

**KOMPARÁCIA MODELOV POHYBU VODY V SYSTÉME ATMOSFÉRA -
RASTLINNÝ KRYT - PÔDNY PROFIL - PODZEMNÁ VODA.**

**COMPARATION OF THE SIMULATION MODELS OD WATER TRANSPORT IN THE
ATMOSPHERE-CANOPY-SOIL PROFILE-GROUND WATER SYSTEM.**

Juraj Majerčák

Ústav hydrológie SAV

Abstract

In the article there are compared three simulation models of the water transport in the atmosphere-canopy-soil profile-ground water system. Comparison was made on the HYDRUS (HYDRUS-ET), GLOBAL and SWAP models. As the basic criterion were used the precision of the models by simulation of the longer time intervals (reviewed was the coincidence of the modelled and measured water moisture profiles), also the model demands concerning the input data. There was discussed the manner of the work with models – the effort needed for the input files preparation, cheerfulness of the model from the point of view of the user, the resistance of the models simulating the extreme situations (for example modellig of the long time interval without precipitation followed by the big rain). The primary criterion is also the comfort of the user by processing the output data after simulation.

Key Words: Simulation models, soil profile, moisture content, hydraulic characteristics, comparison criteria

Úvod

Matematická simulácia rôznych procesov sa stala neodmysliteľnou časťou prakticky všetkých vedeckých disciplín. V období posledných dvadsiatich rokov sa vďaka prudkému rozvoju osobných počítačov a s ním spätému napredovaniu vo všetkých oblastiach programového vybavenia počítačov matematické modelovanie dostalo do dosahu každého vedeckého pracovníka a inžiniera z praxe.

Užívateľov matematickým modelov môžeme rozdeliť na dve základné skupiny: V prvej – menšinovej - sú tí, ktorí pri riešení úloh a problémov sami aktívne vytvárajú nové matematické modely, resp. pre svoje potreby modifikujú niektoré už existujúce. Tvorba nových modelov popri brilantnom zvládnutí teoretických základov riešeného problému vyžaduje aj schopnosť efektívne algoritmizovať riešený problém, napísať program pre počítač (podľa možnosti v optimálnej

forme), získať potrebné vstupné údaje vo forme, ktorá umožní ich spracovanie týmto programom. Okrem toho musí tvorca - a najčastejšie v jednej osobe aj prvý užívateľ matematického modelu - ovládať aj mnohé firemné programy, ktoré mu umožnia názorne interpretovať výsledky, získané v samotnom procese matematickej simulácie (jedná sa hlavne o rôzne grafické a štatistické programy). Výhodou tejto skupiny tvorcov a zároveň aj užívateľov vlastných matematických simulačných modelov je zasvätená znalosť vnútornej štruktúry modelu, jeho možností ale i ohraničení. Nevýhodou je často enormné pracovné nasadenie, nevyhnutné v procese tvorby matematického modelu – či už v tímovej práci, alebo v pozícii osamoteného bežca. Navyše k tomu často pristupuje isté nedorozumenie medzi tvorcom modelu a odborným okolím – kreovanie niekedy i pomerne zložitých modelov sa považuje za samozrejmosť, akúsi „nutnú podmienku“. Ako niečo úplne prirodzené sa následne vyžaduje aj intenzívne pracovné nasadenie pri používaní modelu v praxi, v prostredí výskumu pomeriavané zväčša rozsahom i obsahom publikačnej činnosti. Negatívnym dôsledkom je potom určité vnútorné „vyhorenie“, zníženie výkonnosti a efektívnosti práce, mrhanie tvorivého potenciálu autora (autorov) konkrétneho modelu.

Druhú – väčšinovú - skupinu predstavujú „čistí užívatelia“ matematických modelov. Ich úspešnosť v práci s modelom je priamo úmerná stupňu zvládnutia jeho teoretických základov a technológie práce s ním. Tu sa v praxi stretávame s dvomi extrémnymi prístupmi – na jednej strane totálne ignorovanie podrobnejšej informácie o používanom modeli – model je považovaný za čiernu skrinku, cez ktorú sa preženú vstupné údaje a na výstupe dostaneme „čosi“, na strane druhej je naopak nadštandardné zvládnutie modelu ako nástroja, umožňujúceho veľmi úspešné riešenie úloh a problémov.

Pretože v súčasnosti existuje vo všetkých oblastiach veľké množstvo modelov, jednou z najčastejšie pertraktovaných otázok je porovnanie – komparácia ich vlastností. Každý matematický model má svoju vlastnú individualitu podmienenú okolnosťami jeho vzniku, špecifikou pôvodného zadania, prístupom a schopnosťami jeho tvorca (tvorcov), históriou následných modifikácií. Hlbavejší užívateľ preto vyžaduje nielen porovnanie konkrétnych existujúcich modelov, ale aj pohľad na ne cez prizmu určitých všeobecnejších kritérií.

Stručná charakteristika porovnávaných modelov

GLOBAL (PROGN), Ústav hydrológie SAV, Bratislava, vývoj série genericky príbuzných modelov v rokoch 1986 až 2001. Simulačné modely prenosu vody v pôdnom profile s osobitným zreteľom na koreňovú zónu. Model PROGN bol orientovaný na krátkodobé prognózy vodného režimu, model GLOBAL (Majerčák a Novák, 1994) dovoľuje simulácie až v časovom rozpätí 50

rokov. Model GLOBAL umožňuje analýzu a prognózu dynamiky vody počas celého vegetačného obdobia. V modeli sú použité originálne metódy určenia evapotranspirácie a zložiek jej štruktúry, odberu vody koreňmi rastlín a intercepcie, čo dovoľuje podstatne upresniť výsledky výpočtu elementov vodnej bilancie pôdy, rozdelenia vlhkosti a vlhkosťného potenciálu v pôdnom profile. Nenasýtená hydraulická vodivosť je počítaná pomocou vzťahov van Genuchtena (1980), pri výpočtoch je možné brať do úvahy hysterézu retenčných čiar. Numerické riešenie prenosovej rovnice využíva Galerkinovu modifikáciu metódy konečných prvkov. Model GLOBAL sa intenzívne využíva pre riešenie problematiky monitoringu vodného režimu poľnohospodársky využívaných pôd na uzemí, dotknutom výstavbou VD Gabčíkovo (monitoring), bol upravený aj na prognózovanie úrod kukurice.

HYDRUS-ET, kolektív autorov z US Salinity Laboratory, Riverside, Kalifornia, USA a Ústavu hydrologie SAV, Bratislava (1997). Model vznikol ako jeden z výsledkov riešenia spoločného americko-slovenského projektu (Šimůnek et al., 1997; Majerčák a Novák, 1994). Jedná sa o simulačný matematický model pre jednorozmerný prenos vody, chemických látok a tepla vo zvrstvenom pôdnom profile. Vo svojej podstate model vznikol spojením modelov S-1D a GLOBAL. Pohyb vody je opísaný Richardsovou rovnicou, pohyb chemikálií a tepla konvektívno-disperznou rovnicou. Numerické riešenie je založené na Galerkinovej úprave metódy konečných prvkov. V modeli sú implementované metódy určenia evapotranspirácie a zložiek jej štruktúry, odberu vody koreňmi rastlín a intercepcie z modelu GLOBAL (Majerčák a Novák, 1994), čo dovolilo výrazne spresniť výsledky výpočtu elementov vodnej bilancie pôdy, rozdelenia vlhkosti a vlhkosťného potenciálu v pôdnom profile v porovnaní s pôvodným americkým modelom (Novák et al., 1998). V aktuálnej verzii (1998) model disponuje novými vstupnými a výstupnými rozhraniami pracujúcimi pod operačným systémom WINDOWS. Vtipne riešená vizualizácia výsledkov ho robí vhodným pre demonštračné účely a pre výuku.

SWAP (SWATRE, CROPR, SWACROP), autori Feddes, Kabat et al. (1988), ICW Wageningen, Holandsko. Vývojový rad modelov, využívajúcich rovnaké numerické riešenie Darcy-Buckinghamovej rovnice pohybu vody pomocou metódy konečných rozdielov. V modeloch je zakomponované dvojrozmerné drenážne prúdenie v zóne nasýtenia a vertikálna dotácia hĺbkových podzemných vôd. Evapotranspirácia je založená v rôznych modifikáciách uvedených modelov na vzorcoch Priestleyho-Taylora, Penmana, Monteitha-Rijtema a Makkinka. Nenasýtená vodivosť je počítaná podľa van Genuchtena (1980). Vplyv vodného režimu pôdy na vegetáciu je dôkladne prepracovaný (obrábateľnosť pôdy, agrotechnické termíny modelovanej plodiny, transpirácia, rast a tvorba úrody). Modely tohto radu našli široké uplatnenie v praxi.

Porovnanie modelov HYDRUS-ET, SWAP a GLOBAL

- z hľadiska použitej numerickej metódy

Základnou podmienkou kvalitnej práce s modelom je použitie adekvátnej numerickej metódy pri riešení základnej rovnice pohybu vody v pôdnom profile. Modely GLOBAL a HYDRUS-ET využívajú pri riešení Galerkinovu metódu konečných prvkov. Výraznou výhodou tejto metódy je vysoký stupeň stability pri výpočtoch, odolnosť voči osciláciám. Daňou za to je náročné programovanie pri tvorbe simulačného modelu a tiež nižšia rýchlosť výpočtu, čo však z hľadiska nasadenia týchto modelov na súčasných osobných počítačoch nehrá už prakticky žiadnu úlohu. Metóda konečných prvkov má z hľadiska simulácie pohybu vody v pôdnom profile jediný výraznejší handicap – je ním značné spomalenie výpočtu pri simulovaní veľkého zrážkového úhrnu.

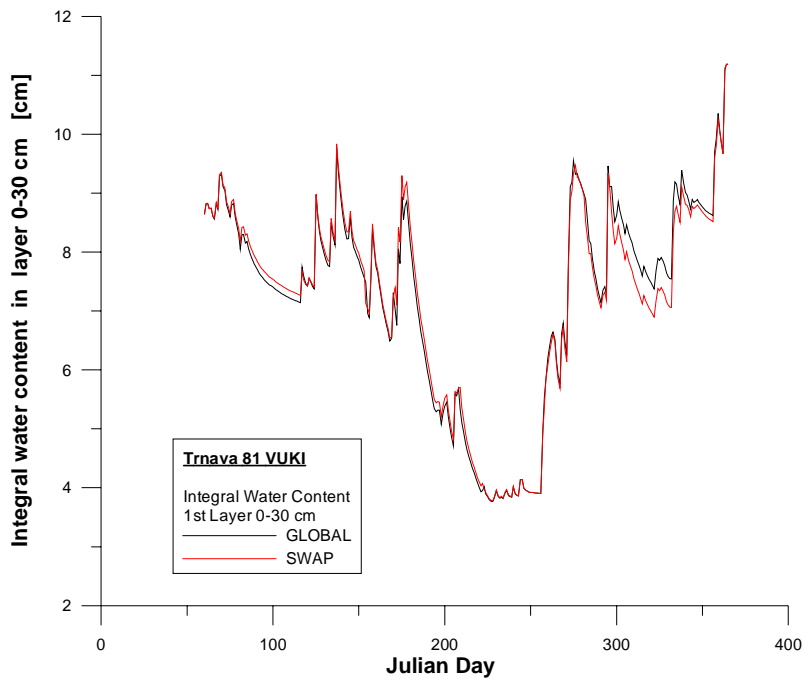
Model SWAP používa už tradične metódu konečných rozdielov. Je použitie predstavovalo nespornú výhodu v dobe, keď jedným z rozhodujúcich faktorov bola rýchlosť (alebo skôr pomalosť) používaných počítačov. Aj transformácia numerickej metódy do programového kódu bola relatívne jednoduchá. Nevýhodou je vcelku malá odolnosť voči neštandardným režimom, spôsobujúcim oscilácie modelu pri výraznejších rozdieloch hodnôt objemovej vlhkosti medzi susednými bodmi pôdneho profilu.

Pri praktickom porovnaní výsledkov simulácie pre tú istú lokalitu s rovnakými vstupnými údajmi neboli zistené žiadne výrazné rozdiely medzi modelmi GLOBAL a SWAP, ako ilustrujú obr.1 a 2. Pri analogickom porovnaní modelov HYDRUS-ET a GLOBAL (Mikulec 2003) sa ako realistickejšie javia výsledky získané pomocou modelu GLOBAL (obr.3).

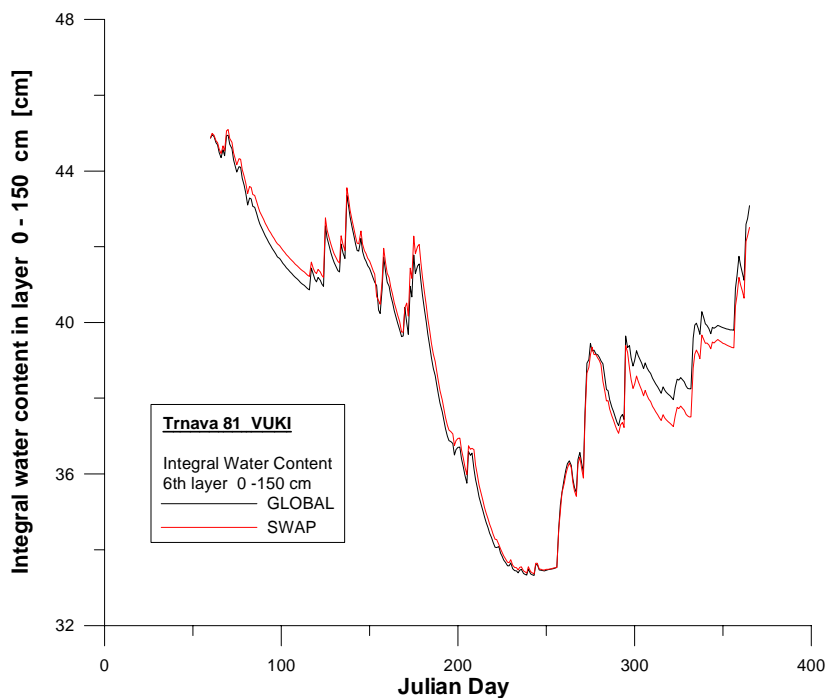
- z hľadiska výpočtu evapotranspirácie

Modely GLOBAL a HYDRUS-ET používajú prakticky zhodnú metódu výpočtu evapotranspirácie a jej zložiek (Novák, 1995). Výsledky, získané simuláciou na mnohých lokalitách v rôznych vegetačných sezónach potvrdili vysokú zhodu simulovaných a meraných hodnôt. Model GLOBAL i model HYDRUS-ET boli použité pri riešení rôznych projektov, za všetky je možné spomenúť monitorig vybraných lokalít Žitného ostrova v rámci výstavby Vodného diela Gabčíkovo (Novák et al., 1997).

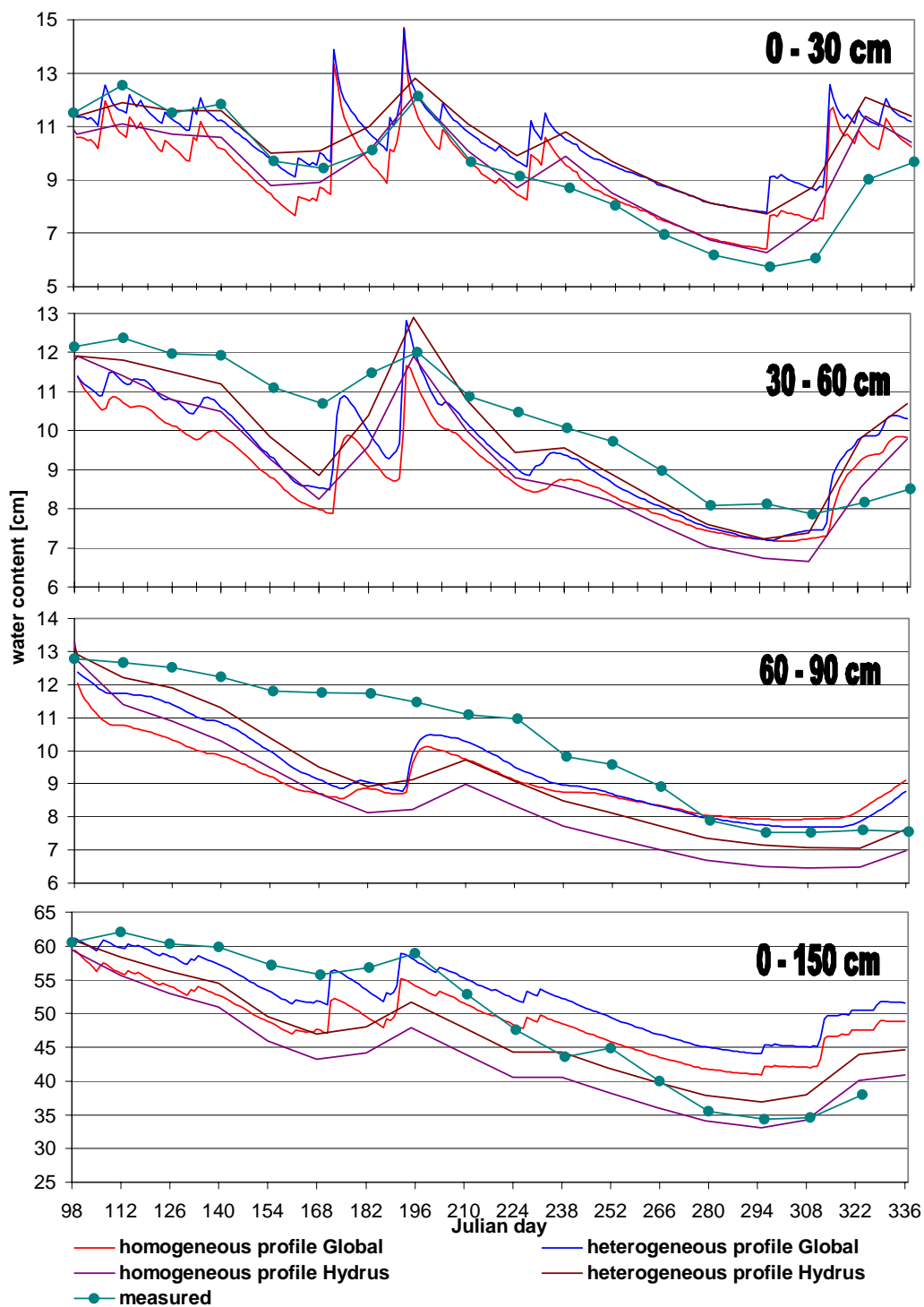
Model SWAP – ako bolo spomenuté vyššie - umožňuje výpočet evapotranspirácie rôznymi alternatívnymi spôsobmi (modifikované metódy Priestleyho-Taylor, Penmana, Monteitha-Rijtema a Makkinka). Základným nedostatkom z hľadiska užívateľa je pomerne ťažká dostupnosť



Obr.1: Porovnanie časového chodu integrálnej vlhkosti vo vrstve 0-30 cm počas vegetačnej sezóny v roku 1981. Lokalita Trnava VUKI. Použité modely GLOBAL a SWAP.



Obr.2: Porovnanie časového chodu integrálnej vlhkosti vo vrstve 0-150 cm počas vegetačnej sezóny v roku 1981. Lokalita Trnava VUKI. Použité modely GLOBAL a SWAP.



Obr.3.: Porovnanie nameraných a modelovaných chodov zásoby vody vo vrstvách pôdneho profilu 0–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm a 0–150 cm v lokalite Bodíky, počas roka 1999 (Mikulec 2003).

vstupných údajov, potrebných pre aplikáciu jednotlivých spomenutých metód. Z tohto pohľadu má práca s modelom SWAP prínos skôr didaktický – dobre ilustruje výhody a nevýhody použitia jednotlivých metód a rozdiely medzi nimi.

- z hľadiska prípravy vstupných údajov

Model GLOBAL požíva na vstupe súbory s fixným štruktúrovaným formátom. Tento prístup má svoj pôvod v časoch, keď sa prvé generické verzie modelu používali ešte na minipočítačoch a vstupné údaje boli pripravované personálom, ktorý mal dosť povrchné vedomosti o detailoch interaktívnej komunikácie s výpočtovým zariadením. Autori modelu preto usúdili, že bude výhodnejšie zveriť kontrolu formátu a radenia jednotlivých vstupných hodnôt špecializovaným pomocným programom. Tento zdanlivo ťažkopádny spôsob prípravy vstupov má nespornú výhodu v absencii výskytu rôznych nedefinovaných situácií, ktoré často vznikajú pri nepozornosti personálu, vedúcej k zadaniu chybných hodnôt. Údaje vo vstupných súboroch sú pomenované, čo znižuje nároky na ich kontrolu.

Modely HYDRUS-ET a SWAP nekladú pri vstupných údajoch dôraz na presnú štruktúru súborov, v ktorých sú uložené. Takýto prístup má výhodu v zdanlivo rýchlejšej modifikácii vstupov v prípade chybného zadania, na druhej strane istý stupeň voľnosti pri príprave dát nesie v sebe riziko chybných údajov so všetkými možnými dôsledkami pri spustení programu.

- z hľadiska spracovania výstupných údajov

Modely HYDRUS-ET a SWAP zahŕňajú v sebe postprocessing výstupných údajov priamo – oba poskytujú možnosť zobrazit' časové chody niektorých veličín vo forme hotových grafov. Tento prístup je nesporne veľmi výhodný a prízračlivý pre užívateľov, ktorí ešte len začínajú pracovať s príslušným modelom. Pri dlhšom používaní tohto spôsobu prezentácie výsledkov začínajú vystupovať určité obmedzenia, ktoré so sebou logicky prináša. Aj keď oba modely poskytujú na výstupe súbory, obsahujúce hodnoty počítaných veličín pre jednotlivé dni simulácie, práca s nimi je relatívne zložitá.

Model GLOBAL využíva filozofiu off-line spracovania výstupných údajov. Výstupom je jednak pomerne objemný súbor hodnôt v ASCII kóde, umožňujúci okamžitú vizuálnu orientáciu vo výsledkoch simulácie, ako aj binárny súbor, predurčený na ďalšie spracovanie pomocou špecializovaných programov. Výsledkom tohoto spracovania je prezentácia časových chodov vypočítaných veličín vo forme prehľadných matíc, ako aj tabuľka hodnôt pre následné zobrazenie priebehov veličín pomocou grafických tabuľkových editorov typu GRAPHER, EXCEL a podobne. Týmto spôsobom je možné vizualizovať priebeh skoro päťdesiatich rôznych veličín.

Závery

Cieľom tohto článku nebolo zvyrazňovanie kvalít či nedostatkov jednotlivých porovnávaných modelov. Autor chcel skôr priblížiť špecifiká prístupov použitých pri ich tvorbe a odlišnosti pri priamom nasadení na riešenie problémov. Táto informácia môže byť vodítkom pri kvalifikovanom rozhodovaní o voľbe účinného nástroja, akým každý matematický simulačný model nesporne je, na riešenie konkrétnej úlohy z praxe, resp. vedeckého problému.

Článok bol vypracovaný v rámci riešenia grantu VEGA-2/3073/23 „Krátkodobé a strednodobé prognózy vývoja vlhkostného režimu pôd“.

Literatúra:

FEDDES, R.A. - KABAT, P. - BAKEL, P.J.T. van - BRONSWIJK, J.J.B. - HALBERTSMA, J.: Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone - state of the art. J. Hydrol., 100, 1988, s. 69-111.

GENUCHTEN, M.Th. van: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 1980, s. 892-898.

MAJERČÁK, J. - NOVÁK, V.: Simulation of the soil-water dynamics in the root zone during the vegetation period. I. The mathematical model. Vodohosp. Čas., 40, 1992, No.3, pp. 299-315.

MAJERČÁK, J.: Modelová analýza trendu úrod kukurice v závislosti na časovom chode klimatických veličín. In: Zborník abstraktov z konferencie "Globální klimatická změna: Účinky, stav a úroveň řešení problému v měřítku České republiky", Olomouc 30.3. - 1.4.1998. Mendelova univerzita, Brno 1998.

MAJERČÁK J. - ŠÚTOR, J. - KUTÍLEK, M.: Evaluation of soil water storage dynamics. In: Proceedins of 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, 20 - 26 August 1998, M. Jamagne editor, Vol. 1, s. 66 (abstract), CD-ROM (full text), Montpellier 1998, 8 s.

Mikulec, V.: Matematická simulácia vodného režimu pôd v lesnom ekosystéme. Písomná práca k dizertačnej skúške. Ústav hydrológií SAV, Bratislava 2003,

NOVÁK, V. - MAJERČÁK, J.: Simulation of the soil-water dynamics in the root zone during the vegetation period. II. The course of state variables of soil water below the maize canopy. Vodohosp. Čas. 40, 1992, No. 4, pp. 380-397.

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

NOVÁK, V. - ŠÚTOR, J. - MAJERČÁK, J. - ŠIMŮNEK, J. - van GENUCHTEN, M. Th.: Soil water regime of the site Kráľovská lúka of the Žitný ostrov area as affected by the Gabčíkovo - Čuňovo facility. In: Lichner, Ľ. (ed): Acta Hydrologica Slovaca, 1/1998, Pokroky v hydrológii 1997. Ústav hydrológie SAV, Bratislava 1998, s. 14 - 20.

NOVÁK, V. - ŠÚTOR, J. - MAJERČÁK, J. - ŠIMŮNEK, J. - van GENUCHTEN, M. Th.: Modelling of Water and Solute Movement in the Unsaturated Zone of the Žitný Ostrov Region, South Slovakia. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava 1998.

ŠIMŮNEK, J. - HUANG, K. - ŠEJNA, M. - GENUCHTEN, M.T. van - MAJERČÁK, J. - NOVÁK, V. - ŠÚTOR, J.: The HYDRUS-ET Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 1.1. The U.S. - Slovak Science and Technology Program, Project 92006 "Modelling of Water and Solute Movement in an Unsaturated Zone of Soil in the Zitny Ostrov Region (South Slovakia)", U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California and Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia. IH SAS Bratislava, March 1997.

ŠÚTOR, J. - NOVÁK, V. - MAJERČÁK, J.: Monitoring of soil moisture and its interpretation by mathematical modeling. In: Proceedings of 6th International Conference on Agrophysics, September 15-18, 1997, Lublin, Vol. 1, J. Glinski, R. Dębicki eds. Lublin 1997.

ŠÚTOR, J. - MAJERČÁK, J.: Modelová analýza dlhodobých trendov vodného režimu pôdneho profilu na západnom Slovensku. In: Proceedings of XXth International Workshop "Advanced Simulation of Systems ASIS 1998", September 15 - 17, 1998, Vol. 2, Krnov, Jan Štefan editor, MARQ, Ostrava 1998, s. 183-188.

Abstrakt

V článku sú porovnávané tri modely pohybu vody v systéme atmosféra - rastlinný kryt - pôdny profil - podzemná voda. Komparácia bola urobená na modeloch HYDRUS (HYDRUS-ET), GLOBAL a SWAP. Ako základné kritéria pre porovnávanie boli použité presnosť modelov pri simulácii dlhších časových období (posudzovala sa zhoda modelovaných a reálne nameraných profilov vlhkosti), nároky modelov na vstupné údaje. Posudzoval sa aj spôsob práce s modelmi – pracnosť prípravy vstupných súborov, „prívětivost“ voči užívateľovi, odolnosť modelov pri modelovaní extrémnych situácií (napr. simulácia dlhšieho obdobia bez zrážok s následným

veľkým denným zrážkovým úhrnom). V neposlednom rade sa hodnotí aj komfort pri spracovaní výstupných údajov z modelu.

Kľúčové slová: Simulačné modely, pôdny profil, obsah vody, hydrofyzikálne charakteristiky, porovnávacie kritéria

Kontaktná adresa:

RNDr. Juraj Majerčák, PhD., Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, 832 01 Bratislava, tel. 49268 295, E-mail majercak@uh.savba.sk