

# HAMR: online systém pro zvládání sucha – operativní řízení během suché epizody

**ADAM VIZINA, MARTIN HANEL, MIROSLAV TRNKA, JAN DAÑHELKA,  
IRINA GREGORIEOVÁ, PETR PAVLÍK, MARTIN HEŘMANOVSKÝ**

**Klíčová slova:** sucho – nedostatek vody – nástroj na podporu rozhodování – hydrologická bilance – řízení vodních zdrojů

## SOUHRN

Zvýšený výskyt suchých období v České republice s sebou přináší potřebu vytvořit či upravit legislativu. Neméně důležité je vytvoření nástroje, který bude sloužit pro rozhodování v období sucha na jednotlivých úrovních managementu. Princip tohoto nástroje/systému je popsán v tomto článku. Systém je založen na propojení modelu půdního a modelu hydrologické a vodohospodářské bilance. Tyto modely spolu se vstupními klimatologickými daty reprezentují sucho meteorologické, zemědělské a hydrologické. Nástroj bude poskytovat informaci, jaký je současný stav vodních zdrojů a jak by se měl vyvíjet na základě předpovědi, která bude podkladem pro operativní řízení vodních zdrojů.

## ÚVOD

V České republice, ale i ve světě ve stále větším počtu oblastí velmi rychle narůstá nedostatek vody a výskyt sucha, který v některých případech dosahuje úrovně živelné katastrofy s masivními dopady. V případě sucha dochází k nárůstu jeho četnosti v některých oblastech včetně střední Evropy. Tento jev úzce souvisí s procesem globální klimatické změny. Problém zabezpečení vodních zdrojů se už začíná projevovat i v oblastech, v nichž obyvatelstvo projevy sucha dosud příliš necítilo. Navíc míru dopadů sucha a nedostatku vody na obyvatelstvo a průmysl v posledních letech příznivě ovlivnila skutečnost, že došlo k poklesu odběrů vody přibližně o polovinu oproti situaci v roce 1990. Zmírňující efekt tohoto vývoje se však již postupně vytrácí. V roce 2015 byly v ČR zaznamenány problémy se zásobováním obyvatelstva v obcích s nedostatečně spolehlivými vodními zdroji a výrazně vzrostly dopady sucha na zemědělskou produkci a lesní hospodářství, kde se dopady tohoto jevu projevují obvykle nejdříve, a ostatní hospodářské sektory. Došlo ke zvýšení počtu dní s nedostatkem vláhy v klíčovém období pro produkci většiny plodin. Do budoucna lze očekávat, že stávající vodní zdroje nebudou dostatečné, a to nejen z hlediska potenciálně snižujícího se dostupného množství vody, ale i z hlediska nevyhovující jakosti vody. Z těchto důvodů se řada institucí zabývá v posledních více než 10 letech výzkumem problematiky sucha a upozorňuje na problém, který se již začíná výrazně projevovat. Jednou z klíčových výzkumných činností je v současnosti tvorba nástroje pro predikci stavu vodních zdrojů v dlouhodobém měřítku, který je představen v tomto příspěvku.

V současné době rozhodování dispečerů správců povodí v období sucha a nedostatku vody probíhá na základě předchozích zkušeností, bez podpůrných nástrojů. Tento stav by šel přirovnat k situaci zvládání povodní bez jednotlivých prognostických nástrojů a modelů. Dispečeré jsou schopni stav zmírnit,

ale bez podpory expertního systému mohou dělat opatření, která nemusí být optimální a může docházet k ekonomickým ztrátám v případě suché epizody (v případě povodní by mohlo docházet v krajních případech i k ohrožení společnosti). Pro rozhodování má dispečeré správců povodí nyní k dispozici:

- manipulační řády vodních děl,
- informace o aktuální klimatické a hydrologické situaci – měřené hodnoty srážek, teploty vzduchu, přítoku a odtoku z nádrží, stavu hladin v nádržích, průtoků atp.,
- informaci o dlouhodobých statistických charakteristikách hydrologických poměrů v daném měsíci,
- informaci o nutných opravách na vodních dílech aj.

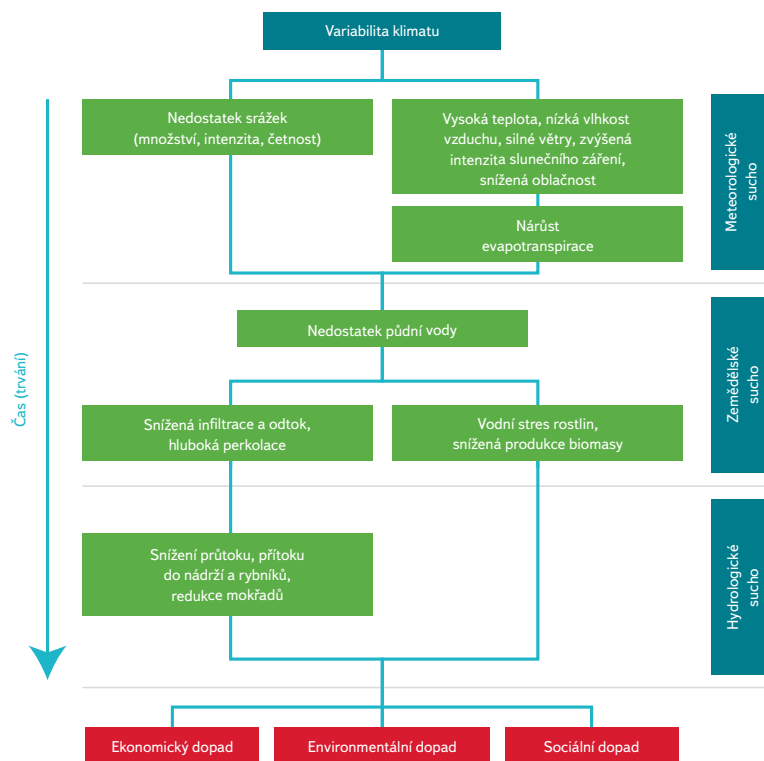
Pro rozhodování v období sucha však dosud zcela chybí informace o předpokládaném vývoji hydrologické situace ve výhledu následujících týdnů až měsíců, která může napomoci optimalizaci řízení vodohospodářských soustav pro efektivní distribuci vody v čase a prostoru. Z těchto důvodů byl na základě iniciativy MŽP vyvinut systém HAMR.

## METODIKA

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

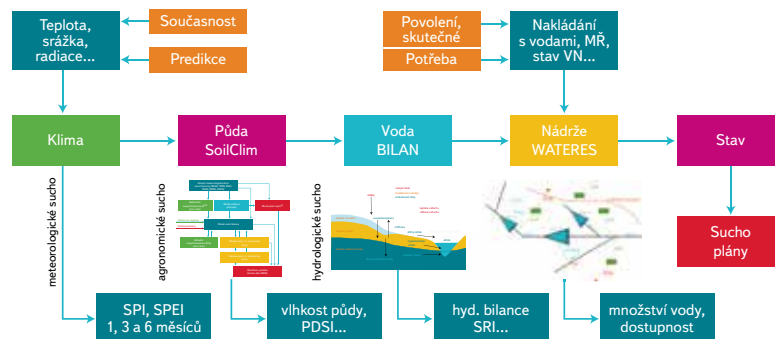
- Sucho představuje dočasný pokles dostupnosti vody a je považováno za přirozený jev. Pro sucho je charakteristický jeho pozvolný začátek, značný plošný rozsah a dlouhé trvání. Přirozeně dochází k výskytu sucha, pokud se nad daným územím vyskytne anomálie v atmosférických cirkulačních procesech v podobě 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.

Dopady sucha mohou být méně nápadné – začátek a konec sucha lze stanovit jen velmi obtížně. Účinky sucha mají kumulativní charakter, neboť velikost sucha se zvyšuje s jeho délkou. S dopady sucha se setkáváme ještě několik let po výskytu normálních dešťů [1]. Sucho nepříznivě ovlivňuje různá odvětví lidské společnosti, např. zemědělství, energetiku, zásobování vodou, průmysl, lodní dopravu; může mít i sociální a environmentální dopady. Četná odvětví jsou potenciálně ohrožená v důsledku nedostatku vody v různých složkách hydrologického cyklu zemského povrchu [2–5]. Dopady sucha lze rozdělit do tří základních kategorií: ekonomické, environmentální a sociální (*obr. 1*).



Obr. 1. Propagace sucha do jednotlivých částí hydrologického cyklu  
Fig. 1. Drought propagation by the hydrological cycle

I když bývá kvantifikace škod způsobených suchem velmi obtížná, je jisté, že ztráty způsobené suchem dosahují značných rozměrů. Podle různých studií převyšují odhady ztrát způsobených suchem škody z jiných přírodních katastrof. Například Witt [6] označil sucho jako nejnákladnější přírodní katastrofu, roční náklady na sucho ve Spojených státech odhaduje na 6–8 miliard dolarů, což je více než náklady na hurikány nebo povodně [2]. Sucho také postihuje větší území než jiná přírodní rizika a zároveň postihuje více lidí než jakákoliv jiná nebezpečí [1, 7, 8]. V posledních desetiletích má sucho významný dopad na ekonomiku a život ve střední a východní Evropě. Pomineme-li povodně, jsou sucha považována za nejničivější přírodní katastrofy v České republice. I když poslední výskyt sucha u nás nemohl být přímo spojen s člověkem způsobenou změnou klimatu, odhadované dopady sucha ukazují zranitelnost těchto oblastí, co se sucha týče. Navíc nedávná studie Brázdila [9] jasně ukázala, že trendy k výskytu častějšího a intenzivnějšího sucha nelze vysvětlit jinou přirozenou příčinou, jakými jsou kolísání sluneční aktivity, vulkanická činnost či přirozené klimatické oscilace. Vzhledem k předpokládanému zvýšení teploty nad střední Evropou s jen mírným růstem srážek v některých obdobích (jaro, podzim, zima) a poklesu v letním období je velmi pravděpodobné, že se četnost výskytu sucha a jeho závažnost bude v budoucnosti ve střední Evropě zvyšovat a dopady související s těmito událostmi se zhorší. Navíc, rostoucí poptávka po vodě (i rostoucí tlak na další přírodní zdroje) v důsledku populačního růstu, zvyšující se urbanizace a větší důraz kladený na ochranu životního prostředí mění zranitelnost obyvatelstva vůči období sucha [7, 10]. Je však důležité si uvědomit, že v rozvinutých vlhkých a subhumidních oblastech jsou škody způsobené suchem především finančního charakteru, zatímco nejzávažnější důsledky sucha se často vyskytují v rozvojových oblastech s (polo-) suchým klimatem, kde je dostupnost vody nízká již za normálních podmínek, kde se potřeba blíží nebo převyšuje dostupnost přirozenou, kde společnost má jen zřídka možnost zmírnění sucha či přizpůsobení se suchu a kde sucho často ohrožuje samotné životy lidí [2, 11]. Sucho nebo kombinace sucha a lidské činnosti v těchto oblastech mohou vést ke vzniku pouští, přičemž půdní struktura a úrodnost půdy



Obr. 2. Schéma systému pro předpověď hydrologické situace  
Fig. 2. Scheme of system HAMR



Obr. 3. Grafické logo systému HAMR  
Fig. 3. HAMR graphic logo

jsou degradovány a bio-produktivní zdroje se snižují, nebo mizí [12]. Nicméně lepší monitorování a management vodních zdrojů a pochopení vývoje sucha mohou dopady sucha zmírnit [13].

## SYSTÉMOVÝ NÁSTROJ PRO PŘEDPOVĚĚ HYDROLOGICKÉ SITUACE HAMR

Nástroj HAMR je založen na propojení modelu vláhové bilance půdy SoilClim, modelu hydrologické bilance BILAN a modelu vodohospodářské soustavy jednotlivých povodí WATERES za účelem modelování pravděpodobného vývoje hydrologické situace na cca osm týdnů dopředu. Schéma systému je zobrazeno na obr. 2. Jednotlivé komponenty jsou podrobněji popsány níže. Systém nese název HAMR, který v sobě skrývá všechny komponenty systému, a to:

- Hydrologie,
- Agronomie,
- Meteorologie,
- Retence,

a také samotné slovo „hamr“ je přímo spojené s vodou, konkrétně se jedná o dílnu, která je poháněna vodním kolem. Výhodou názvu rovněž je jeho shodnost i v anglickém jazyce. Pro systém HAMR bylo navrženo jednoduše identifikovatelné grafické logo (obr. 3).

Cílem je zajištění podkladů pro operativní řízení nádrží a vodohospodářských soustav pro dispečinky státních podniků Povodí a pro rozhodování „komisi pro zvládání sucha“ svolaných v souvislosti s probíhajícím suchem. Dále je to vytvoření platformy pro sdílení informací o aktuálních požadavcích na vodu ze strany odběratelů pro optimalizaci řízení.

## DATA

Vstupem do systému jsou následující data:

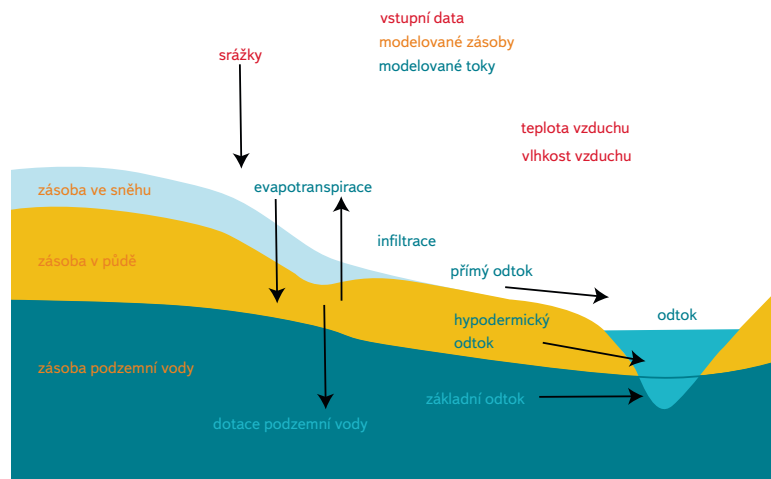
1. klimatologická data:
  - srážkové úhrny,
  - teplota vzduchu,
  - globální radiace,
  - rychlost větru,
2. vodohospodářská data:
  - průtok a jeho charakteristiky (m-denní vody),
  - manipulační řady nádrží,
  - batygrafické křivky nádrže,
  - data o užívání vod z databáze VÚV TGM, v. v. i., v měsíčním časovém kroku (1979–2016),
3. zemědělské informace a charakteristiky půd,
4. jiné:
  - satelitní data.

Data jsou v denním kroku za období 1979–2016 (testovací období) a jsou pro model agregována na podrobnost vodních útvarů (pro mnoho veličin je původní informace podrobnější, která se následně agreguje). Jako testovací povodí pro vývoj systému bylo zvoleno povodí Vltavy.

## BILAN

Konceptuální model BILAN [13], simulující hydrologickou bilanci v denním či měsíčním časovém kroku, je ve VÚV TGM, v. v. i., vyvíjen a používán od 90. let 20. století. 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 toků 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 uvedeno na obr. 4.

V roce 2011 byla původní softwarová implementace modelu BILAN, napsaná v jazyce Object Pascal, kompletně přepsána do jazyka C++, čímž se výrazně zjednodušil další vývoj modelu. Zároveň byla vytvořena dvě rozhraní k modelu: grafické uživatelské rozhraní (GUI) založené na multiplatformní knihovně Qt a balík pro statistické a programovací prostředí R. Obě rozhraní se vzájemně doplňují (individuální a hromadné zpracování). K dispozici je také online verze modelu na adrese <http://bilan.vuv.cz>. Model BILAN se využívá pro řešení mnoha komerčních a výzkumných projektů, jako jsou například projekty Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu, viz <http://rscn.vuv.cz>, a Možnosti kompenzace negativních dopadů klimatické změny na zásobování vodou a ekosystémy využitím lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod, viz <http://lapv.vuv.cz>.



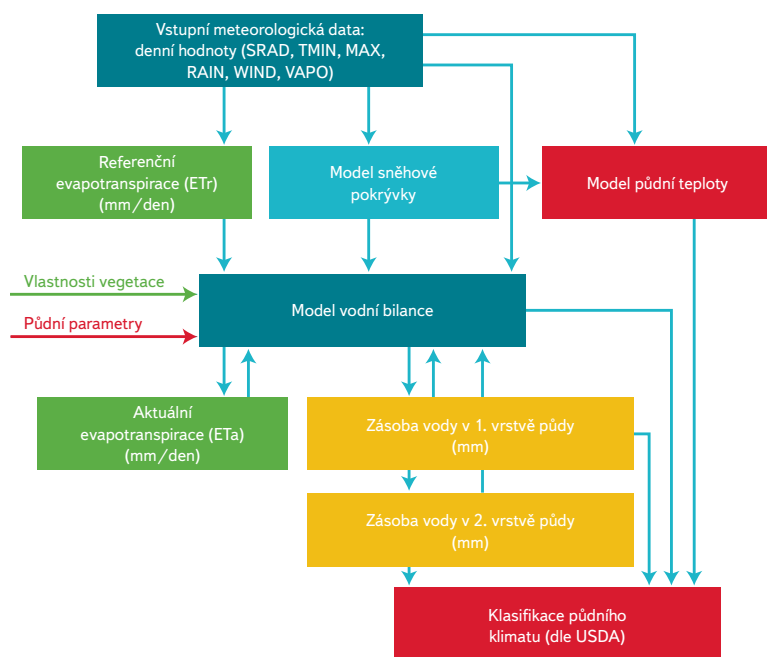
Obr. 4. Schéma modelu BILAN

Fig. 4. Scheme of model BILAN

Za pomoci informací z modelu SoilClim [15] byly získány parametry modelu BILAN [14] pro každý z 1 121 útvarů povrchových vod. Vstupní časové řady denních srážkových úhrnů, průměrných teplot a potenciální evapotranspirace pocházely z období 1980–2010. Model v denním kroku byl upraven tak, aby jej bylo možné kalibrovat pomocí vícekritériální funkce s možností operativní volby vah mezi jednotlivými kritérii. Simulace chování odtokových poměrů útvaru vychází zejména z kvantilů m-denních průtoků (Q30d–Q364d), odvozených pracovníky Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) [16] a dlouhodobého průměrného ročního průtoku (Qa). Odchyly od těchto hodnot byly určeny jako průměrné absolutní vzdálenosti. Vzhledem k tomu, že hydrologické indexy (Qa, Q30d–Q364d) postrádají autokorelační strukturu, byly ke kalibraci použity rovněž časové řady skutečné evapotranspirace, opět vypočteny modelem SoilClim. Za kalibrační kritérium při tomto postupu byla zvolena funkce Kling-Gupta Efficiency (KGE) [17]. Optimalizace modelu BILAN byla prováděna pomocí globálního optimalizačního algoritmu Shuffled Complex Differential Evolution. Tento algoritmus pracuje s populacemi modelů a prostřednictvím jejich interakcí nachází optimální hodnoty [18]. Prohledávaný parametrický prostor maximální velikosti zásobníku půdní vody u modelu BILAN (Spa) byl omezen rovněž využitím údajů o celkové půdní zásobě vody z modelu SoilClim. K validaci simulovaných denních průtoků slouží časové řady ze 156 měrných stanic ČHMÚ. Na snížení nejistot u parametrů modelu BILAN se stále pracuje, neboť úspěšnost kalibrací vykazují významnou variabilitu, způsobenou rozličnými činiteli.

## 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 × 500 m) pokrývajících ČR. Pro tyto gridy jsou pak stanoveny hodnoty indikátory referenční a aktuální evapotranspirace (ET<sub>r</sub> a ET<sub>a</sub>), vodní bilance, vlhkosti a teploty půdy a popis půdního klimatu. Ve výpočtech SoilClimu je zohledněna retenční kapacita půdy (pro každý grid) ve dvou vrstvách (0–40 a 40–100 cm) a pravděpodobné zastoupení vegetace (podle informací o LandUse). SoilClim byl vyvinut jako modifikace přístupu FAO-56 [19] a pro podmínky České republiky byl kalibrován a validován Hlavinkou [15]. 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 obr. 5).



Obr. 5. Schéma modelu SoilClim  
Fig. 5. Scheme of model SoilClim

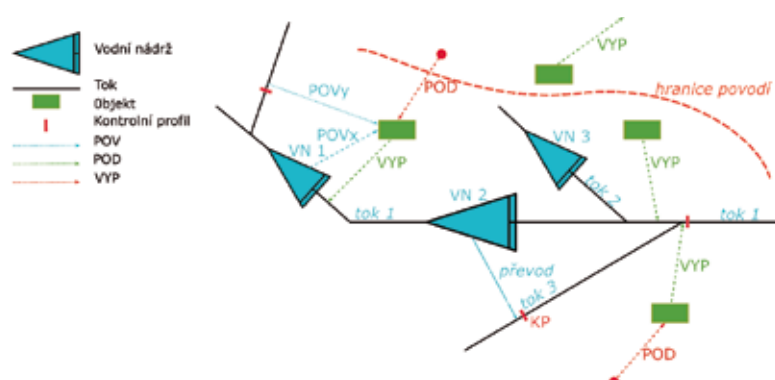
Prvním krokem výpočtu je odhad referenční evapotranspirace ETr pro hypotetický travní porost s využitím metody Penman-Monteith [19]. Paralelně s odhadem ETr dochází na základě denních hodnot teploty vzduchu a srážkových úhrnů k odhadu výskytu sněhové pokrývky (vč. obsahu akumulované vody) modelem SnowMAUS [20]. 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 (ETA), který je dán dostupností půdní vlhkosti a vlastnostmi předpokládaného vegetačního krytu či povrchu. K tomuto je v modelu SoilClim využívána metoda tzv. crop koeficientů (Kc) [19], které popisují vlastnosti daného povrchu vzhledem k referenčnímu trávníku. Hodnota Kc se mění v průběhu sezony podle aproximovaného vývoje listové plochy a dalších vlastností vegetace.

## WATERES

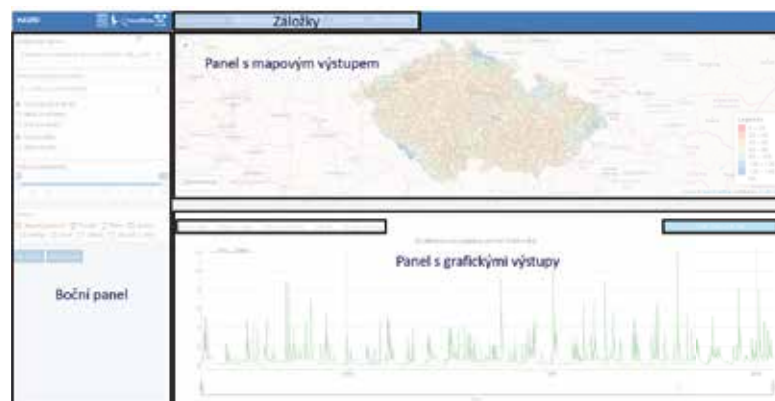
Model WATERES je vodohospodářský model vyvinutý ve VÚV TGM, v. v. i., v Praze a je zaměřený na výpočet charakteristik a provádění simulací na vodních nádržích. Model je dostupný ve formě R balíku (volně stažitelný z GitHubu). Model WATERES lze využít k výpočtu:

- dlouhodobé vodní bilance nádrží a vodohospodářských soustav,
- charakteristik vodních nádrží a odhadu účinnosti vodní nádrže,
- nedostatkových objemů (pro posouzení sucha) v povodí nádrže a vodohospodářské soustavy,
- transformace povodňových vln.

Podrobnější informace o modelu jsou uvedeny na webových stránkách <http://lapv.vuv.cz>. Na obr. 6 je uvedeno ilustrační schéma vodohospodářské soustavy, ve kterém je také zobrazeno nakládání s vodami.



Obr. 6. Schéma modelu vodohospodářské soustavy a nakládání s vodami  
Fig. 6. Scheme of water management model with water withdrawals



Obr. 7. Základní rozložení systému HAMR  
Fig. 7. Basic layout of the HAMR system

Verifikace použitého vodohospodářského modelu byla provedena pomocí podrobného vodohospodářského modelu, který provede obdobnou simulaci na menším povodí. Z dřívějších výpočtů by však navržená podrobnost měla být dostačující. Vstupem do modelu jsou údaje o nakládání s vodami, kdy se hodnotí jak povolené množství za den či měsíc, tak skutečné hodnoty užívání vody. Nakládání s vodami je identifikováno podle kódu ICOC nebo CZ\_NACE.

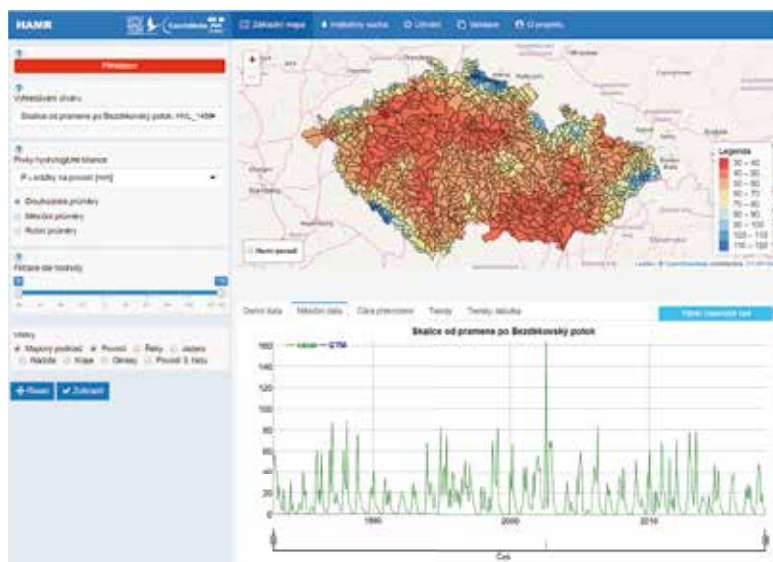
## APLIKACE PRO ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ

Grafy zpravidla mají vlastní výběr proměnných, který se na uvedeném obr. 7 nachází v pravém horním rohu grafického panelu. Tento výběr má tvar srolovatelného menu. Dále grafický panel může obsahovat vlastní lištu se záložkami pro přepínání mezi jednotlivými typy grafů a tabulek. Základní přehled je uveden na obr. 7.

„Základní mapa“ je první záložkou a zobrazí se ihned po spuštění aplikace. Obsahuje informace o hydrologické bilanci povodí České republiky. Záložka základní mapa je rozložena na boční panel, panel s mapovým výstupem a panel s grafickým výstupem.

V bočním panelu se nacházejí pole „Vyhledávání útvaru“, „Prvky hydrologické bilance“, „Filtrace dle hodnoty“, „Vrstvy“ a tlačítka „Reset“ a „Zobrazit“. Uživatel volí proměnnou hydrologické bilance, podle níž jsou zbarveny jednotlivá povodí, zobrazená na mapě. Hodnoty proměnné jsou agregovány do měsíčních a ročních kroků, lze je také vykreslit jako dlouhodobé průměry, tzn. průměry za celé období nebo za konkrétní periody po 30 letech: 1961–1990, 1971–2000 a 1981–2010. „Filtrace dle hodnoty“ v počátečním stavu obsahuje všechny hodnoty zvolené proměnné a dále umožňuje nastavení rozsahu hodnot, které omezí vykreslená povodí. „Vyhledávání útvaru“ je jedinou částí bočního panelu,

kteřá je propojená nejenom s mapou, ale i s grafickými výstupy. Mapové objekty jsou vykresleny pomocí Leaflet. Pro zvolené povodí se vypočítají časové řady z měsíčních a denních dat (pomocí balíčku dygraphs), čára překročení pro celé období, roční období a měsíce (pomocí balíčku Plotly) a trendy: grafické znázornění a tabulka s vyhodnocením statistické významnosti (ggplot2). Zvolené povodí se zvýrazní v mapě červeným okrajem. Kliknutím na jiné povodí se přepočítají grafické výstupy a název nově zvoleného povodí s jeho UPOV\_ID se promítne do pole „Vyhledávání útvaru“. Základní mapa je zobrazena na obr. 8.



Obr. 8. Základní mapa systému  
Fig. 8. Basic map of the system HAMR

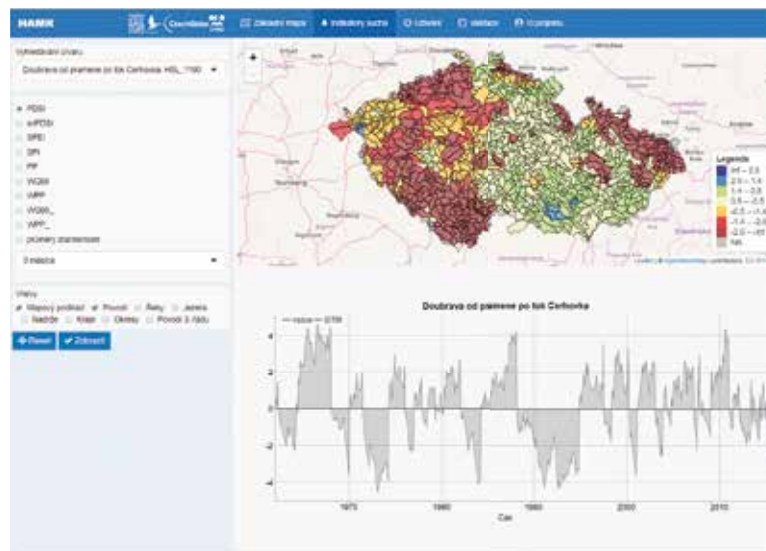
## Indikátory sucha

Záložka „Indikátory sucha“ (obr. 9) se skládá z bočního panelu, mapového panelu a grafického panelu. V bočním panelu se obdobně jako v záložce „Základní mapa“ nachází pole „Vyhledávání útvaru“ a „Vrstvy“. Dále v bočním panelu lze zvolit indikátor a krok, do kterého budou data agregována. Dále lze zvolit datum pro vykreslení mapy. Protože data mají měsíční časové měřítko, volba konkrétního dne v kalendáři nehraje pro vykreslení žádnou roli, ale volba data ve formátu „mm-YYYY“ zatím není možná. Momentálně jsou v mapě zobrazeny indikátory SPI (Standardized Precipitation Index), SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) a PDSI (Palmer Drought Severity Index) a scPDSI (Self-calibrating Palmer Drought Severity Index), které jsou počítány klouzavě s krokem 1, 3, 6, 9 a 12 měsíců. Povodí se dělí do sedmi kategorií podle hodnoty příslušného indikátoru tak, aby se dostatečně projevila variabilita, viz tabulka 1.

Tabulka 1. Hodnocení intenzity sucha pro jednotlivé indikátory  
Table 1. Dry intensity assessment for individual indicators

$\infty$ až 2,0	extrémně vlhké
2,0 až 1,4	silně vlhké
1,4 až 0,5	mírně vlhké
-0,5 až -0,5	bez výskytu sucha
-0,5 až -1,4	slabé sucho
-1,4 až -2,0	silné sucho
-2,0 až $\infty$	mimořádné sucho

Mapové objekty jsou vykresleny pomocí Leaflet. V grafickém panelu se vykresluje časová řada indikátoru pro zvolené povodí pomocí balíčku dygraphs.



Obr. 9. Komponenta indikátory sucha  
Fig. 9. Drought indicator component

## Užívání

Záložka „Užívání“ obsahuje informace o užívání vody v ČR a je rozdělena do pěti částí: boční panel, panel s mapovým výstupem, dva panely s grafickými výstupy a jeden panel s tabulkovým výstupem. Boční panel obsahuje pole „Vyhledávání útvaru“ a „Vrstvy“. Pole „Vrstvy“ je rozšířeno o vrstvu „Odběratele“, avšak postrádá administrativní členění České republiky. Mapový panel spojuje místa odběru do shluků. Po přiblížení lze na bod kliknout. Po kliknutí se zobrazí popisek s informací o odběrateli a vykreslí se časová řada odběrů. Kliknutím na povodí se obdrží informace o všech odběratelích v tabulkovém panelu a časová řada pro jednotlivé jevy v grafickém panelu (odběry z podzemních vod POD, odběry z povrchových vod POV či vypouštění VYP). Grafické panely jsou vytvořeny pomocí dygraphs. Tabulka je vytvořena pomocí balíčku DT a je interaktivní. Komponenta pro nakládání s vodou je na obr. 10.

## Validace

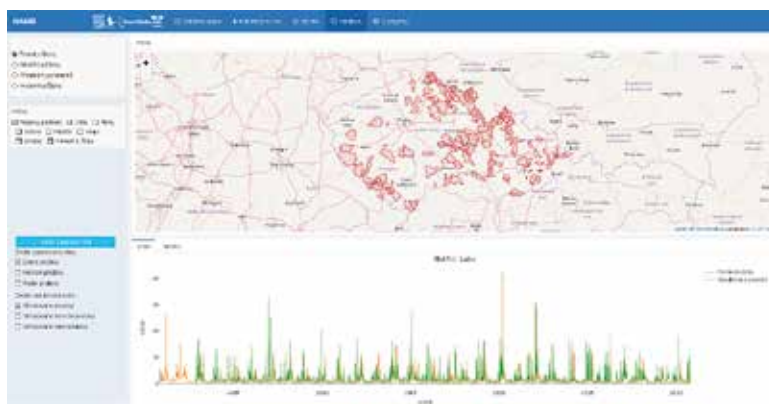
Záložka „Validace“ se dělí na tři části: boční panel, panel s mapovým výstupem a panel s grafickým výstupem. Boční panel obsahuje standardní pole „Vrstvy“ a přepínač mezi následujícími možnostmi: denní průtoky, měsíční průtoky, přepínání parametrů a m-denní průtoky.

Mapový výstup denních průtoků obsahuje polohu 153 měrných stanic a grafický panel pro zvolení konkrétní měrné stanice vytvoří časovou řadu pozorovaných a simulovaných průtoků, které lze vykreslit v denním, měsíčním a ročním kroku pomocí menu „Výběr časových řad“ (nachází se v oblasti bočního panelu). Záložku grafického panelu lze přepnout z grafů na tabulky, které nejsou interaktivní. Tabulka denních průtoků obsahuje pouze základní přehled o datech (počet pozorování, střední hodnotu atd.).



Obr. 10. Komponenta nakládání s vodou

Fig. 10. Water withdrawal component



Obr. 11. Komponenta validace průtoků a parametrů hydrologického modelu

Fig. 11. Validation and estimation component

Mapový výstup měsíčních průtoků obsahuje pozice 542 vodoměrných stanic. Body vodoměrných stanic jsou propojeny s informacemi o UPOVU, do kterého spadají. Kliknutím na bod se objeví popisec stanice a vykreslí se horní povodí, obdobně jako v záložce „Základní mapa“. Graf obsahuje časové řady pozorovaných a simulovaných průtoků a tabulka obsahuje číselné vyhodnocení přesnosti simulovaných dat vůči pozorovaným datům. Výpočet je uskutečněn pomocí funkce  $gof()$  z balíčku hydroGOF<sup>1</sup>.

Po zvolení „Přepínání parametrů“ se v bočním panelu objeví pole s nabídkou parametrů (*Spa, Alf, Dgm, Soc, Mec, Grd*). Momentálně „Přepínání parametrů“ obsahuje pouze panel s mapovým výstupem pro vizualizaci plošného rozložení parametrů. UPOVY jsou zbarveny podle stávajících hodnot parametru (current).

Po zvolení m-denních průtoků se objeví v bočním panelu nabídka m-denních vod (*Q30d, Q60d, Q90d, Q120d, Q150d, Q180d, Q210d, Q240d, Q270d, Q300d, Q330d, Q355d, Q364d*). Také se objeví pole „Vyhledávání útvaru“, které propojuje mapový a grafický panel. Útvary mapového výstupu se zbarvují podle hodnoty proměnné, kterou zvolí uživatel. Grafickým výstupem je Plotly objekt, který obsahuje seřazené hodnoty pozorovaných a simulovaných m-denních průtoků pro zvolené povodí. Tabulkový výstup obsahuje tytéž hodnoty. Komponenta je na obr. 11.

## ZÁVĚR

V předloženém příspěvku je ukázka navrženého systému, který by měl být v letošním roce zprovozněn v testovacím režimu, tzn. bude provedeno propojení jednotlivých komponent modelu a model bude kalibrován v rozlišení vodních útvarů. Vzhledem k tomu, že model teprve vzniká, tak není možné prezentovat jeho konkrétní výsledky. Dalším cílem je propojení modelu s aktuálními daty, tzn. propojení na databázi ČHMÚ a tvorbu předpovědi hydrologické a vodohospodářské bilance pro období následujících několika týdnů.

## Poznámky

1. <https://rain1.fsv.cvut.cz/docs/projekt.html#vypocet-uhrnu-navrhovych-srazek>

## Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci úkolů řešených pro Ministerstvo životního prostředí České republiky a na základě výsledků různých výzkumných úkolů.

## Literatura

- [1] BLINKA, P. *Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876–2003*. Seminář Extrémny počasí a podnebí. Brno, 2004.
- [2] PETERS, E. *Propagation of drought through groundwater systems: illustrated in the Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments*. Wageningen Universiteit, 2003.
- [3] BRATRŠOVSKÁ, L. *Vyhodnocení propagace sucha hydrologickým cyklem na povodí Tiché Orlice a Střely*. Diplomová práce. Praha: ČZU, 2013.
- [4] PANU, U. and SHARMA, T. *Challenges in drought research: some perspectives and future directions*. Hydrological Sciences Journal, 2002, vol. 47, No. S1, p. 19–30.
- [5] HAYES, M.J. *Drought indices*. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, 2000.
- [6] WITT, J.L. *National Mitigation Strategy: Partnerships for Building Safer Communities*. Diane Publishing, 1997.
- [7] TRNKA, M., SEMERÁDOVÁ, D., EITZINGER, J., et al. *Selected methods of drought evaluation in South Moravia and Northern Austria. XI. International poster day. Transport of water, chemicals and energy in soil-crop atmosphere system*. Bratislava: Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, 2003.
- [8] WILHITE, D.A. *Drought as a natural hazard: concepts and definitions*. Drought, a global assessment, 2000, No. 1, p. 3–18.
- [9] BRÁZDIL, R., TRNKA, M., MIKŠOVSKÝ, J., ŘEZNIČKOVÁ, L., and DOBROVOLNÝ, P. *Spring-summer droughts in the Czech Land in 1805–2012 and their forcings*. *International Journal of Climatology*, Wiley, 2015, vol. 35, No. 7, p. 1405–1421. ISSN 1097-0088. DOI: 10.1002/joc.4065.
- [10] WANDERS, N., VAN LANEN, H., and VAN LOON, A.F. *Indicators for drought characterization on a global scale*, 2010.
- [11] STAHL, K. et al. *Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2010, 14, p. 2367–2382.
- [12] KUNDZEWICZ, Z.W. *Water resources for sustainable development*. *Hydrological Sciences Journal*, 1997, vol. 42, No. 4, p. 467–480.
- [13] VIZINA, A., HANEL, M., MELIŠOVÁ, E. *Analýza propagace sucha pomocí generátoru počasí*. *Vodní hospodářství*, 2015, roč. 56, č. 6, s. 5–11. ISSN 1211-0760.
- [14] VIZINA, A., HORÁČEK, S., a HANEL, M. *Nové možnosti modelu Bilan*. *VTEI*, 2015, roč. 55, s. 4–5.
- [15] HLAVINKA, P. et al. *Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates*. *Agricultural Water Management*, 2011, 98,8, p. 1249–1261.
- [16] BUDÍK, L., ŠERCL, P., KUKLA, P., LETT, P., a PECHA, M. *Odvození základních hydrologických údajů za referenční období 1981–2010*. Praha: ČHMÚ, 2014, 72 s.
- [17] GUPTA, H.V., KLING, H., YILMAZ, K.K., and MARTINEZ, G.F. *Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modeling*. *Journal of Hydrology*, 2009, vol. 377, No. 1–2, p. 80–91.
- [18] MÁČA, P., VIZINA, A., a HORÁČEK, S. *Optimalizace parametrů modelu Bilan metodou SCDE*. *VTEI*, 2013, roč. 55, č. 4, s. 1–4, příl. Vodního hospodářství č. 8/2013.
- [19] ALLEN, M. *Do it yourself climate prediction*. *Nature*, 1999, 401, 642.
- [20] TRNKA, M. et al. *Simple snow cover model for agrometeorological applications*. *Agricultural and forest meteorology*, 2010, 150, 7–8, p. 1115–1127.

## Autoři

**Ing. Adam Vizina, Ph.D.**<sup>1,2</sup>

✉ adam.vizina@vuv.cz

**doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**<sup>1,2</sup>

✉ martin.hanel@vuv.cz

**prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D.**<sup>3</sup>

✉ trnka@yahoo.com

**RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.**<sup>4</sup>

✉ danhelka@chmi.cz

**Bc. Irina Gregorieová**<sup>1,2</sup>

✉ irina.gregorieova@vuv.cz

**Ing. Petr Pavlík**<sup>1,2</sup>

✉ petr.pavlik@vuv.cz

**Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.**<sup>2</sup>

✉ hermanovsky@fzp.czu.cz

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

<sup>2</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí

<sup>3</sup>Ústav globální změny CzechGlobe

<sup>4</sup>Český hydrometeorologický ústav

Príspevek prošel lektorským řízením.

---

## HAMR: ONLINE DROUGHT MANAGEMENT SYSTEM – OPERATIONAL MANAGEMENT DURING A DRY EPISODE

**VIZINA, A.**<sup>1,2</sup>; **HANEL, M.**<sup>1,2</sup>; **TRNKA, M.**<sup>3</sup>; **DANHELKA, J.**<sup>4</sup>; **GREGORIEOVA, I.**<sup>1,2</sup>; **PAVLIK, P.**<sup>1,2</sup>; **HERMANOVSKY, M.**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TGM Water Research Institute, p. r. i.

<sup>2</sup>Czech University of Life Sciences in Prague, Faculty of the Environment

<sup>3</sup>Institute of Global Change CzechGlobe

<sup>4</sup>Czech Hydrometeorological Institute

**Keywords:** drought – decision support tools – hydrological balance – water resources management

Increasing occurrence of drought periods in the Czech Republic has highlighted a necessity of legislation modification. At the same time, a need has emerged for tools supporting decision making and water resources management at various levels during the drought periods. The general principles of proposed tool/system are described in the present paper. The system is based on the coupling of models for soil water, hydrological and water resources balance. These models, together with input climate data, are capable of representing meteorological, agricultural and hydrological drought. The system will provide information on current and medium range forecast of water resources state. This will form a basis for operational water resources management.