# HYDROLOGICKÁ BILANCE MNOŽSTVÍ VODY PROVÁDĚNÁ V ČHMÚ

*Radek Vlnas*[1]

**Abstrakt**

Vedení vodní bilance jednou ze základních činností v oblasti zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod. Hydrologická bilance množství vody prováděná v ČHMÚ od roku 2002 poskytuje pro sestavení vodní bilance část podkladů. Bilance množství vody je vyhodnocována pro 74 povodí a 10 bilančních oblastí v měsíčním kroku. Obsahuje údaje o atmosférických srážkách, celkovém odtoku, základním odtoku, zásobách vody ve sněhové pokrývce, změnách zásob podzemní vody a přirozených průtocích vody ve vodních tocích.

**Klíčová slova**: hydrologická bilance, srážko-odtokové modelování

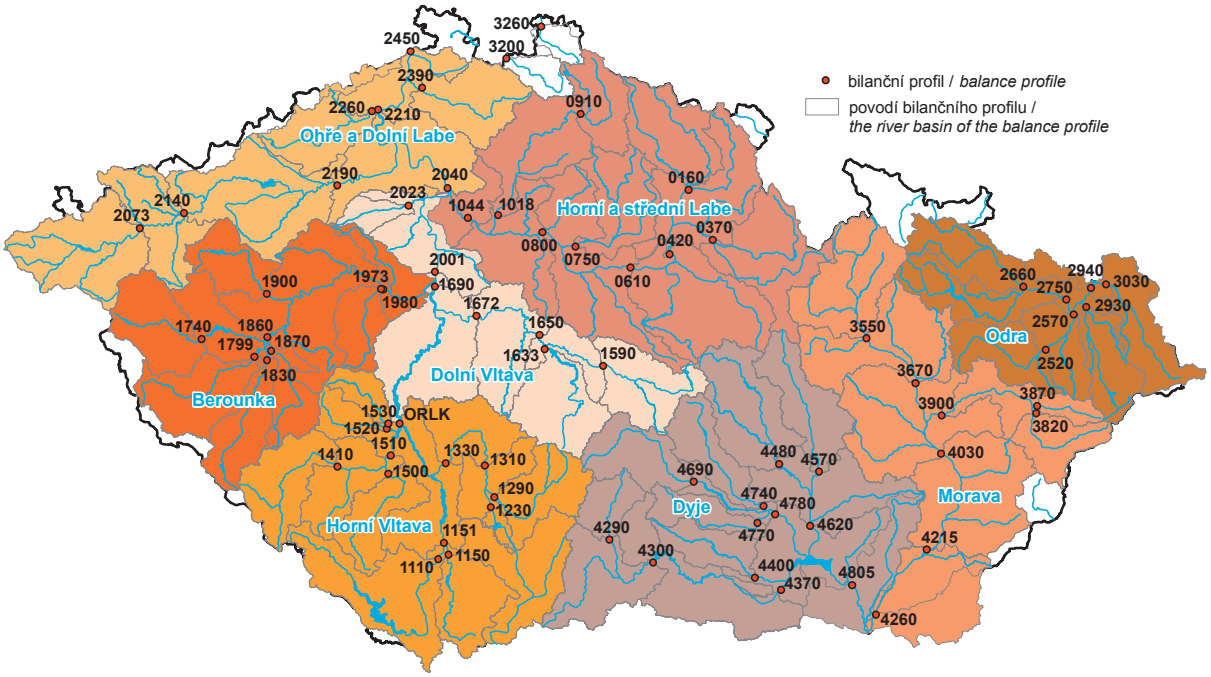
## 1. Úvod

Podle zákona č. 254/2001 Sb. o vodách (vodní zákon) je vedení vodní bilance jednou ze základních činností v oblasti zjišťování a hodnocení stavu povrchových a podzemních vod. Vodní bilance podle vodního zákona sestává z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. Hydrologická bilance porovnává přírůstky a úbytky vody a změny vodních zásob v území za daný časový interval. Vodohospodářská bilance porovnává požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu. Obsah vodní bilance a způsob jejího sestavení následně upravila vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb. Hydrologickou bilanci sestavuje v souladu s uvedenou vyhláškou a na základě pověření Ministerstva životního prostředí Český hydrometeorologický ústav. Vodohospodářskou bilanci za oblasti povodí sestavují správci povodí. Hydrologická bilance se skládá z bilance množství vody a bilance jakosti vody.

## 2. Hydrologická bilance množství vody

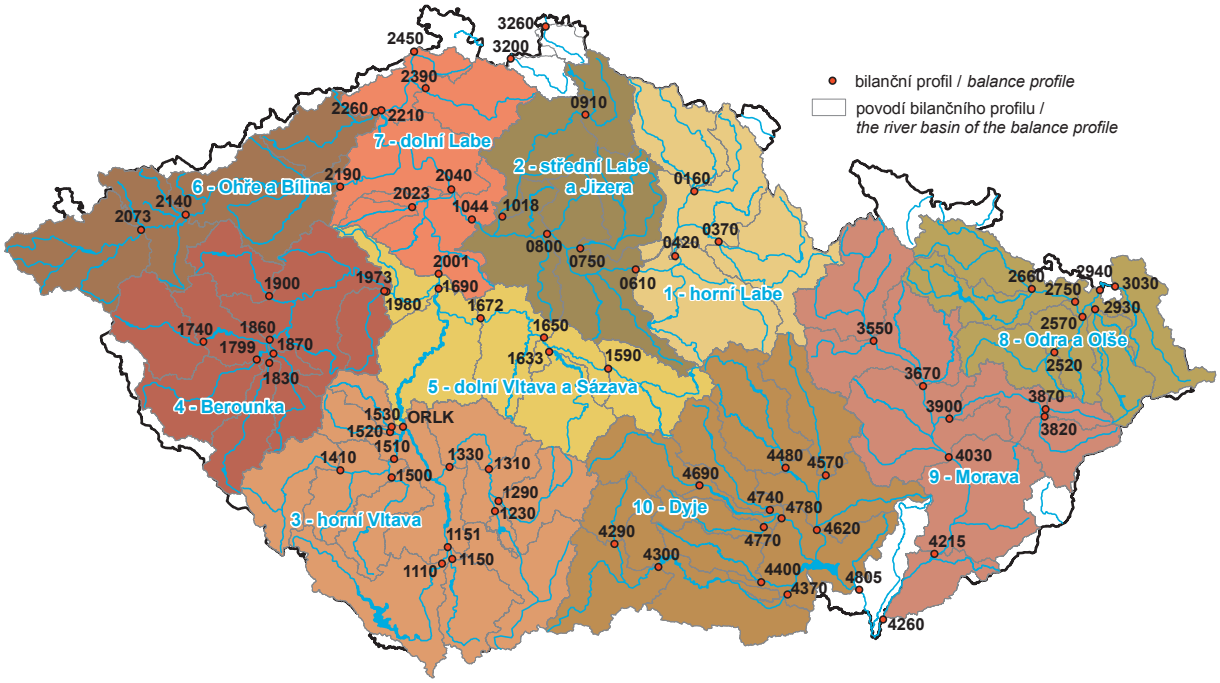
ČHMÚ vyhodnocuje Hydrologickou bilanci množství vody v ČR od roku 2002. K tomu účelu byla provedena rozsáhlá kalibrace modelů hydrologické bilance na základě dat od roku 1980. Hydrologická bilance zahrnuje porovnání srážek, přítoků a odtoků vody a změn vodních zásob v povodí, území nebo vodním útvaru za daný časový interval. Hydrologická bilance hodnotí změny zásob povrchové a podzemní vody způsobené časovou a prostorovou proměnlivostí přirozených vlivů, zejména klimatických činitelů a vytváří podklad pro hodnocení změn zásob vody, které jsou způsobeny užíváním vody nebo jinými antropogenními zásahy.

Zpráva Hydrologické bilance množství vody se skládá z textové části a tabulkové části. Slovní vyhodnocení je provedeno pro 8 oblastí povodí podle vodního zákona (Obr. 1) - povodí Horního a středního Labe, Horní Vltavy, Berounky, Dolní Vltavy, Ohře a Dolního Labe, Odry, Moravy a povodí Dyje.




Obr. 1: Rozdělení České republiky do 8 oblastí povodí

Takto stanovené oblasti povodí však není vždy možné bilančně uzavřít, protože v některých případech nejsou v závěrovém profilu k dispozici příslušná data průtoků. Pro výpočtovou část bilance množství vody je tedy území České republiky rozčleněno do 10 bilančních oblastí, se snahou o co největší přiblížení oblastem povodí podle vodního zákona. Oblast povodí Horního a středního Labe byla ještě rozdělena na dvě bilanční oblasti, rovněž oblast povodí Ohře a Dolního Labe byla rozdělena na dvě oblasti (Obr. 2).




Obr. 2: Rozdělení České republiky do 10 bilančních oblastí

V těchto bilančních oblastech je bilance počítána pro 74 povodí (Tab. 1). Výpočet je prováděn v měsíčním kroku. Výstupy bilance množství v těchto povodích obsahují údaje o:

– atmosférických srážkách,

– celkovém odtoku,

– základním odtoku,

– zásobách vody ve sněhové pokrývce,

– změnách zásob podzemní vody,

– přirozených průtocích vody ve vodních tocích.

Příklad výstupu Hydrologické bilance množství vody v roce 2008 pro stanici 0420 Němčice na Labi uvádí Tab. a Obr. 3.

Tab. 1: Seznam bilančních profilů množství vody podle příslušnosti k bilančním oblastem

| Bilanční oblast | Kód oblasti | Bilanční profily |
|---|---|---|
| horní Labe | 1 | 0160, 0370, 0420, 0610 |
| střední Labe a Jizera | 2 | 0750, 0800, 0910, 1018, 1044 |
| horní Vltava | 3 | 1110, 1150, 1151, 1230, 1290, 1310, 1330,1410, 1500, 1510, 1520, 1530, ORLK |
| Berounka | 4 | 1740, 1799, 1830, 1860, 1870, 1900, 1973, 1980 |
| dolní Vltava a Sázava | 5 | 1590, 1633, 1650, 1672, 1690, 2001 |
| Ohře a Bílina | 6 | 2073, 2140, 2190, 2260, 2210 |
| dolní Labe | 7 | 2023, 2040, 2390, 2450 |
| Odra a Olše | 8 | 2520, 2660, 2570, 2750, 2930, 2940, 3030, (3200, 3260) |
| Morava | 9 | 3550, 3670, 3820, 3870, 3900, 4030, 4215, 4260 |
| Dyje | 10 | 4290, 4300, 4370, 4400, 4480, 4570, 4620, 4690, 4740, 4770, 4780, 4805 |

## 2.1 Vývoj bilance množství vody v ČHMÚ

Od roku 2002 byla hydrologická bilance množství vody počítána pro 54 vodoměrných stanic. V roce 2005 došlo k zavedení fiktivní stanice Orlík vtok. Stanice slouží k úpravě vymezení bilančních oblastí povodí horní Vltavy a povodí dolní Vltavy tak, aby lépe odpovídaly plošnému rozsahu oblastí povodí podle působnosti správců povodí. V textové části došlo k rozšíření o popis vývoje zásob vody ve sněhové pokrývce a teplot vzduchu, tedy veličin sledovaných sítí klimatologických stanic ČHMÚ. Rovněž byl změněn způsob vyhodnocení zásob vody ve sněhové pokrývce, kdy bylo modelování sněhové vodní hodnoty hydrologickým modelem nahrazeno výpočtem podle metody navržené L. Němcem.

V roce 2006 došlo k rozšíření počtu povodí na 74. Jednalo se jednak o stanice sloužící k doplnění tam, kde původně vymezená bilanční povodí byla plošně rozsáhlá (povodí Jizery, Berounky, Vltava, Dyje), dále o stanice v okrajových částech republiky, jejichž povodí pokrývají dříve nebilancované oblasti státu (severní Čechy a jižní Morava). V roce 2007 byl

změněn způsob výpočtu základního odtoku a hodnocení stavu podzemních vod. Úrovně hladin ve vrtech a vydatnosti pramenů jsou zařazovány na dlouhodobou měsíční křivku překročení (DMKP). Ta je spočítána z období 1971-2000. Hodnota menší než 50 % značí stav nadnormální (hladina ve vrtu či vydatnost pramene byla ve srovnávacím období překročena v méně než 50 % případů), větší než 50 % značí stav podnormální.

Od roku 2008 obsahují tabulky pro srážky, celkový měřený odtok, základní odtok a zásobu vody ve sněhové pokrývce procentuální vyjádření jejich vztahu k dlouhodobému normálu. Normálová období odpovídají praxi v jednotlivých odděleních ČHMÚ: průměrný měsíční odtok je vyhodnocen pro období 1961–2005, normály srážek a zásoby ve sněhu pro období 1961–2000 a základní odtok je vzhledem ke kratším řadám pozorování porovnáván s obdobím 1971–2000.

Průtok celkový měřený, základní i přirozený je v tabulkách vzhledem k přesnosti jejich vyhodnocení uváděn na tři platné číslice.

## 3. Metodika hydrologického bilancování množství vody

Sestavení hydrologické bilance množství vody probíhá ve třech fázích.

### 3.1 Příprava vstupních dat

Předpokladem pro to, aby mohla být zpracována hydrologická bilance je příprava dat a zpracování víceletých pozorovaných řad bilančních veličin z povodí, pro která se bilance zpracovává.

Jak udává Tab. 2, jedná se konkrétně o:

– Výběr datových řad o průtocích, teplotě vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu v měsíčním kroku (pro bilanční model) a srážkových úhrnech, výšce sněhové pokrývky, výšce nového sněhu a tlaku vodních par v denním kroku (pro stanovení vodní hodnoty sněhu) za referenční období od roku 1980.

– Očištění průtokových dat od vlivu odběrů povrchové i podzemní vody, vypouštění, manipulací nádrží, a převodů vody i očištění pozorování hladin podzemních vod a vydatností pramenů od vlivu významných odběrů podzemní vody. Tato část byla zpracována ve Výzkumném ústavu vodohospodářském (VÚV T. G. Masarika v.v.i.) na základě údajů o odběrech a vypouštění významných uživatelů, údajů o významných akumulacích a na podkladě dat měřených v ČHMÚ.

Ne všechny bilanční veličiny lze vyčíslit z měření. Některé bilanční veličiny je možné odhadovat podle jejich vztahu k jiným, měřeným, veličinám a některé bilanční veličiny lze odhadnout jen modelováním hydrologického procesu. K tomu účelu je využíván srážko-odtokový model SimBa rozvíjený ve VÚV T. G. Masarika v.v.i [1]

U značně ovlivněných odtokových režimů je však obtížné správně posoudit všechny umělé zásahy a eliminovat jejich vliv, což může nepříznivě ovlivnit následné sestavení hydrologické bilance ve sledovaném profilu.

### 3.2 Výpočet časových řad prvků hydrologické bilance

Pro povodí probíhá následovně:

– Úhrn srážek je vyčíslován podle měření ve srážkoměrných stanicích. Pro výpočet srážkových výšek na povodí je využívána metoda Orografické interpolace srážek [2, 3], která využívá předpoklad lineární regresní závislosti úhrnu srážek na nadmořské výšce.

– Teplota a relativní vlhkost vzduchu – se hodnotí obdobně jako u výpočtu úhrnu srážek.

Tab. 2: Přehled veličin hydrologické bilance

| Veličina | Jednotky | Použitý způsob stanovení | Zdroj dat |
|---|---|---|---|
| Srážky | mm | Orografickou interpolací z bodových pozorování ve srážkoměrných stanicích | databáze ČHMÚ |
| Celkový odtok | $m^3.s^{-1}$<br>mm | Pozorování vodních stavů a hydrometrická měření v závěrovém profilu povodí | databáze ČHMÚ |
| Základní odtok | $m^3.s^{-1}$<br>mm | Vyčlenění z průběhu celkového odtoku | databáze ČHMÚ |
| Zásoba vody ve sněhové pokrývce | mm | Výpočtem podle Němce | databáze ČHMÚ |
| Změny zásob podzemní vody | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Přirozený průtok | mm<br>$m^3.s^{-1}$ | Pozorování vodní stavů, korekce podle údajů o umělých regulacích | ČHMÚ, VÚV, podniky Povodí |
| Přímý odtok 1 | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Přímý odtok 2 | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Zásoba vody v půdě | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Potenciální evapotranspirace | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Územní výpar | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Relativní vlhkost vzduchu | % | Orografickou interpolací z bodových pozorování klimatologických stanic | databáze ČHMÚ |
| Teplota vzduchu | °C | Orografickou interpolací z bodových pozorování klimatologických stanic | databáze ČHMÚ |
| Dotace zásob podzemní vody | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |
| Perkolace | mm | Modelovým výpočtem | model SimBa |

– Celkový odtok z povodí je vyhodnocen na základě pozorování vodních stavů a měrných křivek průtoků v závěrovém vodoměrném profilu.

– Základní odtok je získáván z celkového odtoku automatickou separací podle Eckhardta. Metodě je věnován samostatný příspěvek v tomto sborníku, viz Vlnas sekce 3.

– Zásoba vody ve sněhové pokrývce je stanovována výpočtem metodikou navrženou podle L. Němce. Z modelových simulací je patrné, že model SimBa vzhledem k měsíčnímu kroku výpočtu neumožňuje odhadnout zásoby vody ve sněhové pokrývce s dostatečnou přesností a zásoby soustavně podhodnocuje. Dalším důvodem je snaha co nejvíce využít veličiny měřené v síti stanic ČHMÚ a modelovat pouze veličiny, které není možné měřit přímo nebo je z přímo měřených hodnot odvodit. Vodní hodnota sněhu je sice rovněž měřenou veličinou, ale týdenní četnost měření není pro naše potřeby dostatečná (měsíční průměr je počítán pouze ze 4 hodnot). Do výpočtu metodou podle Němce vstupují denní srážkové úhrny, výška nového sněhu, celková výška sněhu, tlak par. Výpočet je založen na těchto základních předpokladech:

- Přírůstek vodní hodnoty díky novému sněhu je roven srážkám, pokud tyto nejsou příliš vysoké. V tom případě je přírůstek takový, aby hustota nového sněhu byla 0,2 $g.cm^{-3}$.
- Přírůstek vodní hodnoty sněhu je omezen schopností sněhu pojmout vodu. Tato schopnost je přímo úměrná výšce sněhu a nepřímo úměrná jeho hustotě.
- Sníh je schopen přijímat vzdušnou vlhkost.
- Časové řady vodní hodnoty sněhu v denním kroku ve stanicích monitorovací sítě ČHMÚ jsou přepočítávány do rastrů průměrných měsíčních vodních hodnot rovněž metodou orografické interpolace srážek.
- Srážkový úhrn, teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a vodní hodnota sněhu na konkrétní povodí je řešena pomocí skriptů v prostředí ArcGIS, kdy je určována průměrná hodnota veličiny z rastru odpovídajícímu příslušnému povodí.

### 3.3 Bilanční výpočty

Pro analýzu hydrologické bilance byl využit model SimBa [1], který schematizuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace (do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí) a v zóně podzemní vody. Model hydrologické bilance se skládá z několika dílčích algoritmů, kterými se modelují základní bilanční procesy v dílčích zónách povodí (jde o dělení ve vertikálním členění).

Parametry modelu jsou buď volné, fyzikálně dané nebo je považujeme za konstantní. Volné parametry se odhadují tak, aby se průběh zvolené modelované veličiny podle vybraného kritéria co nejvíce shodoval s pozorováním. Pro odhad parametrů byl použit proces dvou-stupňové optimalizace podle celkového odtoku a výsledky dlouhodobých pozorování.

Územní výpar nelze měřit přímo. Časové řady hodnot územního výparu jsou proto stanoveny výpočtem pomocí modelu SimBa. Podstatou modelování je popis akumulace vody ve formě zásoby vody v půdě a její využití pro výpar. Při výpočtu se vychází z předpokladu, že když je v daném měsíci srážka větší, než potenciální evapotranspirace, je výpar roven potenciální evapotranspiraci. Pokud je srážka menší než potenciální evapotranspirace, využívá se pro výpar i část vody v půdě. V závislosti na stupni nasycení půdy se velikost výparu oproti potenciální evapotranspiraci zmenšuje. Potenciální evapotranspirace je v modelu řešena pomocí empirických grafů udávajících její velikost v závislosti na hodnotě sytostního doplňku [4]. Sytostní doplněk je počítán podle průměrných teplot a průměrných relativních vlhkostí vzduchu v konkrétním měsíci.

Změny zásob podzemní vody jsou určovány bilančně z rozdílu srážek, aktuální evapotranspirace, změny zásob půdní vody a zásob ve sněhové pokrývce a odtoku.

## 4. Závěr

Výpočet hydrologické bilance množství vody v ČR se stal standardní průběžně rozvíjenou úlohou, při níž je využíván rozsáhlý soubor dat z monitorovací sítě ČHMÚ a prostředky GIS. Simulace srážkoodtokového procesu modelem SimBa umožňuje vyhodnocovat bilanční veličiny, které není možné přímo měřit.

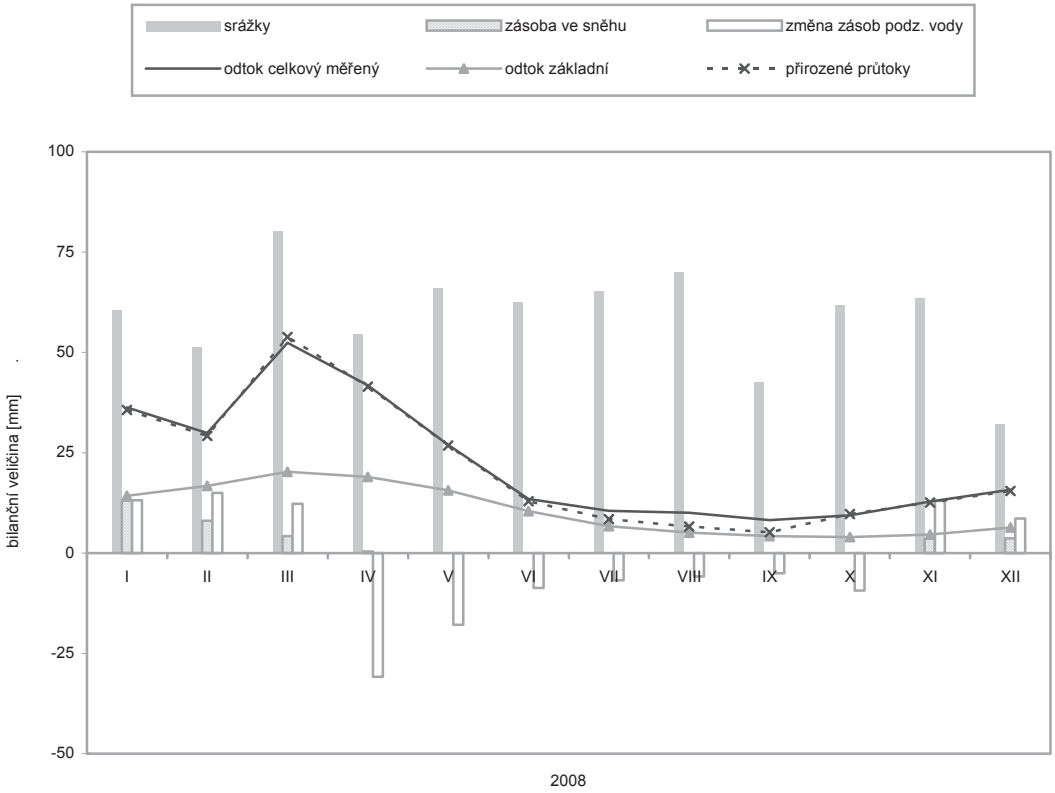
Další vývoj lze spatřovat v řešení bilance také pro mezipovodí. To se týká především odtoku, klimatické veličiny lze uvedenou metodou vyhodnocovat pro libovolně zvolenou plochu. Tím by přirozeně také došlo k přiblížení výpočtů a textového hodnocení bilance.

Rovněž by bylo vhodné uvádět průtoky ve vodoměrných stanicích s m-denními nebo N-letými hodnotami odtoku.

Tab. a Obr. 3: Příklad výstupu Hydrologické bilance množství vody pro stanici 0420 Němčice na Labi v roce 2008

| tok | vodoměrná stanice | dtb stanice | plocha povodí [km$^2$] |
|---|---|---|---|
| Labe | Němčice | 0420 | 4301 |

| měsíc | srážky | | odtok celkový měřený | | | odtok základní | | | zásoba ve sněhu | | změna zásob podz. vody | přirozené průtoky | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [mm] | *% norm.* | [mm] | [m$^3$.s$^{-1}$] | *% norm.* | [mm] | [m$^3$.s$^{-1}$] | *% norm.* | [mm] | *% norm.* | [mm] | [mm] | [m$^3$.s$^{-1}$] |
| I | 60.5 | *103%* | 36.3 | 58.3 | *111%* | 14.3 | 23.0 | *95%* | 13.1 | *33%* | 13.2 | 35.7 | 57.3 |
| II | 51.3 | *105%* | 29.9 | 51.4 | *89%* | 16.7 | 28.7 | *116%* | 8.1 | *15%* | 15.0 | 29.2 | 50.1 |
| III | 80.3 | *145%* | 52.4 | 84.1 | *106%* | 20.2 | 32.5 | *112%* | 4.3 | *11%* | 12.3 | 53.8 | 86.5 |
| IV | 54.5 | *118%* | 41.8 | 69.3 | *90%* | 19.0 | 31.5 | *92%* | 0.4 | *6%* | -30.9 | 41.5 | 68.8 |
| V | 65.9 | *89%* | 27.0 | 43.3 | *80%* | 15.6 | 25.1 | *86%* | 0 | | -17.9 | 26.8 | 43.1 |
| VI | 62.5 | *71%* | 13.5 | 22.4 | *62%* | 10.5 | 17.4 | *87%* | 0 | | -8.7 | 12.9 | 21.4 |
| VII | 65.3 | *70%* | 10.5 | 16.9 | *47%* | 6.7 | 10.8 | *62%* | 0 | | -6.8 | 8.4 | 13.6 |
| VIII | 69.9 | *85%* | 10.0 | 16.1 | *52%* | 5.1 | 8.24 | *54%* | 0 | | -5.8 | 6.6 | 10.6 |
| IX | 42.5 | *67%* | 8.2 | 13.6 | *45%* | 4.3 | 7.06 | *53%* | 0 | | -5.0 | 5.2 | 8.63 |
| X | 61.8 | *113%* | 9.4 | 15.1 | *52%* | 4.0 | 6.35 | *50%* | 0 | | -9.4 | 9.7 | 15.6 |
| XI | 63.4 | *102%* | 12.8 | 21.3 | *59%* | 4.6 | 7.71 | *53%* | 3.6 | *118%* | 13.0 | 12.6 | 20.9 |
| XII | 32.0 | *45%* | 15.8 | 25.4 | *53%* | 6.4 | 10.2 | *57%* | 3.7 | *21%* | 8.6 | 15.5 | 24.8 |
| 2008 | 709.8 | *89%* | 267.6 | 36.4 | *77%* | 127.4 | 17.4 | *83%* | 33.1 | *21%* | -22.3 | 257.9 | 35.1 |



## Literatura

[1] KAŠPÁREK, L. et al., 2006. Dopad klimatické změny na Českou republiku podle regionálních klimatických scénářů (Climate change impact in the Czech Republic by using regional climate scenarios) Research and protection of hydrosphere, Part A. Hydrology. Research report, VÚV T.G.M. Praha, pp 90–105.

[2] ŠERCL, P. – LETT, P., 2002. Výpočet rastru srážek v prostředí GIS. (GIS based computing of precipitation). User's manual for CHMI. CHMI Praha.

[3] ŠERCL, P., 2008. AGHydroInterpolace (Interpolating Procedures for ArcGIS). User's manual. CHMI Praha.

[4] Rekomendacii po rasčotu isparenija s poverchnosti suši. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976.

**Kontakty na autora**

1 Český hydrometeorologický ústav Praha, e-mail: vlnas@chmi.cz