

Program TransAdapt

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

Aktivita 1.1

Dokončení aktualizované verze digitálního dvojčete povodí Dyje „AdaptDyje 2“ včetně Rakouské Dyje

1. Úvod

Povodí Dyje představuje oblast s nejmenším množstvím průměrných ročních srážek v poměru k výparu v ČR, a tím se řadí mezi povodí s potenciálně nejnapjatější vodní bilancí. To je také jedním z důvodů existence rozsáhlé vodohospodářské soustavy, která plní z pohledu vodní bilance především funkci stabilizující. Probíhající klimatická změna přináší globální nárůst teploty vzduchu. To vede k akceleraci globálního hydrologického cyklu, a tedy i změnám v rozdělení srážek. Nicméně časoprostorová variabilita srážek je mnohem komplikovanější proces, který bude ještě zatížen klimatickou změnou. Zatímco teplota v ČR vykazuje obdobně jako v okolních zemích a na celé planetě konzistentně rostoucí trend, u srážek lze zjednodušeně konstatovat, že dlouhodobé průměry ročních úhrnů v nadcházejících dekádách pravděpodobně zůstanou velmi podobné. Rostoucí teplota vzduchu přináší neodmyslitelně zvýšení potenciální evapotranspirace a při stejných srážkách dochází k nižšímu poměru srážek a výparu, tedy klimatická vodní bilance vykazuje negativní trend.

Vývoj postupů, které kvantifikují dopady klimatické změny na vodní bilanci s perspektivou několika dekád, je strategicky důležitý pro zajištění udržitelných vodních zdrojů pro budoucí generace. Základním pilířem metody predikce vlivu klimatické změny na hydrologické procesy, včetně návrhů a posuzování adaptačních opatření, je detailní fyzikálně založený bilanční hydrologický model MIKE SHE.

Obecným cílem bilančního matematického modelu na povodí řeky Dyje je získat nástroj pro provádění dlouhodobých bilančních simulací prvků hydrologické bilance a to plošně distribuovaným způsobem. Model Dyje je vyvíjen, aktualizován a vylepšován především kvůli k analýze scénářů změny klimatu do časových řad hydrologických poměrů a kvantifikace celkové vodní bilance povodí a její případné změny. Model využívá maximum dostupných relevantních datových vstupů a odpovídá současné úrovni poznání. Dále zohledňuje zpětné vazby jednotlivých procesů a umožňuje zadání scénářů budoucího vývoje pomocí změn fyzikálně podložených parametrů. Model je tedy zaměřen primárně na analýzu a dlouhodobou stabilitu bilance množství vody v jednotlivých segmentech využití vody, korektní vystižení rozdělení okrajových podmínek (především srážkových vstupů) do procesů evapotranspirace, povrchového a podpovrchového proudění a dále na vystižení dynamiky změn především v časovém měřítku od denního kroku, jednotlivých měsíců až let. Speciální důraz je kladen na hodnocení přítoků vodních nádrží a zajištění zdrojů povrchových vod. Vlastní posuzování změn vodní bilance v povodí za podmínek klimatických změn bylo procesně připraveno formou metodik pro posuzování těchto změn. Model odvozený pro ověření metodik byl v některých aspektech schematizován, tato zjednodušení bylo potřeba odstranit a model propracovat tak, aby mohl sloužit pro posuzování vhodnosti adaptačních opatření a jejich kombinaci.

Z důvodu zvýšení přesnosti při posuzování adaptačních opatření, investičních a infrastrukturních záměrů a dopadů změn klimatu na přírodní biotopy a biodiverzitu došlo v rámci aktivity 1.1 k doplnění a zpřesnění modelu MIKE SHE/HYDRO povodí řeky Dyje. Pro zpřesnění popisu hydrologických procesů v povodí byla do modelu integrována nová (především půdní) data. V rámci detailnější kalibrace a validace modelu byla použita aktuální dostupná bodová i prostorově distribuovaná data. Zpřesněny byly algoritmy výpočtu evapotranspirace, která má zásadní vliv na komplexní procesní chování modelu v časovém

období. Dále byla upřesněna vstupní data vegetace pomocí satelitních pozorování a optimalizace vegetačních parametrů modelového stanovení z měřených dat indexu listové plochy. Tyto změny vedly k realističtější distribuci parametrů a větší shodě kalibračních a verifikačních běhů simulačního nástroje na celém území zájmové domény povodí řeky Dyje.

2. Shrnutí metodik a stav modelu „AdaptDyje 1“

Modelované území zahrnuje vlastní povodí řeky Dyje až k zaústění odlehčovacího kanálu u Břeclavi přibližně 4 km po toku pod profilem ČHMÚ 4805 Ladná, s ohledem na vhodnější vedení hydrogeologických okrajových podmínek. Dále modelové území pokrývá také malou část povodí řeky Třebovky (dílní plocha byla do modelu začleněna s ohledem na hydrogeologické okrajové podmínky v Ústecké synklinále) a část povodí řeky Kyjovky k profilu 4860 Kyjov. V modelu je zahrnuto 60 profilů na tocích, kde je porovnána měřená a simulovaná řada průtoků. Dále je ve 70 lokalitách porovnána měřená hladina podzemní vody z 75 objektů pozorování ČHMÚ se simulovanými hodnotami hloubky mělké HPV ve stejných místech. V modelu je dále zahrnuto 16 vodních nádrží. Zde jsou porovnány pozorované a simulované hladiny vody v nádrži. Dále model zahrnuje 1470 km 1D hydrodynamického modelu koryt vodních toků. Součástí korytového modelu je 32 jezů a 23 manipulovatelných objektů na tocích.

Z pohledu vodního hospodářství vytváří česká část povodí Dyje tzv. Dyjsko-svrateckou vodohospodářskou soustavu tvořenou celkem 21 vodními nádržemi. Nádrže v této soustavě jsou především víceúčelové s významem i pro širší území a pro přeshraničí a zahrnuje víceúčelové vodohospodářské uzly: Znojemský, Ivančicko-Pohořelický, Brněnský, Vířský a Břeclavský.

Průměrná hodnota roční referenční evapotranspirace (ET_o) v letech 1981–2010 byla v povodí Dyje 688 mm. S ohledem na skutečnost, že srážky nevykazují žádné dlouhodobé trendy, ale ET_o statisticky významně narůstá, lze hovořit o zvyšování aridity dané oblasti.

V rámci zpracování předchozí verze modelu „AdaptDyje 1“, nebyly ještě k dispozici výsledky měření hydropedologických vlastností v povodí Dyje. Bylo tedy zapotřebí stanovit hydropedologické vlastnosti jednotlivých půdních tříd na základě analogie místně specifických podmínek s podobnými lokalitami, které disponují měřenými hydropedologickými vlastnostmi. Pro potřeby předběžných výstupů byl model zkalibrován avšak zatížen značnou mírou nejistoty. Pro sestavení nové verze modelu „AdaptDyje 2“, byla k dispozici data z měření na 16 lokalitách v povodí Dyje a rovněž byly k dispozici informace z Komplexního průzkumu půd (KPP-VÚMOP), které detailně pokrývají povodí Dyje a posloužily k dodefinování hydropedologických parametrů v lokalitách bez měření (např. v alluviálních oblastech) (Obr. 1).

Referenční evapotranspirace (ET_o) je v modelové verzi „AdaptDyje 1“ zavedena semi-distribuovanou formou, kdy byly na základě průzkumu dat dálkového průzkumu Země (DPZ) vymezeny třídy ET_o a ty byly zkombinovány s mapou využití území (CORINE Land Cover

2018). Výsledkem bylo zatřídění ploch do 35 tříd. Pro každou třídu byly odvozeny časové řady průměrného chodu ETo v průběhu charakteristického roku na základě předpokladů fyziologického chování jednotlivých porostů a zkušeností z literatury. V nové modelové verzi „AdaptDyje 2“ byl kompletně změněn přístup k zadání ETo díky převedení do plně distribuovaného časo-prostorového formátu vycházejícího přímo z dat DPZ. Tento postup je detailně specifikován v kapitolách 3.5 a 3.6.

Horninové prostředí zájmové oblasti povodí Dyje je velmi heterogenní a strukturně velmi složitá. Materiálová heterogenita a strukturně komplikovaná geologická stavba je podmíněna zejména jeho dlouhodobým vývojem od proterozoika do recentu. Tato oblast se nachází na rozhraní dvou odlišných geologických jednotek – Českého masívu v západní části zájmové oblasti a systému Západních Karpat. Geologická stavba je určující pro formování odtokového režimu a je tedy klíčovým parametrem rozhodování o prostorové schematizaci konkrétních částí povodí. Podstatnou část území zabírá krystalinikum, kde lze očekávat odtok formovaný především mělkým přípovrchovým prouděním, případně také povrchovým odtokem na sklonitějších částech. Relativně mělké a málo významné polohy podzemní vody jsou lokálního charakteru, obvykle v nepříliš širokých nivách podél hlavních vodních toků. Z hlediska modelování je nutné se zaměřit na procesy proudění v mělké vrstvě paralelně s povrchem a na odtok koryty. Oblast různorodých sedimentárních materiálů Dyjsko-Svrateckého úvalu a flyše vykazuje proměnnou nasycenou hydraulickou vodivost. Akumulace podzemní vody jsou zde také čerpány. Vodní toky (i konfigurace terénu) mají pozvolnější sklon. V této oblasti je nutné se zaměřit na propojení podzemní vody s povrchovými vodními toky. Lze očekávat vyšší hodnoty evapotranspirace a velmi nízký povrchový odtok. Na středním a dolním toku Dyje jsou rozsáhlé nivní oblasti s mocnými elluviálními sedimenty, kde lze očekávat přímé napojení vodního toku a saturované zóny s vyšší hodnotou transmisivity. Geologická stavba se promítá do velmi komplexních hydrogeologických poměrů, kdy jsou v zájmovém území zastoupeny všechny typy propustnosti od průlinové, přes puklinovou, průlinovo-puklinovou až po krasovou. V povodí Dyje je zastoupeno 22 rajónů svrchní a základní vrstvy hydrogeologické rajonizace ČR, na které jsou navázány početné odběry podzemních vod.

Tyto odběry jsou v modelu pro bilanční účely rovněž uvedeny, nicméně hydrologický model neumožňuje detailní popis složité geologické struktury zásadní pro bilancování jednotlivých zdrojů podzemních vod. Pro hodnocení bilance hlubinných odběrů podzemní vody s pomalým oběhem není hydrologický model vhodný a tudíž nebyly hlubinné odběry v rámci schematizace hydrologického modelu většinou plně zohledněny.

V letech 2020–2023, byl na pracovišti ÚVGZ řešen projekt TAČR SS01010207 s názvem “Vývoj nástroje pro identifikaci hlavních rizik hospodaření s vodními zdroji v povodí Dyje a metodika jejich systémového řešení v podmínkách měnícího se klimatu”. Jedním z hlavních výstupů projektu byly dvě certifikované metodiky, jejichž cílem bylo odvodit metody, jak kvantifikovat dopady předpokládané klimatické změny na vodní bilanci v podmínkách ČR na několik příštích dekád. Hlavním principem bylo využití hydrologických modelů, prostřednictvím nichž lze scénáře změny klimatu transformovat do časových řad hydrologických poměrů a kvantifikovat celkovou vodní bilanci povodí a její případné změny. Speciální důraz byl kladen na hodnocení přítoků vodních nádrží a zajištěnost zdrojů povrchových vod. Rovněž byla koncepčně analyzována adaptační opatření a cesty, jak tato adaptační opatření navrhnout, případně kombinovat, aby byla tato opatření co nejvíce účinná a robustní s ohledem na předpokládanou variabilitu klimatu a nejistoty v simulovaných scénářích budoucího klimatu.

Certifikované metodiky sestávají ze dvou základních částí: (i) obecný metodický popis, jak kvantifikovat dopady změny klimatu na hydrologii povodí a vodohospodářský sektor; a (ii) příklad řešení v rámci případové studie v povodí řeky Dyje, přičemž principy a metody jsou obecně přenositelné na libovolné povodí, ale některé parametry kalibrovaného modelu jsou určeny odhadem nebo některé procesy jsou schematizované. I když případová studie prezentovala některé z předběžných výsledků v koncepční podobě, účelem nebylo poskytnout přesné a jednoznačné informace o vodní bilanci v 21. století, ale především představit koncept analýzy vodní bilance v uceleném povodí za podmínek klimatických změn. V rámci metodik bylo nezbytné potvrdit koncept pro posouzení vodní bilance a její změny za podmínky klimatické změny. Koncepční modelová verze „AdaptDyje 1“ byla detailně popsána v metodikách Fischer et al (2023 a, b), které si kladly za cíl především představit ucelený koncept hodnocení vlivu klimatické změny na odtokový proces včetně návrhu a posouzení adaptačních opatření ke zmírnění negativních vlivů očekávané změny klimatu.

Cílem tohoto úkolu 1.1 projektu TransAdapt bylo tedy zpřesnění koncepční verze modelového nástroje a jeho rozšíření o nádrže a některé části, které nebyly k dispozici v době, kdy model koncepční úrovně vznikal. Mezi rozšířené části patří rakouská část povodí Dyje, i když stále není rovnocenně rozpracovaná s jinými oblastmi povodí Dyje, protože data z Rakouska nebyla poskytnuta v takovém detailu a rozsahu, které by i tyto oblasti odpovídaly potřebám pro snížení nejistot v oblasti modelovaných výstupů. Na druhé straně doplnění o data z Rakouska umožňuje povodí Dyje simulovat v homogenní podobě a to bylo cílem prostorového doplnění simulačního modelu o přeshraniční povodí.

3. Aktualizace a stav modelu „AdaptDyje 2“

Z důvodů, které byly uvedeny v kap. 2 se pokročilo v souladu s cíli části 1.1 projektu TransAdapt k upřesnění a aktualizaci modelu - simulačního nástroje „AdaptDyje 1“. Stěžejní a realizované aktivity lze definovat takto:

- Zavedení nových a detailnějších 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 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).
- Příprava modelové schematizace pro možnosti posuzování adaptačních opatření technického i přírodě blízkého charakteru a testování příkladných opatření jednotlivě a v kombinaci.

- Doplnění schematizace pro možnosti bilančního posouzení klíčových prvků vodohospodářské soustavy (zavedení řízených vodárenských odběrů na základě manipulačního řádu a stanovení metody posouzení jejich zabezpečení).
- Detailní prověření stavebních prvků stávající verze modelu a funkce jejich zpětnovazebních vztahů a případné doplnění či úprava na základě místních specifik vycházejících z pochopení příčinných vztahů v konkrétních lokalitách. Speciální 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).

Dále byl v rámci aktivity 1.1 věnován důraz na kalibraci prostorového rozložení aktuální evapotranspirace na základě srovnání simulovaných hodnot s výstupy nástrojů dálkového průzkumu země (DisALEXI) a na testování možností a přínosu zavedení radarových srážkových dat pro posílení časoprostorové variability okrajových podmínek odtokového procesu.

Pro optimalizaci simulací a zvýšení možnosti posouzení více variant navrhovaných opatření byly nejnápadnější nestability modelu eliminovány a tím bylo umožněno použití většího časového kroku hydrodynamické simulace, který je limitujícím časovým krokem celého systému. Především na objektech pevných jezů bylo zpřesněním geometrie příčných profilů koryta i přepadové hrany docíleno plynulejšího výpočtu energetických rovnic přepadu.

V některých místech říčního systému došlo k úpravě Manningových drsnostních součinitelů n tak, aby více odpovídaly reálným hodnotám.

Byly provedeny testy možnosti integrace radarových dat srážek do systému okrajových podmínek modelu s cílem zpřesnit prostorovou distribuci hydrologických procesů. Prozatímni výsledky testů přinesly méně jednoznačné stanovisko, než se očekávalo. Bude se muset prokázat, že prostorová distribuce z radarových dat zvyšuje přesnost stanovení celkových denních srážkových úhrnů v měřítku modelu „AdaptDyje 1“. Bude zapotřebí pokračovat v testech modelu s jinou časo-prostorovou diskretizací (např. hodinový výpočetní krok, vyšší prostorové rozlišení) a během nasazení modelového systému na další úlohy TransAdaptu finálně rozhodnout o nejlepší variantě srážkových okrajových podmínek.

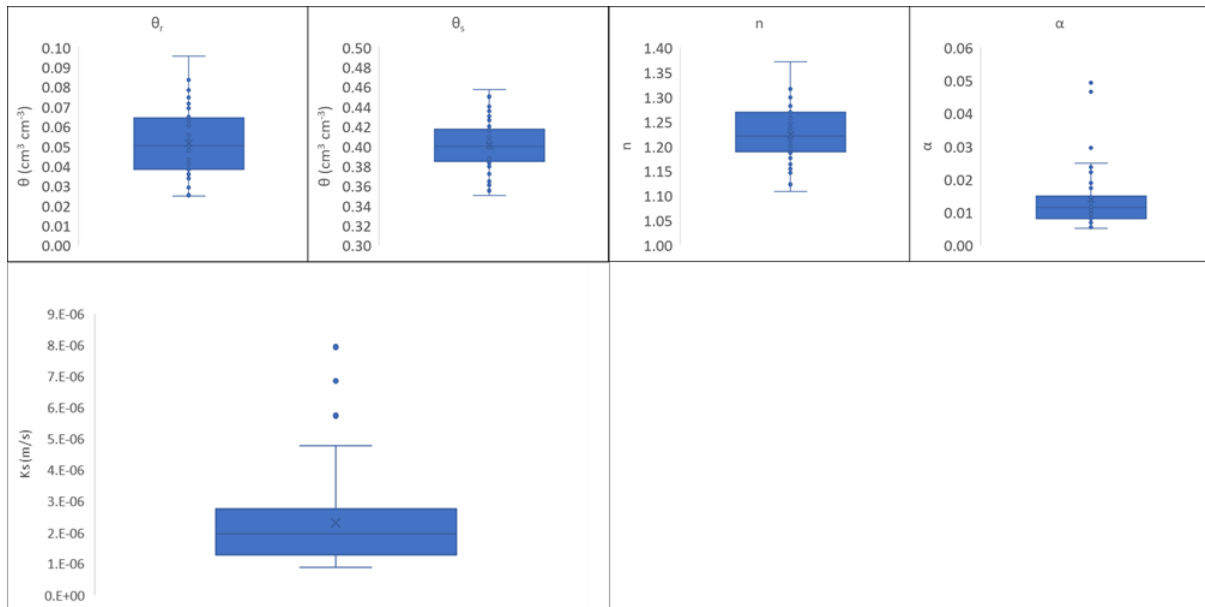
Podrobný popis procesu aktualizace a zhodnocení přínosu pro budoucí studie je popsán v následující kapitole. Vlastní metodika pro aplikaci simulačního nástroje (modelu) je podrobně popsána v metodikách Fischer et al (2023 a, b).

3.1. Zavedení měřených půdních parametrů

Půdní parametry byly aktualizovány na základě dat z měření na půdních vzorcích odebraných z půdních sond přímo na území povodí Dyje (Obr. 1). Mapa polygonů půdních typů byla sestavena na základě protnutí dvou vrstev: mapy půd (původně Tomášek a kol. , resp. půdní mapa ČR) a kategorie využití území, zjednodušené na základě kategorií v produktu Zabaged. Hnědé půdy byly sloučeny do jedné kategorie, stejně tak rendziny a pararendziny. Toto rozdělení bylo provedeno na základě výsledků měření půdních hydraulických charakteristik.

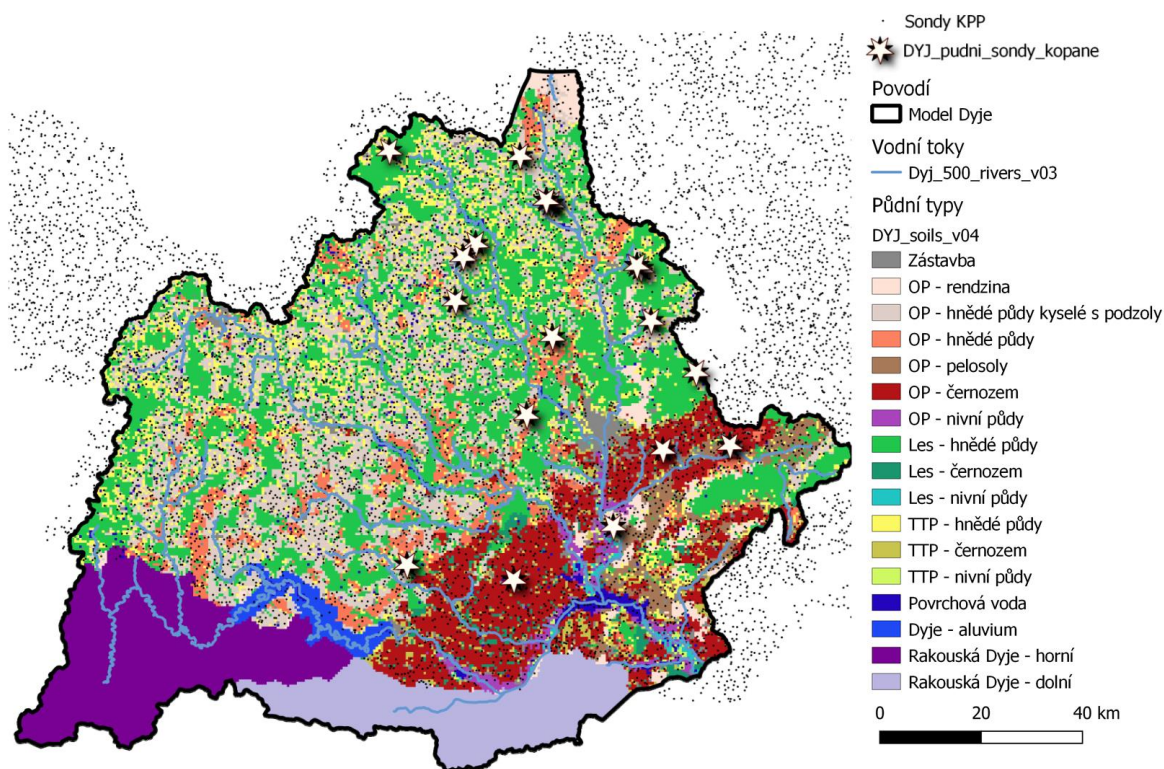
Pro každou půdní kategorii byly vybrány hydropedologické charakteristiky na základě podobnosti s měřenou půdní sondou. Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti byly zvoleny na základě měření infiltrační rychlosti. [b1] Reprezentace měření v prostoru byla korigována podle hodnot z KPP.

Hydraulické parametry nivních půd v okolí středního a dolního toku Dyje byly odvozeny z dat půdních sond KPP (Obr. 1). Hodnoty parametrů vycházejí z pedotransferových funkcí.



Obr. 1: Rozsah hodnot hydraulických parametrů odvozených pro sondy nivních půd v okolí středního a dolního toku Dyje (KPP, VUMOP).

V oblastech vodních toků vymezených na základě geodatabáze DIBAVOD (dib_A03_Vodni_tok_HU) byl stanoven půdní typ Nivní půda (Obr. 2). Tento půdní typ má vyšší propustnost a přeřazení celé buňky, kterou protíná vodní tok ať už popsán v modelu či nikoli, má za důsledek zlepšení popisu koncentrovaného povrchového odtoku a posílení komunikace mezi říčním systémem a saturovanou zónou.

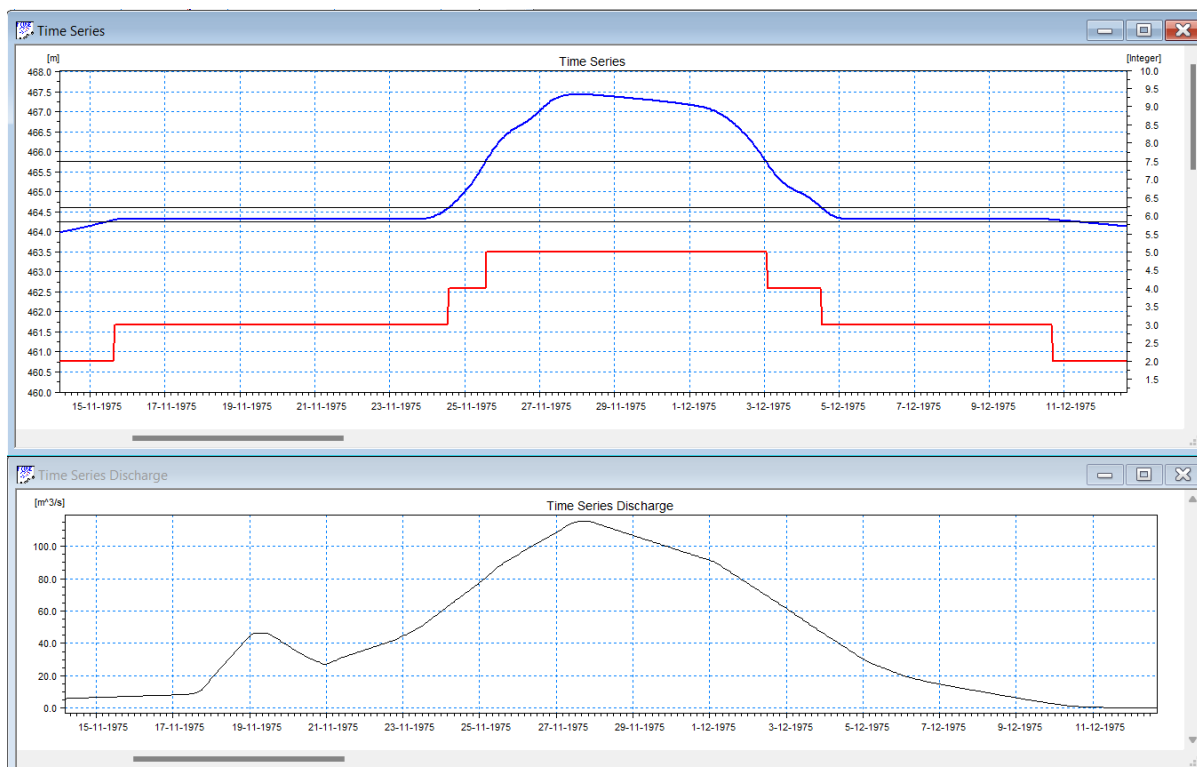


Obr. 2: Podklady pro stanovení hydropedologických parametrů pro jednotlivé půdní typy zavedené v modelu „AdaptDyje 2“.

3.2. Optimalizace manipulace na vodních dílech

Pro účely posouzení budoucích adaptačních opatření v oblasti vodohospodářské infrastruktury byla v rámci aktualizace sjednocena a zpřesněna pravidla operativní manipulace na vodních dílech. Aktuální model obsahuje 30 objektů pevných jezů a 33 manipulovatelných objektů. Konkrétní pravidla dle manipulačních řádů jednotlivých vodních děl byla schematizována pomocí MIKE 11 Control Structure. Odtok z nádrží je pomocí řady podmínek pro každou strategii manipulace řízen s ohledem na přítok do nádrže i aktuální hladinu v nádrži (případně i hladiny či přítoky do jiných nádrží nebo míst na toku) tak, aby při co největší míře zjednodušení byly zachovány hlavní principy manipulace a nakládání s vodou na každém vodním díle (příklad manipulace je na Obr. 3).

Odtoky při vyšších či povodňových stavech z vodních děl přes pevné bezpečnostní přelivy byly zpřesněny nastavením parametrů těchto objektů tak, aby lépe odpovídaly konsumpčním křivkám v manipulačních řádech. Pro zpřesnění parametrů nádrží byli konzultováni odborníci správce vodních toků z odboru dispečinku. Do modelu byly přidány manipulovatelné objekty pro odtok větších a povodňových průtoků na těch vodních dílech, jejichž bezpečnostní přeliv je tvořen pohyblivou hradičí konstrukcí (stavidlový, segmentový, tabulový, klapkový uzávěr).



Obr. 3: Ukázka výstupu modelu Mike 11 - manipulace na vodním díle Vír 1. Na dolním obrázku je černou linií znázorněn průběh průtoku. Na horním obrázku je ve stejném časovém období modrou linií znázorněn průběh hladiny na vodním díle, červenou linií je znázorněna aktuálně používaná strategie řízení odtoku z vodního díla. Černými rovnými liniemi jsou zobrazeny hodnoty mezní výšky hladiny pro jednotlivé strategie (kóta maximální zásobní hladiny ± 15 cm, kóta hladiny při které se otevírají spodní výpusti). Odtok z nádrže je regulován tak, aby se při běžných průtocích hladina na vodním díle pohybovala v mezích tolerance maximální zásobní hladiny. Při malých přítocích do nádrže se odtok reguluje dle platného dispečerského grafu.

3.3. Revize hodnot odběrů a vypouštění - hodnocení zabezpečení klíčových vodních zdrojů a revize vodohospodářské infrastruktury v urbanizovaných aglomeracích

Kvůli možnosti vyhodnocení adaptačních opatření na vodohospodářské infrastruktuře a kvůli úloze TA 1.2 a 1.3 sledování zabezpečení odběrů vody pro zásobování obyvatelstva byl u vodárenských odběrů nově zpracován způsob jejich zavedení do modelu. Pomocí MIKE 11 Control Structure je každý takový odběr realizován pouze za splnění podmínky dosažení hladiny stálého nadržení dle manipulačního řádu. Díky zavedení této podmínky a rozdělení odběru do různých manipulovatelných strategií je možné ve výsledcích jednotlivých simulací sledovat splnění těchto podmínek a dodržení odebíraného požadovaného množství. Takto lze vyhodnotit přesnou míru zabezpečení každého odběru. Dále byly kriticky vyhodnoceny hodnoty odběrů a vypouštění z registru VÚV TGM, v.v.i., které jsou poskytnuty z registru v měsíčním časovém kroku. Bohužel tento časový krok vyhovuje statistickým výstupům v rámci ČR, ale pro zpracování modelu pro simulaci vodní bilance v denním kroku, jsou data z registru příliš hrubá. Bohužel taková restrikce časového kroku (přesto, že většina správců VH infrastruktury má data daleko detailnější k dispozici), zajišťuje pouze měsíční objemy aktivit

nakládání s vodami dle vodního zákona, což výrazně zvyšuje chyby modelu především v období hydrologického a zemědělského sucha. Denní variabilita průtoků je nahrazena hodnotou odvozenou z měsíčních průměrných hodnot, a toto zkrácení ovlivňuje výpočty syntetických časových řad, které jsou podkladem pro odvození funkčních pravděpodobnostních vztahů pro získání hodnot překročení průměrných denních průtoků pro prognózu na dalších 100 let. Tým externích spolupracovníků odvodil korekční mechanismus pro analogickou metodiku odvození teoretické čáry překročení průměrných denních průtoků, která nahrazuje chybné hodnoty především v oblasti minimálních hodnot průměrných denních průtoků v důsledku kumulativních hodnot s měsíčním krokem, které jsou důsledkem nevhodné reprezentace dat v rámci státního registru. Projekt TA nemůže řešit primárně digitalizaci v oblasti VH, ale experti musí řešit důsledky nevhodných postupů a přežitých datových registrů. Úprava algoritmů pro vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu překročení průměrných denních průtoků se stala součástí zlepšení a zpřesnění modelového nástroje v rámci úkolu 1.1. Bez této úpravy vyhodnocení pravděpodobnosti výskytu překročení průměrných denních průtoků by docházelo k úplně chybné interpretaci výsledků.

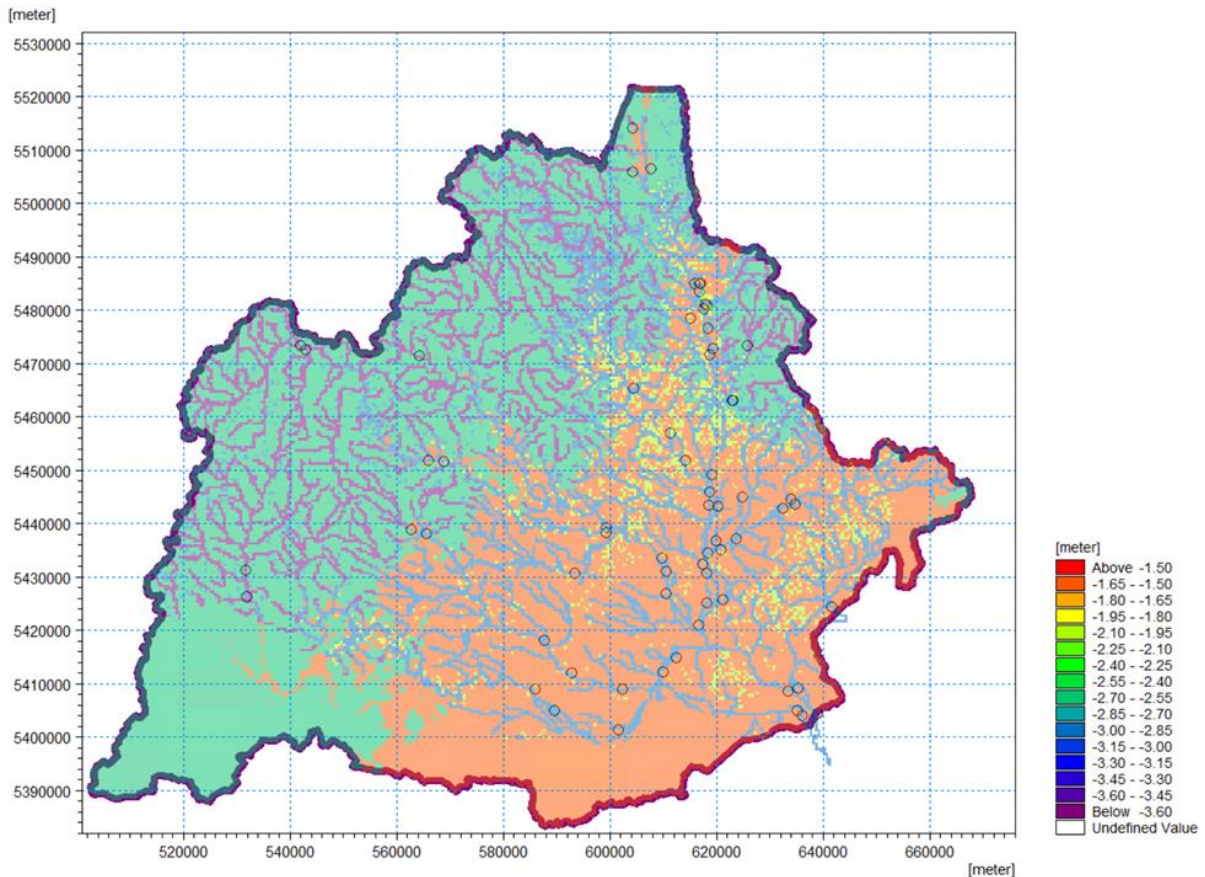
3.4. Regionalizace modelových parametrů na základě fyzicko-geografických charakteristik

Modelové parametry byly na základě zkušeností z vyhodnocení výsledků modelové verze „AdaptDyje 1“ regionalizovány na základě fyzicko-geografických charakteristik. V modelové verzi „AdaptDyje 1“ byly parametry úzce vázány na jednotky povodí vodoměrných stanic, na základě kterých byla provedena kalibrace. Parametry jsou platné pro plochy povodí, na jejichž hranicích mohou vznikat diskontinuity, které tvoří viditelné přechody na výsledkových mapách. Vzhledem k tomu, že v průběhu aktualizace modelu došlo k přechodu na plně distribuovaných přístup většiny modelových parametrů, bylo i k procesu kalibrace přistoupeno obdobně.

Mezi základní kalibrační parametry se v modelu „AdaptDyje 2“ řadí parametry stanovující konceptualizaci hypodermického odtoku (mělká podpovrchová drenáž), hloubka a časová konstanta linearizovaného procesu mělké podpovrchové drenáže ze saturované zóny. Dalšími kalibračními parametry jsou saturovaná hydraulická vodivost hlubších vrstev saturované zóny ve vertikálním a horizontálním směru. U těchto kalibračních parametrů není možné fyzikálně přesně stanovit jejich hodnotu. Hodnota je nalezena v kalibračním procesu systémem testování kombinací těchto parametrů v určených hranicích očekávaných hodnot. Ostatní modelové parametry byly stanoveny jako dané, vzhledem k tomu že bylo možné fyzikálně založeným přístupem stanovit jejich hodnotu.

Základem regionalizace kalibračních parametrů jsou geomorfologické charakteristiky povodí Dyje. Arbitrárně byla na základě testů a analýz hydrologických procesů v povodí Dyje stanovena hranice 450 m n.m., která rozděluje povodí na „horní“ a „dolní“ část. V horní části povodí jsou předpokládány nižší hodnoty transmisivity vzhledem k převládajícímu krystalickému podloží. Dále je zde očekávána větší vertikální členitost území předurčující hlubší koryta vodních toků. Pro zahrnutí modelem nepopsaných vodních toků bylo zapotřebí snížit úroveň pomyslného drénu odvádějícího vodu ze saturované zóny, který formuje hypodermický odtok a modelem nepopsané vodní toky. Dalším prostorovým faktorem je přítomnost eluvia vodních toků, ať už modelem popsáných či nikoli. Eluvium bylo stanoveno rasterizací detailní vrstvy vodních úseků (A03 - vodní tok hrubé úseky) do modelového

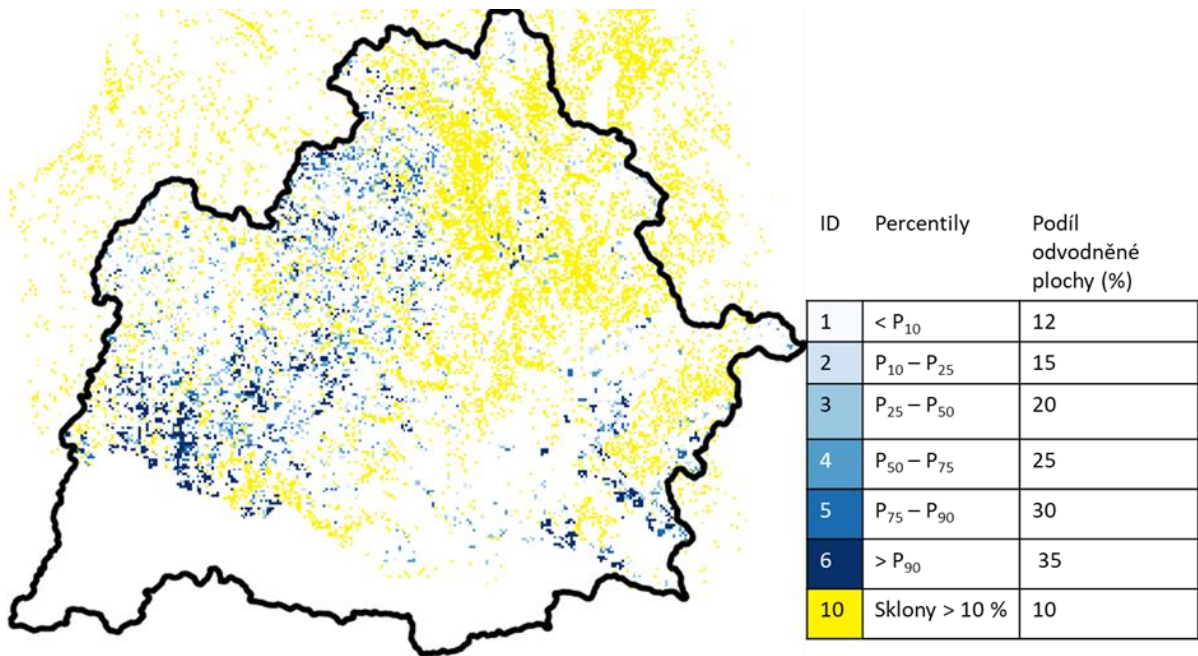
rozlišení 500 x 500 m. Pro eluviální oblasti byla stanovena vyšší hodnota transmisivity a hloubky mělké podpovrchové drenáže (Obr. 4).



Obr. 4: Hloubka mělké podpovrchové drenáže, příklad regionalizace modelového parametru na základě výškopisných a geomorfologických charakteristik území.

Posledním uvažovaným faktorem v této fázi regionalizace modelových parametrů byla sklonitost svahů. Z podkladu DMR5G zpracovaného do rozlišení 5 x 5 m byly vytipovány oblasti se sklonem větším než 10°. Tyto oblasti byly rasterizovány do modelového rozlišení 500 x 500 m.

V rámci regionalizace modelových parametrů byly upraveny jak mapy výše popsaných kalibračních parametrů, tak i vrstvy popisující nehortonský koncentrovaný povrchový odtok. Konceptualizace povrchového odtoku byla doplněna o meliorované plochy, které byly klasifikovány na základě celkové kapacity odvodnění, o zpevněné plochy intravilánu větších měst, kde je předpokládáno intenzivní rychlé odvodnění a o sklon svahů (Obr. 5).



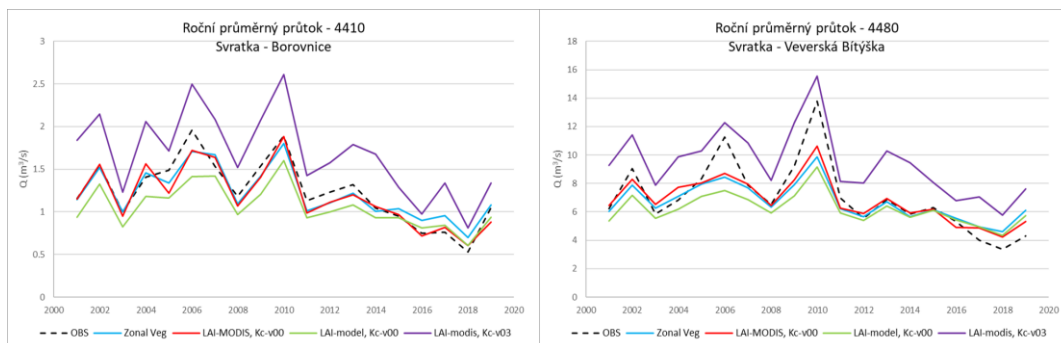
Obr. 5: Regionalizace parametrů stanovení rychlého koncentrovaného povrchového odtoku. Podíl odvodněné plochy je vztažen k jednotlivým buňkám výpočetního gridu (500 x 500 m). Pro povodí Rakouské Dyje nebyla analýza provedena.

3.5. Stanovení plně časoprostorově distribuovaných vegetačních parametrů

Vegetační parametry jsou v modelové verzi „AdaptDyje 2“ schematizovány plně distribuovaným způsobem. Nevychází již z polygonů tříd využití území (jako je tomu v případě předešlé verze modelu „AdaptDyje 1“), ale využívá jako hlavní podklad data dálkového průzkumu Země, konkrétně měřené hodnoty indexu listové plochy (LAI) spektrometrem MODIS neseným družicí Terra. Hodnoty LAI byly získány v denním kroku pro období 2001–2020. Hodnoty ostatních vegetačních parametrů hloubka kořenění (Root Depth, RD) a vegetačního koeficientu (Kc) byly odvozeny na základě metody popsané v Mendiguren et al. (2017).

Pro simulace budoucího období byly vegetační parametry simulovány pomocí modelu popsaného Xin et al. (2018). Metoda je založena na parametrizaci výpočtu vegetačních parametrů pro každý pixel během období 2001–2020 vůči datům z MODISu. Vstupní data pro model jsou radiace, teplota a sytostní doplněk. Model s danými parametry lze použít pro libovolné období.

Hodnoty limitů vegetačního koeficientu Kc byly optimalizovány v rámci procesu kalibrace (Obr. 6).



Obř. 6: Vliv nastavení limitů pro parametr Kc v modelovém stanovení na základě LAI pro vybrané stanice. Černá přerušovaná linie zobrazuje pozorovaná data, barevné linie zobrazují testované sady vegetačních parametrů. Je zřejmé, že vliv vegetačních parametrů na výsledky je významný.

3.6. Metody pro výpočet referenční evapotranspirace a využití měřených dat aktuální evapotranspirace

V rámci stanovení referenční evapotranspirace bylo testováno několik přístupů vycházející z rovnice Penman Monteith a využívající interpolované staniční měření klimatických proměnných. Využití měřených dat aktuální evapotranspirace bylo testováno v rámci pilotního povodí horní Svratky. Zatímco využití absolutních hodnot nepřineslo jednoznačné výsledky, přínos pro zlepšení parametrizace modelu mělo posouzení shody prostorových vzorců aktuální evapotranspirace mezi výstupy modelu a mapou aktuální evapotranspirace, vycházející z diagnostického modelu DisALEXI, derivovaného z dat spektrometru MODIS.

4. Závěr

Model povodí řeky Dyje byl překalibrován. V současné době byla započata rozsáhlá analýza vlivu změn modelových parametrů na vypovídací schopnost modelu, jak ve srovnání s měřenými daty, tak při zatížení klimatickými scénáři. Změny vůči předešlé verzi modelu „AdaptDyje 1“ jsou hodnoceny nejen jednotlivě, ale hlavně v celkové kombinaci. Díky regionalizaci modelových parametrů byly z výsledkových map odstraněny diskontinuity a tak byla výrazně zlepšena možnost prezentace prostorově distribuovaných výsledků. Zároveň byl model doplněn o nejnovější měřená data a poznatky, které vedly k realističtější schematizaci hydrologických procesů v povodí.

Aktualizovaná verze „AdaptDyje 2“ 6/2024 digitálního dvojčete povodí Dyje je připravena pro užití pro úlohy 1.2 až 1.5 a zároveň 1.9. Úkol byl splněn podle harmonogramu.

5. Seznam použitých zkratek

ČHMÚ - Český hydrometeorologický ústav

DPZ - dálkový průzkum země

DisALEXI - disaggregated Atmosphere-Land Exchange

DIBAVOD - Digitální BÁze VOdohospodářských Dat

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

ETo - roční potenciální evapotranspirace

ETref - referenční evapotranspirace
HPV - hladina podzemní vody
Kc - vegetační koeficient
KPP - komplexní průzkum půd
LAI - leaf area index - index listové plochy
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
RD - root depth - kořenová hloubka
TA – TransAdapt
TAČR - Technologická agentura ČR
VH - vodní hospodářství
VÚMOP - Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
VÚV TGM - Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka
Zabaged - Základní báze geografických dat České republiky

6. Použitá literatura

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.

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.