

# AGROMETEOROLOGICKÁ VÝPOČETNÍ A INFORMAČNÍ SOUSTAVA – MOŽNOSTI JEJÍHO VYUŽITÍ

*Jan Vitoslavský, Mojmír Kohut*

## Úvod

V předkládaném článku je velmi stručně popsán jeden z přístupů ke zpracování agrometeorologické problematiky včetně jejího možného využití v praxi.

Na ČHMÚ, pobočce Brno je od roku 1991 vyvíjen, rozpracováván a upřesňován agrometeorologický model AVISO (zkratka pro „Agrometeorologická výpočetní a informační soustava“). Je založen na bázi **anglického modelu MORECS** („The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS, July 1981, Hydrological Memorandum No. 45, pp. 70, Bracknell, England“), autoři N. Thompson, I. A. Barrie, M. Ayles, od něhož se odlišuje zvláště organizací sběru meteorologických dat, výstupními sestavami a řadou programových úprav provedených na základě experimentálních měření.

Základem modelu je výpočet potenciální evapotranspirace ( $E_p$ ) **modifikovanou metodou PENMAN – MONTEITH** poskytující racionální a fyzikálně podložený způsob výpočtu výdeje vody z různých povrchů. Model AVISO je modifikován a přizpůsoben specifickým podmínkám ČR. Jedná se o systém otevřený s průběžným doplňováním, upřesňováním a optimalizací jak po stránce organizační, tak i programové. I když uvádíme, že se jedná o výpočty, vzhledem k velmi složité problematice (interakce půda x rostlina x atmosféra) je nutno k některým výstupům modelu přistupovat jako ke kvalifikovanému odhadu.

Následující popis je nutno brát jako velmi informativní, neboť na několika stránkách nelze podrobněji postihnout všechny možnosti tohoto vyvíjeného modelu.

## 1. Základní charakteristika modelu AVISO

V současné době se jedná o soubor programů, který podle svého zaměření lze rozdělit na:

- programy týkající se základního předzpracování vstupních dat meteorologického i nemeteorologického charakteru (fenologické údaje) včetně jejich formálních a logických kontrol, případně doplňování
- programy řešící vlastní problematiku (výpočty potenciální a aktuální evapotranspirace jednotlivých povrchů, případně zemědělských plodin, výpočty vláhových potřeb plodin, apod.)
- programy zabezpečující tiskové výstupy ve formě přehledných tabulek a grafů

V roce 1999 dojde k programovým úpravám v návaznosti na měření automatických meteorologických stanic.

Možnosti využití modelu jsou následující:

- **Operativní způsob zpracování** v pravidelných týdenních intervalech (pondělí–neděle, výpočty v denním kroku na sebe navazují) po dobu kalendářního roku s výstupy vybraným uživatelům ve velkém vegetačním období. Je v provozu již od roku 1992 včetně. Vzhledem k vývoji systému AVISO nejsou dosažené výsledky operativního způsobu vyhodnoceny v plné míře vzájemně srovnatelné.
- **Režimový způsob zpracování** v rámci víceletého období za účelem získání dlouhodobých hodnot vybraných agroklimatických charakteristik. V úvahu připadá například období 1961–1990, které je v současné době bráno jako normálové.

V rutinním provozu jde v obou případech o zpracování agroklimatických a dalších charakteristik pro 74 míst ČR a pro vybrané zemědělské plodiny. Pokud jsou však k dispozici potřebné vstupní údaje (hlavně údaje meteorologické), výpočty lze provést pro libovolné místo ČR.

## 1.1. Vstupní meteorologické údaje

Základní meteorologické údaje pravidelně získáváme prostřednictvím každodenní kódované zprávy INTER ze 74 meteorologických interových stanic:

- průměrná denní teplota vzduchu počítaná ze tří termínů suché teploty vzduchu 07, 14, 21 hod. [°C]
- průměrný denní tlak vodní páry počítaný ze tří termínů 07, 14, 21 hod. [hPa]
- denní trvání slunečního svitu [hod]
- průměrná denní rychlost větru počítaná ze tří termínů 07, 14, 21 hod. [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- denní úhrn srážek [mm]

Všechny meteorologické údaje se měří na meteorologické stanici ve standardní výšce, pouze rychlost větru se přepočítává z hladiny měření (10 až 12 m).

## 1.2. Vstupní fenologické údaje

Model bere v úvahu tyto základní charakteristiky:

- den setí plodiny
- den sklizně plodiny (ukončení vegetace)

Dnem setí, resp. dnem sklizně plodiny se rozumí číslo dne v juliánském kalendáři, kdy v širším okolí stanice je zaseto, resp. sklizeno přibližně 60 % celkové plochy plodiny. Z obou údajů se pro jednotlivé plodiny a výpočetní místa na základě především teplotních poměrů odvozují další charakteristiky (den vzcházení plodiny, den plného zápoje plodiny, resp. maximální vzrůst plodiny).

Pomocí výše uvedených fenologických charakteristik se vývoj plodiny v modelu sleduje v následujících etapách:

- aktuální den je před dnem setí, tzn., že vývoj plodiny se děje podle holé půdy
- aktuální den je mezi dnem setí a dnem vzcházení
- aktuální den je roven dnu vzcházení
- aktuální den je mezi dnem vzcházení a dnem maximálního (plného) zápoje plodiny
- aktuální den je mezi dnem maximálního (plného) zápoje plodiny a sklizní
- aktuální den je po sklizni plodiny, tzn., že vývoj se opět může dít podle holé půdy, resp. podle následné plodiny

### 1.3. Zastoupené standardní povrchy a zemědělské plodiny

V modelu AVISO jsou obsaženy následující plodiny (povrchy):

- standardní povrchy: holá půda (HP), travní porost (TP), vodní hladina (VH)
- zemědělské plodiny: vojtěška (VOJ), pšenice ozimá (OZP), obiloviny jarní (ječmen jarní JOB), brambory (BRA), cukrovka (CUK), kukuřice (KUK), ovocné sady (SAD), vinice (VIN),
- skupiny plodin: PD 0,80 (luskoviny, slunečnice)  
PD 0,85 (zelenina cibulová, česnek, pór)  
PD 0,90 (rajčata, paprika)  
PD 0,95 (zelenina košťálová, okurky)  
PD 1,00 (ostatní plodiny včetně následné plodiny)

U standardních povrchů (holá půda, travní porost) hypotetický vývoj (růst) probíhá nepřetržitě po celý kalendářní rok, u volné vodní hladiny předpokládáme pouze potenciální evaporaci (výpar). U plodin zasetych předcházející rok (vojtěška, pšenice ozimá) omezený vývoj probíhá již od prvního dne v roce a dále dochází postupně k plnému vývoji. U plodin zasetych v příslušném roce (obiloviny jarní, brambory rané, cukrovka, kukuřice) dochází k plnému vývoji postupně po dni vzcházení. Sklízni je vývoj (růst) plodiny ukončen, resp. vývoj plodiny přechází na holou půdu, resp. travní porost.

Pro určení aktuální evapotranspirace je v modelu AVISO použit zjednodušený dvouvrstevný model pohybu vody v půdě s jejím konstantním čerpáním v celém aktivním profilu. Hloubka aktivního půdního profilu je určena pro holou půdu jako konstanta závislá na druhu půdy (0,15 m až 0,25 m) a pro plodiny jako proměnlivá veličina závislá na hloubce prokořenění.

## 2. Výstupní sestavy modelu AVISO

Model AVISO byl naprogramován tak, aby ve výstupních sestavách kontinuálně poskytoval denní, týdenní a měsíční údaje o evaporaci (evapotranspiraci), deficitu půdní vláhy, případně dalších agrometeorologických charakteristikách pro 74 vybraných míst ČR. Vedle základních sestav poskytuje celou řadu doplňujících informací.

V následujícím textu se jen stručně zmíníme o některých tabelárních, případně grafických výstupech.

## 2.1. Operativní výstupy modelu AVISO

Pravidelně se zpracovávají:

- Základní výpočty potenciální evapotranspirace pro standardní povrchy [vše v mm].
- Agrometeorologické charakteristiky:

### Vláhová potřeba plodin VC [mm].

Tabulka je jako operativní výstup modelu publikována v týdenních cyklech počínaje týdnem s datem 1. 4. Během roku obsahuje kumulativní údaje vláhové potřeby pro 74 meteorologických interových stanic ČR a pro vybraný soubor zemědělských a jiných plodin:

- |                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| - travní porost (TP)    | - cukrovka (CUK)     |
| - vojtěška (VOJ)        | - kukuřice (KUK)     |
| - pšenice ozimá (OZP)   | - ovocné sady (SAD)  |
| - obiloviny jarní (JOB) | - vinice–chmel (VIN) |
| - brambory rané (RBR)   |                      |

PD 0,80 (luskoviny, slunečnice)

PD 0,85 (zelenina cibulová)

PD 0,90 (rajčata, paprika)

PD 0,95 (zelenina košťálová)

PD 1,00 (ostatní plodiny včetně následné plodiny)

- Aktuální evapotranspirace  $E_a$  [mm].

Zpracování obsahuje kumulativní údaje pro 74 meteorologických interových stanic ČR pro tři druhy půd s využitelnou vodní kapacitou VVK = 70 mm, VVK = 120 mm, VVK = 170 mm a pro 10 druhů.

### 2.1.1. Detailní operativní výstupy pro jednotlivé meteorologické interové stanice.

#### Tabelární a grafická část pro meteorologickou interovou stanicí.

- Základní tabulka vláhové bilance pro jednotlivé meteorologické interové stanice.

Zpracování probíhá po celý kalendářní rok a uživatelům je pravidelně distribuována od týdne s datem 1.4. do konce vegetačního období. Tabulka pro každou meteorologickou

interovou stanicí v úvodu obsahuje vedle vybraných vstupních meteorologických údajů (úhrn srážek, průměrná denní teplota vzduchu, doba trvání slunečního svitu) i údaje vypočítané (potenciální evapotranspirace „penmanovského“ travního porostu, radiace dopadající na zemský povrch s uvažováním oblačnosti, evaporace z volné vodní hladiny, sytostní doplněk), ve všech případech v denním kroku. V závěru jsou navíc uvedeny sumace všech výše uvedených charakteristik za aktuální týden a od začátku roku. Obdobným způsobem jsou stanoveny sumace efektivních teplot  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ .

Základem tabulky jsou údaje o kritickém a aktuálním deficitu pro tři typy půd rozlišených podle využitelné vodní kapacity (VVK = 70 mm, VVK = 120 mm, VVK = 170 mm, vždy na 1 m půdního horizontu) a pro 10 plodin. Dalšími poskytovanými informacemi jsou kumulativní hodnoty (týdenní a od začátku roku) vláhových potřeb výše uvedených plodin a navíc skupin „plodin“ PD 0,80 až PD 1,00. Jako doplňující informace je číselný údaj o kritickém stádiu jednotlivých druhů plodin ve vztahu k zásobování půdní vodou.

#### ➤ Grafický výstup pro zvolenou meteorologickou interovou stanicí, plodinu a půdu.

Jedná se o standardní graf v barevném provedení s vodorovnou časovou osou X. Na primární vertikální ose Y jsou liniově znázorněny údaje o kritickém a aktuálním deficitu plodiny na dané půdě vybrané stanice, na sekundární vertikální ose Y jsou pro srovnání pomocí sloupkových diagramů četností vynášeny týdenní úhrny srážek dané stanice. O možnosti praktického využití grafu bude pojednáno v závěru příspěvku.

## 2.2. Režimové výstupy modelu AVISO

V podstatě se jedná o tabelární a grafické výstupy zpracovávající delší časové období (roční a delší). Jsou analogické operativnímu způsobu zpracování, jak bylo popsáno výše. Vyhodnocení lze aplikovat jak pro vybranou meteorologickou interovou stanicí, tak i pro kompletní soubor všech 74 stanic přehledně rozdělených do oblastí.

## 2.3. Příklad využití modelu AVISO v praxi

Informace o stavu půdní vláhy na území ČR poskytují týdenní bilanci aktuálního a kritického deficitu půdní vody pro zemědělské plodiny na půdách lehkých, středních a těžkých (VVK = 70 mm, VVK = 170 mm, VVK = 120 mm) pro interové meteorologické stanice začleněné do oblastí, které se plošně přibližně shodují s dřívějším členěním na kraje.

Z tabulky bilance aktuálního a kritického deficitu plodiny vyplývají následující závěry:

- Nulová hodnota značí, že stav zásoby půdní vody dosáhl v bilancované vrstvě hodnot kritického deficitu, tzn., že byla vyčerpána všechna lehce přístupná vláha. Rostlina začíná postupně uzavírat průduchy a omezovat růst a vývoj. Je nutno uvažovat o závlaze.
- Záporná (mínusová) hodnota značí, že rostliny čerpají již pevněji vázané vodní zásoby v půdě. Zvyšující hodnoty směrem záporným se postupně přibližují až k bodu vadnutí. Při záporných hodnotách bilance je bezpodmínečně nutno zavlažovat.

- Kladná (plusová) hodnota značí, že rostlina čerpá lehce přístupnou půdní vodu. Nejvyšší kladná hodnota se blíží polní vodní kapacitě. O závlaze lze uvažovat jen tehdy, jestliže hodnoty se blíží k nule a příslušná plodina se dostává do kritické fáze vývoje.

Informační soubor základních tabulek vláhové bilance je vydáván stejně jako ostatní výstupy modelu AVISO v operativním režimu v týdenních cyklech ve vegetačním období pro 74 meteorologických interových stanic ČR. Jako ukázkou týdenního výstupu vláhové bilance uvádíme modelová data pro období 24. 7.–30. 7. 1995 pro interovou meteorologickou stanicí Velké Pavlovice v regionu jižní Moravy. Údaje byly platné k neděli 30. 7. 1995.

Tabulka obsahuje dvě části:

- meteorologická část

Uvádí hodnoty vybraných meteorologických a aplikovaných charakteristik za jednotlivé dny od pondělí do neděle včetně jejich týdenních úhrnů a úhrnů od 1. 1. příslušného roku. Jedná se o srážky [mm], potenciální evapotranspiraci ET [mm], průměrnou denní teplotu vzduchu [°C], krátkovlnnou radiaci s uvažováním vlivu oblačnosti [ $W \cdot m^{-2}$ ], sluneční svit [hod], evaporaci z volné vodní hladiny [mm] a sytostní doplněk [hPa]. V závěru jsou uvedeny sumy efektivních teplot 0 °C, 5 °C, 10 °C.

- zemědělská část

Obsahuje vlastní údaje vláhové bilance pro uvedený soubor plodin. V prvním sloupci jsou kritické fáze jednotlivých plodin (1 = velmi kritická fáze, 2 = kritická fáze, 3 = důležitá fáze). Kritické fáze jsou vývojové fáze, kdy plodina potřebuje dostatek vláhy, neboť dochází k tvorbě generativních a vegetativních orgánů, je rozhodující při tvorbě výnosů. V dalších dvou sloupcích základní tabulky jsou údaje o vláhové potřebě plodin (suma za příslušný týden a suma od 1. 1.). Údaje pro stanovení vláhové bilance a pro potřeby doplňkové závlahy pro plodiny pěstované na půdě lehké, těžké a střední jsou kritický a aktuální deficit. Tyto hodnoty platí pro meteorologickou stanicí Velké Pavlovice. Další volný sloupec označený jako místní aktuální deficit slouží pro upřesnění aktuálního deficitu pro místně měřené srážky v okolí stanice Velké Pavlovice. Postup upřesnění je následující:

Týdenní srážkový úhrn v místě uživatele porovnáme s týdenním úhrnem ve Velkých Pavlovicích:

- Jestliže je místní úhrn srážek vyšší, odečte se rozdíl v mm od aktuálního deficitu u jednotlivých plodin a запиše se jako aktuální deficit místní.
- Jestliže je místní úhrn srážek nižší, přičte se rozdíl v mm k aktuálnímu deficitu a opět se запиše do volného sloupce aktuální deficit místní.
- Vyše uvedené upřesnění je nutné vzhledem k velké variabilitě rozložení srážek ve vegetačním období.
- Jestliže je místní aktuální deficit nižší než kritický deficit, platí kladná (plusová) hodnota.
- Jestliže je místní aktuální deficit vyšší než kritický deficit, platí záporná (mínusová) hodnota.

➤ Jestliže jsou oba deficity stejné, platí nulová hodnota.

V dolní části základní tabulky jsou výrazy PD 0,80 až PD 1,00. Slouží pro jednoduché a orientační stanovení doplňkové závlahy zelenin a ostatních plodin. Vychází se z hodnoty vláhové potřeby za příslušný týden.

Příklad:

PD 0,95 vykazuje týdenní hodnotu vláhové potřeby 25,9 mm, odečte se týdenní srážkový úhrn (10,1 mm). Výslednou hodnotu je třeba doplnit v následujícím týdnu jednou, případně několika závlahovými dávkami dle úvahy závlahaře.

## Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Interová stanice: 725 Velké Pavlovice

Zpracované období: 24. 7. 1995 - 30. 7. 1995

### VLÁHOVÁ BILANCE PLODIN PRO NEDĚLI 30. 7. 1995

Výpočet: model AVISO

Metoda: modifikovaný PENMAN-MONTEITH

stanice/den (suma)	po	út	st	čt	pá	so	ne	Σ týden	Σ od 1. 1.
Srážky H	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	0,0	0,0	10,1	360,2
Výpar E	4,7	4,1	4,3	4,6	1,6	3,9	4,1	27,3	405,0
Teplota vzduchu T	18,3	19,4	22,2	23,7	21,0	22,8	23,6	151,0	2163,8
Radiance R	7448,8	6819,9	7224,8	6596,9	2729,3	6030,4	6507,8	43357,9	705566,5
Sluneční svit S	13,8	12,2	13,3	11,7	1,6	10,3	11,6	74,5	1084,5
Výpar E	5,6	4,7	4,9	5,1	1,7	4,4	4,6	31,0	446,1
Sytostní doplněk d	8,2	10,6	13,8	14,9	6,9	12,5	14,7	81,6	976,0
Efektivní teploty:									
0 °C:								151,0	2232,4
5 °C:								116,0	1393,7
10 °C:								81,0	799,5
Plodina (povrch)	Krit. fáze plod. akt. def.	Vláhová potřeba období	Vláhová potřeba od 1. 1.	Půda lehká (VVK = 70 mm) krit. akt. místní def. def. akt. def.	Půda těžká (VVK = 120 mm) krit. akt. místní def. def. akt. def.	Půda střední (VVK = 170 mm) krit. akt. místní def. def.			
Holá půda	-	25,4	358,8	0 8	0 14	0 20			
Travní porost	-	27,3	405,0	35 70	60 106	85 111			
Vojtěška	2	28,5	423,3	35 75	60 106	85 114			
Pšenice ozimá	-	32,2	428,8	28 55	47 94	67 119			
Ječmen jarní	-	32,2	410,3	24 48	41 82	59 113			
Brambory	2	30,8	401,9	20 69	34 103	48 117			
Cukrovka	1	29,3	381,7	28 70	48 106	68 114			
Kukuřice	1	32,4	399,2	22 54	37 91	53 107			
Ovocné sady	1	32,3	452,4	52 98	90 120	128 130			
Vinice, chmel	1	31,4	442,6	52 98	90 118	128 126			
PD 0,80	1	21,8	324,0	➤ luskoviny, slunečnice					
PD 0,85	1	23,2	344,3	➤ zelenina cibulová (cibule konzumní, šalotka, česnek, pór)					
PD 0,90	1	24,6	364,5	➤ rajčata, paprika zeleninová					
PD 0,95	1	25,9	384,8	➤ košťálová zelenina, okurky nakládačky, okurky salátové					
PD 1,00	2	27,3	405,0	➤ ostatní plodiny, všechny následné plodiny					

### 3. Závěr

V předkládaném příspěvku je stručně popsán jeden z možných přístupů k využití agrometeorologických dat v praxi. Jak již bylo uvedeno, model AVISO není systémem uzavřeným, ale postupně se doplňuje a upřesňuje.

Kvalifikované využívání modelu vyžaduje proces verifikace a navazující kalibrace prostřednictvím přímých měření. Verifikací rozumíme ověření ve smyslu metod (algoritmů) výpočtů, resp. ve smyslu ověření vstupních dat. Naopak kalibrací rozumíme srovnání dílčích, resp. koncových výstupů modelu se skutečně naměřenými údaji. Právě v těchto postupech vidíme největší problém, neboť v současné době na území ČR neexistuje kvalitní a pravidelné měření evapotranspirace a tudíž finální výstupy modelu AVISO nelze porovnávat (kalibrovat) se skutečnými údaji. Na druhé straně jsme však schopni ověřovat (verifikovat) jednotlivé postupy (algoritmy), resp. dílčí výstupy modelu. Stejně tak je možné vzájemné srovnání výstupů obdobných modelů u nás i v zahraničí.

Současná situace by se však alespoň částečně mohla zlepšit využitím měřených výparoměrných dat na plovoucím výparoměru, který byl na jaře 1999 instalován na Novomlýnské nádrži na jižní Moravě.

### Literatura

Becker A., Sevruck B., Lapin M. (ed.): Evaporation, Water Balance and Deposition. Slovak Hydrometeorological Institute Bratislava, Swiss Federal Institute of Technology, Department of Geography, Zurich, pp. 360, Bratislava 1993.

Boss M.G., Vos J., Feddes R.A.: CRIWAR 2.0 (A simulation model on Crop Irrigation Water Requirements). University of Agriculture, ILRI, ILRI Publication 46, pp. 117, Wageningen 1996.

Doorenbos J., Pruitt W.O.: Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, 2nd Ed. FAO, pp. 156, Rome 1977.

Feddes R.A., Lemsellink K.J.: Evapotranspiration. In: Drainage Principles and Applications. H.P. Ritzema (ed.), ILRI, ILRI Publications, pp. 1125, Wageningen 1994.

Gardner C.M.K. (ed.): The MORECS Discussion Meeting (April 1981). Institute of Hydrology, Report No 78, pp. 57, 1981.

Hladný J. at al.: Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997 (Souhrnná zpráva projektu). Český hydrometeorologický ústav, 163 str., Praha 1998.

Hough nM.N., Jones R.J.A.: The United Kingdom Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS version 2.0 – an overview. HESS, 1997, Vol. 1, No 2, pp. 226–240.

Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G.: Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 70, ASCE, pp. 332, New York 1990.

NOVÁK, V.: Vyparovanie vody v prírode a metodiky jeho určovania. Bratislava, VEDA 1995, 260 s.



Soet M., Petrovič P., Stricker J.N., Meijninger W., Schaik A. van, Lapšanský T.: Water budget of maize on heavy clay in a continental climate: field experiment and model simulation. Final report of the project „Evaporation estimation comparison“. Landbouwniversiteit Wageningen, Rapport 67, pp. 79, Wageningen 1996.

Thompson N., Barrie I.A., Ayles M.: The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS (July 1981). Hydrological Memorandum No 45, Met 0 8 (Hydrometeorological Services 1981), pp. 69, Bracknell 1981.

Verhoef A., Feddes R.A.: Preliminary Review of revised FAO Radiation and Temperature Methods. Landbouwniversiteit Wageningen, FAO, Land and Water Development Division, Rapport 16, pp. 118, Wageningen 1991.

Winkler L.: Některé modely dynamiky vody v systému půda – rostlina – atmosféra a jejich využití v praxi. (Kandidátská disertační práce), Výzkumný ústav ekoagrotechniky Hrušovany u Brna, str. 158, Hrušovany u Brna 1991.

## Adresa autorů

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno