

Obsah

Anotace systému	5
Internetové stránky	7
Interaktivní aplikace	9
Základní mapa	9
Indikátory sucha	11
Klimatická změna.....	11
Užívání (komponenta nakládání s vodou)	12
Metodika	17
Klima: Pozorovaná data.....	17
Půda: Model půdní vlhkosti SoilClim	17
Voda: Model hydrologické bilance Bilan	19
Nádrže: Wateres.....	19
Vstupní data	20
Transformace korytem	21
Odhad parametru transformačního zásobníku	21
Optimalizace manipulací na nádržích pomocí genetických algoritmů	22
Návrh do plánů	24
Hodnocení sucha	25
SPI, SPEI, SRI	25
Nedostatkový objem	25
Srážkový deficit.....	25
Deficit vody v půdě.....	26
Retenční kapacita	26
Klimatická změna.....	26
Zdroje dat o změně klimatu	26
Modelování scénářů změny klimatu	27
Syntéza poznatků o předpokládaných změnách srážek a teploty.....	28
Suchovkrajine.cz	30
Řešitelský tým.....	31
Literatura	32

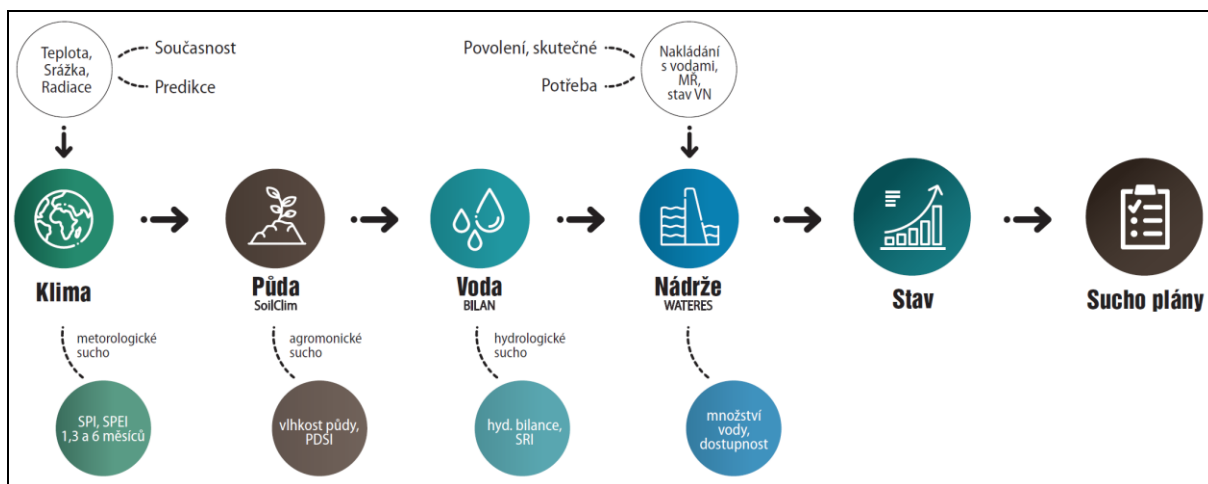
Anotace systému

Sucho a nedostatek vody jsou pojmy, které je třeba od sebe správně rozlišovat.

Sucho představuje dočasný pokles dostupnosti vody a je považováno za přirozený jev. Pro sucho je charakteristický jeho pozvolný začátek, značný plošný rozsah a dlouhé trvání. Přirozeně dochází k výskytu sucha, pokud se nad daným územím vyskytne anomálie v atmosférických cirkulačních procesech v podobě vysokého tlaku vzduchu bez srážek, která setrvává po dlouhou dobu nad určitým územím.

Nedostatek vody je definován jako situace, kdy vodní zdroj není dostatečný pro uspokojení dlouhodobých průměrných požadavků na vodu.

Sucho se dělí na meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické. Z toho vychází samotný název systému HAMR (**H**ydrologické, **A**gronomické, **M**eteorologické a **R**etence), který je znázorněn na Obrázek 1.



Obrázek 1 Výpočtové schéma systému HAMR

Každá komponenta je reprezentována fyzikálně založeným matematickým modelem (SoilClim, Bilan a Wateres) a následně je hodnocena dle vypočtených indikátorů, na základě který danou situaci dělíme do stavů:

- Normální stav
- Mírné sucho
- Silné sucho
- Mimořádné sucho

Opakem je také hodnocení stavů, kdy je dostatek disponibilní vody. Samotné hodnocení probíhá 1 týdně a vyhodnocuje se v rozlišení vodních útvarů, pro které jsou vypočteny jednotlivé indexy. Pro hodnocení odchylek v daném týdnu od normálu se použilo referenční období 1981-2010.

Meteorologické sucho je hodnoceno na základě indexu SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) zohledňujícího bilanci mezi srážkovým úhrnem a evapotranspirací. Při výpočtu indexu se vychází z hodnot srážkových úhrnů a potenciální evapotranspirace.

Agronomické sucho je vypočteno na základě odchylky od normálu za období 1981-2010 pro daný týden. Za extrémní sucha jsou vyhodnocena ta, která mají pravděpodobnost výskytu nižší než 5 %, výrazné sucho 15 % a mírné sucho 25 %. Analogicky jsou kategorizovány i stavy zvýšeného nasycení.

Hydrologické povrchové se hodnotí dle aktuální hodnoty indexu SRI (Standardized Runoff Index) v daném týdnu. Pro hodnocení povrchových vod se využívá simulovaný průtok modelem Bilan v útvarech povrchových vod.

Hydrologické podzemní zobrazuje aktuální hodnoty pozorování v mělkých zvodnících. Výhled je následně reprezentován, zdali lze očekávat zlepšení (doplnění zásob) či zhoršení stavu v těchto zvodnících.

Nedostatek vody zohledňuje především indexy na hydrologické sucho, kterému je přiřazena vyšší váha než suchu agronomickému a suchu meteorologickému. Dále je výrazně zohledněna potřeba vodních zdrojů (povrchové a podzemní odběry) v daném vodním útvaru. Potřeba je vyhodnocena na základě požadavků na vodní zdroje v daném útvaru a 90 procentního kvantilu dlouhodobého odtoku.

Predikce: Předpověď na příští týden se opírá o pět předpovědních modelů a to:

- IFS Evropského centra pro střednědobou předpověď;
- model GFS Amerického centra pro výzkum atmosféry;
- model GEM (CMC) Kanadského meteorologického centra;
- model UK (GUM) Global britské meteorologické služby a
- ARPEGE model francouzské meteorologické služby.

Všech pět modelů je používáno pro předpověď počasí meteorologickými službami řady států včetně ČR.

Poznámka: Jednotlivé mapy ukazují odchylky od normálního stavu pro daný měsíc (týden). V praxi může nastat například situace, kdy je daný vodní útvar zařazen dle indexu do normálního stavu, přičemž tento fakt ještě neznamená dostatek vodních zdrojů. Z tohoto důvodu je vhodné používat i doplňkové mapy, které jsou dostupné v interaktivní aplikaci.

Internetové stránky

Webové stránky projektu jsou: <http://hamr.chmi.cz>.

Na obrázku 2 je zobrazena úvodní strana, na které je základní rozdělení:

- A) Komponenta kapek reprezentující jednotlivé typy sucha,
- B) Rozbalující menu (hamburgerové menu),
- C) Video hodnocení aktuálního týdne,
- D) Vstup do interaktivní aplikace pro odbornou veřejnost,
- E) Zhodnocení daného týdne, aktuality,
- F) Zadavatel (Ministerstvo životního prostředí a jednotlivé instituce, které systém vyvíjí), více v záložce kontakty.

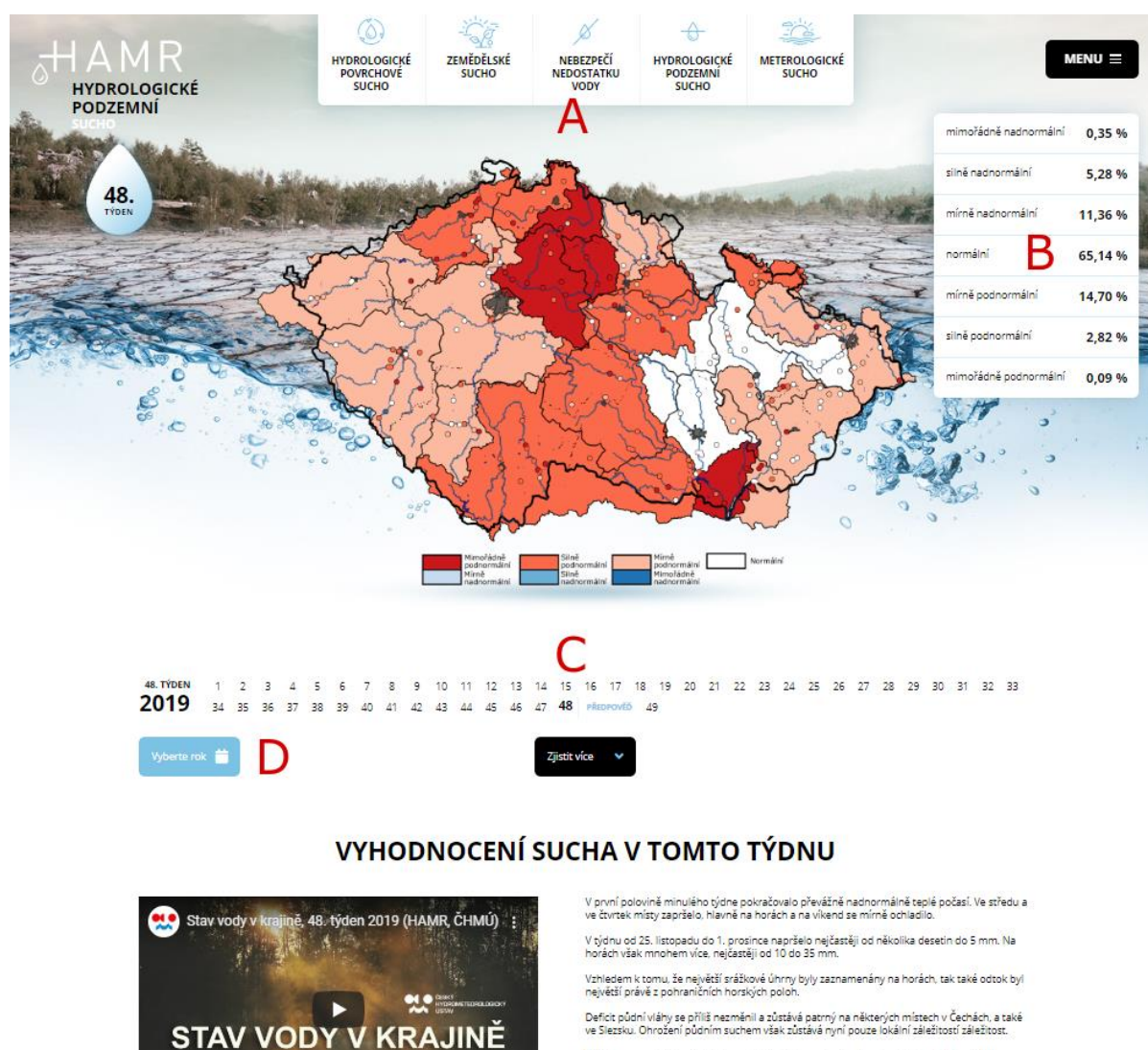


Obrázek 2 Úvodní strana systému HAMR

Na obrázek 3 je zobrazeno hydrologické sucho podzemní vody, které zobrazuje aktuální hodnoty v mělkých zvodnících. Po výběru se zobrazí hodnocení pro aktuální týden, zvýrazněno tučně, na obrázku u bodu C. Dále je zobrazeno:

- A) Možnost výběru typu sucha (nahore), mapové zobrazení zvoleného typu sucha pro zvolený týden,
- B) Procentuální hodnocení pro Českou republiku, zařazení do jednotlivých kategorií,
- C) Komponenta výběru týdne,
- D) Komponenta výběru roku.

Dole je uvedeno slovní hodnocení a shrnující video komentář pro daný týden.



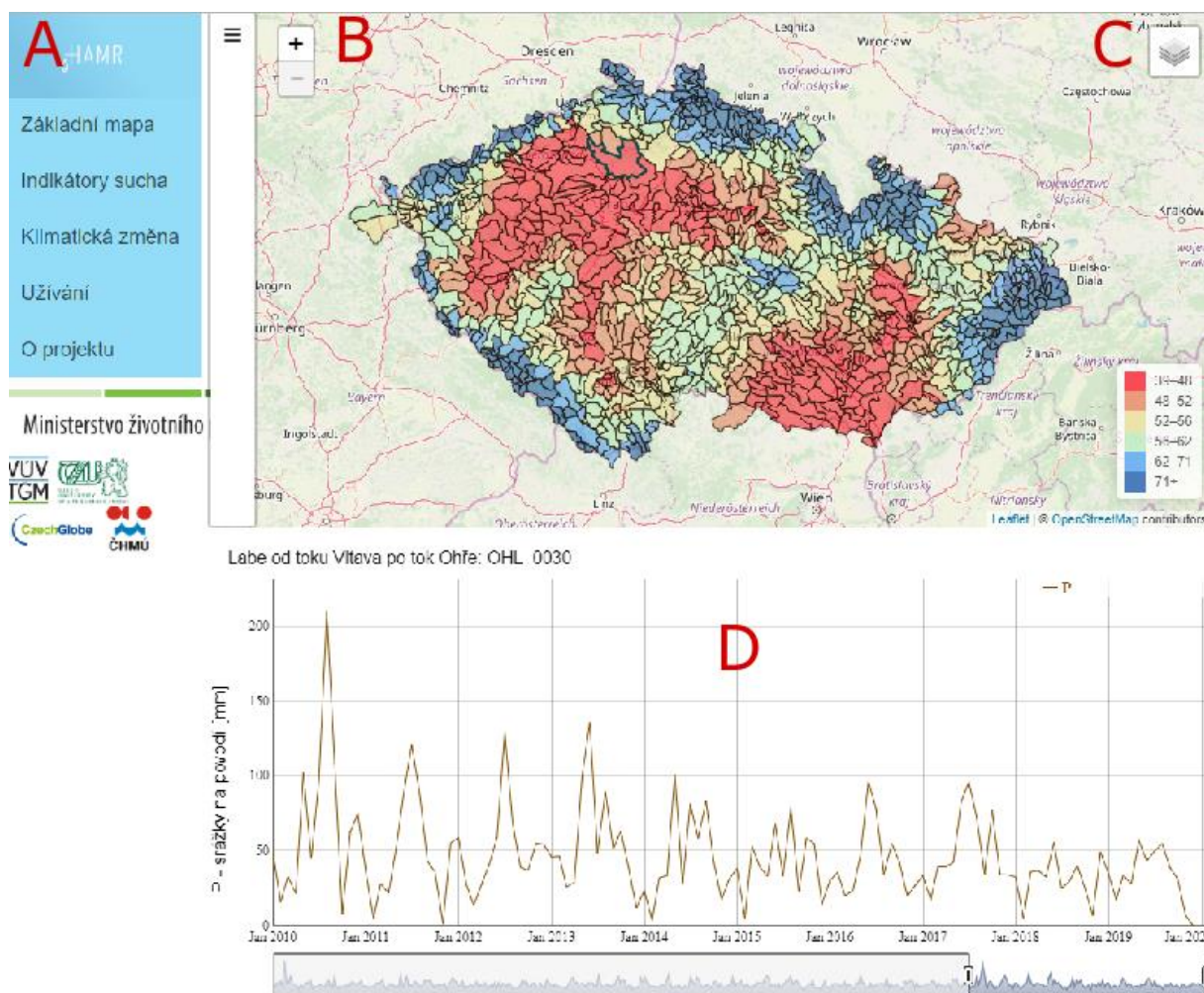
Obrázek 3 Hydrologické sucho podzemní

V rozbalovacím (hamburgerovém menu) jsou uvedeny odkazy na metodiku řešení, aktuality a kontakty na řešitelský tým.

Interaktivní aplikace

Přes webové stránky je možné po zadání přihlašovacích údajů vstoupit do interaktivní aplikace, která je vytvořena ve skriptovacím jazyce JavaScript. Úvodní strana aplikace je zobrazena na Obrázek 4 a má základní funkcionalitu:

- Menu, kde lze vybrat typ údajů, které chceme zobrazit,
- Mapové okno, kde jsou zobrazeny hodnoty vybrané veličiny pro zvolený časový horizont,
- Výběr podkladových map,
- Grafové okno, kde je zobrazen průběh zvolené veličiny pro zvolený vodní útvar, k dispozici jsou data od roku 1981 – současnost.



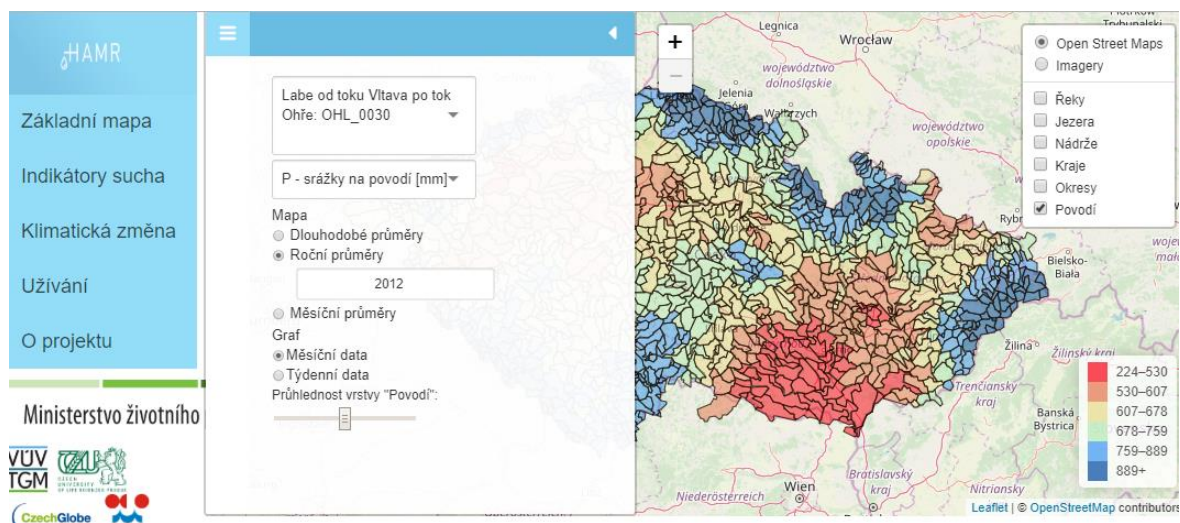
Obrázek 4 Úvodní strana aplikace HAMR

Základní mapa

Na Obrázek 5 je zobrazena základní mapa, která zobrazuje zvolenou veličinu hydrologické bilance (modelovanou modelem Bilan):

- P - srážky na povodí [mm],
- R - odtok (pozorovaný) [mm],

- RM - celkový odtok (simulovaný) [mm],
- BF - základní odtok (simulovaný) [mm],
- PET - potenciální evapotranspirace [mm],
- ET - územní výpar [mm],
- SW - půdní vlhkost (zásoba vody v nenasycené zóně) [mm],
- SS - zásoba vody ve sněhu [mm],
- GS - zásoba podzemní vody [mm],
- PERC - perkolace z půdní vrstvy [mm],
- RC - dotace zásoby podzemní vody [mm],
- T - teplota vzduchu [°C].



Obrázek 5 Komponenta základní mapa

Data lze zobrazit jako dlouhodobé průměry, hodnoty pro zvolený rok a hodnoty pro jednotlivé měsíce ve zvoleném roce. Pro mapu lze přepínat mapový podklad:

- Základní mapa (Open Street maps),
- Ortofoto mapa.

Dále lze zobrazit vrstvy:

- Řeky,
- Jezera,
- Nádrže,
- Kraje,
- Okresy,
- Povodí,

Pro které je možné zvolit průhlednost vrstvy (tak, aby bylo možné zvolené území lépe identifikovat). Pod mapovým oknem se zobrazí pro zvolený vodní útvar a zvolenou veličinu její průběh od roku 1981 po současnost. Zobrazení je možné pro:

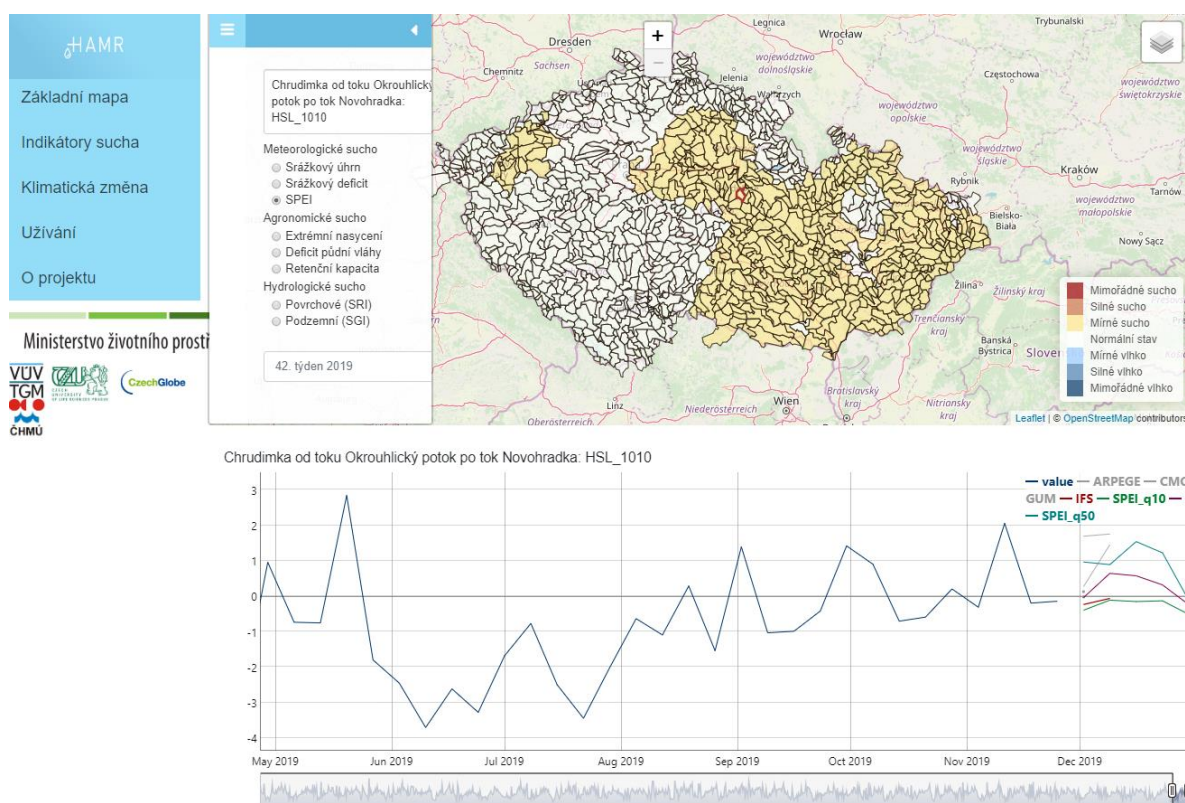
- Měsíční data,
- Týdenní data.

Indikátory sucha

V komponentě indikátory sucha jsou zobrazeny analogicky se základní mapou tzv. indikátory sucha (více v kapitole hodnocení sucha) pro:

- Meteorologické sucho (srážkový úhrn, srážkový deficit, SPEI)
- Agronomické sucho (maximální nasycení půdy, deficit půdní vláhy, retenční kapacita),
- Hydrologické sucho (povrchové sucho – SRI, podzemní sucho - SGI).

Lze zvolit týden, pro který chceme mapový podklad zobrazit. Index SPEI a jeho průběh je zobrazen na Obrázek 6 v dolní (grafové) části. Zobrazen je vodní útvar HSL_1010 od května 2019 po současnost. V grafu jsou vidět výrazně nízké hodnoty v průběhu letních měsíců (od -2 nastává mimořádné sucho) a jeho následný vývoj. V pravé části potom predikovaný vývoj dle 5 klimatických modelů (model IFS zvýrazněn červeně) na 2 týdny dopředu a delší statistickou predikci (zelená: kvantil 10%, fialová: kvantil 10% a modrá: kvantil 50%).



Obrázek 6 Komponenta indikátory sucha (zobrazen index SPEI)

Klimatická změna

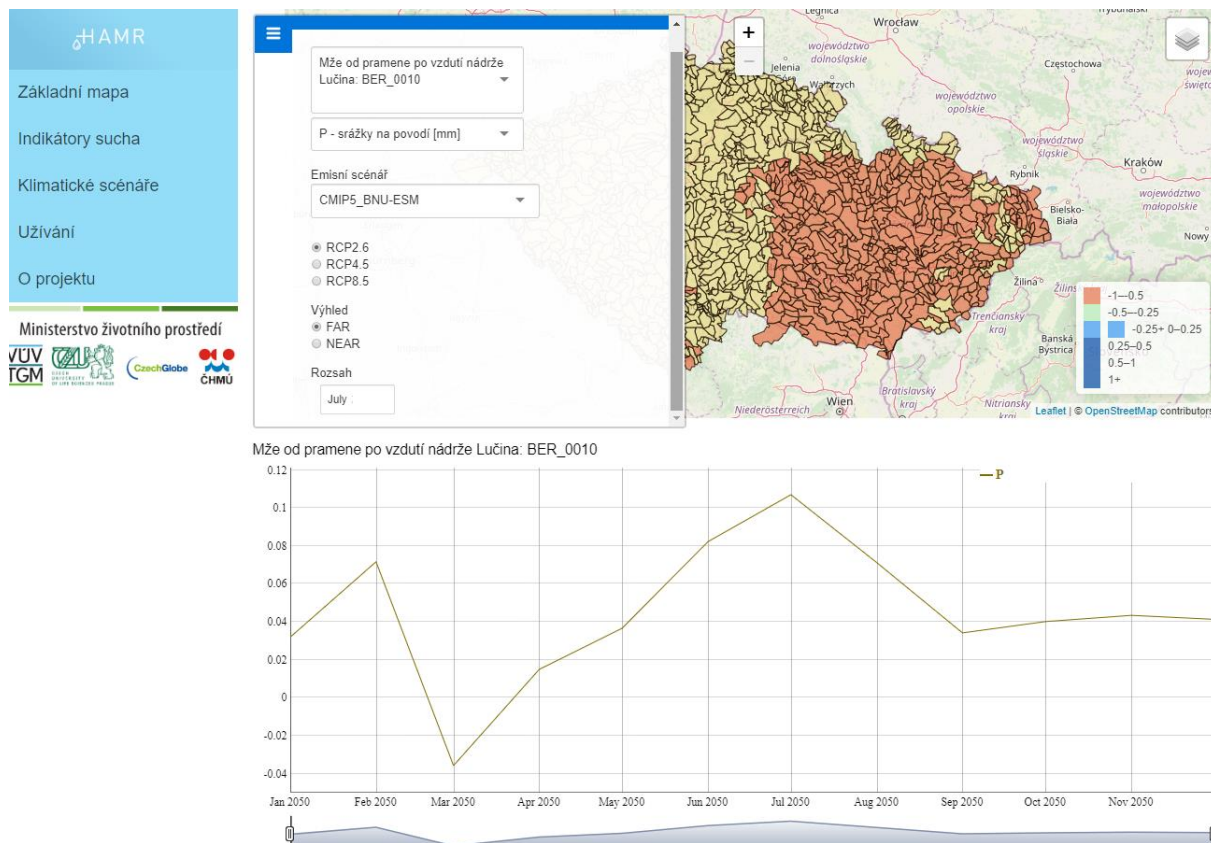
V záložce klimatické scénáře jsou výsledky simulace dopadů změn klimatu na hydrologický režim (více o metodice modelování v kapitole Klimatická změna). V rámci aplikace je možné vybrat emisní scénář:

- RCP 2.6,
- RCP 4.5,
- RCP 8.5,

časový horizont:

- NEAR (2021-2050),
- FAR (2061-2090),

A klimatický model. Na základě tohoto výběru a volby veličiny se zobrazí plošné změny v mapovém podkladu a pro zvolený vodní útvar průměrné změny zvolené veličiny v jednotlivých měsících (Obrázek 7).



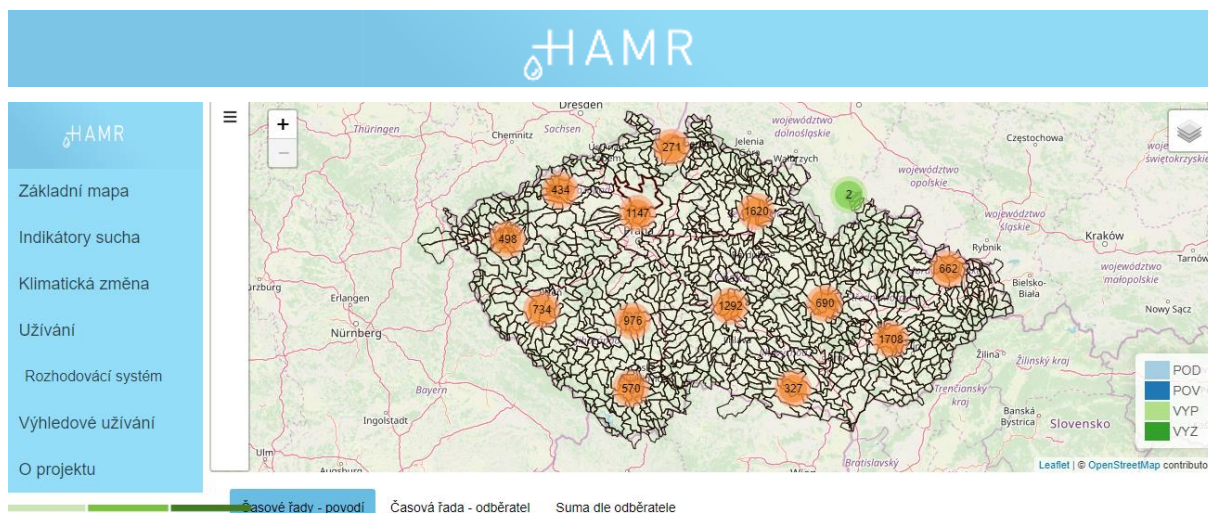
Obrázek 7 Změna srážkového úhrnu dle časového horizontu FAR (2061-2090), RCP 2.6 a model CMIP5_BNU-ESM

Užívání (komponenta nakládání s vodou)

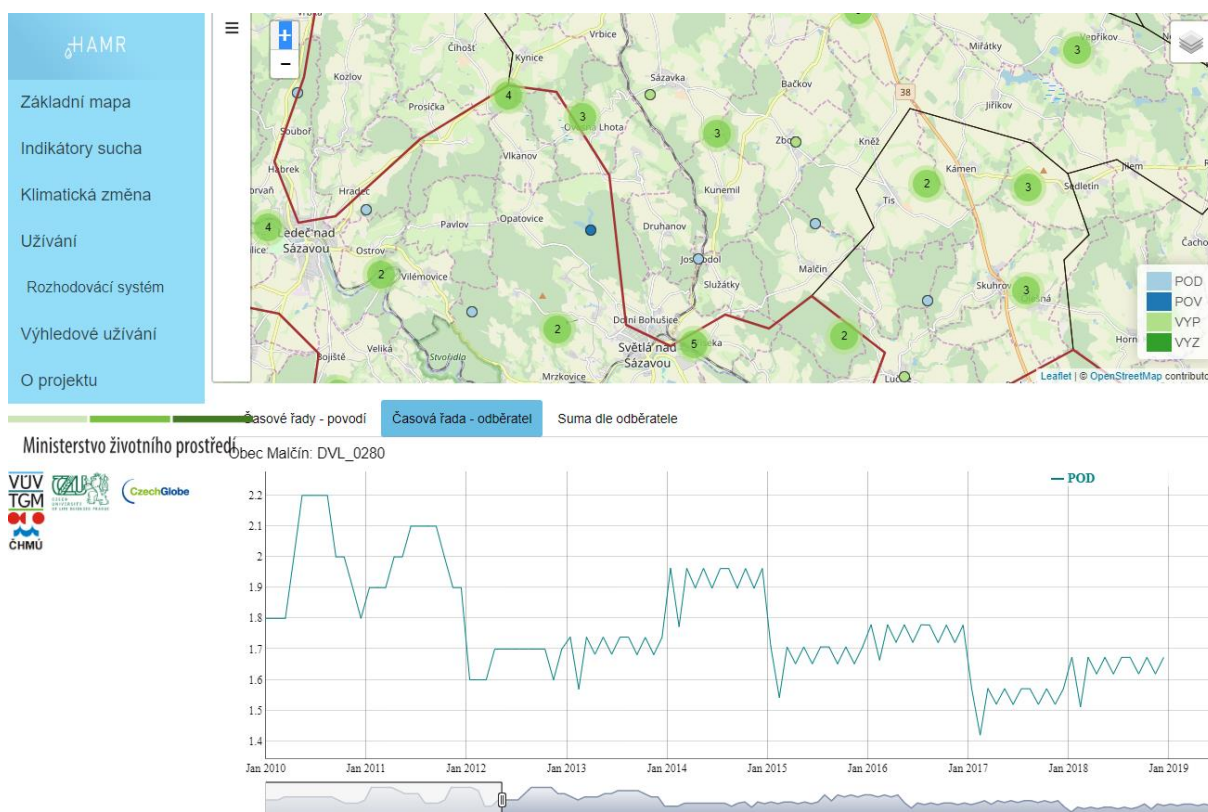
V systému jsou hodnoceny údaje nakládání s vodou na základě databáze vodohospodářské bilance, pro kterou je evidováno nakládání s objemem větším než 6000 m³/rok nebo 500 m³/měsíc. Nakládání je rozděleno:

- POD - odběr z podzemních vod,
- POV - odběr z povrchových vod,
- VYP - vypouštění do povrchových vod,
- VYZ - vypouštění do podzemních vod.

V rámci mapového okna lze vybrat vodní útvar, pro které je nakládání s vodou sumarizováno a vývoj je zobrazen formou grafu dle jednotlivých kategorií pro celý vodní útvar (Obrázek 8) nebo pro vybraný subjekt (Obrázek 9). Dále je možné zobrazit hodnoty tabelárně, kde je dostupná základní funkcionality (filtrování, seřazení). Do komponenty „Užívání“ je možné vstoupit po zadání přihlašovacích údajů (jméno, heslo).



Obrázek 8 Nakládání s vodou pro vodní útvar OHL_0030

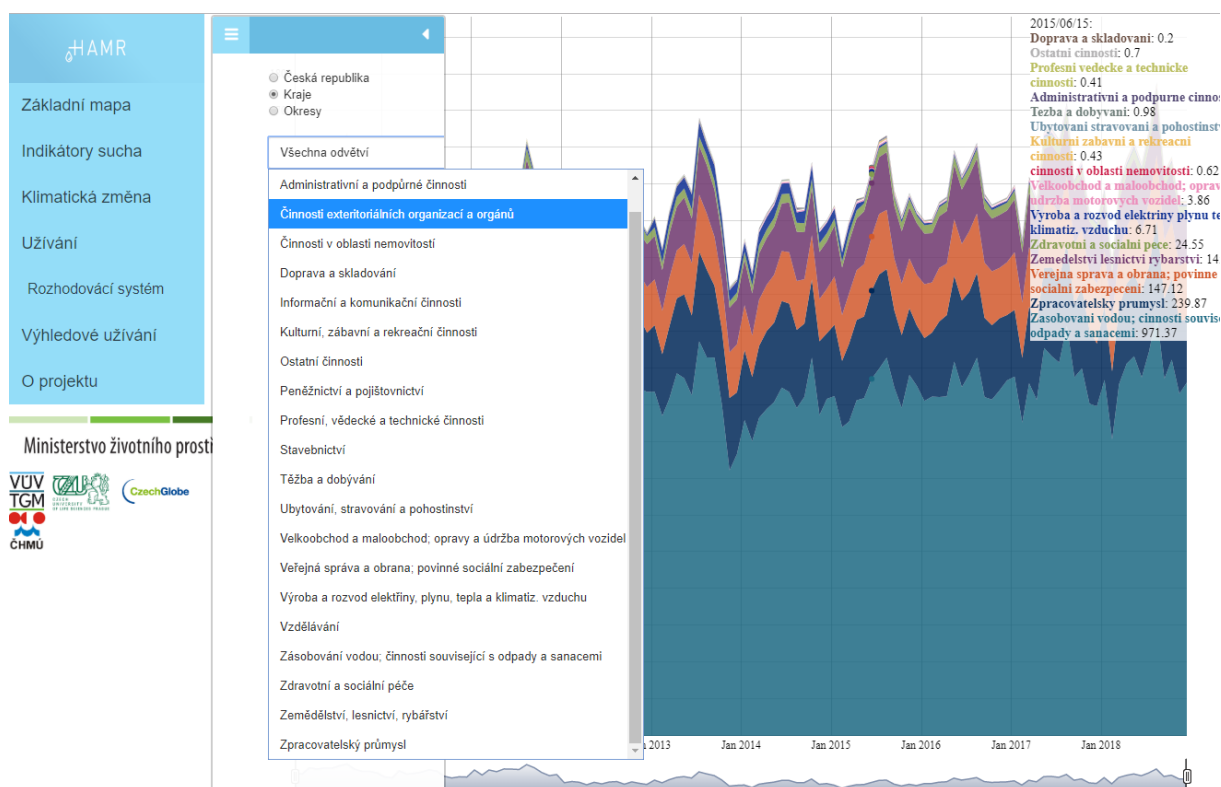


Obrázek 9 Nakládání s vodou pro vybraný subjekt

V rámci systému byla provedena agregace hodnot nakládání s vodou pro oblasti:

- Česká republika,
- Kraje,
- Okresy.

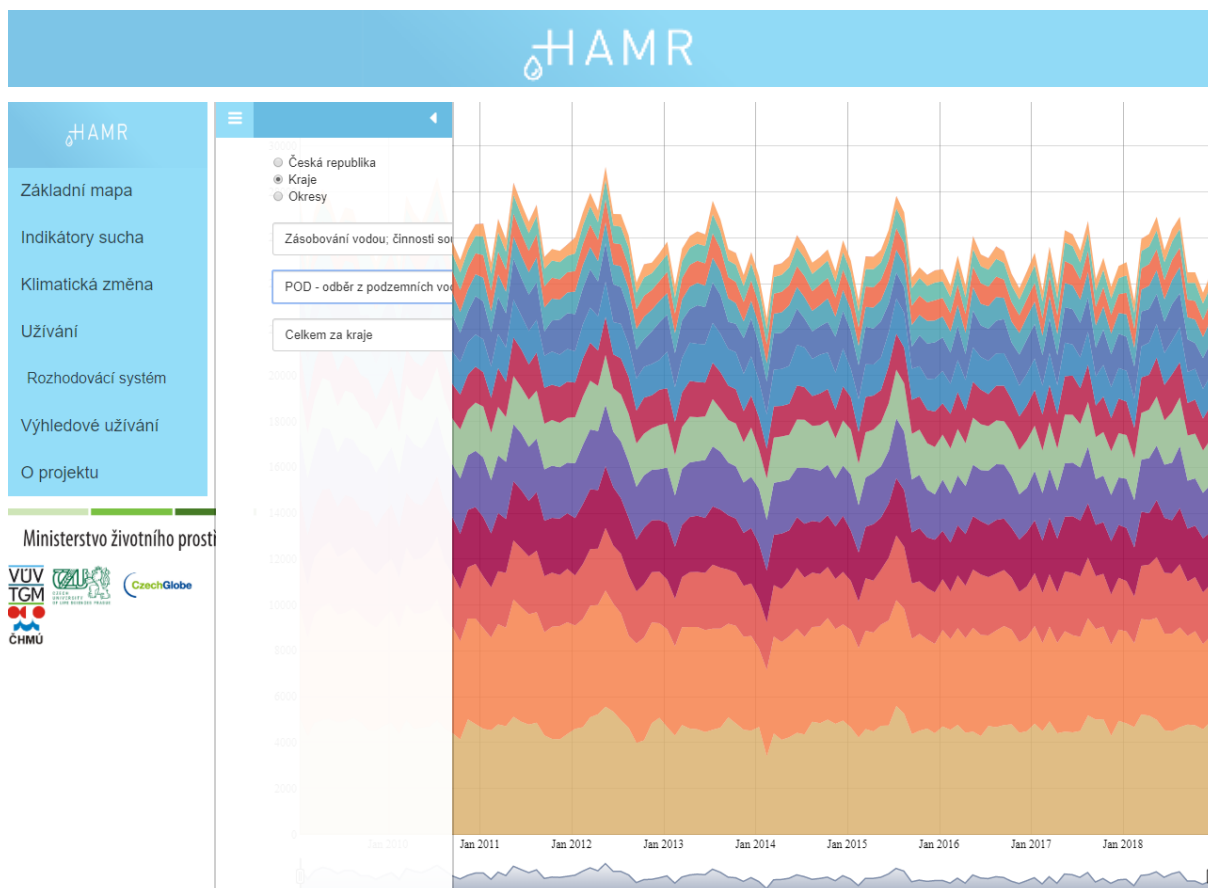
Pro zvolenou oblast je možné zobrazit sumu za všechny činnosti nebo dílčí činnost (při této volbě se zobrazí skutečné odběry versus povolená množství). Jednotlivé činnosti jsou zobrazeny na Obrázek 10, kde jsou také zobrazeny hodnoty pro podzemní odběr v Jihočeském kraji a jednotlivá odvětví (lze pozorovat, že největší podíl má: Zásobování vodou, činnosti související s odpady a sanacemi, které se podílí více než polovinou na celkovém podzemním odběru).



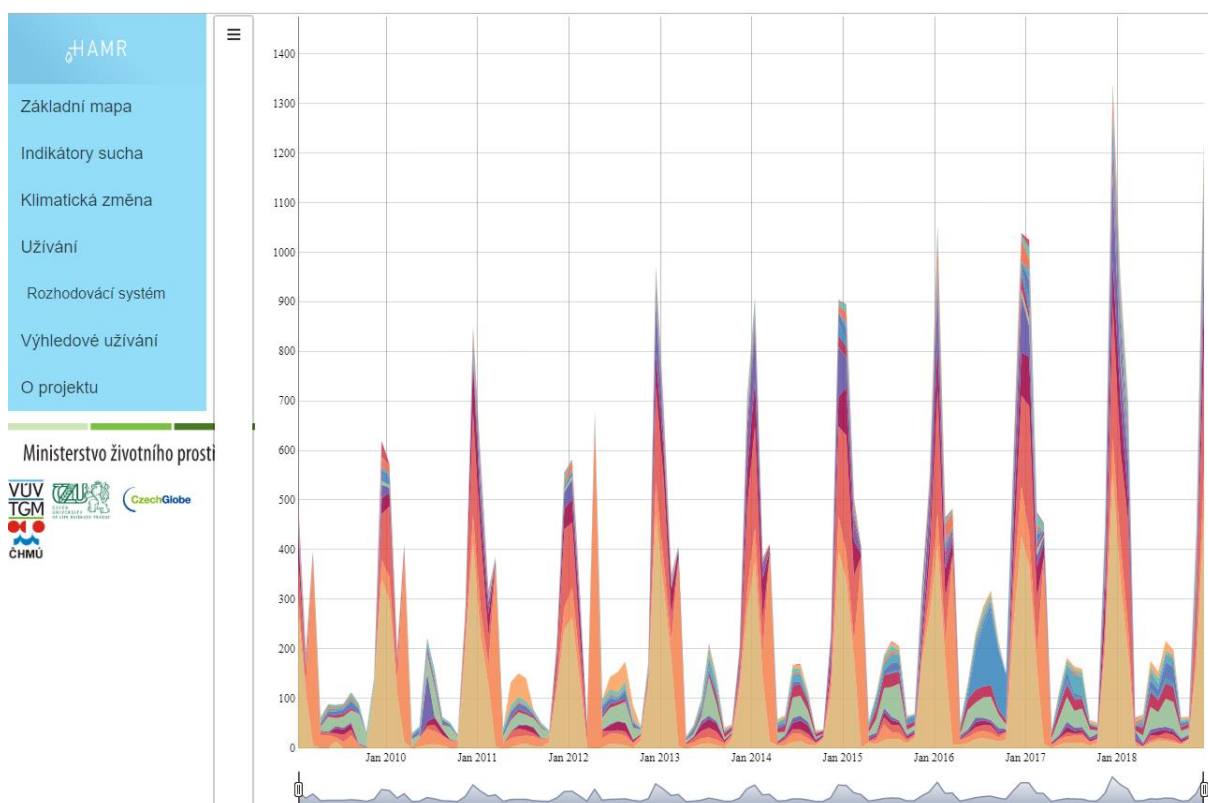
Obrázek 10 Podzemní odběr pro Jihočeský kraj a všechna odvětví

Na Obrázek 11 je zobrazen odběr z podzemních vod pro zásobování vodou, činnosti související s odpady a sanacemi dle jednotlivých krajů. Lze pozorovat prakticky ustálený stav s navýšením v letních obdobích suchých let 2015 a 2018.

Na Obrázek 12 je poté zobrazen odběr z povrchových vod pro rekreační činnost, kde lze vidět narůstající trend v zimních obdobích, což je dáno především požadavky na vodu lyžařskými areály a jejich navyšování kapacit, které vrcholilo v zimě 2017/2018, kdy v tocích byla snižena dostupnost vody (nutné dodat, že z bilančního hlediska se nejedná o zásadní problém).



Obrázek 11 Zásobování vodou, činnosti související s odpady a sanacemi dle jednotlivých krajů, odběr z podzemních vod



Obrázek 12 Rekreační činnost dle jednotlivých krajů, odběr z povrchových vod (reálný odběr)

Pro jednotlivá nakládání byl vytvořen pasport odběratele (pokud byla dostupná data), ve kterém jsou zobrazeny základní údaje (vlastník, kde se nakládání nachází, povolená množství pro měsíc a rok, kdy bylo povolení vydáno a do kdy má platnost). Ukázka takového pasportu je uvedena na Obrázek 13, pro jednodušší lokalizaci, lze nakládání s vodou vybrat v mapovém okně.

Základní mapa

Indikátory sucha

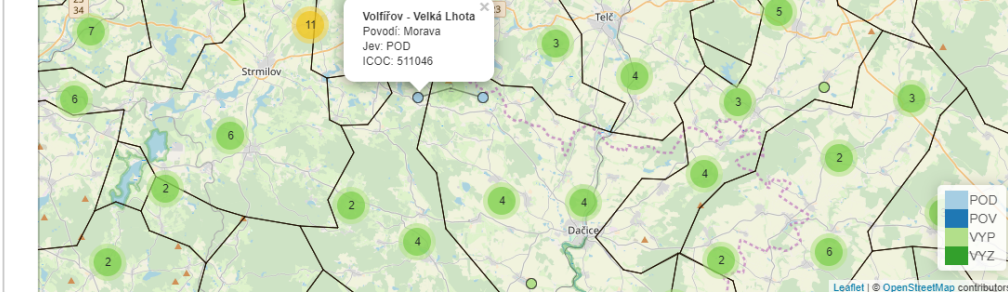
Klimatická změna

Užívání

Rozhodovací systém

Výhledové užívání

O projektu



Ministerstvo životního prostředí
Pasport odběratele
Požadavek
Časová řada - odběr



VLASTNÍK	Volfířov, a.s.
VHPOV_VYDAL	Městský úřad Dačice
TOK	Volfířovský p.
PROVOZOVATEL	Volfířov, a.s.
PMM_ROK	38.14
PMM_MES	3
OBEČ	Volfířov
NAZICO	Volfířov - Velká Lhota
JEV	POD
ICOC	511046
HG_RAJON	6540
DATUM	26.03.2008
DAT_PL_DO	31.12.2028
CHP	4-14-01-0350-0-00

Obrázek 13 Pasport odběratele

Nedílnou součástí systému je možnost zadat potřebu vody pro následujících 8 týdnů (tato informace má sloužit jako podklad pro „Suché komise“) a také jako vstupní informace pro model vodohospodářské bilance Wateres (více viz kapitola Wateres). Zadání lze provést na základě přihlášení a identifikátorů ICOC (unikátní pro každé nakládání v kombinaci s jevem: POV, POD a VYP). Ukázka tabulky je na Obrázek 14.

Ministerstvo životního prostředí
Pasport odběratele
Požadavek
Časová řada - odběr



ICOC	JEV	1. týden	2. týden	3. týden	4. týden	5. týden	6. týden	7. týden	8. týden	
000000	XXX	0	0	0	0	0	0	0	0	Odeslat
										Upravit

Obrázek 14 Aplikace pro požadavek na nakládání s vodou

Metodika

Klima: Pozorovaná data

Vstupem do systému jsou průměrné denní hodnoty agregované na jednotlivé vodní útvary (1135), které pokrývají plošně celou Českou republiku, jedná se o:

- Teplota vzduchu,
- Srážkový úhrn,
- Rychlost větru,
- Sluneční radiace,
- Vlhkost vzduchu,

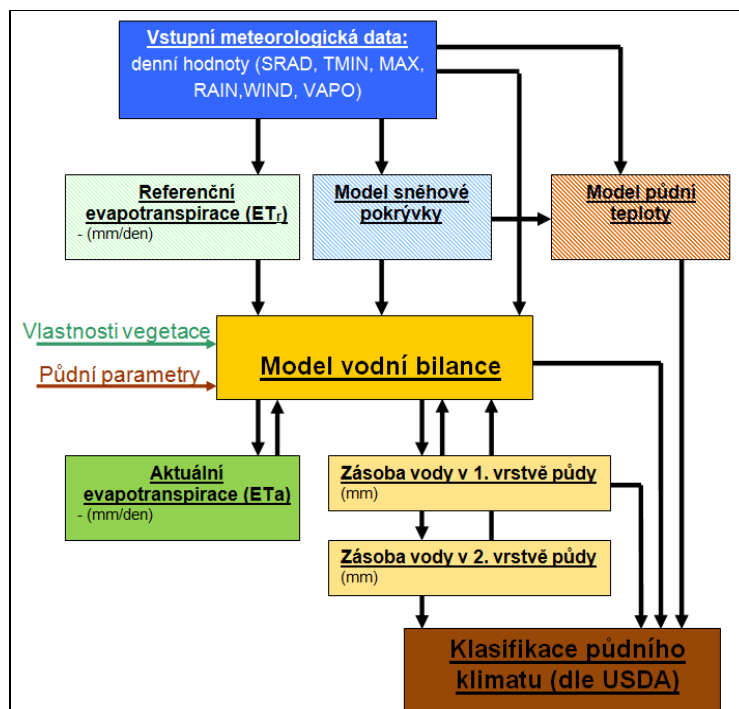
A hodnoty staničního pozorování:

- Hladiny podzemní vody v mělkých vrtech,
- Průtoky na vodoměrných stanicích.

Pozorovaná data jsou vstupem pro hodnocení komponenty Klima (více viz Hodnocení sucha) a dále do modelů půdní vlhkosti a hydrologické bilance.

Půda: Model půdní vlhkosti SoilClim

Základem pro provoz modelu SoilClim je využití databáze meteorologických prvků v denním kroku (maximální a minimální teploty vzduchu, sumy globální sluneční radiace, úhrnů srážek, rychlosti větru, vlhkosti vzduchu) pro současné klima, která vychází z měření na jednotlivých stanicích v rámci celé ČR. Tyto hodnoty jsou interpolovány do gridů (500 m x 500 m) pokrývajících ČR. Pro tyto gridy jsou pak stanoveny hodnoty indikátorů referenční a aktuální evapotranspirace (ET_r a ET_a), vodní bilance, vlhkosti a teploty půdy a popis půdního klimatu. Ve výpočtech SoilClimu je zohledněna retenční kapacita půdy (pro každý grid bod) ve dvou vrstvách (0–40 a 40–100 cm) a pravděpodobné zastoupení vegetace (dle informací o LandUse). SoilClim byl vyvinut jako modifikace přístupu FAO-56 (Allen et al., 1998) a pro podmínky České republiky byl kalibrován a validován Hlavinkou et al., (2011). Tento nástroj pracuje na modulární bázi (skládá se z několika samostatných modulů – sad algoritmů), kdy výstupy ze základních modulů jsou využity jako vstupy do navazujících výpočtů (viz Obrázek 15).



Obrázek 15 Schéma modelu SoilClim

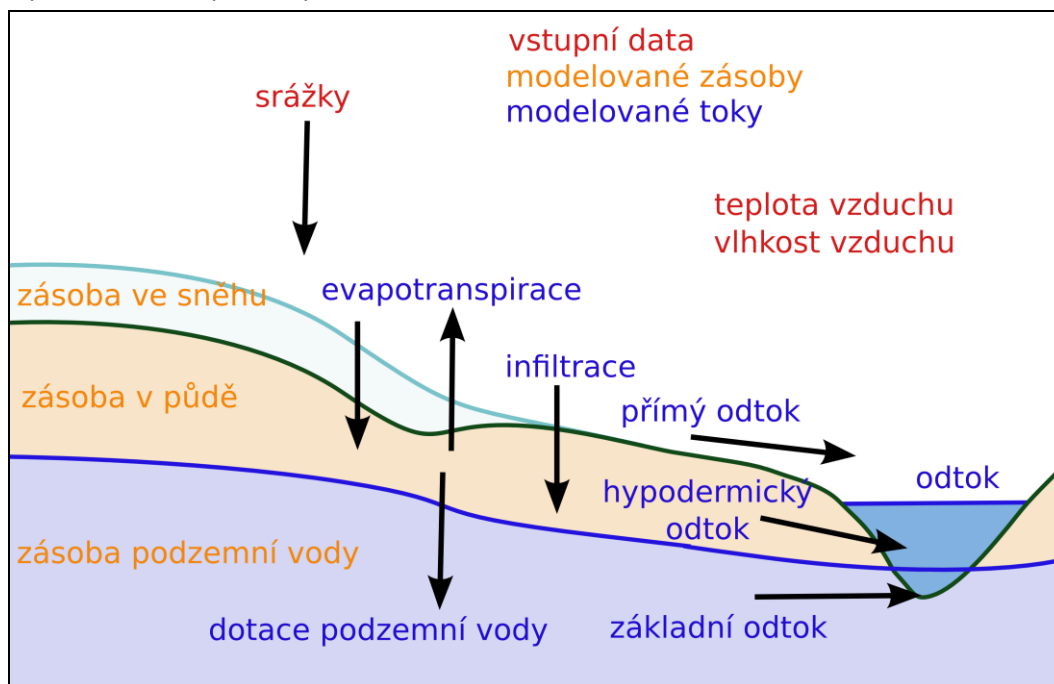
Prvním krokem výpočtu je odhad referenční evapotranspirace ET_r pro hypotetický travní porost s využitím metody Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Paralelně s odhadem ET_r dochází na základě denních hodnot teploty vzduchu a srážkových úhrnů k odhadu výskytu sněhové pokrývky (vč. obsahu akumulované vody) modelem SnowMAUS (Trnka et al., 2010). Tímto způsobem jsou odhadovány i termíny a intenzita případného postupného tání sněhu, což je významný údaj pro korektní modelování vodní bilance v obdobích s možností výskytu sněhové pokrývky, přičemž je zohledněna i odhadovaná hodnota sublimace. SoilClim následně prostřednictvím kombinace výpočtů v denním kroku umožňuje modelovat obsah vody v půdě (pro každou ze dvou definovaných hloubek) s využitím tzv. kapacitního přístupu. Významnou roli zde sehrává odhad odběru vody aktuální evapotranspirací (ET_a), který je dán dostupností půdní vlhkosti a vlastnostmi předpokládaného vegetačního krytu či povrchu. K tomuto je v modelu SoilClim využívána metoda tzv. crop koeficientů (K_c) (Allen et al., 1998), které popisují vlastnosti daného povrchu vzhledem k referenčnímu trávniku. Hodnota K_c se mění v průběhu sezóny dle aproximovaného vývoje listové plochy a dalších vlastností vegetace.

Voda: Model hydrologické bilance Bilan

Model Bilan (Vizina, 2015) je vyvíjen více jak 15 let na oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského, T. G. Masaryka. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok. Schéma modelu je zobrazeno na Obrázek 16.

Vstupem do modelu jsou denní či měsíční:

- srážkové úhrny [mm]
- průměrné teploty
- průměrná vlhkost vzduchu
- pozorované odtokové výšky [mm]
- užívání vody [mm/měsíc]
- potenciální evapotranspirace [mm]



Obrázek 16 Schéma toků v modelu hydrologické bilance Bilan

Podrobnější informace k modelu jsou uvedeny na <https://bilan.vuv.cz>.

Nádrže: Wateres

Program Wateres, který byl také vyvinut na oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského, T. G. Masaryka. (dostupný na <https://github.com/tgmwri/wateres>), je primárně určen pro řešení bilance ve vodních nádržích nebo v soustavách vodních nádrží. Nejnovější verze

programu je dále doplněna o možnost vytvoření modelu říční sítě (dále jen MRS), který v denním časovém kroku řeší transformaci odtoku korytem v zájmové říční síti. MRS tedy simuluje časové zpoždění dotoku vody z UPOVů (útvary povrchové vody), které přispívají k celkovému odtoku zájmového UPOVu.

Vstupní data

Vstupní data lze v zásadě rozdělit na data pro MRS a data pro řešení bilance vodních nádrží. MRS vyžaduje pouze časové řady odtoku R [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$] pro každý UPOV v rámci řešené sítě. Pro bilanci vodních nádrží lze vstupy rozdělit do dvou kategorií. V první kategorii jsou obsaženy následující časové řady: přímé srážky na hladinu nádrže P [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$] (odpovídají srážkám v daném UPOVu), výpar z hladiny nádrže E [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$] (odpovídá hodnotám potenciální evapotranspirace pro daný UPOV vypočteným metodou dle Oudin et al. (2005), případně lze použít jinou metodu), přítok do nádrže R [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$] (počítán v závislosti na tom, zda je nádrž na hlavním nebo vedlejším toku) a užívání WU [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$]. Přítok do nádrže je řešen následujícím způsobem:

- v případě vodní nádrže na hlavním toku je jejím přítokem celkový odtok z výše položeného UPOVu (pokud existuje) a odtok generovaný povodím k této nádrži v daném UPOVu,
- v případě nádrže na vedlejším toku je přítokem do nádrže pouze odtok generovaný povodím k této nádrži v daném UPOVu.

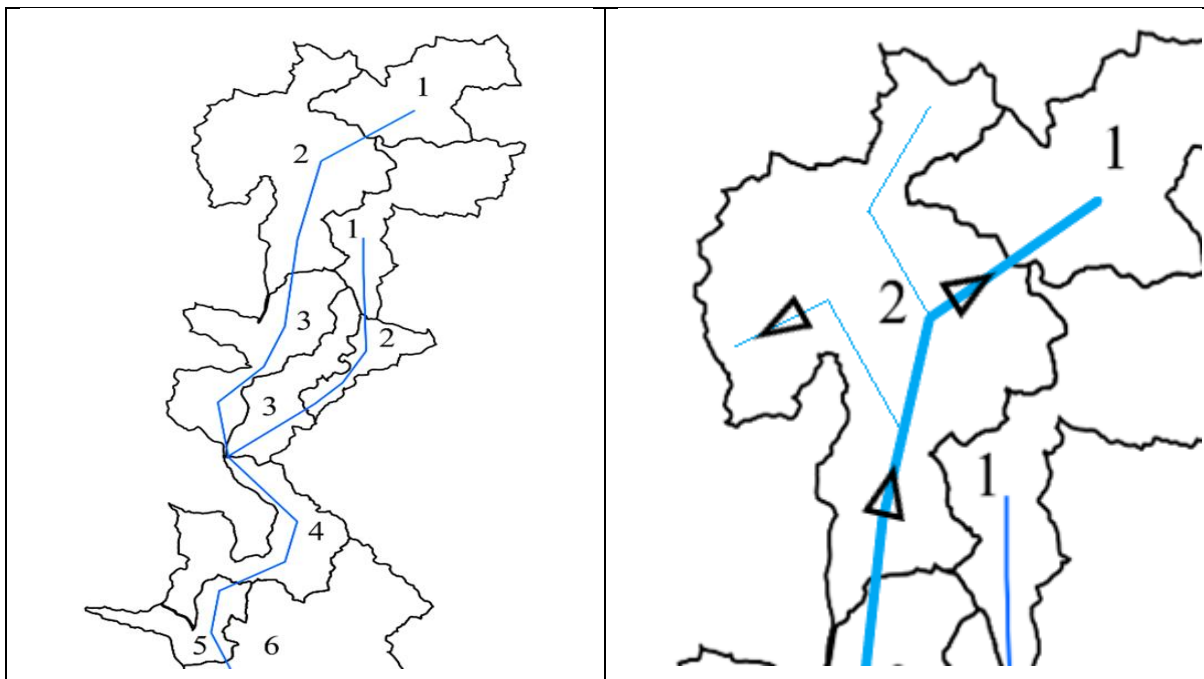
Užívání na UPOVu je řešeno následujícím způsobem:

- při absenci nádrže v UPOVu je řešeno v jeho uzávěrovém profilu formou bilance ve fiktivní nádrži,
- v případě přítomnosti nádrže (nebo více nádrží) v UPOVu je užívání směřováno jednak do nich, ale i do fiktivní nádrže v uzávěrovém profilu UPOVu, užívání je zde rozpočítáno mezi nádrže a fiktivní nádrž na základě relativních ploch povodí reálných vodních nádrží v UPOVu (v případě, že je reálná nádrž situována v uzávěrovém profilu nádrže, pak není fiktivní nádrž uvažována).

V druhé kategorii vstupních dat jsou obsaženy informace spojené s jednotlivými nádržemi v daném UPOVu: plocha nádrže [m^2], maximální objem nádrže [m^3], optimální objem nádrže [m^3], minimální zůstatkový průtok z nádrže [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], minimální zůstatkový průtok daného UPOVu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], neškodný průtok pod nádrží [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], informace, zda je nádrž na hlavním nebo vedlejším toku, relativní plocha povodí konkrétní nádrže v daném UPOVu [-] a v případě přítomnosti vedlejšího toku s vodní nádrží i relativní plocha povodí k soutoku hlavního a vedlejšího toku [-].

Sestavení sítě UPOVů a sítě nádrží v daném UPOVu

Pro zvolený koncový UPOV (tj. UPOV jehož celkový odtok je předmětem zájmu) je nejprve sestaveno schéma říční sítě (viz Obrázek 17 vlevo). Toto schéma obsahuje všechny UPOVy, které přispívají k celkovému odtoku z koncového UPOVu a jejich propojení v rámci sestavené sítě. V rámci každého UPOVu je současně sestaveno schéma sítě vodních nádrží (viz Obrázek 17 vpravo), tj. jejich lokace (hlavní nebo vedlejší tok), případné napojení vedlejších toků v s vodní nádrží na hlavní tok, atd.



Obrázek 17 Vlevo schéma říční sítě tvořené 9 UPOV, koncový UPOV je šestého řádu. Vpravo schéma sítě vodních nádrží (černé trojúhelníky) ve vybraném UPOV, tučnou modrou je znázorněn hlavní tok a tenkou modrou vedlejší toky.

Transformace korytem

Vzhledem k tomu, že vytvořené říční sítě mohou být velmi rozsáhlé (např., celé povodí Labe s uzávěrovým profilem v Děčíně) je nutné do MRS zavést transformaci odtoku korytem, které simuluje časové zpoždění dotoku z výše položených UPOVů do koncového UPOV. Toto zpoždění může být v programu Wateres řešeno dvěma metodami: lag a lineární nádrž, které jsou řešeny vždy v uzávěrovém profilu UPOV, jehož řád je vyšší než 1. Metoda lag je založena pouze na časovém posunu simulovaného odtoku při průchodu sítí [min]. Vstupem je zde časová řada netransformovaného odtoku (tj. součet transformovaného odtoku z výše napojeného UPOV a odtok řešeného UPOV) a parametr určující posun (lag parametr [min]). Výstupem je časová řada transformovaného odtoku daného UPOV. Druhou metodou je lineární nádrž, která je založena na numerické diskretizaci zásobní rovnice (Ponce, 1989). Vstupem je zde také časová řada netransformovaného odtoku a parametr zdržení v lineární nádrži [min], možným dalším vstupem je počáteční zásoba v transformačním zásobníku [m³].

Odhad parametru transformačního zásobníku

Pro systém HAMR byla zvolena metoda transformace odtoku korytem pomocí lineární nádrže. Z toho důvodu bylo nutné odhadnout hodnotu výtokového koeficientu nádrže pro každý UPOV. Tento odhad byl proveden na základě navrženého regresního vztahu, kde nezávislými proměnnými byly průměrný sklon údolnice UPOV a délka hlavního toku v UPOV. Na souboru 85 říčních sítí, kde byl znám celkový odtok z koncového UPOV, byly kalibrovány koeficienty navržené regresní rovnice. Získaná rovnice byla následně implementována v systému HAMR pro odhad výtokového koeficientu pro libovolný UPOV.

Optimalizace manipulací na nádržích pomocí genetických algoritmů

Zásadním problémem při řešení optimalizací manipulace na vodní nádrži je fakt, že není známa množina přípustných řešení a je jen minimum informací o průběhu optimalizační funkce. Z tohoto důvodu se jedná o ideální případ pro nasazení genetických algoritmů. To co genetické algoritmy (GA) nabízí, je v podstatě aplikace principů, které příroda úspěšně používá již po tisíciletí. Hlavní myšlenka spočívá v tom, že na jednotlivé prvky množiny přípustných řešení je pohlíženo jako na živé organismy v umělém životním prostředí. Přitom to, jak si tyto organismy v tomto prostředí vedou, tj. jejich schopnost přežít a schopnost reprodukce, odpovídá tomu, o jak "dobrá" řešení se jedná. Vlastní hledání pak spočívá ve výběru počáteční populace těchto organismů a v následné simulaci jejího vývoje pod kontrolou evolučních mechanismů, zahrnující přirozený výběr, reprodukci, atd. Jak se tato populace od generace ke generaci vyvíjí, "špatná" řešení mají tendenci vymírat, a naopak "dobrá" řešení se mezi sebou hojně kříží a produkují řešení ještě lepší. Hlavní výhody GA:

- nevyžadují žádné speciální znalosti o cílové (optimalizační) funkci,
- jsou odolné vůči sklouznutí do lokálního optima,
- vykazují velmi dobré výsledky u problémů s rozsáhlými množinami přípustných řešení,
- mohou být využity pro nejrozmanitější optimalizační problémy.

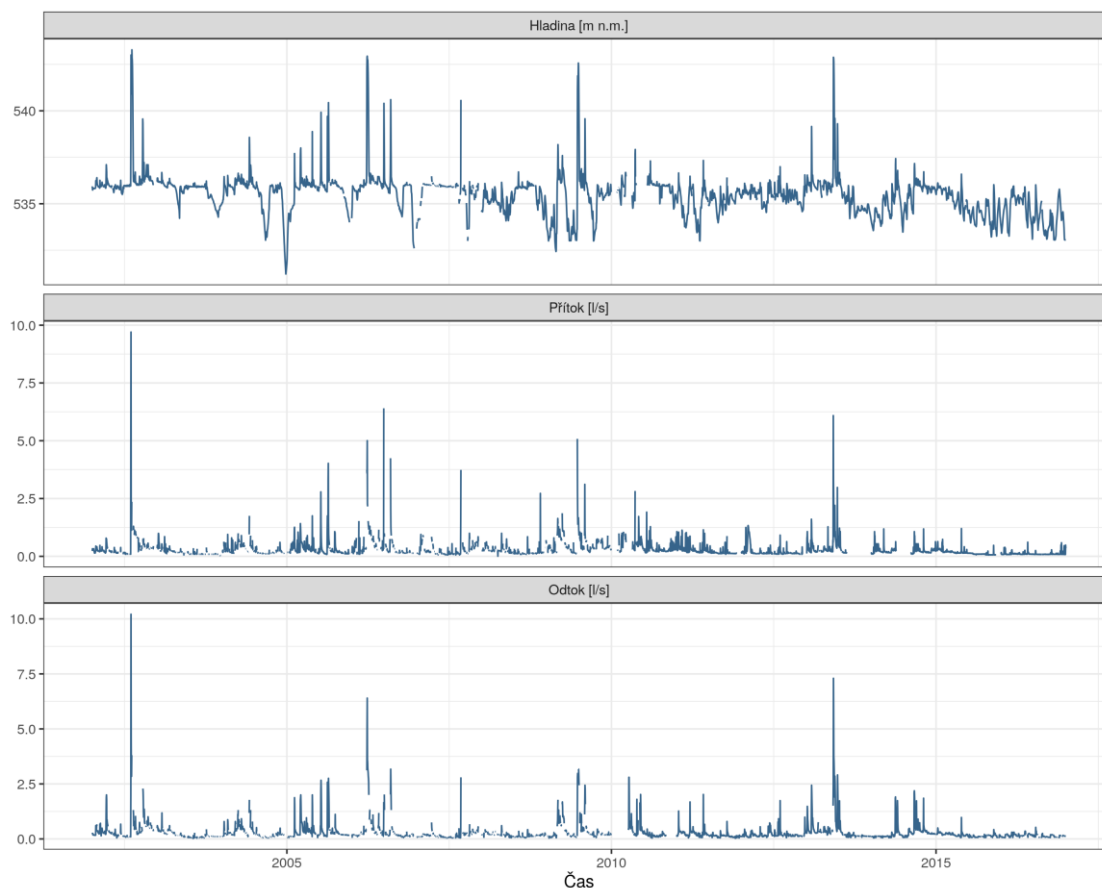
Hlavní nevýhody GA:

- mají problém s nalezením přesného optima,
- vyžadují velké množství vyhodnocování cílové funkce,
- jejich implementace není vždy přímočará.

K testování optimalizací bylo zvoleno Vodní dílo Humenice (Obrázek 18). Vodní dílo Humenice se nachází v říčním kilometru 45,1 říčky Stropnice v podhůří Novohradských hor pod obcí Horní Stropnice. Dílo bylo zvoleno z důvodu dostupnosti dat, Obrázek 19.



Obrázek 18 Vodní dílo Humenice

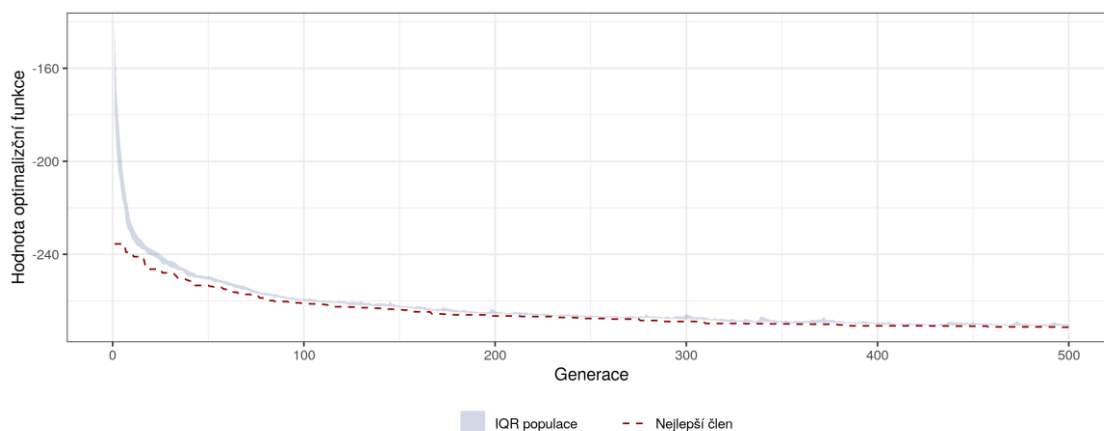


Obrázek 19 Zobrazení datových záznamů na VD Humenice

Jako optimalizační funkce byl zvolen vztah, kterým se minimalizuje deficit zásobování vodou:

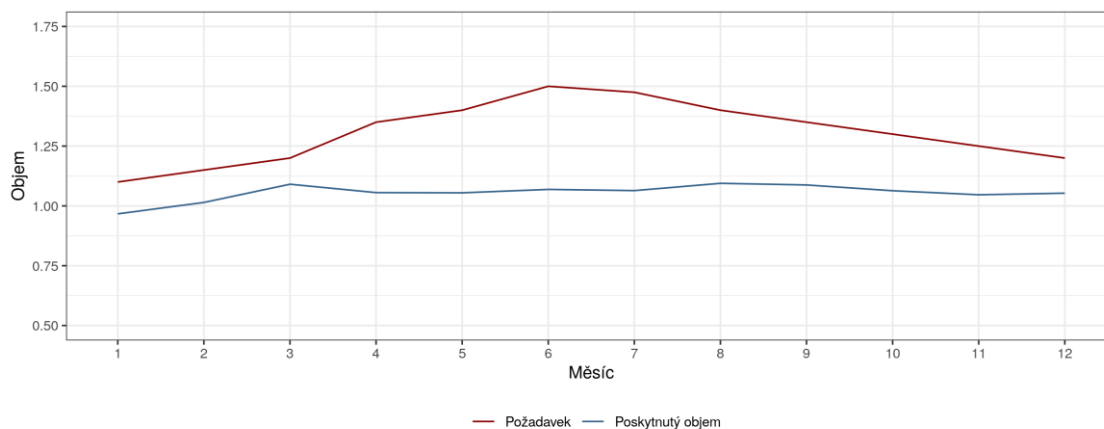
$$Def = \sum_{t=1}^{12} [(R_t - D_t)^2 - (S_t - S_T)^2]$$

kde, D_t požadavek na zásobování vodou během daného měsíce t , R_t je poskytnutý objem vody během měsíce t , S_T je cílová hladina a S_t je hladina nádrže na počátku měsíce t . Optimalizační funkce (deficit) je minimalizován GA modifikovaným pro práci s reálnými čísly - real-valued method (Obrázek 20).



Obrázek 20 Průběh optimalizační funkce v jednotlivých iteracích

GA byly testovány pro velikost populace 100 členů a maximální počtem iterací 500 Obrázek 20. Výsledkem jsou optimalizované hodnoty poskytnutých objemů vody pro jednotlivé měsíce (Obrázek 21), tak aby se vodní stav na nádrži co nejvíce blížil svému optimu (536 m n. m.).

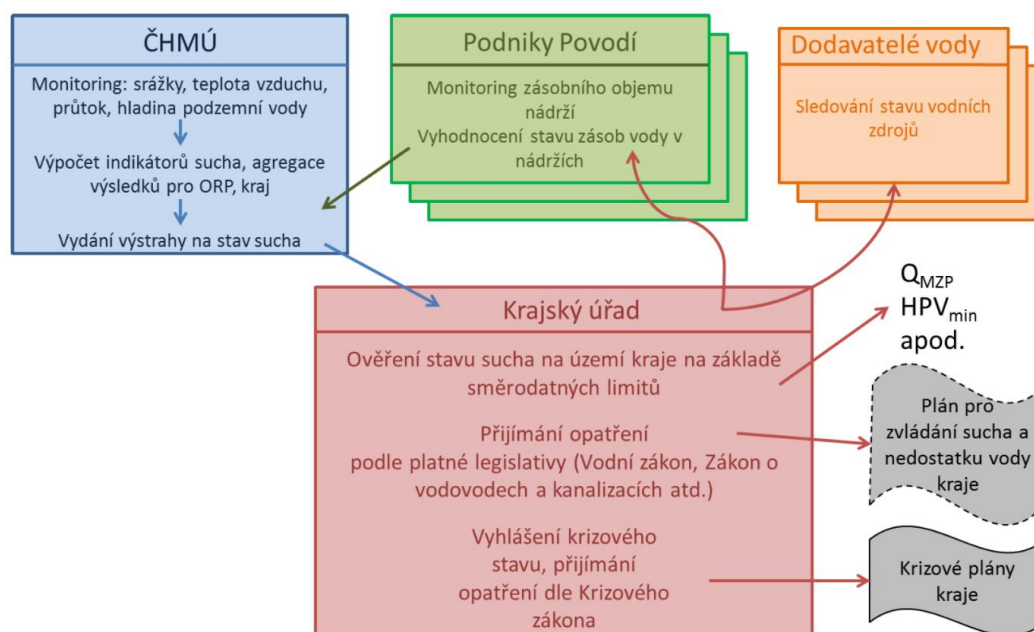


Obrázek 21 Optimalizované požadavky

Návrh do plánů

Pro celkové hodnocení sucha v rámci tohoto projektu byly použity již zmíněné indexy. Jejich kombinace je poté navržena do plánů pro zvládání sucha. Chod rozhodování funguje dle následujícího principu (více viz zpráva „Typové plány“ a Obrázek 22). Pro jednotlivé složky (srážka, průtok...) jsou vypočteny indikátory a následně jsou podkladem pro:

- Normální stav,
- Bdělost,
- Pohotovost,
- Ohrožení.



Obrázek 22 Rozhodovací schéma pro vyhlášení stavu sucha

Hodnocení sucha

SPI, SPEI, SRI

Tento ukazatel byl vyvinut v roce 1993 (McKee et al., 1993) k monitorování a určení suchých období. Na rozdíl od jiných indexů má několik výhod: ke kalkulaci jsou nutná pouze srážková data (průtoky), výpočet je relativně snadný (zavádí se jen dva další parametry), a standardizovaný charakter. Posledně zmíněná věc však může být zároveň nevýhodou. Extrémně sucha období budou klasifikována se stejnou frekvencí jako extrémně vlhká období na různých lokalitách. Proto se doporučuje použít jako doplňující informace k jiným ukazatelům (Lloyd a Saunders, 2002). Jedná se vlastně o transformaci srážkových časových řad na normální rozdělení. Měsíční (nebo jiný časový interval) jsou aproximovány pravděpodobnostním rozdělením (nejčastěji se používá Gamma rozdělení, ale v některých případech může být vhodnější Poissonovo nebo Log-normální). Česká povodí byla aproximována Gamma rozdělením s obdobným nebo lepším výsledkem než log-normální rozdělení. Poissonovo rozdělení nereflexuje srážkové řady pro česká povodí. Obdobně byly vypočteny indikátory SRI (na průtoky), SGI (na základní odtok) a SPEI (indikátor zahrnující evapotranspiraci).

Nedostatkový objem

Jedním z hlavních kritérií pro vyhodnocení hydrologického deficitu jsou nedostatkové objemy. Průtok je popsán časovou funkcí $Z(t)$. Funkce $Z(t)$ je v čase proměnná v požadavku na vodu. Pro časový integrál $\langle t_{pi}, t_{ki} \rangle$, pro který je splněna podmínka $Z(t_i) > Q(t_i)$ definujeme určitý integrál W_i :

$$W_i = \int_{t_{pi}}^{t_{ki}} [Z(t_i) - Q(t_i)] dt.$$

kde: $i = 1, 2, 3, \dots, n, n$ – počet deficitů v řešeném období,

t_{pi} – čas počátku i -tého deficitu,

t_{ki} – čas konce i -tého deficitu.

(7.1)

Důležitým faktorem je hodnota prahu (threshold level). Bývají to kvantily průměrného ročního průtoku $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$, ... a m -denní průtoky např. Q_{330} , Q_{355} nebo Q_{364} . V tomto případě jsou jako vstup použity denní průměrné průtoky. Avšak sucho lze posuzovat i v měsíčním časovém kroku. Měsíční průtokové řady jsou stejně přesné jako denní, pokud jsou vyhotoveny z původní denní řady. Zavedení variabilní hodnoty je zejména důležité pro reflexi ekologických a jiných požadavků na vodní tok, avšak v současné době se v České republice většinou užívá hodnota minimálního zůstatkového průtoku, která se vypočítává z denních průtokových hodnot, a proto není použitelná pro vyhodnocení v měsíčním časovém kroku. Z tohoto důvodu byly pro vyhodnocení zvoleny průtokové kvantily $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$ a $Q_{95\%}$, a to pro konstantní i variabilní hodnotu prahu (thresholdu).

Srážkový deficit

Hodnocení na základě srážkového deficitu ukazuje rozdíl sumy srážkového úhrnu v daném roce (kalendářní rok) a týdne od normálu (období 1981-2010). Jedná se tak o jednoduchý ukazatel srážkově deficitních oblastí.

Deficit vody v půdě

Analogicky ke srážkovým úhrnům je vytvořen deficit vody v půdě, který ukazuje odchylku množství vody v půdním horizontu od normálu pro daný týden (odchylka od průměru za období 1981-2010 v daném týdnu), tzn. kolik mm vody chybí v půdě do průměru. Tento ukazatel má výrazný vliv na zemědělství.

Retenční kapacita

Ukazuje procentuální nasycení půdního profilu vodou. Jedná se o důležitý ukazatel v zemědělství, kdy určité nasycení odpovídá tzv. půdním hydrolimitům (méně než 30% - bod vadnutí, méně než 50% - snížená dostupnost vody).

Klimatická změna

Vzhledem ke značným nejistotám spojeným s modelováním budoucího vývoje klimatu pomocí klimatických modelů, nelze ze souboru dostupných simulací (v současnosti minimálně stovky) jednoduše vybrat jednu reprezentativní simulaci. Kromě nejistot spojených s nedokonalostí klimatických modelů jde zejména o nejistoty spojené s budoucím vývojem koncentrací skleníkových plynů, které jsou zpravidla postiženy různými scénáři jejich vývoje (donedávna scénáře emisí SRES; (Nakicenovic et al., 2000), v současnosti scénáře koncentrací RCP (Vuuren et al., 2011)). Standardním postupem vyhodnocení (hydrologických) dopadů klimatické změny je proto využití tzv. ensemblových technik, kdy jsou dopady modelovány dle mnoha (desítek) scénářů a součástí vyhodnocení je pak i kvantifikace nejistot.

Jelikož modelování dopadů změny klimatu je výpočetně náročné, soustředili jsme se na vyhodnocení pravděpodobných změn teploty a srážek k cca polovině 21. století dle rozsáhlého souboru simulací. Cílem je tvorba scénářových řad, které budou konzistentní se souborem projekcí a to nejen vzhledem k průměru daných veličin, ale i k jejich variabilitě.

Existuje řada metod tvorby scénářů změny klimatu na základě simulací klimatických modelů - od jednoduchých po značně komplexní. V současnosti se ukazuje, že ve světě běžně používané metody tvorby scénářů změn srážek a teploty (včetně metod komplexních) nejsou vhodné pro následnou simulaci odtoku a vnášejí do celého vyhodnocení změn hydrologické bilance další nejistoty (Teng et al., 2015). Korekce je založena, z důvodu transparentnosti, scénáře změny klimatu na jednoduché přírůstkové metodě, kdy pozorované časové řady jsou upraveny tak, aby změny průměru posuzovaných veličin odpovídaly změnám z klimatických modelů. Meziroční variabilita je pak dostatečně zachycena použitím dlouhých (pozorovaných) časových řad. Tento postup je v souladu i s doporučeními z uznávané mezinárodní literatury (Koutsoyiannis et al., 2007).

Zdroje dat o změně klimatu

K posouzení možného vývoje teploty a srážek byly uvažovány informace ze dvou zdrojů: (a) regionální klimatické modely z projektu ENSEMBLES (Hewit et al., 2004) a (b) regionální klimatické modely z projektu CORDEX.

Regionální klimatické modely z projektu ENSEMBLES

Jedná se o soubor simulací regionálních klimatických modelů pocházejících z projektu EU FP7 ENSEMBLES. V rámci projektu byla vytvořena řada simulací pro oblast Evropy. Téměř všechny dostupné

simulace jsou řízené emisním scénářem SRES A1B, mají horizontální rozlišení 25 km x 25 km a postihují časové období 1960–2099. Modely jsou standardně využívány v Evropě pro posouzení dopadů změn klimatu v nejrůznějších oblastech, v současnosti jsou tyto simulace postupně nahrazovány simulacemi z projektu CORDEX.

Regionální klimatické modely z projektu CORDEX

Projekt CORDEX navazuje na simulace globálních klimatických modelů použitých pro tvorbu páté hodnotící zprávy IPCC (Flato et al., 2013). Celkem bylo analyzováno 52 simulací 7 regionálních klimatických modelů, které byly řízeny 10 globálními klimatickými modely. Simulace uvažují RCP (příloha 4) scénáře RCP2.6 (4 simulace), RCP4.5 (21 simulací) a RCP8.5 (27 simulací). Simulace jsou dostupné pro historické období (většinou 1961–2005) a období scénářové (většinou 2011–2100). RCP scénáře (Representative Concentration Pathways - reprezentativní směry vývoje koncentrací; [3]) nahradily s Pátou hodnotící zprávou IPCC dříve používané scénáře emisí SRES. Čísla v označení RCP scénáře (např. 2.6 v RCP2.6) indikují velikost radiačního působení způsobeného skleníkovými plyny ke konci 21. století, tj. scénář RCP8.5 předpokládá nejvyšší koncentrace skleníkových plynů, naopak scénář RCP2.6 předpokládá podstatný (a účinný) politický tlak na snižování emisí.

Modelování scénářů změny klimatu

Pro tvorbu scénářů změny klimatu v kontextu odhadu změn hydrologické bilance se v České republice standardně využívá tzv. přírůstková metoda, zejména pro studie v měsíčním kroku. Tato metoda spočívá v transformaci pozorovaných dat tak, aby změny transformovaných veličin odpovídaly změnám odvozeným ze simulací klimatických modelů. V měsíčním kroku se běžně uvažují změny průměrných měsíčních úhrnů srážek a průměrné měsíční teploty. V denním kroku je nutné uvažovat i změny variability veličin. Pro tvorbu scénářů změny klimatu byla proto využita pokročilá přírůstková (ADC - Advanced Delta Change) metoda. ADC metoda umožňuje zahrnout do transformace i změny variability, zjednodušeně tzn., že extrémy se mohou měnit jinak než průměr. Při odvození změn srážek z klimatického modelu ADC metoda uvažuje i systematické chyby simulace. Jelikož teplota je transformována lineárně, nemá systematická chyba na výslednou transformaci teploty vliv.

Srážky jsou transformovány pomocí vztahu

$$P^* = \begin{cases} aP^b & \text{pro } P^O < P_{90}^O \\ \frac{\bar{E}^F}{\bar{E}^C}(P^O - P_{90}^O) + a(P_{90}^O)^b & \text{pro } P^O > P_{90}^O \end{cases}$$

kde P^* jsou transformované srážky, P pozorované srážky, P_{90} je 90% kvantil srážek, indexy O , C a F indikují pozorovaná data, simulovaná data pro kontrolní období a simulovaná data pro scénářové období. a a b jsou transformační parametry, které jsou odvozeny pro 7denní bloky, což zaručuje sezónní variabilitu změn. Lineární transformace pro hodnoty nad P_{90}^O zabraňuje výskytu nerealisticky vysokých hodnot, které jsou relativně často výsledkem nelineární transformace pro $P > P_{90}$ a $b > 1$.

Pro srážky vyšší než 90% kvantil srážek v daném měsíci je vypočtena nadprahová hodnota $E = P - P_{90}$. Průměrné nadprahové hodnoty v simulaci klimatického modelu pro kontrolní a scénářové období jsou vypočteny dle

$$\bar{E}^C = \frac{\sum P^C - P_{90}^C}{n^C} \quad \text{a} \quad \bar{E}^F = \frac{\sum P^F - P_{90}^F}{n^F}$$

kde n^C a n^F je počet nadprahových hodnot v kontrolním a scénářovém období. Transformační parametry a a b jsou odvozeny z hodnot 60% (P_{60}) a 90% (P_{90}) kvantilu srážek dle

$$b = \frac{\log[g_2 P_{90}^F / (g_1 P_{60}^F)]}{\log[g_2 P_{90}^C / (g_1 P_{60}^C)]}$$

$$a = P_{60}^F / (P_{60}^C)^b g_1^{1-b}$$

kde g_1 a g_2 jsou korekční faktory vyjadřující systematické chyby v P_{60} a P_{90} v simulaci klimatického modelu pro kontrolní období.

$$g_1 = P_{60}^O / P_{60}^C$$

$$g_2 = P_{90}^O / P_{90}^C$$

Jelikož hodnoty P_{60} , P_{90} , $\bar{E}^C$ a $\bar{E}^F$ jsou časově relativně variabilní, jsou průměrné měsíční hodnoty těchto veličin vyhlazeny váženým klouzavým průměrem s váhami 0.25, 0.5 a 0.25. Zároveň hodnota parametru b i poměru $\bar{E}^F / \bar{E}^C$ vykazuje značnou prostorovou variabilitu. Tyto parametry jsou proto průměrovány v prostorovém klouzavém okně z pravidelného okolí 8 grid boxů.

Transformace teploty je v ADC metodě prováděna následovně:

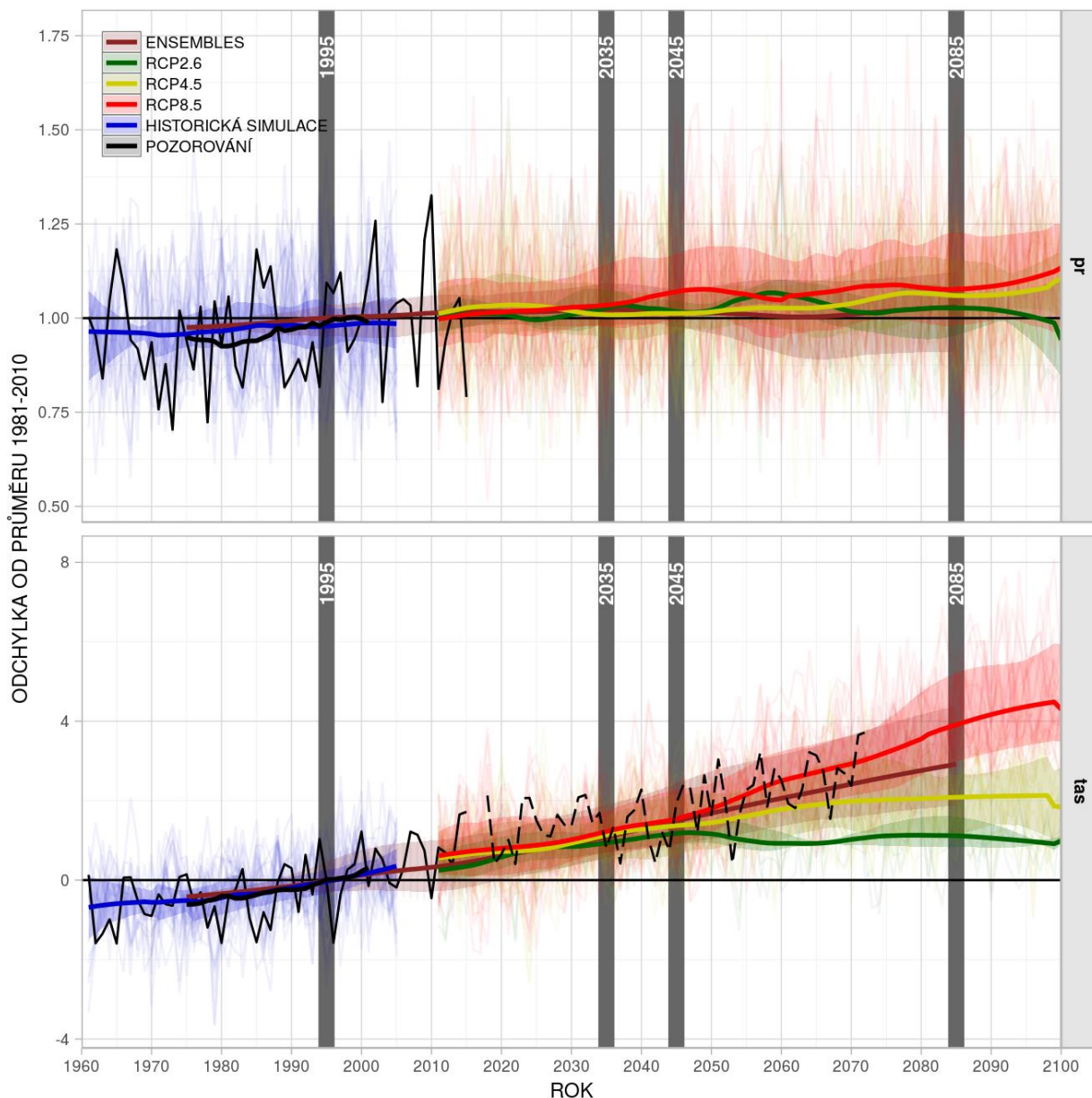
$$T^* = \frac{\sigma^F}{\sigma^C} (T - \bar{T}^O) + \bar{T}^O + \bar{T}^F - \bar{T}^C$$

kde T^* je transformovaná teplota, $\bar{T}^O$, $\bar{T}^C$ a $\bar{T}^F$ je průměrná měsíční teplota pro pozorovaná data, kontrolní simulaci klimatického modelu a scénářovou simulaci klimatického modelu a σ^C a σ^F jsou směrodatné odchylky denní teploty pro kontrolní a scénářové období v simulaci klimatického modelu.

Odvozené parametry pro uvažované klimatické modely byly následně použity k transformaci dat pro jednotlivá povodí.

Syntéza poznatků o předpokládaných změnách srážek a teploty

Obrázek 23 ukazuje syntézu odchylek teplot od průměru let 1981–2010 všech použitých datových zdrojů. Období 1981–2010 je v současnosti používáno Českým hydrometeorologickým ústavem jako standardní a zároveň z klimatologického hlediska lépe odpovídá současným podmínkám. Pozorované anomálie (černá čára) jsou vyhlazeny třicetiletým klouzavým průměrem (tlustá černá čára). Klouzavý průměr je vztažen ke středu období (např. hodnota pro rok 1975 je vypočtena jako průměr z období 1961–1990). Odchylky od průměru pro klimatické modely (ostatní tlusté čáry) byly vyhlazeny neparametrickou regresí, zvláště pro jednotlivé RCP scénáře. Barevnými polygony jsou vyznačeny oblasti, ve které leží dlouhodobé průměry pro 90% posuzovaných modelů. Čárkovaná čára zobrazuje pozorovaná data po posunutí středem do roku 2045 a zvýšení o 2 °C.



Obrázek 23 Změny srážek [-] a teploty [°C] v pozorovaných datech (černá čára), dle simulací klimatických modelů pro současnost (modré čáry) a pro scénářové období dle RCP2.6 (zelená čára), RCP4.5 (oranžová čára), RCP8.5 (červená čára) a dle modelů z projektu ENSEMBLES (hnědá čára). Tlusté čáry odpovídají vyhlazeným hodnotám, tenké představují jednotlivé simulace. Barevně jsou vyznačeny oblasti, ve kterých leží 90% simulací pro jednotlivé emisní/koncentrační scénáře. Čárkovaná čára v panelu pro teplotu ukazuje pozorovaná data zvýšená o 2 °C a vycentrovaná na rok 2045.

Analýzu rozsáhlého souboru modelů je možno z hlediska změn srážek a teploty shrnout následovně:

- Změny srážek jsou v porovnání s jejich meziroční variabilitou zanedbatelné, nicméně v průměru simulace ukazují na mírný růst (cca 8 % pro RCP8.5 kolem roku 2100, k roku 2050 jsou změny nižší). Důvodem nižšího růstu průměrných srážek v bližším období je, že vliv zesíleného skleníkového efektu není v polovině 21. století tak výrazný, jako na jeho konci. Obecně jsou veškeré změny (např. pokles letních srážek, růst zimních srážek) výraznější pro vzdálenější časová období.

- Pro první dva časové horizonty (2021-2050 - ozn. 2035 a 2031-2060 - ozn. 2045) leží pravděpodobné zvýšení teploty v rozmezí 0,5–2 °C a 1–2,5 °C, pro nejvzdálenější období (2071-2100 - ozn. 2085) je odhadováno zvýšení o cca 1–4,5 °C se středem kolem 2,5 °C, nicméně dolní hranice rozpětí je značně ovlivněna scénářem RCP2.6. Pokud tento scénář není uvažován, je rozpětí změn teploty v období 2085 cca 1,5-4,5 °C, se středem okolo 3 °C. Celkově tedy pro současnost a všechny budoucí časové horizonty můžeme předpokládat rozsah změn cca 0,5–4,5 °C.
- Historické simulace teploty relativně dobře odpovídají pozorovaným anomáliím. V případě srážek je patrné podhodnocení dlouhodobé variability, tj. simulace poskytují vyrovnanější dlouhodobé průměry než je patrné v pozorování. Jedním z důsledků může být nesoulad pozorovaných změn srážek se simulacemi klimatických modelů.
- Pozorovaný růst teploty leží nad střední projekcí klimatických modelů a odpovídá spíše horní obálce projektovaných změn.
- Změny teploty jsou do roku 2050 podobné pro všechny RCP scénáře.
- Uvažujeme-li oblast změn, ve které leží hodnoty pro 50 % simulací, pak tato oblast zahrnuje oteplení o 2°C v období 2014-2088 pro RCP2.6, 2026-2100 pro RCP4.5 a 2034-2066 pro RCP8.5 a zvýšení teploty o 2°C je tak relevantním scénářem změny klimatu pro polovinu století, pro období cca po roce 2065 by bylo vhodné uvažovat další zvyšování teploty.
- Změny teploty pro jednotlivé měsíce se od celkové průměrné změny liší řádově do cca 0,5 °C, nižší oteplení je projektováno v jarních měsících a v listopadu, nejvyšší v srpnu. V případě jednotlivých simulací je amplituda změn zpravidla vyšší.
- Změny srážek pro jednotlivé měsíce se od průměrné změny liší o méně než 10 %. Růst srážek je projektován zejména pro konec zimy a začátek jara, pokles pro letní měsíce a začátek podzimu. Stejně jako pro teplotu, je v případě jednotlivých simulací amplituda změn zpravidla vyšší.
- Změny teploty vedou ke zvýšení potenciální evapotranspirace. V relativním vyjádření dojde k nejvýraznějšímu zvýšení během zimních měsíců (o téměř 100 %), v absolutním vyjádření je růst nejvyšší v létě - cca do 10 mm, v zimě 1-5 mm.

Nejistota v odhadu srážek vyplývá mj. i z polohy ČR v pásmu přechodu mezi oblastí zvyšování srážek na severu a snižování srážek na jihu Evropy. Vzhledem k značné nejistotě odhadu změn srážek (která pro ČR vyplývá z polohy v pásmu přechodu mezi oblastí zvyšování srážek na severu a snižování srážek na jihu Evropy), považuje někdy současná literatura za dostatečné, adekvátně zahrnout pozorovanou historickou variabilitu srážek (např. analýzou dostatečně dlouhého časového období).

Změny klimatu jsou zobrazeny pro jednotlivé RCP (2.6, 4.5 a 8.5), sumarizovány pro 5 globálních cirkulačních modelů a 2 časová období (NEAR: 2021-2050 a FAR: 2061-2090).

Suchovkrajine.cz

Systém HAMR vznikl na základě zkušeností řešitelského týmu s modelováním a hodnocením suchých epizod a nedostatku vody pro současné a výhledové podmínky ovlivněnou změnou klimatu. Dílčí výsledky podpůrných studií jsou uvedeny na <https://suchovkrajine.cz>, kde lze také nalézt například informace ke komisi VODA-SUCHO a mnoho dalších podkladů a informací.

Řešitelský tým

Zadavatel:

Ministerstvo životního prostředí České republiky

Vršovická 1442/65, Praha 10, 100 10

Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Tereza Davidová, Ph.D., Ing. Pavel Marták, Ing. Josef Reidinger

Koordinátor prací (hlavní řešitel):

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Podbabská 30, 160 00 Praha 6

Ing. Adam Vizina, Ph.D., adam.vizina@vuv.cz

Spoluřešitelé:

Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí

Kamýcká 129, 165 21 Praha 6

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav

Na Šabatce 2050/17, 143 06 Praha 412

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.

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

Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D.

Literatura

Allen, M. (1999) Do it yourself climate prediction. *Nature*, 401, 642.

Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., et al. (2013) Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Hewitt, C. D. and Griggs, D. J.: Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts (ENSEMBLES), *Eos*, 85, No. 52, 566 pp., 2004.

Hlavinka P, Trnka M, Balek J, Semerádová D, Hayes M, Svoboda M, Eitzinger J, Možný M, Fischer M, Hunt E, Žalud Z. 2011. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agriculture and Water Management* 98: 1249–1261. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.03.011.

Koutsoyiannis, D., Efstratiadis, A., Georgakakos, K. (2007) Uncertainty assessment of future hydroclimatic predictions: A comparison of probabilistic and scenario-based approaches. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 261–281.

loyd, H. B., Saunders, M. A. (2002) A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22.

McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 179–184.

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., et al. (2000) Special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technická zpráva, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (US), Environmental Molecular Sciences Laboratory (US).

Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., et al. (2005) Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall–runoff model? Part 2 – Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall–runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303, 290–306.

Palmer, W. C. (1965) Meteorological Drought. Office of climatology.

Ponce, V., M., 1989: *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. Prentice Hall. ISBN: 9780132778312.

Teng, J., Potter, N., Chiew, F., et al. (2015) How does bias correction of regional climate model precipitation affect modelled runoff? *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 711–728.

van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., et al. (2011) The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 109(1-2), 5–31.

Vizina, A., Horáček, S., Hanel, M., Kašpárek, L. (2015) Nové možnosti modelu Bilan. *VTEI*, 56.