

Obsah

1	Anotace systému	3
2	Flow diagram	5
3	Webová aplikace	7

Seznam obrázků

1	Výpočtové schéma systému HAMR	3
2	Průběhové schéma výpočtu modelů BILAN a WATERES.	5
3	Úvodní strana aplikace HAMR	7
4	Komponenta základní mapa: výběr veličiny	8
5	Komponenta základní mapa: výběr období pro zobrazení	9
6	Komponenta základní mapa a výběr mapového podkladu I.	9
7	Komponenta základní mapa a výběr mapového podkladu II.	10
8	Komponenta základní mapa a podokno grafu.	10
9	Mapové zobrazení srážkového deficitu pro 33.týden roku 2020	11
10	Mapové zobrazení indexu SPEI	12
11	Mapové zobrazení agronomického sucha	12
12	Mapové zobrazení agronomického sucha	13
13	Deficit půdní vláhy	13
14	Retenční kapacita půdy pro 33. týden	14
15	Retenční kapacita půdy pro 34. týden	14
16	Retenční kapacita půdy pro 35. týden	15
17	Mapové zobrazení indexu SRI pro 33. týden 2020	15
18	Dostupnost vody	16
19	Dostupnost vody	16
20	Dostupnost vody dle QMD pro 33. týden 2020	17
21	Dostupnost vody dle QMD pro 40. týden 2020	17
22	Mapové zobrazení aktuálního stavu podzemních vod	18
23	Mapové zobrazení aktuálního stavu podzemních vod s průběhem hladiny vybraného vrtu	18
24	Přihlášení do sekce pro vodoprávní úřady	19
25	Nakládání s vodou pro vodní útvar BER_0900	20
26	Nakládání s vodou pro vybraný subjekt	20
27	Podzemní odběr pro okres Benešov a všechna odvětví	21
28	Zásobování vodou, činnosti související s odpady a sanacemi dle jednotlivých krajů, odběr z podzemních vod	21
29	Rekreační činnost dle jednotlivých krajů, odběr z povrchových vod (reálný odběr)	22
30	Pasport odběratele	22
31	Aplikace pro požadavek na nakládání s vodou	23
32	Schéma modelu SoilClim	24
33	Schéma toků v modelu hydrologické bilance Bilan	25
34	Vlevo schéma říční sítě tvořené 9 UPOVy, koncový UPOV je šestého řádu. Vpravo schéma sítě vodních nádrží (černé trojúhelníky) ve vybraném UPOVu, tučnou modrou je znázorněn hlavní tok a tenkou modrou vedlejší toky.	27
35	Vodní dílo Humenice	28
36	Zobrazení datových záznamů na VD Humenice	29
37	Průběh optimalizační funkce v jednotlivých iteracích	30
38	Optimalizované požadavky	30
39	Rozhodovací schéma pro vyhlášení stavu sucha	31

Seznam tabulek

Seznamy

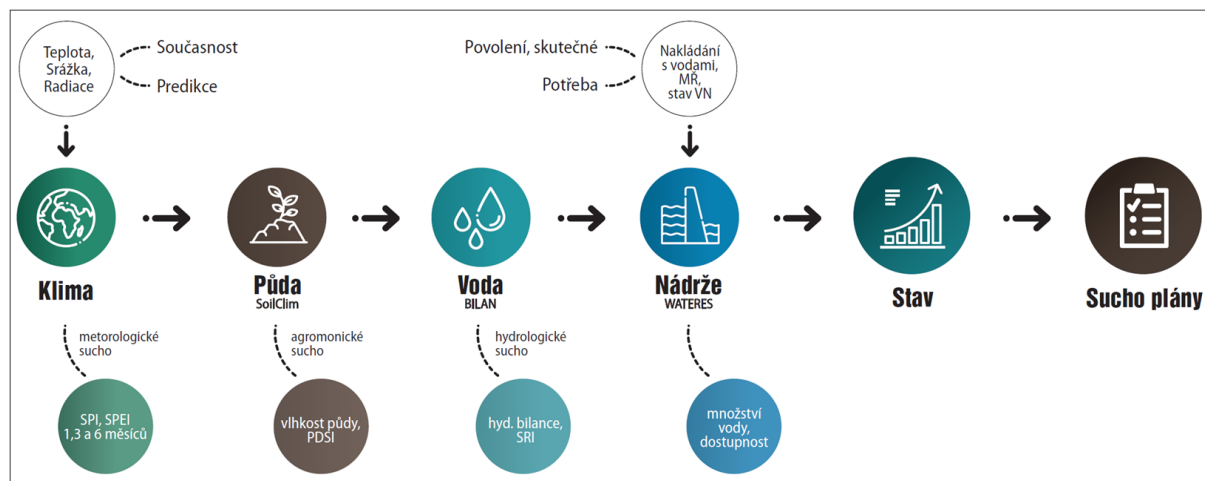
1 Anotace systému

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 Obrázku 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 útvarcích povrchových vod.

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

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.

1

¹Poznámka: 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.

- poskytne každý den do 12-00 aktualizované výstupy z modelu SoilClim pro jednotlivé vodní útvary pro pozorovaná data (10 dní zpětně) + krátkodobé predikce dle 5 modelů, pro: zásobu vody v půdě, deficit vody v půdě, evapotranspiraci, teplotu vzduchu a srážkové úhrny.

2. VÚV T.G.M. v.v.i.:

- provede každé pondělí ve 12-05 kontrolu, zda byl výpočet systému spuštěn,
- provede každé úterý ve 14-00 kontrolu, zda výpočet proběhl v pořádku,
- bude průběžně kontrolovat stav výpočtů systému.

3. ČHMÚ:

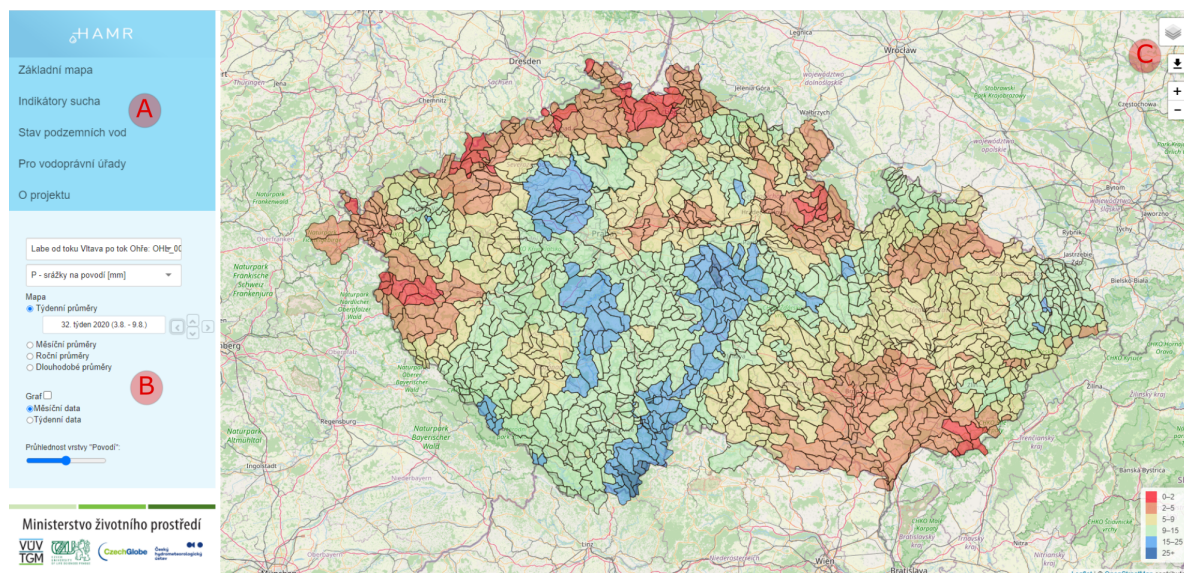
- poskytne každé pondělí do 12-00 průtoková data za posledních 10 dní,
- poskytne každé úterý do 13-00 data o stavu podzemních vod za poslední týden,
- provede hodnocení na základě výstupu systému do středy 9-00, tzn. vytvoří textový a video komentář a následně umístí na web systému HAMR.

3 Webová aplikace

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 Obrázku 3 a má základní funkcionalitu:

- A) Menu, kde lze vybrat typ údajů, které chceme zobrazit,
 - Základní mapa
 - Indikátory sucha
 - Stav podzemních vod
 - Pro vodoprávní úřady
 - O projektu
- B) Mapové okno, kde jsou zobrazeny hodnoty vybrané veličiny pro zvolený časový horizont,
- C) Výběr podkladových map.

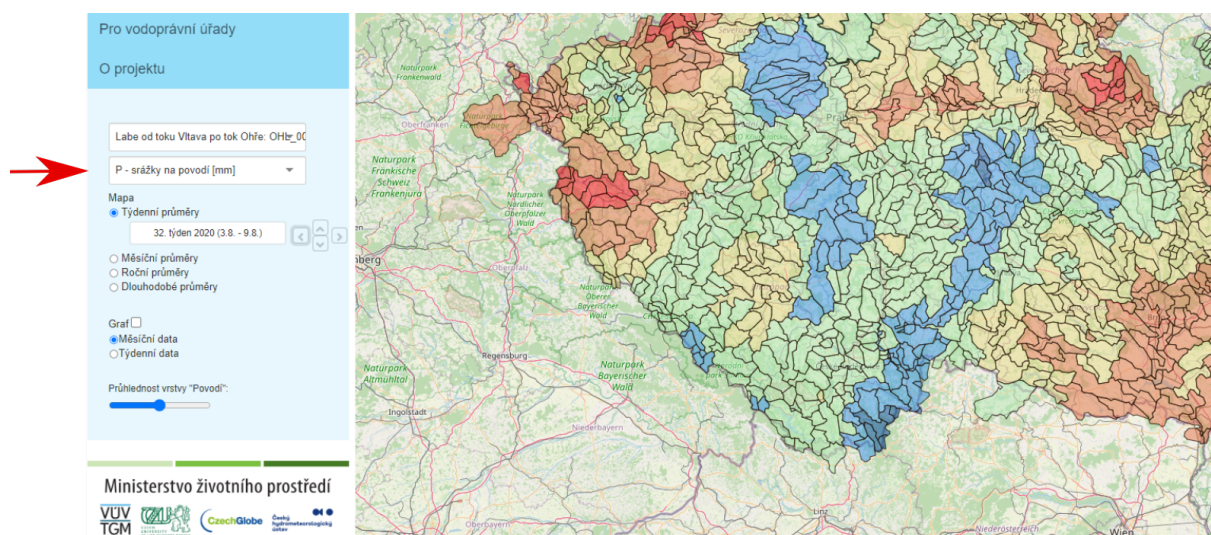


Obrázek 3: Úvodní strana aplikace HAMR

Základní mapa

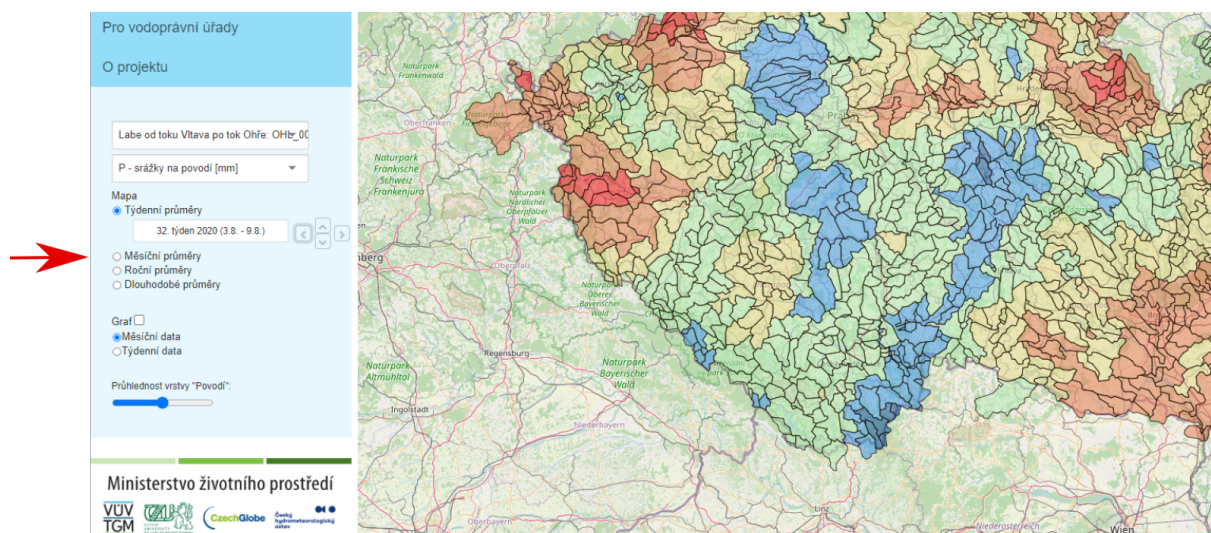
Na Obrázku 4 je zobrazena základní mapa, která zobrazuje zvolenou veličinu hydrologické bilance (modelovanou modelem Bilan):

- 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 4: Komponenta základní mapa: výběr veličiny

Data lze zobrazit jako dlouhodobé průměry, hodnoty pro zvolený rok a hodnoty pro jednotlivé měsíce ve zvoleném roce. Pro zobrazení je vytvořena funkcionalita posuvníku šipkami (doprava, doleva: posun o týden/měsíc; nahoru, dolů: posun o rok) viz. obrázek 5.



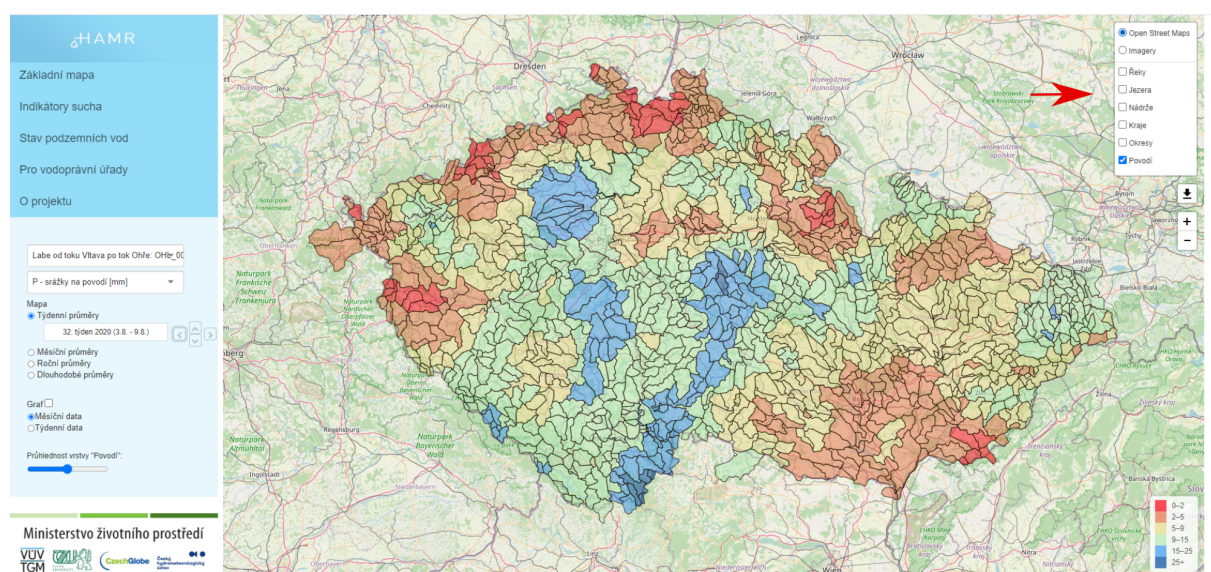
Obrázek 5: Komponenta základní mapa: výběr období pro zobrazení

Pro mapu lze přepínat mapový podklad (viz. obrázek 6):

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

Dále lze zobrazit vrstvy:

- Řeky (interaktivní zobrazení toků, viz. obrázek 7),
- Jezera,
- Nádrže,
- Kraje,
- Okresy,
- Povodí.



Obrázek 6: Komponenta základní mapa a výběr mapového podkladu I.

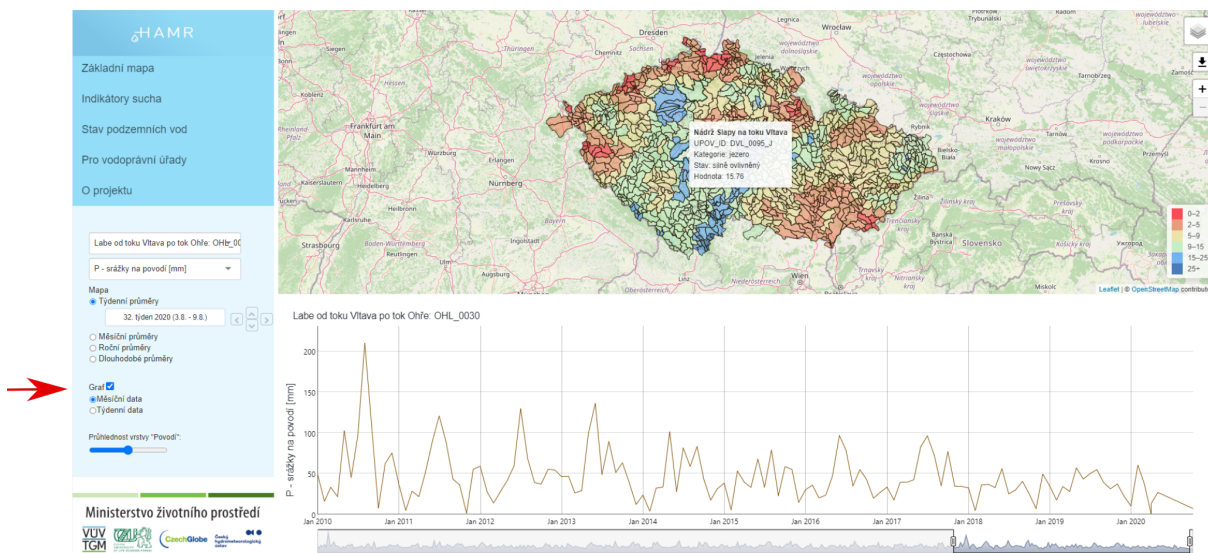


Obrázek 7: Komponenta základní mapa a výběr mapového podkladu II.

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.

Pro zvolený vodní útvar a zvolenou veličinu je možné průběh zobrazit na grafu (viz. obrázek 8). Dále je možné pro zvolený útvar stáhnout data.



Obrázek 8: Komponenta základní mapa a podokno grafu.

Indikátory sucha

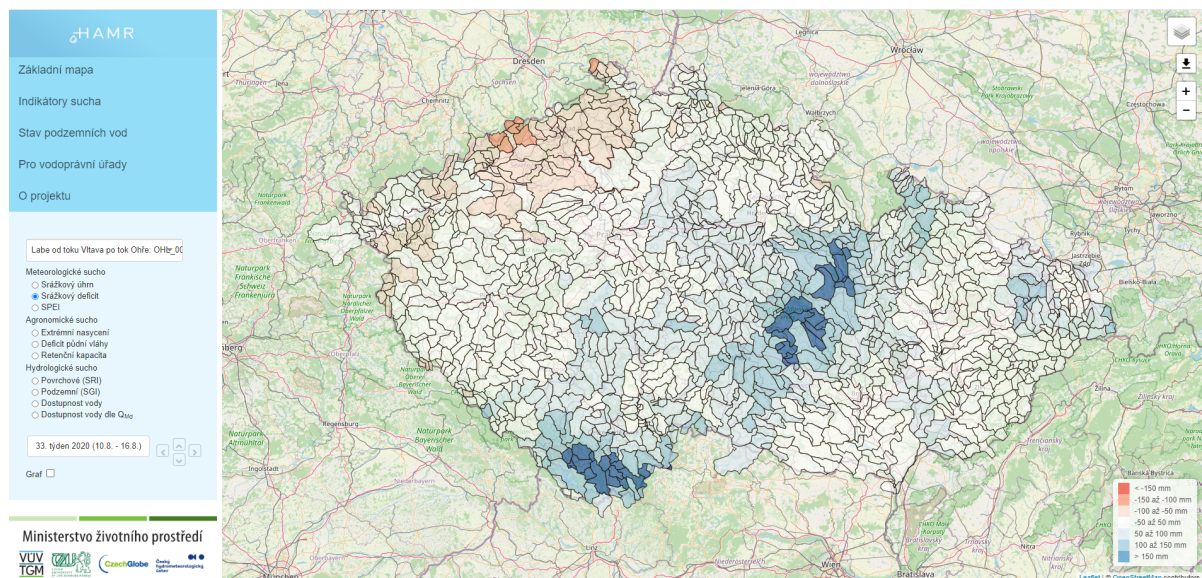
V komponentě indikátory sucha jsou zobrazeny analogicky se základní mapou tzv. indikátory sucha (více v kapitole hodnocení sucha) pro:

- 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, dostupnost vody, dostupnost vody dle M-denních vod).

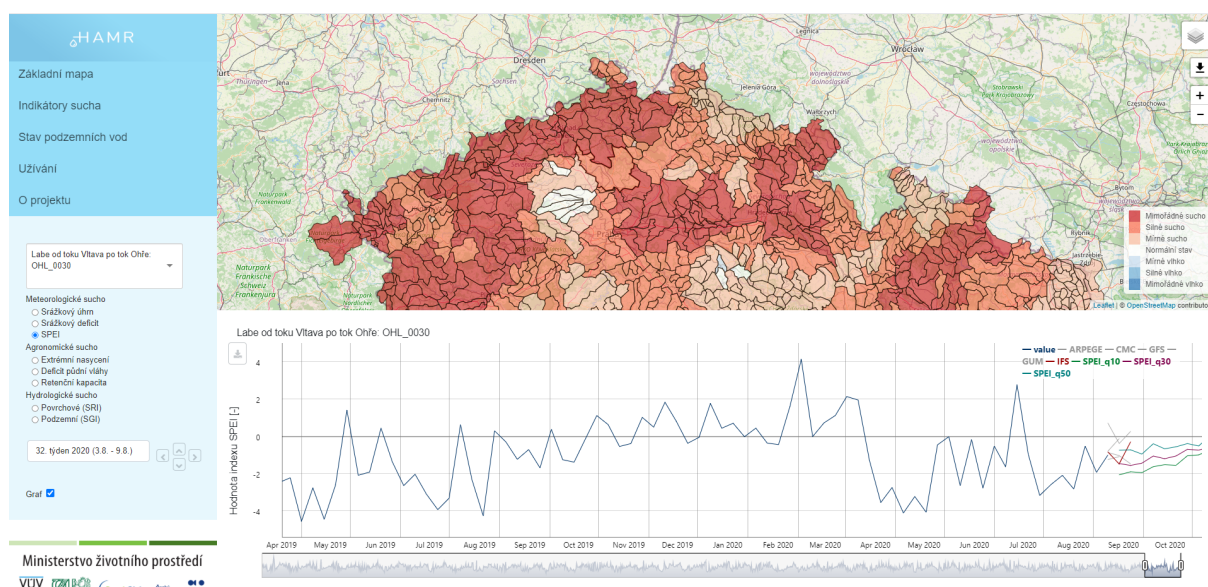
Meteorologické sucho

V rámci meteorologického sucha se hodnotí aktuální srážkové úhrny v daném týdny, srážkové deficity (obrázek 9) v daném kalendářním roce a index SPEI, který je založen na rozdílu srážkových úhrnů a potenciální evapotranspirace. Z tohoto rozdílu je index napočítán (analogie pro SRI a SGI).



Obrázek 9: Mapové zobrazení srážkového deficitu pro 33.týden roku 2020

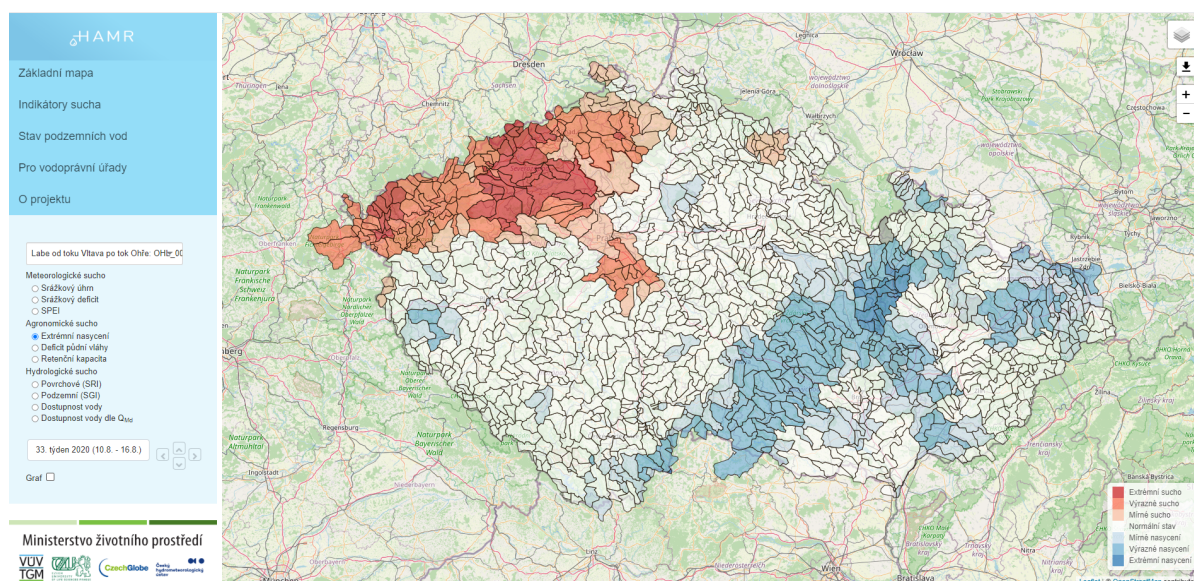
Index SPEI a jeho průběh je zobrazen na Obrázku ?? v dolní (grafové) části. Zobrazen je vodní útvar OHL_0100 od května 2019 po současnost. V grafu jsou vidět výrazně nízké hodnoty v průběhu letních měsíců (od -2 nastává mimořádné sucho) a jeho následný vývoj. V pravé části potom predikovaný vývoj dle 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%).



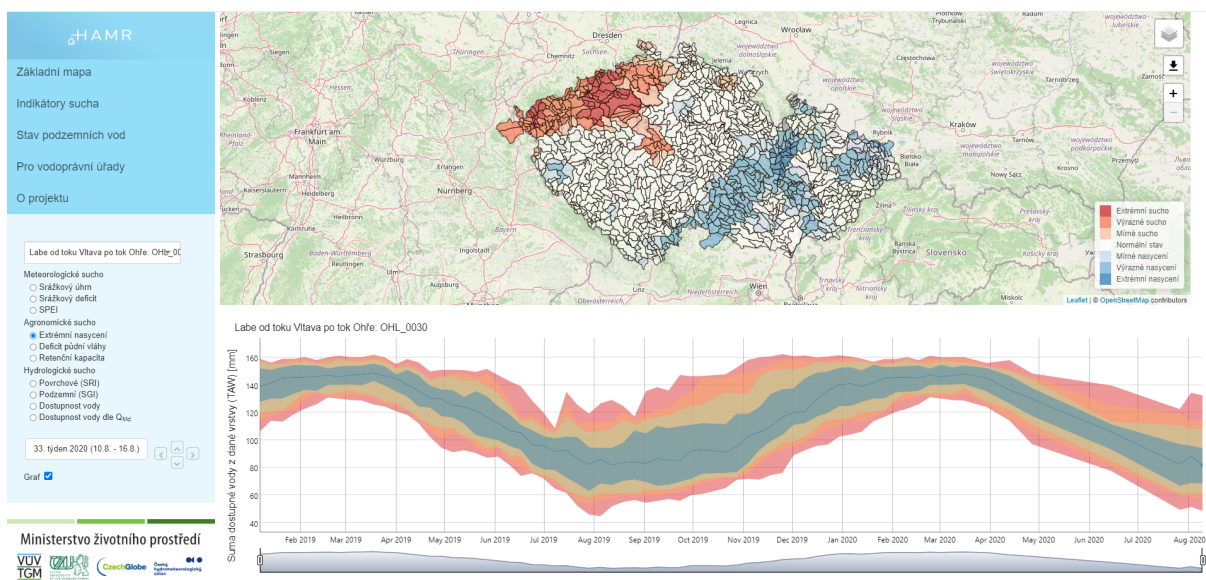
Obrázek 10: Mapové zobrazení indexu SPEI

Agronomické sucho

V komponentě agronomické sucho jsou zobrazeny především výsledky modelu SoilClim, které jsou také prezentovány na webu Intersucho. V tomto případě jsou výsledky modelu agregovány do vodních útvarů, a proto se mohou lehce lišit. V rámci systému HAMR je navíc hodnocena i zvýšená dostupnost vody v půdním profilu (obrázek 11). Na obrázku 12 je potom zobrazen také časový průběh dostupné vody v mm v půdním profilu.

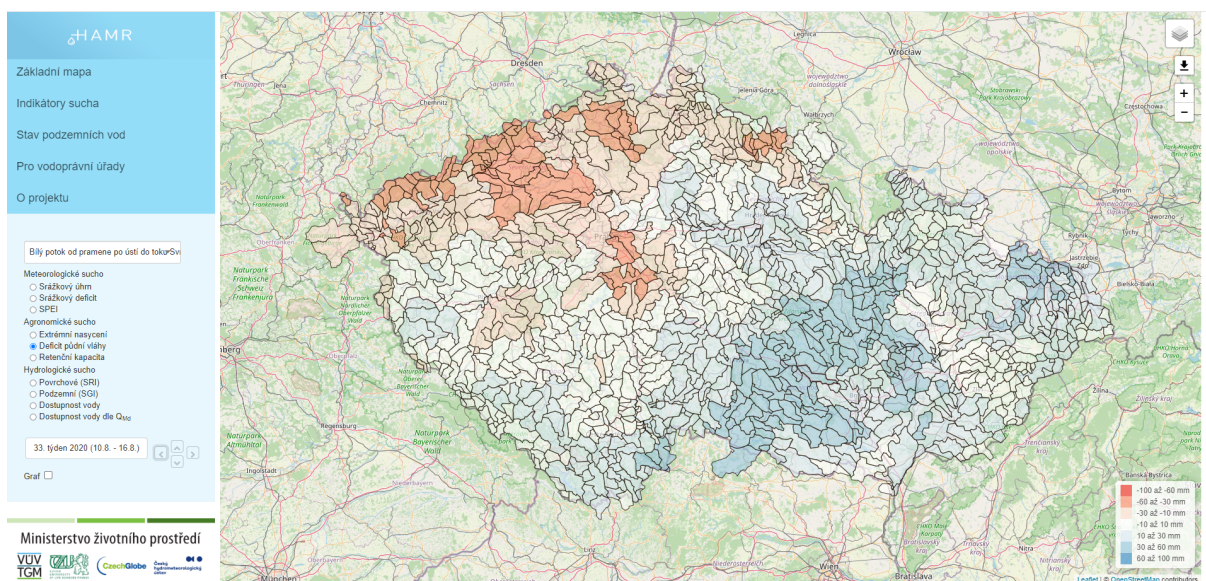


Obrázek 11: Mapové zobrazení agronomického sucha



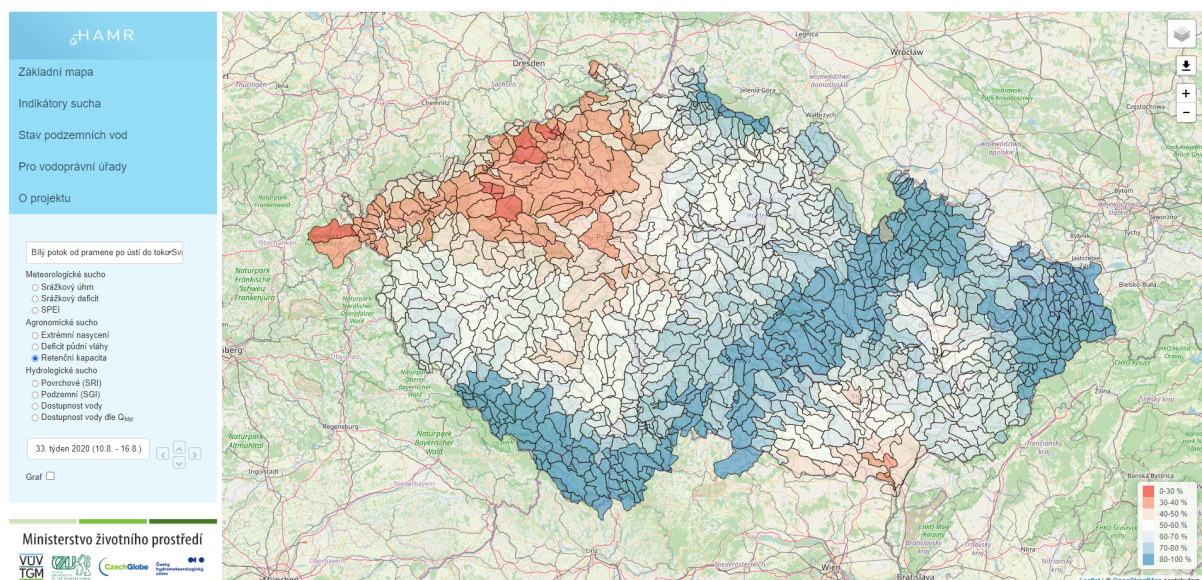
Obrázek 12: Mapové zobrazení agronomického sucha

Analogií již zmíněného indexu je deficit půdní vláhy (obrázek 13), který je vypočten jako rozdíl aktuální dostupné vody v půdě od dlouhodobého normálu pro daný týden. Pro mnoho lidí je tento index reprezentativnější.

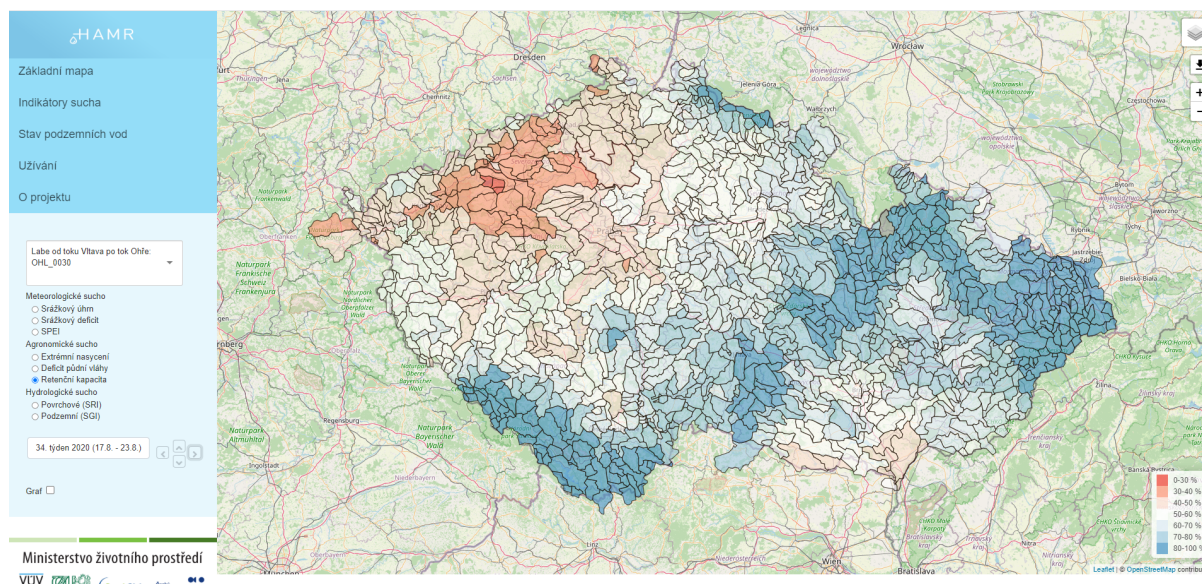


Obrázek 13: Deficit půdní vláhy

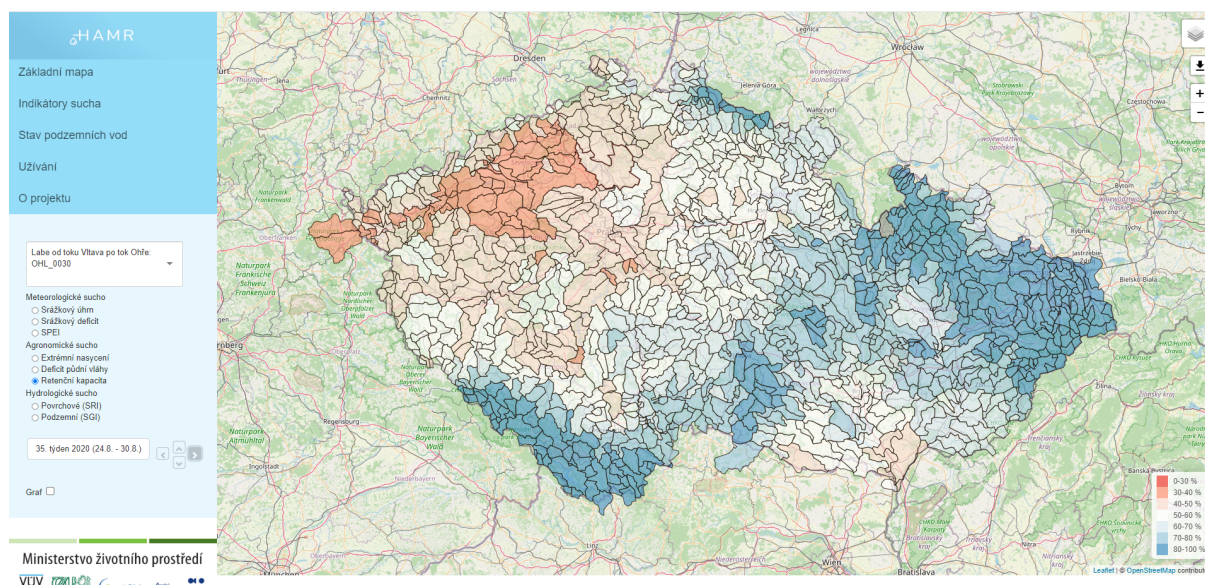
Půda má také danou kapacitu udržet vodu (retenční kapacita), naplnění této kapacity pro týdny 33.-35. jsou zobrazeny na obrázcích 14-16.



Obrázek 14: Retenční kapacita půdy pro 33. týden



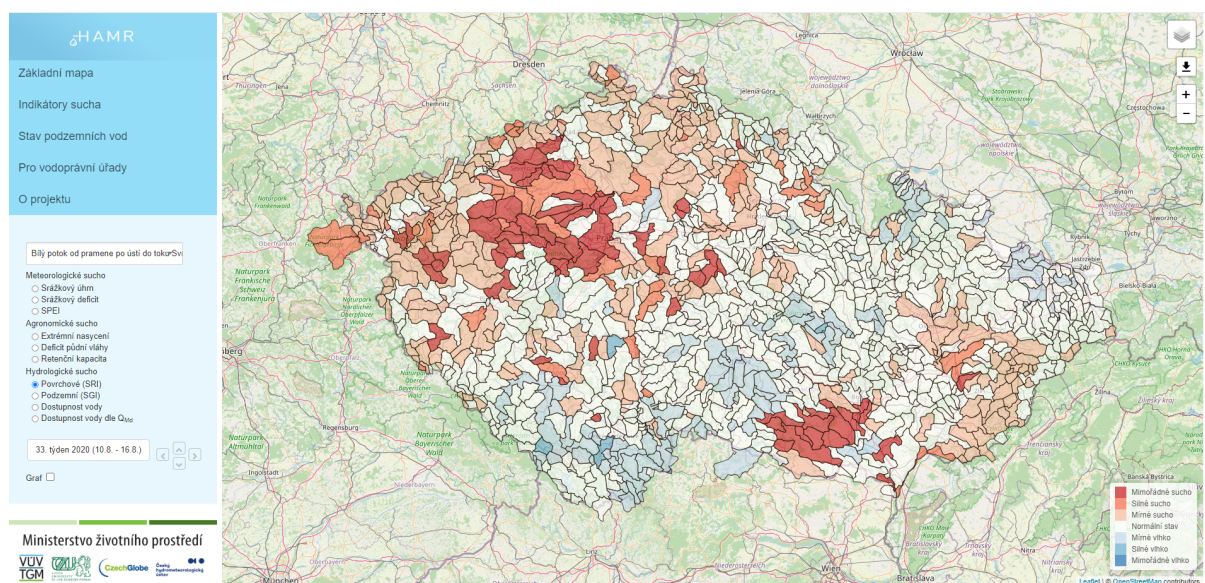
Obrázek 15: Retenční kapacita půdy pro 34. týden



Obrázek 16: Retenční kapacita půdy pro 35. týden

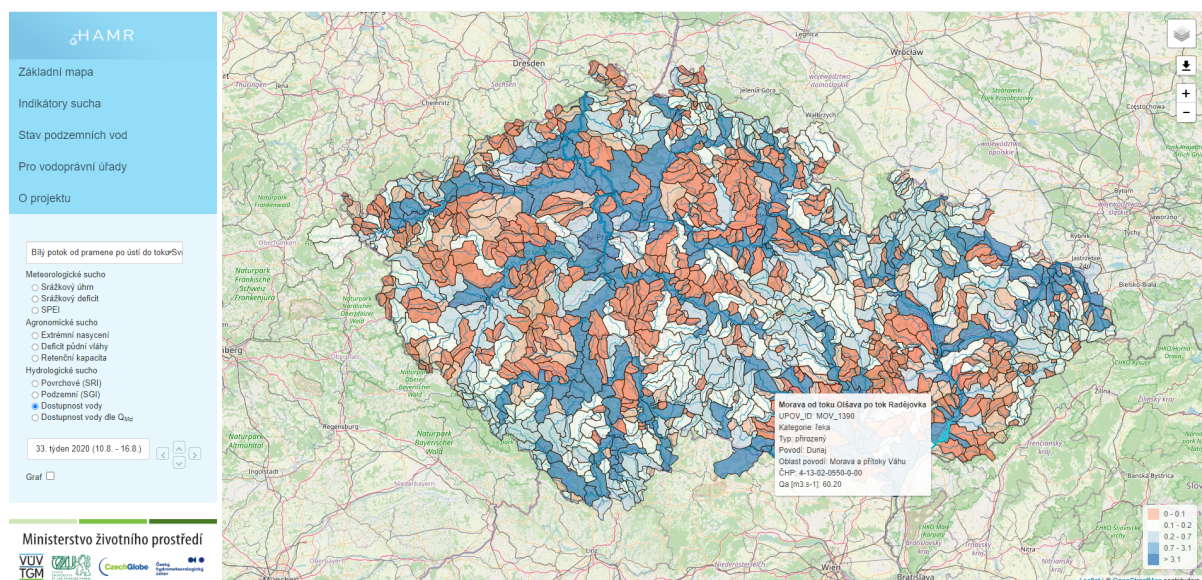
Hydrologické sucho

Přirozené odtokové výšky pro jednotlivé vodní útvary jsou převedeny na indikátor SRI, který je zobrazen na obrázku 17.

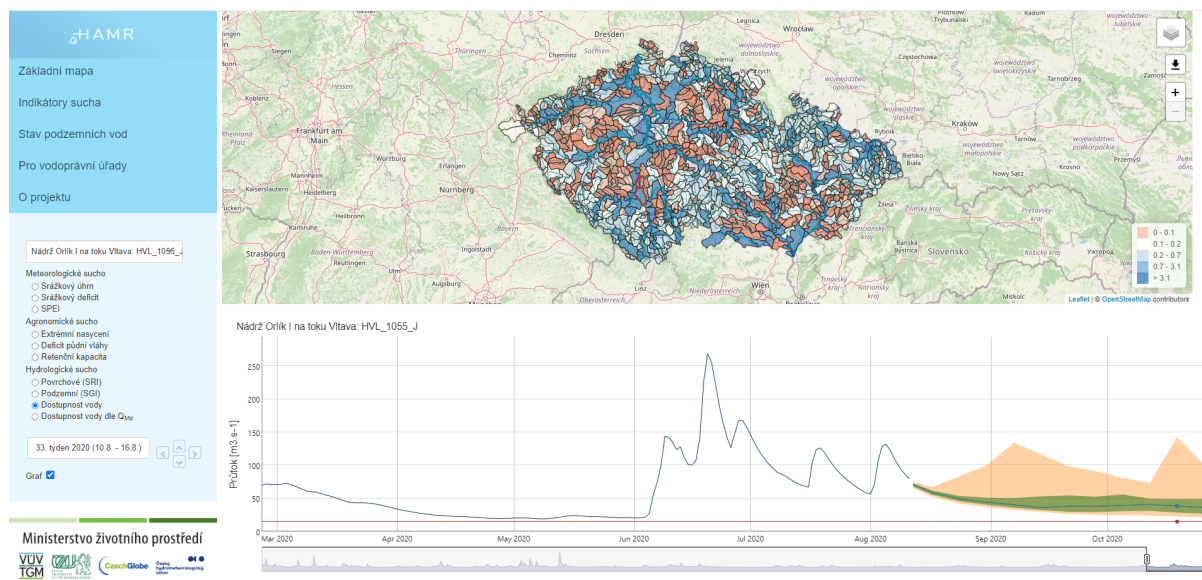


Obrázek 17: Mapové zobrazení indexu SRI pro 33. týden 2020

Dostupnost vody pro jednotlivé vodní útvary jsou zobrazeny na obrázku 18. Jedná se modelované hodnoty vodohospodářským modelem WATERES, které jsou pro současnost korigovány dle pozorování, na tomto stavu je dělána predikce na 8-týdnů (viz. obrázek 19, kde je zobrazen také časový průběh s predikcí).

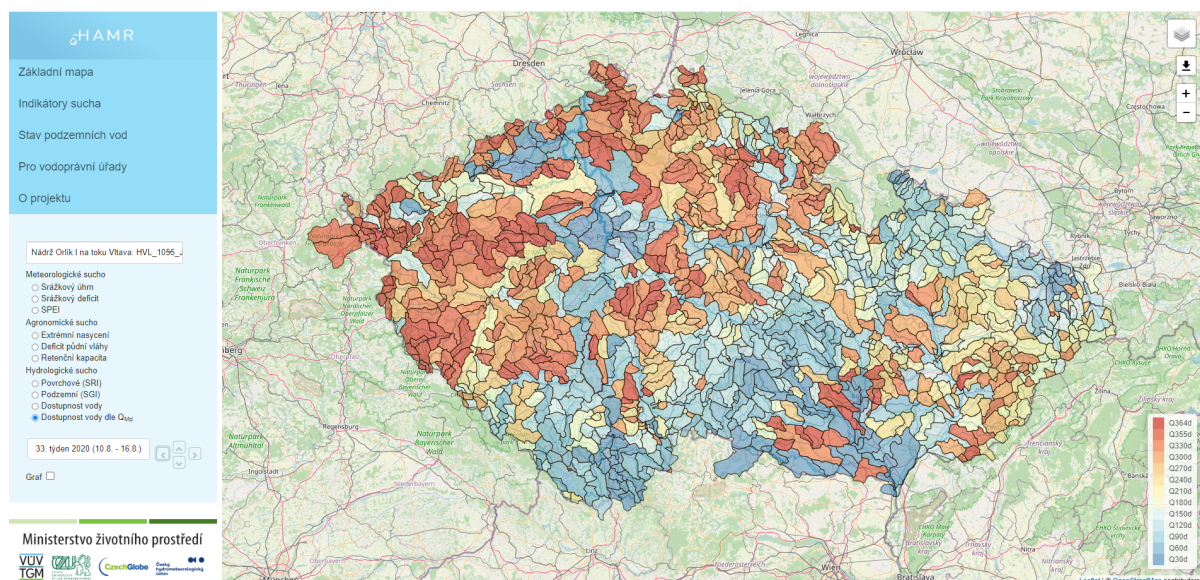


Obrázek 18: Dostupnost vody

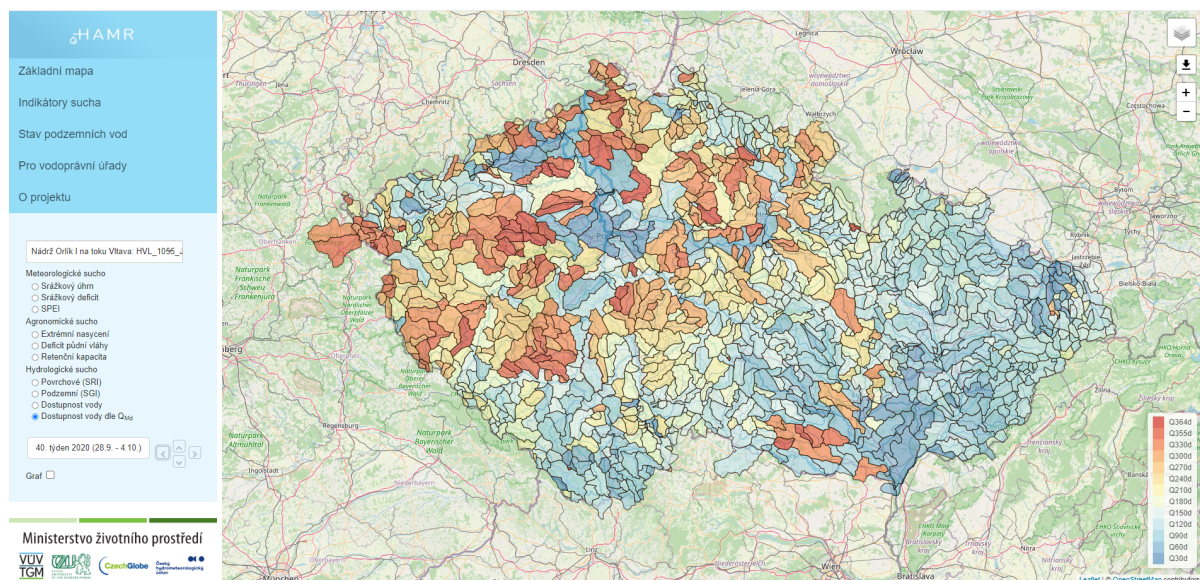


Obrázek 19: Dostupnost vody

Dostupnost vody dle M-denních vod je zobrazena na obrázcích 20 a 21.



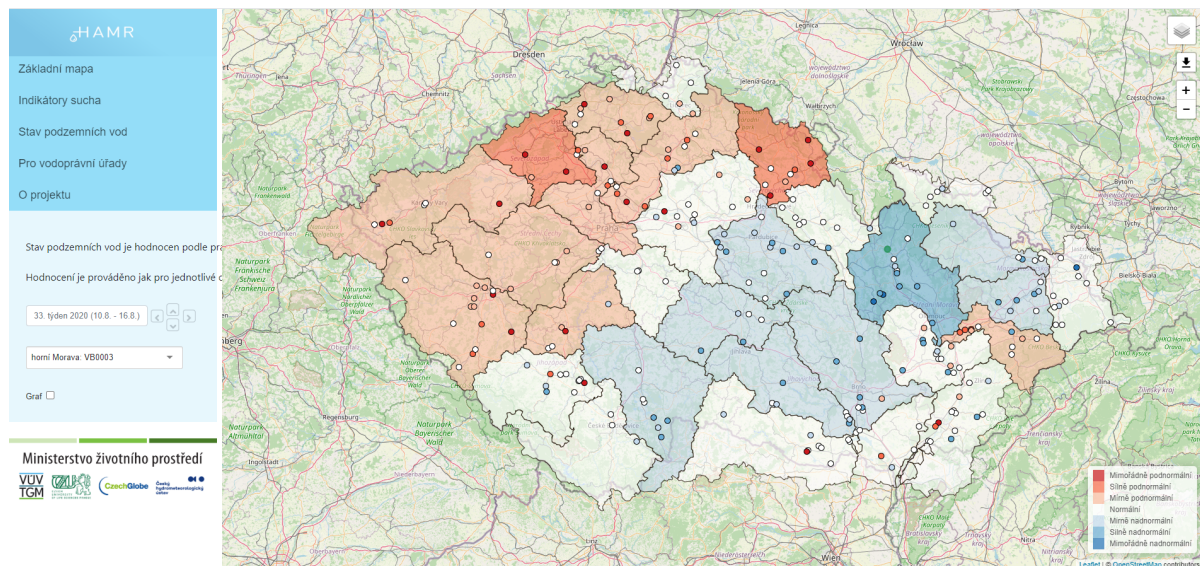
Obrázek 20: Dostupnost vody dle QMD pro 33. týden 2020



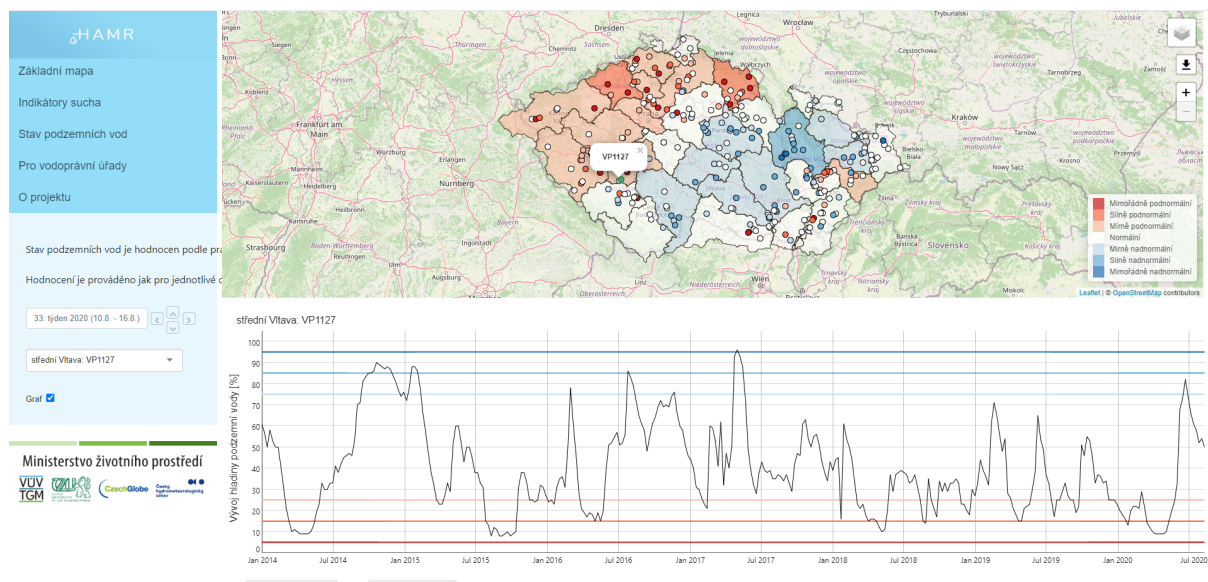
Obrázek 21: Dostupnost vody dle QMD pro 40. týden 2020

Stav podzemních vod

Mapové zobrazení aktuálního stavu podzemních vod s průběhem hladiny vybraného vrtu je na obrázku 22, na obrázku 23 je potom zobrazen také časový průběh pro vybraný vrt. Historie pozorování pro mělké vrty je od roku 2014. Do budoucna se předpokládá také zobrazení hlubokých zvodní a do komponenty podzemních vod budou implementovány výsledky projektu TA ČR, které poskytnou informaci o disponibilních zdrojích podzemní vody.



Obrázek 22: Mapové zobrazení aktuálního stavu podzemních vod



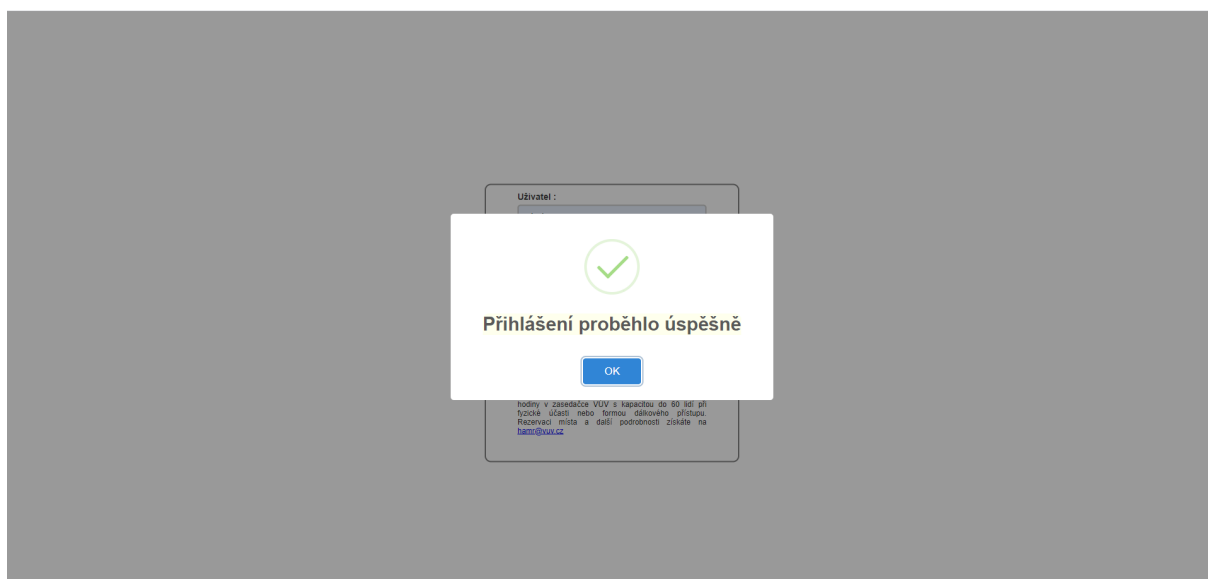
Obrázek 23: Mapové zobrazení aktuálního stavu podzemních vod s průběhem hladiny vybraného vrtu

Pro vodoprávní úřady (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:

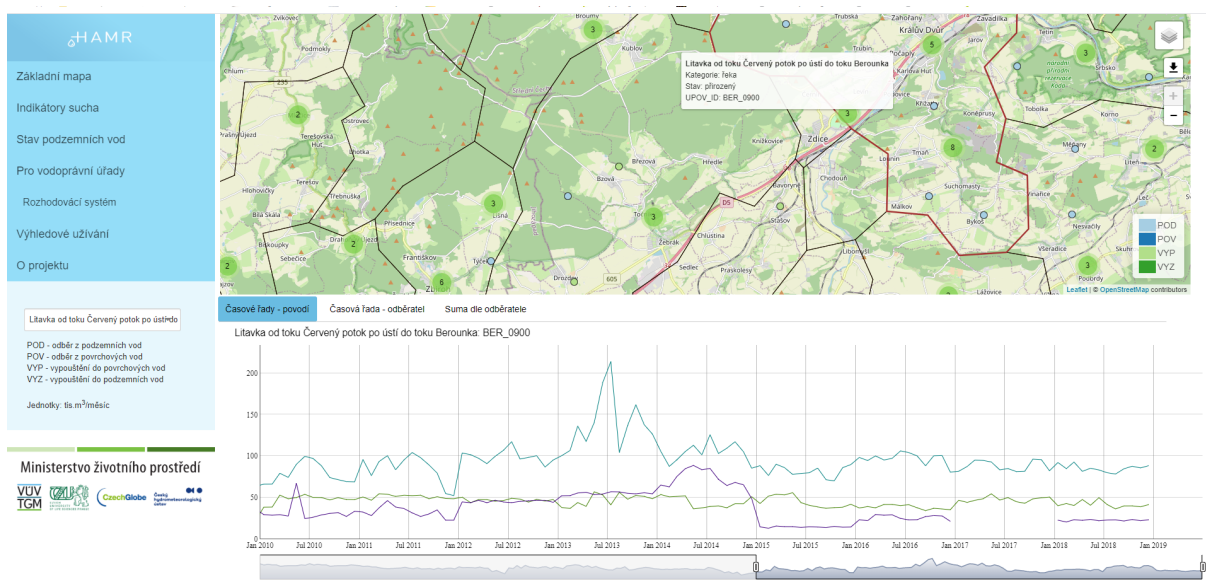
- POD - odběr z podzemních vod,
- POV - odběr z povrchových vod,
- VYP - vypouštění do povrchových vod,
- VYZ - vypouštění do podzemních vod.

Do sekce pro Vodoprávní úřady je nezbytné se přihlásit (viz. obrázek 24)

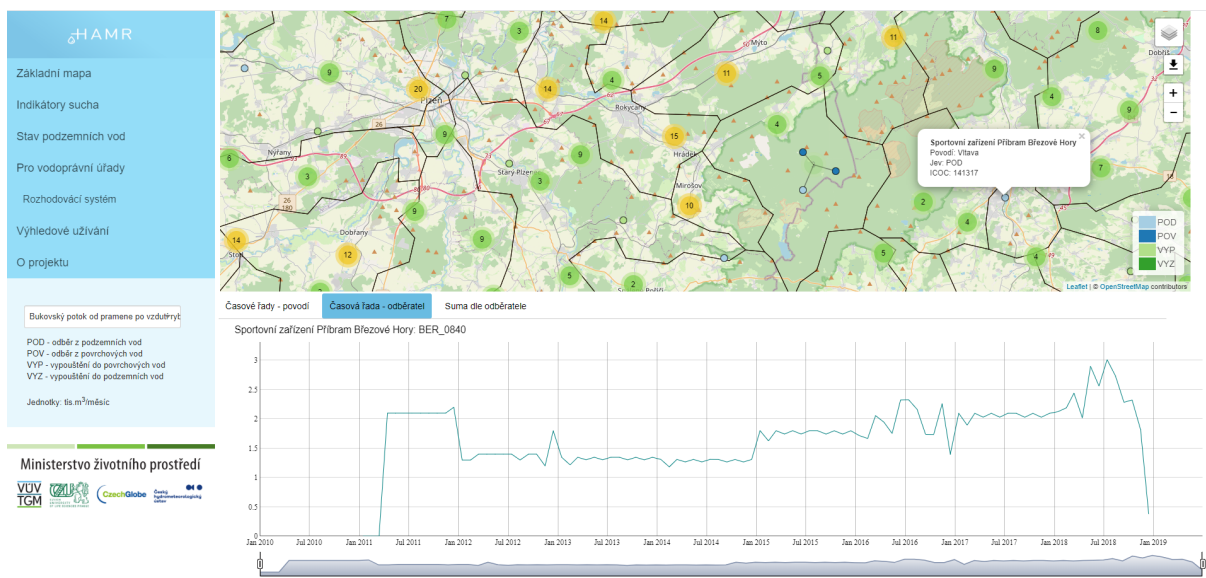


Obrázek 24: Přihlášení do sekce pro vodoprávní úřady

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 25) nebo pro vybraný subjekt (Obrázek 26). 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 25: Nakládání s vodou pro vodní útvar BER_0900



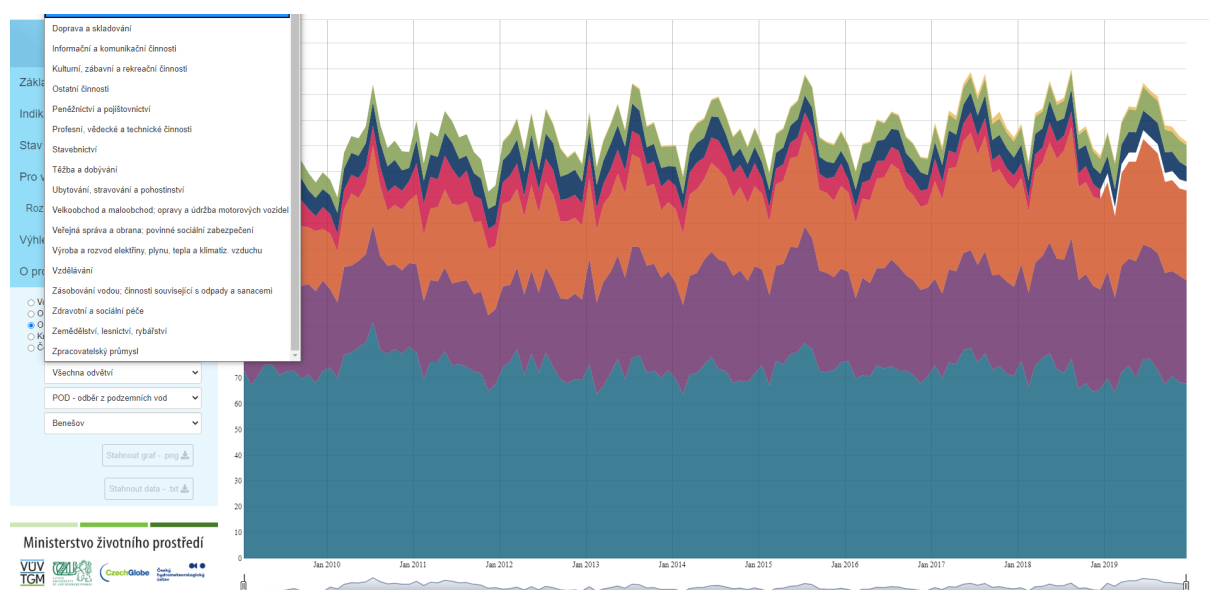
Obrázek 26: Nakládání s vodou pro vybraný subjekt

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

- Česká republika,
- Kraje,
- Okresy,
- Obce s rozšířenou působností,
- Vodní útvary.

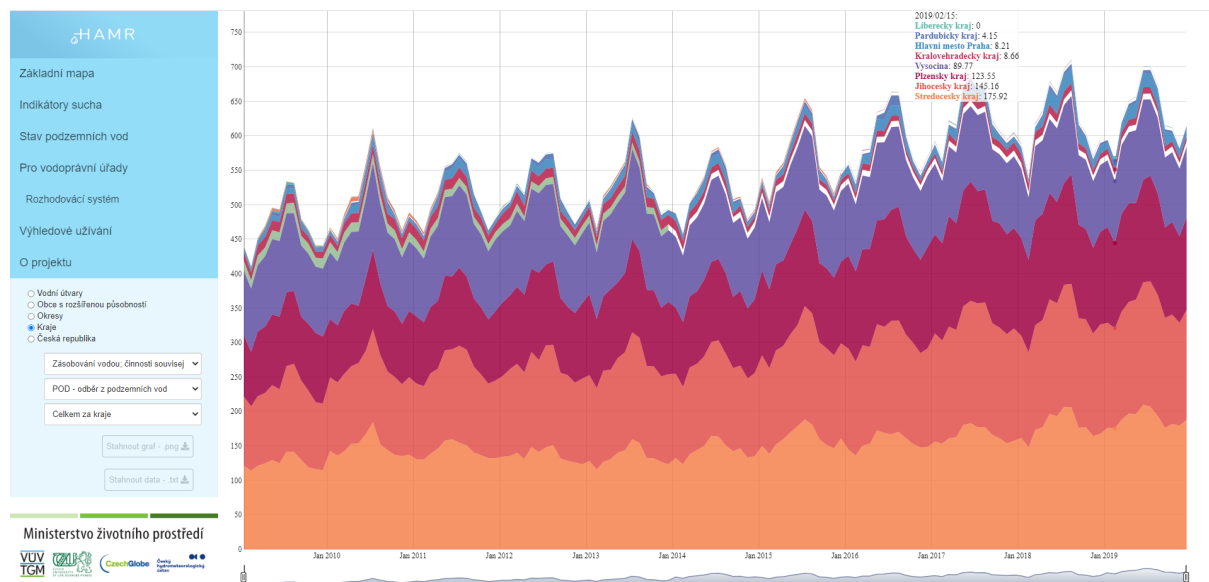
Pro zvolenou oblast je možné zobrazit sumu za všechny činnosti nebo dílčí činnost (při této volbě se zobrazí skutečné odběry versus povolená množství). Jednotlivé činnosti jsou zobrazeny na Obrázku 27, kde jsou také zobrazeny hodnoty pro podzemní odběr v Jihočeském kraji a jednotlivá odvětví (lze

pozorovat, že největší podíl má: Zásobování vodou, činnosti související s odpady a sanacemi, které se podílí více než polovinou na celkovém podzemním odběru).

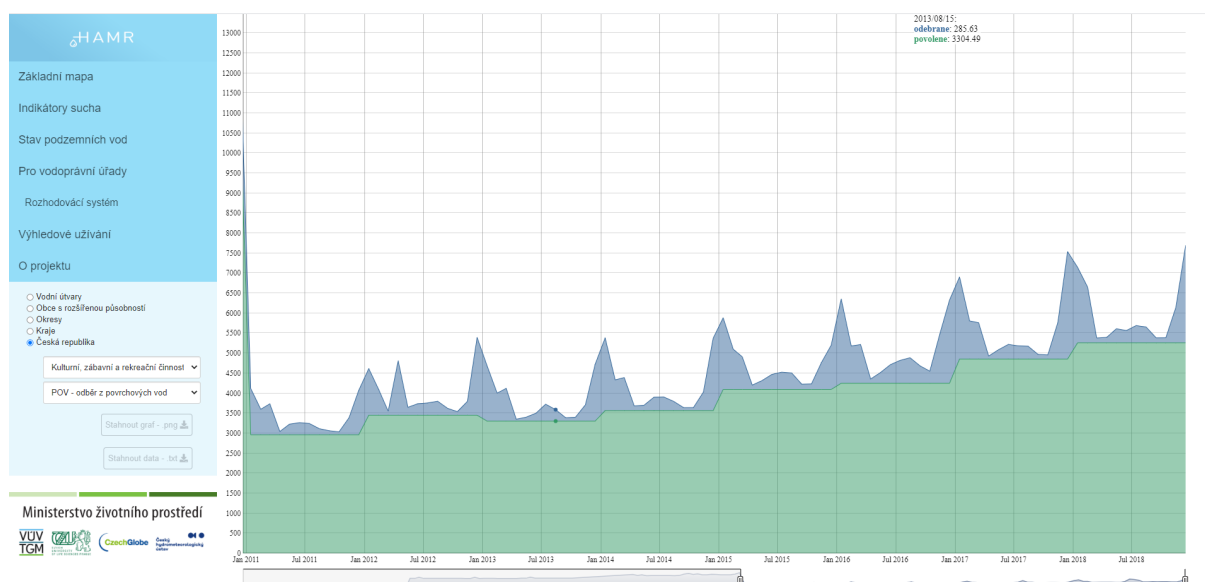


Obrázek 27: Podzemní odběr pro okres Benešov a všechna odvětví

Na Obrázku 28 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 Obrázku 29 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).

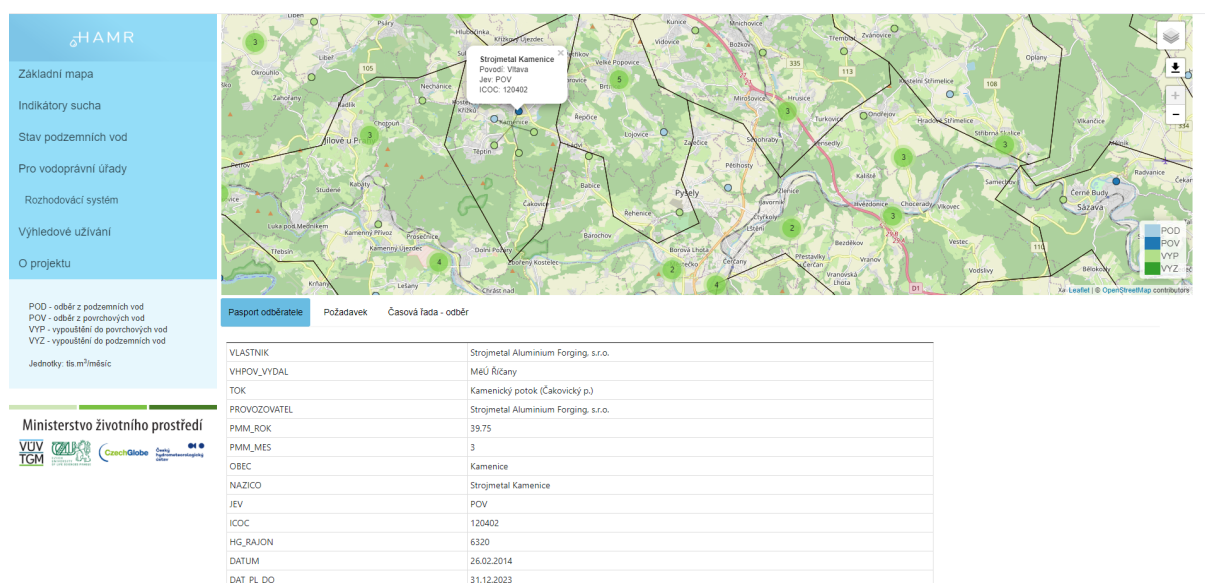


Obrázek 28: Zásobování vodou, činnosti související s odpady a sanacemi dle jednotlivých krajů, odběr z podzemních vod



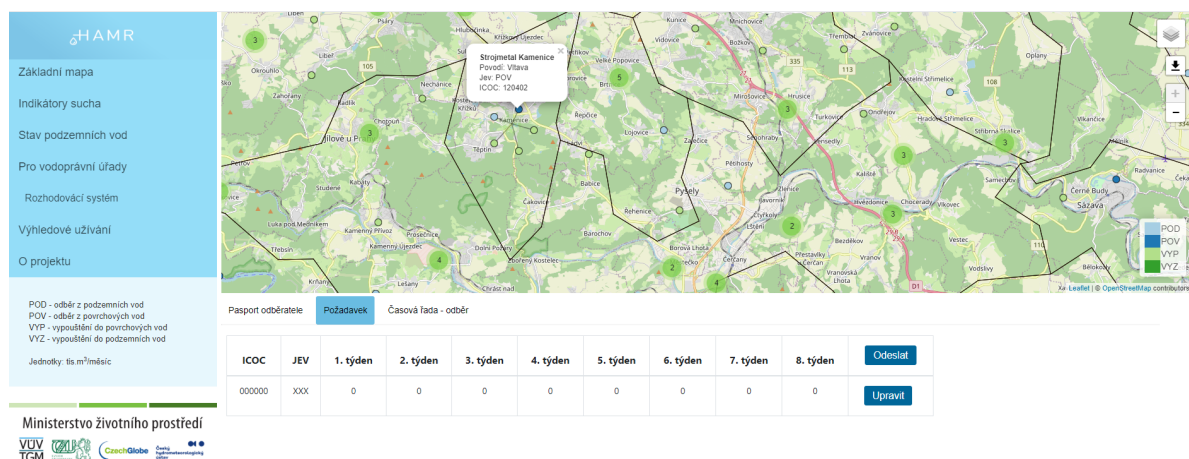
Obrázek 29: Rekreační činnost dle jednotlivých krajů, odběr z povrchových vod (reálný odběr)

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 Obrázku 30, pro jednodušší lokalizaci, lze nakládání s vodou vybrat v mapovém okně.



Obrázek 30: 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 Waterses (více viz kapitola Waterses). 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 Obrázku 31.



Obrázek 31: 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:

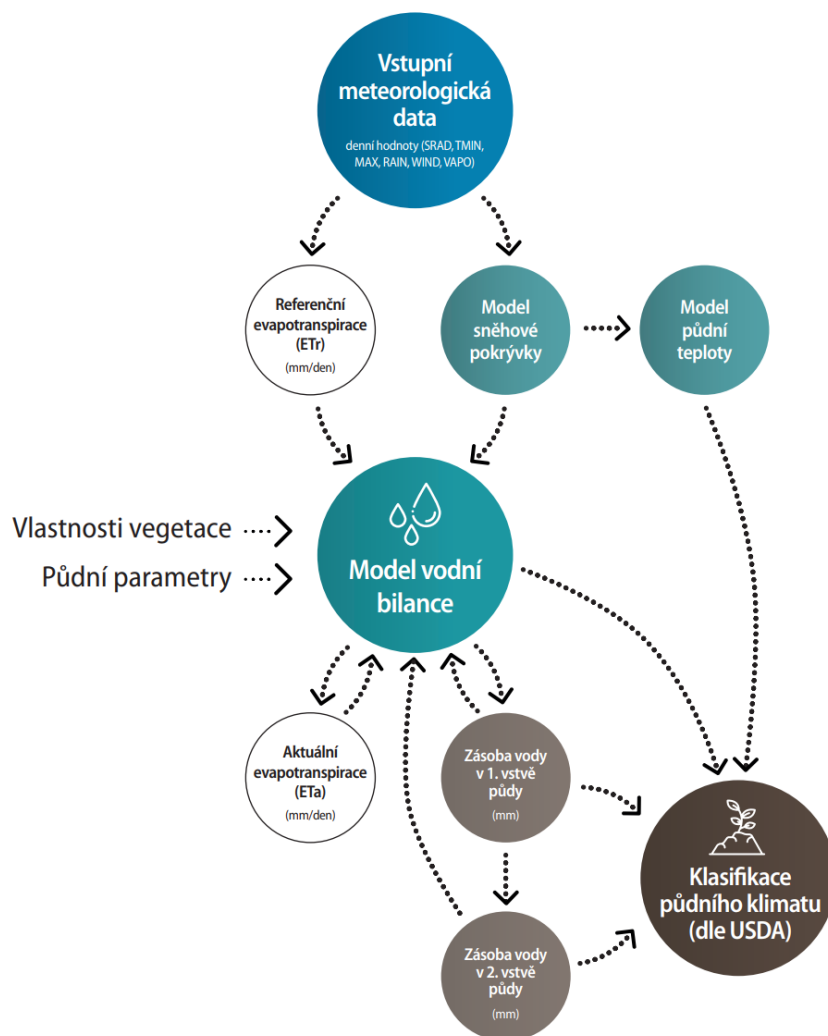
- Hladiny podzemní vody v mělkých vrtech,
- Průtoky na vodoměrných stanicích.

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 (E_{Tr} a E_{Ta}), 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, 1999) a byl kalibrován a validován pro podmínky České republiky 2011. Tento nástroj pracuje na modulární bázi (skládá se z několika samostatných modulů – sad algoritmu), kdy výstupy ze základních modulů jsou využity jako vstupy do navazujících výpočtů (viz Obrázek 32).

Prvním krokem výpočtu je odhad referenční evapotranspirace E_{Tr} pro hypotetický travní porost s využitím metody Penman-Monteith (Allen, 1999). Paralelně s odhadem E_{Tr} 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 (E_{Ta}), 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, 1999), které popisují vlastnosti daného povrchu vzhledem k referenčnímu trávníku. Hodnota K_c se mění v průběhu sezóny dle aproximovaného vývoje listové plochy a dalších vlastností vegetace.



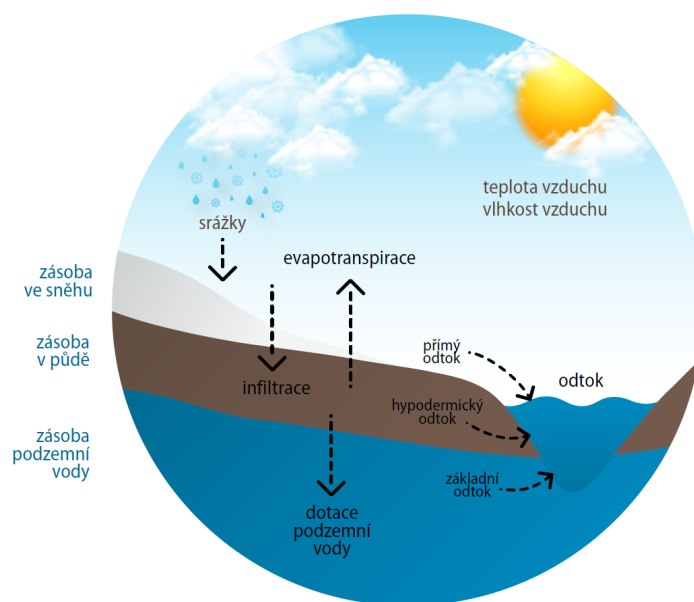
Obrázek 32: Schéma modelu SoilClim

Voda: Model hydrologické bilance Bilan

Model Bilan (Vizina et al., 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 Obrázku 33.

Vstupem do modelu jsou denní či měsíční:

- Srážkové úhrny [mm],
- Průměrné teploty [°C],
- Průměrná vlhkost vzduchu [%],
- Pozorované odtokové výšky [mm],
- Užívání vody [mm/měsíc],
- Potenciální evapotranspirace [mm].



Obrázek 33: 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 UPOV.

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.

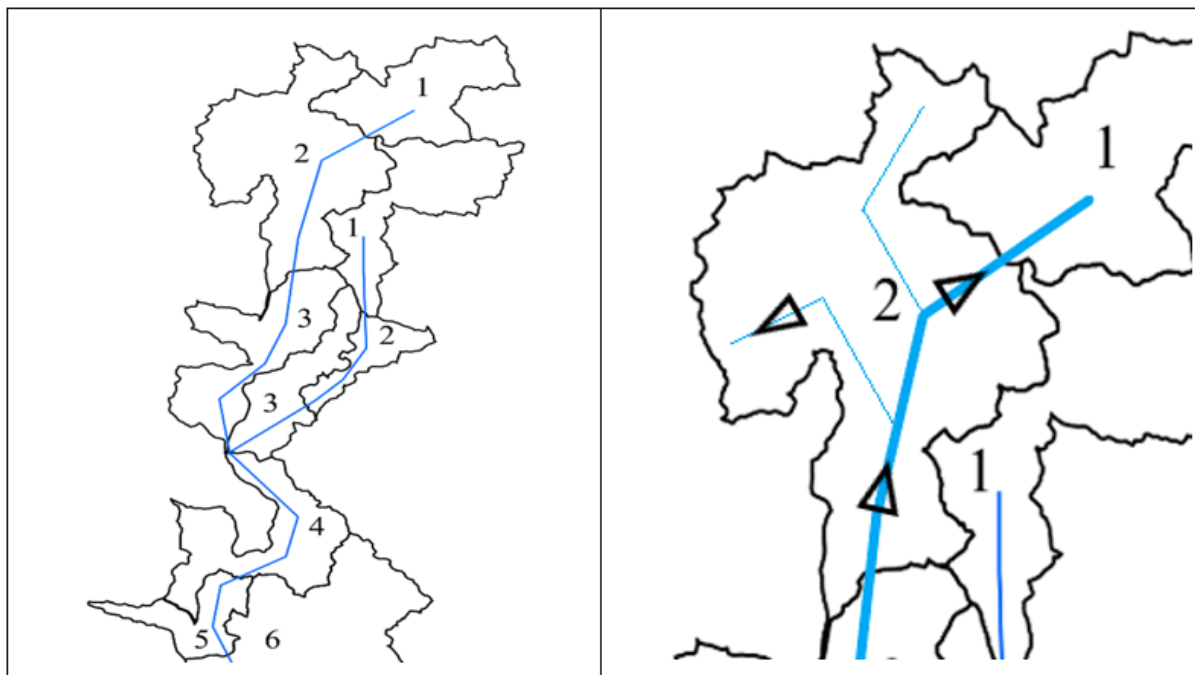
Užívání na UPOVu je řešeno následujícím způsobem:

- 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 34 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 34 vpravo), tj. jejich lokace (hlavní nebo vedlejší tok), případné napojení vedlejších toků v s vodní nádrží na hlavní tok, atd.



Obrázek 34: Vlevo schéma říční sítě tvořené 9 UPOVy, 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 uzavěrovým 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 Waterses řešeno dvěma metodami: lag a lineární nádrž, které jsou řešeny vždy v uzavěrovém 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 [m^3].

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 uvdobrá 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.

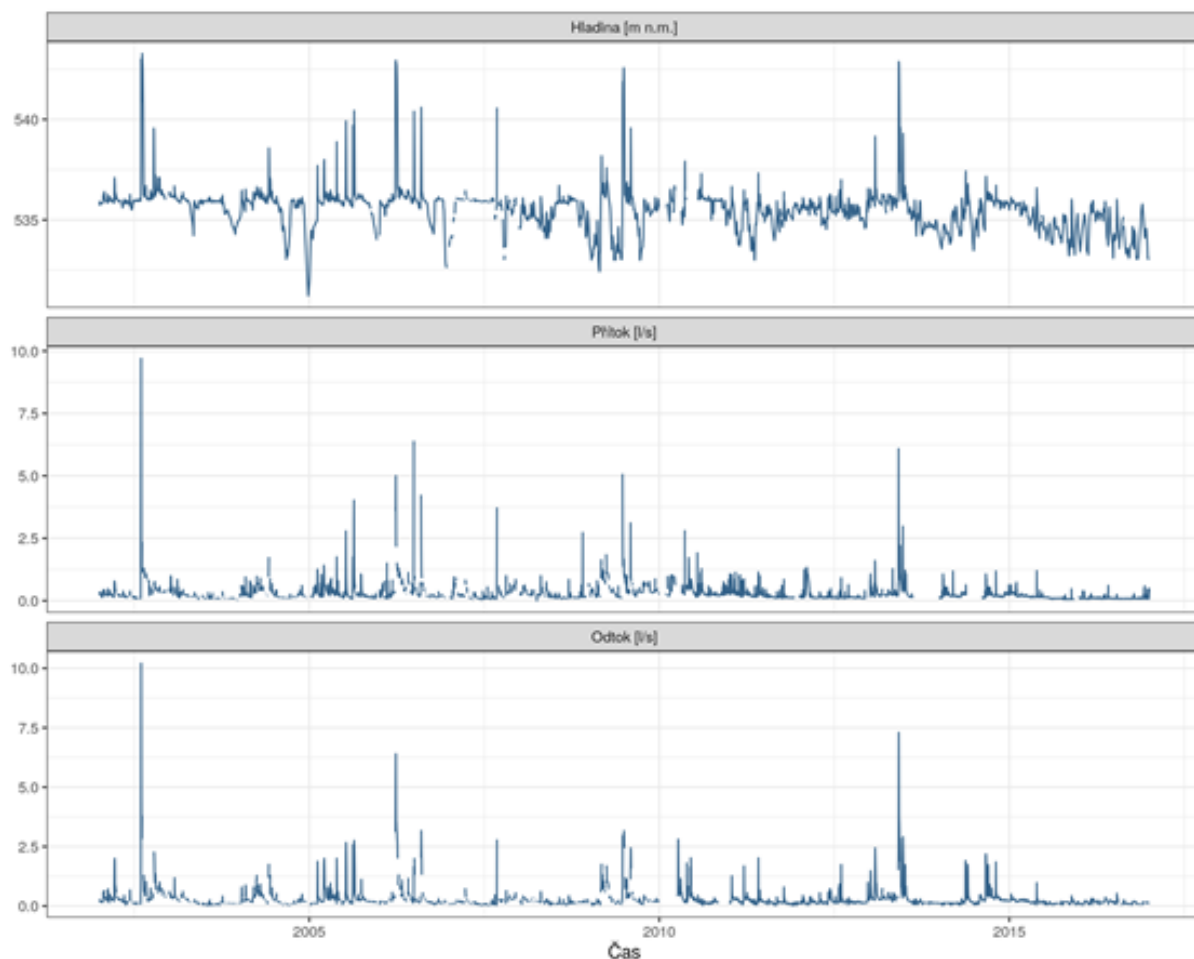
Hlavní nevýhody GA:

- 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 35). 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 36.



Obrázek 35: Vodní dílo Humenice



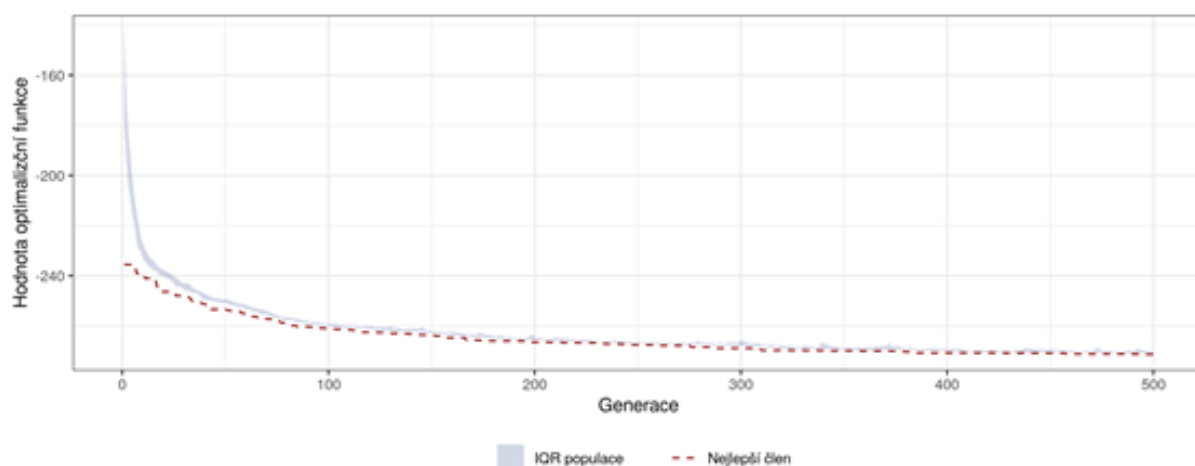
Obrázek 36: Zobrazení datových záznamů na VD Humenice

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

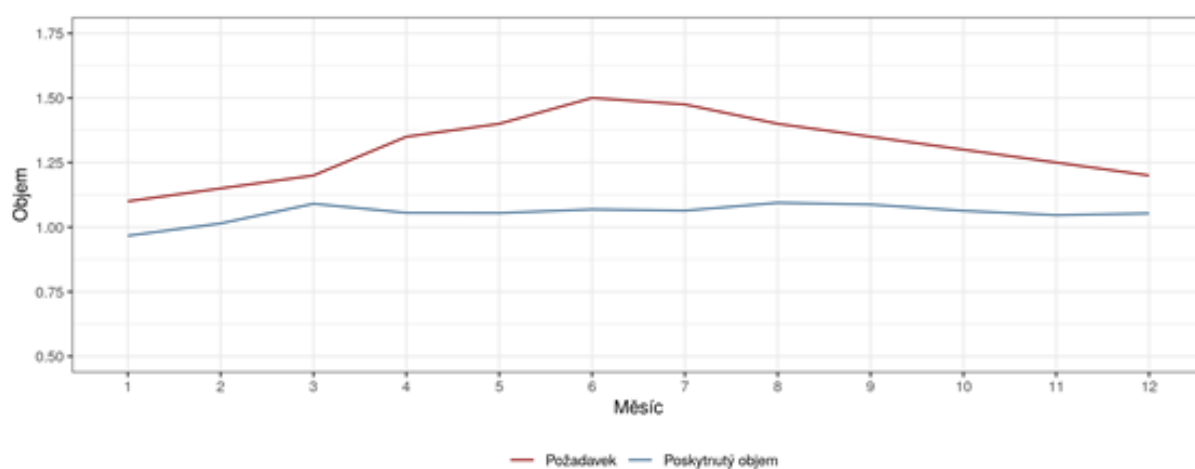
$$Def = \sum_{t=1}^{12} [(R_t - D_t)^2 - (S_t - S_T)^2]. \quad (1)$$

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 37).

GA byly testovány pro velikost populace 100 členů a maximální počtem iterací 500 (Obrázek 37). Výsledkem jsou optimalizované hodnoty poskytnutých objemů vody pro jednotlivé měsíce (Obrázek 38), tak aby se vodní stav na nádrži co nejvíce blížil svému optimu (536 m n. m.).



Obrázek 37: Průběh optimalizační funkce v jednotlivých iteracích

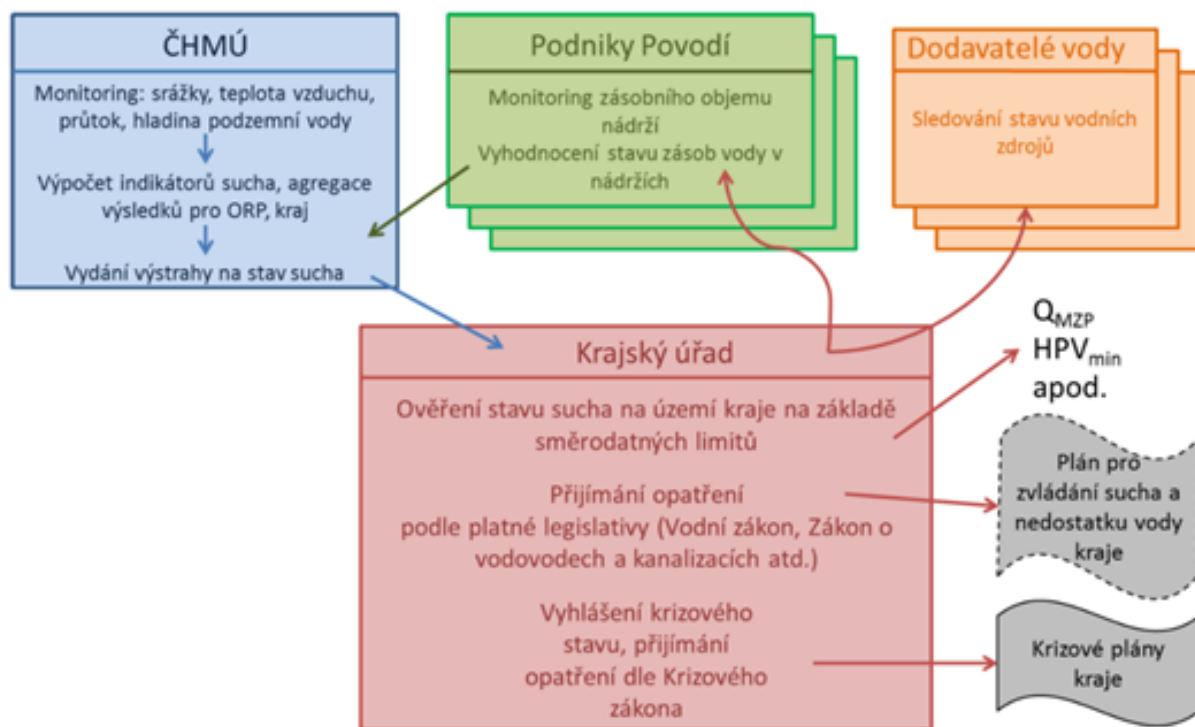


Obrázek 38: Optimalizované požadavky

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 39). Pro jednotlivé složky (srážka, průtok...) jsou vypočteny indikátory a následně jsou podkladem pro:

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



Obrázek 39: 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-Hughes and 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 nereflektuje 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 $< t_{pi}, t_{ki} >$, pro který je splněná podmínka $Z(t_i) > Q(t_i)$ definujeme určitý integrál W_i :

$$W_i = \int_{t_{pi}}^{t_{ki}} [Z(t_i) - Q(t_i)] dt. \quad (2)$$

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.

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).

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

Spolurešitelé:

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.

Reference

- M. Allen. Do-it-yourself climate prediction. *Nature*, 401(6754):642–642, 1999.
- P. Hlavinka, M. Trnka, J. Balek, D. Semerádová, M. Hayes, M. Svoboda, J. Eitzinger, M. Možný, M. Fischer, E. Hunt, et al. Development and evaluation of the soilclim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*, 98(8):1249–1261, 2011.
- B. Lloyd-Hughes and M. A. Saunders. A drought climatology for europe. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(13):1571–1592, 2002.
- T. B. McKee, N. J. Doesken, J. Kleist, et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, volume 17, pages 179–183. Boston, 1993.
- L. Oudin, F. Hervieu, C. Michel, C. Perrin, V. Andréassian, F. Anctil, and C. Loumagne. 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(1-4):290–306, 2005.
- V. M. Ponce. *Engineering hydrology: Principles and practices*, volume 640. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- A. Vizina, S. Horáček, M. Hanel, and L. Kašpárek. Nové možnosti modelu bilan. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 57(4-5), 2015.