



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

PŘÍRODĚ BLÍZKÁ OPATŘENÍ V INTRAVILÁNU MĚSTA BRNA

NATURE-FRIENDLY MEASURES IN THE URBAN CITY OF BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lenka Svobodová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0732A260019 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lenka Svobodová
Název	Přírodě blízká opatření v intravilánu města Brna
Vedoucí práce	doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Územně plánovací dokumentace města Brna

- Hospodaření vodou. Praha: ČKAIT, 2019. Stavební kniha. ISBN 978-80-88265-15-3.

- VÍTEK, Jiří, David STRÁNSKÝ, Ivana KABELKOVÁ, Vojtěch BAREŠ a Radim VÍTEK.

Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.

- SLAVÍK, Ladislav a Martin NERUDA. Voda v krajině. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2007. ISBN 978-80-7044-882-3.

TNV a ČSN:

- TNV 75 2415 Suché nádrže

- TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami

- ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce bude zaměřena na zlepšení kvality životního prostředí ve městě. Cílem je identifikace problematické části a nalezení vhodného přírodě blízkého protipovodňového opatření (PBPO). Teoretická část práce se bude věnovat obecně problematikou PBPO ve městech, navazovat bude praktická část. Stěžejní část náplně práce (praktická část) bude zpracovávat podklady pro projekt revitalizace řeky Svratky v k.ú. Brno. V návaznosti na chystaná protipovodňová opatření na Svratce bude proveden návrh přírodě blízkých protipovodňových opatření v blízkosti železničního viaduktu v ulici Uhelná. Návrh řešení bude zahrnovat výběr konkrétní lokality, situační výkresy, vzorové řezy, bilance apod., včetně zahrnutí vlivu navrhovaného řešení pro konkrétní lokalitu (slovní popis odůvodnění správnosti návrhu).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku klimatické změny ve městech. Prostřednictvím přírodě blízkých adaptačních opatření představuje v teoretické části formy řešení klimatické změny v intravilánu. V návaznosti na to jsou vybrány fungující příklady z města Brna.

Praktická část se zabývá konkrétním návrhem přírodě blízkého opatření v Brně ve formě částečné revitalizace toku řeky Svatky a přilehlého okolí. Následovalo ověření správnosti a funkčnosti návrhu pomocí 1D a 2D numerického modelu. Výstupem práce jsou přiložené technické výkresy spolu s mapami simulace povodně.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klimatická změna, adaptační opatření, přírodě blízká opatření, modro-zelená infrastruktura, revitalizace, přírodě blízká protipovodňová opatření, povodeň, HEC RAS, přírodní park

ABSTRACT

The thesis is focused on climate change impact in cities. In its first general section various nature-based adaptation solutions for urban areas are presented. Functional instances of finished implementations from city of Brno are named.

The second, practical, section a particular proposal of nature-based solution for Brno by partial revitalization of Svatka river and its surrounding area is shown. The feasibility is supported by 1D and 2D numerical models. Crucial output of the work are technical drawings and flood simulation maps.

KEYWORDS

Climate change, adaptation, nature-based solution, blue-green infrastructure, revitalization, nature-based flood protection, flood, HEC RAS, nature park

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Lenka Svobodová *Přírodě blízká opatření v intravilánu města Brna*. Brno, 2022.
73 s., 83 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Přírodě blízká opatření v intravilánu města Brna* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 7. 1. 2022

Bc. Lenka Svobodová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Přírodě blízká opatření v intravilánu města Brna* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7. 1. 2022

Bc. Lenka Svobodová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Michalovi Kriškovi, Ph.D. za čas a praktické rady při vypracování závěrečné práce. Zároveň bych chtěla poděkovat panu Ing. Davidovi Duchanovi, Ph.D. za odborné rady k ovládní softwaru HEC RAS a také panu prof. Ing. Miroslavu Dumbrovskému CSc.

Dále bych ráda poděkovala Ing. Zdeňkovi Drašarovi a jeho kolegům z firmy ŠINDLAR s.r.o. za inspiraci a odborné rady v oblasti vodohospodářských revitalizací. Mé díky také patří celé rodině za jejich velkou trpělivost a podporu.

Obsah

1	Úvod	10
2	Klimatická změna	12
2.1	Klimatická změna a města	12
2.2	Formy řešení klimatické změny	14
3	Adaptační opatření	16
3.1	Popis přírodě blízkých opatření ve městě	17
3.2	Přírodě blízká protipovodňová opatření (PBPO)	19
3.2.1	Revitalizace prostředí jako forma PBPO	19
3.2.2	Zásady při navrhování PBPO	20
3.3	Příklady adaptačních opatření z města Brna	27
4	Zájmová lokalita	31
4.1	Historie zájmové lokality	31
4.1.1	Historické povodně v okolí zájmové lokality	32
4.2	Použité podklady pro vypracování návrhu	32
4.3	Územně plánovací dokumentace a záměry v území	33
4.3.1	Vlastnické parcely	33
4.4	Další údaje k řešenému území	33
4.4.1	Povodí	34
4.4.2	Klimatické poměry	34
4.4.3	Geomorfologie a biogeografie	34
4.4.4	Geologie	35
4.4.5	Hydrologické údaje	36
4.4.6	Další podklady	37
5	Popis navrženého řešení	39
5.1	Řeka	40
5.2	Přírodní park	40
6	Řešení návrhu	42
6.1	Teorie proudění vody v otevřených korytech	42
6.1.1	Proudění vody v jednorozměrném prostředí (1D)	43
6.1.2	Proudění vody ve dvojrozměrném prostředí (2D)	45
6.2	Stávající stav	46
6.2.1	Digitální model terénu (DMT)	46
6.2.2	Výpočet modelu stávajícího stavu (2D proudění)	47

6.2.3	Fotodokumentace stávajícího stavu.....	49
6.3	Návrhový stav	53
6.3.1	Návrh bermy a povodňového parku na návrhové průtoky Q_{30d} a Q_1	53
6.3.2	Složený profil koryta a tvorba DMT	53
6.3.3	Výpočet modelu návrhového stavu (1D proudění).....	54
6.3.4	Výpočet modelu návrhového stavu (2D proudění).....	56
6.4	Finalizace návrhu	57
7	Parametry navrhovaných objektů	58
7.1	Kyneta.....	58
7.2	Ostrov.....	59
7.3	Berma.....	59
7.4	Přírodní park	61
8	Závěr.....	63
9	Seznam použitých zdrojů.....	65
10	Seznam obrázků.....	69
11	Seznam tabulek.....	70
12	Seznam použitých zkratk a symbolů	71
13	Seznam příloh	73

1 Úvod

Žijeme ve světě, kdy pojem klimatická změna je každým dnem více skloňován a není tomu jinak i v souvislosti s městy. S rostoucí urbanizací se zvyšuje tlak na nezastavěné části měst a jejich přilehlé oblasti. Město na tento jev reaguje a vyvíjí svou aktivitu. Je však důležité reagovat udržitelně; adaptovat se s dlouhodobým výhledem, tvořit a aktualizovat strategické plány ruku v ruce s územními plány. Urbanizaci ani klimatickou změnu zřejmě nezastavíme. S čím však lze pracovat je adaptace či mitigace, hledání výhledových, časově stabilních a udržitelných řešení, díky kterým náš život ve městech bude bezpečnější, zdravější a komfortnější.

Města rostou neuvěřitelnou rychlostí, ale s tím rozhodně nezaostávají ani nápady, projekty, vize či strategie, jak se s nepříznivými vlivy vyrovnat. Pro to, abychom mohli tvořit města fungující a více udržitelná, je zapotřebí zapojit do problematiky, co nejpestřejší okruh lidí, ať už z řad odborníků, veřejné správy, developerů, studentů či veřejnosti.

Problematika udržitelného rozvoje města je obsáhlá. Tato práce se bude opírat především o pilíř environmentální, přestože jsou bezprostředně propojeny se zbylými dvěma pilíři (ekonomický a sociální).

Cílem této práce je představení teoretických možností a následně konkrétního technického řešení, kterým by město mohlo reagovat na přibývajících klimatické problémy, a to především z pohledu životního prostředí. Pomocí přírodě blízkých opatření, ať už se jedná o zelenou či modrou infrastrukturu nebo jejich kombinaci, je možné město adaptovat na nejen budoucí klimatické výzvy, ale také na zdravější a komfortnější život v nich.

V rámci teoretického úvodu bude v práci představeno několik úspěšných projektů z města Brna, které již napomohly k lepším mikroklimatickým podmínkám a sociálnímu spojení. Po praktické stránce je cíl práce uveden v navazující části, pozornost je věnována stěžejnímu návrhu přírodě blízkého opatření ve vytipovaném místě v intravilánu města Brna. Na severu a na jihu od řešeného místa jsou plánované dvě nové čtvrti (Trnitá a X7) a je tedy stěžejní tomuto prostoru věnovat určitou pozornost, protože se předpokládá, že bude sloužit jako přírodní veřejný prostor pro velkou část obyvatel Brna.

Konkrétní vytipované přírodě blízké opatření v intravilánu města Brna tedy pojednává o částečné revitalizaci koryta Svratky a přilehlého okolí v místě brownfieldu nedostavěné železniční polikliniky. Cílem návrhu je vytvoření přírodních podmínek ve městě Brně spolu s kvalitním veřejným prostorem, kde budou moci návštěvníci sportovat, relaxovat, vzdělávat se a užívat si přírodu, aniž by museli cestovat několik desítek minut za město. Součástí práce je také ověření správnosti návrhu pomocí hydrotechnických výpočtů pomocí softwaru HEC RAS.

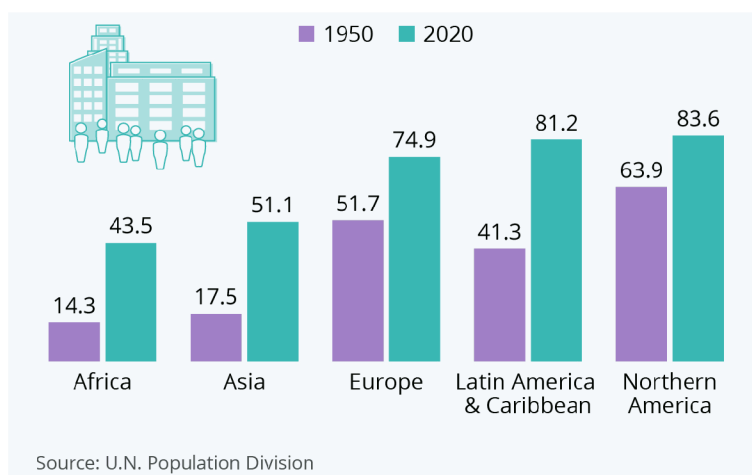
2 Klimatická změna

Konstatování, že klimatická změna probíhá, je již díky vědeckým pracím a historickým zkoumáním dokázáno. Dokonce je zřejmé, že klima se mění již od pradávna. My, jako obyvatelé této planety však zrychlujeme tempo, kterým změna probíhá, a to především zvyšováním emisí skleníkových plynů, zejména spalováním fosilních paliv.

Pokud mluvíme o klimatické změně, nejedná se pouze o „globální oteplování“, jak bývá klimatická změna často označována. Jde celkově o změněný charakter klimatu zapříčiněný tím, že je v atmosféře k dispozici více energie. Ta kromě toho, že zahřívá zemský povrch, je hnací silou dalších dějů, které jsou spojeny s projevy tepelné energie. Proto je s klimatickou změnou spojena také celková proměnlivost počasí a častější výskyt nebezpečných jevů, jako jsou zvyšující se průměrné teploty, bouřky, silný vítr, povodně, sucha a další [1].

2.1 Klimatická změna a města

Tato změna probíhá ve všech koutech světa, avšak ve městech, kde žije největší podíl lidí se projevuje nejvíce, resp. nejvíce ji vnímáme. S rostoucí populací se zvětšuje i procento lidí žijících ve městech, což mimo jiné zobrazuje obrázek níže.

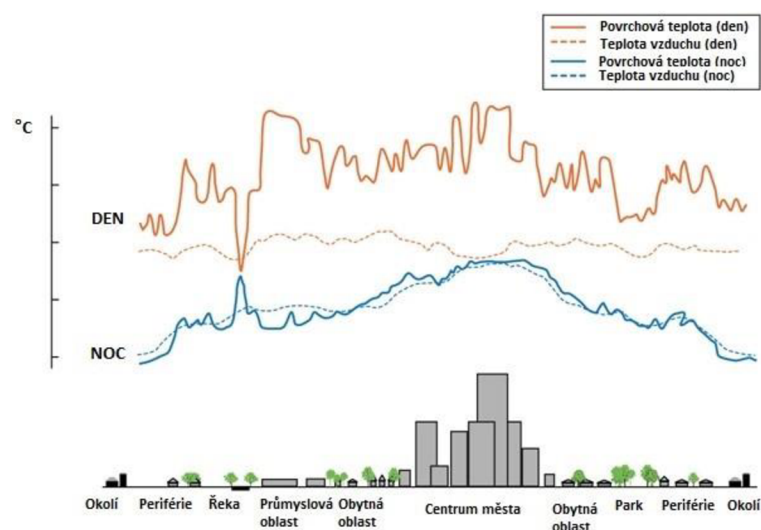


Obr. 2.1 Zvyšující se podíl populace žijící ve městech [2]

Města jsou ale oproti přírodě daleko zranitelnější a hůře adaptovatelná. S rostoucími emisemi skleníkových plynů, a tedy změny v rozložení, četnosti a intenzitě extrémních výkyvů počasí se zvětšuje riziko pro společnost [3].

Nejčastějšími projevy klimatické změny ve městech jsou extrémní srážky, povodně, vlny horka nebo dlouhotrvající sucha. Tyto vlivy mohou mít nepříznivé dopady na kvalitu života obyvatel, stejně tak i na národní ekonomiku, ekosystémy či přírodní kapitál. Proto je potřeba, aby města byla na tyto jevy lépe připravena a volila vhodná adaptační opatření [4].

Zmíněné jevy jsou také umocněny tzv. efektem tepelného ostrova, který je převážně sledován ve velkých městech a aglomeracích. Výsledkem tohoto úkazu jsou výrazně vyšší teploty v zastavěném území města (převážně v noci) než na jeho okraji nebo v porovnání s okolní přírodou. Hlavním důvodem je uměle vytvořený povrch, jakým je například asfalt nebo beton, který absorbuje sluneční záření, a tím zahřívají sebe i okolní vzduch. Dalším zdrojem, který přispívá k ohřívání je odpadní teplo z průmyslu, dopravy nebo z vytápění či klimatizace [5].



Obr. 2.2 Schematický obrázek tepelného ostrova města – průběh teplot ve dne a v noci [5]

Mimo tepelný ostrov se město potýká s dalšími problémy spojenými s klimatickou změnou, čímž jsou například přívalové srážky, které mohou později vyvolat povodeň. V České republice je tento jev bohužel poměrně častý. Nejenže ohrožuje lidské životy, ale také může ničit majetek a městskou infrastrukturu. Četné mohou být také sesuvy půdy, eroze, což je zároveň spojené se zhoršenou kvalitou vody [5].

Dalším projevem, se kterými se město může potýkat vlivem klimatické změny je dlouhotrvající sucha a s tím spojený nedostatek vody.

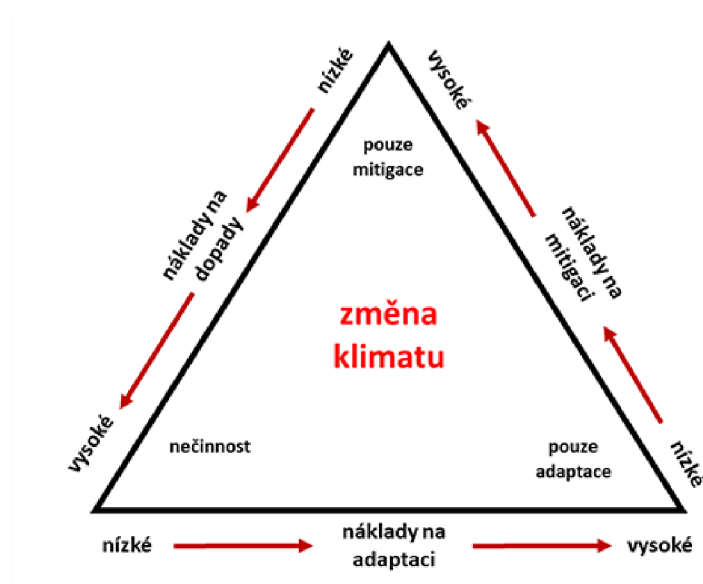
Z pohledu města Brna, které je situováno v nižších nadmořských výškách jsou aktuálním problémem vysoké teploty a výskyty tropických dnů a nocí. V roce 2021 bylo v oblasti Brno-Štýřice naměřeno 36 tropických dní, což je o 4 více než v roce předcházejícím [6].

2.2 Formy řešení klimatické změny

Existují dvě hlavní proaktivní možnosti, jak se postavit dopadům změně klimatu (mimo alternativní možnost, kterou je nečinnost). První způsob je **mitigace**, což znamená zmírnění či zpomalení dopadů klimatických změn. Příkladem může být redukce vypouštění skleníkových plynů, úspora energie, výroba energie z alternativních zdrojů či zakládání nových lesů. Druhou proaktivní možností je **adaptace**. Jedná se o vyrovnání se se změnami klimatu a hledání opatření, která vedou ke snižování náchylnosti vůči klimatickým změnám. Samotná implementace účinných opatření zpravidla vyžaduje zapojení široké škály oborů a zájmových skupin [7]. Mohou to být například vědci, politici, veřejná správa, studenti nebo veřejnost.

Pro účinné snížení dopadů změn klimatu je nutné následovat oba směry. Zaměřit se na efektivní snižování emisí skleníkových plynů (mitigace) a zároveň se těmto dopadům postupně přizpůsobovat na všech úrovních, místní, národní i globální (adaptace) [8].

Princip je zobrazen na Trojúhelníkovém diagramu níže.



Obr. 2.3 Trojúhelníkový diagram ze Čtvrté hodnotící zprávy (AR4 IPCC) [7]

Dokumenty a dohody na globální úrovni jsou obecně známé a shrnuté v předchozí práci: *Spojení technické a přírodní infrastruktury v návaznosti na klimatické změny*, autor: Lenka Svobodová, rok 2019, v tomto odstavci jsou tedy uvedeny pouze zbylé dvě úrovně, které spolu musí korespondovat. Na národní úrovni, a tedy na úrovni ČR, je problematika řešena několika hlavními dokumenty. Stěžejní je Politika ochrany klimatu v ČR, která slouží jako obecný dokument cílený na snižování emisí skleníkových plynů. Na další úrovni v rámci ČR je poté Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, což je adaptační strategie s již definovanými, konkrétními hrozbami spolu s ohroženými sektory. Na strategii přímo navazuje další dokument a tím je národní akční plán, který využívá již konkrétní úkoly a přiřazuje je konkrétním ministerstvům [8].

3 Adaptační opatření

Publikace, které dnes hovoří o adaptačních opatřeních, uvádějí několik možných směrů a rozdělení. To, které nejvíce vystihuje a navazuje na diplomovou práci je však členěno následovně:

- dle typu dopadů změny klimatu,
- dle typu hrozby,
- dle typu realizace,
- dle realizujícího subjektu,
- dle sektorů (oblastí zranitelnosti).

Výchozí podskupinou je členění podle typu realizace. Jedná se o opatření, která jsou definována druhem realizace, fyzicky vytvořená opatření, a tedy strukturální anebo nestrukturální, někdy nazývané měkká, která jsou spíše informativní nebo varovné, bez nutnosti fyzické výstavby [9].

Tabulka 3.1 Adaptační opatření dle typu realizace [9]

OPATŘENÍ DLE TYPU REALIZACE	SUBTYP	PŘÍKLAD
strukturální	zelená	Pomocí zeleně revitalizovaná veřejná prostranství přispívající ke stabilizaci lokálního mikroklimatu (snížení efektu tepelného ostrova města, omezení potenciálních negativních dopadů vln horka) a také k rozvoji propustných ploch, zlepšení zasakování srážkové vody a snižování plošného odtoku
	modrá	Vodní prvky vybudované v zastavěných částech města za účelem stabilizace lokálního mikroklimatu (snížení efektu tepelného ostrova města, omezení potenciálních negativních dopadů vln horka), revitalizace říčních toků, apod.
	šedá	Permanentní či mobilní protipovodňové bariéry zabráňující rozlivu do zranitelných oblastí
	kombinovaná	Komplexní projekty – využití šedých protipovodňových opatření v kombinaci s ekosystémově založenými opatřeními (např. obnova postranních ramen toků, mokřadů v kombinaci se stavebně-technickými protipovodňovými úpravami)
nestrukturální (tzv. měkká)	prevence	Informační kampaně o negativních dopadech změny klimatu a možnostech přizpůsobení se; preventivní cvičení
	EWS	Systémy včasného varování obyvatelstva před blížící se hrozbou (např. povodně), instruktáž chování, vyhlášení stavu ohrožení a případně vyhlášení evakuace z nejhroženějších oblastí
	pojištění	Pojištění škod pro případ živelných (hydrometeorologických / klimatických) pohrom
	stimulační nástroje	Finanční podpora adaptačních opatření realizovaných jednotlivci poskytnutá obcí

Modrozelená infrastruktura vycházející ze stejnojmenného subtypu je stěžejní přírodě blízké (adaptační) opatření. Pro fungující ekosystém využívá dva hlavní prvky a tím je voda a flóra.

Svou kombinací zlepšují nejen místní biodiverzitu, ale také kvalitu půdy a ovzduší, rizika povodní, a především snižují efekt městského tepelného ostrova a mnoho jiných benefitů a co-benefitů [9].

Existuje nespočet řešení, jak se adaptovat, na všech úrovních. Nejvíce žádoucí jsou však řešení taková, která jsou blízká přirozené přírodě. Je snahou krajiny, včetně měst, navrátit původní krásu a funkčnost, jejich obyvatelé o tuto změnu sami volají. A proto, všude, kde je to dnes možné, je zkoumáno a zjišťováno, jak by se chovala sama příroda, abychom ji dokázali ideálně napodobit a nastolit tak opět alespoň částečnou rovnováhu. Ve městech je tento počin obrovskou výzvou.

3.1 Popis přírodě blízkých opatření ve městě

Přírodě blízké opatření může být v obecné rovině cokoliv, co zlepšuje ekologické funkce a stav krajiny. Ať už se jedná o přírodní nebo urbánní krajinu.

Existuje obsáhlá brožura s katalogem přírodě blízkých opatření (PBO), kterou vytvořila organizace UNALAB (2019). Tato publikace zároveň může sloužit jako technická příručka pro města či obce. Je velmi výstižná a inspirující [10]. Aby tato práce pouze neopakovala, co již bylo zmíněnou publikací řečeno, jsou z ní vybrána taková opatření, která se pojí s nadcházejícím návrhem.

Pro zaměření na již zmíněnou **zelenou infrastrukturu** je obecně asi nejefektivnější a nejjednodušší ozelenovat co nejvíce městských ploch. Příkladem může být uliční zeleň ve formě stromořadí či alejí nebo jen jednotlivců. Ve větším měřítku je to potom veřejná zeleň, která se nejvíce vyskytuje jako městský park nebo například biokoridor. Pro zmírnění dopadů klimatické změny přispívají také například zelené střechy či stěny, ty jsou však daleko náročnější a nákladnější [10].

Modrá infrastruktura může ve městech vystupovat ve více formách. Jsou to především vodní prvky zlepšující zadržování vody v místě dopadu, ať už z pohledu zpomalování odtoku, zvyšování propustnosti terénu nebo zasakování srážkové vody. Dále se jedná o prvky využívající stojaté nebo tekoucí vody ve městech [11].

Zásadní pro města bylo dříve jejich odvodnění, dnes je však k tomuto přistupováno sofistikovaněji a je snaha vodu nejen co nejvíce zadržet v místě dopadu, ale také tuto vodu

přečistit, zásobovat a znova využít. Konkrétní opatření z oblasti hospodaření s dešťovou vodou (HDV) mohou být například propustné povrchy, ať už se jedná o propustnou dlažbu, drenážní beton, propustný asfalt nebo kamenné koberce či zatravnovací dlažba. Dále stejně jako v krajině tak ve městech je možno využít zasakovací průlehy pro zadržení či odvádění vody ze zpevněných ploch. Tyto vody mohou být vsakovány nebo přečištěny a odváděny do infiltračních nádrží, případně do suchých či mokrých poldrů nebo nádrží. Dalším zajímavým městským prvkem zachytávajícím vodu, ale zároveň vodu transpirující do okolí jsou dešťové zahrady. Jde o relativně malou zahradu, která slouží primárně k regulaci vody, ať už k infiltraci nebo její skladování. Mohou sloužit jako záchytné místo pro vodu odtečenou ze střech, či jiných nepropustných povrchů. Voda se buď vsakuje, transpiruje nebo v kritickém množství přepadem odvede například do kanalizace [11].

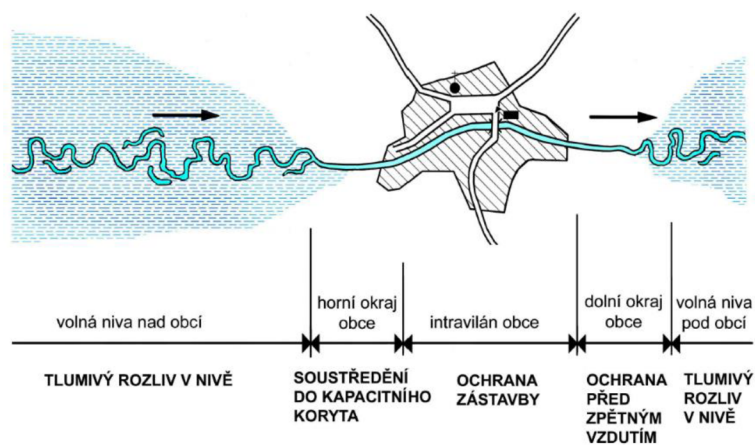


Obr. 3.1 Příklad dešťové zahrady [12]

Další a nejvíce vystihující skupinou zaměřující se na přírodní opatření ve městech je revitalizace toků a jejich přilehlých okolí.

S vývojem města se rozvíjí také myšlenky, které stojí za tím, že voda je pro město a lidi v něm žijící důležitá a přesto, že je to dnes velmi obtížné, je snaha navracet vodní prvky zpět do měst. Existuje mnoho míst, kde právě vodní toky byly z měst odvedeny s mylnou myšlenkou, že městu jen škodí. Při velké povodni opravdu voda může městu škodit, dnes však jsou běžně realizována opatření taková, aby se velká voda (průtoky vody v říčním korytě takové, které by se z koryta vylévaly přes břehovou hranu) do města vůbec nedostala a v nutném případě

se rozlila před městem či za ním, v k tomu určeném prostoru. Myšlenku zobrazuje níže náčrt z publikace od Agentury ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK) [13].



Obr. 3.2 Charakter toku v krajině a v intravilánu [13]

Revitalizací v urbanizovaném prostředí může být tedy myšleno např. přivedení toků zpět do měst, odkrytí zatrubněných toků, obnovení náhonů nebo úprava geometrie říčního prostředí, ať už formou rozšíření koryta nebo například snížením břehů. Tam kde to prostor dovoluje, může být také revitalizací tvorba říční nivy s prvky obohacující biodiverzitu (mrtvé dřevo, skupiny kamenů, vegetační příčné a podélné prvky včetně opevnění atd.) [13]. To vše bude dále upřesněno a popsáno v samotném návrhu v této práci, který se zabývá právě revitalizací toku a přilehlého okolí ve městě Brně.

3.2 Přírodě blízká protipovodňová opatření (PBPO)

Přírodě blízká protipovodňová ochrana nemusí vždy znamenat protiklad technické ochrany. Tyto přístupy, a především ve městech by se měli kombinovat a posilovat ochranu zastavěných území.

Základními principy přírodě blízké ochrany je přirozené zadržování vody, zpomalování odtoků nejen v krajině, ale také v intravilánu, jejichž cílem je zmenšení rychlostí a kulminačních úrovní povodní. Podporou rozlivů mimo zastavěná území můžeme docílit mírnějších dopadů v územích zastavěných, což je popsáno na již zmíněném obrázku Obr. 3.2 [14].

3.2.1 Revitalizace prostředí jako forma PBPO

Přestože myšlenka tvořit nové vodní plochy a revitalizovat staré a ekologicky nefunkční se stále více propaguje, je nutné se taktéž poučit z uplynulých katastrof a akceptovatelnými prostředky

před nimi ochránit veškerou zástavbu. Implementace modrozelené infrastruktury může nejen zlepšit pohled na město, ekologickou funkci a rekreační potenciál, ale může také, stejně jako v krajině, naplňovat vodohospodářskou funkci – zajišťovat průtočnou kapacitu, umožňovat plnohodnotný život rybám, obojživelníkům či jiným živočichům [13].

Formou revitalizace můžeme dosáhnout několika cílů:

- Snížit dopady a samotný průběh povodní,
- zlepšit ekologický stav vodního toku,
- a podpořit pobytové a rekreační využití prostředí vodního toku a jeho okolí.

Navzdory faktu, že podmínky jsou často ve městech velmi stísněné, i tak je vhodné navracet tokům tvarovou a hydraulickou členitost s možností rozšiřovat nejen říční perimetr, ale i prostor pro případnou inundaci, tam kde je to alespoň trochu možné [13].

Je tedy vždy v rámci prostoru žádoucí přeměnit napřimené toky na rozvolněné, snížené a přístupné prostory s bohatou vegetací a přírodními prvky [13]. Do těchto míst se nebudou navracet pouze živočichové, ale také lidé.

Revitalizace území není pouze o vodních prvcích, a proto je bezesporu nutné při každé revitalizaci spolupracovat s dalšími odborníky, kterými mohou být například botanici, dendrologové, ichtyologové a další specialisté zabývající se vegetací, faunou, florou, ale také odborníci pracující s veřejným prostorem, jako jsou architekti, urbanisté, dopravní inženýři, sociologové a další. Důvodem je fakt, že tyto plochy jsou ve většině případech veřejné a budované právě pro lidi.

Dosažení rovnovážného stavu ve všech směrech při revitalizaci území je popsáno v další kapitole.

3.2.2 Zásady při navrhování PBPO

Mimo protipovodňové ochrany sídla je potřeba uvést několik hlavních zásad, jak vytvořit nebo upravit harmonicky přírodní prostor v intravilánu.

Jak již bylo zmíněno výše, zásadní pro všechny revitalizace, ať už se jedná o prostor v zastavěném nebo nezastavěném území je **zvětšení prostoru vodního toku**. Nejenže prostor

poskytne větší průtočnou plochu, ale také zpomaluje povodňové proudění, snižuje úroveň hladiny (což nese za následek zlepšení postupu povodňové vlny) a taktéž snižuje riziko škod v okolní zástavbě. Zvětšení prostoru pro vodu zároveň poskytuje větší plochu pro členitost tvarů a strukturu nivy, koryta a břehů a obnovuje tím ekologický stav vodního toku. Způsoby, jak tento prostor zvětšit, jsou například následující [13]:

- sklápět zemní břehy koryta do mírnějších a proměnlivých sklonů,
- členitě tvarovat koryta,
- snižovat úroveň berem,
- odebíráním materiálu berem rozšiřovat kynetu,
- odebírat dosud vyvýšený terén po stranách vodního toku a povodňové koryto tak rozšiřovat o nové bermy, případně vytvářet novou, níže umístěnou polohu nivy,
- odsazovat ochranné hráze nebo stěny, a tak rozšiřovat povodňový perimetr,
- vytvářet paralelní koryta nebo průlehy, resp. paralelní kynety.

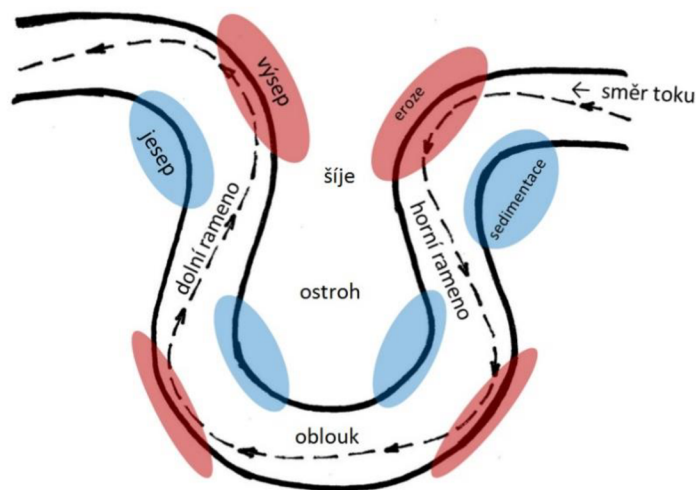
Je žádoucí rozšiřovat prostor do šířky a tvořit ideálně ploché a mělké kynety. V místech, kde je tento faktor omezen zástavbou je třeba koryta dimenzovat na požadované max. průtoky [13]. Ty bývají zpravidla v zastavěných územích navrhovány na stoleté průtoky, dělí se na ovlivněné nebo neovlivněné (v případě vystavěného vodního díla).

Dalším požadavkem, pro zlepšení podmínek ekologického stavu, ale také převedení velkých vod, může být **složený průřez koryta**. Tato geometrie může zpřístupnit přírodní plochy v urbanizovaném prostoru, aniž by musely být vytvořeny nové složité a nákladné vodní plochy, zároveň umožňuje vytvořit mělkou kynetu, která má příznivé účinky pro živočichy a svůj přirozený vývoj. Mělká kyneta je také erozně stabilnější, tedy s menší tendencí vymílání. Je však žádoucí, aby byla kyneta stále zaplněná vodou. Průtočná kapacita kynety ve složeném profilu by neměla být navrhována na více než Q_{30d} průtok. Samotná kyneta pak by měla být v rámci možností tvarově a hydraulicky členitá. Členitost zajistí různé sklony břehů nebo proměnlivé dno s vloženými skluzy nebo jinými přírodními přechody sloužící nejen pro migraci ryb, ale především pro různorodost. Dno koryta by v ideálním případě mělo simulovat přirozeně meandrující tok v přírodě, což znamená přirozeně střídající se tůňe a brody s konvexními a konkávními tvary [13].



Obr. 3.3 Meandrující koryto řeky v údolní nivě v Patagonii

V intravilánu je tento požadavek obtížné zcela naplnit, přesto je možné ho v upravené míře zohlednit. I napřímená, tuhá koryta mohou být nahrazena v omezujících podmínkách alespoň různými pasážemi, kde se bude střídát pomalu proudící voda s hlubšími úseky a s rychleji proudící vodou. Tento proces spolu s vymílací a usazovací rychlostí je popsán na obrázku níže [15].



Obr. 3.4 Charakteristický meandr [16]

Brody se většinou vytvářejí v přechodových úsecích mezi oblouky a tůň naopak za oblouky v místě nárazových břehů.

Dalším přínosem pro přirozené prostředí je **větvení kynety nebo vkládání přírodních prvků**, ať už se jedná o samostatné prvky jako jsou skluzy, pásy, rampy, balvany, mrtvé dřevo nebo

tvárové změny ve formě jeseňů, brodů, tůní nebo ostrovů. Důležitá zůstává prostupnost celé kynety pro živočichy [13].



Obr. 3.5 Příklad bermy přírodní – řeka Sulz v německém Beilngries [13]

Důležitým prvkem každé revitalizace nebo úpravy je **stabilizace**, resp. opevnění kynety. Existuje několik druhů opevnění. Přírodě blízké je však takové, které je tvárné a nese přírodní materiály. To mohou být například vegetační, polovegetační opevnění nebo v případě nevegetačního opevnění by se daly zařadit pohozy, záhozy, případně rovnaniny z kamene, které jsou tvárné a zároveň funkční při vyšších průtocích [17].

Bermy, části složeného průřezu, které ve městech získávají svá místa, slouží nejen k zaplavení při vyšších průtocích, ale také jako cenný prvek pro obyvatele trávící čas v blízkosti řeky. Existují tři druhy berem [13]:

- bermy přírodní, tvarově členité, v některých částech mohou být zamokřené a zarostlé;
- bermy rekreační, slouží především pro pobyt a rekreaci osob, případně mohou sloužit pro pěší stezky nebo cyklostezky nebo decentní sportoviště,
- bermy jalové, bez využití, často výsledkem dřívějších přístupů vodohospodářských.

Dnes však bermy jalové představují velký potenciál pro revitalizaci.



Obr. 3.6 Příklad bermy jalové – řeka Vltava v Českých Budějovicích [18]

Důraz by se také měl v rámci revitalizací klást na **migrační prostupnost**, a tedy v případě nepropustného objektu je nutné vytvořit rybám alternativní cestu pro překonání. Jedná se například o výstavbu rybích přechodů nebo pouze snížení překážek případně jejich odstranění [13].

Aby prostor bylo opravdu možné nazývat přírodě blízkým, nestačí pouze zvolit přírodní stavební materiál, ale také dosáhnout toho, aby byl prostor hojně navštěvován živočichy. Je tedy vhodné v prostoru počítat s místem, kde bude mít např. ptactvo izolované a klidné prostředí. Ideálním prostorem může být ostrov v místě kynety [13].



Obr. 3.7 Příklad ostrova ve Wasserparku ve Vídni [13]

Přesto, že je důležité brát ohled na budoucí **živočichy** osídlující nový prostor, jsou to především **lidé**, kteří budou tento prostor, pokud jim to bude umožněno, navštěvovat. Veřejný prostor je důležitou součástí každého města. Lidé žijící v centru města mají omezený prostor pro pohyb a mají tendenci vyhledávat místa, kde mohou relaxovat, sportovat nebo si jen hrát se svými dětmi. Příroda je často jejich cílovým místem. Především v době, kdy jsou slunečné nebo až horké dny, obyvatelé měst hledají komfortnější úkryt před horkými letními dny. Řeky a jejich okolí mohou být výborným útočištěm. Je však nutné stále ctít přirozenou rovnováhu mezi přírodou a lidmi a pro obě skupiny vytvořit přijatelné podmínky. V těchto místech mohou být vytvořeny zóny, které budou zarostlejšího charakteru, např. s přirozenou sukcesí, kam lidé nebudou mít nutkání vstupovat a na druhou stranu také posečené plochy, které budou vytvořeny pro odpočinek nebo rekreaci. Doplnkovými prvky pro zatraktivnění prostoru mohou být různá mola a místa k posezení, stupákové přechody přes vodní hladiny, lávky či stezky s možností dojít až k vodní hladině nebo ji dokonce při nízkých průtocích zdolat.



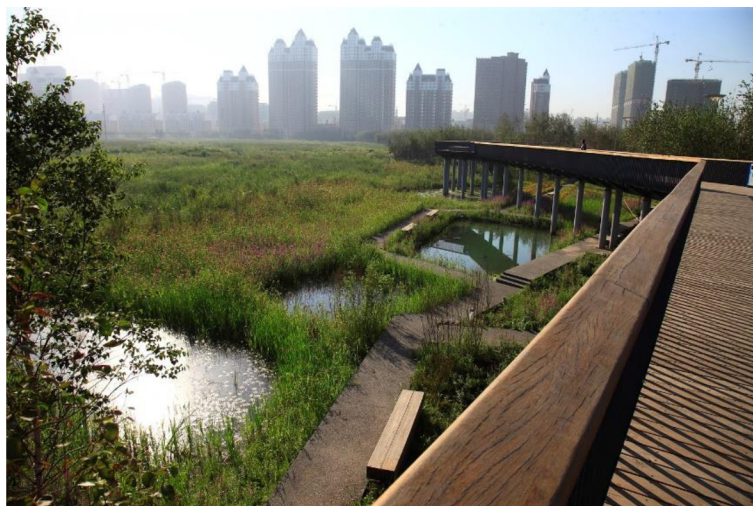
Obr. 3.8 Vizualizace budoucího návrhu nábřeží řeky Svatky [19]

Pokud má prostor sloužit také jako dopravní spojka pro lidi, je dobré věnovat velkou pozornost návrhu **stezek**. Ať už se jedná o stezku pěší nebo pro cyklisty, prostor mohou velmi obohatit, ale také narušit. Pokud se jedná o velmi frekventovaný prostor je dobré tyto dva druhy pohybu odlišovat a nejlépe také od sebe oddělovat [13]. Stezky mohou být budovány i na zmíněných bermách. Důležitá je také volba správného materiálu, tak aby nenarušoval přírodní ráz a zároveň splňoval normy pro přepravování osob na kole, či na invalidním vozíku.

Součástí takto vybudovaných nových prostorů mohou být také různé **vodní prvky**. Jde například o různé fontány, vodopády, koryta s tekoucí vodou nebo vyhlídky na řeky směřující. Nežádka kdy jsou vybudována také přístaviště s možností zapůjčení vodních dopravních prostředků, nebo jen místa zpřístupňující vodu pro osvěžení. Dalšími vodními prvky jsou vodní hřiště, které ocení především děti [13].

Pro zajištění prostoru se stojatou vodou, kterou ocení především obojživelníci, jsou skvělými vodními prvky tůňe nebo mokřady. Tento prostor může sloužit i ke vědeckému zkoumání, ovšem v letních obdobích mohou být neprůtočné a nečištěné vody útočištěm pro komáry, což může znepríjemnit pobyt obyvatelům města.

Poslední zmíněnou zásadou pro přírodě blízké revitalizace nebo tvorby nových ploch je volba správné **vegetace**. V tomto směru je ideální zajistit odborníka, například z oblasti zahradní architektury. Ne vždy drahé a promyšlené výsadby, ale musí být jedinou volbou. Některé plochy, určené především k přirozené sukcesi, je vhodné nechat například zarůst náletovými dřevinami a tím mohou být ušetřeny investice i pozdější údržba. Toto však neplatí pro všechny prostory vymezené pro lidi s možností relaxace či rekreace. V těchto místech je lepší zvolit kvalitní travnatý povrch s dřevinami poskytující stín. Zároveň však některá místa, například litorální zóny nebo mokřadní plochy je lepší ozeleňovat naopak méně, z důvodu oslunění [13].



Obr. 3.9 Mokřadní park v Číně [20]

3.3 Příklady adaptačních opatření z města Brna

Přírodě blízká opatření, která zlepšují pohled na město, ale také zajišťují lepší podmínky pro život obyvatel dnes nenacházíme pouze ve známých zahraničních velkoměstech, ale dobrým příkladem může být i město Brno, na jehož území se nachází hned několik druhů opatření

Skvělým příkladem, který plně využívá přírodu je beze sporu areál Otevřená zahrada na severním okraji parku Špilberk v samotném centru města. Tento areál se skládá ze dvou zahrad: výuková zahrada a přírodní zahrada Boromejská. Při vchodu do areálu se pyšní také pasivní budovou, ve které sídlí nezisková organizace, která celý tento areál zastřešuje. Prvky, které je možné považovat za přírodě blízké jsou nejen zelená střecha, porostlé stěny, kořenová čistírna, ale také komunitní zahrada s městskou farmou se zvěří a včelími úly. Jde zároveň o skvělý prostor pro trávení času s dětmi a odpočinek [21].



Obr. 3.10 Otevřená zahrada – Brno-střed [21]

Dalším příkladem, trochu více přírodním, je biocentrum Chrlice, nacházející se na jižním okraji širšího města. Centrum slouží nejen jako bohatý přírodní prvek, ale také jako rekreační prostor. Je zde zemní vodní nádrž o ploše 4 ha, která kromě funkce zásobníku vody představuje také rekreační prvek, především v horkých letních dnech. Spolu s výstavbou zemní nádrže byly také vysazené nové stromy a útočiště zde mohou najít různé druhy zvěře [22].

Podobným projektem, jako ten chrlický, je biocentrum Medlánky, které v sobě sice nenese vodní prvek, ale funguje perfektně v rovnováze pro živočichy a lidi. Je to jeden z důkazů, že i ve městech mohou vznikat a propojeně fungovat biocentra a biokoridory.

Dříve obdělávaná zemědělská půda dnes poskytuje několik benefitů, jak pro obyvatele žijící v blízkém sídlišti, tak pro živočichy vyskytující se v nedaleké přírodě. Spolek Rezekvítek, spolu s několika dobrovolníky v prostoru vysázel na 2000 stromů a keřů a poskytl tak příjemné místo k procházkám a odpočinku [23].

Další podobný projekt také vznikl nedaleko soutoku Svratky a Svitavy. Cílem bylo taktéž proměnit zemědělskou krajinu, posílit tak druhovou rozmanitost a vytvořit biocentrum Stará řeka. Záměrem bylo vytvořit přírodě bohatý prostor s lučním kvítím, které umožní přirozené zasakování dešťových vod a zlepšit mikroklima. Jelikož je prostor v blízkosti cyklostezky, funguje taktéž jako rekreační prvek města [24].



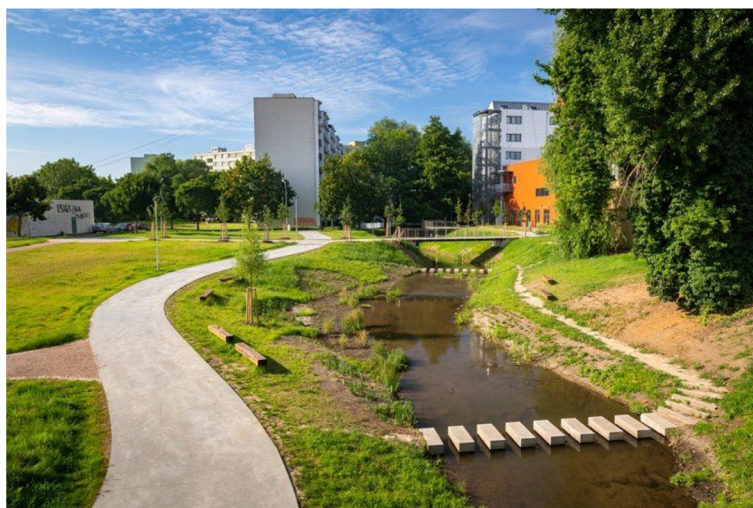
Obr. 3.11 Biocentrum Stará řeka – Brno-jih [24]

V oblasti hospodaření s dešťovou vodou je skvělým příkladem park Pod Plachtami, který se nachází v Novém Lískovci. Údajně nejnovější městský park v Brně přináší mnoho pozitivních ohlasů. Park byl založen s velmi přírodní myšlenkou. Celá plocha parku je obklopena květnatou loukou, která je sečena dvakrát za rok. Zajímavým prvkem parku je ale především dešťová nádrž, která shromažďuje vodu z okolních střech paneláků. Přesto, že se může zdát, že voda v nádrži neproudí, tedy mohla by být zanášena nebo obklopena komáry, opak je pravdou. Voda je zde poměrně čistá s hojným zastoupením ryb a rostlin, a tedy bez narušení komáry. To je zároveň způsobené také tím, že ryby se živí larvami komárů a tedy zajistí, že v letních obdobích v parku není problém s přemnožením tohoto hmyzu [25].



Obr. 3.12 Park Pod Plachtami – Brno-Nový Lískovec

Z oblasti revitalizací jsou uvedeny dva poměrně nové projekty. Prvním z nich je revitalizace Staré Ponávky. Spolu s parkem tvoří v městské části Brno-Komárov velmi příjemný, a především přírodní zážitek. Hlavním prvkem parku je rozšířená a posunutá část koryta toku Staré Ponávky. Lidé tak mají lepší kontakt s vodou a k tomu dopomáhají i prvky založené právě na lepším kontaktu s přírodou. V oblastech s nízkou hladinou jsou navrženy přechody přes řeku se stupáky. V místech, kde je hladina vyšší, jsou vytvořeny pobytové schodiště nebo dřevěné prvky [26].



Obr. 3.13 Revitalizace Staré Ponávky – Brno-Komárov [26]

Posledním uvedeným příkladem je projekt, který zatím není vybudován. Přesto již má pozitivní ohlas. Je jím průtočný mokřad nacházející se v blízkosti řeky Svratky, v dnešním místě areálu Favorit. Tento prvek bude součástí slepého ramene Svratky, kde bude několik přírodních prvků. Nebude však sloužit pouze jako protipovodňová ochrana, ale zároveň jako cíl rekreačního využití. Tento projekt, který byl nedávno spuštěn, je součástí rozsáhlé realizace protipovodňového opatření na hlavních brněnských tocích.



Obr. 3.14 Vizualizace navrženého mokřadu u řeky Svratky – Brno-Pisárky [27]

4 Zájmová lokalita

Vybraný prostor pro návrh přírodě blízkého opatření se nachází mezi železničními mosty v blízkosti ulic Uhelná a Vodařská. Tento prostor lemují hranici katastrálního území Štýřice a byl vybrán z důvodu chystané revitalizace. Řešené území je ohraničeno řekou Svratkou z SV strany a z JZ železničním násypem. Nachází se zde dvě zahrádkářské kolonie o rozlohách cca 1,5 ha a 1,7 ha a mezi nimi je dnes již vymezený brownfield nedokončené stavby železniční polikliniky. Tento brownfield má rozlohu 2,16 ha a je většinovým podílu správy železnic a menšinovým statutárního města Brna (SMB). Zároveň se celý prostor nachází v ochranném pásmu pro historické jádro města Brna, které bylo vymezeno městskou památkovou rezervací v roce 1989 [28]. Řešená plocha se nachází v záplavovém území a je tedy vyloučeno v tomto místě počítat s rozsáhlou zástavbou.

4.1 Historie zájmové lokality

Podle historických snímků je zřejmé, že v 19. století sloužilo místo spíše k zemědělským účelům. Není se čemu divit, prostor je lemován významnou řekou Svratkou, která mohla poskytnout dobré podmínky pro hospodaření. Dalším rozdílem od současnosti je upravení toku. Jak je ze snímku níže zřejmé, Svratka dříve měla tendenci meandrovat. Později však byla napřímena, a to především z důvodu protipovodňové ochrany v návaznosti na rozšiřující se zástavbu [29].



Obr. 4.1 Mapy z druhého vojenského mapování 19. století – Brno [29]

4.1.1 Historické povodně v okolí zájmové lokality

Městem Brnem protékají dvě významné řeky, je jimi Svratka a Svitava. Dříve bylo území těmito řekami poměrně propletené, dnes však toky mají velmi napřímený tvar. Je to dáno především z důvodu několika historicky přicházejících povodní, které s sebou nesly mnoho ekonomických nebo majetkových následků. V roce 1847 tedy byly toky napřímeny a regulovány, pro zajištění bezpečnosti obyvatel. I přesto ve 20. století došlo k několika povodním. Psal se rok 1938, kdy se městem prohnala stoletá povodeň na řece Svitavě a dva roky na to se objevila na řece Svratce. Další povodně menšího charakteru byly zaznamenány v roce 1946. Poslední datovaná povodeň je v roce 2006, která zasáhla nejen Brno, ale také velkou část území státu. Na základě této události město rozhodlo o ucelené koncepci protipovodňové ochrany, na které se již několik let pracuje [30].

4.2 Použité podklady pro vypracování návrhu

- Geodetické zaměření
- Dendrologický průzkum
- Předběžný průzkum inženýrskogeologický
- Manipulační řád pro vodní dílo Brno
- Platný územní plán města Brna
- Přípravovaný územní plán města Brna
- Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G)
- Územní studie Jižní čtvrť
- 2D numerický model neustáleného proudění ve Svratce km 28,2 až km 47,7 a ve Svitavě km 0,0 až km 11,5
- Webové mapové portály
- Katastrální mapy
- Prohlížečské služby WMS
- Hydrologická data

Dokumenty relevantní pro území města:

- 2006 koncepce protipovodňové ochrany města Brna
- 2009 Generel odvodnění města Brna
- 2009 Rozšířená multikriteriální analýza

- 2014 Povodňový plán Jihomoravského kraje
- 2015 Studie Přírodě blízká POP a revitalizace údolní nivy hlavních brněnských toků
- 2016 Memorandum Povodí Moravy a města Brna pro komplexní protipovodňovou ochranu Brna
- 2018 Povodňový plán SO ORP Brno

4.3 Územně plánovací dokumentace a záměry v území

Jak již bylo zmíněno výše, celý řešený prostor se nachází v záplavovém území stoleté vody, prostor je z velké části nezastavěný a záměrem města je využití plochy také k protipovodňové ochraně. Návrh územního plánu dokonce území nově vymezuje jako retenční prostor. Zároveň je plocha v změnách navržena pro městskou zeleň [31]. Je tedy nutné se těmito regulativy řídit. Mimo jiné se v prostoru nachází regionální biocentrum navazující na biokoridory lemující řeku Svratku.

Již územní plán z roku 1994, který stále je aktuálním plánem, definuje jisté změny ve vybraném prostoru. Jsou jimi hlavně záměry v dopravní infrastruktuře. V jižní části prostoru je plánována výstavba dvou železničních mostů. Jedním z nich bude tramvajový most a druhý rozšířený stávající železniční most, navazující na výstavbu nového nádraží (ŽUB) [32]. Zmiňovaný záměr zajistí především dobrou dostupnost dvou nově plánovaných čtvrtí, a tedy nové čtvrti Trnitá, severně od řešeného území a území označovaného jako X7, jižně od řešeného území [33].

Územní studie Jižní čtvrti (Trnitá) konkrétně definuje řešené území jako retenční park [33]. Představovaný návrh tento předpis plně respektuje.

4.3.1 Vlastnické parcely

Převážná většina řešené plochy je v majetku statutárního města Brna, menší části však vlastní Správa železnic a České dráhy. Severní část zahrádkářské kolonie je v majetku právnické osoby [34].

4.4 Další údaje k řešenému území

Níže jsou uvedeny další podklady a informace důležité pro vypracování návrhu.

4.4.1 Povodí

Z pohledu povodí, do kterého spadá řešený úsek, jsou základní informace o řece uvedeny níže [35].

Kraj: Jihomoravský

Tok: Svratka

Správce toku: Povodí Moravy, s.p., závod Dyje, provoz Brno

Číslo hydrolog. pořadí: 4-15-01-153

4.4.2 Klimatické poměry

Řešená lokalita se dle geografa a klimatologa Evžena Quitta (2011) nachází na rozhraní dvou klimatických oblastí, (T2 a T4), které spadají do teplé oblasti s 5070 letními dny, což svědčí o velmi suchých a teplých letních dnech. Průměrná červencová teplota je 18–20 °C. Počet dní s mrazem se pohybuje 30–40 dní, průměrná lednová teplota je –2 °C. Vyskytuje se zde poměrně malá suma srážek, průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více, je od 80–100 dnů za rok [36].

4.4.3 Geomorfologie a biogeografie

Řešené území se nachází na rozhraní oblastí Česko-moravské soustavy a Vněkarpatské sníženiny. Tato oblast je specifická pro jihovýchodní Čechy, jihozápadní Moravu a malou část severního Rakouska. Soustava zahrnuje velmi staré vrchoviny a pahorkatiny, z nichž nejvýznamnější je Českomoravská vrchovina [37].

Krajina úvalu je převážně polní, kromě nivy téměř bezlesá. Rovněž spadá mezi nejsušší oblasti Česka [38].

Podprovincie je typická svým plochým reliéfem budovaným z velké části měkkými sedimenty (spraše, váté písky a sedimenty řek) [38].

Vegetace je hlavně teplomilná, tomu odpovídá také dominance 1. dubového vegetačního stupně. Od sousedních podprovincií se Severopanonská podprovincie odlišuje především přítomností šípákových doubrav, suchomilných lad a teplomilně ovlivněnými lužními lesy [38].

Krajina je v současnosti výrazně zemědělská, s poli a menšími lesy, se zastoupením především dubu, borovice a nepůvodního akátu [38].

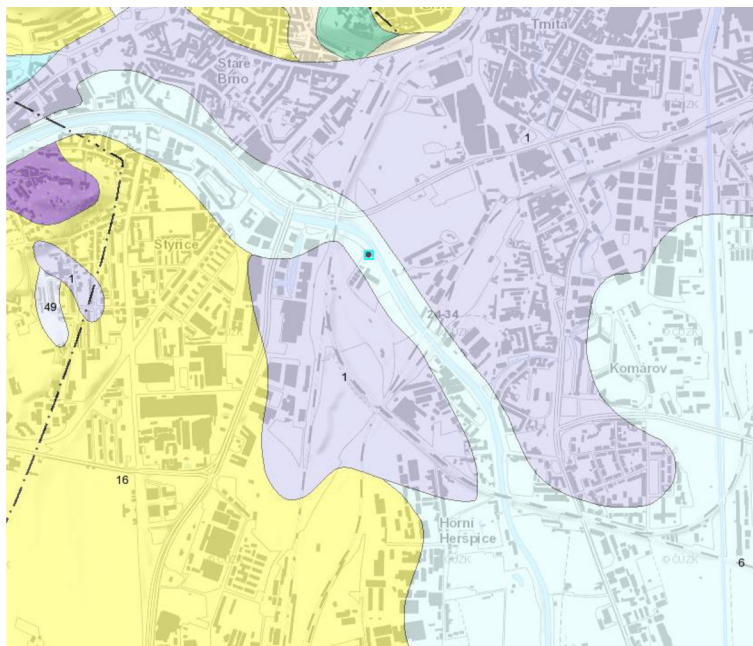
Níže uvedené rozřazení popisuje přírodní poměry v řešeném území [39].

Soustava:	Česko-moravská soustava a Vněkarpatské sníženiny
Podsoustava:	Brněnská vrchovina a Západní Vněkarpatské sníženiny
Celek:	Bobravská vrchovina a Dyjsko-svratecký úval
Podcelek:	Lipovská vrchovina a Dyjsko-svratecká niva
Okresek:	Pisárecká kotlina a Dyjsko-svratecká niva
Biogeografická oblast:	Panonská
Biochora:	Širší hlinité nivy bez hrudů, 1. v.s.
Bioregion:	Dyjsko-moravský

4.4.4 Geologie

Geologické zastoupení v zájmovém území je patrné z níže uvedené mapy, kde světle modrá (6) zastupuje nivní sediment, což může být hlína, písek a štěrk a světle fialová (1) naznačuje navážku, haldu, výsypku nebo odval [40]. Podle předběžného inženýrsko-geologického průzkumu je území detailně popsáno ve vrstvách. Na nejvyšší kótě se nachází vrstva navážky 1–2 m, pod touto vrstvou v místě pod železniční poliklinikou jsou povodňové jíly ve stejné mocnosti, dále navazuje vrstva sedimentace štěrku 2–5 m, fluvialní písek, který se po délce mění ve štěrk v rozsahu 4–5 m a poslední vrstvou jsou neogenní jíly, které končí na kótě 186,9 m.

Podzemní voda v místě zahrádkářských kolonií se nachází zhruba v hloubce 3–5 m.



Obr. 4.2 Geologické zastoupení v řešeném území [40]

Jednotlivé horninové typy v řešeném území jsou zařazeny dle geovědní mapy níže [40].

Horninový typ:	sediment nezpevněný
Hornina:	navážka, halda, výsypka, odval
Soustava:	Český masiv – pokryvné útvary a postvariské migmatity
Éra:	kenozoikum
Útvar:	kvartér
Oddělení:	holocén
Zrnitost horniny.	Hlína, písek, štěrk

4.4.5 Hydrologické údaje

V zájmové lokalitě se nachází limnigrafická stanice Brno – Poříčí. Níže jsou uvedené hydrologické údaje z uvedené stanice [41]:

Tok:	Svratka
Město:	Brno-střed

Provozovatel stanice:	ČHMÚ Brno
Staničení:	46,800 km
Plocha povodí:	1637,16 km ²
Číslo hydrologického pořadí:	4-15-01-153
Průměrný roční stav:	54 cm
Minimální průtok:	1,37 m ³ ×s ⁻¹
Průměrný roční průtok:	7,76 m ³ ×s ⁻¹

Dle hydrologických údajů povrchových vod poskytnutých od ČHMÚ jsou v profilu Poříčí uvedeny následující data:

Tabulka 4.1 M-denní průtoky na profilu Poříčí na řece Svatce

M-denní průtoky	30	60	90	120	150	180	240	270	300	330	355	364
Q _m [m ³ ×s ⁻¹]	18.3	11.7	8.56	6.85	5.75	5.06	3.9	3.50	3.04	2.67	2.02	1.11

Tabulka 4.2 N-leté průtoky na profilu Poříčí na řece Svatce

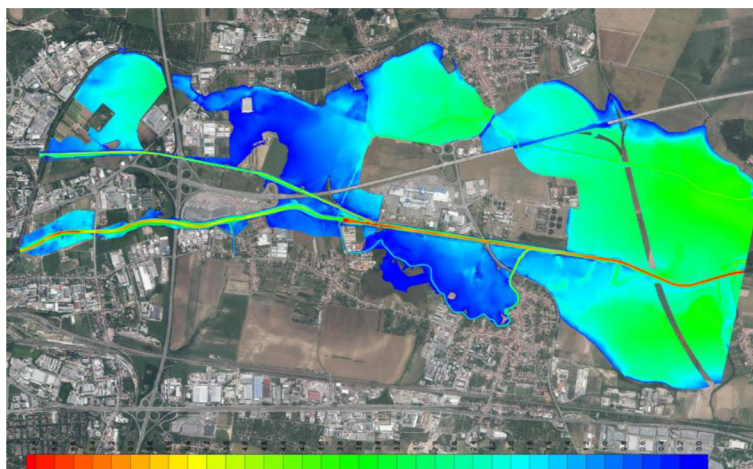
N-leté průtoky	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
ovlivněné přehradou [m ³ ×s ⁻¹]	59.5	84.5	123	155	190	240	281
neovlivněné přehradou [m ³ ×s ⁻¹]	102	148	208	250	289	343	383

Dle manipulačního řádu pro vodní dílo Brno je řeka Svatka využívána jako zdroj k výrobě elektřiny díky malé vodní elektrárně umístěné nad zájmovou lokalitou. Z tohoto důvodu dochází ke špičkovému průtoku, dvakrát za den. Podle limnigrafické stanice Brno – Poříčí, která je vzdálená od řešeného místa zhruba 1,2 km proti proudu, se průtoky pohybují v rozmezí od 2 m³×s⁻¹ po 12 m³×s⁻¹ [41].

4.4.6 Další podklady

Dalším zajímavým podkladem pro rozbor území je zpracovaný 2D model neustáleného proudění ve Svatce a Svitavě. Tento model zobrazuje průběh povodňové vlny, a to buďto podle kulminační úrovně hladiny, hloubky vody při kulminaci nebo s maximálními svislicovými

rychlostmi. To vše je porovnáno i na příkladu soutoku zmíněných řek a na obrázku níže znázorněn rozliv za intravilánem města Brna [42].



Obr. 4.3 Hloubky vody na soutoku Svratky a Svitavy [42]

5 Popis navrženého řešení

Prostor, který je vymezen k revitalizaci, je velmi vzácného charakteru pro celé město. Je to především z důvodu, že zelených ploch ve městech je čím dál méně. Proto je důležité takové plochy uchovávat a zkvalitňovat [43]. Nejen, že slouží jako přírodní prvek ve městě, který může pomáhat odbourávat negativní antropogenní vlivy, ale především slouží jako kvalitní veřejný prostor pro odpočinek a celkové zdraví člověka.

Dalším vzácným aspektem uvažované lokality je její umístění. Nachází se v přímé blízkosti významné řeky Svatky a v budoucnu, jak již bylo zmíněno, bude důležitým spojovacím prvkem dvou nově navržených čtvrtí a plánovaného železničního uzlu. Je tedy žádoucí prostoru věnovat velkou péči a pozornost nejen z pohledu urbanistického, ale také z přírodního a vodohospodářského. Proto je nezbytné pro správnou formulaci tohoto prostoru pozvat odborníky z odlišných oborů a najít určitou rovnováhu.

V dnešní době, kdy populace stále roste a objevují se zvláštní nepředvídatelné situace, se stává příroda pro obyvatele měst vzácným prvkem. Lidé jsou ochotni za ní dojíždět různými prostředky několik kilometrů denně. Abychom lidem zajistili lepší životní podmínky ve městech, je dobré do míst, kde je to možné přinášet přírodu zpět. Tím se také zabývá tento návrh.

Jak již bylo řečeno dříve, řeka byla v minulosti napřímena, a to především z důvodu ochrany obyvatel. Je samozřejmostí tento záměr zachovat, ale zároveň řece umožnit přirozenější průběh.

Hlavním záměrem je tedy vytvoření kvalitního prostoru s využitím zelenomodré infrastruktury a přírodě blízkých opatření. Celý návrh je koncipován jako přírodní park s částečnou revitalizací koryta řeky Svatky. Revitalizace koryta je přímo spojena s návrhem přilehlého parku a z tohoto důvodu je řešen pouze pravý břeh řeky. Celá revitalizace poté spočívá ve snížení břehů, vytvoření bermy pro lepší přístup k řece a zajištění izolovaného prostoru, pro faunu, ve formě ostrova. Park je koncipován především jako cyklicky zaplavovaný prostor se stálými vodními plochami a vegetací přizpůsobené proudění vody. Celý návrh je doplněn o decentní mobiliář pro přicházející návštěvníky. Nedílnou součástí návrhu jsou také komunikace, ať už se jedná o pěší, která je v blízkosti řeky nebo o cyklistickou, která je navržena nad úrovní stoleté neovlivněné vody po obvodu celého parku. Inspirací návrhu bylo několik, již dokončených projektů, jimiž jsou například Generel odvodnění města Brna, studie

Přírodě blízká POP a revitalizace údolní nivy hlavních brněnských toků anebo koncepce Realizace protipovodňových opatření města Brna v různých etapách.

Návrhové řešení je rozděleno na dvě části: řeka a přírodní park.

5.1 Řeka

Řeka Svratka v úseku od mostu při ulici Uhelná k železničnímu mostu za zahrádkářskými koloniemi byla na pravém břehu upravena a rozšířena do prostoru dnešní železniční polikliniky. V tomto prostoru je navržen ostrov, který je od začátku situován jako izolovaný prostor pro faunu a floru. Prostor ostrova, spolu s vegetací, zůstává v maximální míře zachován a bude doplněn o několik dalších přírodě blízkých prvků, jimiž je například opevnění, které je polovegetačního charakteru.

5.2 Přírodní park

Prostor parku je rozdělen do čtyř zón, a to nejen výškově ale také z důvodu limitů a budoucích záměrů.

První zóna se nachází v jižní části parku. Vymezená plocha slouží pro stojatou vodu ve formě tůň. Charakter tohoto místa bude pravděpodobně pro návštěvníky méně atraktivní, a to především z důvodu budoucí výstavby železničních mostů, které tento prostor ohraničují. Proto bude sloužit především fauně a flóře s přirozenou sukcesí. Zároveň bude umožněno pozorování této přírody zvědavým návštěvníkům.

Druhá zóna je určena nejen k rozlivu průtoků vyšších jednoleté vody, ale především k pobytu návštěvníků. Zde budou vymezeny různé druhy vegetace včetně ploch pro luční kvítí a bude umístěn drobný mobiliář.

Třetí zóna je tvořena převážně bermou a přilehlým prostorem pravého břehu řeky. Tento prostor bude sloužit především k pobytu u řeky s různými druhy opevnění a materiály. Místo také doprovází pěší stezka, která navazuje na cyklostezku na Štýřickém nábřeží, pokračuje samostatně podél toku Svratky a navazuje zpět na stezku pro cyklisty.

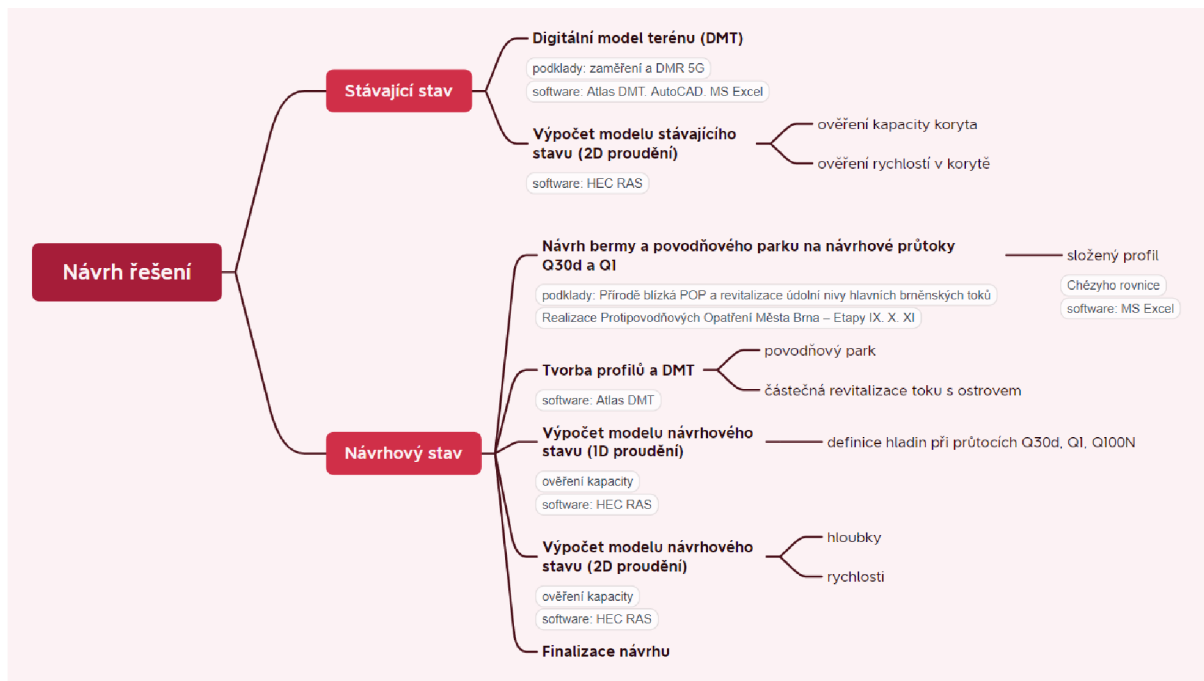
Čtvrtá část je zásadní pro cyklistickou dopravu, lemuje prostor parku a zároveň železniční těleso. Cyklostezka je navržena nad hladinu stoleté neovlivněné vody.

Celý prostor pak bude doplněn o bezpečnostní prvky v případě přicházející povodňové vlny, která je hrozbou pro přítomné návštěvníky. V prostoru parku budou značené evakuační cesty s výstražnými znameními.

Návrh je graficky zobrazen a popsán v přílohách.

6 Řešení návrhu

Celý návrh prošel několika fázemi a ověřeními, postup při jeho tvorbě je zobrazen v myšlenkové mapě níže a graficky ve výkresové a mapové části v příloze.



Obr. 6.1 Fáze projektu

Zásadní pro celý návrh bylo využití několika softwarových programů a zajištění zásadních vstupních podkladů, ať už od projekční kanceláře Šindlar s.r.o nebo Kanceláře architekta města Brna. Dále je popsán samotný postup, kterému předchází stručná teorie spojená s řešením návrhu.

6.1 Teorie proudění vody v otevřených korytech

Hydrodynamika, věda zabývající se prouděním kapalin, popisuje několik druhů proudění. Následující text se bude zabývat pouze prouděním v otevřených korytech. Podle závislosti na čase se proudění dělí na **ustálené** a **neustálené**. Při ustáleném proudění jsou veličiny kapaliny v daném místě na čase nezávislé, naopak při neustáleném proudění jsou veličiny kapaliny v daném místě na čase závislé. Dále může být proudění **rovnoměrné** a **nerovnoměrné**. V případě nerovnoměrného proudění ustáleného se parametry proudění, jako je rychlost nebo průtočná plocha mění po délce proudu naopak u rovnoměrného ustáleného proudění jsou všechny parametry proudu po délce konstantní [44].

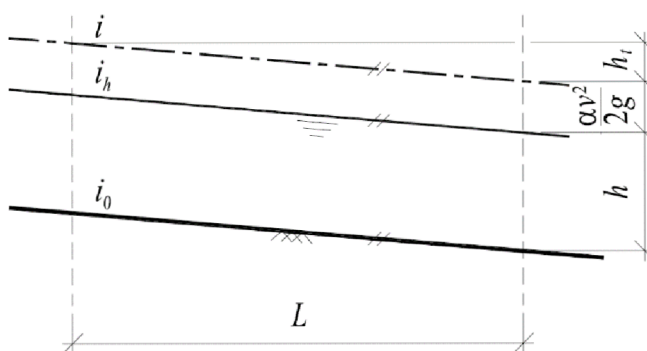
6.1.1 Proudění vody v jednorozměrném prostředí (1D)

Jednorozměrné prostředí je vhodné pro výpočet proudění v otevřených korytech, trubních sítích, propustcích a dalších objektech.

Ustálené rovnoměrné proudění v otevřených korytech může vzniknout v těchto případech:

- Koryto je pravidelného tvaru průřezného profilu ve všech profilech na zvoleném úseku,
- koryto má konstantní sklon i_o , zde tedy platí podmínka [44]:

$$i_o = i_h = i$$



Obr. 6.2 Rovnoměrné proudění [44]

Výpočet průřezové rychlosti pro rovnoměrné ustálené proudění se stanoví z Chézyho rovnice (6.1) [44]:

$$v = C\sqrt{Ri}, \quad (6.1)$$

kde C je rychlostní součinitel [$\text{m}^{0,5} \times \text{s}^{-1}$], R hydraulický poloměr [m] a i sklon čáry energie.

$$R = \frac{A}{O}, \quad (6.2)$$

kde A je průřezná plocha [m^2] a O omočený obvod [m].

$$Q = AC\sqrt{Ri}, \quad (6.3)$$

kde Q je průtok [$\text{m}^3 \times \text{s}^{-1}$].

Rychlostní součinitel se může stanovit na základě například Manningova vzorce:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}, \quad (6.4)$$

kde n vyjadřuje drsnostní součinitel [44].

V případě **ustáleného nerovnoměrného proudění** vody v otevřených korytech je průtok v čase neměnný, a tedy i jeho hydraulické charakteristiky jsou nezávislé na čase, v prostoru (po délce) se však mění a dochází ke ztrátám energie:

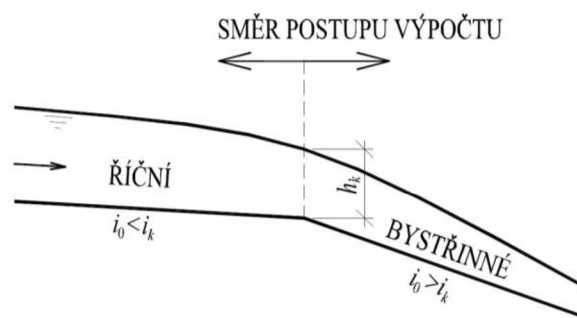
- **ztráty třením**, tedy třením o stěny vedení a vnitřního tření mezi jednotlivými proudovými vlákny,
- **ztráty místní**, tedy změnami průtočných průřezů [44].

Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění se může stanovit pomocí **metody po úsecích**. Tuto metodu proudění vody v otevřených korytech také využívá program HEC RAS [45].

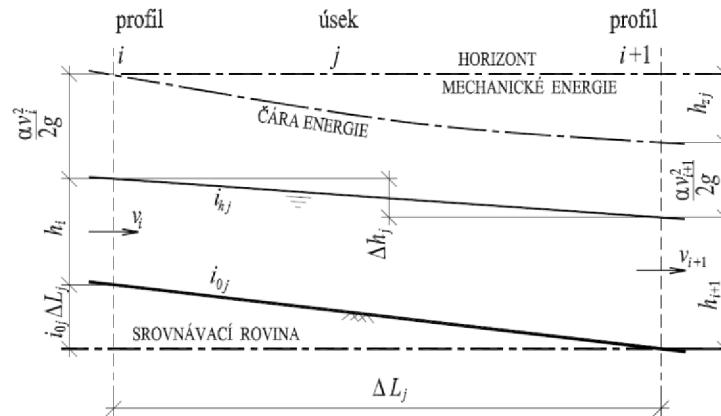
Koryto se rozdělí na úseky o délkách ΔL_j . V jednotlivých úsecích předpokládáme, že průtočné profily, a tedy i rychlosti se mění spojitě z hodnot A_i, v_i v horním profilu na hodnoty A_{i+1}, v_{i+1} v dolním profilu [44].

Podle režimu proudění se zvolí postup při výpočtu:

- Říční proudění, směr výpočtu je proti proudu.
- Bystřinné proudění, směr výpočtu je po proudu.



Obr. 6.3 Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích [44]



Obr. 6.4 Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění [44]

Metoda po úsecích vychází z řešení schématu z Obr. 6.4 dle Bernoulliho rovnice (6.5) [44]:

$$i_{0j}\Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj}, \quad (6.5)$$

kde i_{0j} značí sklon dna mezi profily i a $i+1$, různé od sklonu hladiny a sklonu čáry energie, ΔL_j je vodorovná vzdálenost mezi profily i a $i+1$ a zároveň délka výpočetního kroku [m], h_i a h_{i+1} jsou úrovně hladiny pro daný profil i [m], α je Coriolisovo číslo [-], v_i a v_{i+1} jsou střední rychlosti proudění pro daný profil i [$\text{m}\times\text{s}^{-1}$] a h_{zj} je ztrátová výška mezi profily i a $i+1$ [m] [44].

Metoda po úsecích je vhodná pro řešení úloh, při nichž úroveň hladiny nepřekročí břehové čáry průtočného profilu [45].

6.1.2 Proudění vody ve dvojrozměrném prostředí (2D)

Dvojrozměrné prostředí je vhodné použít při proudění nejen v korytě, ale také v inundačním prostředí. Oproti 1D proudění je zapotřebí mnohem více vstupních podkladů.

K simulaci 2D modelu program HEC-RAS využívá algoritmus založený na Navier-Stokesových rovnicích upravených do tvaru tzv. mělkého proudu, které vycházejí ze zákona zachování hmotnosti a hybnosti [45].

Výsledný upravený tvar pro výpočet mělkého proudu vychází z rovnice kontinuity (6.6) a pohybových rovnic ve směrech x a y [46]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs})}{\partial x} + \frac{\partial(hv_{ys})}{\partial y} = 0, \quad (6.6)$$

kde H je poloha hladiny [m], t je čas [s], h je hloubka vody [m] a v_{xs} a v_{ys} jsou svislicové rychlosti v příslušných směrech [$m \times s^{-1}$].

Pohybové rovnice ve směru x a ve směru y [46]:

$$\frac{\partial(hv_{xs})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{xs}^2)}{\partial x_x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - fhv_{ys} = \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} + \tau_x^{hlad} - \tau_x^{dno}, \quad (6.7)$$

$$\frac{\partial(hv_{ys})}{\partial t} + \frac{\partial(hv_{ys}^2)}{\partial x_x} + \frac{\partial(hv_{xs}v_{ys})}{\partial y} - fhv_{xs} = \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \tau_y^{hlad} - \tau_y^{dno}, \quad (6.8)$$

kde f je vektor objemového zatížení vztažené na jednotku hmotnosti v příslušných směrech [$m \times s^{-2}$], $T_{x,x}$, $T_{x,y}$, $T_{y,y}$ jsou smyková napětí vyvolaná turbulencemi v příslušných rovinách [Pa], τ_x^{hlad} , τ_y^{hlad} jsou smyková napětí na hladině v příslušných směrech [Pa] a τ_x^{dno} , τ_y^{dno} jsou smyková napětí na dně v příslušných směrech [Pa] [46].

V programu HEC RAS je možné použít 2 způsoby výpočtu modelu [47] [48]:

- A **plný tvar St. Venantových rovnic** (tzv. „Full momentum equation“) – zajistí přesnější, spolehlivější výsledek, ale výpočtově náročnější;
- B **rovnici difuzní vlny** – má zjednodušený a rychlejší výpočet, nevhodný pro některé situace.

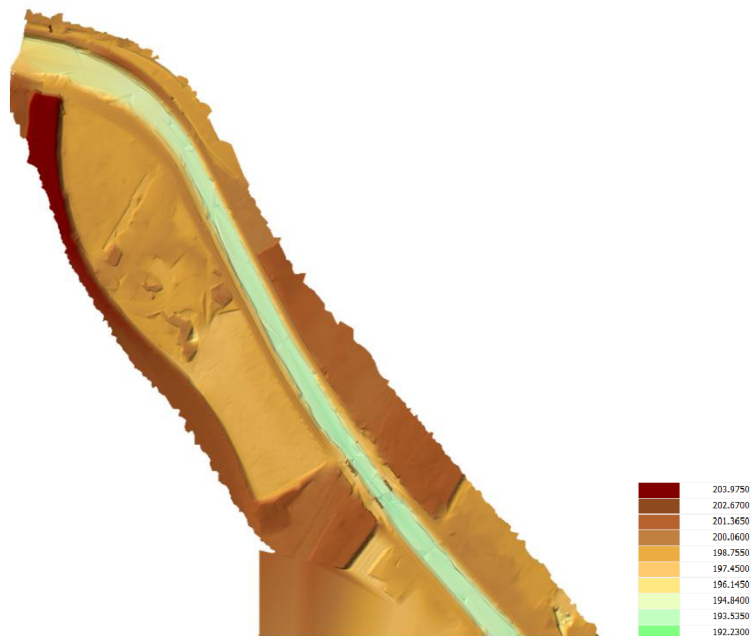
6.2 Stávající stav

Pro vytvoření kvalitního podkladu stávajícího stavu bylo zajištění přesného zaměření spolu s podkladem DMR 5G. Po vypracování podkladu ve formě 3D modelu DMT (digitální model terénu) bylo zapotřebí ověřit jeho správnost a kapacitu, aby mohl být použitý v návrhovém stavu.

6.2.1 Digitální model terénu (DMT)

Digitální model terénu byl vytvořen v programu Atlas DMT. Jeho výsledná podoba je složena z několika částí. Nejdůležitější součástí bylo zaměření v souřadnicovém systému S-JTSK poskytnuté od firmy Šinladr s.r.o. Pomocí zaměřených bodů a profilů s x , y , z souřadnicemi byl vygenerován 3D model. Tento model byl doplněn okolím z digitálního modelu reliéfu

5. generace (DMR 5G), modely byly sloučeny. Aby dno koryta bylo v celé délce ve správné výšce a rovnoměrné, bylo zapotřebí jej upravit pomocí hran. To bylo dokončeno již ve zmíněném programu Atlas DMT. Ukázka výsledku je zobrazena níže.



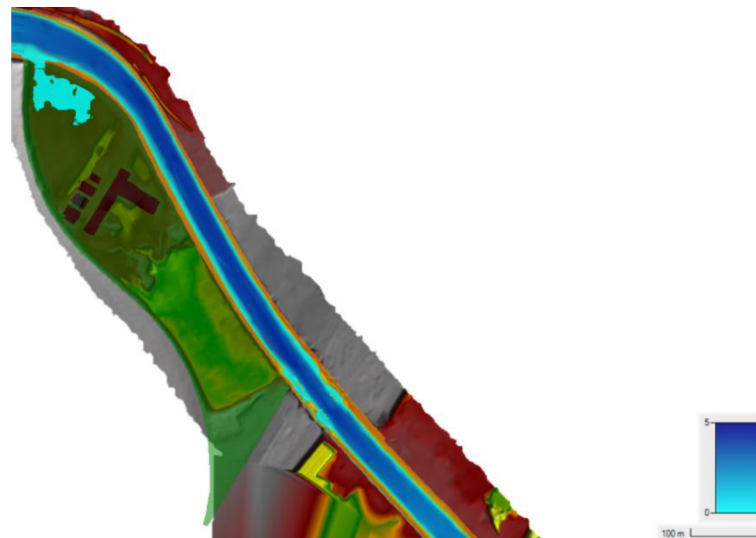
Obr. 6.5 Výstup z programu Atlas DMT – Model DMT stávajícího stavu

6.2.2 Výpočet modelu stávajícího stavu (2D proudění)

Dalším krokem bylo ověření kapacity koryta a přilehlého prostoru. K tomuto kroku bylo zapotřebí zajistit několik podkladů. Pro ověření kapacity koryta byl zvolen software HEC RAS s výpočtem pro dvojrozměrné prostředí.

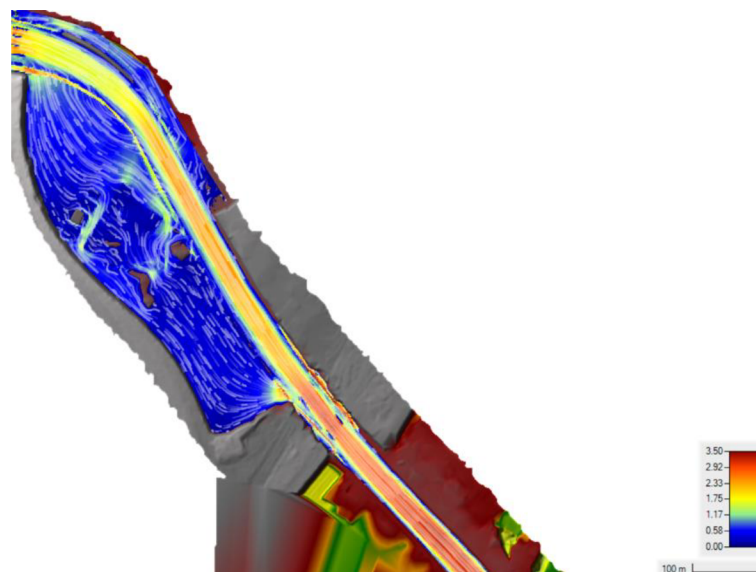
Pro zajištění správného výstupu bylo nutné sestavit několik vstupních parametrů. Nejdříve to byl již zmíněný vytvořený DMT stávajícího stavu, poté zajištění geometrie ve formě výpočtové sítě, hran a drsností. Tyto podklady byly zpracovány ve formátu shapefile a nahrány zpět do softwaru HEC RAS. Drsnostní součinitelé byli zvoleni podle charakteristických povrchů vycházejících z katastrálních map. Pro dokončení výpočtu byly zadány okrajové podmínky ve formě stoleté neovlivněné povodňové vlny pro horní okrajovou podmínku a pro dolní okrajovou podmínku byl zvolen sklon v podélném profilu.

Po výsledném výpočtu bylo zjištěno přelítí při průtoku cca $200 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$, což odpovídá zhruba dvacetileté vodě. V místě zahrádek a železniční polikliniky dojde k zaplavení zhruba po dvou dnech.



Obr. 6.6 Výstup z programu HEC RAS (2D) – hloubky vody při vybřežení

Rychlosti proudění ve stávajícím korytě se pohybují při stoleté vodě od $1,6$ do $3,5 \text{ m}\times\text{s}^{-1}$ v závislosti na šířce koryta. V jižní části je koryto zúženo o zhruba 10 m oproti severní části, proto zde dochází ke vzdouvání a také k větším rychlostem. Směry proudění odpovídají stávajícímu terénu a zadaným drsnostem povrchu.



Obr. 6.7 Výstup z programu HEC RAS (2D)– rychlosti proudění při stoleté vodě

Rychlosti v korytě byly později využity pro zajištění správného druhu opevnění.

6.2.3 Fotodokumentace stávajícího stavu

Pro kompletní zobrazení stávajícího stavu byly pořízeny fotografie z různých míst na lokalitu zájmu.



Obr. 6.8 Pohled na začátek úseku řešeného území řeky Svatky – železniční most Poříčí



Obr. 6.9 Pohled na břeh Svatky a hráz s cyklostezkou – v blízkosti železničního mostu Poříčí



Obr. 6.10 Pohled na brownfield železniční polikliniky



Obr. 6.11 Stávající stav tuhého opevnění kynety



Obr. 6.12 Pohled na levý břeh Svatky



Obr. 6.13 Hráz s cyklostezkou v místě zahrádek pod železniční poliklinikou



Obr. 6.14 Zahrádky pod železniční poliklinikou ve vlastnictví SMB



Obr. 6.15 Konec úseku řešeného území - železniční most v blízkosti ulice Vodařská

6.3 Návrhový stav

6.3.1 Návrh bermy a povodňového parku na návrhové průtoky Q_{30d} a Q_1

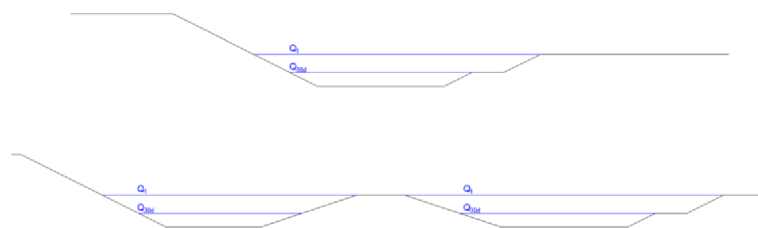
Prostor určený k návrhu byl již podrobně popsán a vymezen v předcházejících odstavcích. Důvod k rozhodnutí pro přírodní povodňový park je již zmíněn. Je třeba začít s rozvahou nad samotným korytem řeky. Jelikož je uvažováno o pravidelném zaplavování parku a zároveň je tento prostor pro to již vymezen v ÚPD, je nutno zvolit při jakých hladinách k tomu má docházet a jak uchopit prostor v přímé blízkosti řeky. Aby mohl park být pravidelně zaplavován a zároveň mohla fungovat vegetace a vodní infrastruktura, je potřeba tento prostor přizpůsobit nejen z pohledu četnosti zaplavování, ale také výběrem druhu vegetace. Parkový prostor je navržen na návrhový průtok Q_1 , tedy na jednoletou vodu, což z pohledu vegetace není tak zásadní, pro novou výsadbu stromů, ani doprovodnou vegetaci.

Berma je navržena na častější zaplavování, a tedy na denní průtok Q_{30d} s dosažením nebo překročením 30 dní v roce. Tento prostor funguje nejen jako pěší stezka v blízkosti řeky, ale také jako pobytový prostor s trvalým travnatým porostem a mobiliářem, kterým jsou například pobytové schody. Berma byla zároveň navržena pro lepší přístup k řece a pro přímý kontakt s přírodou. Tomu nasvědčuje také již zmíněný ostrov navržený v korytě řeky.

6.3.2 Složený profil koryta a tvorba DMT

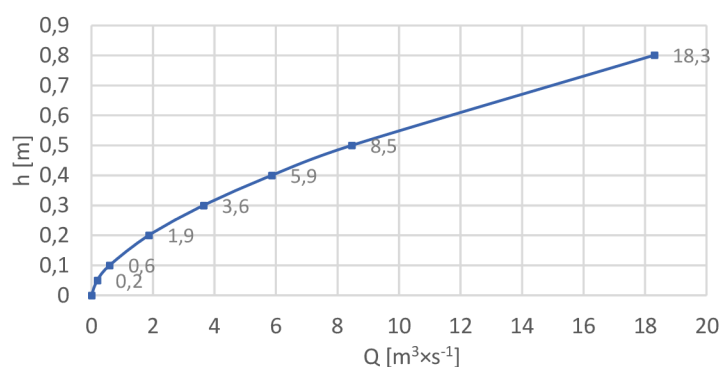
Po celé délce byl uvažován složený profil koryta. Podélný sklon celého úseku byl navržen z podélného profilu stávajícího stavu. Šířka dna je proměnlivá v závislosti na pilířích stávajících mostních konstrukcí nacházejících se na začátku úseku a na jeho konci. Celý řešený úsek se tedy zužuje. V blízkosti stávající železniční polikliniky, v kynetě řeky je navržen přírodě blízký ostrov pro místní faunu.

Pro výpočet složeného profilu byla nejdříve použita Chézyho rovnice. Tento vstupní výpočet byl použit pro dva charakteristické profily v korytě. První profil byl složený profil s bermou na pravém břehu a druhý profil procházel středem ostrůvku. Výpočet sloužil k počáteční představě výšek hladin. Dle těchto výšek a zadaných průtoků (Q_{30d} , Q_1 a Q_{100N}) byla navržena a později vymodelována výška bermy, výška povodňového parku, cyklostezky a také ostrova nacházejícího se v kynetě.



Obr. 6.16 Zjednodušený složený profil a složený profil s ostrovem a návrhovými průtoky

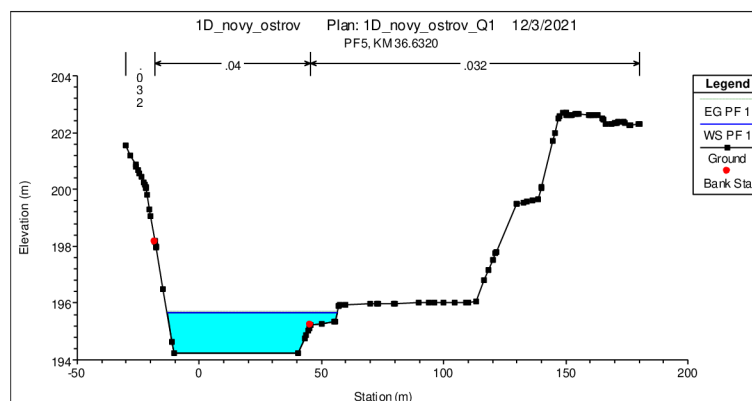
Níže je zobrazená vypočítaná měrná křivka koryta pro návrhový průtok Q_{30d} pro první profil.



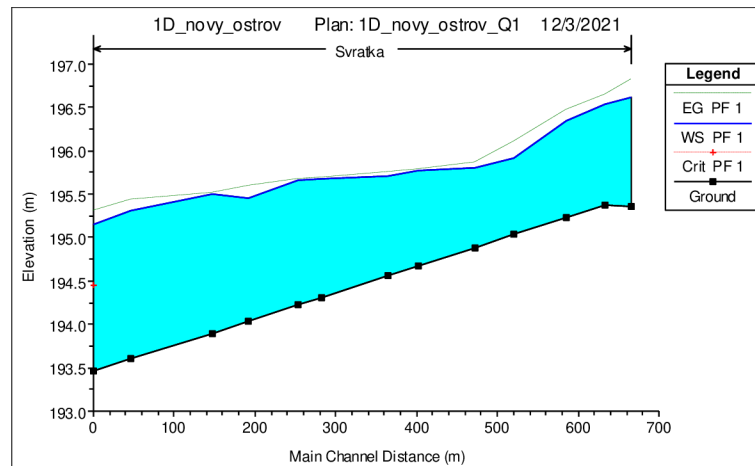
Obr. 6.17 Měrná křivka koryta pro návrhový průtok Q_{30d}

6.3.3 Výpočet modelu návrhového stavu (1D proudění)

Dalším krokem bylo ověření navržených hladin pomocí 1D modelu. Sestrojením příčných profilů, zadáním drsností a stanovením ustáleného proudění pro všechny zvolené průtoky (Q_{30d} , Q_1 a Q_{100N}), byly pomocí software HEC RAS ověřeny zvolené výšky hladiny pro bermu, prostoru zaplavované části parku a úroveň zaplavení ostrova.

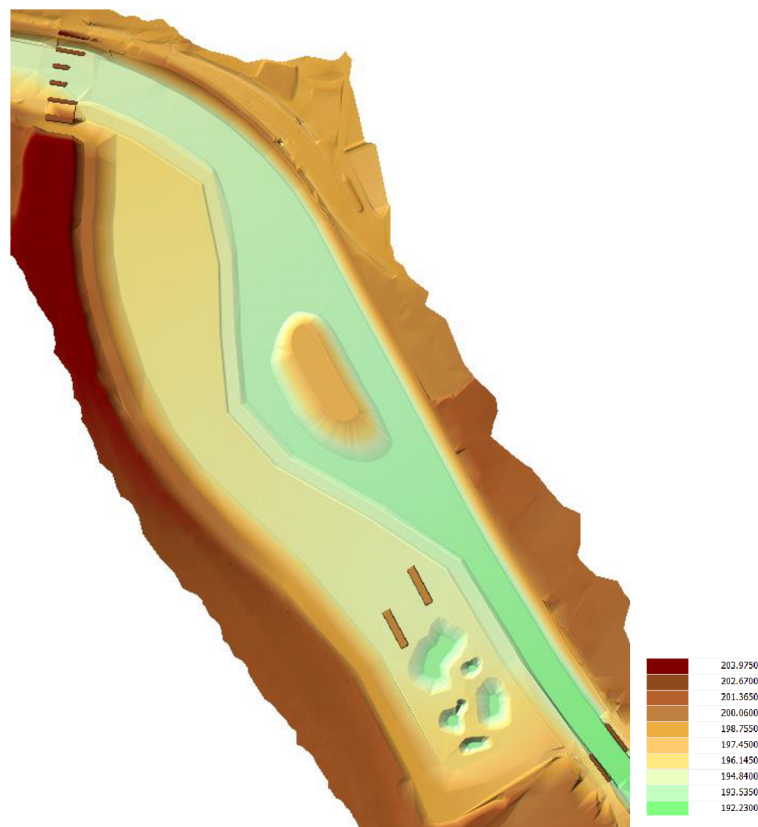


Obr. 6.18 Výstup z programu HEC RAS (1D) – ověření kapacity koryta Q_1 v příčných profilech



Obr. 6.19 Výstup z programu HEC RAS (1D) – ověření kapacity koryta Q_1 v podélném profilu

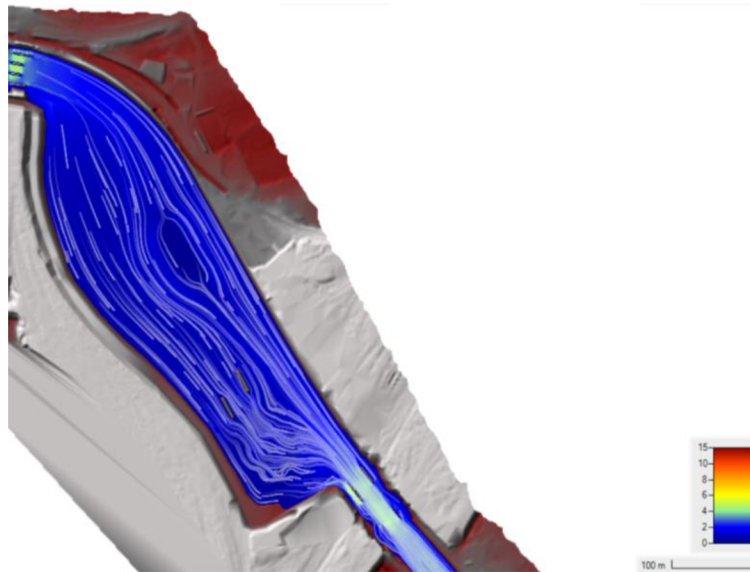
Z profilů bylo následně možné sestavit 3D model (DMT), který obsahuje veškeré terénní úpravy, ať už se jednalo o složený profil s ostrovem, povodňový park s tůňemi nebo cyklostezku ohraničující nový park.



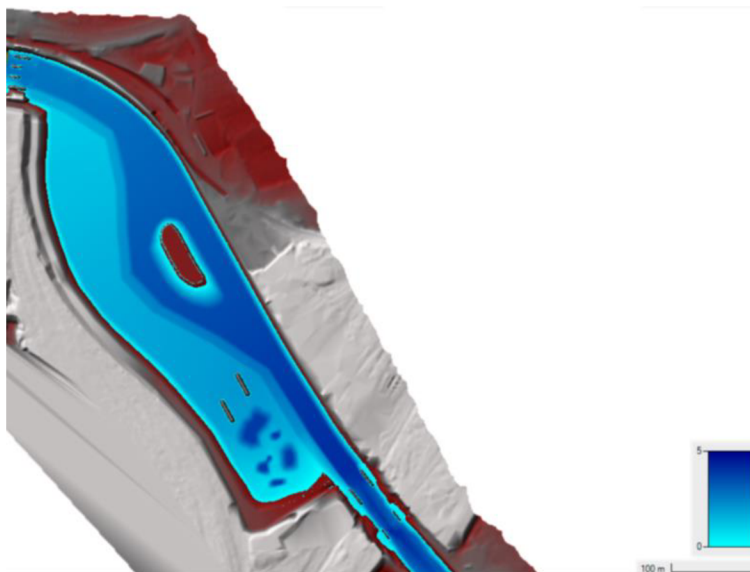
Obr. 6.20 Výstup z programu Atlas DMT – Model DMT návrhového řešení

6.3.4 Výpočet modelu návrhového stavu (2D proudění)

Následně bylo nutné ověřit správnost modelu a kapacitu koryta ve dvojrozměrném prostředí, v reálném čase. Model byl tedy podroben zkoušce stoleté neovlivněné povodňové vlny. Tímto krokem byla nejen ověřena a zpřesněna navrhovaná kapacita toku a povodňového parku, ale také byly zjištěny rychlosti proudění, hloubky, rozlivy a časy zaplavení parku s tůněmi a ostrova.



Obr. 6.21 Výstup z programu HEC RAS (2D)– ověření rychlostí v návrhovém řešení



Obr. 6.22 Výstup z programu HEC RAS (2D)– ověření hloubek v návrhovém řešení

Na základě těchto výsledků a dalších podkladů byly stanoveny důležité parametry, kterými jsou například opevnění kynety a ostrova, druhová skladba vegetace v přírodním parku, skladba stezek, hloubka tůní a umístění mobiliáře.

6.4 Finalizace návrhu

Následovalo dopracování projektu z pohledu praktického a rekreačně-funkčního.

Tůně

Tůně v jižní části jsou navrženy tak, aby byly pod hladinou podzemní vody, a tedy se stálou vodní hladinou. Tvary tůní jsou různých šířek a délek a budou taktéž pravidelně zaplavované.

Vegetace

Jelikož plocha parku bude pravidelně zaplavovaná, je potřeba počítat s tím, že podloží bude mírně vlhké. Proto je dobré podle toho zvolit jak dřeviny, tak květiny v prostoru vymezeném pro luční kvítí. V parku jsou navrženy plochy pro luční kvítí. Z důvodu pravděpodobnosti vlhčího podloží je zapotřebí zvolit správný typ osiva lučních květin. Zároveň plocha v jižní části, která slouží spíše k přirozenému vývoji bude ponechána svému osudu a bude jen občasně prováděna údržba tůní a méně pravidelné sečení k vytvoření mozaikové struktury. Kolem tůní bude ponechán prostor bez stromů, z důvodu lepšího oslunění tůní.

Inženýrské sítě

Místem v parku prochází inženýrské sítě, kmenová stoka, plyn a vodovod. Tyto sítě budou přeloženy do místa násypu po obvodu parku.

Mobiliář

Doplňkový mobiliář bude obsahovat již zmiňované pobytové schody, informační tabule, evakuační prvky, odpadkové koše, lavičky a stojany na kola, případně pozorovací místa.

7 Parametry navrhovaných objektů

Veškeré technické parametry objektů jsou níže popsány a zároveň jsou graficky popsány ve výkresové části.

7.1 Kyneta

Kyneta složeného profilu, schematicky zobrazena na obrázku Obr. 6.16 a detailně v příloze č.04, se zužující šířkou dna je upravená v délce 675 m. Levý břeh bude zachován ve stávajícím stavu a se stávajícím tuhým opevněním. Dno a jeho sklon bude vyrovnán a odtěžen od sedimentů. Pravý břeh bude upraven v proměnlivém sklonu a opevněn po celé délce. Pata svahu bude opevněna záhozem z lomového kamene nad 200 kg a vyplněna kamenivem menší frakce. Svah bude opevněn kamenným záhozem do 200 kg se šterkovým podsypem až po hranu břehu. Výška břehu bermy je navržena na již zmíněný průtok Q_{30d} s odpovídající rezervou 20 cm. V místě úpravy břehu budou stávající dřeviny odstraněny, náhradní výsadba však vznikne v přírodním parku.

V blízkosti ostrova je svah s menším sklonem (1:5) doplněn o písečný násyp, který slouží především pro návštěvníky, kteří chtějí bližší kontakt s vodou. Nedaleko písečné pláže se také nachází pobytová zóna ve formě betonových schodů s dřevěnými prvky.

Sklon dna v podélném profilu:	$3,02 \text{ ‰} = 0,3 \text{ ‰}$
Šířka dna:	20–30 m
Pata svahu:	záhozová patka z lomového kamene nad 200 kg vyplněna kamenivem menší frakce
Opevnění svahu:	zához z lomového kamene do 200 kg se šterkovým podsypem
Sklon svahu:	proměnlivý (1:3–1:5)
Návrhový průtok:	$Q_{30d} = 18,3 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$

7.2 Ostrov

Zhruba v polovině upravovaného úseku toku je navržen přírodě blízký ostrov. Podrobněji je graficky zobrazen v příloze č. 02 a 04. Důvodem vytvoření přírodního ostrova bylo především zajištění izolovaného a klidného prostoru pro místní faunu. Pro zajištění co nejvíce přírodního prostředí je navrženo zachování stávajícího terénu v místě ostrova, dále v tomto místě bude zachována výška a veškerá výsadba. Je nutné upravit opevnění, z důvodů velkých rychlostí a vymílání. Aby ostrov neztrácel velikost své plochy je po celém svém obvodu opevněn. Po stranách, kde se vyskytují nižší rychlosti byla zvolena biologická stabilizace ve formě oživené rovnaniny. Prostory mezi kameny jsou vyplněny hlínou a v nich jsou zasazené vrbové řízky o průměru 10–30 mm. Celé je to podsypáno šterkovým podsypem tloušťky 100 mm. V místech nárazových břehů bude pouze opevnění z lomového kamene ve formě záhozu, stejně jako v kynetě. Opevnění je do výšky zhruba 5 metrů a dále je svah ohumusován a oset v tloušťce 100 mm. Sklony svahů jsou různé, a to především v závislosti na rychlosti proudění a přístupnosti živočichů. Stávající stromy budou doplněny o další náhradní výsadbu. K zaplavení ostrova při stoleté neovlivněné vodě dojde po změně zhruba za 3 dny.

Šířka ostrova ve dně:	30 m
Délka ostrova ve dně:	98 m
Stávající výška:	198,50 m. n. m.
Pata svahu:	záhozová patka z lomového kamene nad 200 kg
Opevnění svahu:	kamenná rovnanina tl. 400 mm s vrbovými řízkami (10–30 mm) vložené do spár vyplněné hlínou
Sklon svahů:	proměnlivý (1:3–1:5)

7.3 Berma

Součástí složeného profilu koryta, jak je ze schematického obrázku Obr. 6.16 zřejmé je berma, která slouží především pro návštěvníky. Zároveň však plní funkci při rozlivu 30denního průtoku. Šířka bermy je 10 m se sklonem 1 %. Středem bermy prochází pěší stezka. Pro přiblížení se přírodě blízkému stavu není berma ani svah na ni navazující opevněn, je tedy pravděpodobné, že tvar se může během několika let pozměnit. Po celé své délce i šířce je povrch

ohumusován a oset v tloušťce 100 mm. K zaplavení bermy při stoleté neovlivněné vodě dojde zhruba za necelý den.

Prostorem ostrova, ale také bermy a její blízkosti procházejí inženýrské sítě. Kanalizace, vodovod a plynovod budou přeloženy do blízkosti násypu cyklostezky v prostoru parku.

Podrobnější dokumentace k ostrovu je přiložena v příloze č. 02 a 04.

Sklon bermy v příčném profilu:	1 %
Šířka bermy:	10 m
Délka bermy:	615 m
Návrhový průtok:	$Q_{30d} = 18,3 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ $Q_1 = 59,5 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$

Pěší stezka

V rámci návrhu je nedílnou součástí bermy pěší stezka, která prochází celým řešeným územím. Začíná v místě stávající cyklostezky 1A Štýřické nábřeží a zpět na ní navazuje na konci řešeného území v místě železničního mostu, kde se spojuje zase s cyklostezkou. Pěší stezka byla navržena především pro návštěvníky, kteří místem pouze neprocházejí, ale chtějí se zde zastavit a kochat přírodou. Zároveň slouží jako spojnice frekventovaného okolí ulice Poříčí a městské části Komárov. Stezka je dlouhá 680 m a široká 3 m po celé délce je lemována trámy z tvrdého dřeva.

Sklon stezky v příčném profilu:	1 %
Šířka stezky:	3 m
Délka stezky:	680 m

Skladba stezky:

Upravená lomová výsivka 0/4 mm červená	40 mm
Zhutněné drcené kamenivo fr. 0–32 mm	60 mm
Zhutněné drcené kamenivo fr. 32–64 mm	150 mm

7.4 Přírodní park

Největší řešenou plochou je pravidelně zaplavovaný přírodní park, taktéž podrobněji zpracován v přílohách č. 02 a 04. Jeho funkce není pouze přírodní, ale také rekreační. Tento park je navržen od bermy ve sklonu 1:3. Jeho rozloha je 3 ha, a z toho 0,4 ha zabírá vodní plocha tůní, které jsou strategicky umístěny v jižní části z důvodu plánované výstavby tramvajového mostu, který má tento prostor rozdělit. Je kladen důraz na zachování prostoru jako co nejvíce přírodního s přirozenou sukcesí. Zbylý prostor je převážně ohumusován a oset travním porostem s oblastmi s odlišnou vegetací. Příkladem jsou plochy vymezené pro luční kvítí, zde mohou být použity směsi lučních kvítí a trav pro vlhké podloží. Tato plocha, jak již bylo zmíněno výše, je určena pro zaplavování při vyšších průtocích, než je jednoletá voda. Dle simulace 2D proudění dojde k zaplavení parku při stoleté neovlivněné vodě za necelý den a půl. V parku také bude vysazena veškerá náhradní výsadba.

Důležitou součástí odpočinkového parku je také mobiliář. Budou se zde nacházet lavičky a informační tabule, které budou sloužit k rekreaci a vzdělání. Aby tyto prvky odolaly pravidelnému zaplavování je třeba je bezpečně ukotvit.

Jelikož bude celkově odebrána vrstva zeminy do hloubky zhruba 3 m pod stávající úroveň, což je již zároveň pod hladinou podzemní vody, bude v tůních zajištěna její stálá hladina. Zároveň bude odtěžena vrstva navážky a jižní část parku se sníží až na vrstvu povodňových jíílů, která může být dobrým nepropustným podkladem pro zadržení vody. Přesto budou tůně pro zajištění čistější vody doplněny kačirkem frakce 8–16 mm.

Tabulka 7.1 Plochy povrchů v návrhovém řešeném území

Plochy povrchů	m ²
Vodní plocha tůní	3 099
Plocha zeleně rovinná	34 196
Plocha vymezená pro luční kvítí	4 524
Plocha zeleně ve svahu	12 574
Plocha cyklostezky	2 610
Plocha pěší stezky	2 146
Ostrov s opevněním	2 499

Sklon plochy parku: 1 %

Návrhový průtok: $Q_1 = 59,5 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$

Cyklostezka

Zakončujícím prvkem celého návrhu je násyp v úrovni vyšší, než je hladina povodňové vlny Q_{100N} a na něm vybudovaná cyklostezka. Sklon násypu je proměnlivý, od 1:3 do 1:5.

Cyklostezka procházející středem násypu o délce 750 m a šířce 3,5 m je ve sklonu 2 % a navazuje na stávající cyklostezku 1A Štýřické nábřeží. Dále pokračuje za parkem pod železničním mostem, do Komárova. Stezka je z asfaltového materiálu, lemována betonovými bezbariérovými obrubníky. Díky velkorysému prostoru zde budou vybudovány zamykatelné stojany na bicykly. V dosahu cyklostezky je do budoucna plánováno vybudování nové místní komunikace, která umožní lepší dostupnost automobilovými prostředky a je zde ponechán prostor i pro případné budoucí parkoviště.

Příčný sklon cyklostezky:	2 %
Délka cyklostezky:	750 m
Šířka cyklostezky:	3,5 m
Sklon násypu:	proměnlivý (1:3–1:5)

Skladba cyklostezky:

Asfaltový beton pro obrusné vrstvy	40 mm
Asfaltový beton pro podkladní vrstvy	50 mm
Štěrkostr' fr. 0–32 mm	150 mm
Štěrkostr' fr. 0–63 mm	150 mm

8 Závěr

Veřejná prostranství byla vždy důležitou a přirozenou součástí nejen měst, ale dříve také osad, sídel či vesnic. S rostoucí populací, zvýšenými nároky či potřebami jsou však veřejná prostranství mírně potlačena v zájmu zajištění základních potřeb jejich obyvatel, a proto je nutné dbát na to, aby se tyto prostory budovaly smysluplně. Přírodě blízké prvky napomohou nejen k lepší adaptaci na klimatickou změnu, ale také ke kvalitnějšímu životu ve městech. Ať už se jedná o opatření v ulicích, parcích nebo nábřežích, je vhodné preferovat co nejpřirozenější formu řešení.

Cílem projektu představeného v této práci bylo vytvořit udržitelný přírodní prostor vhodný nejen pro živočichy a rostliny, ale také pro obyvatele města Brna. Je známo, že zeleň má blahodárné účinky na zdraví jedinců, ale také slouží jako absorpční prvek, který zmírňuje klimatické dopady.

Abychom se lépe adaptovali na klimatické podmínky, ve kterých se v současnosti nacházíme, je třeba přinášet do měst více přírodních prvků. Je důležité každý nový projekt tvořit s rozvahou a myšlenkou na budoucí vývoj populace, její možné sociální problémy, včetně například pandemického stavu, kterého je člověk svědkem od konce roku 2020.

Záměrem návrhu z urbanistického hlediska bylo zajistit obyvatelům budoucích čtvrtí lepší kontakt s přírodou a vodou. Proto byla zmenšena kapacita koryta z Q_{100} na Q_{30d} pro nově navrženou bermu, která zároveň bude sloužit pro pěší stezku s pobytovými prvky a na kapacitu Q_1 pro přírodní park. V celé ploše parku je snížen terén zhruba o 3 až 3,5 m s prvotním cílem zvětšit retenční plochu a zároveň částečně ovlivnit transformaci případné povodňové vlny.

Pomocí poskytnutých podkladů ve formě geodetického zaměření a digitálního modelu reliéfu 5. generace byl zpracován podrobný model, který umožnil pomocí softwaru HEC RAS nasimulovat reálnou povodňovou vlnu a zjistit limity v tomto území. Na základě vymezeného území a stanovených limitů, ať už pomocí územně plánovací dokumentace nebo hydrologických podkladů byl vypracován nový návrh. Ten spočíval především v částečné revitalizaci toku Svratka a retenční plochy přilehlé k řece.

Návrhové řešení bylo ověřeno hydrotechnickými výpočty na třech úrovních. Nejdříve byla ověřena kapacita koryta ručně pomocí Chézyho rovnice, poté v jednorozměrném prostředí

pomocí softwaru HEC RAS a následovalo ověření ve dvojrozměrném prostředí s inundací. Výsledkem návrhu je zlepšení celkové kapacity koryta, a to především při levém břehu řeky, kde v novém návrhu při neovlivněné stoleté vodě již nedochází k vybřežení.

Důležitými přírodě blízkými prvky v návrhu jsou rozšíření kynety a vytvoření ostrova. Ostrov, který je navržen s původními parametry, tedy zachování terénu a vegetace, utvoří izolovaný prostor pro místní faunu a floru. Zároveň z důvodu vymílání bude opevněn. Díky ověřeným rychlostem pomocí 2D modelu byly zvoleny opevnění z lomového kamene. V místech, kde to rychlosti umožňovaly, bylo zvoleno polovegetační opevnění. Při překročení hranice bermy, a tedy třicetidenního průtoku není z pohledu přírodě blízkého nutné tuhé opevnění, protože zde nejsou tak vysoké rychlosti. Přesto může dojít ke drobným erozím, což je však v přírodním parku akceptovatelné.

Celý park bude doplněn o pobytový a edukativní mobiliář a různé druhy vegetace. V jižní části parku budou navrženy vodní plochy v podobě přírodních tůní, které spolu s vegetací budou ponechány přirozené sukcesi, zároveň však může místo sloužit k pozorování.

Kvůli přístupnosti parku byl po jeho obvodu doplněn stezkami. V místě bermy je navržena mlatová stezka pro pěši a po obvodu parku, kde je navržena výška násypu nad hladinou stoleté neovlivněné vody, bude cyklistická stezka, která zároveň umožní bezbariérový přístup do parku.

Díky provázanosti nového parku s uvažovaným návrhem železničního uzlu, budovami nového hlavního nádraží a nově vznikajícími čtvrtěmi, se tento prostor stane důležitým přírodním prvkem města, který bude sloužit jako cílové místo pro odpočinek a rekreaci.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] Atmosféra. *Nauka o Zemi pro technické obory* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-atmosfera.htm>
- [2] BUCHHOLZ, Katharina. How has the world's urban population changed from 1950 to today?. *World Economic Forum* [online]. 2020 [cit. 2022]. Dostupné z: <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/global-continent-urban-population-urbanisation-percent/>
- [3] Adaptace na změnu klimatu ve městech. *Urban Adapt* [online]. Nadace Partnerství, 2015, s. 3 [cit. 2019-05-22]. ISBN 978-80-87756-09-6. Dostupné z: <https://urbanadapt.cz/cs/publikace-adaptace-na-zmenu-klimatu-ve-mestech>
- [4] O projektu urban adapt. *Urban Adapt* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://urbanadapt.cz/cs>
- [5] Vysvětlení pojmů. *Opatření-adaptace* [online]. Praha: Czech Globe, 2017 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <http://www.opatreni-adaptace.cz/vysvetleni-pojmu/#eko-slu>
- [6] ŘEHOŘ, Jan. Statistika. *Meteorologická stanice Brno-Štýřice* [online]. Brno, 2016 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.meteorostyrice.cz/statistics/?year=2020&month=8>
- [7] Mitigace a adaptační možnosti na změnu klimatu pro ČR. *Klimatická změna* [online]. Brno [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/mitigace-a-adaptacni-moznosti-na-zmenu-klimatu-pro-cr/>
- [8] Změna klimatu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha, c2008–2020 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu
- [9] PONDĚLÍČEK, Michael, Vladislav BÍZEK, Adam EMMER et al. *Adaptace na změny klimatu*. Hradec Králové: Civitas per populí, 2016. ISBN 978-80-87756-09-6.
- [10] Nature Based Solutions – Technical Handbook. In: *UNALAB* [online]. Brusel [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://unalab.eu/system/files/2020-02/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions2020-02-17.pdf>
- [11] Zelená a modrá infrastruktura. *UrbanAdapt* [online]. Praha, 2015 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://urbanadapt.cz/cs/zelena-modra-infrastruktura>
- [12] GOLDSTEIN, Alisha. Rain Garden. In: *Flickr* [online]. [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/usepagov/15455930908/>
- [13] JUST, Tomáš. Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi. In: *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR* [online]. 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/akce-publikace/publikace-ke-stazeni/priode-blizke-upravy-vodnich-toku-v-intravilanech-a-jejich-vyznam-v-ochrane-pred-povodnemi/>
- [14] JUST, Tomáš. Přírodě blízká protipovodňová ochrana (PBPPPO). *Agentura ochrany přírody a krajiny ČR* [online]. 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z:

<https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/priode-blizka-protipovodnova-ochrana-pbppo/>

- [15] JUST, Tomáš. *Revitalizace vodního prostředí: všem, kteří si přejí udělat z příkopů a kanálů zase potoky a řeky*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2003. ISBN 80-860-6472-7.
- [16] Povodí Amazonky: Meandry a meandrování jezera. In: *Students for the Living Amazon* [online]. Praha, c2014-2021 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: http://living-amazonia.org/?page_id=572&lang=cs
- [17] DVORSKÝ, Tomáš. 6. Opevňování koryt. *Úpravy toků* [online]. 2018 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/UT/chapter_6.html
- [18] Vltava. In: *Mapy.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: https://d34-a.sdn.cz/d_34/c_B_C/3X6pIP.jpeg?fl=res,2200,2200,1
- [19] Nábřeží řeky Svatky. In: *Pelčák a partner architekti* [online]. Brno [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.pelcak.cz/en/projects/nabrezi-reky-svatky-brno/>
- [20] Qunli Stormwater Wetland Park. In: *Archdaily* [online]. c2008-2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/446025/qunli-stormwater-wetland-park-turenscape/52799dbfe8e44ef00400009f-qunli-stormwater-wetland-park-turenscape-image>
- [21] Boromejská zahrada. *Otevřená zahrada* [online]. Brno, 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://oz.nap.cz/O-nas/boromejska-zahrada.aspx>
- [22] SAMUEL, Pavel. Brno-Chrlice - biocentrum. *Turistika.cz* [online]. c2007-2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/brno-chrlice-biocentrum/detail>
- [23] JUREK, Vilém, Ladislav HANUŠ a Antonín MARTINÍK. Biocentrum Medlánky. *Adaptterra Awards* [online]. Brno: Nadace Partnerství, 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.adaptterraawards.cz/Databaze/2021/Medlanecky-biokoridor>
- [24] JELÍNEK, Boleslav. Regionální biocentrum Stará řeka. *Adaptterra Awards* [online]. Brno: Nadace Partnerství, 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.adaptterraawards.cz/Databaze/2020/Regionalni-biocentrum-Stara-reka>
- [25] *Park pod Plachtami. Jezírko, zachycující dešťovou vodu ze střech paneláků, přinese během 25 let užitek za půl miliardy korun* [online]. Praha: BEZK, 2020 [cit. 2022-01-12]. ISSN 1802-9019. Dostupné z: <https://ekolist.cz/>
- [26] Znovuoživení Staré Ponávky v Brně. *Adaptterra Awards* [online]. Brno: Nadace Partnerství, 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.adaptterraawards.cz/Databaze/2020/Znovuozeni-Stare-Ponavky-Brno>
- [27] Na den mokřadů na vycházku k mokřadu? Už za tři roky na Svatce. *Kancelář architekta města Brna* [online]. Brno [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://kambrno.cz/aktuality/na-den-mokradu-na-vychazku-k-mokradu-uz-za-tri-roky-na-svatce/>

- [28] Ochranné pásmo pro historické jádro města Brna. *Národní památkový ústav - Památkový katalog* [online]. 2015 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/ochranne-pasmo-pro-historicke-jadro-mesta-brna-14540010>
- [29] Druhé vojenské mapování. *Mapy.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://mapy.cz/19stoleti?x=16.6086815&y=49.1834050&z=15&q=brno&source=muni&id=5740&ds=2>
- [30] Protipovodňová opatření na hlavních brněnských tocích. *Voda v Brně* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://voda.brno.cz/projekty/protipovodnova-opatreni-na-hlavnich-brnenskyh-tocich/>
- [31] I. Upravený Návrh (2021). *Portál územního plánování města Brna* [online]. 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://gis.brno.cz/ma/upmb-upraveny-navrh/>
- [32] Úplné znění Územního plánu města Brna. *Portál územního plánování města Brna* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://gis.brno.cz/mapa/upmb/?c=-597822.5%3A-1159214.3&z=4&lb=zm-brno-seda-all&ly=uln%2Cup18&lbo=1&lyo=>
- [33] Územní studie Jižní čtvrť. *Portál územního plánování města Brna* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://upmb.brno.cz/uzemne-planovaci-podklady/uzemni-studie/platne-us/uzemni-studie-jizni-ctvrt/>
- [34] Nahlížení do katastru nemovitostí. *Český úřad zeměměřický a katastrální* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://nahlizeni.dokn.cuzk.cz/>
- [35] Centrální evidence vodních toků. *EAgri Voda* [online]. 2014 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>
- [36] *Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961-2000 = Climatic regions of the Czech Republic : Quitt's classification during years 1961-2000*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2011. M.A.P.S. (Maps and Atlas Product Series). ISBN 978-80-244-2813-0.
- [37] Česko-moravská subprovincie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2022 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cesko-moravsk%C3%A1_subprovincie
- [38] CULEK, Martin. *Biogeografické regiony České republiky*. Brno: Masarykova univerzita, 2013. ISBN 978-80-210-6693-9.
- [39] Přírodní poměry. *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK ČR)* [online]. Praha [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://aopkcr.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ee190990a1be4ac685d5f7c69c637ae4>
- [40] Geovědní mapy 1 : 50 000. *Česká geologická služba* [online]. Praha [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [41] Detail stanice Brno - Poříčí. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=307205

- [42] 2D numerický model neustáleného proudění ve Svatce km 28,2 až km 47,7 a ve Svitavě km 0,0 až km 11,5. *Voda v Brně* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://voda.brno.cz/data/files/filemanager/52/k-3-neustaleny-2d-model-brno-452.pdf>
- [43] *Povodně nemusely být tak ničivé, kdybychom nezabetonovali zeleň* [online]. Nature media, s.r.o., c2011-2022 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/povodne-nemusely-byt-tak-nicive-kdybychom-nezabetonovali-zelen/>
- [44] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-739-0.
- [45] BRUNNER, Gary. HEC-RAS, River Analysis System. In: *US Army Corps of Engineers* [online]. [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS_6.0_Users_Manual.pdf
- [46] JANDORA, Jan. *Matematické modelování ve vodním hospodářství: Modul 01*. Brno, 2008.
- [47] BRUE, Paige. 2D Modeling in HEC-RAS, A Quick Start Guide. *Engineer Paige* [online]. California [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://engineerpaige.com/2d-modeling-in-hec-ras-a-quick-start-guide/>
- [48] Shallow Water or Diffusion Wave Equations. *HEC-RAS 2D User's Manual* [online]. 2022 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2dum/latest/running-a-model-with-2d-flow-areas/shallow-water-or-diffusion-wave-equations>

10 Seznam obrázků

Obr. 2.1 Zvyšující se podíl populace žijící ve městech.....	12
Obr. 2.2 Schematický obrázek tepelného ostrova města – průběh teplot ve dne a v noci.....	13
Obr. 2.3 Trojúhelníkový diagram ze Čtvrté hodnotící zprávy (AR4 IPCC)	14
Obr. 3.1 Příklad dešťové zahrady.....	18
Obr. 3.2 Charakter toku v krajině a v intravilánu.....	19
Obr. 3.3 Meandrující koryto řeky v údolní nivě v Patagonii.....	22
Obr. 3.4 Charakteristický meandr	22
Obr. 3.5 Příklad bermy přírodní – řeka Sulz v německém Beilngries	23
Obr. 3.6 Příklad bermy jalové – řeka Vltava v Českých Budějovicích.....	24
Obr. 3.7 Příklad ostrova ve Wasserparku ve Vídni	24
Obr. 3.8 Vizualizace budoucího návrhu nábřeží řeky Svratky.....	25
Obr. 3.9 Mokřadní park v Číně	26
Obr. 3.10 Otevřená zahrada – Brno-střed.....	27
Obr. 3.11 Biocentrum Stará řeka – Brno-jih	28
Obr. 3.12 Park Pod Plachtami – Brno-Nový Lískovec	29
Obr. 3.13 Revitalizace Staré Ponávky – Brno-Komárov	29
Obr. 3.14 Vizualizace navrženého mokřadu u řeky Svratky – Brno-Pisárky.....	30
Obr. 4.1 Mapy z druhého vojenského mapování 19. století – Brno.....	31
Obr. 4.2 Geologické zastoupení v řešeném území	36
Obr. 4.3 Hloubky vody na soutoku Svratky a Svitavy	38
Obr. 6.1 Fáze projektu.....	42
Obr. 6.2 Rovnoměrné proudění.....	43
Obr. 6.3 Směr výpočtu při řešení nerovnoměrného proudění metodou po úsecích	44
Obr. 6.4 Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění.....	45
Obr. 6.5 Výstup z programu Atlas DMT – Model DMT stávajícího stavu.....	47
Obr. 6.6 Výstup z programu HEC RAS (2D) – hloubky vody při vybřežení	48
Obr. 6.7 Výstup z programu HEC RAS (2D)– rychlosti proudění při stoleté vodě.....	48
Obr. 6.8 Pohled na začátek úseku řešeného území řeky Svratky – železniční most Poříčí.....	49
Obr. 6.9 Pohled na břeh Svratky a hráz s cyklostezkou – v blízkosti železničního mostu Poříčí	49
Obr. 6.10 Pohled na brownfield železniční polikliniky.....	50
Obr. 6.11 Stávající stav tuhého opevnění kynety.....	50
Obr. 6.12 Pohled na levý břeh Svratky	51
Obr. 6.13 Hráz s cyklostezkou v místě zahrádek pod železniční poliklinikou.....	51
Obr. 6.14 Zahrádky pod železniční poliklinikou ve vlastnictví SMB.....	52
Obr. 6.15 Konec úseku řešeného území - železniční most v blízkosti ulice Vodařská.....	52

Obr. 6.16 Zjednodušený složený profil a složený profil s ostrovem a návrhovými průtoky	54
Obr. 6.17 Měrná křivka koryta pro návrhový průtok Q_{30d}	54
Obr. 6.18 Výstup z programu HEC RAS (1D) – ověření kapacity koryta Q_1 v příčných profilech	54
Obr. 6.19 Výstup z programu HEC RAS (1D) – ověření kapacity koryta Q_1 v podélném profilu	55
Obr. 6.20 Výstup z programu Atlas DMT – Model DMT návrhového řešení	55
Obr. 6.21 Výstup z programu HEC RAS (2D)– ověření rychlostí v návrhovém řešení	56
Obr. 6.22 Výstup z programu HEC RAS (2D)– ověření hloubek v návrhovém řešení	56

11 Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Adaptační opatření dle typu realizace	16
Tabulka 4.1 M-denní průtoky na profilu Poříčí na řece Svatce	37
Tabulka 4.2 N-leté průtoky na profilu Poříčí na řece Svatce	37
Tabulka 7.1 Plochy povrchů v návrhovém řešeném území.....	61

12 Seznam použitých zkratek a symbolů

PBO	přírodě blízká opatření
PBPO	přírodě blízká protipovodňová opatření
SMB	statutární město Brno
AOPK	Agentura ochrany přírody a krajiny ČR
ORP	obec s rozšířenou působností
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
POP	protipovodňová opatření
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. generace
DMT	digitální model terénu
WMS	Web Map Service
ŽUB	železniční uzel Brno
ÚPD	územně plánovací dokumentace
k. ú.	katastrální území
HEC RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, vodohospodářský simulační software vyvíjený a volně poskytovaný armádou USA
1D	jednorozměrný model
2D	dvojměrný model
°c	stupeň celsia
A	průtočná plocha [m^2]
i_o	sklon dna [-]
i_h	sklon hladiny [-]
i_p	průměrný sklon čáry energie [-]
v	rychlost [$\text{m} \times \text{s}^{-1}$]
Q	průtok [$\text{m}^3 \times \text{s}^{-1}$]

Q_M	průtok, který je dosažen nebo překročen během M-dní v roce [$m^3 \times s^{-1}$]
Q_N	průtok, který je dosažen nebo překročen v dlouhodobém průměru jednou za N-let [$m^3 \times s^{-1}$]
C	Chézyho rychlostní součinitel [-]
R	hydraulický poloměr [m]
O	omočený obvod [m]
ΔL_j	vodorovná vzdálenost mezi profily [m]
h_z	celková ztrátová výška [m]
α	coriolisovo číslo [-]
H	nadmořská výška hladiny [m n. m.]
x, y	vzdálenost v daném směru [m]
t	čas [s]
τ	smykové napětí [pa]
T	turbulentní smykové napětí [pa]
n	Manningův drsnostní součinitel [-]
f	objemové zatížení vztažené na jednotku hmotnosti [m]
g	tíhové zrychlení [$m \times s^{-2}$]
h	hloubka (vody) [m]

13 Seznam příloh

Výkresová část

Příloha č.01 Situace širších vztahů

Příloha č.02 Celková situace

Příloha č.03 Podélný profil

Příloha č.04 Příčné řezy

Mapová část

Příloha č.05 Mapa hloubek při Q_{100N} – stávající stav

Příloha č.06 Mapa hloubek při Q_{100N} – návrhový stav

Příloha č.07 Mapa rychlostí při Q_{100N} – stávající stav

Příloha č.08 Mapa rychlostí při Q_{100N} – návrhový stav

Příloha č.09 Mapa hloubek při Q_1 – návrhový stav

Příloha č.10 Mapa hloubek při Q_{30d} – návrhový stav