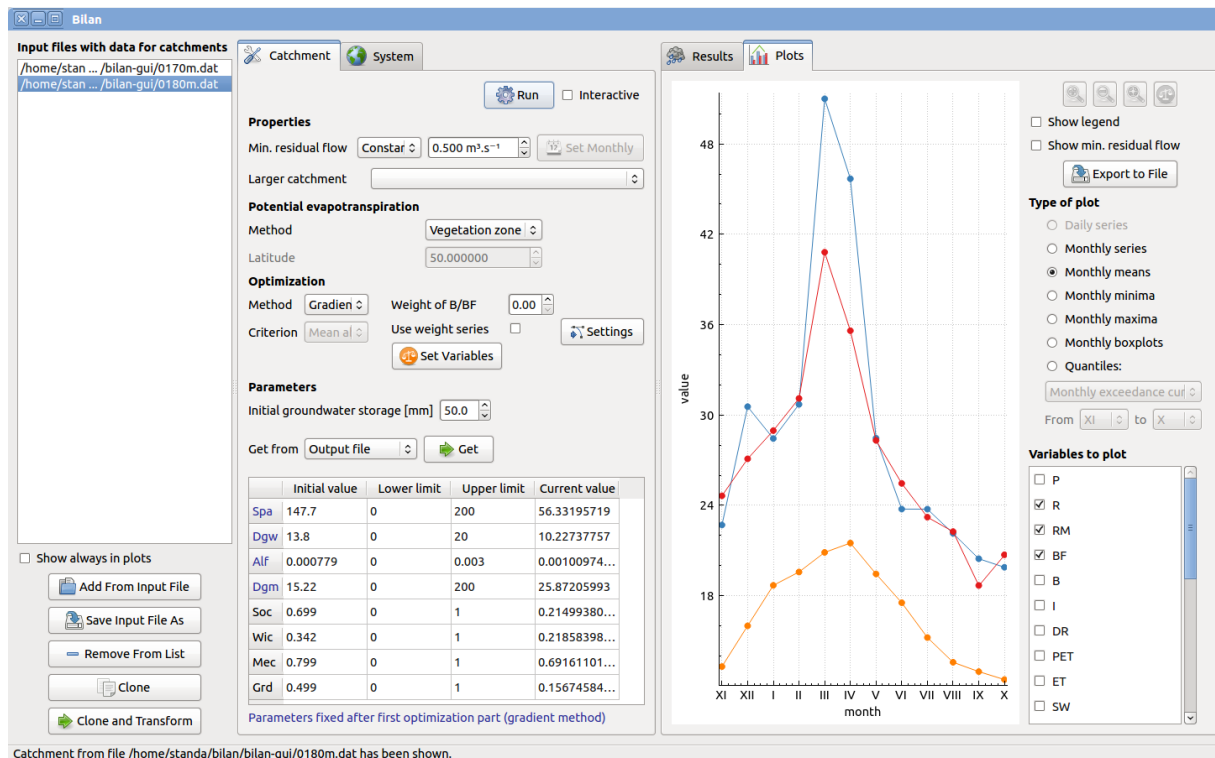


Model hydrologické bilance Bilan

Příručka



verze 2015-06-23

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

18. srpna 2015

Obsah

Úvod	5
Uživatelská příručka	6
1 Instalace	6
1.1 Grafické uživatelské rozhraní	6
1.2 Balík pro R	6
2 Uživatelské rozhraní	7
2.1 Nastavení uživatelského rozhraní	7
2.2 Předvolby aplikace	8
3 Seznam souborů	8
3.1 Načítání vstupních nebo výstupních dat	9
3.2 Transformace vstupních dat	15
4 Vlastnosti povodí	16
4.1 Nastavení veličin	17
5 Nastavení modelu	18
5.1 Výpočet potenciální evapotranspirace	19
5.2 Počáteční zásoba podzemní vody	20
5.3 Parametry modelu	20
5.4 Kalibrace parametrů	22
5.5 Interaktivní spouštění	25
6 Inicializace stavu modelu	26
7 Nastavení a výsledky pro soustavu	26

8	Výsledky a výstup	28
9	Grafy výsledků	33
10	Modifikace modelu	35
10.1	Pouze jediný parametr rozdělující perkolaci	36
10.2	Libovolný časový krok	36
10.3	Veličiny kritéria a jejich váhy	36
Dokumentace modelu		37
1	Popis Oudinovy metody pro odhad PET	37
2	Popis denního typu modelu	38
2.1	Typ režimu	38
2.2	Složky celkového odtoku	38
2.3	Územní výpar a hydrologická bilance v půdě za letních podmínek	38
2.4	Územní výpar a hydrologická bilance na povrchu za zimních podmínek	39
2.5	Územní výpar a hydrologická bilance na povrchu za podmínek tání sněhu	40
2.6	Hydrologická bilance v půdě za podmínek tání sněhu	41
2.7	Rozdělení perkolace na přímý odtok a dotaci podzemní vody	41
2.8	Hydrologická bilance v nádrži pro přímý odtok a přímý odtok	42
2.9	Hydrologická bilance v podzemní vodě a základní odtok	42
3	Popis měsíčního typu modelu	42
3.1	Typ režimu	42
3.2	Složky celkového odtoku	43
3.3	Tvorba přímého odtoku za letních podmínek	43
3.4	Územní výpar a hydrologická bilance v půdě za letních podmínek	44
3.5	Územní výpar a hydrologická bilance na povrchu za zimních podmínek a za podmínek tání sněhu	45
3.6	Hydrologická bilance v půdě za zimních podmínek a podmínek tání sněhu	47
3.7	Rozdělení perkolace na hypodermický odtok a dotaci podzemní vody	47
3.8	Hydrologická bilance v podzemní vodě a základní odtok	48

4	Popis optimalizačního algoritmu SCE-UA	48
5	Popis kritériálních funkcí	49
	Literatura	50

Úvod

Model Bilan simuluje pro dané povodí složky hydrologické bilance. Struktura modelu je dána vztahy, které popisují základní principy hydrologické bilance na povrchu, v půdní zóně, která je ovlivněna vegetačním pokryvem, a v zóně podzemní vody. Pro stanovení energetické bilance, která má na složky hydrologické bilance významný vliv, slouží teplota vzduchu. Časové rozlišení modelu je jeden den nebo jeden měsíc.

Vstupními daty pro výpočet hydrologické bilance jsou denní nebo měsíční řady srážek na povodí, teploty vzduchu a volitelně relativní vlhkosti vzduchu. Ke kalibraci parametrů modelu (prováděné optimalizačním algoritmem) jsou používány simulované a pozorované denní nebo měsíční řady odtoku z uzávěrového profilu povodí.

Model simuluje časové řady denní nebo měsíční potenciální evapotranspirace, územního výparu, infiltrace do půdy a dotace podzemní vody z půdy do podzemní vody. Pro každý časový krok je také simulováno množství vody obsažené ve sněhové pokrývce, v půdě a v zásobě podzemní vody. Všechny tyto hydrologické veličiny se vztahují k celému povodí. Celkový odtok se skládá ze dvou nebo tří součástí, jimiž jsou přímý, hypodermický (pouze pro měsíční krok) a základní odtok.

Model má šest (denní časový krok) nebo osm (měsíční časový krok) volných parametrů a k jejich kalibraci na pozorovaných povodích používá optimalizační algoritmus. Cílem optimalizace je dosáhnout co nejlepší shody mezi pozorovanými a simulovanými řadami odtoku. K dispozici je několik optimalizačních kritérií.

Teplota, případně relativní vlhkost vzduchu slouží pro výpočet potenciální evapotranspirace. Teplota se také používá k odlišení zimních a letních podmínek (typ režimu). Při výskytu sněhové pokrývky se uplatňují algoritmy pro ukládání vody ve sněhu a pro tání sněhu. Voda z roztáleného sněhu a srážková voda infiltrují do půdy. Infiltrovaná voda se může z půdy dostávat k zemědělským plodinám nebo jiné vegetaci. Plodiny či vegetace využívají půdní vlhkost v určité potenciální míře (potenciální evapotranspirace), a to tak dlouho, dokud jí je dostatek. Při nedostatku vody v půdě se územní výpar sníží pod potenciální míru. Za deštivých období, kdy srážky převyšují potenciální evapotranspiraci, se z přebytku zvětšuje zásoba půdní vody. Pokud při tom zásoba půdní vody překročí maximální kapacitu, dochází k perkolaci z půdy. Perkolace z půdy může rychle dosáhnout vodního toku jako hypodermický odtok (pouze měsíční typ), nebo může dotovat zásobu podzemní vody. K povrchovému odtoku, tj. třetí (druhé) složce odtoku, dochází při vysokých srážkových úhrnech.

Uživatelská příručka

1 Instalace

Jádro modelu BILAN je napsáno v programovacím jazyku C++. K tomuto jádru jsou k dispozici dvě rozhraní: grafické uživatelské rozhraní (GUI) založené na knihovnách Qt5 a balík pro statistické a programovací prostředí R.

V této příručce jsou vlastnosti a funkce jádra popsány v částech, které nejsou zvýrazněny.

1.1 Grafické uživatelské rozhraní

Pro systém Windows je dostupný soubor `bilan_VERZE.exe`, přičemž číslo verze odpovídá datu vydání. Pro spuštění tohoto souboru je potřeba 11 souborů `.dll`, z toho 10 souborů musí být umístěno v témže adresáři (např. `libgcc_s_dw2-1.dll`, `mingwm10.dll`, `QtCore5.dll` nebo `QtGui5.dll`) a v podadresáři `platforms` se musí nacházet soubor `qwindows.dll`.

Spustitelný binární soubor je k dispozici také pro systém Linux.

Části specifické pro GUI jsou v této příručce zvýrazněny žlutou barvou.

1.2 Balík pro R

Balík Bilan vyžaduje prostředí R 2.12 nebo novější (doporučena je verze 2.15 nebo novější) s nainstalovaným balíkem Rcpp (verze 0.9.10 nebo novější).

Balík `bilan_VERZE.tar.gz` (pro Linux) nebo `bilan_VERZE.zip` (pro Windows) lze nainstalovat do prostředí R tak, jak se standardně instalují stažené balíky (např. příkazem

`install.packages`). Tato příručka v modře zvýrazněných částech pouze odkazuje na názvy funkcí, Podrobný popis jednotlivých funkcí obsahuje vestavěná nápověda tohoto balíku.

2 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní aplikace sestává ze tří hlavních částí:

- ▷ seznamu souborů s daty pro povodí a nástroji na jejich správu,
- ▷ vlastností povodí a nastavení modelu pro aktuálně vybrané povodí nebo pro soustavu povodí, představovaných kartami *Povodí* a *Soustava*,
- ▷ výsledků výpočtu podle nastavení modelu, představovaných kartami *Výsledky* a *Grafy*.

Velikost těchto částí uživatelského rozhraní je možné měnit, případně je lze úplně skrýt, a to tažením za svislé čáry, které je oddělují.

Aplikaci lze ukončit volbou *Bilan* → *Ukončit* v hlavní nabídce nebo pomocí klávesové zkratky Ctrl+Q.

2.1 Nastavení uživatelského rozhraní

Obecné hodnoty a možnosti nastavené v uživatelském rozhraní se automaticky ukládají a obnovují, jak je v softwarových aplikacích obvyklé. Platí to pro možnosti na kartách *Výsledky* a *Grafy* a v obecných dialogových oknech (*Předvolby*, *Načíst vstupní/výstupní soubor* a *Nastavit veličiny*). Umístění uložené konfigurace závisí na operačním systému: ve Windows je uložena v registrech, v Linuxu v souboru `$HOME/.config/wri/bilan.conf`.

Nastavení vztahující se k určitému povodí vybranému v seznamu (tedy především nastavení optimalizace) je možné uložit a znovu použít pomocí položek nabídky *Nástroje* → *Uložit nastavení povodí* a *Nástroje* → *Načíst nastavení povodí* nebo klávesovými zkratkami Ctrl+S a Ctrl+L. Nastavení se uloží do souboru INI na uživatelem zvolené umístění.

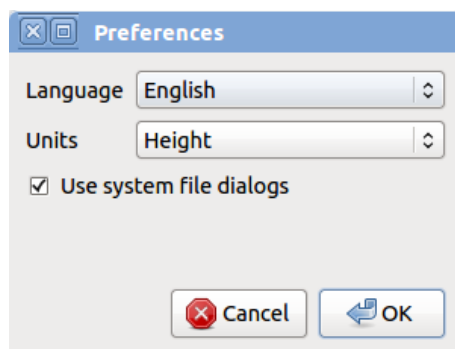
2.2 Předvolby aplikace

Předvolby používané pro celou aplikaci se nastavují v dialogovém okně vyvolaném položkou nabídky *Nástroje* → *Předvolby* nebo klávesovou zkratkou Ctrl+P.

Změna jazyka se projeví okamžitě po potvrzení dialogového okna. V současnosti je dostupná anglická a česká lokalizace.

Jako měrné jednotky lze nastavit hodnoty *Výška* (výška vodního sloupce v milimetrech, výchozí nastavení) nebo *Objem* (tok v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nebo celkový objem za časový krok v m^3). Tato možnost ovlivňuje všechny hodnoty příslušných veličin včetně jejich výstupu do souborů a zobrazení v grafech. Je-li zvolen *Objem*, není možné do seznamu přidat povodí, jež nemá nastavenou plochu.

Použit systémové souborové dialogy zajišťuje, že se místo souborových dialogových oken knihovny Qt budou používat dialogová okna nativní pro dané desktopové prostředí. I když jsou nativní dialogová okna díky své integraci se systémem zpravidla vhodnější, mohou být v jiném jazyce než aplikace (pokud se liší lokalizace systému) a v prostředí KDE mohou způsobovat problémy při přepínání jazyků.



Obrázek 1: Předvolby aplikace Bilan

3 Seznam souborů

Seznam souborů s daty pro povodí se nachází v levé části uživatelského rozhraní. Pod seznamem jsou nástroje umožňující se soubory provádět určité operace.

Jeden ze souborů může být vybrán. Pro toto vybrané povodí se na dalších kartách zobrazují data a grafy. První povodí v seznamu je automaticky přidáno do soustavy povodí (viz část 7).

Aby se nějaké povodí trvale zobrazovalo v grafech, je třeba zaškrtnout pole *Zobrazit vždy v grafech*.

Tlačítka pod seznamem slouží k manipulacím se soubory povodí.

Nové povodí se do seznamu přidá tlačítkem *Přidat ze souboru*. Je možné načítat jak vstupní, tak výstupní soubory. Po výběru jednoho či více souborů se pro každý soubor, který se má přidat, zobrazí dialogové okno *Načíst vstupní/výstupní soubor*. Formát vstupního souboru a možnosti v dialogovém okně popisuje část 3.1, formát výstupního souboru část 8.

Uložit lze vstupní soubor povodí ze seznamu stisknutím tlačítka *Uložit vstupní soubor jako*. Nezadá-li uživatel v souborovém dialogovém okně příponu, automaticky se použije přípona .dat. Vstupní soubory neobsahují informaci o jednotkách, proto je nutné v případě potřeby jednotky nastavit ručně v dialogovém okně *Načíst vstupní/výstupní soubor*.

Povodí se ze seznamu odstraní stisknutím tlačítka *Odstranit ze seznamu*. Odstranění ze seznamu nemá vliv na původní soubor se vstupními daty.

Po stisknutí tlačítka *Naklonovat* se do seznamu přidá nové povodí. To je totožné s povodím, které bylo během klonování vybráno, pouze se změní jeho název na neulozeny_klon. Při klonování se pro povodí nevytváří nový soubor. Pokud takové povodí není před ukončením aplikace uloženo, jeho data budou ztracena.

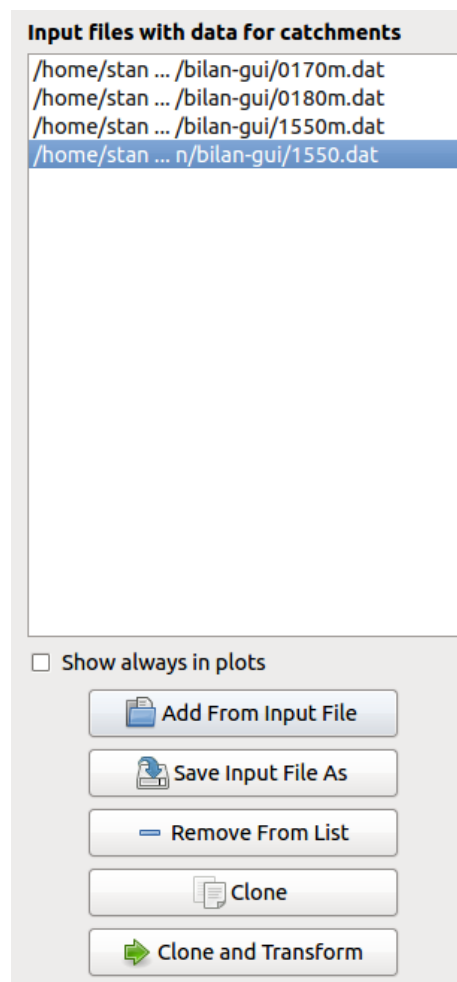
```
bil.clone
```

Tlačítko *Naklonovat a transformovat* vyvolá dialogové okno *Transformovat vstupní data*, v němž lze pro každou vstupní veličinu určit koeficienty transformace (podrobnosti se nacházejí v části 3.2). Po potvrzení tohoto okna se do seznamu přidá nové povodí s transformovanými vstupními časovými řadami a s názvem změněným na neulozeny_transformovany_klon. Pro ukládání tohoto nového povodí platí totéž jako při použití klonování.

3.1 Načítání vstupních nebo výstupních dat

Časové řady veličin lze do modelu Bilan načíst ze dvou typů prostých textových souborů:

- ▷ ze vstupních souborů obsahujících pouze veličiny bez jejich názvů,
- ▷ z výstupních souborů obsahujících veličiny včetně jejich názvů a hodnot parametrů.



Obrázek 2: Seznam souborů s daty pro povodí

Load Input File 0180m.dat

Type
☐ Daily
☒ Monthly

Initial date: 1931-11-01
Catchment area: 247.75 km²
Min. residual flow: 1.000 m³.s⁻¹

Columns of input file: 4 ☐ Include water use

P	R	T	H
mm	mm	°C	%
60.227	54.579	-2.355	88

Cancel OK

Obrázek 3: Dialogové okno *Načíst vstupní soubor*

Oba typy souborů musí být příslušným způsobem formátovány. Formát vstupního souboru je popsán dále v této části. Výstupními soubory se zabývá část 8. Tyto soubory jsou vytvářeny při ukládání výstupů modelu a nedoporučuje se upravovat je ručně.

Název souboru (včetně cesty) nesmí obsahovat speciální znaky či znaky s diakritikou, jinak soubor nebude možné načíst.

Po stisknutí tlačítka *Přidat ze souboru* se zobrazí dialogové okno pro výběr jednoho či více souborů. Následně se pro každý vybraný soubor zobrazí dialogové okno *Načíst vstupní/výstupní data*, v němž je možné dále upřesnit a popsat data pro povodí z tohoto souboru.

Typ modelu – denní nebo měsíční – se volí v části *Typ*. U výstupních souborů je správný typ nastaven automaticky, zatímco u vstupních souborů je typ odhadnut podle hodnot v prvním časovém kroku.

```
bil.new, bil.read.file
```

Metadata povodí

Na prvním řádku vstupního souboru je zadáno počáteční datum časových řad ve formátu RRRR MM DD (odděleno prázdnými znaky). Není-li zadán den, předpokládá se, že se jedná o první den v měsíci. Není-li zadán měsíc, předpokládá se, že rok označuje hydrologický rok začínající

1. listopadu a že počáteční časový krok je první den či měsíc tohoto roku. První časový krok tedy odpovídá kalendářnímu roku, jehož letopočet je o jedna nižší než zadaný hydrologický rok.

Počáteční datum může na prvním řádku volitelně následovat plocha povodí v km², oddělená prázdným znakem. Hodnota na prvním řádku je považována za plochu povodí v případě, že se jedná o čtvrtou hodnotu, nebo je-li hodnota desetinným číslem s tečkou jako oddělovačem.

Počáteční datum, plochu povodí a také prahovou hodnotu lze zadat i v odpovídajících polích dialogového okna *Načíst vstupní/výstupní soubor*. Takto zadanými hodnotami budou data načtená ze souboru nahrazena. Pokročilejší nastavení prahové hodnoty je k dispozici na kartě *Povodí* (viz část 4).

```
bil.set.values, bil.set.area
```

Časové řady veličin

Od druhého řádku vstupního souboru následují denních či měsíční vstupní řady. Řádky odpovídají jednotlivým časovým krokům řad, zatímco sloupce představují jednotlivé veličiny. Chybějící hodnoty lze zadat jako řetězce „NA“.

Výchozí vstupní veličiny jsou nastaveny takto:

1. srážky P [mm],
2. odtok (pozorovaný) R [mm],
3. teplota vzduchu T [°C],
4. relativní vlhkost vzduchu H [%] (volitelná pro Oudinovu metodu stanovení PET nebo pro PET ze vstupních dat),
5. volitelná řada B – tento sloupec může obsahovat jakoukoliv časovou řadu. Tato řada bude vypísána ve výstupních souborech a lze ji použít ve vizualizacích výstupů modelu. Pokud je nastavena nenulová váha pro kalibraci základního odtoku, předpokládá se, že tento sloupec obsahuje řadu základního odtoku (odhadnutého na základě pozorování podzemní vody), která se použije pro srovnání se základním odtokem vypočteným modelem.
6. potenciální evapotranspirace PET [mm] (volitelná),

7. pro simulace zahrnující užívání vod řady odběrů z podzemních vod POD [mm], evidovaných odběrů z povrchových POV [mm], neevidovaných odběrů z povrchových vod PVN [mm] a vypouštění VYP [mm].

Veličiny vstupního souboru jsou zobrazeny v tabulce v dolní části dialogového okna *Načíst vstupní/výstupní soubor*. Počet veličin je stejný jako počet sloupců souboru, ale lze jej zmenšit v poli *Sloupce vstupního/výstupního souboru*. V tabulce jsou zobrazeny tři řádky: rozbalovací seznamy pro výběr veličiny, rozbalovací seznamy pro výběr měrné jednotky pro veličinu a hodnoty z prvního řádku dat.

U vstupního souboru se veličiny vybírají ze seznamu dostupných vstupních veličin. Pokud se má uvažovat užívání vod, je potřeba zaškrtnout pole *Zahrnout užívání vod* a tím seznam rozšířit.

Měrné jednotky se vztahují k hodnotám ve vstupním souboru. Jsou-li jednotky v rozbalovacím seznamu nebo v předvolbách aplikace nastaveny na objem, ale není uvedena plocha povodí, data pro povodí nebude možné načíst.

U výstupního souboru jsou názvy veličin načteny ze souboru a nelze je změnit. Automaticky je nastaveno také užívání vod a příslušné pole je vypnuto. Totéž platí pro měrné jednotky, které jsou rovněž nastaveny podle informací uložených v souboru.

Po potvrzení dialogového okna se soubor načte a přidá do seznamu souborů.

```
bil.read.file, bil.set.values
```

Možnými chybovými zprávami souvisejícími s otevíráním a načítáním souboru jsou:

- ▷ Soubor neexistuje: The input file 'FILE NAME' does not exist. Tato zpráva se zobrazí také tehdy, pokud název souboru obsahuje nedovolené znaky.
- ▷ Některý řádek neobsahuje všechny veličiny (určené počtem veličin): Incomplete line 'LINE CONTENT' found.
- ▷ Není správně zadáno počáteční datum: Invalid date format.
- ▷ V souboru je méně sloupců s veličinami, než je zadáno: Number of columns in file 'FILE NAME' is less than number of input variables.

Pokud je počet sloupců v souboru větší než počet veličin, přebývajících sloupce jsou ignorovány a zobrazí se upozornění: The input file 'FILE NAME' contains more columns than input variables, some columns will be omitted.

Pokud je nějaká veličina zvolena pro více než jeden sloupec, použije se pouze poslední z nich a zobrazí se upozornění: File 'FILE NAME': Variable VARIABLE is set for more columns, only the last one will be used.

Pokud se zdá, že se načetla denní data pro měsíční typ (nebo obráceně), zobrazí se upozornění Pro měsíční typ se zřejmě načítají denní data. (nebo Pro denní typ se zřejmě načítají měsíční data.).

Pokud není zadána plocha povodí, ale je nutné převádět jednotky, zobrazí se chybová zpráva a data pro povodí se nenačtou.

Příklady souborů se vstupními daty

Denní časové řady začínající 1. listopadu 1961:

```
1961 11 1 131.88
0.08    0.7833  5.6    85
0       0.7833  6.9    91
0.2     0.7833  6.1    78
...     ...     ...     ...
```

Měsíční časové řady začínající 1. listopadu 1931 (počátek hydrologického roku 1932):

```
1932 247.75
5.957   17.658  1.454   84
63.117  20.115  -3.574  87
60.227  54.579  -2.355  88
...     ...     ...     ....
```

Poznámka: Kvůli zpětné kompatibilitě je možné použít také starý formát vstupních souborů, pro běžné použití ale není doporučen. Záhloví těchto souborů sestává z celkového počtu časových kroků (první řádek), počtu sloupců (druhý řádek) a počátečního hydrologického roku (třetí řádek). Při načítání dat ze souborů starého formátu se zobrazí upozornění.

Výstupní soubory ve starém formátu nejsou podporovány a načítat je nelze.

Načítání výstupního souboru

Typ modelu je automaticky změněn na typ z výstupního souboru, pokud se s ním neshoduje.

Po načtení výstupního souboru se výpočet změní na prosté spuštění modelu, tj. počet iterací gradientní optimalizace se nastaví na nulu.

Je třeba vzít v úvahu, že výstupní soubor neobsahuje všechny informace potřebné ke spuštění modelu (chybí mj. způsob výpočtu PET). Opětovné spuštění modelu vytvořeného z výstupního souboru tudíž může vést k jiným hodnotám veličin, než které jsou uloženy v souboru.

Kontrola dat

Poté co se data načtou, jsou vypočteny průměrné roční hodnoty (popsané v části 8) všech dostupných řad a tyto hodnoty se spolu s názvem souboru, počtem časových kroků a počátečním i koncovým datem zobrazí na kartě *Výsledky*. To umožňuje zkontrolovat, zda se data načetla správně.

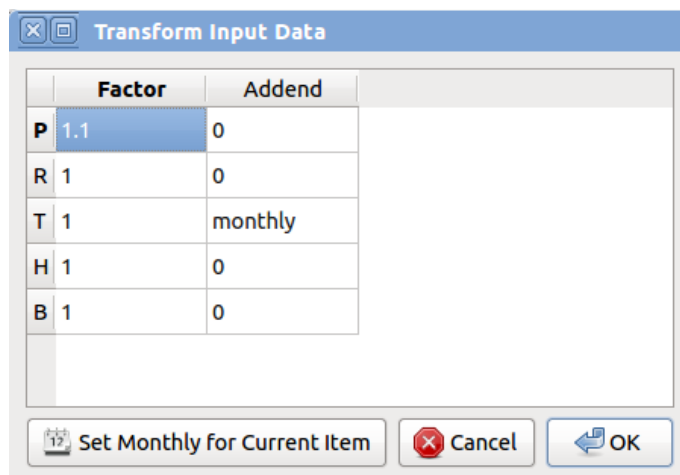
3.2 Transformace vstupních dat

Po stisknutí tlačítka *Naklonovat a transformovat* se zobrazí dialogové okno *Transformace vstupních dat*. V tomto okně je možné nastavit hodnoty pro lineární transformaci vstupních dat, tj. konstantu, která má být přičtena ke všem hodnotám vybrané řady (sčítanec), a konstantu, kterou mají být všechny hodnoty řady vynásobeny (koeficient).

Koeficienty a sčítance mohou být navíc v průběhu roku různé. Tlačítko *Nastavit měsíční pro aktuální položku* vyvolá dialogové okno *Nastavit měsíční hodnoty*, které se vztahuje k aktuálně vybrané buňce tabulky. V tomto okně lze stanovit koeficient nebo sčítanec pro každý kalendářní měsíc. Měsíční hodnoty mohou být také uloženy do textového souboru a později načteny pomocí tlačítek *Uložit* a *Načíst*. Každý řádek tohoto souboru představuje měsíční hodnotu, začíná se od ledna.

Jsou-li takové hodnoty nastaveny, v buňce tabulky se místo hodnoty zobrazí text měsíční; měsíční konstanty lze dále upravovat (po opětovném otevření dialogového okna) nebo měnit na hodnoty, jež jsou během roku konstantní.

Je-li zapnut interaktivní režim (viz část 5.5), při otevření dialogového okna pro transformaci vstupních dat se do seznamu přidá nové povodí. Jakákoliv změna hodnot pro transformaci (včetně změn v okně měsíčních hodnot) spustí pro toto nové povodí výpočet s transformo-



Obrázek 4: Dialogové okno *Transformace vstupních dat*

vanými vstupními daty. Pokud je dialogové okno s transformací potvrzeno, nové povodí v seznamu zůstane, v opačném případě je smazáno.

Jiné možnosti jak transformovat nebo vytvořit vstupní data nabízí dialogové okno *Nastavit veličiny* (viz část 4.1).

4 Vlastnosti povodí

Karta *Povodí* nabízí přístup k vlastnostem povodí a nastavením potřebným ke spuštění modelu. Zobrazené vlastnosti a nastavení (např. typ optimalizace, meze parametrů) se vztahují k povodí, které je aktuálně vybráno v seznamu souborů, a mohou se pro různá povodí lišit. Tato část popisuje vlastností povodí, další nastavení jsou popsána v části 5.

Prahová hodnota (představující např. minimální zůstatkový průtok) může být zobrazena v grafech (viz část 9), a pokud jsou načteny veličiny užívání vod, používá se pro výpočet nedostatkových objemů. K dispozici jsou tři možnosti, jak ji nastavit:

- ▷ *Nenastavena*,
- ▷ *Konstantní*, která je také nastavena, pokud je prahová hodnota obsažena ve vstupním souboru pro povodí nebo pokud byla zadána v dialogovém okně *Načíst vstupní/výstupní soubor*,

Properties

Min. residual flow: Constant, 0.500 m³.s⁻¹, Set Monthly

Larger catchment: /home/standa/bilan/bilan-gui/0180m.dat

Potential evapotranspiration

Method: Vegetation zone

Latitude: 50.000000

Optimization

Method: Gradient, Weight of B/BF: 0.00

Criterion: Mean absolute percent, Use weight series: ☐

Set Variables, Settings

Parameters

Initial groundwater storage [mm]: 50.0

Get from: Output file, Get

	Initial value	Lower limit	Upper limit	Current value
Spa	147.7	0	200	147.7
Dgw	13.8	0	20	13.8
Alf	0.000779	0	0.003	0.000779
Dgm	15.22	0	200	15.22
Soc	0.699	0	1	0.699
Wic	0.342	0	1	0.342
Mec	0.799	0	1	0.799
Grd	0.499	0	1	0.499

Parameters fixed after first optimization part (gradient method)

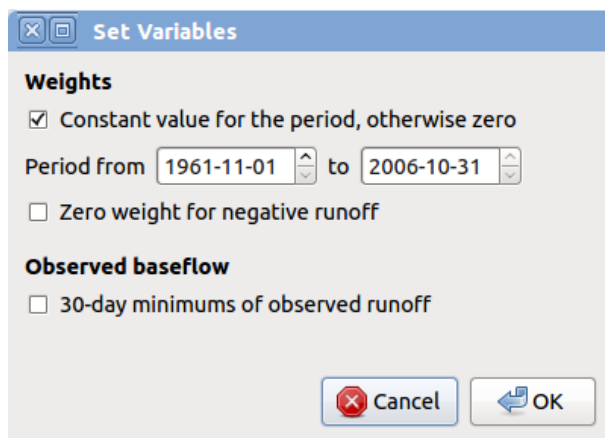
Obrázek 5: Karta *Povodí* s vlastnostmi povodí a nastaveními pro spuštění modelu

- ▷ *Měsíční*, která umožňuje vyvolat tlačítkem *Nastavit měsíční* dialogové okno pro zadání měsíčních hodnot (dialogové okno je popsáno v části 3.2).

Rozbalovací seznam *Větší povodí* umožňuje zvolit povodí, jehož součástí aktuální povodí je. Tento seznam obsahuje názvy souborů ze seznamu na levé straně. Tato vlastnost se uplatňuje při výpočtu pro soustavu povodí (viz část 7).

4.1 Nastavení veličin

Hodnoty několika veličin modelu (v současnosti pozorovaného základního odtoku a vah pro optimalizaci) lze nastavit pomocí dialogového okna *Nastavit veličiny* vyvolaného tlačítkem *Nastavit veličiny*.



Obrázek 6: Dialogové okno *Nastavit veličiny* pro denní data

Pro optimalizační váhy (viz také část 5.4) jsou k dispozici následující možnosti:

- ▷ konstantní váha o hodnotě 1 pro období dat stanovené v polích okna a nulová hodnota pro zbylá období (lze nastavit také v grafu časových řad, viz část 9),
- ▷ nulová hodnota vah v časových krocích se zápornými či chybějícími (NA) hodnotami pozorovaného odtoku, sloužící k omezení vlivu nespolehlivých dat.

Obě možnosti lze kombinovat.

U denního modelu je možné odhadnout základní odtok: jeho hodnota je vypočtena jako minimum pozorovaného odtoku za časový interval 30 dní, přičemž den odhadované hodnoty se nachází na konci intervalu; pro dny na začátku časové řady se použije zkrácený interval.

Všechny vstupní veličiny mohou být transformovány pomocí dialogového okna *Transformovat vstupní data* popsaného v části 3.2.

5 Nastavení modelu

Kromě vlastností povodí obsahuje karta *Povodí* také nastavení potřebná ke spuštění modelu. Stejně jako je tomu u vlastností, zobrazené nastavení modelu se vztahuje k povodí aktuálně vybranému v seznamu souborů a může se u jednotlivých povodí lišit.

Aktuální nastavení modelu pro vybrané povodí lze uložit do souboru INI a použít ho později pomocí položek nabídky *Nástroje* → *Uložit nastavení povodí* a *Nástroje* → *Načíst nastavení povodí* nebo pomocí klávesových zkratk **Ctrl+S** a **Ctrl+L**.

5.1 Výpočet potenciální evapotranspirace

Způsob se vybírá v části *Potenciální evapotranspirace*. Je-li zvolena položka *Použít vstupní data*, použijí se data PET načtená přímo ze vstupního nebo výstupního souboru.

`bil.pet`

Způsob založený na vegetačních zónách

Potenciální evapotranspirace je odhadnuta na základě sytostního doplnku pomocí funkcí (ve formě tabulek), které byly odvozeny pro jednotlivé měsíce a pro různé bioklimatické zóny z empirických grafů uvedených v *Gidrometeoizdat* (1976). Sytostní doplněk (v mb) je vypočten z dat teploty a relativní vlhkosti vzduchu. V případě extrémních, nepravděpodobných nebo chybných kombinací těchto veličin může být výsledný sytostní doplněk záporný nebo může překročit horní mez, která je v při tomto způsobu pro výpočet potenciální evapotranspirace používána.

Denní hodnoty PET jsou vypočteny jako měsíční hodnoty dělené 30.

Je-li sytostní doplněk záporný, výpočet se zastaví a je nutné data opravit. Zobrazí se při tom chybové hlášení: *Physically impossible: negative value of saturation deficit*.

Překročí-li sytostní doplněk horní mez, je při výpočtu nahrazen maximální možnou hodnotou.

Bioklimatické zóny jsou následující: tundra, jehličnatý les, smíšený les, listnatý les a step. Každou bioklimatickou zónu charakterizuje průměrná teplota vzduchu. Model využívá interpolační algoritmus, který kvůli interpolaci mezi zónami, tj. mezi jednotlivými tabulkami, počítá dlouhodobou průměrnou teplotu vzduchu pro povodí.

Způsob založený na slunečním záření pro určitou zeměpisnou šířku a teplotě

Potenciální evapotranspirace je odhadnuta pomocí vztahu odvozeného Oudinem et al. (2010), v němž se uvažuje sluneční záření a teplota vzduchu, která je jediným požadovaným vstupem (podrobnosti se nachází v dokumentaci modelu, části 1). Pro každý časový krok je počítána hodnota extraterestriálního slunečního záření, kvůli tomu musí být uvedena zeměpisná šířka povodí (ve

stupních). Použitý algoritmus počítá s hodinovým úhlem západu Slunce, který není definován pro podmínky polárního dne, a proto musí zadaná zeměpisná šířka spadat mezi severní a jižní polární kruh (tj. mezi -66,5 a 66,5 stupně).

5.2 Počáteční zásoba podzemní vody

Výsledky simulace hydrologické bilance mohou být ovlivněny počátečními podmínkami na povodí, především na počátku časových řad. Tyto podmínky lze nastavit pomocí počáteční zásoby podzemní vody. Její výchozí hodnota je 50 mm. Lze ji změnit na základě znalosti skutečného stavu povodí v počátečním časovém kroku nebo podle zkušeností z předběžných simulací.

Počáteční zásoba podzemní vody se v mm nastavuje v příslušném poli v části *Parametry*.

```
bil.set.optim
```

5.3 Parametry modelu

Volné parametry modelu, které je potřeba určit, aby mohl být modelem simulován odtok, jsou pro denní i měsíční typ modelu uvedeny v tabulce 1.

Optimalizační algoritmus vyžaduje, aby uživatel nastavil počáteční hodnoty parametrů (uplatňují se pouze při gradientní metodě) a jejich dolní a horní meze. Výchozí hodnoty není nutné běžně měnit, nicméně změnou hodnot v tabulce parametrů lze dosáhnout alternativních výsledků.

Hodnoty parametrů lze nastavit v tabulce, v níž jsou zobrazeny počáteční hodnoty a meze. Čtvrtý sloupec tabulky je jen pro čtení a obsahuje aktuální optimalizované hodnoty (případně počáteční hodnoty, pokud optimalizace ještě nebyla provedena). V záhlaví řádků se při přejetí zkratky parametru myši zobrazí tip s popisem.

Počáteční hodnoty parametrů mohou být nastaveny také volbou z rozbalovacího seznamu *Získat z* a stisknutím tlačítka *Získat*:

- ▷ Možnost *Výstupní soubor* načte počáteční hodnoty ze souboru s uloženými výsledky (podporovány jsou rovněž soubory starého formátu). Tato volba také nastaví počet iterací gradientní optimalizace na nulu.
- ▷ Možnost *Výchozí nastavení* obnoví počáteční hodnoty a meze parametrů.

název	denní typ modelu	měsíční typ modelu
Spa	kapacita zásoby půdní vlhkosti [mm]	
Dgm	koeficient mezi teplotou a táním sněhu	
Dgw	–	koeficient pro výpočet množství kapalné vody dostupné na povrchu za zimních podmínek
Alf	parametr určující odtok ze zásoby pro přímý odtok (přímý odtok)	parametr vztahu mezi srážkou a odtokem (přímý odtok)
Soc	parametr rozděluje perkolaci na přímý odtok a na dotaci podzemní vody pro letní podmínky	parametr rozděluje perkolaci na hypodermický odtok a na dotaci podzemní vody pro letní podmínky
Mec	parametr rozděluje perkolaci na přímý odtok a na dotaci podzemní vody pro podmínky tání sněhu	parametr rozděluje perkolaci na hypodermický odtok a na dotaci podzemní vody pro podmínky tání sněhu
Wic	–	parametr rozděluje perkolaci na hypodermický odtok a na dotaci podzemní vody pro zimní podmínky
Grd	parametr určující odtok ze zásoby podzemní vody (základní odtok)	

Tabulka 1: Parametry denního a měsíčního modelu Bilan

- ▷ Možnost *Aktuální hodnoty* nahradí počáteční hodnoty parametrů aktuálními hodnotami (čtvrtý sloupec).

```
bil.set.params, bil.set.params.init/lower/upper, bil.read.params.file
```

5.4 Kalibrace parametrů

Parametry modelu jsou stanoveny (kalibrovány) pomocí optimalizačního algoritmu. Cílem optimalizace je dosáhnout co nejlepší shody mezi pozorovanou a simulovanou řadou odtoku. K dispozici jsou dva optimalizační algoritmy (lokální a globální).

Nastavení optimalizace jsou umístěna na kartě *Povodí*. Tlačítkem *Nastavení* se zobrazí dialogové okno s nastaveními specifickými pro daný algoritmus. Změna způsobu optimalizace (pomocí rozbalovacího seznamu *Způsob*) vede k novému nastavení optimalizace s výchozími specifickými hodnotami, přizpůsobené hodnoty předchozího způsobu jsou při tom ztraceny.

Optimalizace se spustí tlačítkem *Spustit*.

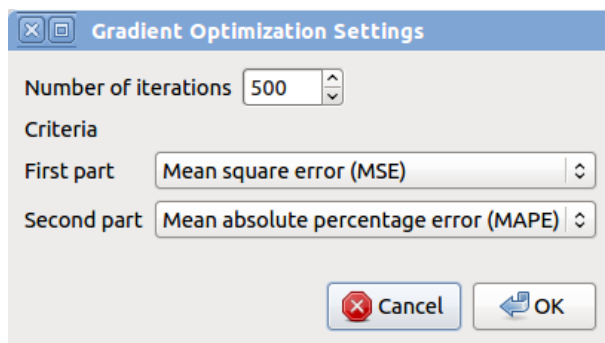
Pokud je zapnut interaktivní režim (viz část 5.5), nastavena optimalizace DE a v dialogovém okně *Nastavení optimalizace SCE-UA/DE* zadána velikost ensamble větší než 1, při každém interaktivním spuštění se do seznamu povodí přidají nové výsledky pro ensamble. Tato dočasná povodí jsou odstraněna při potvrzení dialogového okna (poté jsou pro ensamble vypočteny nové výsledky) nebo jeho zrušení.

```
bil.set.optim
```

```
bil.optimize, bil.run
```

Lokální gradientní algoritmus (binární vyhledávání)

Kalibrace parametrů pomocí gradientního způsobu probíhá ve dvou krocích. Následuje popis pro výchozí nastavení, optimalizační kritérium je však možné nastavit, a to nezávisle pro každý krok. Kromě dále zmíněných kritérií lze použít také Nashův-Sutcliffův koeficient nebo jeho logaritmickou verzi. Podrobný popis kritériálních funkcí obsahuje dokumentace modelu, část 5.



Obrázek 7: Nastavení lokálního gradientního optimalizačního algoritmu

Při „klasické“ optimalizaci by jako optimalizační kritérium byla běžně použita střední kvadratická chyba (MSE). Nevýhodou tohoto kritéria je to, že nezaručuje dobrou shodu mezi pozorovanou a simulovanou řadou odtoku v oblasti malých průtoků. Shodu lze významně vylepšit, pokud se místo MSE použije součet relativních odchylek pozorované a simulované řady odtoku (reprezentovaný střední absolutní procentuální chybou, MAPE). Toto kritérium však zhoršuje shodu z hlediska průměrného odtoku, a proto byl vytvořen optimalizační algoritmus, jenž obě kritéria kombinuje.

V prvním kroku je jako optimalizační kritérium použita MSE nebo střední absolutní chyba (MAE), a to ke kalibraci parametrů D_{gw} (pouze měsíční typ), D_{gm} , S_{pa} a Alf , které výrazně ovlivňují průměrný odtok.

Parametry kalibrované v prvním kroku jsou vyznačeny ve vstupní tabulce parametrů modrou barvou.

Zbývající parametry W_{ic} (pouze měsíční typ), Mec , Soc a Grd , ovlivňující rozdělení odtoku na složky, jsou poté kalibrovány s využitím MAPE. Tím kalibrační algoritmus zajišťuje zpravidla přijatelnou shodu jak z hlediska průměrného odtoku, tak z hlediska malých odtoků, které jsou tvořeny převážně základním odtokem. Ve výstupech modelu se zobrazí výsledná hodnota optimalizačního kritéria pro druhou část.

Počet iterací Hodnoty parametrů modelu odvozené optimalizačním algoritmem mohou být ovlivněny také nastavením počtu iterací, který má tento algoritmus provést. Výchozí hodnota, odvozená z praktické zkušenosti, činí 500. Běžně tuto hodnotu není nutné měnit.

Výpočet lze spustit také bez optimalizace parametrů, v tom případě se použijí jejich počáteční hodnoty. Lze toho dosáhnout tím, že se počet iterací optimalizace nastaví na nulu.

Rozšíření mezi parametrů pro počáteční hodnoty Aby mohl být úspěšně spuštěn gradientní typ optimalizace, počáteční hodnoty parametrů nastavené uživatelem by se neměly blížit dolním

či horním mezím. Pokud k tomu dojde, zobrazí se chybová zpráva: Initial value of parameter 'PARAMETER NAME' is too close to its lower/upper limit.

Je-li zapnuta příslušná volba, tato chyba se nezobrazí a místo toho se dotyčná mez parametru před spuštěním optimalizace automaticky změní. Mezi novou a původní hodnotou dolní či horní meze bude takový co nejmenší rozdíl, který by umožňoval optimalizaci provést.

Globální algoritmus shuffled complex evolution/differential evolution

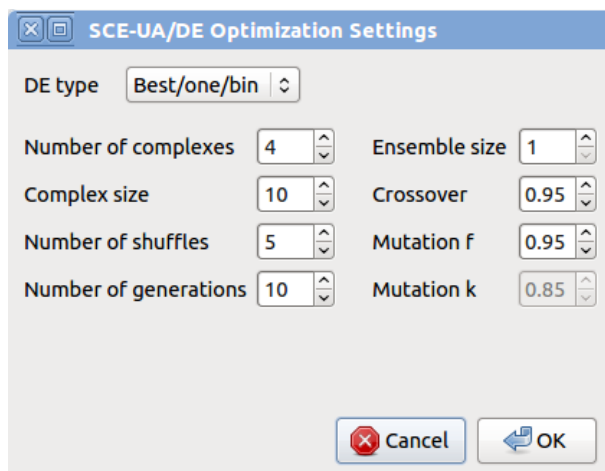
Globální algoritmus využívá techniku shuffled complex evolution (SCE-UA) kombinovanou s diferenciální evolucí pro evoluci komplexu (podrobnosti se nachází v dokumentaci modelu, části 4). Algoritmus zahrnuje následující uživatelská nastavení:

- ▷ typ diferenciální evoluce (best/1/bin, best/2/bin nebo rand/2/bin),
- ▷ počet komplexů NC ,
- ▷ velikost komplexu M ,
- ▷ počet promíchání,
- ▷ počet generací,
- ▷ parametr křížení CR ,
- ▷ parametr mutace F ,
- ▷ parametr mutace K ,
- ▷ velikost ensamble – vypočítán bude ensemble běhů optimalizace.

Váha pro základní odtok

Ve výchozím nastavení se optimalizační kritérium počítá z řad pozorovaného a simulovaného odtoku. Hodnota váhy pro základní odtok w_{BF} (mezi 0 a 1) nastaví, aby se při optimalizaci uvažoval rozdíl mezi řadami pozorovaného a simulovaného základního odtoku. Takto zkombinované kritérium je vypočteno jako:

$$\text{krit} = (1 - w_{BF}) \cdot \text{krit}(R, RM) + w_{BF} \cdot \text{krit}(B, BF) \quad (1)$$



Obrázek 8: Nastavení optimalizačního algoritmu SCE-UA/DE

Váhy pro kalibraci odtoku

Volitelně lze hodnotám odtoku přiřadit váhy pro kalibraci, což umožňuje určité úseky časové řady zdůraznit nebo zmenšit význam nevěrohodných dat. Váhy se načítají jako jedna ze vstupních veličin. Jsou považovány za relativní, proto jejich součet nemusí být jedna. Části časových řad mohou být z optimalizace vynechány tím, že se jim váhy nastaví na nulu.

Pokud časová řada pozorovaného odtoku obsahuje zápornou či chybějící (NA) hodnotu s nenulovou vahou, zobrazí se před spuštěním optimalizace upozornění, že tato hodnota ovlivní výsledky optimalizace.

Váhy pro kalibraci se zapnou zaškrtnutím pole *Použít řadu vah*. Hodnoty vah lze nastavit také v dialogovém okně *Nastavit veličiny* (viz část 4.1) nebo v grafech (viz část 9).

```
bil.set.optim
```

5.5 Interaktivní spouštění

Optimalizace modelu může být spouštěna automaticky poté, co se změní jakýkoliv parametr či nastavení výpočtu. Díky tomu je možné sledovat, jak se mění výsledky a grafy jako interaktivní odezva na vstup uživatele. Tento režim se povoluje zaškrtnutím pole *Interaktivně* nacházejícího se vedle tlačítka *Spustit* na kartě *Povodí*.

Interaktivní výpočty se týkají prahové hodnoty (jež ovlivňuje nedostatkové objemy) a veškerého nastavení na kartě *Povodí* včetně počátečních hodnot a mezí parametrů. Interaktivní spouštění je k dispozici také pro nastavení zadávaná do speciálních dialogových oken, jako jsou okna pro nastavení optimalizace, transformaci vstupních dat nebo měsíční hodnoty. Pokud je takové dialogové okno zrušeno, obnoví se původní hodnoty nastavení a model je spuštěn s nimi. Interaktivní změny v těchto dialogových oknech mohou způsobit, že se do seznamu přidají dočasná povodí, která jsou při zrušení okna smazána (podrobnosti naleznete v části 3.2 nebo 5.4). Interaktivní spouštění není k dispozici v dialogovém okně *Nastavit veličiny*.

6 Inicializace stavu modelu

Stavové veličiny modelu (zásoby v nádržích a režim podle ročního období) je možné získat pro stanovený časový krok a následně je lze (případně upravené) použít k inicializaci modelu v libovolném časovém kroku.

Tato možnost není v GUI k dispozici.

```
bil.run
```

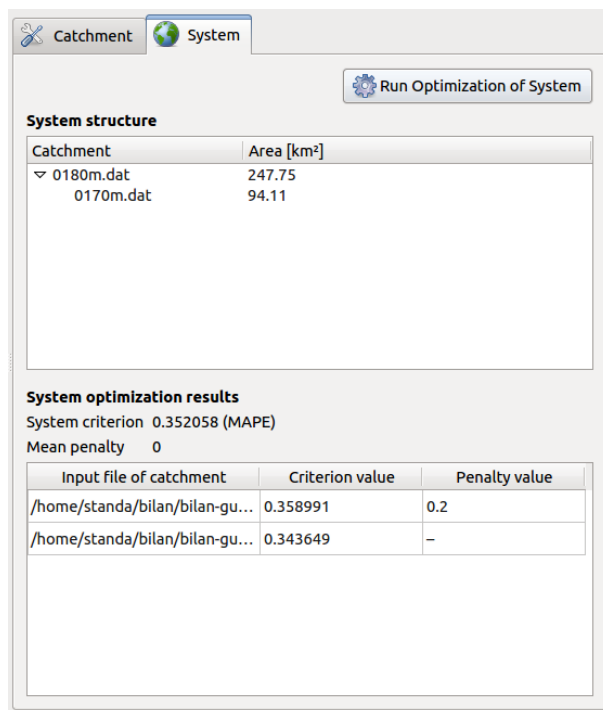
7 Nastavení a výsledky pro soustavu

Povodí je možné uspořádat do soustavy. Následně lze provést optimalizaci, která bere vztahy mezi povodími v úvahu.

Je nutné, aby povodí v soustavě měla shodný typ modelu. Kromě toho pro ně musí být nastaveny plochy, aby mohly být vypočteny absolutní hodnoty průtoku.

Na začátku jsou všechna povodí považována za součást soustavy, posléze jsou z ní však odstraněna ta povodí, která nesplňují požadované podmínky. Povodí se připojí k jinému povodí soustavu nastavením vlastnosti *Větší povodí* na kartě *Povodí*.

Struktura soustavy je ve stromové podobě zobrazena v části *Struktura soustavy* na kartě *Soustava*. Pokud je zvolena neplatná cyklická struktura nebo se neshoduje typ modelu či období dat, místo názvu souboru povodí se zobrazí upozornění.



Obrázek 9: Karta *Soustava* s optimalizovanou soustavou dvou povodí

```
sbil.new, sbil.add.catches, sbil.remove.catches
```

Povodí, u nichž se typ neshoduje s prvním povodím soustavy, povodí, která s ním nemají spojení, a povodí bez zadané plochy jsou ze soustavy před optimalizací odstraněna. Soustavu není možné vypočítat, má-li cyklickou strukturu nebo neobsahuje-li žádné povodí.

Má-li povodí nastavené jako větší ve skutečnosti menší plochu, zobrazí se před optimalizací upozornění.

Pokud se období dostupných dat pro povodí a příslušné větší povodí neshodují, pro výpočet hodnoty penalizace se použije pouze společný úsek.

Pro optimalizaci soustavy se použije typ a nastavení optimalizace zadané pro první povodí v seznamu. To je naznačeno popiskem *Také pro soustavu*, který se zobrazuje nad nastavením optimalizace, když je první povodí v seznamu vybráno.

Co se týče potenciální evapotranspirace a nedostatkových objemů, použijí se způsoby a prahové hodnoty vybrané pro jednotlivá povodí.

Optimalizace se spustí tlačítkem *Spustit optimalizaci soustavy*. Před začátkem optimalizace se odstraní povodí nesplňující výše popsané podmínky; při jejich uplatňování se předpokládá, že prvním povodím soustavy je první povodí v seznamu.

```
sbil.set.optim, sbil.optimize
```

Kritérium použité při optimalizaci parametru soustavy povodí je vypočteno jako průměr kritérií ze všech povodí. Při výpočtu průměru se součet kritérií z jednotlivých povodí zvětší o penalizaci, což je funkce rozdílů mezi modelovanými odtoky povodí a příslušného většího povodí. V současnosti se používá naivní experimentální penalizační funkce: pro každý časový krok, v němž se vyskytne záporný rozdíl mezi odtoky vyjádřenými jako absolutní hodnoty průtoku, se přičte hodnota 0,1.

Výsledky optimalizace soustavy se zobrazí v dolní části karty *Soustava*. Nejprve jsou uvedeny hodnoty kritéria a penalizace, následuje tabulka kritérií, penalizací a počtů společných časových kroků pro každé povodí. Penalizace a časové kroky se vztahují k rozdílu mezi povodím uvedeným na téže řádce a příslušným větším povodím.

Výsledky se pro jednotlivá povodí zobrazí na kartách *Výsledky* a *Grafy*, pokud je dané povodí vybráno v hlavním seznamu na levé straně.

Je-li použit způsob SCE-UA a přitom je velikost ensamble větší než 1, do seznamu povodí se přidá odpovídající počet členů ensamble.

```
sbil.get.optim, sbil.get.catch
```

8 Výsledky a výstup

Jakmile je optimalizace dokončena, na kartě *Výsledky* se zobrazí výsledné optimalizované parametry a průměrné roční hodnoty všech veličin. Roční hodnoty jsou vypočteny z měsíčních charakteristik, tedy z řad pro úplné hydrologické roky. Chybějící hodnoty v řadách jsou ignorovány. Pokud má jakákoliv z měsíčních charakteristik hodnotu NA, příslušná roční hodnota bude také NA.

Zobrazí se také výsledná hodnota optimalizačního kritéria spolu se zkratkou typu kritéria (MSE pro střední kvadratickou chybu, MAE pro střední absolutní chybu, MAPE pro relativní odchylky, NS a ln NS pro kritéria založená na Nashově-Sutcliffově koeficientu).

```
bil.get.values, bil.get.data, bil.get.params
```

Je-li použit způsob SCE-UA a přitom je velikost ensmbly větší než 1, aktuální soubor v seznamu nalevo bude představovat první člen ensmbly, výsledky pro další členy budou uloženy v povodích označených jako NAZEV SOUBORU_ensembleCISLO, které se do seznamu nově přidají.

```
bil.get.ens.resul
```

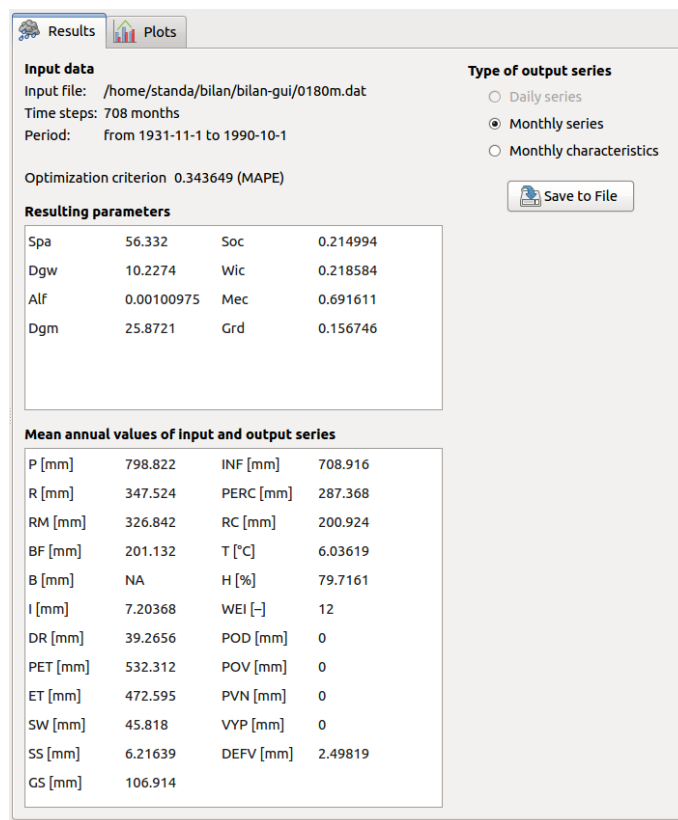
Výsledky se zapíší do souboru volbou typu výstupu v části *Typ výstupních řad* a stisknutím tlačítka *Uložit do souboru*. Nežadá-li uživatel v souborovém dialogovém okně příponu, automaticky se použije přípona .txt.

```
bil.write.file
```

Výstup modelu do souboru je možný jako tři typy řad: denní řady (pouze denní typ), měsíční řady a měsíční charakteristiky. Denní nebo měsíční řady jsou časové řady veličin (vstupních i výstupních), které byly modelem zpracovány či simulovány. V případě měsíčních řad pro denní typ modelu se jedná o měsíční řady agregované pro úplné měsíce. Pokud nejsou data k dispozici nebo nejsou pro danou veličinu relevantní, ve výstupu časových řad se objeví hodnota NA.

Měsíční charakteristiky jsou představovány průměrnými hodnotami, minimy a maximy, které byly odvozeny z měsíčních řad pro všechny měsíce roku a pro každou veličinu. Vypočteny byly z řad pro úplné hydrologické roky. Při výpočtu charakteristik jsou chybějící hodnoty ignorovány. Charakteristiky pro jednotlivé měsíce tak mohou reprezentovat různě dlouhá období. Hodnota charakteristiky je NA pouze tehdy, jsou-li NA všechny hodnoty pro určitý měsíc.

Kromě vybraného typu řady bude soubor obsahovat informaci o počátečním datu, optimalizačním kritériu a optimalizovaných parametrech. Příklad je uveden dále. Zkratky veličin jsou uvedeny v tabulce 2.



Obrázek 10: Karta *Výsledky* s vypočtenými hodnotami

Nedostatkové objemy se počítají pouze v GUI a pouze pokud jsou nastaveny veličiny užívání vod, plocha povodí a prahová hodnota.

Prvky hydrologické bilance (P, R, RM, BF, B, I, DR, PET, ET, INF, PERC, RC, POD, POV, PVN, VYP) jsou vyjádřeny jako denní či měsíční úhrny v mm [$\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$, $\text{mm} \cdot \text{měsíc}^{-1}$]. Prvky zásoby vody (SW, SS, GS, DS, DEFV) jsou vyjádřeny jako výšky vodního sloupce [mm].

Je-li v předvolbách aplikace nastavena možnost *Objem*, prvky hydrologické bilance budou vyjádřeny jako toky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] (kromě hodnot srážek a evapotranspirace, které zůstanou v mm) a prvky zásoby vody budou vyjádřeny jako objem [m^3]. Týká se to také průměrných ročních hodnot zobrazených v tabulce výsledků nebo v legendě grafu.

To, zda výstupní soubor obsahuje hodnoty vyjádřené jako toky, nebo jako objemy, určuje text „vol“ umístěný na začátku řádku s názvy veličin. Když je takový soubor načítán pomocí tlačítka *Přidat ze souboru*, měrné jednotky se podle tohoto textu automaticky nastaví (viz také část 3.1).

zkratka	denní typ modelu	měsíční typ modelu
vstupní veličiny		
P	srážky na povodí	
T	teplota vzduchu	
H	vlhkost vzduchu	
R	odtok (pozorovaný)	
B	základní odtok (odvozený)	
WEI	váhy pro kalibraci odtoku	
POD	odběr z podzemních vod	
POV	evidované odběry z povrchových vod	
PVN	nevidované odběry z povrchových vod	
VYP	vypouštění	
prvky hydrologické bilance – denní nebo měsíční úhrny		
PET	potenciální evapotranspirace	
ET	územní výpar	
INF	infiltrace do půdy	
PERC	perkolace z půdní vrstvy	
RC	dotace zásoby podzemní vody	
I	–	hypodermický odtok – množství vody převyšující kapacitu zásoby půdní vlhkosti
DR	přímý odtok	
BF	základní odtok (simulovaný)	
RM	celkový odtok (simulovaný)	
prvky zásoby vody		
SS	zásoba vody ve sněhu	
SW	půdní vlhkost (zásoba vody v nenasycené zóně)	
GS	zásoba podzemní vody	
DS	zásoba pro přímý odtok	–
DEFV	nedostatkové objemy	
další veličiny (neuvedené ve výstupním souboru)		
POT	–	voda ze srážek nebo tání sněhu (množství omezené teplotou vzduchu)
AKT	–	voda ve sněhu dostupná pro tání a následnou infiltraci
MELT	tající sněh	–
RDS	přítok do zásoby pro přímý odtok	–

Tabulka 2: Zkratky veličin denního a měsíčního modelu Bilan

Časové řady tvoří matici. Každý řádek matice obsahuje data pro určitý den nebo měsíc (např. 1. listopad 1977 či listopad 1971), zatímco sloupce představují jednotlivé veličiny.

Ve výstupu měsíčních charakteristik tvoří matici každá veličina. Řádky matice obsahují data pro jednotlivé měsíce roku (např. listopad), zatímco sloupce představují označení měsíce, minimální hodnoty, průměrné hodnoty a maximální hodnoty.

Data z výstupního souboru lze opětovně načíst tak, jak je popsáno v části 3.1.

Příklad výstupních měsíčních časových řad:

```
Initial
1931-11-1

Spa      56.332
Dgw      10.2274
Alf      0.00100975
Dgm      25.8721
Soc      0.214994
Wic      0.218584
Mec      0.691611
Grd      0.156746

OK 0.343649

P      R      RM      BF      B      I~DR      PET      ET      SW      SS      GS      INF      PERC      RC
  T      H      WEI
5.957  17.658  7.87312  7.83729 NA      0      0.0358  9.19836  9.10486  53.1483  0      42.1627  5.92117  0
0      1.454  84      1
63.117  20.115  15.8074  6.60883 NA      9.1986  0      4.57095  4.57095  56.332  13.2797  68.438  45.2664  42.0827
32.8841 -3.574  87      1
...      ...      ...      ...
```

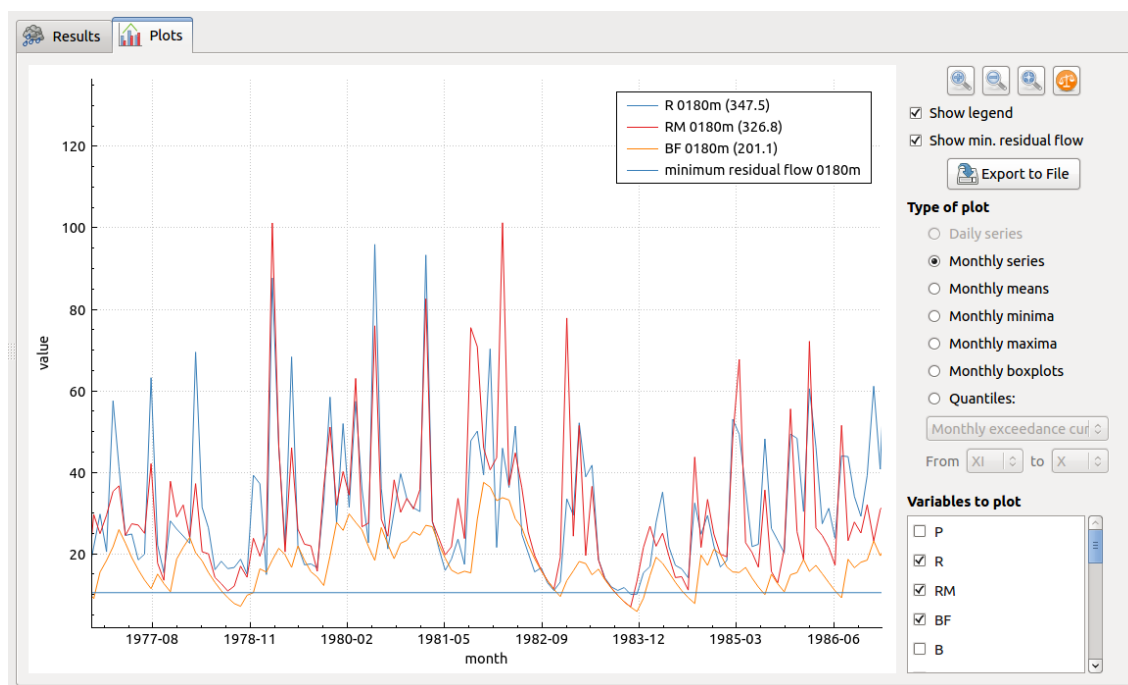
Příklad výstupních měsíčních charakteristik:

```
Initial
1931-11-1

Spa      56.332
Dgw      10.2274
Alf      0.00100975
Dgm      25.8721
Soc      0.214994
Wic      0.218584
Mec      0.691611
Grd      0.156746

OK 0.343649

month  min      mean      max
P
11      5.957  58.8554  136.212
12      2.098  59.9924  151.283
```

Obrázek 11: Karta *Grafy* s přibližným grafem měsíčních časových řad

1	16.76	54.5892	191.02
2	6.177	48.9115	148.65
3	4.053	45.6621	97.628
4	12.035	49.7532	106.812
5	14.209	77.7308	156.832
6	38.282	92.3674	234.564
7	13.201	101.426	254.736
8	24.409	90.5929	213.021
9	3.723	62.7433	194.695
10	0.663	56.198	180.72

R			
11	8.129	22.6984	60.226
...	...	...	...

9 Grafy výsledků

Výsledky mohou být zobrazeny v několika typech grafů, jenž zobrazují časové řady zvolených veličin nebo jejich statistické charakteristiky. Všechny možnosti se pro grafy nastavují na kartě *Grafy*.

V grafu se zobrazují hodnoty pro aktuálně vybrané povodí. Aby se pro některé povodí zobrazily hodnoty trvale, je potřeba pod seznamem povodí zaškrtnout pole *Zobrazit vždy v grafech*, a to tehdy, když je požadované povodí vybráno. Tato vlastnost se uplatňuje ve všech typech grafů.

Veličiny, které se mají vykreslit, jsou zaškrtnuty v seznamu *Veličiny v grafu*. Při přejetí zkratky veličiny myší se zobrazí tip s názvem veličiny.

Časové řady se zobrazí při možnosti *Denní řady* nebo *Měsíční řady*. V případě měsíčních řad pro denní data se použijí agregované měsíční hodnoty. K dispozici jsou čtyři základní typy měsíčních charakteristik: průměry, minima, maxima a krabicové grafy, v nichž je krabice tvořena prvním a třetím kvantilem a mediánem a úsečky sahají od minima do maxima řady.

U grafů časových řad je možné měnit měřítko osy X pomocí ikon *Přiblížit* a *Oddálit*. Stisknutím některé z těchto ikon se zapne interaktivní režim přibližování, ve kterém lze měnit měřítko také posouváním kolečkem myši. Stisknutím ikony *Zobrazit vše* se zobrazí úplná časová řada a interaktivní režim se vypne.

V grafech časových řad jsou se šedým pozadím vyznačena období, pro která jsou nastaveny nulové váhy pro optimalizaci. Období s konstantní nenulovou váhou lze interaktivně změnit stisknutím ikony *Nastavit období s konstantními vahami* (což zapne režim výběru období pro váhy) a kliknutím do grafu. Váhy se nastaví pro období mezi dvěma časovými kroky označenými kliknutím, a to stejným způsobem jako možnost v dialogovém okně *Nastavit veličiny* (viz část 4.1).

Pro specifičtější analýzy mohou být zobrazeny kvantilové grafy měsíčních dat. *Čáry překročení* znázorňují pravděpodobnost překročení hodnot veličiny, empirická pravděpodobnost p je přitom odhadnuta jako

$$p = \frac{m - 0.3}{n + 0.4} \quad (2)$$

kde n je počet hodnot (časových kroků) a m je pořadí hodnoty v rozmezí 1 až n .

Gumbelovy grafy, zaměřující se na extrémní hodnoty měsíčních řad (minima nebo maxima), znázorňují pravděpodobnost v podobě Gumbelovy redukované proměnné G , která se vypočte jako

$$G = -\ln(-\ln p) \quad (3)$$

Q-Q graf je bodový graf odpovídajících si kvantilů pozorovaného odtoku R a simulovaného odtoku RM.

Při vytváření krabicových a kvantilových grafů jsou ignorovány chybějící hodnoty. Vzhledem k tomu se může počet použitých hodnot mezi jednotlivými měsíci lišit (stejně jako při výpočtu charakteristik popsaném v části 8).

Interval měsíců, které se mají uvažovat, je možné pro všechny typy kvantilových grafů zadat pomocí rozbalovacích seznamů *Od...do*. Díky tomu lze analyzovat charakteristiky časových řad pro jednotlivá roční období.

Ve všech typech grafů jsou hodnoty NA představovány chybějícími částmi. Kvůli tomu jsou v případě, že denní nebo časová řada obsahuje hodnoty NA, zobrazeny kromě čar také nevyplněné body (jinak by se hodnoty obklopené hodnotami NA vůbec nezobrazily).

Legenda grafu se zobrazí po zaškrtnutí pole *Zobrazit legendu*. Položky legendy sestávají ze zkratky veličiny, názvu souboru povodí a průměrné roční hodnoty veličiny. U Q-Q grafů se legenda nezobrazuje.

Je-li pro povodí stanovena prahová hodnota, zaškrtnutím pole *Zobrazit prahovou hodnotu* se zobrazí konstantní prahová hodnota (ve všech typech grafů) nebo měsíční hodnoty (v grafech měsíčních časových řad a charakteristik).

Všechny grafy mohou být pomocí tlačítka *Exportovat do souboru* uloženy jako obrázek PNG nebo dokument PDF. Nežadá-li uživatel v souborovém dialogovém okně příponu, automaticky se použije přípona .png či .pdf.

10 Modifikace modelu

Kromě výchozího denního a měsíčního typu modelu existují v současnosti dva modely s upravenou strukturou nebo funkcemi. Tyto modifikované verze jsou považovány za experimentální a nejsou vhodné pro běžné nasazení.

Modifikace nejsou v GUI k dispozici.

bil.new

10.1 Pouze jediný parametr rozdělující perkolaci

V této modifikaci je pro rozdělení perkolace použit pouze jediný parametr, označený jako *Soc*, místo tří (měsíční) nebo dvou (denní verze) parametrů *Soc*, *Mec*, *Wic*. Nahrazené parametry se stále objevují ve výstupech modelu, ačkoliv nemají na výsledky žádný vliv.

10.2 Libovolný časový krok

Tato modifikace umožňuje použít libovolný časový krok zadaný jako počet dní. Upravená verze se liší pouze ve výpočtu PET, jinak se používají algoritmy původního denního nebo měsíčního modelu. Například tak může být použita struktura denní verze pro týdenní, nebo dokonce měsíční data. Hodnoty parametrů pro upravený časový krok mají jiné měřítko než parametry původního modelu, a nelze je tudíž srovnávat.

10.3 Veličiny kritéria a jejich váhy

V této modifikaci může uživatel nastavit vlastní kritériální funkci tím, že určí libovolný počet dvojic pozorované a modelované veličiny a jim příslušné váhy. Jedná se o zobecnění případu, kdy jsou pro optimalizaci použity časové řady odtoku a základního odtoku (jak je popsáno v části 5.4).

```
bil.set.critvars
```

Dokumentace modelu

V dokumentaci modelu je popsána jeho vnitřní struktura a jednotlivé algoritmy.

1 Popis Oudinovy metody pro odhad PET

Potenciální evapotranspiraci je možné odhadnout metodou odvozenou Oudinem et al. (2010). Vztah pro hodnotu PET v určitém dni i vyžaduje jako jediný vstup teplotu vzduchu:

$$PET(i) = \begin{cases} \frac{0,408 R_e (T(i) + 5)}{100} & \text{pro } T(i) + 5 > 0 \\ 0 & \text{pro } T(i) + 5 \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

kde R_e značí extraterestriální záření [$\text{MJ}, \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$], které může být zjištěno tak, jak popisují Allen et al. (1998):

$$R_e(i) = \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{SC} d_r [\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s] \quad (5)$$

kde G_{SC} je sluneční konstanta ($0,082 \text{ MJ}, \text{m}^{-2} \text{min}^{-1}$), d_r inverzní relativní vzdálenost Země a Slunce

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad (6)$$

kde J je pořadové číslo dne v roce, δ je deklinace Slunce (úhlovou vzdálenost od rovníku) [rad]

$$\delta = 0,409 \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (7)$$

ω_s hodinový úhel západu Slunce [rad]

$$\omega_s = \arccos[-\tan \varphi \tan \delta] \quad (8)$$

a φ je zeměpisná šířka povodí [rad].

2 Popis denního typu modelu

2.1 Typ režimu

Použití některých algoritmů modelu závisí na podmínkách v daném dni. Model rozlišuje zimní a letní podmínky podle průměrné denní teploty vzduchu. Letní podmínky jsou uvažovány, pokud teplota

$$T(i) \geq 0 \quad (9)$$

Nachází-li se na povodí sněhová pokrývka, místo algoritmu pro letní podmínky se použije algoritmus pro tání sněhu.

2.2 Složky celkového odtoku

Model simuluje celkový odtok $RM(i)$ jako součet dvou složek:

$$RM(i) = DR(i) + BF(i) \quad (10)$$

kde $DR(i)$ a $BF(i)$ jsou přímý odtok a základní odtok.

Přímý odtok $DR(i)$ představuje rychlou odezvu povodí a tvoří ho odtok ze zásoby pro přímý odtok.

Základní odtok $BF(i)$, jehož doba zdržení na povodí je delší než u přímého odtoku, je tvořen odtokem ze zásoby podzemní vody.

Pokud jsou zahrnuty veličiny užívání vod, celkový odtok je zmenšen o odběry z povrchových vod (evidované $POV(i)$ a neevidované $PVN(i)$) a zvětšen o vypouštění $VYP(i)$. Hodnota odtoku přitom nemůže být záporná:

$$RM(i) = \max(DR(i) + BF(i) - POV(i) - PVN(i) + VYP(i), 0) \quad (11)$$

2.3 Územní výpar a hydrologická bilance v půdě za letních podmínek

Pokud je infiltrace, která se rovná srážkám, větší nebo rovna potenciální evapotranspiraci

$$INF(i) \geq PET(i) \quad (12)$$

územní výpar je roven potenciální evapotranspiraci

$$ET(i) = PET(i) \quad (13)$$

přebytek vody $INF(i) - PET(i)$ může dotovat půdní vlhkost

$$SW(i) = SW(i - 1) + INF(i) - PET(i), \quad (14)$$

a pokud je překročena kapacita zásoby půdní vlhkosti

$$SW(i) > Spa, \quad (15)$$

zbývající voda perkoluje směrem dolů

$$PERC(i) = SW(i) - Spa \quad (16)$$

a zásoba půdní vlhkosti $SW(i)$ je rovna parametru Spa .

Převýší-li potenciální evapotranspirace srážky (infiltraci), územní výpar je dotován ze zásoby půdní vlhkosti, která se vyprazdňuje

$$SW(i) = SW(i - 1) \cdot e^{\frac{INF(i) - PET(i)}{Spa}} \quad (17)$$

kde e je základ přirozených logaritmů.

Územní výpar je roven součtu srážek a prázdnění zásoby půdní vlhkosti

$$E(i) = INF(i) + SW(i - 1) - SW(i) \quad (18)$$

a žádná voda neperkoluje.

2.4 Územní výpar a hydrologická bilance na povrchu za zimních podmínek

Pokud součet srážky a zásoby vody ve sněhové pokrývce převýší v daném dni potenciální evapotranspiraci, předpokládá se, že je územní výpar roven potenciální evapotranspiraci.

$$ET(i) = PET(i), \quad \text{pro} \quad SS(i - 1) + P(i) \geq PET(i) \quad (19)$$

v opačném případě se územní výpar vypočte jako součet srážky a zásoby vody ve sněhu

$$ET(i) = SS(i - 1) + P(i), \quad \text{pro } SS(i - 1) + P(i) < PET(i) \quad (20)$$

Množství zbývajících vody uložené ve sněhu činí

$$SS(i) = \max(SS(i - 1) + P(i) - PET(i), 0) \quad (21)$$

kde $SS(i - 1)$ je zásoba vody ve sněhové pokrývce ve dni $i - 1$.

Infiltrace je nulová

$$INF(i) = 0 \quad (22)$$

2.5 Územní výpar a hydrologická bilance na povrchu za podmínek tání sněhu

Pokud srážky převýší v daném dni potenciální evapotranspiraci, předpokládá se, že je územní výpar roven potenciální evapotranspiraci.

$$ET(i) = PET(i) \quad \text{pro } P(i) > PET(i) \quad (23)$$

v opačném případě je územní výpar roven množství srážek

$$ET(i) = P(i) \quad \text{for } P(i) \leq PET(i) \quad (24)$$

Množství roztálé vody v určitém dni (dostupné pro infiltraci) je dáno tepelnou kapacitou vzduchu umožňující tání sněhové pokrývky. Tato kapacita je vyjádřena jako

$$MELT(i) = T(i) \cdot Dgm \quad (25)$$

kde $T(i)$ je průměrná teplota vzduchu ve dni i a Dgm je parametr vyjadřující míru tání v závislosti na teplotě vzduchu.

Zbývajících zásoba vody ve sněhu je poté vypočtena jako

$$SS(i) = \max(SS(i - 1) - MELT(i), 0) \quad (26)$$

Voda z tání sněhu, případně ještě s přebývajícím množstvím srážek, infiltruje:

$$INF(i) = MELT(i) \quad \text{pro} \quad P(i) \leq PET(i) \quad (27)$$

$$ET(i) = MELT(i) + P(i) - PET(i) \quad \text{pro} \quad P(i) > PET(i) \quad (28)$$

2.6 Hydrologická bilance v půdě za podmínek tání sněhu

Voda v podobě infiltrace $INF(i)$ dotuje půdní vlhkost (nenasycenou zónu), u níž se předpokládá kapacita daná parametrem Spa . Je-li půdní kapacita překročena, přetékající voda $PERC(i)$ perkoluje směrem dolů, tvoří přítok do zásoby pro přímý odtok a dotuje zásobu podzemní vody. Jinak řečeno, pokud je součet zásoby vody v půdě v předchozím dni $SW(i-1)$ a infiltrace v daném dni $INF(i)$ větší než parametr Spa , platí následující:

$$PERC(i) = SW(i-1) + INF(i) - Spa \quad (29)$$

$$SW(i) = Spa \quad (30)$$

V opačném případě

$$PERC(i) = 0 \quad (31)$$

$$SW(i) = SW(i-1) + INF(i) \quad (32)$$

2.7 Rozdělení perkolace na přímý odtok a dotaci podzemní vody

Perkolace $PERC(i)$ je rozdělena na složku odtoku $RDS(i)$, jež teče do nádrže pro přímý odtok, a na dotaci podzemní vody $RC(i)$, jež plní zásobu podzemní vody.

$$RDS(i) = c \cdot PERC(i)^2 \quad (33)$$

$$RC(i) = \max(PERC(i) - RDS(i), 0) \quad (34)$$

ve výše uvedených rovnicích je koeficient c nahrazen pro podmínky tání sněhu parametrem Mec a pro letní podmínky parametrem Soc .

2.8 Hydrologická bilance v nádrži pro přímý odtok a přímý odtok

Zásoba pro přímý odtok $DS(i)$ je ve dni i vypočtena jako součet zásoby v předchozím dni a přítoku $RDS(i)$:

$$DS(i) = RDS(i) + (1 - Alf) \cdot DS(i - 1) \quad (35)$$

Přímý odtok $DR(i)$ je představován odtokem z nádrže, který je řízen parametrem Alf

$$DR(i) = Alf \cdot DS(i) \quad (36)$$

2.9 Hydrologická bilance v podzemní vodě a základní odtok

Zásoba podzemní vody $GS(i)$ je ve dni i vypočtena jako součet zásoby v předchozím dni a dotace podzemní vody $RC(i)$. Základní odtok je představován odtokem z podzemní vody, který je přímo úměrný zásobě na počátku daného dne a je řízen parametrem Grd

$$BF(i) = Grd \cdot GS(i - 1) \quad (37)$$

Zásoba podzemní vody na konci dne tudíž činí

$$GS(i) = RC(i) + (1 - Grd) \cdot GS(i - 1) \quad (38)$$

Jsou-li zahrnuty veličiny užívání vod, zásoba podzemní vody je zmenšena o odběr z podzemních vod $POD(i)$. Hodnota zásoby přitom nemůže být záporná:

$$GS(i) = \max(RC(i) + (1 - Grd) \cdot GS(i - 1) - POD(i), 0) \quad (39)$$

3 Popis měsíčního typu modelu

3.1 Typ režimu

Použití některých algoritmů modelu závisí na podmínkách v daném měsíci. Model rozlišuje zimní a letní podmínky podle průměrné měsíční teploty vzduchu. Letní podmínky jsou uvažovány, pokud teplota

$$T(i) \geq 0 \quad (40)$$

Nachází-li se na povodí sněhová pokrývka, místo algoritmu pro letní podmínky se použije algoritmus pro tání sněhu.

3.2 Složky celkového odtoku

Model simuluje celkový odtok $RM(i)$ jako součet tří složek:

$$RM(i) = DR(i) + I(i) + BF(i) \quad (41)$$

kde $DR(i)$, $I(i)$ a $BF(i)$ jsou přímý odtok, hypodermický odtok a základní odtok.

Složka $DR(i)$ celkového odtoku zahrnuje letní povrchový odtok a tu část hypodermického odtoku, která spolu s povrchovým odtokem odtéká tak rychle, že neovlivňuje hydrologickou bilanci ani není ve významnější míře dostupná pro výpar. Letní přímý odtok je způsoben dešti s velkou intenzitou.

Ve všech ročních obdobích se z přebývajících vody v nenasycené zóně tvoří hypodermický odtok $I(i)$. Předpokládá se, že tato složka odtoku zahrnuje také povrchový odtok, pokud nastává v zimě nebo během období tání sněhu.

Základní odtok $BF(i)$, jehož doba zdržení na povodí je delší než u ostatních složek odtoku, je tvořen odtokem ze zásoby podzemní vody.

Pokud jsou zahrnuty veličiny užívání vod, celkový odtok je zmenšen o odběry z povrchových vod (evidované $POV(i)$ a neevidované $PVN(i)$) a zvětšen o vypouštění $VYP(i)$. Hodnota odtoku přitom nemůže být záporná:

$$RM(i) = \max(DR(i) + I(i) + BF(i) - POV(i) - PVN(i) + VYP(i), 0) \quad (42)$$

3.3 Tvorba přímého odtoku za letních podmínek

Přímý odtok nastává v letním období jako důsledek dešťů s velkou intenzitou a je vypočten jako

$$DR(i) = Alf \cdot P(i)^2 \cdot \frac{SW(i-1)}{Spa} \quad (43)$$

kde Alf je parametr kvadratického srážkoodtokového vztahu mezi přímým odtokem a srážkami, $P(i)$ jsou srážky v měsíci i , $SW(i - 1)$ je půdní vlhkost v měsíci $i - 1$ a Spa parametr vyjadřující kapacitu půdní vlhkosti.

Srážky zmenšené o přímý odtok

$$INF(i) = P(i) - DR(i) \quad (44)$$

se stávají složkou hydrologické bilance v nenasycené zóně.

3.4 Územní výpar a hydrologická bilance v půdě za letních podmínek

Pokud jsou srážky bez přímého odtoku $INF(i)$, vypočtené rovnicí 44, větší nebo rovny potenciální evapotranspiraci

$$INF(i) \geq PET(i), \quad (45)$$

územní výpar je roven potenciální evapotranspiraci

$$ET(i) = PET(i), \quad (46)$$

přebytek vody $INF(i) - PET(i)$ může dotovat půdní vlhkost

$$SW(i) = SW(i - 1) + INF(i) - PET(i), \quad (47)$$

a pokud je překročena kapacita zásoby půdní vlhkosti

$$SW(i) > Spa, \quad (48)$$

zbývající voda perkoluje směrem dolů

$$PERC(i) = SW(i) - Spa \quad (49)$$

a zásoba půdní vlhkosti $SW(i)$ je rovna parametru Spa .

Převýší-li potenciální evapotranspirace srážky zmenšené o přímý odtok, územní výpar je dotován ze zásoby půdní vlhkosti, která se vyprazdňuje:

$$SW(i) = SW(i - 1) \cdot e^{\frac{INF(i) - PET(i)}{S_{pa}}} \quad (50)$$

kde e je základ přirozených logaritmů.

Územní výpar je roven součtu zmenšených srážek a prázdnění zásoby půdní vlhkosti

$$ET(i) = INF(i) + SW(i - 1) - SW(i) \quad (51)$$

a žádná voda neperkoluje.

3.5 Územní výpar a hydrologická bilance na povrchu za zimních podmínek a za podmínek tání sněhu

Pokud součet srážky a zásoby vody ve sněhové pokrývce převyší v daném měsíci potenciální evapotranspiraci, předpokládá se, že je územní výpar roven potenciální evapotranspiraci.

$$ET(i) = PET(i). \quad (52)$$

Množství zbývající vody, která je potenciálně dostupná pro infiltraci (disponibilní voda ve formě sněhu), je

$$AKT(i) = SS(i - 1) + P(i) - PET(i) \quad (53)$$

kde $SS(i - 1)$ je zásoba vody ve sněhové pokrývce v měsíci $i - 1$.

Množství vody potenciálně dostupné pro infiltraci je však omezeno tepelnou kapacitou vzduchu umožňující tání sněhové pokrývky v daném měsíci. Tato kapacita je za podmínek tání sněhu vyjádřena jako

$$POT(i) = T(i) \cdot Dgm + P(i) \quad (54)$$

kde $T(i)$ je průměrná teplota vzduchu v měsíci i a Dgm je parametr vyjadřující míru tání v závislosti na teplotě vzduchu.

Pokud za zimních podmínek přesáhne měsíční teplota vzduchu určitou hodnotu nastavenou implicitně na $T_{epk} = -8^\circ\text{C}$, předpokládá se, že je část srážek tvořena deštěm nebo že stávající sněhová pokrývka částečně roztaje.

Množství vody dostupné v kapalně formě je pak znovu určeno pomocí teploty vzduchu

$$POT(i) = (T(i) - T_{epk}) \cdot D_{gw} \quad (55)$$

a řízeno parametrem D_{gw} .

Pokud je průměrná měsíční teplota vzduchu nižší než hodnota T_{epk} , hydrologickou bilanci na povrchu popisuje následující rovnice:

$$SS(i) = SS(i - 1) + P(i) - PET(i) \quad (56)$$

a $INF(i) = 0$, tedy žádná voda neinfiltruje do půdy a rozdíl mezi srážkami a potenciální evapotranspirací doplňuje zásobu vody ve sněhu.

Pokud za zimních podmínek i podmínek tání sněhu převýší disponibilní voda $AKT(i)$ mezní hodnotu $POT(i)$, množství $AKT(i)$ se rozdělí na část, která infiltruje $INF(i)$, a na vodu, která zůstane na povrchu jako sněhová pokrývka. Platí tedy následující:

$$INF(i) = POT(i) \quad (57)$$

$$SS(i) = AKT(i) - INF(i). \quad (58)$$

Pokud mezní hodnota $POT(i)$ převýší množství disponibilní vody, infiltruje veškerá tato voda

$$INF(i) = AKT(i) \quad (59)$$

a zásoba vody ve sněhové pokrývce je nulová.

Výjimečně může být hodnota $AKT(i)$ záporná, a to tehdy, jestliže je součet srážek a zásoby vody ve sněhu v daném měsíci menší než potenciální evapotranspirace. Poté platí:

$$INF(i) = 0, \quad (60)$$

$$SS(i) = 0, \quad (61)$$

$$ET(i) = P(i) + SS(i - 1). \quad (62)$$

3.6 Hydrologická bilance v půdě za zimních podmínek a podmínek tání sněhu

Voda v podobě infiltrace $INF(i)$ dotuje půdní vlhkost (nenasycenou zónu), u níž se předpokládá kapacita daná parametrem Spa . Je-li půdní kapacita překročena, přetékající voda $PERC(i)$ perkoluje směrem dolů a dotuje zásobu podzemní vody a hypodermický odtok. Jinak řečeno, pokud je součet zásoby vody v půdě v předchozím měsíci $SW(i - 1)$ a infiltrace v daném měsíci $INF(i)$ větší než parametr Spa , platí následující:

$$PERC(i) = SW(i - 1) + INF(i) - Spa, \quad (63)$$

$$SW(i) = Spa. \quad (64)$$

V opačném případě

$$PERC(i) = 0, \quad (65)$$

$$SW(i) = SW(i - 1) + INF(i). \quad (66)$$

3.7 Rozdělení perkolace na hypodermický odtok a dotaci podzemní vody

Perkolace $PERC(i)$ je rozdělena na složku odtoku $I(i)$, jež v daném měsíci doteče do koryta vodního toku, a na dotaci podzemní vody $RC(i)$, jež plní zásobu podzemní vody.

$$I(i) = c \cdot PERC(i), \quad (67)$$

$$RC(i) = (1 - c) \cdot PERC(i). \quad (68)$$

ve výše uvedených rovnicích je koeficient c nahrazen pro zimní podmínky parametrem Wic , pro podmínky tání sněhu parametrem Mec a pro letní podmínky parametrem Soc .

3.8 Hydrologická bilance v podzemní vodě a základní odtok

Zásoba podzemní vody $GS(i)$ je v měsíci i vypočtena jako součet zásoby v předchozím měsíci a dotace podzemní vody $RC(i)$. Základní odtok je představován odtokem z podzemní vody, který je přímo úměrný zásobě na počátku daného měsíce a je řízen parametrem Grd :

$$BF(i) = Grd \cdot GS(i - 1). \quad (69)$$

Zásoba podzemní vody na konci měsíce tudíž činí

$$GS(i) = RC(i) + (1 - Grd) \cdot GS(i - 1). \quad (70)$$

Jsou-li zahrnuty veličiny užívání vod, zásoba podzemní vody je zmenšena o odběr z podzemních vod $POD(i)$. Hodnota zásoby přitom nemůže být záporná:

$$GS(i) = \max(RC(i) + (1 - Grd) \cdot GS(i - 1) - POD(i), 0) \quad (71)$$

4 Popis optimalizačního algoritmu SCE-UA

Použitý globální algoritmus kombinuje metodu SCE-UA (shuffled complex evolution – The University of Arizona) popsanou Duanem et al. (1994), pro evoluci komplexu se využívá metoda diferenciální evoluce (DE), kterou popsali Storn a Price (1997).

Algoritmus obsahuje následující kroky:

1. Je vygenerována populace sad parametrů (bodů) o dané velikosti NP , a to pomocí vzorkování Latin Hypercube se zadanými dolními a horními mezemi parametrů.
2. Sady parametrů se seřadí podle hodnoty kritéria.
3. Sady parametrů se rozdělí na NC komplexů, každý komplex obsahuje M sad. Nejlepší hodnota kritéria sady p_1 je přiřazena prvnímu komplexu C_1 , druhá hodnota kritéria p_2 komplexu C_2 atd., komplex C_1 tedy obsahuje sady p_1, p_{NC+1} až $p_{(M-1) \cdot NC+1}$.
4. Komplexy se vyvíjejí metodou diferenciální evoluce.
5. Z vyvinutých komplexů je vytvořena nová populace.
6. Algoritmus skončí po dosažení maximálního počtu iterací. V opačném případě pokračuje krokem 2.

Algoritmus diferenciální evoluce pro evoluci komplexu (krok 4) lze popsat následovně:

1. Nejlepší sada parametrů z celé populace p_B nebo náhodně zvolená sada parametrů p_{r5} je zmutována s využitím rozdílu mezi sadami parametrů náhodně zvolenými z komplexu. K dispozici jsou tři typy mutace:

$$mp_{i,G+1} = p_{B,G} + F(p_{r1,G} - p_{r2,G}) \quad (72)$$

$$mp_{i,G+1} = p_{B,G} + F(p_{r1,G} - p_{r2,G}) + K(p_{r3,G} - p_{r4,G}) \quad (73)$$

$$mp_{i,G+1} = p_{r5,G} + F(p_{r1,G} - p_{r2,G}) + K(p_{r3,G} - p_{r4,G}) \quad (74)$$

kde G a $G+1$ značí rodičovskou generaci a generaci potomků, F a K jsou parametry mutace a $r1, r2 \dots r5$ jsou indexy náhodných sad parametrů z komplexu.

2. Pokud u určitého parametru par překročí pravděpodobnost křížení parametr křížení CR , potomku se přiřadí hodnota parametru zmutované sady:

$$p_{i,G+1}[par] = mp_{i,G+1}[par] \quad (75)$$

Kromě pravděpodobnostního křížení závislého na CR se potomku vždy přiřadí zmutovaná hodnota jednoho parametru o náhodném indexu i .

V dalších případech, případně nachází-li se zmutovaný parametr mimo své meze a je nastaveno zamítání takových hodnot, se potomku přiřadí hodnota rodičovského parametru:

$$p_{i,G+1}[par] = p_{i,G}[par] \quad (76)$$

3. Výběr: jestliže hodnota kritéria je lepší pro sadu parametrů potomka než pro rodiče, potomkovi se přiřadí tato nová sada, jinak jsou potomkovi přiřazeny původní parametry rodiče.

Algoritmus lze označovat názvy složenými z typu sady parametrů, která má být zmutována (best/rand), počtu rozdílů mezi parametry využitých k mutaci (1/2) a typu křížení (binomial). Rovnice 72 tak představuje typ best/1/bin, rovnice 73 typ best/2/bin a rovnice 74 typ rand/2/bin.

5 Popis kritériálních funkcí

Střední kvadratická chyba (MSE) je průměr čtverců odchylek mezi pozorovanou a simulovanou řadou odtoku:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RM(i) - R(i))^2 \quad (77)$$

Střední absolutní chyba (MAE) je vypočtena jako průměr absolutních odchylek mezi pozorovanou a simulovanou řadou odtoku. „Absolutní“ znamená, že záporné hodnoty jsou převedeny na kladné:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |RM(i) - R(i)| \quad (78)$$

Střední absolutní procentuální chyba (MAPE) představuje průměr relativních odchylek. „Relativní“ znamená, že každá odchylka je vydělena pozorovanou hodnotou:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|RM(i) - R(i)|}{R(i)} \quad (79)$$

Z této definice vyplývá, že MAPE nelze použít, pokud se vyskytují nulové hodnoty odtoku.

Použit lze také Nashův-Sutcliffův koeficient (NS) nebo logaritmický Nashův-Sutcliffův koeficient (LNNS):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (RM(i) - R(i))^2}{\sum_{i=1}^n (R(i) - \bar{R})^2} \quad (80)$$

$$LNNS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln RM(i) - \ln R(i))^2}{\sum_{i=1}^n (\ln R(i) - \overline{\ln R})^2} \quad (81)$$

kde $\bar{R}$ je průměrný pozorovaný odtok a $\overline{\ln R}$ je průměr logaritmované řady odtoku:

$$\overline{\ln R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln R(i) \quad (82)$$

Literatura

Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes a Martin Smith. 1998. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56*. Rome: FAO – Food; Agriculture Organization of the United Nations.

Duan, Qingyun, Soroosh Sorooshian a Vijai K. Gupta. 1994. Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology* 158: 265–284. doi:[10.1016/0022-1694\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90057-4).

Gidrometeoizdat. 1976. *Rekomendatsii po roschotu ispareniia s poverhnosti suchi*. St. Peterburg: Gidrometeoizdat.

Oudin, Ludovic, Lætitia Moulin, Hocine Bendjoudi a Pierre Ribstein. 2010. Estimating potential evapotranspiration without continuous daily data: possible errors and impact on water balance simulations. *Hydrological Sciences Journal* 55: 209. doi:[10.1080/02626660903546118](https://doi.org/10.1080/02626660903546118).

Storn, Rainer a Kenneth Price. 1997. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. *J. of Global Optimization* 11: 341–359. doi:[10.1023/A:1008202821328](https://doi.org/10.1023/A:1008202821328).