

# Kvantifikace dopadů přívalových srážek na pilotní oblasti v urbanizovaných územích

České vysoké učení technické v Praze  
Aqua Procon s.r.o.

## Obsah

1	Souhrn .....	1
2	Metodický postup řešení .....	2
2.1	Zatěžovací srážky .....	2
2.1.1	Srážkové řady .....	2
2.1.2	Extrémní srážky.....	3
2.2	Řešení vodní bilance .....	4
2.3	Scénáře řešení .....	4
2.4	Kritéria vyhodnocení .....	5
3	Simulace výhledového stavu .....	6
3.1	Bukovno .....	6
3.2	Běchovice.....	10
3.3	Pečky.....	14
4	Simulace s dočasnými retenčními prostory .....	18
5	Závěry .....	20

# 1 Souhrn

Tato zpráva shrnuje výsledky té části projektu, která byla zaměřená na kvantifikaci dopadů přívalových srážek v urbanizovaných územích a hodnocení účinnosti adaptačních opatření v kontextu probíhající klimatické změny. Práce realizované v roce 2025 metodicky přímo navazovaly na postupy ověřené v předchozí etapě řešení, které se ukázaly jako funkční a technicky proveditelné pro analýzu odtokových poměrů v pilotních lokalitách Bukovno, Běchovice a Pečky.

Základním rámcem řešení je matematické modelování systémů odvodnění v programech SWMM a MIKE URBAN s využitím několika typů zatěžovacích srážek. Srážkové řady byly v rámci projektu modifikovány o vliv klimatické změny. Pro simulace extrémních událostí (doby opakování N10 až N100) byl zvolen scénář představující nejvyšší riziko nárůstu srážkových intenzit pro urbanizované oblasti.

Klíčovým aspektem práce je posouzení citlivosti povodí na rozsah implementace prvků hospodaření s dešťovou vodou (HDV), uvažovaných ve variantách 0 %, 20 % a 40 % zapojení nepropustných ploch. Hodnocení vychází z komplexní vodní bilance zahrnující infiltraci, evapotranspiraci, objemy odváděné stokovou sítí, přepady na odlehčovacích komorách a výrony vody na terén. Efektivita opatření je kvantifikována pomocí sady výkonnostních ukazatelů, zejména celkové vodní bilance a míry přetížení sítě (MPS).

Dosavadní výsledky simulací výhledových stavů pro horizonty 2065 a 2100 potvrzují nelineární charakter přínosu HDV prvků. Zatímco v dlouhodobém měřítku vedou tato opatření k výraznému snížení hydraulického zatížení stokových sítí a redukci objemů přepadů na odlehčovacích komorách, při extrémních srážkových událostech se projevují limity jejich retenční kapacity. Navržená metodika a provedené simulace tak poskytují nezbytný podklad pro stanovení optimálního rozsahu adaptačních opatření a definování technických standardů pro budování dočasných retenčních prostorů a přírodě blízkých opatření v podmínkách českých měst.

## 2 Metodický postup řešení

Postup řešení představuje základní rámec pro dosažení cílů projektu a byla klíčovým prvkem již v předchozím roce řešení. Práce realizované v roce 2025 přímo navazují na metodické postupy definované a ověřené v roce 2024, přičemž jejich základní koncepce zůstala zachována. Důvodem je skutečnost, že navržená metodika se v průběhu předchozí etapy ukázala jako funkční, technicky proveditelná a vhodná pro naplnění stanovených cílů projektu.

V roce 2025 proto nebyla metodika řešení měněna, ale byla dále systematicky aplikována a využívána při navazujících analytických, simulačních a hodnotících pracích. Z tohoto důvodu má značná část této kapitoly charakter shrnutí a připomenutí již používaných a prověřených metodických postupů, které tvoří jednotný základ řešení napříč jednotlivými etapami projektu.

### 2.1 Zatěžovací srážky

Zatěžovací srážky jsou okrajovými podmínkami matematických simulací. Pro jednotlivé scénáře řešení byly pro pilotní lokality použity tyto typy dat:

- 5-ti leté srážkové řady
- Blokované deště

#### 2.1.1 Srážkové řady

Simulované srážkové řady jsou dílčím výstupem projektu. Konkrétně se jedná o oblast prací z WP1. Tyto časové řady odpovídají rozsahu výchozích historických srážek v letech 2018-2022 používaných pro simulace současného stavu prováděné v roce 2024. V simulovaných časových řadách je zahrnutý vliv klimatické změny v podobě zvýšených intenzit historických srážek nad určitou prahovou hodnotou.

Níže je uvedeno porovnání základních charakteristik srážkových řad v pilotních lokalitách pro jednotlivé časové horizonty (Tab. 1). Výhledový časový interval 2035-2065 je v dokumentu označen rokem 2065, 2070-2100 potom rokem 2100.

**Tab. 1:** Porovnání základních charakteristik srážkových řad v pilotních lokalitách

časový horizont	Bukovno		Běchovice		Pečky	
	roční úhrn	max. intenzita	roční úhrn	max. intenzita	roční úhrn	max. intenzita
	[mm/rok]	[mm/min]	[mm/rok]	[mm/min]	[mm/rok]	[mm/min]
<b>2023</b>	498.1	4.5	519.4	5.8	622.7	5.3
<b>2065</b>	501.9	4.9	532.5	6.6	663.6	6.6
<b>2100</b>	519.5	6.2	508.4	5.9	670.5	7.6

## 2.1.2 Extrémní srážky

Podkladem pro vytvoření blokových dešťů z náhradních intenzit byly klimatické faktory odvozené pro jednotlivé doby opakování a časová období. Řešitel využil klimatické faktory zpracované v rámci projektu a pro simulace vybral cluster reprezentující vyšší očekávané riziko nárůstu srážkových intenzit.

S ohledem na analyzování vlivu klimatické změny na chování urbanizovaného povodí a funkci MZI prvků byl zvolen Cluster 3, tedy scénář představující největší riziko pro urbanizované oblasti. Vynásobením původních intenzit zatěžovacích extrémních srážek příslušným klimatickým faktorem vznikly extrémní srážky pro výhledový časový horizont (Tab. 2).

**Tab. 2:** Přehled upravených intenzit extrémních srážek

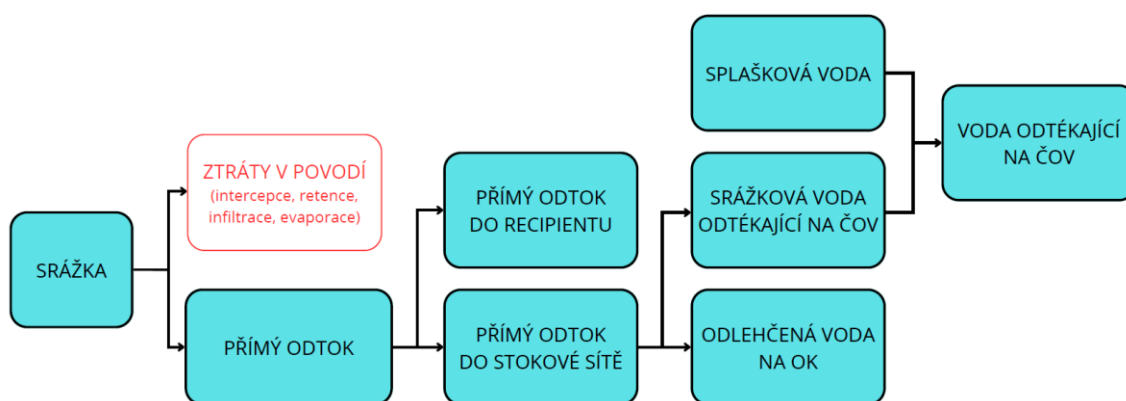
Cluster 3 t = 30 min		Bukovno					
		2023		2065		2100	
		intenzita	klimatický faktor	intenzita	klimatický faktor	intenzita	
		[mm/s]	[-]	[mm/s]	[-]	[mm/s]	
		N10	0.015	1.43	0.022	2.15	0.032
		N20	0.017	1.42	0.025	2.20	0.038
		N50	0.020	1.44	0.029	2.30	0.047
		N100	0.023	1.48	0.033	2.36	0.053
Cluster 3 t = 30 min		Běchovice					
		2023		2065		2100	
		intenzita	klimatický faktor	intenzita	klimatický faktor	intenzita	
		[mm/s]	[-]	[mm/s]	[-]	[mm/s]	
		N10	0.016	1.43	0.023	2.15	0.035
		N20	0.019	1.42	0.027	2.20	0.041
		N50	0.022	1.44	0.032	2.30	0.051
		N100	0.025	1.48	0.037	2.36	0.059
Cluster 3 t = 30 min		Pečky					
		2023		2065		2100	
		intenzita	klimatický faktor	intenzita	klimatický faktor	intenzita	
		[mm/s]	[-]	[mm/s]	[-]	[mm/s]	
		N10	0.010	1.15	0.011	1.39	0.013
		N20	0.011	1.16	0.013	1.49	0.017
		N50	0.013	1.20	0.016	1.64	0.022
		N100	0.015	1.21	0.018	1.76	0.026

Doba dotoku  $t$  byla převzata z předchozích výpočtů provedených v roce 2024. Tato hodnota byla stanovena na základě analýzy doby dotoku srážkové vody ve stokových systémech pilotních povodí. Postup spočíval v identifikaci nejvzdálenější šachty, do které byl přiveden testovací nátok, a následném porovnání průběhů průtoků v potrubí v její bezprostřední blízkosti a v šachtě na konci stokové sítě. Rozdíl v časech nástupu odtokové vlny byl interpretován jako minimální doba dotoku a využit pro stanovení délky blokového deště.

## 2.2 Řešení vodní bilance

Vyhodnocení výsledků simulací vychází z metodického přístupu ke stanovení vodní bilance pilotních povodí, který byl podrobně popsán v průběžné zprávě za rok 2024 a v roce 2025 nebyl zásadním způsobem měněn.

Vodní bilance intravilánových povodí zahrnuje jednak ztráty na povodí (infiltrace, evapotranspirace a přímý odtok do recipientu), jednak objemy vody odváděné stokovou sítí. Tyto objemy jsou dále členěny na vody přepadající na odlehčovacích komorách, vody vyteklé z kanalizačních šachet při intenzivních srážkových událostech a vody odváděné na čistírnu odpadních vod. Vody z dešťové kanalizace, povrchového odvodnění, odlehčovacích komor a výtoků ze šachet jsou uvažovány jako nátok do recipientu. Schéma vodní bilance je uvedeno na Obr. 1.



Obr. 1.: Schéma řešení vodní bilance

## 2.3 Scénáře řešení

Scénáře řešení použité v roce 2025 vycházejí z konceptu definovaného v průběžné zprávě za rok 2024 a nebyly v zásadě měněny. Řešení je nadále rozděleno na analýzy extrémních srážkových událostí s dobami opakování N10 až N100 a na hodnocení vodní bilance povodí založené na dlouhodobých časových řadách.

Prvky hospodaření s dešťovou vodou jsou v simulačních modelech reprezentovány jako reálné objekty s retenčním prostorem. V závislosti na místních podmínkách pilotních povodí jsou uvažovány vsakovací a retenční objekty, případně jejich kombinace, dimenzované v souladu s platnými technickými normami (ČSN 75 9010) a přiřazené jednotlivým podpovodím.

Vliv implementace prvků hospodaření s dešťovou vodou byl analyzován pro rozsah 0 %, 20 %, 40 % nepropustných ploch povodí tak, aby bylo možno sledovat citlivost povodí na rozsah dané úpravy. Tab. 3 představuje přehled scénářů řešení, kde scénáře uvedené šedým písmem byly analyzovány již v roce 2024.

Jak již bylo uvedeno v průběžné zprávě za rok 2024, modely Bukovno a Pečky jsou řešeny v programu SWMM, Běchovice potom v MIKE URBAN. Z toho důvodu se zadávání prvků HDV v modelech mírně liší – odtok z prvků HDV je v modelu Běchovic zaústěn zpět do kanalizace, zato v modelech Bukovna a Peček je odtok veden do recipientu a je tak součástí retence srážkové vody v povodí (ztráty).

**Tab. 3:** Přehled scénářů řešení

Časový horizont	HDV		
	0 % území	20 % území	40 % území
2023	$\check{R}_{HDV0}^{2023}$	$\check{R}_{HDV20}^{2023}$	$\check{R}_{HDV40}^{2023}$
	$N10_{HDV0}^{2023}$	$N10_{HDV20}^{2023}$	$N10_{HDV40}^{2023}$
	$N20_{HDV0}^{2023}$	$N20_{HDV20}^{2023}$	$N20_{HDV40}^{2023}$
	$N50_{HDV0}^{2023}$	$N50_{HDV20}^{2023}$	$N50_{HDV40}^{2023}$
	$N100_{HDV0}^{2023}$	$N100_{HDV20}^{2023}$	$N100_{HDV40}^{2023}$
2065	$\check{R}_{HDV0}^{2065}$	$\check{R}_{HDV20}^{2065}$	$\check{R}_{HDV40}^{2065}$
	$N10_{HDV0}^{2065}$	$N10_{HDV20}^{2065}$	$N10_{HDV40}^{2065}$
	$N20_{HDV0}^{2065}$	$N20_{HDV20}^{2065}$	$N20_{HDV40}^{2065}$
	$N50_{HDV0}^{2065}$	$N50_{HDV20}^{2065}$	$N50_{HDV40}^{2065}$
	$N100_{HDV0}^{2065}$	$N100_{HDV20}^{2065}$	$N100_{HDV40}^{2065}$
2100	$\check{R}_{HDV0}^{2100}$	$\check{R}_{HDV20}^{2100}$	$\check{R}_{HDV40}^{2100}$
	$N10_{HDV0}^{2100}$	$N10_{HDV20}^{2100}$	$N10_{HDV40}^{2100}$
	$N20_{HDV0}^{2100}$	$N20_{HDV20}^{2100}$	$N20_{HDV40}^{2100}$
	$N50_{HDV0}^{2100}$	$N50_{HDV20}^{2100}$	$N50_{HDV40}^{2100}$
	$N100_{HDV0}^{2100}$	$N100_{HDV20}^{2100}$	$N100_{HDV40}^{2100}$

$\check{R}$  = dlouhodobé srážkové řady

$NX$  = extrémní srážky dané doby trvání  $X$ , kde  $X = 10, 20, 50$  a  $100$

## 2.4 Kritéria vyhodnocení

Hodnocení bylo provedeno pomocí stejné sady klíčových výkonnostních ukazatelů jako u vyhodnocení současného. U simulací srážkových řad byly sledovány objem spadlé srážkové vody ( $V_{srážky}$ ), objem odtoku do kanalizace ( $V_{kan}$ ), objem zadržené vody ( $V_{ztráty}$ ), objem přepadů přes odlehčovací komory ( $V_{OK}$ ) a výrony vody na terén ( $V_{výron}$ ). Tyto ukazatele sloužily k vyčíslení celkové vodní bilance a k posouzení účinnosti plánovaných opatření.

V případě extrémních srážek byly navíc vyhodnocovány počty přetížených šachet a míra přetížení sítě (MPS), která vyjadřuje podíl délky přetížených úseků kanalizace vůči její celkové délce. Přetížení stokového úseku je definováno jako situace, kdy průtok v potrubí překročí jeho kapacitu ( $Q_{max}/Q_{kap} > 1$ ).

### 3 Simulace výhledového stavu

Tato kapitola se zaměřuje na vyhodnocení výhledového chování systémů odvodnění v pilotních povodích při zohlednění změny klimatu. Simulace byly provedeny pro jednotlivé časové horizonty a varianty zapojení prvků HDV. Cílem bylo posoudit citlivost povodí na změnu srážkového režimu, vyhodnotit účinnost navržených adaptačních opatření v dlouhodobém i extrémním měřítku a identifikovat limity současných systémů odvodnění z hlediska jejich budoucí funkčnosti.

#### 3.1 Bukovno

Výsledky simulací povodí Bukovno jsou představeny v Tab. 4., graficky jsou znázorněny na Obr. 2-4.

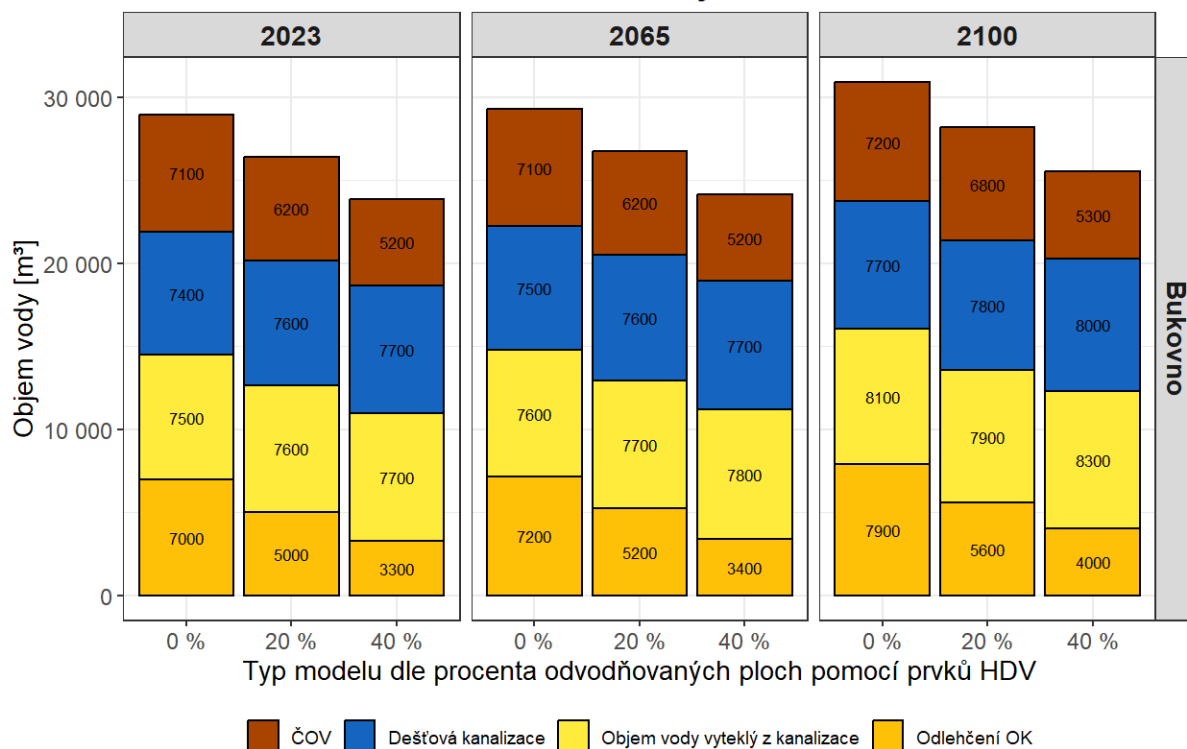
**Tab. 4:** Výsledky simulací – Bukovno

		Bukovno								
Časový horizont		2023			2065			2100		
Zapojení HDV [odpoj. % zpevněných ploch]		0 %	20 %	40 %	0 %	20 %	40 %	0 %	20 %	40 %
Srážkový úhrn h [mm/rok]		498,4	498,4	498,4	502,4	502,4	502,4	520,2	520,2	520,2
Spadá SV V <sub>srážky</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok]		162,4	162,4	162,4	163,7	163,7	163,7	169,5	169,5	169,5
Nátok splašků do kanalizace V <sub>splašky</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok]		28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6
Odtok SV kanalizací V <sub>kan</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		21,6 (13,3)	18,9 (11,6)	16,2 (10,0)	21,8 (13,3)	19,2 (11,7)	16,4 (10,0)	23,2 (13,7)	20,4 (12,0)	17,6 (10,4)
Přepad SV na OK V <sub>OK</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		7,0 (4,3)	5,0 (3,1)	3,3 (2,0)	7,2 (4,4)	5,2 (3,2)	3,4 (2,1)	7,9 (4,7)	5,6 (3,3)	4,0 (2,4)
Čištění SV na ČOV V <sub>čov</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		7,1 (4,4)	6,2 (3,8)	5,2 (3,2)	7,1 (4,3)	6,2 (3,8)	5,2 (3,2)	7,2 (4,2)	6,8 (4,0)	5,3 (3,1)
Odtok SV dešťovou kanalizací V <sub>DK</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		7,4 (4,6)	7,6 (4,7)	7,7 (4,7)	7,5 (4,6)	7,6 (4,6)	7,7 (4,7)	7,7 (4,5)	7,8 (4,6)	8,0 (4,7)
Zadržetí SV v intravilánu V <sub>ztráty</sub> [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		133,4 (82,1)	136,2 (83,9)	139,1 (85,7)	134,4 (82,1)	137,1 (83,8)	140,0 (85,5)	138,6 (81,8)	140,9 (83,1)	144,5 (85,3)
Počet přetížených uzlů systému odvodnění N <sub>výron</sub> [ks]	N10	2	2	1	16	16	16	25	25	25
	N20	7	5	4	22	22	22	27	27	26
	N50	14	14	14	23	23	23	31	31	31
	N100	19	19	18	25	24	25	33	32	32
Poměr přetížených uzlů a celk. počtu uzlů R <sub>výron</sub> [%]	N10	2	2	1	13	13	13	20	20	20
	N20	6	3	3	18	18	18	22	22	21
	N50	11	11	11	19	19	19	25	25	25
	N100	15	15	15	20	20	20	27	26	26
Výron SV z šachet V <sub>výron</sub> [tis. m <sup>3</sup> ]	N10	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	0,7	0,6	4,9	4,7	4,5
	N20	0,2	0,1	<0,1	1,8	1,6	1,5	7,7	7,4	7,1
	N50	0,6	0,5	0,3	3,5	3,3	3,1	12,0	11,8	11,5
	N100	1,2	1,0	0,8	5,4	5,0	4,9	15,5	15,3	15,0
Poměr přetížené a celkové délky systému MPS [%]	N10	7	5	4	19	20	24	36	35	35
	N20	16	10	8	24	27	26	38	35	36
	N50	17	18	21	32	34	31	38	38	37
	N100	21	20	23	37	35	35	38	39	38

Pozn.: Výsledky vyhodnocení srážkových řad jsou uvedeny aritmetickým průměrem období 5-ti let

Pozn.: Přetížený uzel = uzel s výronem nad 1 m<sup>3</sup>

## Distribuce srážkové vody ve stokové síti

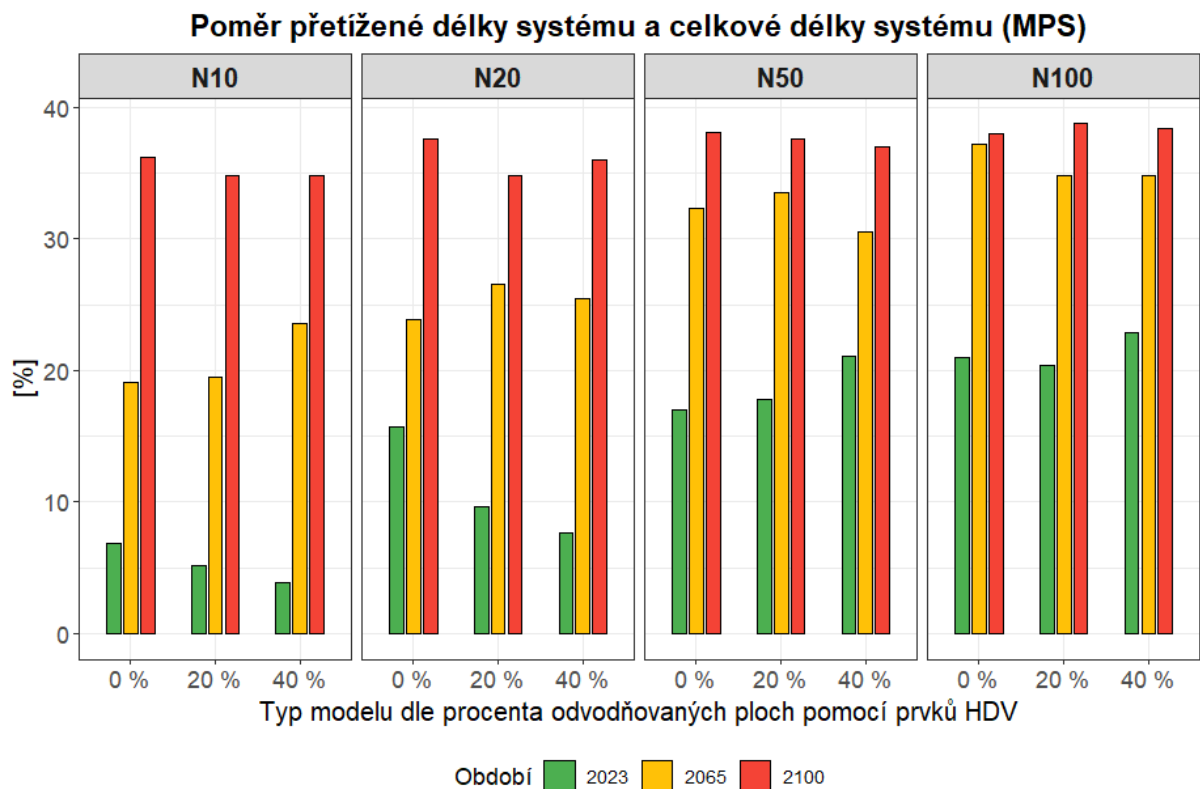


**Obr. 2:** Distribuce srážkové vody ve stokové síti – Bukovno

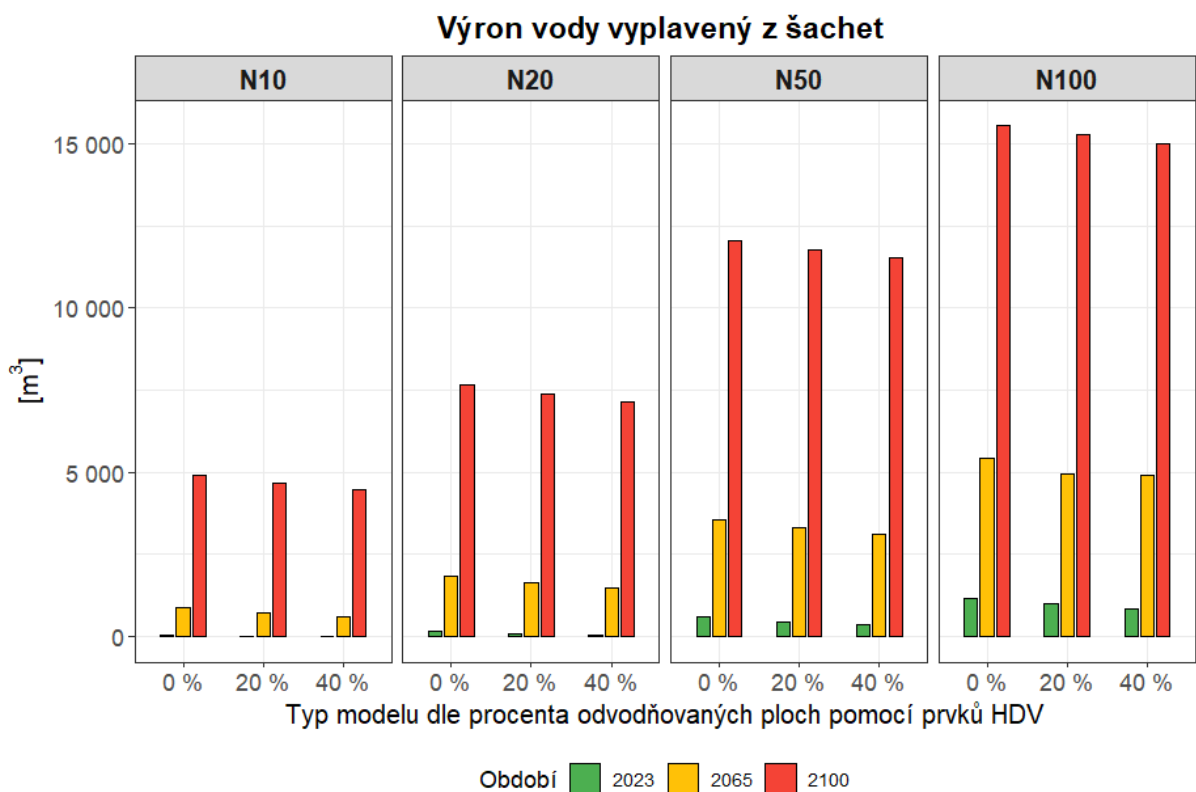
Výsledky dlouhodobých simulací potvrzují vysokou retenční schopnost území i relativně nízké hydraulické zatížení kanalizačního systému ve srovnání s ostatními hodnocenými lokalitami. Již ve výchozím období roku 2023 dosahuje podíl zadržené srážkové vody v intravilánu hodnot přesahujících 82 %, přičemž se zvyšujícím se zapojením prvků hospodaření s dešťovou vodou tento podíl dále narůstá až k hodnotám okolo 86 %.

Zavádění HDV se v dlouhodobém horizontu jednoznačně projevuje poklesem objemů srážkové vody odváděné kanalizační sítí i objemů vody přepadající přes odlehčovací komory. Přejít z varianty bez HDV na variantu s 20% zapojením HDV přináší výraznější relativní snížení těchto objemů než další navýšení na 40 %, což poukazuje na nelineární charakter přínosu adaptačních opatření. Tento trend je stabilní napříč všemi hodnocenými časovými horizonty.

S přechodem k výhledovým obdobím 2065 a 2100 dochází k mírnému nárůstu absolutních objemů srážkové vody i objemů odváděných kanalizací, nicméně relativní rozdělení vodní bilance zůstává zachováno. To naznačuje, že systém odvodnění v Bukovně je vůči postupnému nárůstu srážkových úhrnů relativně robustní a jeho chování se s klimatickou změnou mění spíše kvantitativně než kvalitativně.



Obr. 3: Míra přetížení sítě (MPS) v jednotlivých scénářích – Bukovno



Obr. 4: Objem výronu srážkové vody v jednotlivých scénářích – Bukovno

Analýza extrémních srážek ukazuje, že při méně extrémních událostech (N10, N20) zůstává funkčnost systému velmi dobrá, a to i ve výhledových obdobích. Počty přetížených uzlů i objemy výronů vody na terén jsou v referenčním období zanedbatelné a prvky HDV zde vykazují vysokou účinnost, zejména při snížení objemů výronů vody na povrch.

S rostoucí extrémností srážky (N50, N100) a v budoucích klimatických scénářích dochází k výraznému nárůstu jak počtu přetížených uzlů, tak celkového objemu výronů vody. Vliv HDV je patrný zejména ve snížení objemu výronů, zatímco jejich vliv na míru přetížení sítě (MPS) je v některých scénářích méně jednoznačný a vykazuje kolísání.

Tento jev lze vysvětlit tím, že po zaplnění retenční kapacity HDV je zadržaná voda odváděna do kanalizační sítě s časovým zpožděním, což může vést k prodloužení doby hydraulického zatížení a lokálnímu zvýšení míry přetížení potrubí. Z hlediska ochrany území je však tento efekt přijatelný, neboť dochází ke snížení nekontrolovaných výronů vody na terén.

## 3.2 Běchovice

Výsledky simulací pro pilotní povodí Běchovice jsou představeny v Tab. 5., graficky jsou potom znázorněny na Obr. 5-7.

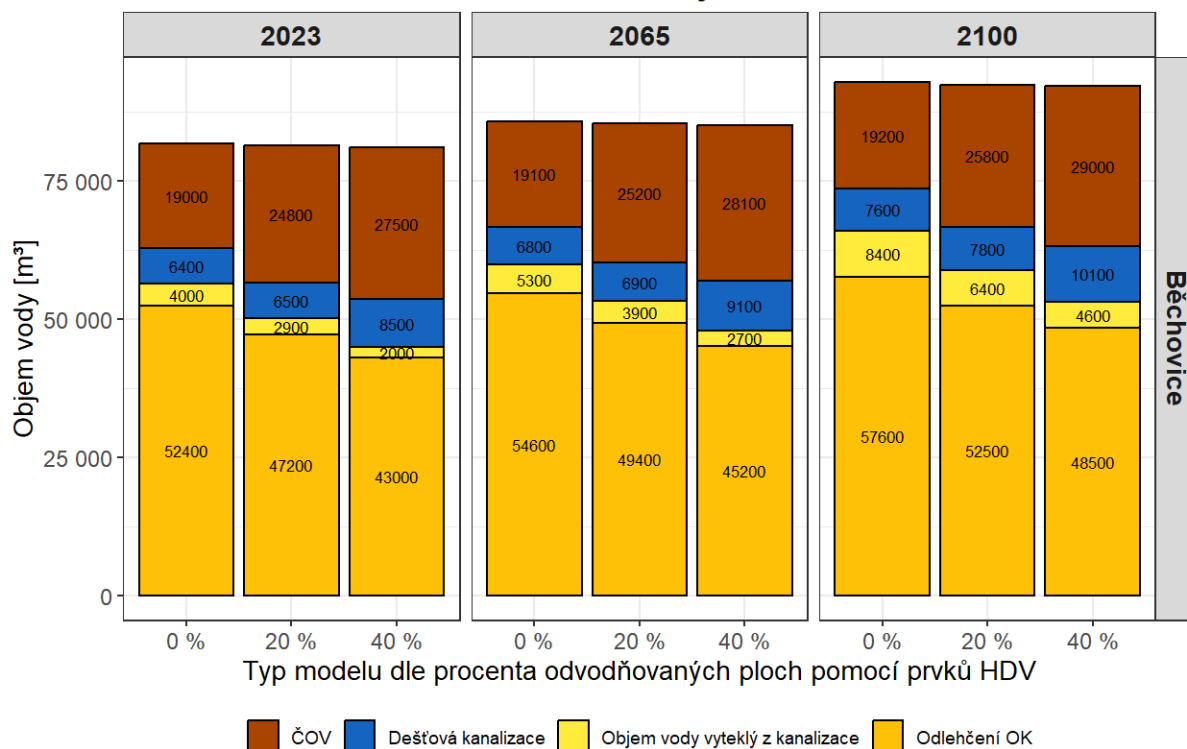
Tab. 5: Výsledky simulací – Běchovice

		Běchovice								
Časový horizont		2023			2065			2100		
Zapojení HDV [odpoj. % zpevněných ploch]		0 %	20 %	40 %	0 %	20 %	40 %	0 %	20 %	40 %
Srážkový úhrn h [mm/rok]		519,4	519,4	519,4	532,5	532,5	532,5	550,9	550,9	550,9
Spadá SV $V_{\text{srážky}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok]		265,3	265,3	265,3	271,9	271,9	271,9	281,3	281,3	281,3
Nátok splašků do kanalizace $V_{\text{splašky}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok]		99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2
Odtok SV kanalizací $V_{\text{kan}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		78,2 (29,5)	78,2 (29,5)	78,2 (29,5)	82,3 (30,3)	82,3 (30,3)	82,3 (30,3)	89,6 (31,9)	89,6 (31,9)	89,6 (31,9)
Přepad SV na OK $V_{\text{OK}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		52,4 (19,8)	47,2 (17,8)	43,0 (16,2)	54,6 (20,1)	49,4 (18,2)	45,2 (16,6)	57,6 (20,5)	52,5 (18,7)	48,5 (17,2)
Čištění SV na ČOV $V_{\text{čov}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		19,0 (7,2)	24,8 (9,3)	27,5 (10,4)	19,1 (7,0)	25,2 (9,3)	28,1 (10,3)	19,2 (6,8)	25,8 (9,2)	29,0 (10,3)
Odtok SV dešťovou kanalizací $V_{\text{DK}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		6,4 (2,4)	6,5 (2,5)	8,5 (3,2)	6,8 (2,5)	6,9 (2,5)	9,1 (3,3)	7,6 (2,7)	7,8 (2,8)	10,1 (3,6)
Zadržetí SV v intravilánu $V_{\text{ztráty}}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		187,1 (70,5)	187,1 (70,5)	187,1 (70,5)	189,6 (69,7)	189,6 (69,7)	189,6 (69,7)	191,7 (68,1)	191,7 (68,1)	191,7 (68,1)
Počet přetížených uzlů systému odvodnění $N_{\text{výron}}$ [ks]		N10 99 125 143	63 84 119 131	49 65 107 121	31 147 161 182	129 144 160 175	120 133 161 177	115 190 209 219	172 185 204 217	170 185 205 219
Poměr přetížených uzlů a celk. počtu uzlů $R_{\text{výron}}$ [%]		N10 N20 N50 N100	17 26 33 38	13 22 32 35	8 17 28 32	34 39 43 48	32 38 42 46	31 35 43 47	46 50 55 58	45 49 54 58
Výron SV z šachet $V_{\text{výron}}$ [tis. m <sup>3</sup> ]		N10 N20 N50 N100	1,9 3,5 6,1 8,1	1,3 2,7 5,0 6,9	0,7 1,7 3,6 5,2	6,6 9,3 13,4 17,2	5,3 7,9 11,8 15,6	4,0 6,4 10,1 13,8	15,4 20,5 28,3 34,4	13,8 18,9 26,6 32,7
Poměr přetížené a celkové délky systému MPS [%]		N10 N20 N50 N100	10 13 15 17	9 12 14 16	8 11 13 14	16 18 18 20	15 17 18 20	15 17 19 21	19 20 24 26	18 22 25 27

Pozn.: Výsledky vyhodnocení srážkových řad jsou uvedeny aritmetickým průměrem období 5-ti let

Pozn.: Přetížený uzel = uzel s výronem nad 1 m<sup>3</sup>

## Distribuce srážkové vody ve stokové síti



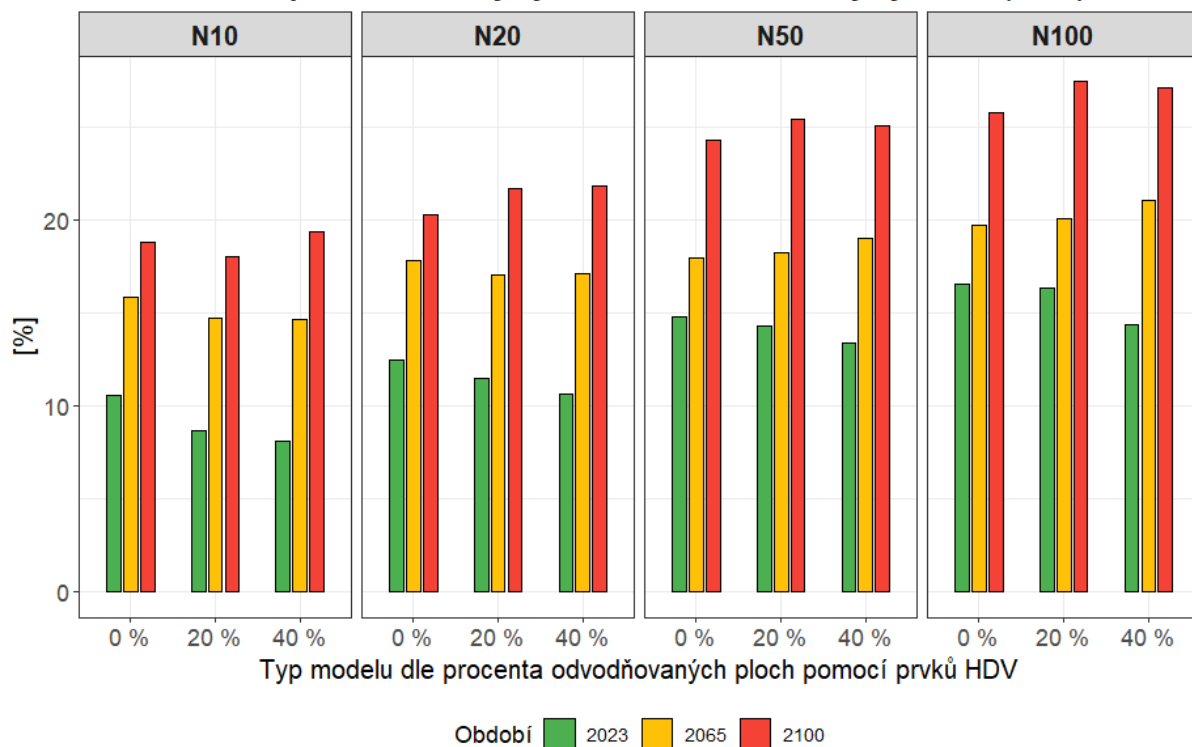
**Obr. 5:** Distribuce srážkové vody ve stokové síti – Běchovice

Výsledky analýzy dlouhodobých časových řad potvrzují, že zvyšující se podíl ploch odvodňovaných pomocí prvků HDV vede ke snížení hydraulického zatížení kanalizačního systému. Tento efekt se v podmínkách povodí Běchovice projevuje zejména poklesem objemů vody odlehčované přes odlehčovací komory a omezením nekontrolovaných výronů vody na povrch z kanalizační sítě, a to při současném zachování celkové vodní bilance povodí.

Na rozdíl od povodí s oddílným systémem se aplikace HDV v Běchovicích neprojevuje významnou změnou podílu zadržené srážkové vody v intravilánu, který zůstává ve všech hodnocených variantách prakticky konstantní. Přínos HDV se zde projevuje především redistribucí srážkového odtoku v rámci jednotné kanalizační soustavy, kdy část vody, která by byla bez retenčních opatření odlehčována přes odlehčovací objekty, je odváděna regulovaným odtokem směrem k čistírně odpadních vod. Tento proces se odráží ve snížení objemů přepadů přes odlehčovací komory a současném nárůstu objemů srážkové vody přitékající na ČOV.

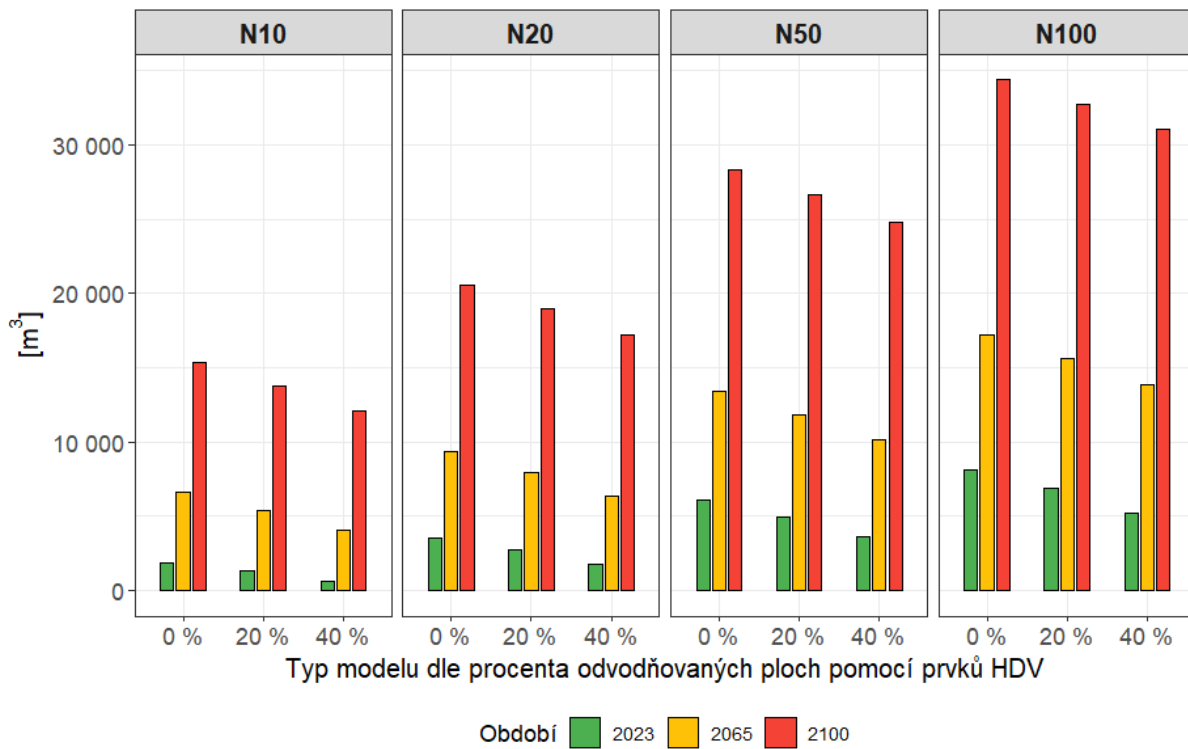
Vlivem rostoucí intenzity a četnosti srážek se prvky HDV častěji dostávají na hranici své kapacity a zadržaná voda je následně odváděna do jednotné kanalizace prostřednictvím bezpečnostních přepadů již během srážkové události. Tento proces se projevuje relativním nárůstem objemů vody odváděné kanalizační sítí i vody přitékající na ČOV a poukazuje na nutnost pečlivého zvažování návrhového deště jako kompromisu mezi požadovanou mírou bezpečnosti systému a technickými a provozními možnostmi jednotné kanalizace.

**Poměr přetížené délky systému a celkové délky systému (MPS)**



**Obr. 6:** Míra přetížení sítě (MPS) v jednotlivých scénářích – Běchovice

**Výron vody vyplavený z šachet**



**Obr. 7:** Objem výronu srážkové vody v jednotlivých scénářích – Běchovice

Analýza extrémních srážek ukazuje, s rostoucí dobou opakování srážky dochází k výraznému nárůstu počtu přetížených uzlů systému odvodnění i k nárůstu rozsahu přetížení stokové sítě, vyjádřeného parametrem MPS. Ve výhledových obdobích tyto hodnoty dosahují úrovní indikujících výrazné přetížení významné části systému.

Zvyšující se podíl HDV vede ke snížení celkového objemu výronů vody na terén i k omezení četnosti poruchových stavů, přičemž nejvýraznější relativní přínos je patrný již při zavedení HDV do systému. Současně se však ukazuje, že vliv HDV na snížení MPS je omezený a při velmi extrémních srážkách zůstává parametr MPS vysoký bez ohledu na rozsah zapojení retenčních opatření.

V některých scénářích se při vyšším podílu HDV projevuje prodloužení doby hydraulického zatížení systému, což souvisí s retenčním charakterem HDV a jejich regulovaným odtokem po dosažení maximální kapacity. Tento jev však nepředstavuje zhoršení ochrany území, neboť dochází k rozložení zatížení do delšího časového intervalu při nižších okamžitých průtocích a ke snížení objemu nekontrolovaných výronů vody na terén.

### 3.3 Pečky

Výsledky simulací pro pilotní povodí Pečky jsou představeny v Tab. 6., graficky jsou potom znázorněny na Obr. 8-10.

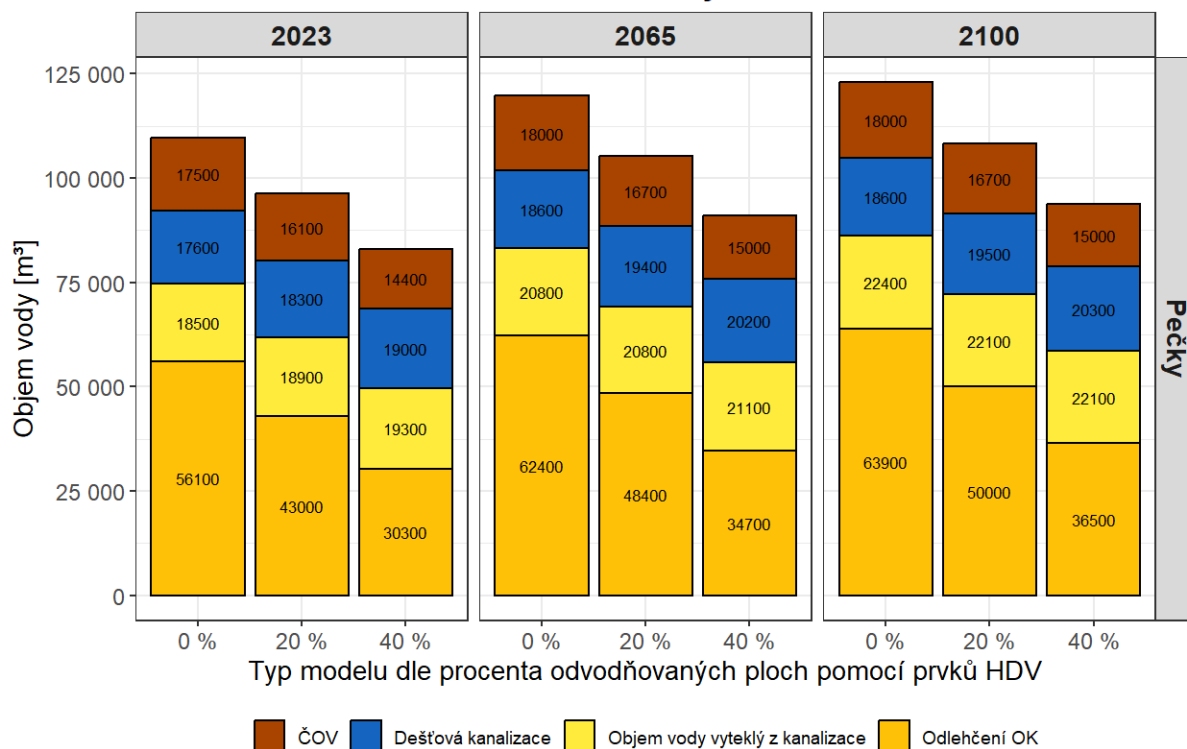
Tab. 6: Výsledky simulací – Pečky

		Pečky								
Časový horizont		2023			2065			2100		
Zapojení HDV [odpoj. % zpevněných ploch]		0 %	20 %	40 %	0 %	20 %	40 %	0 %	20 %	40 %
Srážkový úhrn h [mm/rok]		622,7	622,7	622,7	663,8	663,8	663,8	670,5	670,5	670,5
Spadá SV $V_{srážky}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok]		425,8	425,8	425,8	453,9	453,9	453,9	458,5	458,5	458,5
Nátok splašků do kanalizace $V_{splašky}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok]		274,1	274,1	274,1	274,1	274,1	274,1	274,1	274,1	274,1
Odtok SV kanalizací $V_{kan}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		92,0 (21,6)	78,0 (18,3)	64,0 (15,0)	101,2 (22,3)	85,9 (18,9)	70,8 (15,6)	104,3 (22,7)	88,8 (19,4)	73,5 (16,0)
Přepad SV na OK $V_{OK}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		56,1 (13,2)	43,0 (10,1)	30,3 (7,1)	62,4 (13,7)	48,4 (10,7)	34,7 (7,6)	63,9 (13,9)	50,0 (10,9)	36,5 (8,0)
Čištění SV na ČOV $V_{čov}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		17,4 (4,1)	16,1 (3,8)	14,4 (3,4)	18,0 (4,0)	16,7 (3,7)	15,0 (3,3)	18,0 (3,9)	16,7 (3,6)	15,0 (3,3)
Odtok SV dešťovou kanalizací $V_{DK}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		17,6 (4,1)	18,3 (4,3)	19,0 (4,5)	18,6 (4,1)	19,4 (4,3)	20,2 (4,5)	18,6 (4,1)	19,5 (4,3)	20,3 (4,4)
Zadržetí SV v intravilánu $V_{ztráty}$ [tis. m <sup>3</sup> /rok; (%)]		333,7 (78,4)	348,6 (81,7)	363,2 (85,3)	352,6 (77,7)	368,6 (81,2)	384,5 (84,7)	354,2 (77,3)	370,5 (80,8)	386,7 (84,3)
Počet přetížených uzlů systému odvodnění $N_{výron}$ [ks]	N10	0	0	0	2	2	2	18	18	15
	N20	1	0	0	14	14	10	28	28	29
	N50	2	2	2	27	25	26	46	46	47
	N100	19	18	15	33	31	32	64	64	64
Poměr přetížených uzlů a celk. počtu uzlů $R_{výron}$ [%]	N10	0	0	0	<1	<1	<1	8	8	6
	N20	<1	0	0	6	6	4	12	12	13
	N50	1	1	1	12	11	11	20	20	20
	N100	8	8	7	14	13	14	28	28	28
Výron SV z šachet $V_{výron}$ [tis. m <sup>3</sup> ]	N10	0	0	0	0,5	0,2	<0,1	2,3	1,7	1,4
	N20	<0,1	0	0	1,9	1,3	1,1	6,7	6,0	5,4
	N50	0,6	0,3	0	5,7	5,0	4,5	17,4	16,6	15,9
	N100	2,3	1,7	0	9,3	8,6	8,0	28,6	27,8	27
Poměr přetížené a celkové délky systému MPS [%]	N10	9	7	5	21	18	18	17	31	32
	N20	14	11	7	29	29	31	31	37	40
	N50	21	19	19	37	37	41	37	52	54
	N100	31	31	32	40	39	43	53	57	57

Pozn.: Výsledky vyhodnocení srážkových řad jsou uvedeny aritmetickým průměrem období 5-ti let

Pozn.: Přetížený uzel = uzel s výronem nad 1 m<sup>3</sup>

### Distribuce srážkové vody ve stokové síti



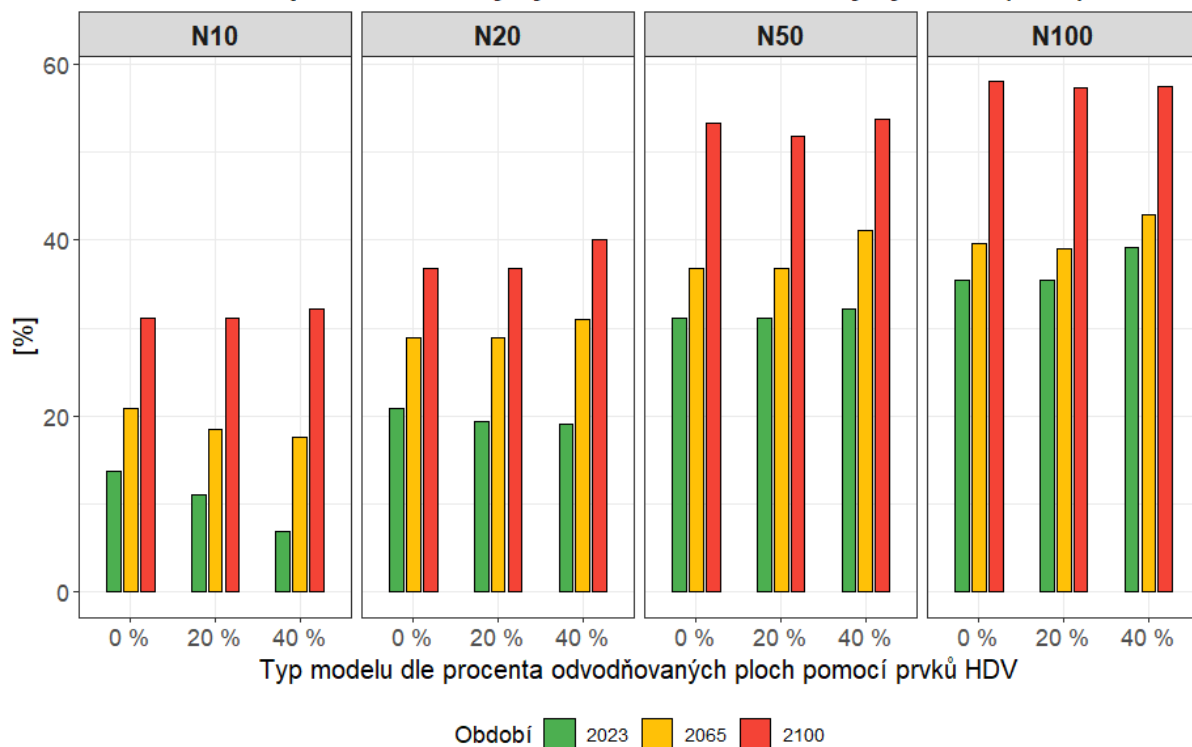
**Obr. 8:** Distribuce srážkové vody ve stokové síti – Pečky

Výsledky dlouhodobých simulací pro pilotní povodí Pečky jednoznačně potvrzují pozitivní vliv zapojení HDV na vodní bilanci území. Zvyšující se podíl HDV vede k výraznému nárůstu objemu zadržené srážkové vody v intravilánu, a to napříč všemi časovými horizonty. V referenčním období roku 2023 se podíl zadržené vody zvyšuje z přibližně 78 % na cca 82 % při zapojení 20 % HDV a na více než 85 % při zapojení 40 % HDV, což představuje významný pozitivní příspěvek HDV k vodní bilanci povodí. Obdobný trend je patrný i ve výhledových obdobích. Současně dochází k významnému poklesu objemů srážkové vody odváděné kanalizací a přepadající přes odlehčovací komory.

Ve výhledových časových horizontech dochází k nárůstu absolutních objemů odváděné vody, což odráží zvýšenou citlivost povodí na změny srážkového režimu. Relativní přínos prvků HDV však zůstává zachován, neboť jejich účinnost v dlouhodobém měřítku neklesá, ačkoli samotná opatření nemohou plně kompenzovat celkový nárůst srážkového odtoku.

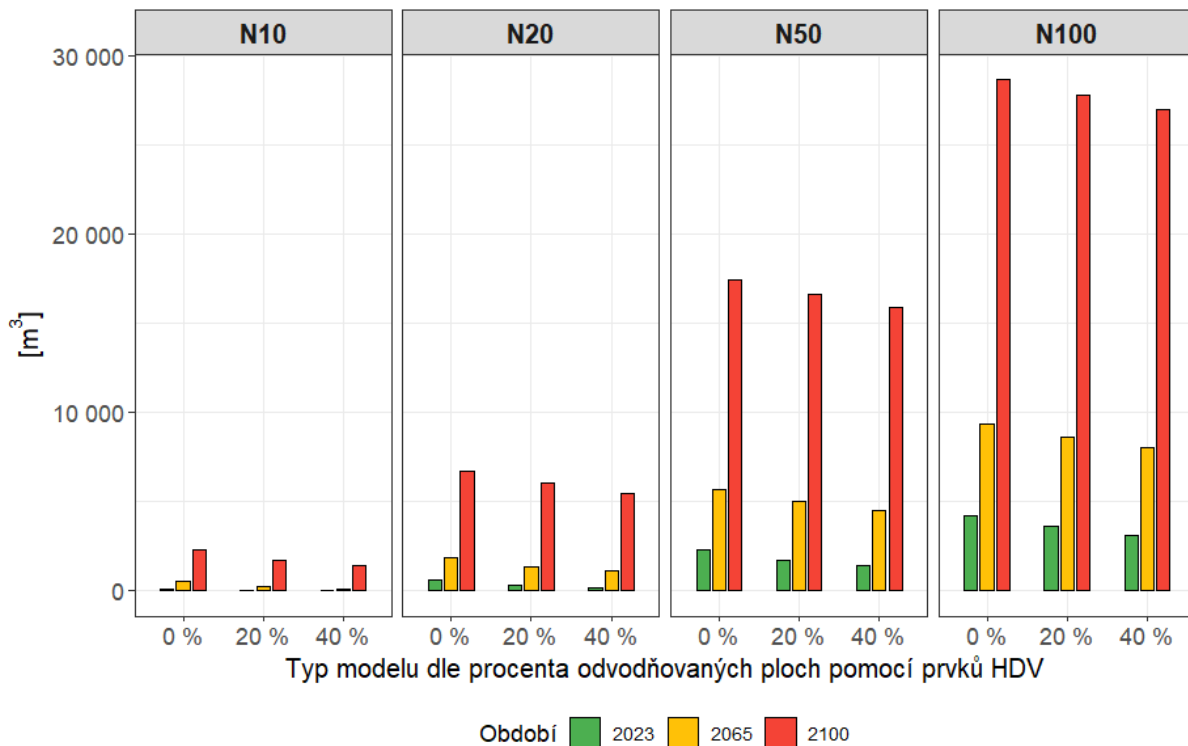
Analýza extrémních srážek ukazuje výrazně nelineární reakci systému odvodnění. Zatímco v roce 2023 jsou výrony vody na terén při srážkách N10 a N20 minimální až nulové, ve výhledových obdobích dochází k jejich prudkému nárůstu, zejména u scénářů N50 a N100. Počet přetížených uzlů i míra přetížení sítě (MPS) výrazně rostou a v extrémních scénářích dosahují hodnot, které indikují plošné selhání části stokového systému. Porovnání MPS u jednotlivých scénářů je k nahlédnutí na Obr. 11.

**Poměr přetížené délky systému a celkové délky systému (MPS)**



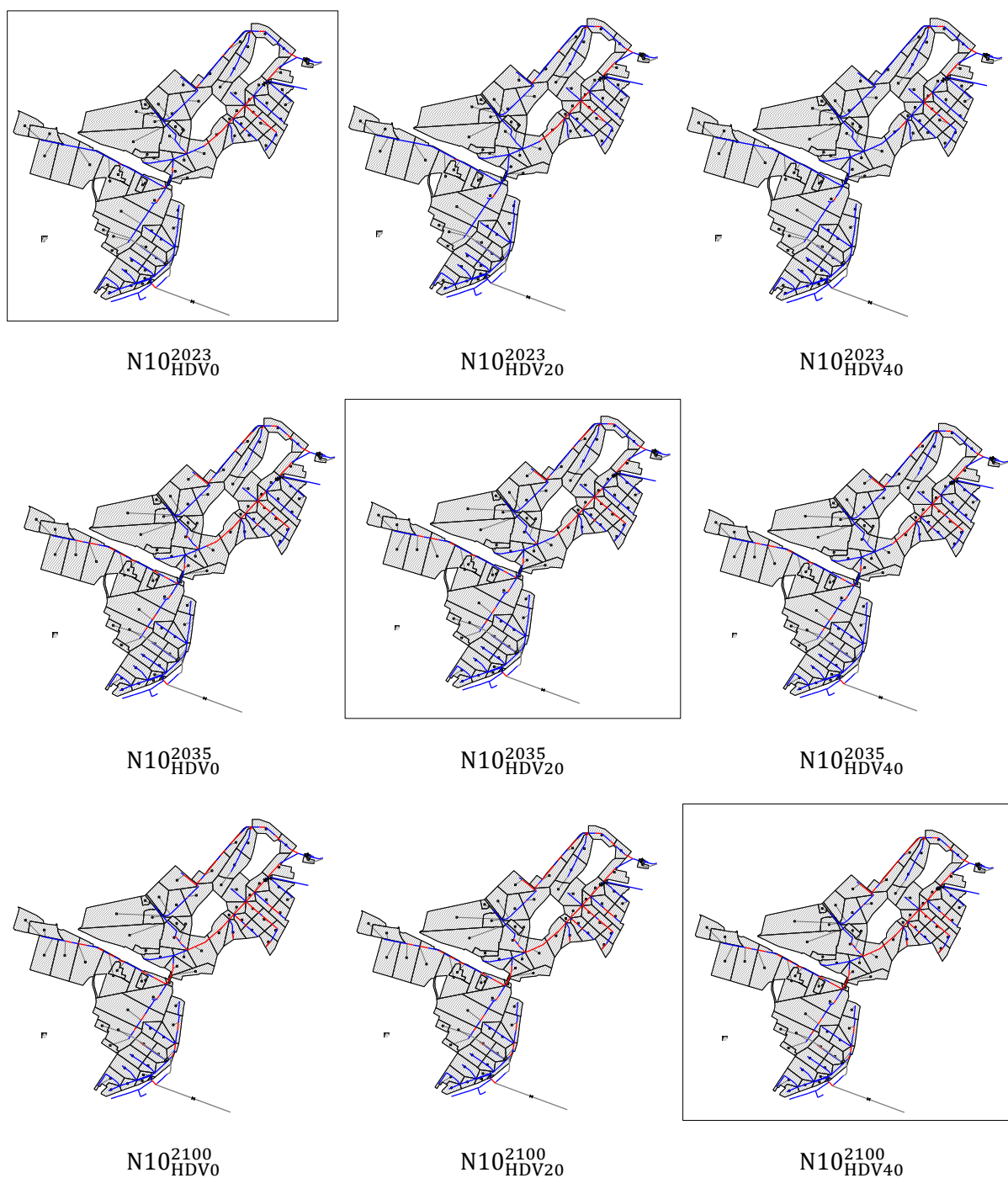
**Obr. 9:** Míra přetížení sítě (MPS) v jednotlivých scénářích – Pečky

**Výron vody vyplavený z šachet**



**Obr. 10:** Objem výronu srážkové vody v jednotlivých scénářích – Pečky

Prvky HDV vykazují vysokou účinnost při méně extrémních srážkách, kdy výrazně snižují objem výronů vody na terén i počet přetížených uzlů. Jejich účinnost je však závislá na celkové vodnosti roku – v méně vodných podmínkách dochází k významné kompenzaci výronů, ve více vodných letech je tento efekt omezený. S rostoucí intenzitou srážky se retenční kapacita HDV rychle vyčerpává a po jejím zaplnění je přebytečná voda odváděna do kanalizační sítě, což se projevuje omezeným vlivem na snížení MPS a v některých scénářích i jejím mírným nárůstem. Tento jev nepředstavuje zhoršení ochrany území, ale časovou redistribucí odtoku; v extrémních scénářích HDV primárně snižují objem výronu vody na terén, nikoli MPS, což je zásadní pro ochranu urbanizovaného území před povrchovými záplavami.



**Obr. 11:** Přetížené úseky (červeně) stokové sítě v Peččákách při dešti N10, porovnáním orámovaných schémat je demonstrována účinnost prvků HDV v kompenzaci změny klimatu

## 4 Simulace s dočasnými retenčními prostory

Návrh dočasných retenčních prostor v pilotních lokalitách vychází z předpokladu, že extrémní srážkové události nelze bezpečně zvládnout výhradně prostřednictvím kapacit stokové sítě a standardních prvků HDV, což ostatně deklarují i výsledky uvedené v kapitole 3. Při simulacích došlo k přetížení systému, které se projevilo výrony vody na terén a neřízeným povrchovým odtokem. Z tohoto důvodu byl systém odvodnění doplněn o opatření umožňující dočasné zadržení nadbytečných objemů vody vznikajících při extrémních srážkách.

Výstupy modelových simulací se zatěžovacími srážkami posloužily k identifikaci lokalit s opakovaným výronem vody na terén a výrazným přetížením stokové sítě. Na základě těchto výsledků byly do těchto lokalit navrženy dočasné retenční prostory jakožto prostory umožňující krátkodobé zadržení nadbytečných objemů vody tak, aby jejich odtok neohrožoval obyvatele ani technickou infrastrukturu intravilánu. Účinnost navržených opatření byla vyhodnocena jako vliv opatření na objemy výronů vody na terén v podmínkách současného i budoucího klimatu (Tab. 7 pro povodí Pečky). Rok 2020 byl pro vyhodnocení vybrán jakožto nejvodnatější.

**Tab. 7:** Porovnání objemů výronu srážkové vody z šachet pro časový horizont 2035 s odpojením 20 % zpevněných ploch a 2100 s odpojením 40 % zpevněných ploch vůči výronu při nulovém zapojení HDV

2035	Výron [m <sup>3</sup> ]					
	2020	N5	N10	N20	N50	N100
HDV0	3 351	0	212	1 354	5 057	8 673
HDV20	2 107	0	5	539	3 751	7 284
ROZDÍL	-37.1%	---	-97.6%	-60.2%	-25.8%	-16.0%

2100	Výron [m <sup>3</sup> ]					
	2020	N5	N10	N20	N50	N100
HDV0	4 393	1	1 400	5 475	15 968	27 099
HDV40	3 171	0	527	4 144	14 568	25 699
ROZDÍL	-27.8%	-100.0%	-62.4%	-24.3%	-8.8%	-5.2%

Výsledky pro budoucí období 2035 a 2070 potvrzují, že zapojení dočasných retenčních prostor vede k výraznému snížení výronů vody na terén, zejména u srážek s nižší a případně střední dobou opakování. V období 2035 dochází u scénáře N10 k téměř úplné eliminaci výronů a u scénáře N20 ke snížení objemů přibližně o 60 %. S rostoucí extrémností srážky se relativní účinnost opatření snižuje, což souvisí s postupným vyčerpáním retenční kapacity DRP a omezenou možností regulace odtoku při velmi vysokých intenzitách deště.

V období 2070 se absolutní objemy výronů vody na terén výrazně zvyšují, což odráží zesílení dopadů klimatické změny a potvrzuje nelineární reakci systému odvodnění na extrémní srážky. Přesto si navržená opatření zachovávají významný relativní přínos, zejména u srážek s nižší, případně střední dobou opakování, kde dochází k redukci výronů o desítky procent, případně k jejich téměř úplné eliminaci. U nejextrémnějších scénářů (N50 a N100) se účinnost opatření snižuje na jednotky procent, což však neznamená jejich selhání, ale potvrzuje, že jejich hlavní funkcí není úplné zabránění výronům, nýbrž omezení jejich objemu, prostorové koncentrace a neřízeného šíření v území.

Výsledky tak potvrzují, že dočasné retenční prostory představují účinný adaptační nástroj pro řízení rizik spojených s extrémními srážkami, a to i v podmínkách klimatické budoucnosti. Jejich přínos spočívá především ve snížení nejkritičtějších dopadů na urbanizované území, ochraně obyvatel a infrastruktury a v řízeném zadržení nadbytečných objemů vody. Současně však výsledky ukazují, že tato opatření musí být chápána jako součást širšího systému adaptace, nikoli jako samostatné řešení schopné plně kompenzovat nárůst extrémních srážkových událostí.

## 5 Závěry

Výsledky provedených simulací potvrzují, že změna klimatu představuje významný faktor ovlivňující budoucí funkčnost systémů odvodnění urbanizovaných území. Ve všech hodnocených pilotních povodích dochází ve výhledových časových horizontech k nárůstu srážkových úhrnů a zejména maximálních intenzit srážek, což se projevuje zvýšeným hydraulickým zatížením kanalizačních systémů, nárůstem objemů přepadů a výronů vody na terén i rozsahem přetížení stokové sítě při extrémních srážkových událostech.

Analýza dlouhodobých srážkových řad ukazuje, že zapojení prvků hospodaření s dešťovou vodou představuje účinný nástroj ke snížení hydraulického zatížení kanalizačních systémů. Přínos těchto opatření se však v jednotlivých lokalitách liší v závislosti na typu kanalizační soustavy a charakteru povodí. Zatímco v povodích s vyšší přirozenou retenční schopností se HDV projevují zejména snížením objemů odváděné vody a přepadů, v územích s jednotnou kanalizací dochází především k redistribuci srážkového odtoku v rámci systému. Ve všech případech je patrný nelineární charakter přínosu HDV, kdy nejvýraznější zlepšení nastává již při jejich základním zapojení.

Výsledky simulací extrémních srážek potvrzují výrazně nelineární reakci systémů odvodnění na zvyšující se intenzitu srážek. Při srážkách s nižší a střední dobou opakování zůstává funkčnost systémů při zapojení adaptačních opatření zachována, zatímco při scénářích s vysokou dobou opakování dochází k rozsáhlému přetížení stokové sítě a nárůstu výronů vody na terén. Prvky hospodaření s dešťovou vodou i dočasné retenční prostory v těchto podmínkách významně snižují objem nekontrolovaných výronů, avšak jejich vliv na míru přetížení sítě je omezený a při extrémních scénářích nedokážou samostatně zabránit poruchovým stavům.

Simulace s dočasnými retenčními prostory dále potvrzují, že tato opatření představují účinný adaptační nástroj zejména pro omezení nejkritičtějších dopadů extrémních srážek na urbanizované území. Jejich přínos spočívá především ve snížení objemů výronů vody na terén, v omezení jejich prostorové koncentrace a v řízeném zadržení nadbytečných objemů vody. Současně však výsledky jednoznačně ukazují, že tato opatření musí být chápána jako součást širšího systému adaptace, který kombinuje technická, provozní a koncepční opatření a reflektuje očekávaný vývoj klimatických podmínek.