

## Aktuální verze modelu BILAN

BILAN je celistvý konceptuální model v denní/měsíční struktuře (schéma je uvedeno na *obr. 1*), simulující složky hydrologické bilance na povodí. Přestože jeho vývoj byl nastartován ve VÚV TGM již počátkem devadesátých let minulého století, jde o model, který je v České republice stále standardně používán a zůstává přístupný laické i odborné veřejnosti. Například je nedílnou součástí řešení aplikace/systému HAMR [1], ale byl použit i jinde [2–4]. Mezi hlavní výhody modelu oproti jiným řešením patří interní kalibrační algoritmy, možnost přímého vkládání dat o užívání vod a nízká výpočetní náročnost vhodná pro variantní simulování (např. dopadů klimatické změny na vodní režim). Poslední text věnovaný struktuře modelu BILAN vyšel v časopise VTEI 7. srpna 2015 [5], a tak soudíme, že nastal vhodný čas zdokumentovat, že tento simulační nástroj drží krok se současností a struktura modelu je průběžně upravována na základě výzkumných a společenských požadavků. V dnešní době se model BILAN využívá také pro řešení projektů, jako jsou Centrum Voda, PERUN, Interreg CE Thaya aj.

V průběhu času se samozřejmě měnily i obecné trendy ve vývoji softwaru a hydrologického modelování, v důsledku čehož byl původní kód přepsán z jazyka Object Pascal do C++ a dále rozšířen o balík<sup>1</sup> obsahující aplikační programové rozhraní do prostředí R. Též bylo přidáno grafické uživatelské rozhraní a webové prostředí, jež se nachází na adrese <http://bilan.vuv.cz>. Zde lze také nalézt uživatelskou příručku a dokumentaci k modelu. Balík pro R byl původně umístěn v repozitáři *Comprehensive R Archive Network* (CRAN). V nedávné době bylo rozhodnuto o zřízení verzovacího systému pro ukládání zdrojového kódu softwaru přímo hostovaného na serverech VÚV TGM. Zmíněné řešení pochází od společnosti GitLab Inc. a používá dnes standardní bezpečnou technologii pro správu zdrojového kódu – Git. Repozitář modelu BILAN je možné nalézt na adrese <https://git.vuv.cz/hydrology-department/bilan>. Z této webové stránky je rovněž možné provést přímou instalaci balíku R kterýmkoliv uživatelem.

BILAN je aktuálně (k datu vzniku tohoto textu) ve verzi 2022-07-22 a nově obsahuje:

- 1) Alternativní možnosti odhadu potenciální evapotranspirace  $v$ /pro povodí s použitím menšího či většího počtu vstupních proměnných. Mezi ně patří např. denní teplotní minima a maxima, délka dne nebo sluneční radiační konstanta, psychrometrická konstanta či napětí nasycených vodních par. Odhad potenciální evapotranspirace bývá prvním krokem k simulaci vodní bilance na povodí, a proto má jeho přesnost přímý a zásadní dopad na úspěšnost určení zbylých složek bilance. Implementované rovnice, jimiž jsou definovány tyto odhady, jsou známé pod následujícími názvy *Blaney-Criddle (1)* [6], *Priestley-Taylor (2)* [7], *Hamon (3)* [8] a *Hargreaves-Samani (4)* [9]. Dosud byla v modelu k dispozici metoda založená pouze na průměrné denní teplotě a zeměpisné šířce [10]. Tyto techniky mohou buďto poskytnout adekvátnější hodnoty, zejména pokud jsou zmíněné veličiny získány přesným měřením, nebo nabízejí větší variabilitu potřebných vstupů. Kromě toho je jejich implementace vhodná pro srovnávací studie modelů, které pracují s obsáhlými datovými sadami, např. z projektů MOPEX či CANOPEX, v nichž bývá častěji k dispozici denní teplotní rozpětí než průměrné denní teploty.

Kompletní výčet rovnic:

$$ET_0 = p \cdot (0,457 \cdot T_{mean} + 8,128) \quad (1)$$

$$ET_0 = \alpha \cdot \frac{\Delta \cdot (R_n - G)}{\lambda_v \cdot (\Delta + \gamma)} \cdot 1000 \quad (2)$$

$$ET_0 = k \cdot 0,165 \cdot 216,7 \cdot N \cdot \left( \frac{e_s}{T + 273,3} \right) \quad (3)$$

$$ET_0 = 0,0023 \cdot R_n \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot (T_{mean} + 17,8) \quad (4)$$

kde:

$ET_0$  je odhad referenční evapotranspirace

---

<sup>1</sup> Z angl. *Package*, jde o ustálený překlad.

$p$  procentuální vyjádření denních hodin ze dne  
 $T_{mean}, T_{min}, T_{max}$  teplotní statistiky  
 $\alpha$  empirická konstanta pro deficit vodních par  
 $\gamma$  psychrometrická konstanta  
 $\Delta$  sklon křivky napětí nasycených par  
 $G$  hustota tepelného toku do půdy  
 $R_n$  radiační bilance  
 $\lambda_v$  latentní výparné teplo  
 $e_s$  napětí nasycených vodních par  
 $N$  denní doba světla

2) *Kling-Gupta efficiency* (KGE) – kompozitní kalibrační kritérium [11].

KGE je v posledních letech v hydrologii poměrně hojně používané, neboť adresuje nedostatky kritérií, používajících střední kvadratickou chybu. To je i případ známějšího a dlouho používaného kritéria *Nash-Sutcliffe efficiency* [12]. Střední kvadratická chyba je zde rozdělena do tří diagnosticky významných složek – korelace, systematické chyby a variability. Relativní důležitost těchto složek je možné upravit pomocí vah, které jsou přiřazeny vnitřním členům, přičemž výchozí hodnoty jsou rovnoměrné. Obecně obsahuje rovnice KGE (5) korelační člen  $r$  mezi dvěma časovými řadami, dále člen  $\alpha$  pro posouzení systémové chyby a nakonec člen  $\beta$ , který porovnává vzájemnou variabilitu.

$$KGE = 1 - \sqrt{a(r-1)^2 + b(\alpha-1)^2 + c(\beta-1)^2} \quad (5)$$

Existuje více implementací tohoto kritéria. V modelu BILAN je použita konkrétně varianta (6):

$$KGE = 1 - \sqrt{a(r-1)^2 + b\left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2 + c\left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2} \quad (6)$$

kde:

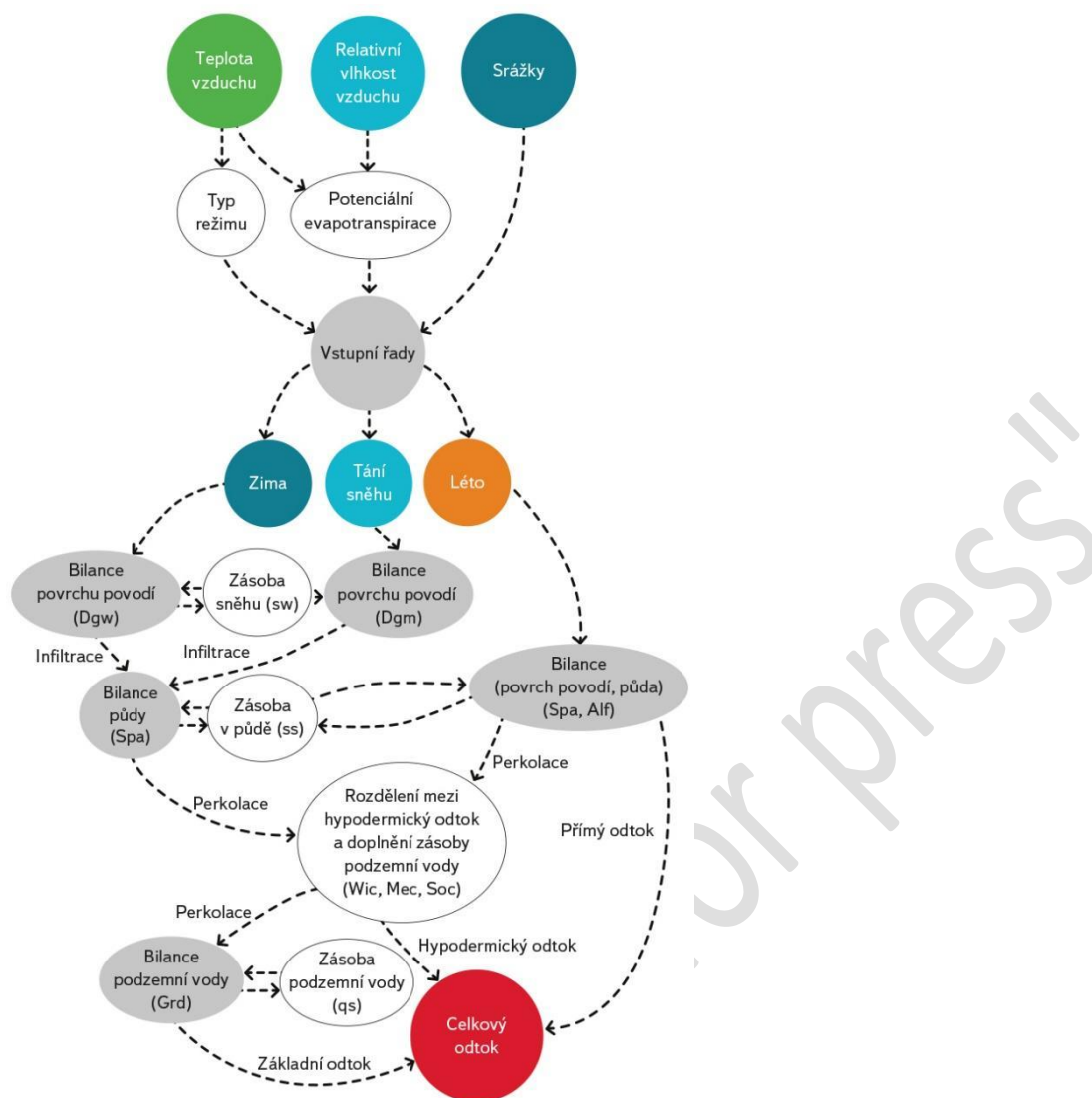
$a, b, c$  jsou váhy členů

$r$  je Pearsonův korelační koeficient

$\mu_{sim}/\mu_{obs}$  podíl středních hodnot

$\sigma_{sim}/\sigma_{obs}$  podíl standardních odchylek obou časových řad

Doména <https://git.vuv.cz> bude v následujících letech sloužit ke zpřístupnění dalšího open-source softwaru, pocházejícího z výzkumné činnosti oddělení hydrologie VÚV TGM. Do konce roku 2022 na ní dojde k přesunu a shodným úpravám také u grafické verze modelu BILAN, kterou navíc čeká přechod na novou, již šestou verzi frameworku Qt.



Obr. 1. Schéma popisující strukturu modelu BILAN v měsíčním výpočetním kroku

## Literatura

[1] VIZINA, A., HANEL, M., TRNKA, M., DAŇHELKA, J. HAMR: on-line systém pro zvládání sucha – webová prezentace pro veřejnost. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2020, 62(5), s. 32–34. ISSN 0322-8916.

[2] VIZINA, A., VYSKOČ, P., PELÁKOVÁ, M., BERAN, A., KOŽÍN, R., PICEK, J. Zabezpečení odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, 63(3), s. 4–18. ISSN 0322-8916.

[3] VIZINA, A., HANEL, M. a kol. *Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice. Zprávy pro státní podniky povodí*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2019.

[4] TRNKA, M., VIZINA, A., HANEL, M., BALEK, J., FISCHER, M., HLAVINKA, P., SEMERÁDOVÁ, D., ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., SKALÁK, P., EITZINGER, J. Increasing Available Water Capacity as a Factor for Increasing Drought Resilience or Potential Conflict over Water Resources under Present and Future

Climate Conditions. *Agricultural Water Management*. 2022, 264, 107460. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107460>

[5] VIZINA, A., HORÁČEK, S., HANEL, M. Nové možnosti modelu BILAN. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, 57(4–5), s. 7–10. ISSN 0322-8916.

[6] BLANEY, H. F., CRIDDLE, W. D. *Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements*. No. 1275. Washington, D. C.: US Department of Agriculture, 1962.

[7] PRIESTLEY, C. H. B., TAYLOR, R. J. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation. *Monthly Weather Review*. 1972, 106, s. 81–92.

[8] HAMON, W. R. *Estimating Potential Evapotranspiration*. PhD dissertation. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1960.

[9] HARGREAVES, G. H., SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. 1985, 1(2), s. 96-99. Dostupné z: <https://doi.org/10.13031/2013.26773>

[10] OUDIN, L., MOULIN, L., BENDJOUDI, H., RIBSTEIN, P. Estimating Potential Evapotranspiration without Continuous Daily Data: Possible Errors and Impact on Water Balance Simulations. *Hydrological Sciences Journal*. 2010, 55(2), s. 209–222. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02626660903546118>

[11] GUPTA, H. V., KLING, H., YILMAZ, K. K., MARTINEZ, G. F. Decomposition of the Mean Squared Error and NSE Performance Criteria: Implications for Improving Hydrological Modelling. *Journal of Hydrology*. 2009, 377(1–2), s. 80–91. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>

[12] NASH, J. E., SUTCLIFFE, J. V. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I – A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*. 1970, 10(3), s. 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

Autoři

**Ing. Petr Pavlík**

[petr.pavlik@vuv.cz](mailto:petr.pavlik@vuv.cz)

ORCID: 0000-0002-6138-1156

**Ing. Adam Vizina, Ph.D.**

[adam.vizina@vuv.cz](mailto:adam.vizina@vuv.cz)

ORCID: 0000-0002-4683-9624