ph.D. a [1]doc. David Stránský, Ph.D.
Pracoviště: [1]Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze; [2]Aqua Procon s.r.o.

Kontakt: katerina.skvarilova@fsv.cvut.cz

Abstrakt

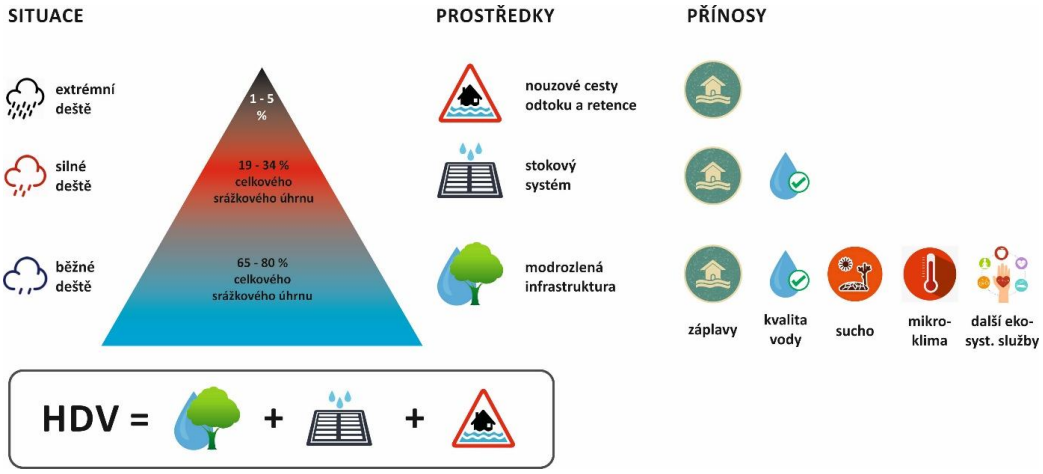
Příspěvek shrnuje metodický rámec pro navrhování dočasných retenčních prostor (DRP) a nouzových cest odtoku, označovaných také jako povodňové koridory, v urbanizovaných územích ohrožených přívalovými srážkami. Východiskem je skutečnost, že při extrémních deštích nemusí kapacita stokové sítě ani běžných prvků modrozelené infrastruktury postačovat k bezpečnému odvedení nebo zadržení srážkového odtoku. Navrhovaná opatření proto pracují s řízeným využitím povrchu města: nadbytečná voda je buď dočasně zadržena na vhodných multifunkčních plochách, nebo bezpečně převedena definovanými koridory mimo ohrožené území. Článek popisuje základní typy opatření, návrhová kritéria, potřebu hydrologicko-hydraulického modelování, datové nároky, principy správy a vazbu na krizové řízení. Důraz je kladen na praktickou využitelnost postupu pro obce, projektanty a správce infrastruktury.

Klíčová slova: přívalové srážky; dočasný retenční prostor; nouzová cesta odtoku; povodňový koridor; modrozelená infrastruktura; hydrodynamické modelování; adaptace měst

Úvod

Extrémní srážky představují v urbanizovaných územích rostoucí riziko pro bezpečnost obyvatel, funkci dopravní a technické infrastruktury i ochranu majetku. Dopady jsou zesilovány kombinací klimatické změny a dlouhodobé urbanizace, která zvyšuje podíl nepropustných povrchů, zrychluje povrchový odtok a omezuje přirozenou retenci vody (Gregersen et al., 2014; CzWA Service, 2021). Přestože se v posledních letech rozvíjí hospodaření se srážkovou vodou (HDV) a modrozelená infrastruktura (MZI), extrémní deště s nízkou četností a vysokou intenzitou často přesahují návrhové možnosti běžných odvodňovacích systémů.

Základní rozdíl oproti standardnímu odvodnění spočívá v přijetí skutečnosti, že část vody může při extrémní události zůstat na povrchu území. Cílem adaptace proto není pouze zvětšování kapacity kanalizace, ale především bezpečné řízení povrchového odtoku tak, aby voda neohrožovala zdraví obyvatel, kritickou a důležitou infrastrukturu ani klíčové funkce obce. K tomu slouží zejména dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku (Suchánek, 2022; The City of Copenhagen, 2012).



Obr. 1: Nástroje hospodaření se srážkovou vodou a jejich přínosy v různých srážkových situacích (upraveno podle CzWA Service, 2021).

Metodický rámec řešení

Navrhovaný postup vychází z rozlišení čtyř typů hydrologických situací: běžné deště, silné deště, extrémní deště a období sucha. Pro běžné deště je prioritou napodobit přirozený vodní režim pomocí vsakování, výparu, retence a využívání vody. Pro silné deště je důležitá optimalizace stokové sítě, retenčních prostor a řízení odtoku. Pro extrémní deště je nutné doplnit systém o prvky, které umožní bezpečné zadržení nebo povrchové převedení vody mimo zranitelná místa.

Metodický postup lze rozdělit do tří vzájemně navazujících pracovních bloků. První blok identifikuje trasy koncentrovaného povrchového odtoku, místa rozlivu a přirozené retence. Druhý blok hodnotí rizika pro kritickou a důležitou infrastrukturu. Třetí blok navrhuje a posuzuje adaptační opatření včetně jejich účinnosti, prostorové realizovatelnosti, investičních nákladů a vazby na územní plánování.

Tab. 1: Zjednodušená struktura postupu při řešení extrémních srážek v urbanizovaném území.

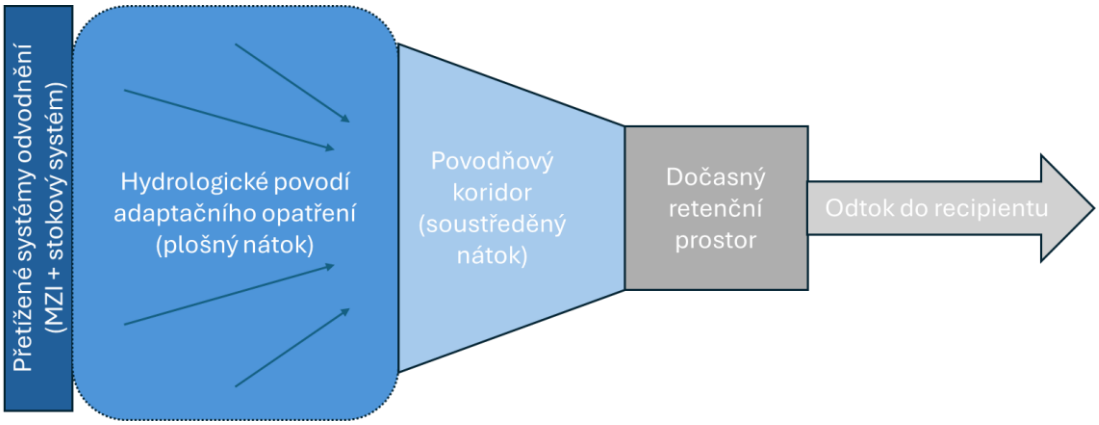
Pracovní blok	Hlavní otázka	Typický výstup
1. Odtok a rozliv	Kudy voda při extrémní srážce poteče a kde se bude hromadit?	Mapy hloubek, rychlostí, tras odtoku a maximálního rozlivu.
2. Riziko	Jaké objekty, služby a infrastruktura jsou ohroženy?	Mapa pravděpodobnosti, závažnosti dopadu a celkového rizika.
3. Návrh opatření	Jak lze riziko snížit a jakou míru ochrany lze dosáhnout?	Varianty DRP, povodňových koridorů, technických úprav a krizových postupů.

Dočasné retenční prostory a povodňové koridory

Dočasný retenční prostor je plocha nebo objekt, který se při běžném provozu využívá jiným způsobem, ale při extrémních srážkách umožní krátkodobé zadržení nadbytečného objemu vody. Vhodné jsou zejména plochy snadno obnovitelné a provozně bezpečné, například parky, sportoviště, náměstí, parkovací plochy, povodňové parky nebo další multifunkční veřejná prostranství. Návrh musí respektovat bezpečnost uživatelů, možnost rychlého opuštění

prostoru, vhodné řízení odtoku a následnou údržbu po odeznění události. Obdobné principy jsou využívány i v zahraničních přístupech k modrozelené infrastruktuře a plánování přívalových srážek (Woods Ballard et al., 2015; NYC DEP, 2017).

Doporučené konstrukční zásady zahrnují zejména omezení maximální hloubky nadržení, stabilní svahy, bezpečnostní přelivy, gravitační odtok tam, kde je to možné, a jasné vymezení funkčních objektů. U vegetačních prostorů je nutné volit druhy odolné vůči krátkodobému zaplavení a u opatření se vsakováním ověřit hydrogeologické podmínky a riziko znečištění podzemních vod. Provozní podmínkou je také trvalé označení retenční funkce prostoru a informování veřejnosti.



Obr. 2: Princip propojení povodňového koridoru s dočasným retenčním prostorem a následným odtokem do recipientu.

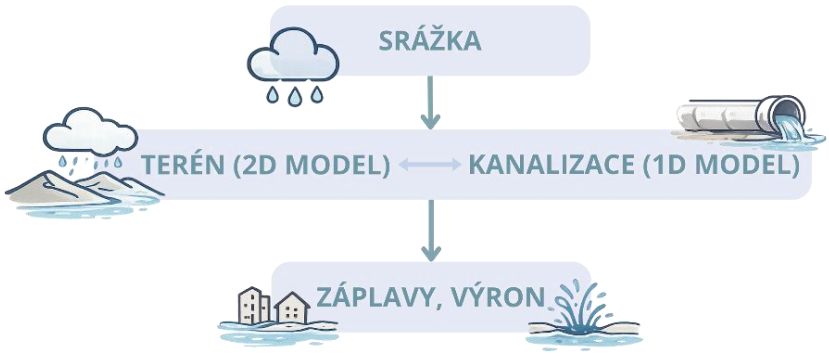
Nouzové cesty odtoku neboli povodňové koridory jsou upravené povrchové trasy, které v době extrémního deště bezpečně převádějí vodu mimo ohrožené části urbanizovaného území nebo ji směrují do dočasných retenčních prostor. Nejčastěji jde o komunikace nebo veřejná prostranství vedená v přirozených trasách odtoku. Návrh musí zohlednit nejen hydraulickou kapacitu uličního profilu, ale také parkování, bezpečný pohyb osob, provoz integrovaného záchranného systému a návaznost na recipient nebo retenční plochu.

Z hlediska bezpečnosti se u povodňových koridorů posuzuje zejména hloubka vody, rychlost proudění a jejich kombinace. Při překročení mezních hodnot dochází ke ztrátě stability osob ve vodním proudu, a proto je nutné navrhovat koridory tak, aby umožnily bezpečné opuštění prostoru a současně nevedly vodu k citlivým vstupům do budov, podzemním prostorám nebo prvkům kritické infrastruktury. Zvláštní pozornost vyžaduje statická doprava, protože parkující vozidla mohou zásadně omezit průtočný profil. Pro hodnocení rizika pohybu osob ve vodním proudu lze využít kritéria založená na kombinaci hloubky a rychlosti proudění (Russo et al., 2013; Martínez-Gomariz et al., 2016).

Návrhová kritéria a datová připravenost

Návrh adaptačního systému je nutné založit na předem zvolené míře ochrany. Ta zahrnuje časový horizont, scénář budoucího vývoje klimatu, klimatický faktor a návrhovou srážku, obvykle charakterizovanou dobou opakování a dobou trvání. Pro robustní návrh se zpravidla posuzují události N10 až N100, přičemž u zásadních objektů a území s významnou infrastrukturou je vhodné pracovat s horní hranicí klimatického scénáře. Pokud místní podmínky neumožňují plné dosažení požadované úrovně ochrany, je třeba využít maximální reálně dostupnou retenční a převodní kapacitu a otevřeně popsat zbytkové riziko.

Klíčovým nástrojem návrhu je hydrologicko-hydraulické modelování. V hustě zastavěném území zpravidla nestačí jednoduchá analýza reliéfu, protože voda se na povrch často dostává až po zahlcení kanalizace a výronech z šachet nebo vpustí. Vhodným řešením je proto spojený 1D+2D nestacionární model, který propojuje proudění v kanalizační síti s prouděním po povrchu území. Takový model umožňuje vyhodnotit, kde vznikají výrony, kudy voda odtéká, jaké dosahuje hloubky a rychlosti a jak se změní situace po realizaci navržených opatření.



Obr. 3: Schéma propojení 1D modelu kanalizace a 2D modelu povrchového odtoku při simulaci extrémních srážek.

Datová připravenost zahrnuje zejména digitální model terénu, digitální vrstvy budov a komunikací, informace o stokové síti a jejích objektech, charakteristiky extrémních srážek, mapu kritické a důležité infrastruktury, majetkoprávní vztahy, vsakovací mapu a v ideálním případě také cenovou mapu pro ekonomické hodnocení škod. U menších obcí, kde stoková síť nemá zásadní vliv na průběh povrchového odtoku, lze v odůvodněných případech využít zjednodušený 2D screening. I tehdy je však nutné doložit použité předpoklady a omezení.

Správa, provoz a krizové řízení

Funkčnost adaptačních opatření nelze zajistit pouze jejich stavebním návrhem. Každé opatření musí mít určeného vlastníka, správce a provozovatele, včetně jasných pravidel běžné údržby,

provozu během extrémní události a obnovy po jejím skončení. Správa by měla být rozdělena po logických celcích: technické prvky napojené na vodohospodářskou infrastrukturu spravuje správce této infrastruktury, uliční povodňové koridory správce komunikace a vegetační retenční plochy správce zeleně nebo veřejného prostoru.

Plán provozu a údržby má obsahovat popis funkce opatření, rozmístění funkčních objektů, pravidla užívání prostoru, zakázané činnosti, četnost kontrol a postupy pro odstranění sedimentů, odpadu nebo poškození. U dočasných retenčních prostorů je důležitá kontrola funkčních objektů alespoň dvakrát ročně a vždy po extrémní události. U povodňových koridorů je klíčová pravidelná kontrola průtočnosti profilu, protože i drobné překážky mohou během srážky výrazně změnit trasu odtoku.

Přívalové srážky se mohou rozvíjet v horizontu minut, a proto musí být krizové řízení předem připravené. Obec, správce odvodnění, správce adaptačních opatření a složky integrovaného záchranného systému musí sdílet mapy tras odtoku, rozlivu, hloubek a rychlostí. Krizový plán by měl určovat, kdo sleduje předpověď, kdo aktivuje varování, kdo uzavírá zaplavované komunikace, kdo koordinuje odtahy vozidel a kdo zajišťuje manipulaci s technickými objekty. Včasná komunikace s obyvateli může zahrnovat SMS, obecní rozhlas, proměnné dopravní značení nebo pokyny k přeparkování vozidel z rizikových koridorů.

Diskuse

Dočasné retenční prostory a povodňové koridory nepředstavují náhradu za běžné hospodaření se srážkovou vodou, ale jeho doplnění pro situace, kdy je kapacita MZI a stokové sítě překročena. Jejich výhodou je možnost využít existující městské prostory víceúčelově: stejná plocha může v běžném režimu sloužit jako park, hřiště nebo komunikace a při extrémní události jako prvek ochrany území. Tato víceúčelovost zvyšuje ekonomickou efektivitu, zároveň však klade vyšší nároky na urbanistické, dopravní, bezpečnostní a provozní řešení.

Největší omezení spočívá v prostorové dostupnosti vhodných ploch a v nutnosti koordinace mezi řadou aktérů. Návrh může být technicky správný, ale obtížně realizovatelný, pokud není slučitelný s majetkoprávní situací, dopravním režimem, územním plánem nebo provozem veřejného prostoru. Metodika proto zdůrazňuje, že ochrana před přívalovými srážkami musí být součástí strategického plánování obce, nikoli pouze jednorázovou projektovou reakcí po škodní události.

Závěr

Adaptace urbanizovaných území na extrémní srážky vyžaduje kombinaci technických, přírodě blízkých, organizačních a krizových opatření. Dočasné retenční prostory a nouzové cesty odtoku umožňují snížit riziko lokálních záplav tím, že část nadbytečné vody zadrží nebo ji bezpečně převedou po povrchu území. Jejich návrh musí vycházet z hydrologicko-hydraulického modelování, znalosti lokálních rizik, zvolené míry ochrany a výhledu klimatické změny.

Pro praxi obcí je zásadní začlenit tato opatření do územního plánování, generelů odvodnění, plánů odvádění extrémních srážek a krizových dokumentů. Stejně důležitá je dlouhodobá správa, pravidelná údržba a informování veřejnosti. Nejvyšší účinnosti lze dosáhnout tehdy, když jsou DRP a povodňové koridory navrhovány jako součást širšího systému, který propojuje modrozelenou infrastrukturu, optimalizovanou stokovou síť, veřejný prostor a připravené krizové řízení.

Literatura

CzWA Service s.r.o. (2021): Analýza dokumentů pro koncepční hospodaření se srážkovou vodou v obcích. Zpracováno pro Ministerstvo životního prostředí ČR.

ČSN 73 6110 (2010): Projektování místních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Gregersen, I. B. et al. (2014): Past, present and future variations of extreme precipitation in Denmark: Technical report. Kongens Lyngby: DTU Environment. ISBN 978-87-92645-94-6.

Martínez-Gomariz, E., Gómez, M. a Russo, B. (2016): Experimental study of the stability of pedestrians exposed to urban pluvial flooding. Natural Hazards, 82(2), 1259-1278. DOI: 10.1007/s11069-016-2242-z.

NYC DEP [New York City Department of Environmental Protection] (2017): Cloudburst Resiliency Planning Study: Executive Summary. New York: NYC DEP.

Russo, B., Gómez, M. a Macchione, F. (2013): Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas. Natural Hazards, 69(1), 251-265. DOI: 10.1007/s11069-013-0702-2.

Suchánek, M. (2022): Generel odtokových poměrů urbanizovaného povodí a plán odvádění extrémních srážek v urbanizovaném území - Požadavky na zpracování projektů. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR.

The City of Copenhagen (2012): Cloudburst Management Plan 2012. Copenhagen: The City of Copenhagen.

Woods Ballard, B. et al. (2015): The SuDS Manual. London: CIRIA, C753. ISBN 978-0-86017-760-9.

Odvození návrhových srážek (IDF) a jejich změn pro území ČR

Autoři: [1]doc. Petr Kavka, Ph.D., [2]Ing. Filip Strnad, Ph.D.
Pracoviště: [1]Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze; [2]Fakulta životního prostředí, Česká zemědělská univerzita

Kontakt: petr.kavka@fsv.cvut.cz

Rozšířený abstrakt

Příspěvek představuje odvození krátkodobých návrhových srážkových úhrnů pro celé území České republiky včetně interpretace a vizualizace jejich změn v budoucím období. Cílem je představit prostorově spojité vrstvy využitelné pro hydrologické výpočty, návrh opatření, posuzování odtokových poměrů a adaptační plánování v urbanizovaných územích.

Základním vstupem byly IDF křivky pro 164 stanic ČHMÚ, zpracované v rámci projektu PERUN. Tyto křivky pokrývají návrhové srážky s dobou opakování 2 až 100 let a s délkou trvání od 5 minut do 3 dnů. Odvození vycházelo z měřených srážkových úhrnů v časovém kroku 1 a 10 minut za období 1951–2022. Druhým vstupem byly prostorově odvozené návrhové srážky pro délky trvání 1, 6 a 24 hodin a vybrané charakteristiky maximálních intenzit v rastru 1 × 1 km poskytnuté UFA. Tyto vrstvy sloužily jako pomocné vysvětlující proměnné pro geostatistické modelování.

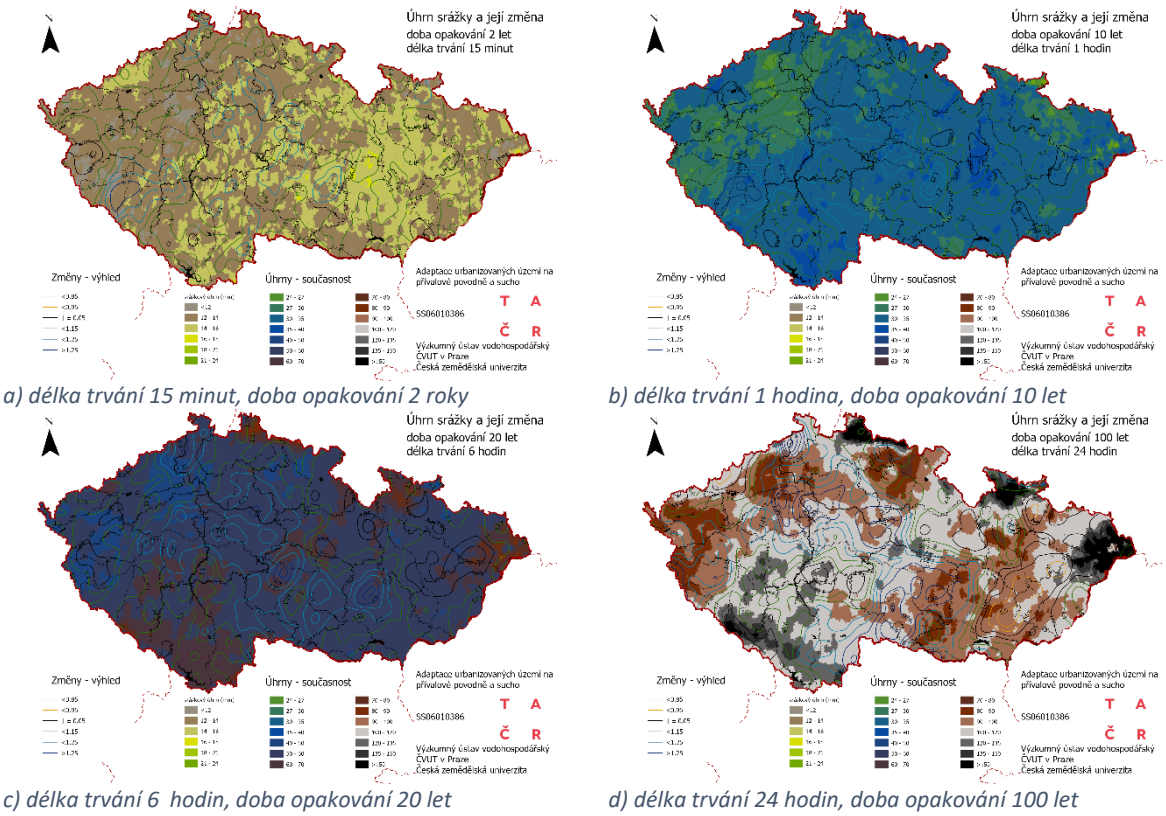
Pro převod staničních IDF vztahů do spojitého prostoru nebyly interpolovány přímo jednotlivé srážkové úhrny, ale parametry zjednodušené IDF funkce. Na staničních datech bylo testováno více funkčních tvarů; jako dostatečně přesná byla zvolena dvouparametrická mocninná funkce. Pro každou stanici a návrhovou úroveň byly odvozeny parametry a a b, míra shody R^2 a směrodatná odchylka reziduí. Tento postup umožňuje po prostorové interpolaci parametrů znovu dopočítat návrhové srážky pro požadované doby trvání a zachovat spojitý charakter IDF vztahu.

Prostorové zpracování bylo provedeno geostatistickými metodami v prostředí ArcGIS Pro / Geostatistical Analyst. Testovány byly zejména metody Empirical Bayesian Kriging a EBK Regression Prediction s různým nastavením. Výsledně byl zvolen model EBK Regression Prediction, který kombinuje regresní složku založenou na vysvětlujících rastrech s následným krigováním reziduí. Model tak využívá jak prostorový trend obsažený v pomocných vrstvách, tak prostorovou autokorelaci odvozenou ze staničních dat. Jako nejvhodnější varianta byl vybrán model se dvěma vysvětlujícími rastry návrhových srážek pro délky trvání 1 hodina a 24 hodin.

Výsledkem jsou rastrové vrstvy blokových návrhových srážek pro trvání 15, 30, 60, 120, 360 a 1440 minut a pro doby opakování 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let. Tyto kombinace umožňují sestavení IDF vztahů pro libovolné místo na území ČR a tvoří podklad pro další hydrologické a rizikové analýzy. Součástí zpracování bylo také porovnání odvozených hodnot s referenčními návrhovými srážkami pro délky 1, 6 a 24 hodin a vyhodnocení odchylek po jednotlivých územních jednotkách.

Na vrstvu současných návrhových srážek navazuje zpracování jejich očekávaných změn. Tato část využívá klimatické modelové simulace, stochastickou disagregaci srážkových řad a metodu Advanced Delta Change. Protože klimatické modely neposkytují dostatečně jemnou časovou strukturu pro přívalové srážky, byly hodinové řady disagregovány na pětiminutový krok. Následně byl pomocí kvantilově závislé transformace přenesen klimatický signál mezi historickým a budoucím obdobím. Tím lze rozlišit změny běžných srážek a extrémních hodnot, které jsou rozhodující pro návrhové krátkodobé úhrny.

Představeným výsledkem je pak Atlas změn srážek v České republice, který obsahuje tematické mapy současných návrhových srážek a jejich předpokládaných změn po jednotlivých krajích. Každý mapový list zobrazuje jednu kombinaci doby trvání a doby opakování. Současné návrhové srážky jsou vyjádřeny jako spojitá rastrová informace, zatímco očekávané změny jsou znázorněny pomocí izolinií nárůstu nebo poklesu intenzity. Atlas tak poskytuje nejen statický obraz současného srážkového zatížení, ale i podklad pro posouzení budoucího vývoje extrémních srážek a jejich dopadu na urbanizovaná území.



a) délka trvání 15 minut, doba opakování 2 roky

b) délka trvání 1 hodina, doba opakování 10 let

c) délka trvání 6 hodin, doba opakování 20 let

d) délka trvání 24 hodin, doba opakování 100 let

Obrázek 1: ukázka map zobrazujících návrhové srážky a jejich změny.

Odvození a charakteristiky urbanizovaných území a jejich přispívajících povodí pro potřeby hydrologických analýz

Autoři: doc. Petr Kavka, Ph.D. a Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.
Pracoviště: Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze

Kontakt: petr.kavka@fsv.cvut.cz

Rozšířený abstrakt

Vymezení hranice mezi sídlem a volnou krajinou představuje jeden ze základních kroků při hydrologických a odtokových analýzách. Zatímco určení povodí, vodních toků nebo vodních ploch je dnes běžně podporováno dostupnými prostorovými daty, jednoznačná celostátní datová vrstva vymezující skutečná urbanizovaná území v České republice dosud chyběla. Přitom právě tato hranice je klíčová pro hodnocení rizik přívalových povodní, kritických bodů, kolizí drah povrchového odtoku, erozních procesů i pro návrh adaptačních opatření v krajině a sídlech. Příspěvek představuje metodický postup odvození významných urbanizovaných území, využitelný zejména pro hydrologické aplikace.

Pojem urbanizované území zde není chápán pouze jako právně vymezený intravilán nebo zastavěné území podle územního plánování. Pro hydrologické účely je důležitější reálná prostorová struktura sídla a její vliv na odtokový režim. Urbanizované území je proto pojato jako souvislejší kompaktní plocha s převahou obytné, komerční, průmyslové nebo infrastrukturní funkce, která může uvnitř zahrnovat i menší plochy přírodního charakteru, například parky, zahrady nebo drobné proluky. Tato území se z hlediska nakládání se srážkovou vodou, výskytu nepropustných ploch, technické infrastruktury a povodňových rizik zásadně liší od okolní volné krajiny.

Základním datovým zdrojem pro odvození urbanizovaných území byla databáze ZABAGED®, doplněná o vybraná data z RÚIAN, LPIS a Digitální technické mapy. Metodika byla nejprve ověřována na rozsáhlém testovacím území zahrnujícím Prahu, středně velká města, menší obce i rozptýlenou venkovskou zástavbu a následně aplikována na celé území České republiky.

Vlastní postup nebyl založen na prostém sloučení všech objektů, které mohou být považovány za sídelní. Zvolen byl spíše opačný přístup: nejprve byly identifikovány a postupně zpřesňovány přírodní prvky, které s velkou pravděpodobností do urbanizovaných území nepatří. Následně byly řešeny nejednoznačné plochy, u nichž se rozhodovalo podle prostorových vztahů, zejména podle podílu společného obvodu s již určenou vrstvou přírodních prvků. Tento postup umožnil lépe rozlišit plochy na přechodu mezi sídlem a krajinou, například zahrady, parky, travní porosty se zástavbou, areály účelové zástavby nebo ostatní plochy v sídlech.

Významnou roli hrálo také zpracování budov. Vrstva budov v ZABAGED obsahuje miliony objektů, z nichž většina nemá podrobně určený typ. Proto byly budovy klasifikovány podle kombinace dostupných atributů, podkladové vrstvy, detailu využití plochy a v některých případech také podle velikosti. Tím bylo možné odlišit hydrologicky významnou sídelní zástavbu od drobných nebo izolovaných objektů v extravilánu. U složitějších vrstev, například ostatních nespecifikovaných ploch, ostatních ploch v sídlech nebo kolejišť, byla využita

pomocná hexagonální síť, která umožnila rozdělit komplikované polygony a oddělit liniové prvky podél komunikací od skutečně plošných urbanizovaných částí.

Menší osamocené prvky do 1 ha byly převážně vyřazeny jako nevýznamné, zatímco plochy nad 5 ha byly považovány za významné. U polygonů mezi 1 a 5 ha se posuzovala další kritéria, například přítomnost definičního bodu části obce, dominantní stavby, kanalizace, čistírny odpadních vod nebo významné dopravní infrastruktury.

Výsledkem metodiky je datová sada významných urbanizovaných území a přírodních prvků, která může sloužit jako vstup pro odtokové analýzy, hodnocení rizik přívalových povodní, posuzování ohrožení sídel povrchovým odtokem i pro návrh adaptačních opatření. Detailněji je celý postup představen v odborném článku (Strouhal, 2025)[1]: https://www.vtei.cz/2025/08/kde-konci-obec-vymezeni-urbanizovanych-uzemi-nejen-pro-odtokove-analyzy-2/

Zdroje dat pro hodnocení ohroženosti a rizik

Na vymezení urbanizovaných území navázalo odvození charakteristik potřebných pro hodnocení jejich ohroženosti a rizik. Hodnocení bylo založeno na rozlišení vnějších vod, přitékajících do intravilánu z okolních přispívajících ploch, a vnitřních vod, vznikajících přímo na ploše urbanizovaného území. Cílem bylo zachytit zejména ohrožení způsobené krátkodobými intenzivními srážkami, rychlou odtokovou odezvou malých povodí a soustředěným povrchovým odtokem.

Základním vstupem pro určení přispívajících ploch byl digitální model reliéfu DMR 4G v rastru 5 × 5 m. Nad hydrologicky upraveným modelem terénu byly odvozeny směry odtoku, akumulace odtoku, sklony, hranice povodí a dráhy soustředěného odtoku. Pro každé urbanizované území bylo nejprve stanoveno zpřesněné přispívající povodí a následně byly identifikovány dílčí plochy vázané na dráhy soustředěného odtoku vstupující do intravilánu.

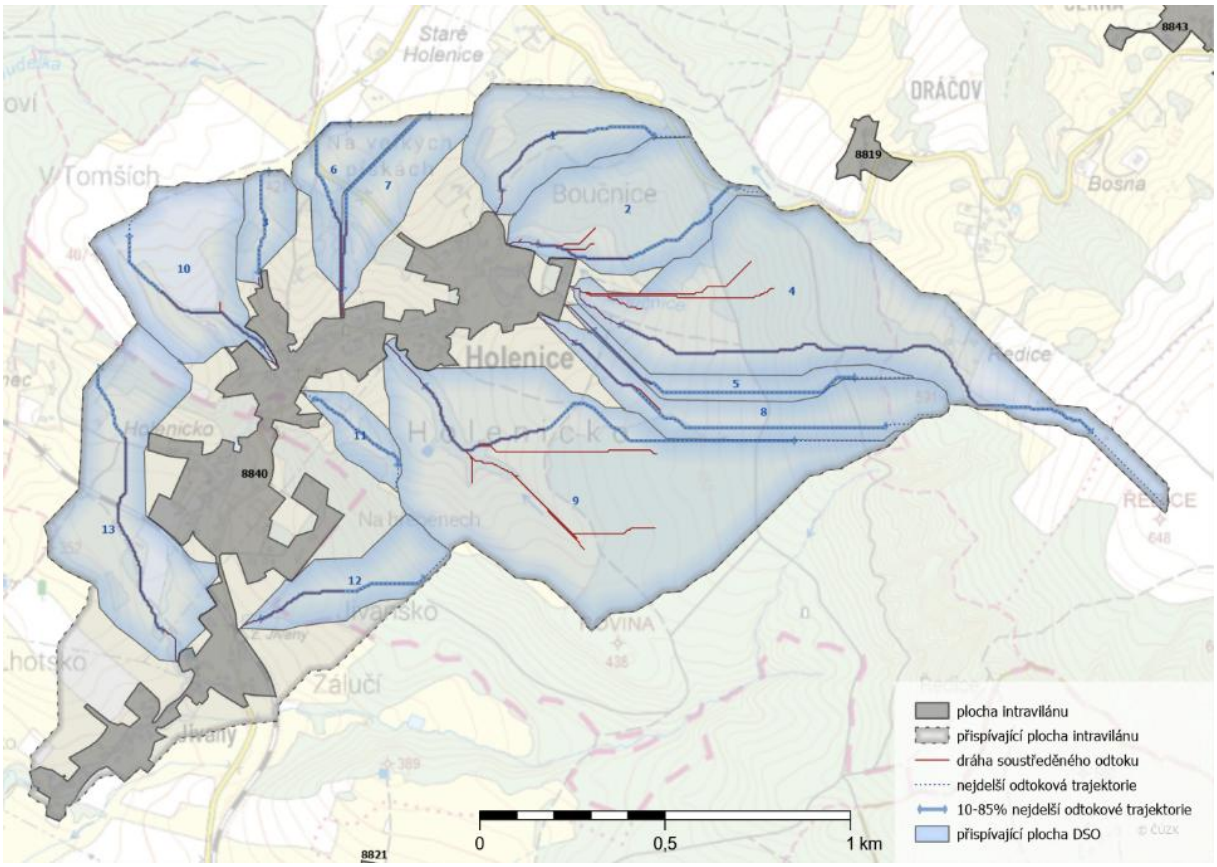
Analýza byla zaměřena na malá povodí a zdrojové plochy relevantní pro pluviální ohrožení sídel. Přispívající povodí byla omezena horní velikostí 5 km², zatímco dráhy soustředěného odtoku byly vymezovány od prahové přispívající plochy 0,3 km². Tím byly z hodnocení odděleny rozsáhlejší říční systémy, které jsou řešeny jinými metodickými postupy.

Pro charakterizaci odtokového potenciálu byly využity vrstvy využití území, hydrologických skupin půd a z nich odvozené hodnoty CN. Tyto vstupy byly zpracovány pomocí nástroje Czech Land Use and CN Analyzer (Jehlička, 2026) [2] v prostředí QGIS, který umožňuje automatizované přiřazení CN a výpočet přímého odtoku pro zadané návrhové srážky. Výstupem byly plošně vážené hodnoty CN, podíly nepropustných a polopropustných ploch a odtokové charakteristiky pro intravilány i jejich přispívající povodí.

[1] STROUHAL, L. and KAVKA, P. Where does a settlement end? Defining urban areas for more than just runoff analyses. *Water Management Technical and Economical Information Journal*, 2025, vol. 67, No. 4, p. 30–38. ISSN 0322-8916.
[2] JEHLIČKA, J., LANDA, M., and KAVKA, P. Czech Land Use and CN analyzer: an open tool for generating CN layers and calculating direct runoff from design rainfall in QGIS. *Water Management Technical and Economical Information Journal*, 2026, vol. 68, No. 2, p. 32–36. ISSN 0322-8916.

Samostatnou vstupní skupinu tvořily návrhové srážkové charakteristiky. Pro vnější vody byly využity zejména delší krátkodobé úhrny, například šestihodinová srážka, zatímco pro vnitřní vody byly sledovány kratší intenzivní srážky, například patnáctiminutové a hodinové úhrny. Tyto údaje doplňují morfologické a odtokové charakteristiky o prostorově proměnné srážkové zatížení.

Zpracování probíhalo v prostředí ArcGIS Pro a bylo automatizováno pomocí sady navazujících nástrojů a skriptů v jazyce Python s využitím knihoven ArcPy a vybraných nástrojů WhiteboxTools. Výsledné charakteristiky byly ukládány do geodatabází jednotlivých urbanizovaných území a následně agregovány do souhrnné databáze pro kategorizaci ohroženosti a rizik.



Obrázek 2: Ukázka prostorového odvození drah soustředěného odtoku a jejich přispívajících ploch