

Program TransAdapt

Translace poznatků a transfer postupů pro adaptaci
na klimatickou změnu do zemědělské a lesnické praxe
a veřejné správy: co-creative přístup

Aktivita 1.2

Optimalizace adaptačních opatření pro celé povodí Dyje včetně
opatření na zajištění disponibilních zdrojů vody a propojení
soustav

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod..... | 3 |
| 2. Shrnutí předcházejících aktivit a stav hydrologického modelu | 3 |
| 2.1. Stručný popis původní verze modelu „AdaptDyje 1“ | 3 |
| 2.2. Stručný popis aktualizace „AdaptDyje 2“ | 4 |
| 3. Optimalizace adaptačních opatření pro celé povodí řeky Dyje včetně opatření na zajištění disponibilních zdrojů vody a propojení soustav | 6 |
| 3.1. Optimalizace adaptačních opatření..... | 7 |
| 3.2. Adaptačních opatření v sektoru lesního hospodářství | 8 |
| 3.3. Adaptačních opatření v sektoru vodního hospodářství..... | 13 |
| 3.3.1. Ukázka možných adaptačních opatření v sektoru vodního hospodářství..... | 15 |
| 3.4. Adaptačních opatření v městských aglomeracích..... | 19 |
| 3.4.1. Adaptační opatření v městských aglomeracích – město Brno | 21 |
| 3.5. Propojování vodárenských soustav | 23 |
| 3.5.1. Propojování vodárenských soustav Jihomoravského kraje a Kraje Vysočina ... | 24 |
| 4. Závěr | 25 |
| 5. Seznam použitých zkratk | 27 |
| 6. Literatura..... | 28 |

1. Úvod

Povodí Dyje patří k oblastem s nejnižším množstvím srážek v poměru k výparu v ČR, což znamená, že má jednu z nejnepjatějších vodních bilancí. Tento fakt, mimo jiné, je jedním z důležitých faktorů existence rozsáhlé vodohospodářské soustavy, která stabilizuje vodní bilanci v oblasti. Klimatická změna způsobuje rostoucí teploty, což urychluje globální hydrologický cyklus a mění rozdělení srážek. Zatímco teplota v ČR roste a trend je zřejmý, u srážek se očekává, že dlouhodobé průměry zůstanou v příštích desetiletích podobné. V důsledku vyšších teplot se však zvyšuje potenciální evapotranspirace, což vede k negativní změně vodní bilance (při konstantních srážkách).

Pro udržitelnost vodních zdrojů v budoucnosti je klíčové vyvinout a testovat metody, které kvantifikují dopady klimatických změn na vodní bilanci. Jednou z vhodných metod je analyzovat tyto predikce na základě výstupů z fyzikálně podložených hydrologických modelů jako je například model MIKE SHE@DHI. Cílem hydrologických modelů je provádět dlouhodobé simulace hydrologické bilance v povodí a analyzovat scénáře klimatických změn a scénáře adaptačních opatření a jejich vliv na vodní bilanci. Takovýto model dokáže využívat širokou škálu dat a odpovídá současnému stavu vědeckých poznatků. Zohledňuje zpětné vazby jednotlivých procesů a umožňuje simulovat budoucí vývoj pomocí změn parametrů založených na fyzikálních principech.

Model Dyje je vyvíjen pro analýzu změn v hydrologických poměrech a stabilitu vodní bilance v různých segmentech využívání vody. Sleduje distribuci srážek, evapotranspiraci, povrchové a podpovrchové proudění vody a mění se dynamiku v čase a prostoru, od denních až po roční intervaly. Speciální důraz je kladen na hodnocení zajištění dostatečných povrchových vodních zdrojů.

V rámci předešlé aktivity v programu TransAdapt 1.1 došlo k upřesnění modelu MIKE SHE pro povodí Dyje a tyto změny vedly k realističtější distribuci jednotlivých parametrů (např. půdní data, zpřesnění výpočtu evapotranspirace, index listové plochy) a lepším výsledkům kalibrace a verifikace modelu na území povodí Dyje.

2. Shrnutí předcházejících aktivit a stav hydrologického modelu

Hydrologický model povodí řeky Dyje je kontinuálně vyvíjen a vylepšován ÚVGZ od roku 2020. V první fázi byl model vyvíjen v úzké spolupráci s dalšími dodavateli dat a technologií. Následné rozsáhlé úpravy byly již realizovány pouze ÚVGZ v rámci projektu TransAdapt. Následující dvě kapituly stručně popisují obě vývojová stádia modelu.

2.1. Stručný popis původní verze modelu „AdaptDyje 1“

Model byl vyvíjen v letech 2020 až 2022 ve spolupráci s výzkumnými a realizačními týmy. Modelované území pokrývá celé povodí řeky Dyje až přibližně 4 km pod profil ČHMÚ 4805 Ladná. Z důvodů složitých hydrogeologických podmínek v Ústecké synklinále model zahrnuje malou část povodí řeky Třebovky, a dále také část povodí řeky Kyjovky až k profilu 4860 Kyjov. V modelu je zahrnuto 60 profilů na tocích pro porovnávání povrchových průtoků a 70 lokalit kde lze porovnávat hladiny podzemní vody (HPV) oproti měřeným hladinám

v rámci monitoringu prováděného ČHMÚ. Dále model obsahu 16 vodních nádrží, kde lze porovnávat simulované a měřené hladiny vody. Hydrodynamický 1D model celkem pokrývá 1470 km toků a to včetně 32 jezů a 23 manipulovatelných objektů.

Při vývoji této verze modelu „AdaptDyje 1“ nebyly ještě k dispozici výsledky vlastního polního měření hydropedologických vlastností v povodí Dyje. Bylo proto nutné odhadnout tyto vlastnosti podle analýzy podobných lokalit s dostupnými měřeními. Model byl v tomto stádiu kalibrován, ale s výraznou nejistotou.

Dále byla v této verzi modelu referenční evapotranspirace (Eto) zavedena semi-distribuovaně pomocí dat dálkového průzkumu Země (DPZ) a mapy využití území (CORINE Land Cover 2018), což vedlo k rozdělení území do 35 tříd. Pro každou třídu byly odvozeny časové řady ETo na základě fyziologických vlastností porostů.

Geologické prostředí povodí Dyje je velmi heterogenní a složité, což ovlivňuje odtokové procesy. Tato oblast se nachází na hranici Českého masívu a Západních Karpat. Většina území je tvořena krystalinikem, kde je odtok charakterizován především mělkým přípovrchovým a povrchovým prouděním. Podzemní vody jsou místní, zejména podél hlavních vodních toků. V některých oblastech Dyjsko-Svrateckého úvalu a flyše se vyskytují sedimenty s proměnnou hydraulickou vodivostí a možností napojení podzemních vod na povrchové toky. Geologická struktura zahrnuje všechny typy propustnosti, od průlinové po krasovou. V povodí Dyje je zastoupeno 22 hydrogeologických rajónů, na které navazují odběry podzemních vod. Tyto odběry jsou zahrnuty v modelu pro bilanční účely, ale hydrologický model nemůže detailně popsat složitou geologickou strukturu, která je klíčová pro bilancování podzemních vod. Pro bilanci hlubinných odběrů, které mají pomalý oběh, není tento model vhodný a takové odběry byly většinou nezohledněny.

2.2. Stručný popis aktualizace „AdaptDyje 2“

Cílem úkolu 1.1 projektu TransAdapt bylo zpřesnit koncepční verzi modelu a rozšířit ji o nádrže a další části, které nebyly k dispozici při jeho vzniku. Rozšíření dále zahrnuje rakouskou část povodí Dyje, i když stále není zpracována v takovém detailu jako ostatní části České části povodí, protože data z Rakouska nebyla poskytnuta v dostatečném rozsahu a kvalitě pro eliminaci nejistot v modelovaných výstupech. Na druhou stranu zahrnutí těchto dat umožňuje simulaci povodí Dyje v homogenní podobě, což bylo jedním z cílů a důvod pro doplnění modelu o přeshraniční část povodí.

Další důležitá součást této aktualizace bylo zpřesnění jednotlivých vstupů. V předešlé verzi modelu byla část nutných vstupů v prostorově uniformní podobě, např. výše uvedené hydropedologické vlastností. V rámci rozsáhlé aktualizace proběhly nutné kroky k tomu, aby byly všechny důležité parametry a vstupní veličiny modelu plošně distribuované.

Hlavní a realizované aktivity v rámci úkolu 1.1 lze definovat následovně:

- Zavedení nových, detailnějších a prostorově distribuovaných dat:
 - měření hydropedologických charakteristik kopaných půdních sond
 - data komplexního průzkumu půd
 - zavedení upřesněných manipulačních řádů nádrží
 - upřesnění drenáží

- kontrola odběrů a vypouštění včetně zavedení detailních dat o distribuci městských vod v brněnské aglomeraci
- Optimalizace metody zavedení stávajících i nových dat:
 - výběr vhodné metody pro výpočet referenční evapotranspirace
 - stanovení optimálního výpočtu vegetačních parametrů na základě dálkového průzkumu Země
 - optimalizace zavedení manipulačních strategií na modelovaných vodních dílech (reálné řízení pomocí funkce „Control Structure“)
- Příprava modelové schematizace pro možnosti posuzování adaptačních opatření technického i přírodě blízkého charakteru a testování příkladných opatření jednotlivě a v kombinaci.
- Doplnění modelové schematizace pro možnosti bilančního posouzení klíčových prvků vodohospodářské soustavy:
 - zavedení řízených vodárenských odběrů na základě manipulačního řádu
 - stanovení a implementování metody posouzení zabezpečení odběrů z VD
- Prověření stavebních prvků modelu. Důraz byl kladen na oblasti hlubokých zvodní, kde byly testovány možnosti vylepšení hydrologického bilančního modelu pro popis proudění podzemní vody se středně rychlým či rychlým oběhem (podzemní vody pomalého oběhu nemohou být tímto nástrojem posuzovány).
- Kalibrace prostorového rozložení aktuální evapotranspirace na základě srovnání simulovaných hodnot s výstupy nástrojů dálkového průzkumu země (DisALEXI)
- Testování možností a přínosu zavedení radarových srážkových dat pro posílení časoprostorové variability okrajových podmínek odtokového procesu.

Pro posouzení budoucích adaptačních opatření v oblasti vodohospodářské infrastruktury byla aktualizována a zpřesněna pravidla operativní manipulace na vodních dílech. Aktuální model zahrnuje 33 manipulovatelných objektů. Manipulační pravidla byla schematizována pomocí funkce řízení objektů (Control Structure-CS). Například odtok z nádrží je řízen podle přítoků a aktuálních hladin v nádržích, s ohledem na principy manipulace dle manipulačních řádů. Odtoky při vyšších a povodňových stavech byly zpřesněny nastavením parametrů bezpečnostních přelivů dle aktuálních konsumpčních křivek. Byly také přidány manipulovatelné objekty s pohyblivými hradicími konstrukcemi pro odtok větších průtoků na vodních dílech (segment, klapka apod.). Pro analyzování zabezpečení odběrů vody pro zásobování obyvatelstva, byl u vodárenských odběrů, zaveden způsob řízení také na základě CS funkcí – odběr je realizován pouze, pokud je splněna podmínka dosažení hladiny stálého nadržení dle manipulačního řádu, což, jak již bylo řečeno, umožňuje sledovat zabezpečení každého odběru.

Jak již bylo zmíněno dříve, mezi hlavní přínosy aktualizace modelu v rámci úkolu 1.1 patřilo, že vegetační parametry jsou již schematizovány plně distribuovaným způsobem. Na rozdíl od předchozí verze modelu „AdaptDyje 1“, která vycházela z polygonů tříd využití

území, využívá nová verze jako hlavní zdroj data dálkového průzkumu Země, konkrétně měřené hodnoty indexu listové plochy (LAI) získané spektrometrem MODIS. Hodnoty LAI byly získány v denním kroku za období 2001–2020. Hodnoty dalších vegetačních parametrů, jako je hloubka kořenění (Root Depth, RD) a vegetační koeficient (Kc), byly odvozeny podle metody popsané v Mendiguren et al. (2017). Pro simulaci budoucího období byly vegetační parametry modelovány pomocí metody uvedené v Xin et al. (2018).

Při stanovování referenční evapotranspirace bylo testováno několik přístupů založených na rovnici Penman-Monteith, které využívaly interpolovaná staniční měření klimatických proměnných. Testování měřených dat aktuální evapotranspirace probíhalo v pilotním povodí horní Svatky. Zatímco použití absolutních hodnot nepřineslo jednoznačné výsledky, zlepšení parametrizace modelu bylo dosaženo při posuzování shody prostorových vzorců aktuální evapotranspirace mezi výstupy modelu a mapou evapotranspirace odvozenou z diagnostického modelu DisALEXI, která využívá data ze spektrometru MODIS.

Pro optimalizaci simulací a zajištění širšího posouzení různých variant navrhovaných adaptačních opatření byly odstraněny hlavní nestability modelu, což umožnilo použití většího časového kroku v hydrodynamické simulaci. Tento časový krok je klíčovým limitem celého systému. Především u objektů bylo zpřesněním geometrie příčných profilů a přepadové hrany dosaženo hladšího výpočtu energetických rovnic přepadu.

Regionalizací modelových parametrů byly odstraněny diskontinuity ve výsledkových mapách, což podstatně zlepšilo možnost prezentace prostorově distribuovaných výsledků. Model byl rovněž aktualizován o nejnovější měřená data a poznatky, což vede k realističtější schematizaci hydrologických procesů v povodí.

Závěrem lze konstatovat, že aktualizace hydrologického modelu povodí řeky Dyje v rámci úkolu 1.1 projektu TransAdapt byla zdárně provedena a díky tomu je model připraven pro užití pro úlohy 1.3 a 1.5 a zároveň 1.9 v rámci projektu TransAdapt.

3. Optimalizace adaptačních opatření pro celé povodí řeky Dyje včetně opatření na zajištění disponibilních zdrojů vody a propojení soustav

Hlavní principem uplatňovaným při posuzování dopadu klimatické změny na vodní bilanci hydrologických povodí a také při posuzování jednotlivých či kombinací adaptačních opatření je použití hydrologických modelů (HM). Využití HM umožňuje vyhodnocení jednotlivých opatření i jejich vzájemných kombinací, přičemž zohledňuje jejich interakce v čase a prostoru. Tento kvantitativní přístup nabízí objektivní pohled na potenciální efekty adaptačních strategií, včetně neúmyslných dopadů. Protože adaptační opatření jsou navrhována pro budoucnost, je nezbytné je testovat nejen na současné klimatické podmínky, ale také s ohledem na podmínky budoucí vzhledem k změně klimatu. Zahrnutí klimatických scénářů je tedy klíčovým prvkem. Je potřeba zmínit, že navrhovaná a posuzovaná adaptační opatření jsou do HM vkládána pouze jako koncepční návrh a cílem je posoudit vliv těchto adaptačních opatření na konkrétní hydrologické procesy a celkovou vodní bilanci. Jedním z klíčových úkolů je správně identifikovat parametry HM a jejich změny, které reflektují dopady adaptačních opatření v čase a prostoru. Proto je nezbytné, aby hydrologický model zohledňoval všechny relevantní procesy a také pracovat s adekvátním prostorovým rozlišením, které odpovídá

rozsahu opatření. Pokud opatření překračuje prostorovou schopnost modelu, lze jeho dopady integrovat prostřednictvím modifikace specifických parametrů, přičemž tento postup musí být důkladně verifikován z hlediska fyzikální smysluplnosti změny těchto specifických parametrů. Neocenitelnou výhodou HM je jejich schopnost kvantifikovat dopady a poskytovat prostor pro kombinování různých adaptačních opatření.

V rámci projektu se pracovalo s mnoha obecnými i konkrétními adaptačními opatřeními jako jsou například:

- úpravy dřevinné skladby v lesním hospodářství
- zlepšení retenční kapacity půd a infiltrace
- revitalizace a renaturalizace vodních toků
- výstavba vodních nádrží dle generelu LAPV pro akumulaci povrchových vod,
- převody vody mezi povodími, primárně pro potřeby zásobování obyvatelstva vodou

V rámci adaptačních opatření v sektoru lesního hospodářství je kladen důraz na úpravu dřevinné skladby, aby odpovídala změnám klimatu, a na opatření, která podporují retenční kapacitu lesních půd. Dalšími opatřeními jsou zlepšení infiltrace půdy a snížení její utuženosti, což jsou klíčové směry, které by měly být podporovány a dotovány. V zemědělství jsou zvažována opatření, která zahrnují změny v hospodaření, jako je pěstování mezplodin, nové osevní postupy, pásové obdělávání a další technologie na minimalizaci vodní eroze a zlepšení zadržování vody v krajině.

Dále se plánují revitalizační a renaturalizační úpravy vodních toků, které podporují zadržování vody v krajině a biodiverzitu. Zároveň jsou navrhována protipovodňová opatření, která mají zmírnit rizika povodní a ochranu majetku a života. K tomu se přidávají opatření v oblasti výstavby vodních děl pro akumulaci vod podle generelu LAPV. Dalšími důležitými adaptačními opatřeními jsou posílení povrchových vodních zdrojů a jejich propojení pro zajištění dostatečných zásob pitné vody, a to v rámci územního rozvoje jednotlivých krajů i větších územních celků.

3.1. Optimalizace adaptačních opatření

Jak již bylo zmíněno, v rámci plnění úkolů v projektu TransAdapt se v první fázi provedla celková aktualizace koncepčního modelu povodí řeky Dyje a v navazující části se model využil na posuzování a optimalizaci návrhu adaptačních opatření. Jednotlivá adaptační opatření musí pokrývat široké, někdy i částečně protichůdné požadavky jednotlivých sektorů, kterých se dopady klimatické změny na vodní bilanci dotýkají. Je ale potřeba postupovat spravedlivě, neupřednostňovat žádný sektor a dopady jednotlivých adaptačních opatření a jejich kombinací vyhodnocovat maximálně objektivně. Nejen z tohoto důvodu bylo v rámci simulací na hydrologickém modelu povodí řeky Dyje prověřeno větší množství velmi různorodých opatření a jejich kombinací s cílem najít optimální adaptační opatření či jejich kombinace a vyhodnotit jejich dopad na vodní bilanci.

Tabulka 3-1: Ukázka prověřovaných adaptačních opatření na hydrologickém modelu povodí Dyje

| ID opatření | Jednoduchý popis adaptačního opatření |
|-------------|---------------------------------------|
|-------------|---------------------------------------|

| | |
|----|--|
| 2 | Do modelu vloženy nádrže z registru LAPV – Borovnice (Svratka) a Kuřimské Jestřabí (Libochovka) dle návrhu VUT Brno |
| 6 | Využitelná vodní kapacita (AWC) zvýšena o 40 % pro zemědělskou půdu |
| 12 | „Všude listnatý les“ = plošné opatření (zavedeno v ploše) – les nastaven podle mapy potenciální přirozené vegetace (Neuhäuslová et al. 1997) - nastavení vegetačního typu listnatý les. Mapa potenciální přirozené vegetace zachycuje abstraktní a hypotetický vegetační kryt, který je výrazem rovnováhy mezi současným, člověkem ireverzibilně změněným prostředím a vegetací. Jedná se oficiální produkt z dílny Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. Tento scénář by mohl představovat zajímavou (i když asi ne "extrémní") variantu možných změn ve vegetačním krytu. |
| 17 | Zvýšené odběry z Víru a propojení vodárenských soustav Dyje-Vltava. Odběry z Víru budou lineárně narůstat z 30 l/s (nyní) na 40 l/s (2025), 60 l/s (2035) a 90 l/s (2050), na hodnotě 90 l/s zůstane do konce 21.století. Z tohoto množství bude třetina převáděna do povodí Vltavy pro zásobení vodárenské soustavy Žďár nad Sázavou (je zadáno zvlášť a lze hodnotit zabezpečení odběrů). Převodění 8-30 l/s z Želivky do povodí Dyje je formou vypouštění do ČOV Jihlava. |
| 19 | Opatření 017 + 5 LAPV. Do modelu vloženy nádrže z registru LAPV – Borovnice (Svratka), Kuřimské Jestřabí (Libochovka), Brodce (Brtnice), Vysočany (Želetavka), Plaveč (Jevišovka) |
| 24 | Změna okrajových podmínek – odběr z VD Vír I navýšen o celou časovou řadu stávajícího odběru Březová (cca 680 l/s) |
| 28 | Opatření 024 s VD Borovnice (LAPV) |

V rámci úlohy podrobnějšího definování jednotlivých adaptačních opatření zpracovatelský tým dospěl k jednoznačnému závěru, že je potřeba část návrhů adaptačních opatření nechat zpracovat nebo minimálně detailně konzultovat s odborníky v daném oboru. Komplexnost použitého, plošně distribuovaného, hydrologického modelu MIKESHE a také komplexní a detailní metody vyhodnocení výstupů kladou velké nároky na přesné a detailní definování vstupů pro jednotlivé adaptační opatření. Při navrhování adaptačních opatření v rámci projektu TransAdapt řešitelský tým spolupracoval s několika odbornými institucemi.

V následujících kapitolách jsou ukázky této spolupráce, vedoucí k detailnímu a odbornému návrhu jednotlivých adaptačních opatření. Takovýto postup je doporučován vždy kdy složitost a komplexnost návrhu adaptačních opatření je taková, že „neodborné“ definování jednotlivých parametrů by mohlo ovlivnit výsledky, tedy primárně dopad těchto opatření na vodní bilanci řešeného území.

3.2. Adaptačních opatření v sektoru lesního hospodářství

Jedním z plošně největších sektorů na jakémkoliv větším povodí v rámci ČR je lesní hospodářství. Lesy zaujmají přibližně třetinu plochy ČR, v některých povodích např. vodárenských nádrží to je i mnohem více. Proto je potřebné se detailně věnovat hospodaření v lesích a také věnovat náležitou pozornost adaptačním opatřením v sektoru lesního hospodářství.

Jelikož je problematika hospodaření v lesích a vývoj lesních porostů komplikovaná navázal tým ÚVGZ spolupráci s odborníky na tuto oblast z Ústavu pro výzkum lesních ekosystémů (IFER). Jedním z hlavních cílů spolupráce je navrhnout a podrobně popsat možné

scénáře vývoje lesních porostů v povodí do roku 2100. Tyto návrhové scénáře vycházejí z následujících předem definovaných podmínek:

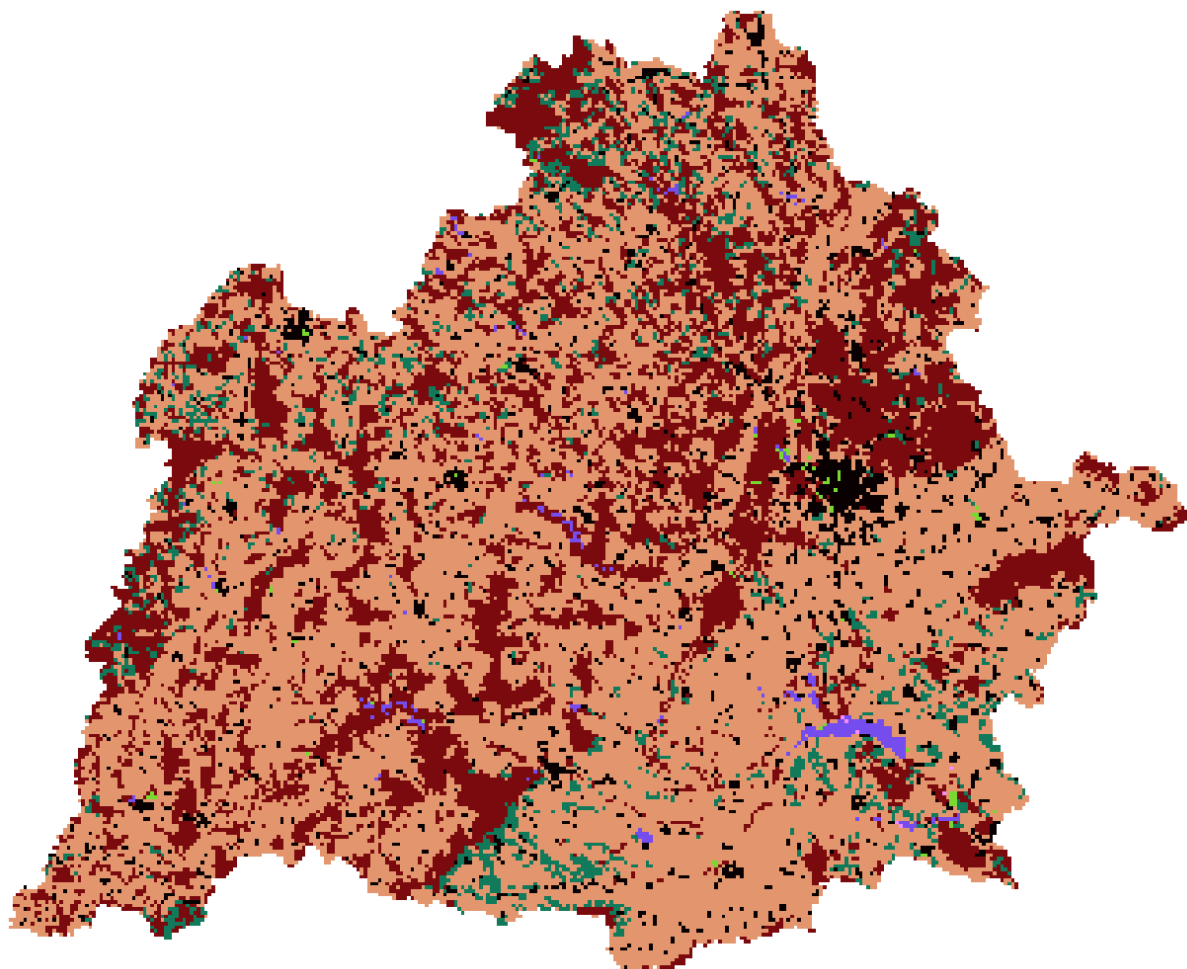
- Referenční scénář: Tento scénář vychází z pasivního lesnického přístupu, který plně vyhovuje požadavkům lesního zákona a jen mírně zohledňuje adaptační potřeby lesa, např. v souvislosti s dopady kůrovcové kalamity.
- Lesnický optimální scénář: Předpokládá aktivní adaptivní lesnický management zaměřený na optimální využití produkčního potenciálu stanoviště při současném zachování stability produkce a dalších funkcí lesa.
- Hydrologicky optimální scénář: Tento scénář klade důraz na dosažení optimální hydrologické bilance v povodí, s cílem minimalizovat evapotranspiraci a zajistit příznivé hydrologické podmínky v oblasti. Zároveň je zaměřen na dlouhodobé minimalizování požárního rizika a zachování protierozní funkce lesa.

Takto definované scénáře mohou sloužit pro hydrologické modelování a umožňují zjednodušené rozdělení dat, které jsou pro HM použitelné. Je potřeba zohlednit možnosti parametrů jednotlivých scénářů na takový detail, který je modelový nástroj schopen pojmout. Proto nelze jednotlivá adaptační opatření zpracovat v detailu používaném v jiných oblastech, ale je potřeba najít rozumný návrh parametrů lesnického hospodaření, aby tyto návrhy a jejich parametry bylo možné implementovat do hydrologického modelu.

Hlavním cílem je tak určit optimální přístupy k lesnímu hospodaření, které přispějí k udržení stability hydrologického režimu a dlouhodobé udržitelnosti přírodních (nejen lesních) zdrojů. Jak již bylo uvedeno výše jedním z hlavních a nejsložitějších úkolů v rámci spolupráce bylo definování parametrů, které mohou být použity v hydrologickém modelu a které zároveň dostatečně přesně popisují různou dřevinou skladbu v různé fázi svého vývoje. V rámci spolupráce byly výchozí podklady lesnické typologie, dřevinné skladby, zápoje (indexu listové plochy) a růstové fáze porostů definovány následovně:

- Využití vegetační stupňovitosti a zohlednění lesnické typologie k analýze růstových podmínek a stanovení lesních vegetačních stupňů
- Stanovení zastoupení hlavních dřevin na základě dat z dálkového průzkumu Země
- Zápoj porostů vyjádřený pomocí indexu listové plochy (LAI), který je jedním z důležitých vstupních parametrů do hydrologického modelu
- Podkladní data ve formě růstové fáze porostů byla využita k věkovému určení porostů („stáří porostu“)

Zmíněné charakteristiky jsou promítnuty do budoucna, do roku 2100, v desetiletém kroku, a to dle tří adaptačních scénářů - referenční, lesnický a hydrologický.



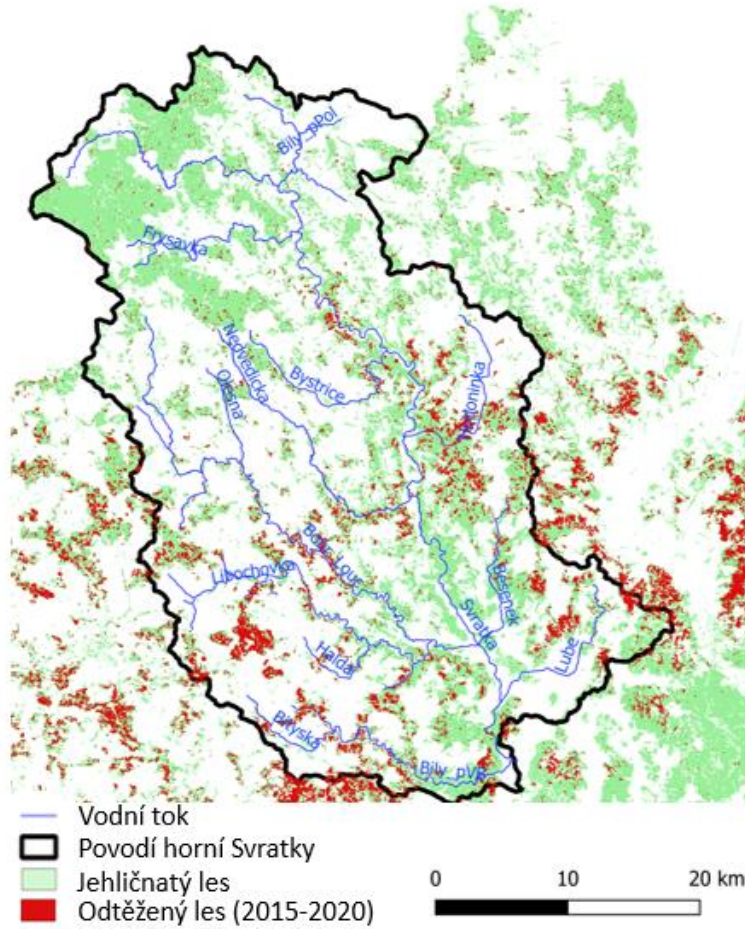
Obrázek 3-1 Rozmístění lesů v povodí řeky Dyje na základě klasifikace CORINE LAND COVER (lesy zobrazeny hnědou barvou)

Následující Obrázek 3-2 zobrazuje změnu lesa (tři konkrétních lokalit) v průběhu 80let, konkrétně od současnosti až výhledově do roku 2100, s desetiletým časovým krokem (P2030 a P2100). Jednotlivé čtyřmístné kódy přesně popisují druhovou skladbu a vývojové stádium lesa.

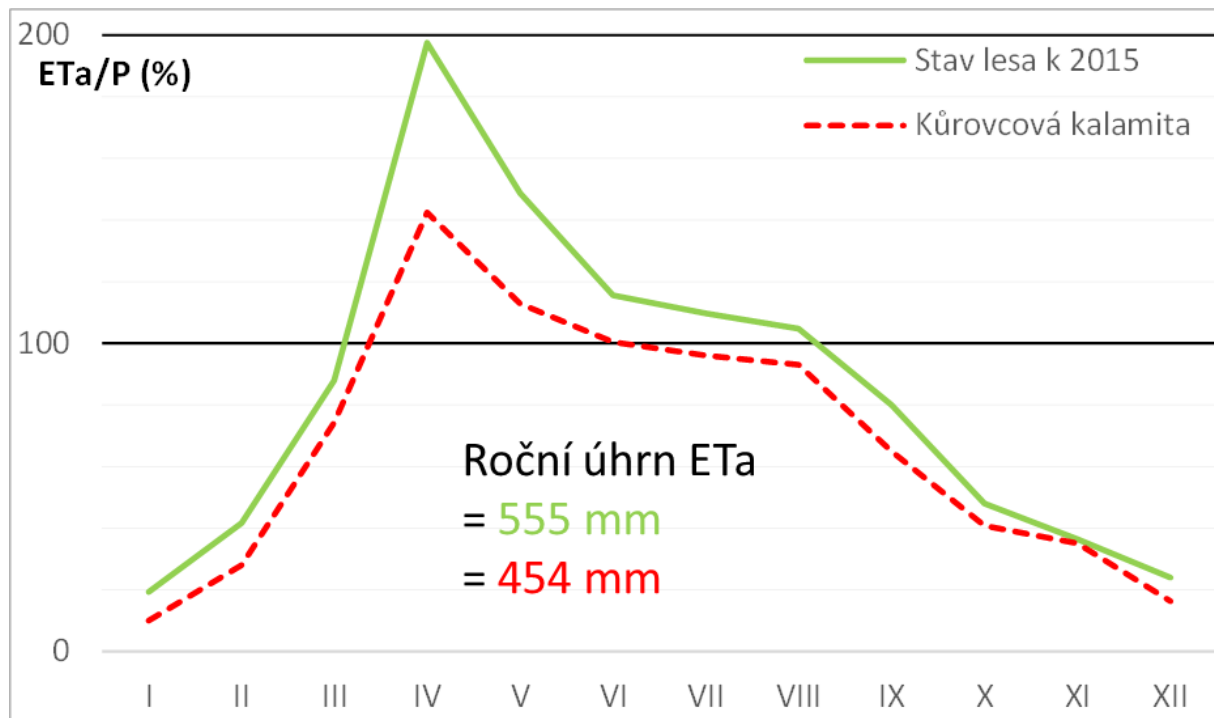
| fid | kod_total | S3_P2030 | S3_P2040 | S3_P2050 | S3_P2060 | S3_P2070 | S3_P2080 | S3_P2090 | S3_P2100 |
|-----|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 635283 | 4313 | 4333 | 4334 | 4334 | 4311 | 4311 | 4322 | 4323 |
| 2 | 636900 | 4213 | 4233 | 4234 | 4234 | 4111 | 4111 | 4122 | 4123 |
| 3 | 638519 | 4313 | 4333 | 4334 | 4334 | 4311 | 4311 | 4322 | 4323 |

Obrázek 3-2 Ukázka scénářových dat pro jednotlivá desetiletí pro tři konkrétní lokality

Jiný příklad posouzení dopadu v sektoru lesního hospodářství je posouzení vlivu kůrovcové kalamity v letech 2015 až 2020 v horní části povodí řeky Svratky. Na obrázcích níže je zobrazen vliv kůrovcové kalamity na hlavní prvky vodní bilance a jejich podíl na srážkách v ročním a měsíčním pohledu. Hodnoty jsou agregovány pouze na plochy zasažené kůrovcovou kalamitou. V modelu byla kůrovcová kalamita definována následovně: zasažení = 10 % z celkové plochy jehličnatých lesů v povodí, rok zasažení = 2015, délka období bez lesa = 3 roky, následná doba regenerace lesa = 15 let, cílová vegetační třída = smíšený les.



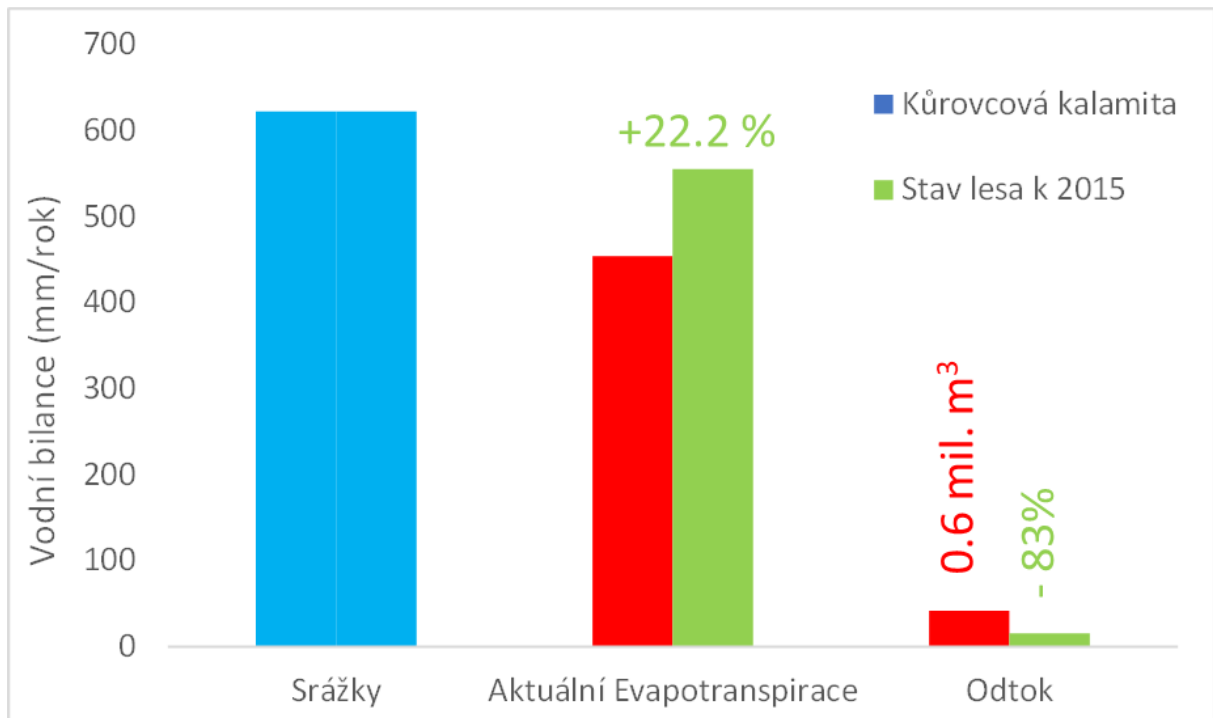
Obrázek 3-3 Rozsah lesů a zasažených částí kůrovcem v horní části povodí řeky Svatky



Obrázek 3-4 Rozdíl v měsíčním chodu ETa pro les před a po kůrovcové kalamitě



Obrázek 3-5 Rozdíl v měsíčním chodu odtoku z lesních ploch zasažených kůrovcem



Obrázek 3-6 Rozdíl v ročním objemech ETa a odtoku z lesů zasažených kůrovcovou kalamitou

3.3. Adaptačních opatření v sektoru vodního hospodářství

Budování víceúčelových nádrží patří mezi často diskutované adaptační opatření na zvládnání dopadů klimatické změny na vodní režim v povodí. S přibývajícími extrémními počasí, ať již v podobě dlouhých suchých období nebo naopak srážkově extrémních událostí, bude vzrůstat potřeba tyto extrémní tlumit a chybějící vodu dotovat z dostupných zdrojů nebo naopak přebývajícím vodu akumulovat. Tento účel mohou velmi dobře plnit víceúčelové vodní nádrže s dostatečně velkým akumulacním prostorem. Stavba velkých vodních děl je ovšem během na dlouhou trať, a proto již dnes je potřeba prověřovat a zkoumat možnosti, jak čelit dopadům klimatické změny, např. po roce 2050, pomocí vodních děl (VD). HM jsou ideálním nástrojem, jak tyto relativně velké zásahy do krajiny a do vodní bilance celého povodí zkoumat a analyzovat a hledat optimální řešení, mimo jiné i z pohledu kombinace tohoto ryze technického opatření s dalšími např. více přírodě blízkými opatřeními.

Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady jejich využití vycházejí ze Směrného vodohospodářského plánu z roku 1988, který vymezuje územní ochranu pro specifické lokality. Následné aktualizace až do současnosti identifikují oblasti, které jsou morfologicky, geologicky a hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchové vody. Tyto VD mohou, jak již bylo uvedeno, výrazně přispět k omezení negativních důsledků povodní, sucha a obecně klimatických změn.

V rámci územního plánování jsou oblasti definované v Generelu lokalit pro akumulaci povrchových vod (LAPV) těmi, kde jsou omezeny, nebo zcela vyloučeny rozvojové činnosti, které by mohly zkomplikovat budoucí využití pro akumulaci povrchové vody. Generel LAPV slouží jako podklad pro tvorbu územně plánovací dokumentace. Vybrané lokality jsou rozděleny do dvou kategorií: kategorie A zahrnuje vodárenské nádrže a kategorie B se vztahuje na lokality pro víceúčelové nádrže.

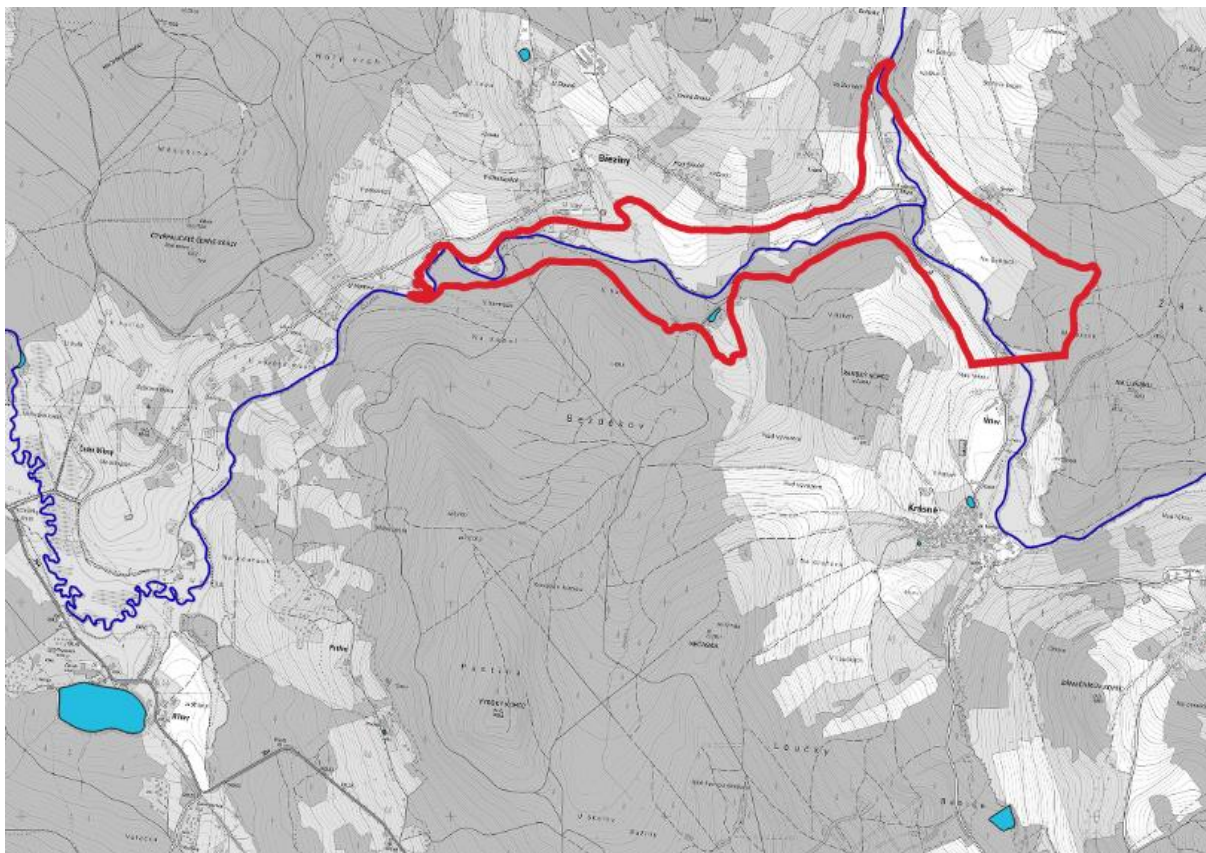
V povodí Dyje, podle aktuálního Generelu LAPV, je evidováno 11 nádrží. Výběr lokalit zohledňuje následující hlavní faktory:

- geologické, hydrologické a morfologické podmínky vhodné pro akumulaci vody
- předpoklady pro zajištění vysoké kvality akumulované vody
- minimalizace negativních dopadů na stávající osídlení a případné rozvojové aktivity

Posouzení adaptačních opatření ve formě VD pomocí hydrologického modelu je relativně přímočarý proces. Celý postup se skládá z vložení objektu (v jazyce modelářů slovo objekt znamená jez, hráz, vzdouvací objekt, odběrné zařízení apod.) do příslušné lokality v rámci modelu a definování základních pravidel manipulací s akumulovanou vodou, tedy jakýsi jednoduchý algoritmus pravidel z reálného manipulačního řádu. A právě vytvoření reálného manipulačního řádu pro posuzovanou, ještě neexistující vodní nádrž, která nemá např. ani technický návrh je velmi složitý úkol. Z tohoto důvodu byla navázána spolupráce s jedním z předních pracovišť zabývajících se přehradním stavitelstvím, s Vysokým učením technickým v Brně (VUT), Ústavem vodních staveb.

V rámci společných jednání s představiteli správy povodí řeky Dyje bylo vytipováno pět lokalit z Generelu LAPV nacházejících se v uvedeném povodí řeky Dyje. Tyto vybrané lokality představují, z pohledu správce toku, „nejžhavější“ kandidáty na prověření vlivu vodních děl na vodní bilanci povodí pod danými VD a také důležité prvky celého systému adaptačních opatření pro boj proti dopadům klimatické změny na vodní bilanci v rámci povodí řeky Dyje.

Výsledkem jsou velmi detailní analýzy vhodného přesného umístění jednotlivých VD a také zpracované manipulační řády s konkrétními pravidly manipulací za různých stavů hladin a/či průtoků. Takovéto studie mohou sloužit jako kvalitní podklad pro zavádění adaptačních opatření ve formě vodních děl do hydrologického modelu celého povodí.



Obrázek 3-8 Vodní dílo VD Borovnice na toku Svatka, umístění zátopy dle studie VUT Brno

3.3.1. Ukázka možných adaptačních opatření v sektoru vodního hospodářství

Na základě spolupráce se správcem toku bylo modelově prověřeno všech pět nejzajímavějších adaptačních opatření ve formě nových vodních nádrží v povodí řeky Dyje, tedy konkrétně VD Borovnice na Svatce, VD Kuřimské Jestřabí na toku Libochovka, VD Plaveč na toku Jevišovka, VD Vysočany na toku Želetavky a VD Brodce na toku Brtnice.

Při vkládání těchto opatření (vodních nádrží) do modelu se jako zcela zásadní pro kvalitní vyhodnocení a posouzení ukázaly podrobně zpracované podklady ve formě rozsáhlých dokumentů pro jednotlivé VD. Součástí těchto návrhů byly i hydrotechnické výpočty možných odběrů, vypouštění MZP, propočtené zabezpečení těchto odběrů a vypouštění apod. A všechny tyto informace jsou poté shrnuty v manipulačním řádu, který představuje základní pravidla pro nakládání s akumulovanými vodami. Bez těchto detailních výpočtů promítnutých do manipulačního řádu lze jen velmi obtížně podobně složitý systém jako je víceúčelová vodní nádrž kvalitně modelovat.

Lokalita Borovnice se nachází v údolí horního toku řeky Svatky, v kraji Vysočina. Uvažovaná nádrž je umístěna jako vrcholová v soustavě vodních nádrží – přehradní profil VD Borovnice leží v ř. km cca 138,395 toku Svatky, cca 30 km níže po toku je konec vzdutí VD

Vír a cca 79 km pod VD Borovnice je konec vzduť VD Brno. V současnosti se existující nádrže neprovozují jako soustava a nemají společný manipulační řád. VD Borovnice by mohla sloužit jako záložní vodárenský zdroj, který by mohl posilovat vodní zdroj z VD Vír, v součinnosti s VD Vír zlepšit protipovodňovou ochranu sídel podél řeky Svratky a také nadlepšovat minimální průtoky pro zajištění nezbytných ekologických funkcí na dolním toku Svratky. Vodohospodářská součinnost nádrží Vír a Borovnice je výhodná. Ekologickým přínosem VD Borovnice má být mimo jiné zajištění minimálního zůstatkového průtoku (MZP) v úseku toku Svratky pod VD.

Lokalita Kuřimské Jestřabí se nachází v údolí říčky Libochovky, která spadá do povodí Dyje, dílčích podpovodí Svratky – Loučky, je pravostranným přítokem Loučky. Zájmová lokalita Kuřimské Jestřabí leží v Jihomoravském kraji. Na toku Libochovky se nenacházejí žádné významné vodní nádrže. Dvě významná vodní díla jsou situována na řece Svratce. Zhruba 36 km nad zaústěním Loučky do Svratky se nachází VD Vír I a cca 23 km pod jejím zaústěním hráz VD Brno. VD Kuřimské Jestřabí by primárně bylo využito k zásobení vodou a nadlepšování průtoků pod VD. Nadlepšované průtoky mohou být využity níže na toku Libochovky, Loučky a Svratky pro odběry vody. Nadlepšováním průtoků má být rovněž dosaženo zlepšení v zabezpečení MZP.

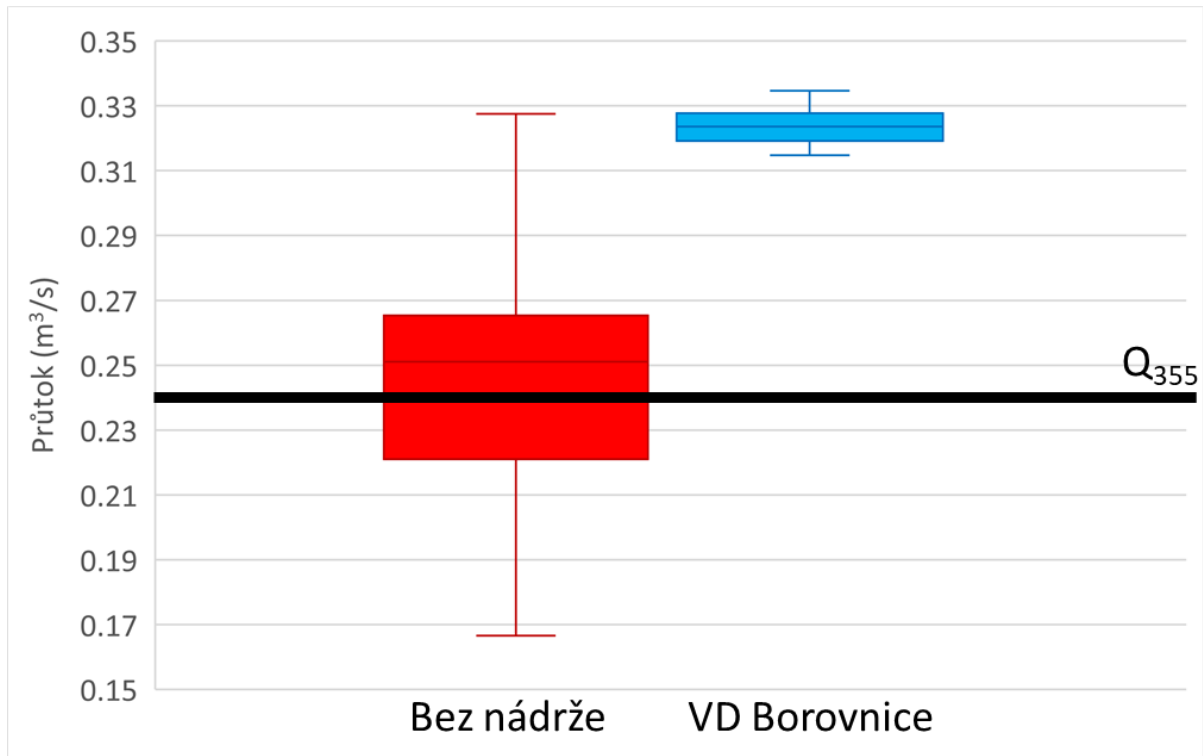
Lokalita Plaveč se nachází v údolí řeky Jevišovky, která spadá do povodí Dyje a je jejím levostranným přítokem poblíž obce Jevišovka nad vodním dílem Nové Mlýny. Zájmová lokalita se nalézá v Jihomoravském kraji v okrese Znojmo. Zájmové území je určováno prudkými až strmými svahy po obvodu celé zátopy, která leží v údolí Jevišovky. Na toku Jevišovka se nachází významnější vodní nádrže, a to postupně ve směru toku VD Jevišovice a následně VD Výrovce. Na řece Dyji se pod soutokem s Jevišovkou nachází VD Nové Mlýny. Uvažované vodní dílo Plaveč leží mezi vodními díly Jevišovice a Výrovce. VD Plaveč v součinnosti s VD Jevišovice a VD Výrovce by mohlo přispět k zajištění MZP pro zajištění nezbytných ekologických funkcí dolního úseku toku Jevišovky a zvýšit zabezpečení odběrů z VD Výrovce. V současnosti se existující nádrže neprovozují jako soustava a nemají společný manipulační řád.

Lokalita Vysočany se nachází v údolí řeky Želetavky, která spadá do povodí Dyje a je jejím levostranným přítokem nad VD Vranov. Zájmová lokalita Vysočany se nalézá na hranici Jihomoravského kraje a kraje Vysočina. Želetavka přísluší vrcholové části povodí Dyje. Na toku Želetavky se nenacházejí žádné významné vodní nádrže. Tři významná vodní díla jsou situována na řece Dyji pod VD Vysočany, a to postupně ve směru toku VD Vranov, VD Znojmo a VD Nové Mlýny. VD Vysočany by mohlo být využito k zásobení vodou a nadlepšování průtoků. Nadlepšované průtoky mohou být využity níže na toku Dyje pro převody a odběry vody ve vodohospodářském uzlu Krhovice (závlahy a převody vody). Nadlepšováním průtoků má být rovněž dosaženo zlepšení v zabezpečení MZP.

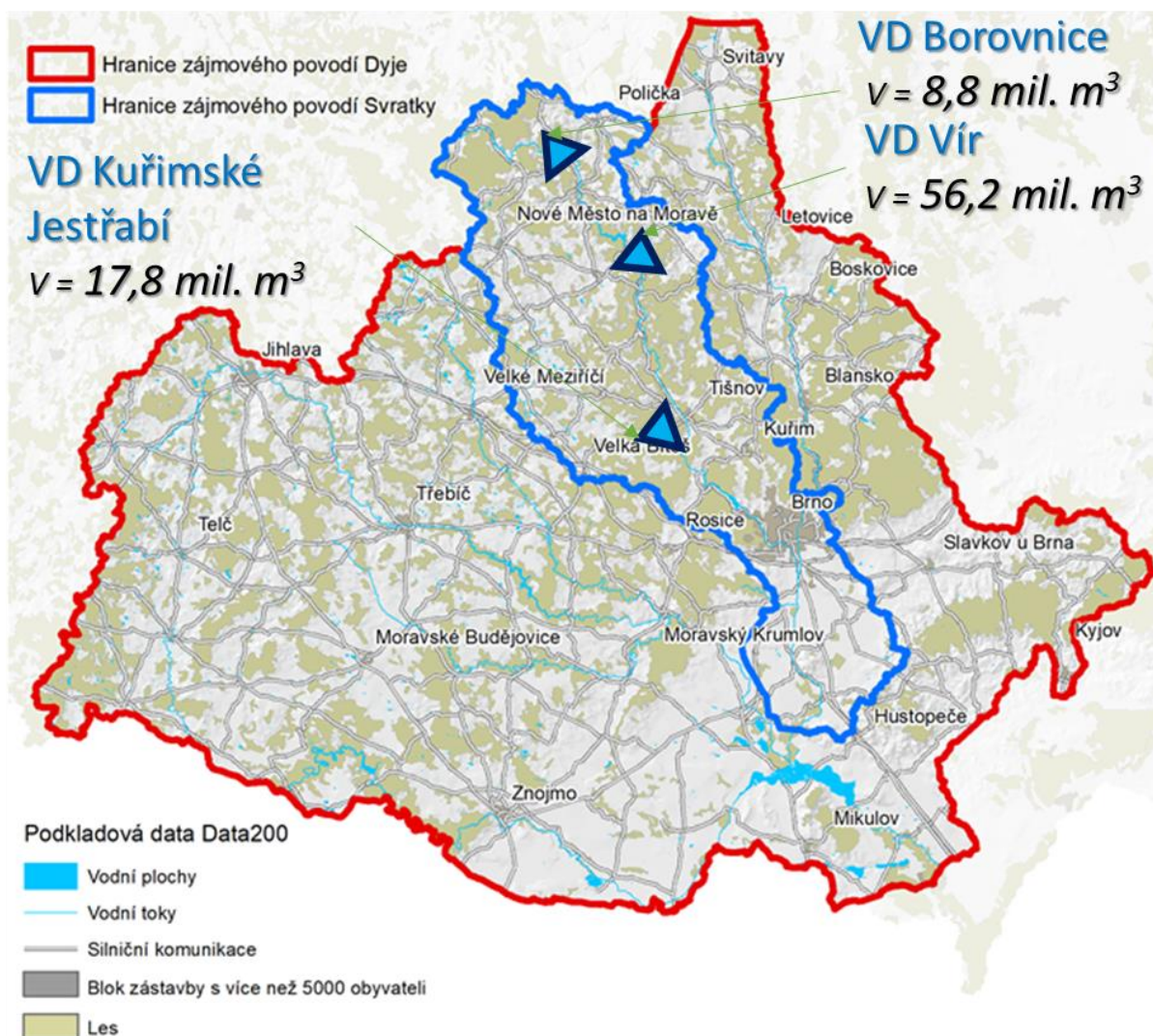
Zájmová lokalita Brodce je v kraji Vysočina v okresech Jihlava a Třebíč, v údolí řeky Brtnice, která je pravostranným přítokem řeky Jihlavy. Na toku Brtnici nejsou žádné významné vodní nádrže. Z hlediska účinku navrhovaného VD Brodce v soustavě lze hovořit pouze o VD Dalešice, nacházejícím se po proudu na řece Jihlavě. Významným ekologickým přínosem VD Brodce má být zajištění MZP v toku Brtnice pod VD.

Níže jsou uvedeny ukázky z mnoha možných výstupů z HM. První Obrázek 3-9 zobrazuje vliv zavedení nádrže Borovnice na průtoky v místě zamýšlené přehradního profilu, tedy v profilu Borovnice, ID 4410. Z grafu je jasně vidět, že VD Borovnice výrazně nadlepšuje

minimální 10-denní odtoky. Bez nádrže by minimální 10-denní odtoky často ani nedosáhly hranice minimálního zůstatkového průtoku (Q₃₅₅ - což představuje m-denní průtok vyskytující se (dosažen či překročen) po 355 dní v roce). Jako klimatická prognóza pro budoucí období je v tomto případě použit medián ze všech kombinací používaných SSP scénářů (126, 245, 370 a 585) a používaných globálních klimatických modelů (GSM) (7 modelů).

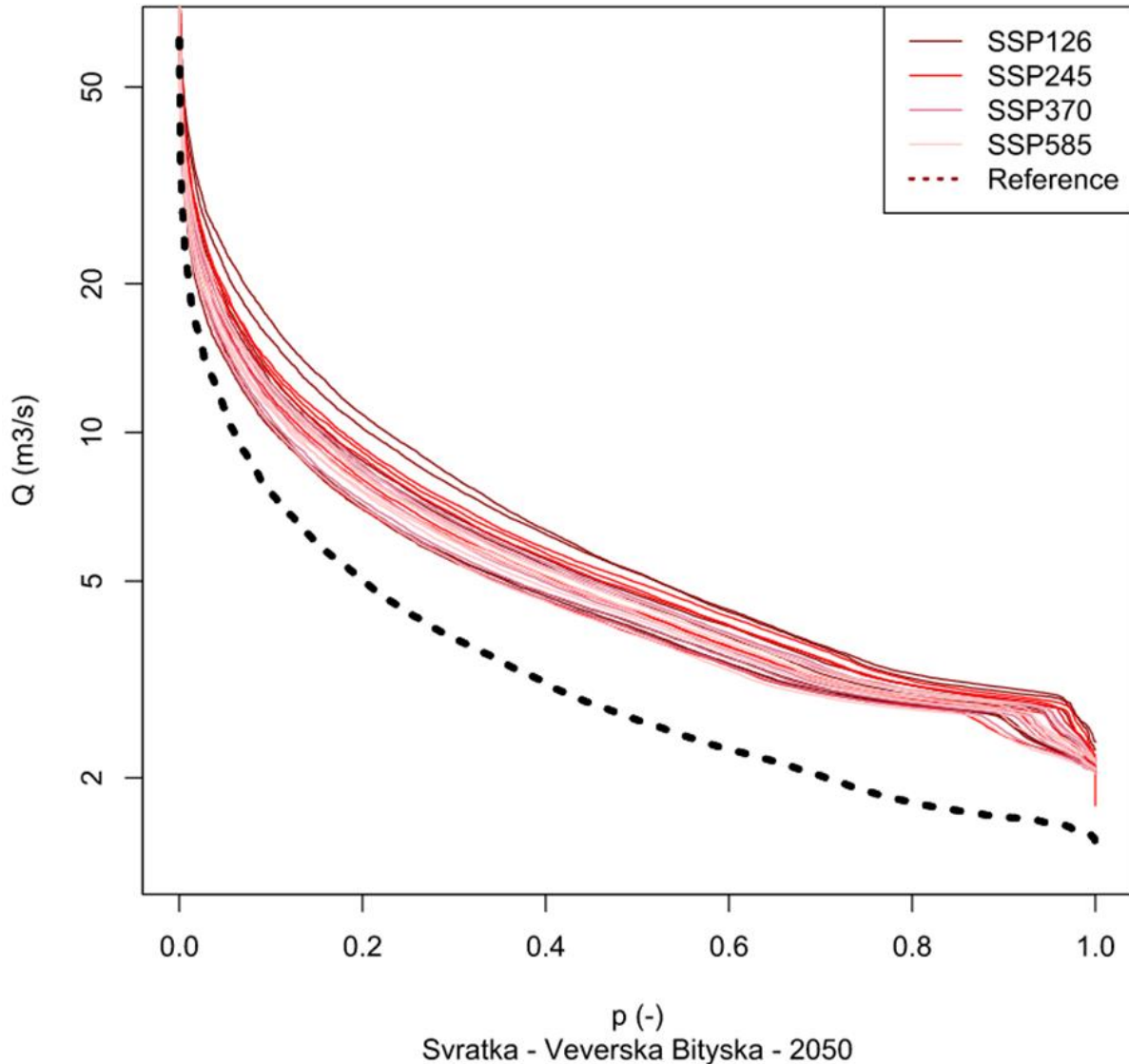


Obrázek 3-9 Vliv nádrže Borovnice na průtoky v místě uvažovaného přehradního profilu (ID stanice 4410)



Obrázek 3-10 Lokality uvažovaných VD Borovnice a Kuřimské Jestřabí v rámci povodí řeky Svatky a Dyje

Na Obrázek 3-11 jsou zobrazeny čáry překročení pro průtoky profilem Veverská Bitýška (ID 4480) po realizaci dvou nádrží z generelu LAPV, konkrétně VD Borovnice a VD Kuřimské Jestřabí. Konkrétní barevné čáry představují jednotlivé běhy HM pro jednotlivé GCM (7) a pro jednotlivé SSP scénáře (4). Výsledky jsou zobrazeny pro posuzované období 2036–2065 (období se středem v roce 2050). Černá čerchovaná čára představuje průtoky v referenčním období 1981–2010. Z grafu je zřejmé, že při vybudování těchto dvou VD by došlo k výraznému nadlepení průtoků v posuzovaném profilu, hlavně v době nízkých průtoků.



Obrázek 3-11 Čáry překročení průtoků pro jednotlivé SSP scénáře pro stanici Veverská Bítýška pro 30ti leté období se středem v roce 2050 po vybudování dvou VD z generelu LAPV – VD Borovnice a VD Kuřimské Jestřabí. Černá čárkovaná čára ukazuje současný stav, resp. období 1981 - 2010

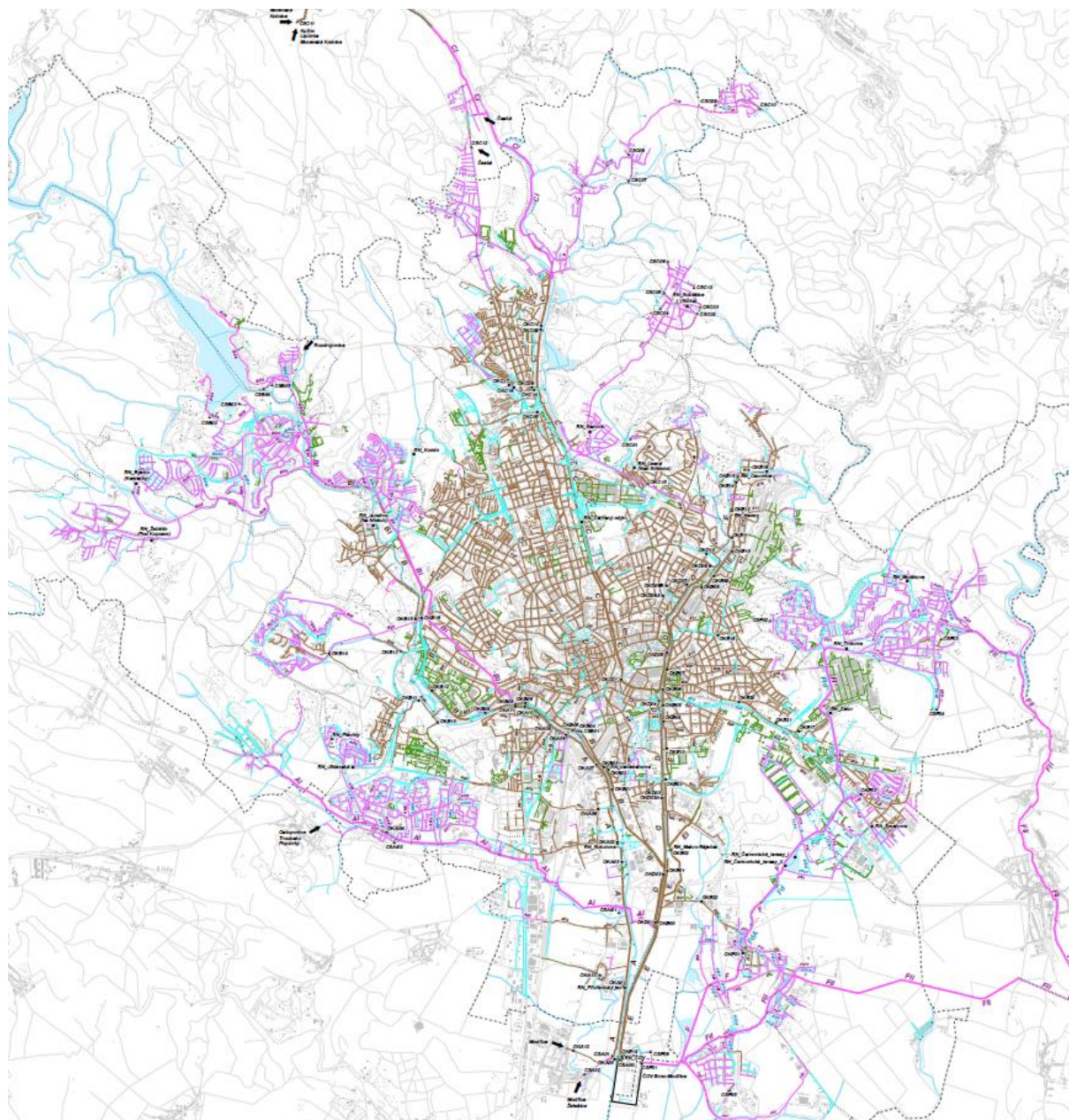
3.4. Adaptačních opatření v městských aglomeracích

V rámci hydrologického modelování větších územních celků, např. povodí, se nelze vyhnout úkolu kterak schematizovat větší urbanizovaná území. Na tomto místě je potřeba nastínit, jak vlastně rozlišit větší urbanizované celky od těch menších. Jako hlavní indicie by mělo sloužit rozlišení samotného hydrologického modelu vzhledem k velikosti urbanizovaného území, např. celkový model povodí Dyje má rozlišení 500x500m, jedna výpočetní buňka má plochu 0.25 km². Na menší sídla tak v modelové schematizaci připadá např. 10 buněk a pouze část těchto buněk obsahují samotné zpevněné plochy, tedy nepropustný povrch. Naopak větší sídla, která zaujímají v modelu desítky až stovky buněk, mají většinou i větší část buněk, které jsou kompletně pokryty nepropustným povrchem – širší centra měst, sídliště apod. V podmínkách ČR mají i malá sídla již většinou vybudovanou kanalizační síť s napojenými uličními vpustmi, někde i s odlehčovacími komorami – počet těchto komor je však velmi malý.

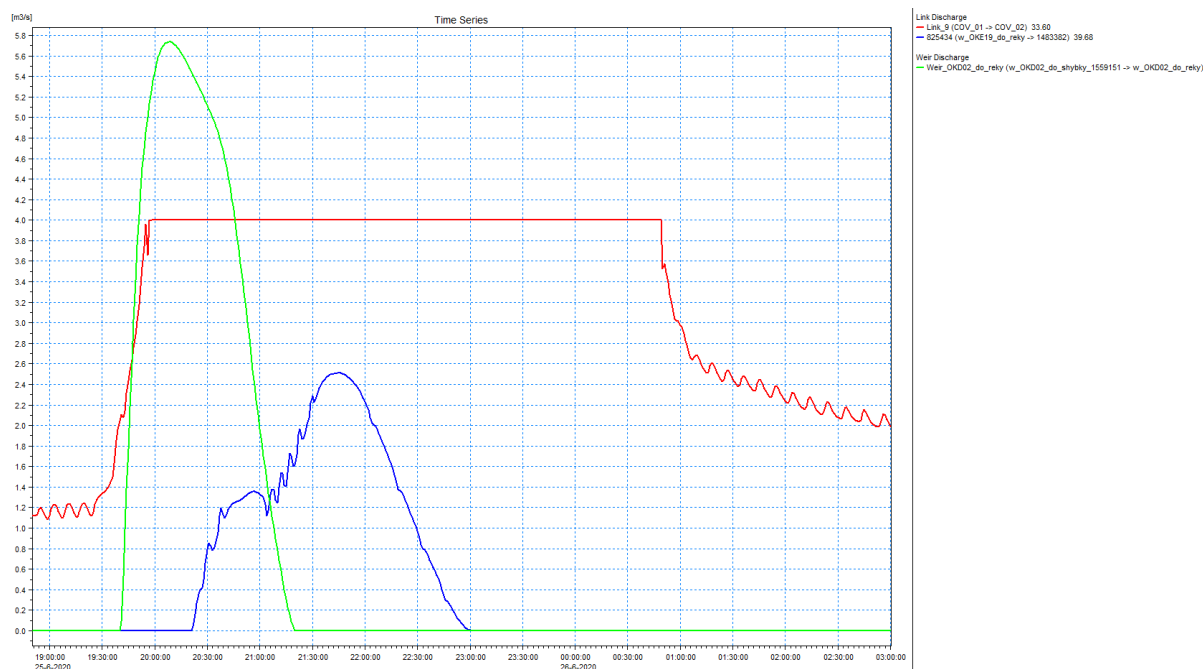
3.4.1. Adaptační opatření v městských aglomeracích – město Brno

V území modelovaném v rámci modelu povodí řeky Dyje se nachází několik velkých sídel, z nichž brněnská aglomerace je bez diskuze největší, nejsložitější a nejdůležitější. Proto zde tým ÚVGZ navázal spolupráci se zpracovateli Generelu odvodnění města Brna (GOMB). Tento generel je kontinuálně vyvíjen a aktualizován od roku 2007 a poslední aktualizace proběhla v roce 2022. Nedílnou a podstatnou částí poslední aktualizace GOMB je, kromě posouzení stávajícího stavu, i zahrnutí a simulování dopadů výhledových stavů, mezi které lze zařadit opatření na samotné kanalizační síti, např. vybudování retenčních nádrží, zkapacitnění páteřních stok, ale také opatření v rámci intravilánu města, které mají mít dopad na odtokové poměry v rámci urbanizovaného celku – a zde můžeme hovořit o adaptačních opatření na zmírnění dopadů klimatické změny v rámci městské aglomerace. Mezi typické opatření patří adaptace města na změnu klimatu prostřednictvím modrozelené infrastruktury. A právě dopad všech těchto opatření lze kvalitně posoudit pouze na odborně zpracovaném generelu odvodnění jehož výstupy pro stávající a výhledový stav slouží jako vstupy do plošně mnohem rozsáhlejšího hydrologického modelu celého povodí.

Kanalizační síť brněnské aglomerace je velmi komplexní a obsahuje stovky vyústních bodů, kde se voda může, při přetížení sítě, dostat na povrch a následně do recipientu. A právě znalost přesné polohy těchto bodů a hydrogramů pro různé zatěžovací stavy (srážky s různou intenzitou a různou dobou trvání) a různé verze modelu odvodnění (stávající a výhledový stav) je klíčová pro kvalitní schematizaci urbanizovaného území v rámci hydrologického modelu celého povodí. Z tohoto popisu je zřejmé, že navázání spolupráce se zpracovatelem takto komplexního modelu stokové sítě je nutnou podmínkou pro aproximaci chování stokové sítě urbanizovaného území v hydrologickém modelu.



Obrázek 3-13 Kompletní kanalizační síť města Brna (zdroj: Statutární město Brno)



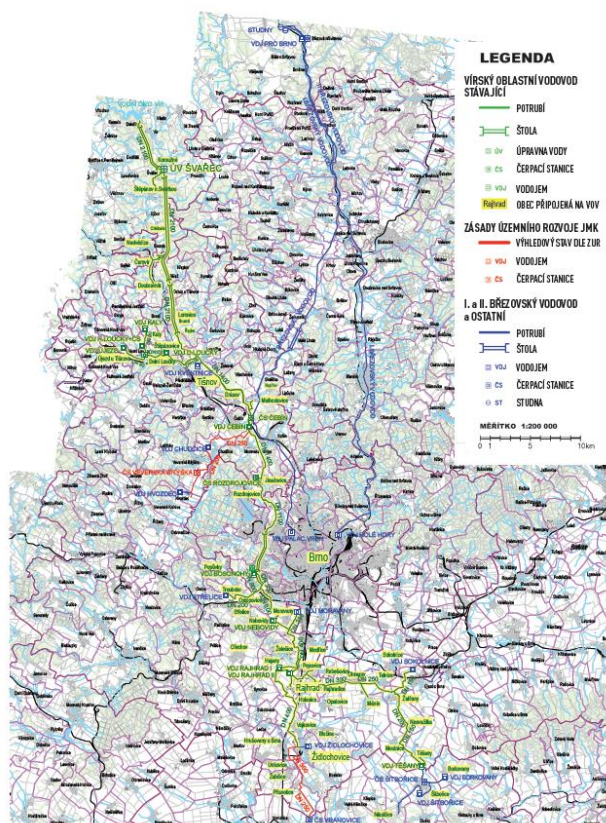
Obrázek 3-14 Hydrogramy přítoku do recipientu – důležité objekty před nátokem na ČOV a výust z ČOV. Zatěžovací srážka s dobou opakování 2 roky

Podrobný výstup této spolupráce bude detailně diskutován v navazujícím úkolu projektu TransAdapt, konkrétně v úkolu 1.3 „Pilotní posouzení pilotních infrastrukturních a investičních záměrů v povodí řeky Dyje včetně intravilánu Brna“ a to ve finální zprávě zpracované k datu 12/2025.

3.5. Propojování vodárenských soustav

Výsledky z mnoha studií, včetně projektu TransAdapt, jasně ukazují, že povodí řeky Dyje je a bude ohroženo probíhající klimatickou změnou a že disponibilní zásoby vody budou klesat. Je potřeba této realitě čelit, a to jak mitigačními opatřeními, tedy snažit se zmírnovat intenzitu problému (např. emise skleníkových plynů), tak adaptačními opatřeními, tedy kroky, které budou dopady změny klimatu již pouze mírnit. Jedním z důležitých a často využívaných adaptačních opatření ve vodním hospodářství, konkrétně v odvětví zásobování obyvatelstva vodou je propojování vodárenských soustav. Jedná se o opatření, které je často nákladné a jehož realizaci je proto nutné velmi detailně posoudit. Navíc jde o opatření, které se plánuje na několik desetiletí do budoucnosti, a proto je potřeba posouzení provést i na budoucích podmínkách zatížených klimatickou změnou.

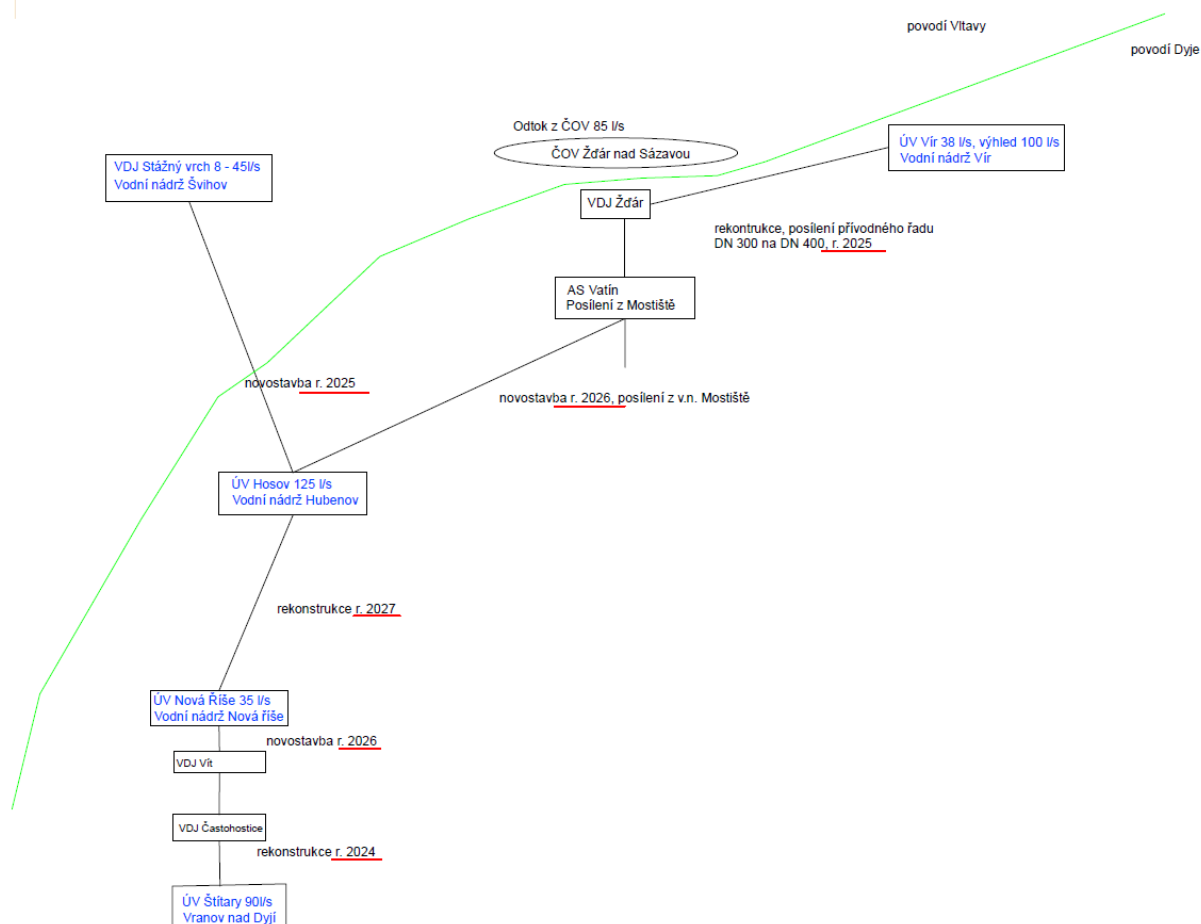
Stejně jako ve všech výše zmíněných okruzích adaptačních opatření i zde je potřeba spolupráce s odborníky věnující se dané problematice. A co víc, v problematice zásobování obyvatelstva vodou a propojování vodárenských soustav, je ta spolupráce nevyhnutelná a nutná. Bez odborných znalostí konkrétních vodovodních sítí, jejich slabých a silných částí a bez odborných návrhů co realizovat lze a co je technicky možné či naopak nemožné, nelze o těchto typech opatření v zásadě ani uvažovat. Nejen kvůli výše popsáním důvodům je velmi pozitivní, že se týmu ÚVGZ podařilo navázat dobrou spoluprací s odborníky věnující se vodárenským soustavám v rámci povodí Dyje, a to konkrétně s Vodárenskou akciovou společností a.s. (VAS) a také s Brněnskými vodárnami a kanalizacemi, a.s. (BVK).



Obrázek 3-15 Schéma Vírského oblastního vodovodu

3.5.1. Propojování vodárenských soustav Jihomoravského kraje a Kraje Vysočina

V rámci spolupráce s VAS Brno a BVK vznikl koncepční dokument, který definuje předpokládané potřeby jednotlivých vodárenských větví a také vyčísluje případné deficity. V rámci společné diskuse poté byly navrženy nejen budoucí potřeby jednotlivých spotřebišť ale i převody, tedy propojky nyní oddělených vodárenských větví, tedy konkrétně převedení vody z VD Vír do povodí Sázavy a také propojení VD Švihov s povodím Jihlavy. To by ve svém důsledku znamenalo výrazné posílení jednotlivých vodárenských větví a zvýšilo by zabezpečení v zásobování obyvatelstva vodou. Nedílnou a rozhodně nutnou součástí takového koncepčního návrhu musí být i výhled do budoucnosti. V tomto konkrétním případě byly navrženy časové řady převodů a také budoucích odběrů až daleko za rok 2050. Časové řady nejsou konstantní, je počítáno s narůstající poptávkou po vodě v průběhu let a také s pravděpodobným nárůstem potřeb převodů v čase z důvodu rostoucích negativních dopadů klimatických změn na, již v dnešní době, problematické oblasti z pohledu zásobování obyvatelstva vodou. Zde opět hraje nezastupitelnou roli hydrologické modelování, neboť časové řady budoucích odběrů a navrhovaných převodů lze přímo implementovat do modelu na konkrétní místa, tedy např. odběry z VD Vír I (povodí Svatky) a převod do vypouštění z ČOV Žďár nad Sázavou (povodí Sázavy, mimo model povodí řeky Dyje) a také převod vody z VD Švihov (mimo model povodí řeky Dyje) do vypouštění z ČOV Jihlava (povodí Jihlavy). A to vše je potřeba posoudit nejen na stávajících klimatických podmínkách, ale i na těch budoucích.



Obrázek 3-16 Pracovní schéma převodu vody mezi vodárenskými systémy JMK a KV

4. Závěr

V rámci úkolu 1.2 Optimalizace adaptačních opatření pro celé povodí Dyje včetně opatření na zajištění disponibilních zdrojů vody a propojení soustav programu TransAdapt byla zpracována a posouzena celá řada adaptačních opatření na hydrologickém modelu povodí řeky Dyje, který byl vytvořen a zdokonalen v předešlých úkolech a programech. Stěžejní částí tohoto úkolu bylo navázání spolupráce s odborníky v jednotlivých sektorech, konkrétně v sektoru vodního hospodářství, lesnictví, zásobování obyvatelstva vodou a jiných. Díky intenzivní a úzké spolupráci bylo možné navrhnout konkrétní a realizovatelná adaptační opatření a ty implementovat a posoudit na hydrologickém modelu pro současné i budoucí podmínky včetně dopadu klimatické změny.

Z takto ustavené spolupráce bude zpracovatelský tým těžit i do budoucna, např. při plnění dalších, z části navazujících úkolů v rámci programu TransAdapt, jako je úkol 1.3 Pilotní posouzení pilotních infrastrukturních a investičních záměrů v povodí řeky Dyje včetně intravilánu Brna, úkol 1.5 Finální návrh optimální kombinace opatření v povodí řeky Dyje včetně posouzení již uvažovaných/plánovaných opatření a také úkol 1.9 Návrh optimální lokace adaptačních opatření a vymezení zranitelných oblastí v povodí řeky Dyje a Želivky

Na tomto místě je potřeba poděkovat všem externím partnerům za velmi dobrou spolupráci a pomoc při řešení tohoto úkolu.

Závěrem je možné konstatovat, že úkol 1.2 byl splněn podle harmonogramu.

V Brně dne 14.12.2024

doc. Ing. Evžen Zeman, CSc. a kolektiv

5. Seznam použitých zkratk

BVK – Brněnské vodárny a kanalizace

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

DPZ – dálkový průzkum země

DisALEXI – disaggregated Atmosphere-Land Exchange

DIBAVOD – DIGitální BÁze VODOhospodářských Dat

DHI – Dánský hydraulický institut

DMR5G – Digitální model reliéfu České republiky 5. generace v S-JTSK, Bpv

DPZ – dálkový průzkum Země

ET_o – referenční evapotranspirace

GCM – globální klimatické modely

GOmB – Generel odvodnění města Brna

HPV – hladina podzemní vody

HM – hydrologický model

IFER – Ústav pro výzkum lesních ekosystémů

JMK – Jihomoravský kraj

K_c – vegetační koeficient

KPP – komplexní průzkum půd

KV – Kraj Vysočina

LAI – leaf area index – index listové plochy

LAPV – lokality pro akumulaci povrchových vod

MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

RD – root depth – kořenová hloubka

TA – TransAdapt

TAČR – Technologická agentura ČR

ÚVGZ – Ústav výzkumu globální změny, AV ČR v. v. i.

VAS – Vodárenská akciová společnost

VH – vodní hospodářství

VD – vodní dílo

VÚMOP – Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

VÚT – Vysoké učení technické v Brně

VÚV TGM – Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka

6. Literatura

Aquatis a.s.; DHI a.s.; JV Projekt VH s.r.o.: Aktualizace a správy Generelu odvodnění města Brna, 2022

Fischer, M., Zeman, E., Vizina, A., Hanel, M., Bernsteinová, J. et al (2023 a) Metodika pro stanovení hlavních poruch vodohospodářské bilance a optimalizace adaptačních opatření v podmínkách změny klimatu, Certifikovaná metodika, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. 2023, ISBN 978-80-87902-37-0

Fischer, M., Zeman, E., Bernsteinová, J., Vizina, A., Hanel, M., et al (2023 b) Metodika pro rychlé, komplexní, nezávislé rozhodování o potřebnosti, efektivitě a interakci adaptačních opatření v povodích v podmínkách změny klimatu, Certifikovaná metodika, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. 2023, ISBN 978-80-87902-38-7

Mendiguren, G., Koch, J., and Stisen, S.: Spatial pattern evaluation of a calibrated national hydrological model – a remote-sensing-based diagnostic approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 5987–6005, <https://doi.org/10.5194/hess-21-5987-2017>, 2017.

Zeman, E. a kol: Zpráva za aktivitu 1.1 v projektu TransAdapt. Dokončení aktualizované verze digitálního dvojčete povodí Dyje „AdaptDyje 2“ včetně Rakouské Dyje, 2024.

Xin, Q., Dai, Y., Li, X., Liu, X., Gong, P., Richardson, A.D., 2018. A steady-state approximation approach to simulate seasonal leaf dynamics of deciduous broadleaf forests via climate variables. *Agricultural and Forest Meteorology* 249, 44–56.

VÚT Brno, Fakulta Stavební. Zpracování konceptu vodohospodářského řešení vybraných nádrží – Vodní dílo Borovnice, VD Kuřimské Jestřabí, VD Plaveč, VD Vysočany, VD Brodce, 2022.