

DEVELOPMENT AND USING OF SOILCLIM SOFTWARE

VÝVOJ A VYUŽITÍ SOFTWARE SOILCLIM

Hlavinka P., Trnka M., Balek J., Žalud Z., Dubrovský M., Semerádová D., Bartošová L., Eitzinger J.

Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: phlavinka@centrum.cz, zalud@mendelu.cz

ABSTRACT

The main aim of this contribution was to describe and show possible utilization of the SoilClim software which was developed and tested within the Institute for Agrosystems and bioclimatology. This tool was designed in order to determine soil Hydric and Temperature regime and drought probability over a range of climatic and soil conditions. The SoilClim is based on a newly enhanced daily water balance model and incorporates realistically modeled interactions between soil and atmosphere through a dynamical module of vegetation cover. Snow cover simulator and algorithm for estimates of soil temperature in depth 50 cm are also included. Daily values of estimated soil moisture content in both model layers were compared in detail with the observed data on three most productive and in agricultural landscapes frequently appearing soil types: deep grounded chernosem, sandy chernosem and fluvisoil. Evaluation dataset from the period 1998-2005 was provided by lysimeters in Gross-Enzersdorf managed by Federal Office and Research Centre for Agriculture in Vienna. Calibration of SoilClim for Grass cover was carried out due to measurements at Kirchberg and Gumpenstein stations during 2002-2004. Soil temperature model was evaluated using soil temperature series from Doksany (1971-2000). Consequently the SoilClim was run for sample of 8 sites in the Czech Republic and Nebraska to verify the overall model response within various climate and soil conditions. The spatial assessment of the soil moisture regime within the Czech Republic was carried out using 125 weather stations where 99 year-long synthetic series resembling 1961-2000 climate of daily temperature, wind, relative humidity, global solar radiation and precipitation sums were available. In order to carry out spatial analysis, the model was run for all combinations of 125 weather stations using 400 different soil units (representing over 1600 individual soil polygons). The results were then interpolated into a 1x1 km grid matrix through locally weighted regression. As reference vegetation cover the spring barley was selected. As the soil climate regimes are closely linked with key soil processes and also eventual drought impacts such as decrease of crop yields, damage to forest stands or low stream, the tool of this kind has a promising potential for a climate change impact studies as well as drought risk assessments.

Key words: Evapotranspiration, soil moisture and temperature, climate change

ÚVOD

Výskyt sucha je nedílnou součástí klimatických podmínek, které ovlivňovaly a budou ovlivňovat životní prostředí i národní ekonomiku v řadě regionů, střední Evropu nevyjímaje (např. Možný, 2004 nebo Svoboda et al., 2002). Sucho je extrémním klimatickým jevem, který je primárně vyvolán deficitem srážek během sledovaného období. Z důvodu komplexnosti problému a jeho dopadů v rozmanitých oblastech životního prostředí či lidské činnosti však neexistuje jednotná obecně přijatelná definice sucha. Obvykle rozlišujeme 4 základní typy sucha (např. Heim 2002) a to tzv. sucho meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické.

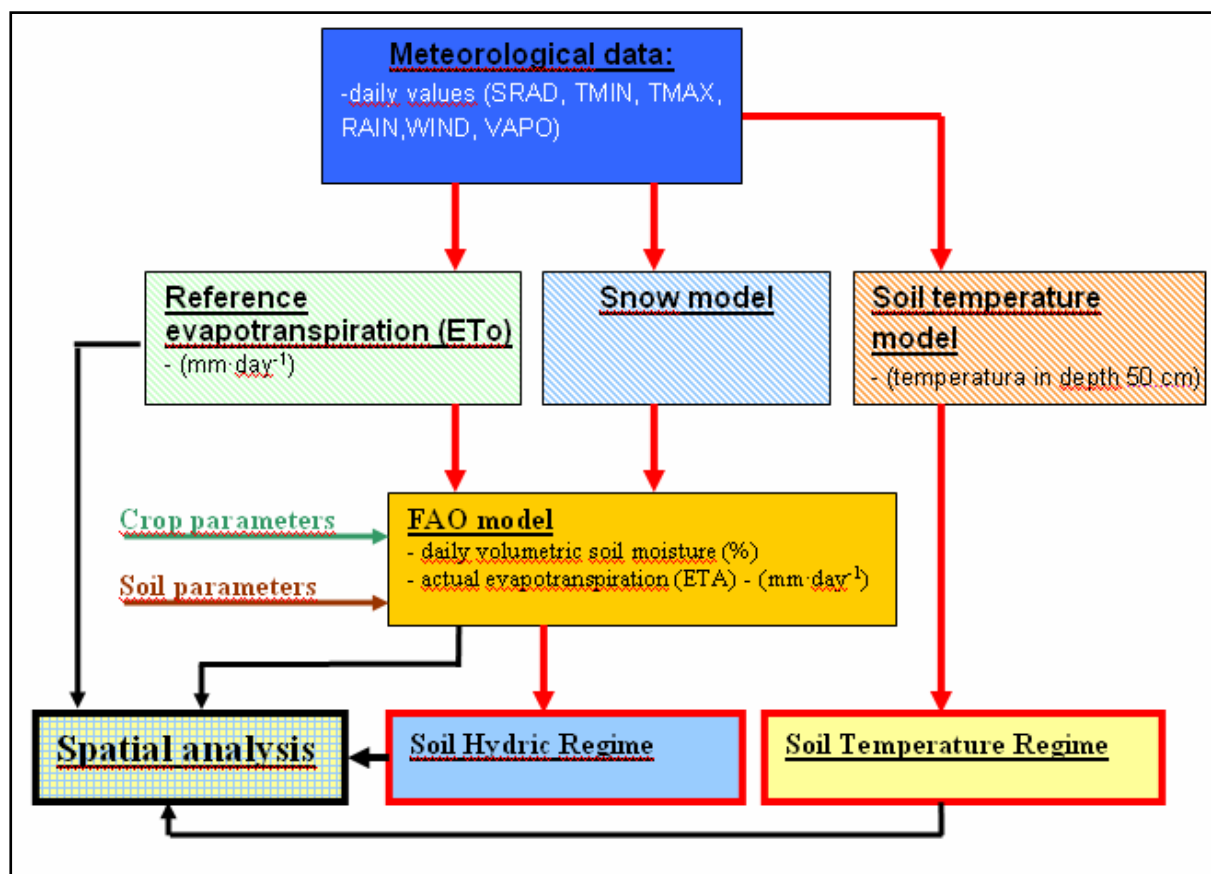
Předkládaná práce si klade za cíl představit program SoilClim (vyvinutý na ústavu agrosystémů a bioklimatologie, MZLU v Brně) sloužící ke studiu a simulaci vodní bilance v systému půda-rostlina-atmosféra. Současně tento nástroj umožňuje klasifikaci půdně Hydrických a Termických režimů definovaných dle Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 1999) používané v rámci Ministerstva zemědělství Spojených států (USDA). Díky tomu je tedy možné model SoilClim využít ke studiu půdního klimatu, potažmo sucha.

Dílčím cílem studie bylo nastínit možné způsoby využití modelu SoilClim, a to jak v podmínkách současného, tak i změněného klimatu.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika programu SoilClim

Program SoilClim pracuje na modulární bázi (skládá se z několika samostatných programů – modulů) (viz. Obr. 1), přičemž výstupy ze základních modulů (např. výpočet referenční evapotranspirace) jsou využity jako vstupy do modulů navazujících (stanovení aktuální evapotranspirace, simulace půdní vlhkosti, apod.).



Obr. 1: Schéma propojení dílčích modulů v rámci systému SoilClim.

Modul pro výpočet Referenční evapotranspirace:

Referenční evapotranspirace (ET_o) představuje evapotranspiraci z hypotetického referenčního travního povrchu (výška 0,12 m, albedo 0,23 a povrchový odpor 70 m s^{-1}), který je dokonale zavlažen a plně pokrývá povrch půdy. Modul pracuje na principu Penman-Monteithovy metody jak ji popsal Allen a kol. (1998) (rovnice 1).

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot U_R \cdot R_G + \gamma \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (1)$$

kde:

ET_o je referenční evapotranspirace ($\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}$),

Δ je sklon křivky nasycení vzduchu vodní párou vyjádřený rovnicí (2) ($\text{KPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$),

U_R je koeficient využití globální radiace pro evapotranspiraci (setiny %),

R_G je suma globální radiace ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$),

γ je psychrometrická konstanta ($\text{KPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$),

T je průměrná denní teplota ve výšce 2 m ($^{\circ}\text{C}$),
 u_2 je rychlost větru ve výšce 2 m ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),
 $(e_s - e_a)$ je sytostní doplněk (KPa).

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp \left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 273,3} \right) \right]}{(T + 273,3)^2} \quad (2)$$

Při výpočtech v rámci předkládané práce pracoval model s hodnotou U_R rovnou 0,525 (empirická hodnota kalibrovaná pro podmínky střední Evropy) a psychrometrickou konstantou (γ) o hodnotě 0,061845.

Sněhový model:

Součástí systému SoilClim je rovněž modul simulující přítomnost sněhové pokrývky a její vodní hodnotu. Výpočet využívá modifikace přístupu Thorntona et al. (2000), pracuje v denním kroku a jako vstupní data využívá denní hodnoty maximální a minimální teploty vzduchu a úhrn srážek. Jedním z výstupů sněhového modelu je redistribuce srážek, které za určitých podmínek mohou být zachyceny v podobě sněhové pokrývky a do půdy vstupují až při následném tání. Ve výpočtu je také zahrnuta sublimace ze sněhové pokrývky. Sněhový model byl kalibrován a validován pro oblast střední Evropy (Trnka *et al.*, 2007).

FAO model vodní bilance:

FAO model vodní bilance v prostředí atmosféra-půda-rostlina (Allen et al., 1998) zahrnuje dynamicky simulovaný vegetační kryt a s jeho pomocí můžeme stanovit jak aktuální hodnotu evapotranspirace (AET), tak objemovou vlhkost půdy pro dvě modelované vrstvy (tzv. kontrolní sekce půdní vlhkosti; MCS I a MCS II) v denním kroku (vzorce 3 – 8). Při těchto výpočtech jsou využívány i dílčí výsledky modelů referenční evapotranspirace a sněhové pokrývky.

$$AET = AET_{MCS\ I} + AET_{MCS\ II} \quad (3)$$

kde

AET je celková aktuální evapotranspirace (mm/den),

$AET_{MCS\ I}$ a $AET_{MCS\ II}$ je aktuální evapotranspirace z MCS I a II.

$$AET_{MCSi} = ETo \cdot Kc \cdot Ksi \cdot Ratio_{MCSi} \quad (4)$$

kde

AET_{MCSi} je aktuální evapotranspirace z příslušné kontrolní sekce půdní vlhkosti (mm/den),

Kc je koeficient plodiny (bezrozm.),

Ksi je stres suchem pro MCSi (bezrozm.),

$Ratio_{MCSi}$ je podíl kontrolní sekce půdní vlhkosti na evapotranspiraci (setiny %).

Dynamicky se měnící parametr Kc v rámci FAO modelu charakterizuje vybranou plodinu z hlediska evapotranspirace vzhledem k referenčnímu vegetačnímu krytu a v průběhu vegetačních fází (viz. Obr. 2) nabývá různých hodnot. Délka vegetačních fází je vymezena zlomovými body (A = setí, B = počátek vzcházení, C = počátek fáze *Mid*, D = zralost, E = sklizeň, F = posklizňové zpracování půdy), které jsou definovány pro každou plodinu zvlášť, jako dosažené sumy denních efektivních teplot (v rámci předkládané studie se biologické minimum „TBase“ rovnalo 0). V období *Interim*, *Ini* a *End* se hodnota Kc rovná přímo konstantám Kc_{tab} (Allen et al., 1998). Ve fázi B-C, *Mid* a D-E je Kc stanoveno na základě vztahu (5). Změna Kc_{tab} mezi body B-C a D-E se děje lineárně s přírůstkem sumy efektivních teplot od $Kc_{tab} Ini$ ke $Kc_{tab} Mid$ (resp. $Kc_{tab} Mid$ až $Kc_{tab} End$).

$$Kc = Kc_{tab} + [0,04 \cdot (u_2 - 2) - 0,004 \cdot (RH_{min} - 45)] \cdot \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (5)$$

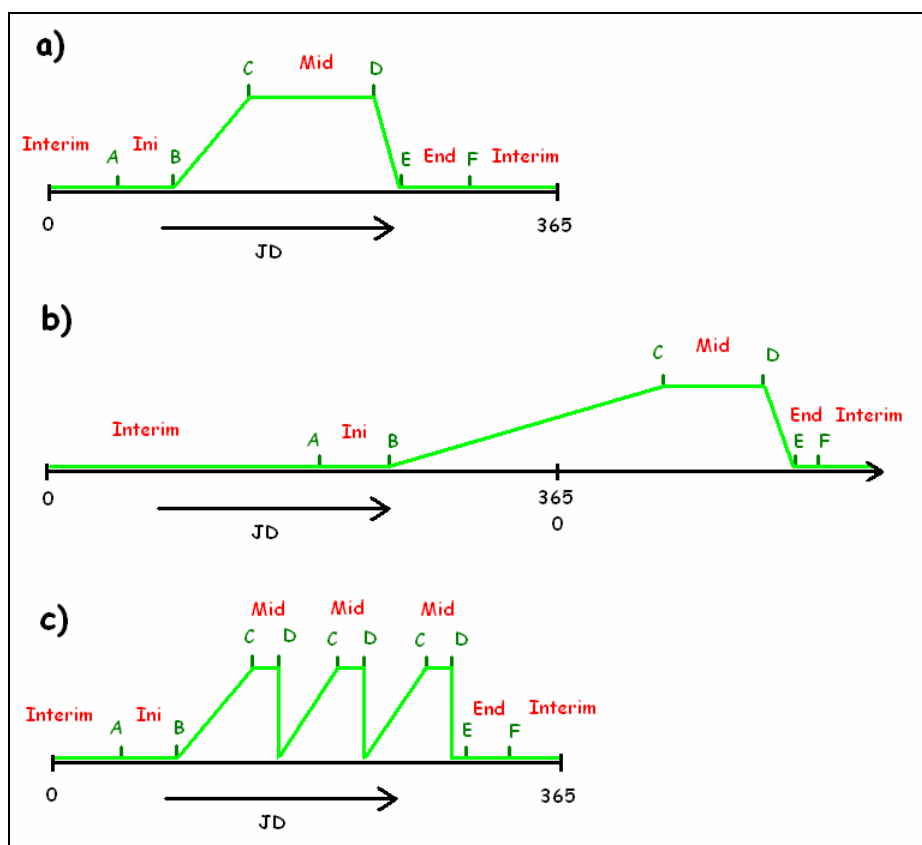
kde

RH_{min} je minimální relativní vlhkost vzduchu (%),

h je výška plodiny (m).

FAO modul rovněž obsahuje algoritmus k přibližnému odhadu výšky rostliny v období B-C. Parametr h se opět mění lineárně dle efektivní sumy teplot, přičemž před vzcházením je rovna nule, pak roste až do bodu C, kdy je dosaženo výšky h_{mid} a z bodu E dochází k jejímu poklesu přímo až na hodnotu h_{end} . Ve fázi *Mid* a D-E je použita konstantní (maximální) výška plodiny.

Velmi významná je změna poměru odběru vody pro evapotranspiraci z uvedených dvou půdních vrstev ($Ratio_{MCSi}$), která je závislá především na dynamice růstu kořenů. Základním předpokladem je, že zdrojem vody pro evapotranspiraci jsou dvě modelované půdní vrstvy a součet hodnot $Ratio_{MCS I}$ a $Ratio_{MCS II}$ je vždy roven 1, přičemž se tento poměr mění v průběhu vegetace. Pro úspěšný výpočet model vyžaduje nastavení tohoto poměru ve fázi *Interim*, *Ini*, *Mid* i *End*. Hodnoty pro fáze B-C a D-E se opět mění lineárně dle sumy efektivních teplot (v rozmezí *Ini-Mid* resp. *Mid-End*).



Obr. 2: Průběh vegetačních fází u jařin (a), ozimů (b) a travních systémů s libovolným počtem sečí (c) v rámci systému SoilClim.

Aktuální evapotranspirace je rovněž ovlivňována přítomností vody v obou půdních vrstvách a tento stav je do výpočtu zahrnut v podobě hodnoty K_{S_i} , která byla stanovena dle vztahu (6).

$$K_S = \left(\frac{TAW - Dr_{i-1}}{(1-p) \cdot TAW} \right), \quad (6)$$

kde

TAW je suma dostupné vody z dané vrstvy při dosažení polní kapacitě (mm),

Dr_{i-1} je ztráta vody z půdní vrstvy předchozí ($i-1$) den stanovena dle vztahu (7) (mm),

p je frakce TAW, která může být extrahovaná z příslušné vrstvy bez vlivu stresu suchem (0-1).

$$Dr_i = Dr_{i-1} - RAINCR + AET_{MCS_i} + Dp_i, \quad (7)$$

kde

Dr_i je ztráta vody z půdní vrstvy daný den (mm),

$RAINCR$ jsou srážky ve formě výstupu ze sněhového modelu redukované o odtok (mm),

AET_{MCSi} je ztráta vody z půdní vrstvy vlivem aktuální evapotranspirace (mm),

Dp_i je denní úhrn ztráty vody infiltrací do hlubších vrstev (mm).

V případě výpočtu denní ztráty vody ze spodní půdní vrstvy (MCS II) je příjmová složka $RAINCR$ (viz. vzorec 7) nahrazena infiltrací půdní vlhkosti z horní vrstvy (MCS I). K infiltraci půdní vody do hlubších vrstev dochází buď v případě, že je daná vrstva vodou nasycená. V tomto případě je infiltrována všechna přebytečná voda (zůstatek po pokrytí potřeb evapotranspirace). V rámci modelu však může k částečné infiltraci docházet i v případě, že je daná vrstva vodou nasycena od 50 do 100% plné polní kapacity, kdy můžeme u každé vrstvy definovat, kolik procent půdní dostupné vláhy (aktuální množství nad bodem vadnutí) odchází do nižší vrstvy.

Následně byla stanovena objemová půdní vlhkost pro obě kontrolní sekce půdní vlhkosti dle vztahu (8)

$$AV_{MCS} = \left[\frac{(PPK \cdot h) - Dr_i}{h} \right], \quad (8)$$

kde AV_{MCS} je aktuální vlhkost kontrolní sekce půdní vlhkosti (obj. %),

PPK je plná polní kapacita (obj. %),

h hloubka kontrolní sekce půdní vlhkosti (dm),

Dr_i je ztráta vody z půdní vrstvy i -tý den (mm).

Modul simulace půdní teploty v hloubce 50 cm:

Teplota půdy v hloubce 50 cm je údaj, na němž je založena klasifikace půdních Termických režimů. Bohužel je však tato hodnota dostupná jen velmi zřídka a proto bylo nutné zahrnout do struktury SoilClimu i model na odhad této veličiny (Kapler et al. 2006a), využívající jako vstupních dat klouzavý 20 denní průměr teploty vzduchu a sumy globální radiace ($MJ/m^2/den$). Modul dále využívá binární informaci o přítomnosti sněhové pokrývky a pořadové číslo dne v roce.

Modul prostorové interpolace:

Součástí nástroje SoilClim je i modul umožňující interpolaci staničních hodnot vybraných veličin (např. sumy srážek, ETo, AET, teploty půdy v 50 cm, hydrických a termických režimů půd) do prostorové matrice s rozlišením 1 x 1 km. Konkrétní parametry jsou interpolovány na principu lokální vážené regrese.

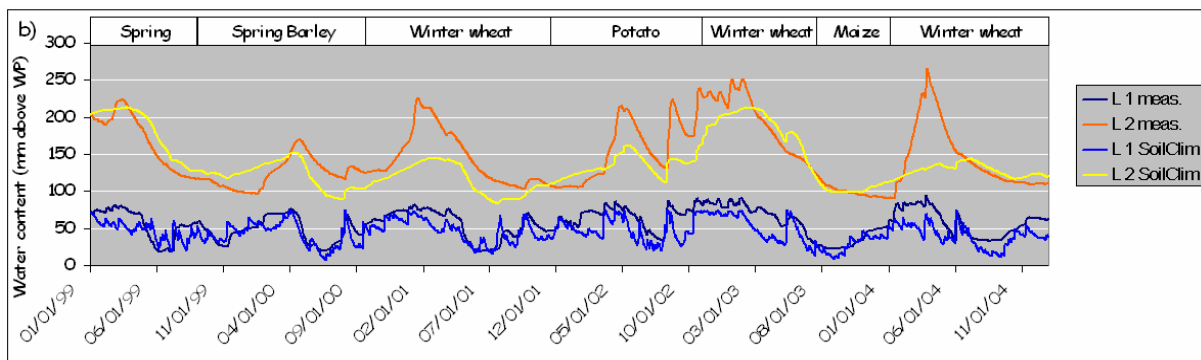
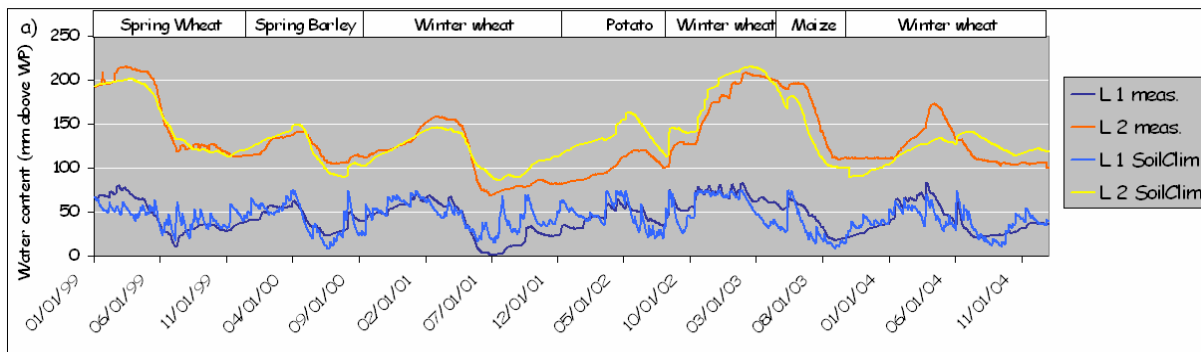
Determinace Hydrických a Termických půdních režimů:

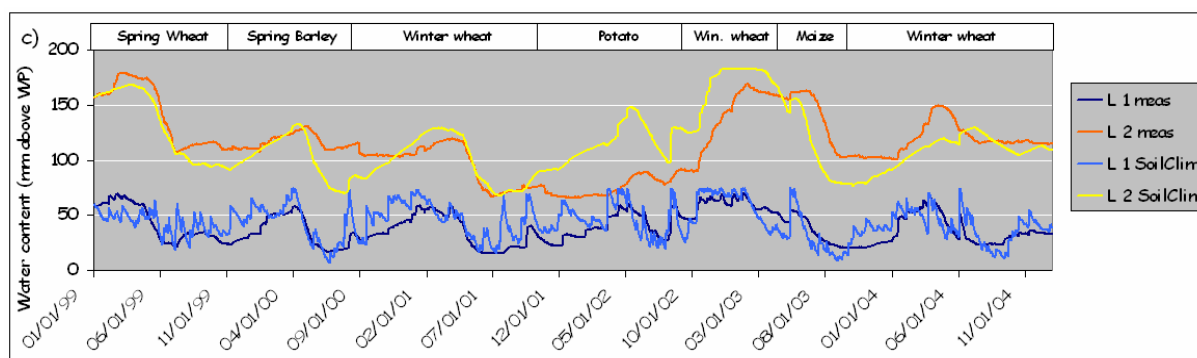
Modul pro určení půdně klimatických režimů (Hydrických a Termických) klasifikace USDA (SOIL SURVEY STAFF, 1999) je souborem algoritmů zpracovávajících jednak meteorologické údaje z konkrétních stanic a také odpovídající výstupy simulovaných veličin z FAO modulu. Celý postup determinace jednotlivých režimů ve shodě s modifikací původního Newhallova simulačního modelu (Van Wambeke et. al., 1992) detailně popsal např. Kapler (2006b) ve své práci

VÝSLEDKY A DISKUZE

Kalibrace FAO modelu:

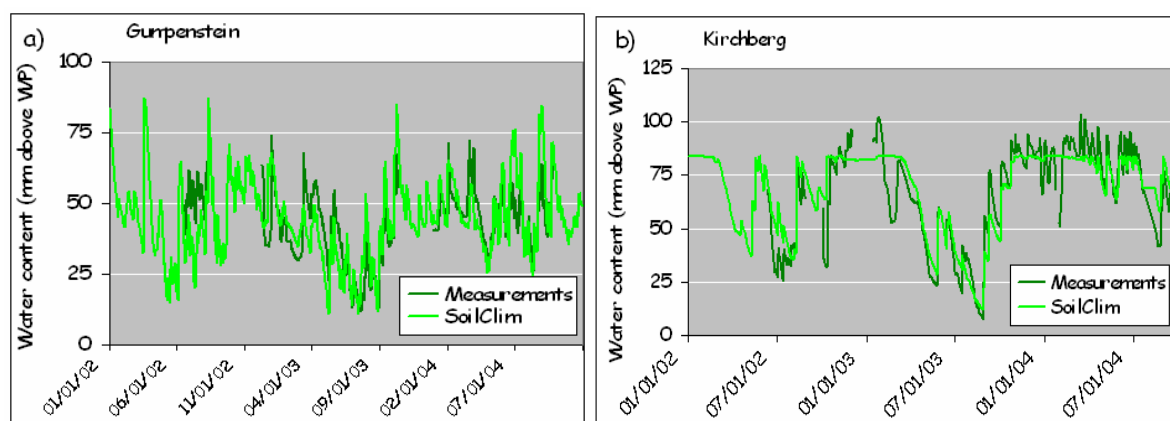
FAO model simulující mj. objemovou půdní vlhkost dvou sledovaných půdních vrstev byl kalibrován pro škálu plodin (pšenice jarní a ozimá, ječmen jarní, brambory a kukuřice) s využitím měření lysimetrické stanice Gross-Enzersdorf pořízených v letech 1998-2005. Porovnání simulované a měřené půdní vlhkosti ve vrstvě MCS I (L 1) a MCS II (L 2) na různých půdních typech zachycuje Obr. 3.





Obr. 3: Chod měřené a simulované půdní vlhkosti ve dvou sledovaných vrstvách. Kalibrace FAO modelu byla provedena díky měření probíhající na lysimetru stanice Gross-Enzersdorf v letech 1999-2004 na 3 půdních typech: černozem (a), písčítá černozem (b) a fluvizem (c).

Kalibrace modelování půdní vlhkosti pod travnatým povrchem byla provedena s využitím měření na stanicích Gumpenstein a Kirchberg v letech 2002 a 2004 (Obr. 4).

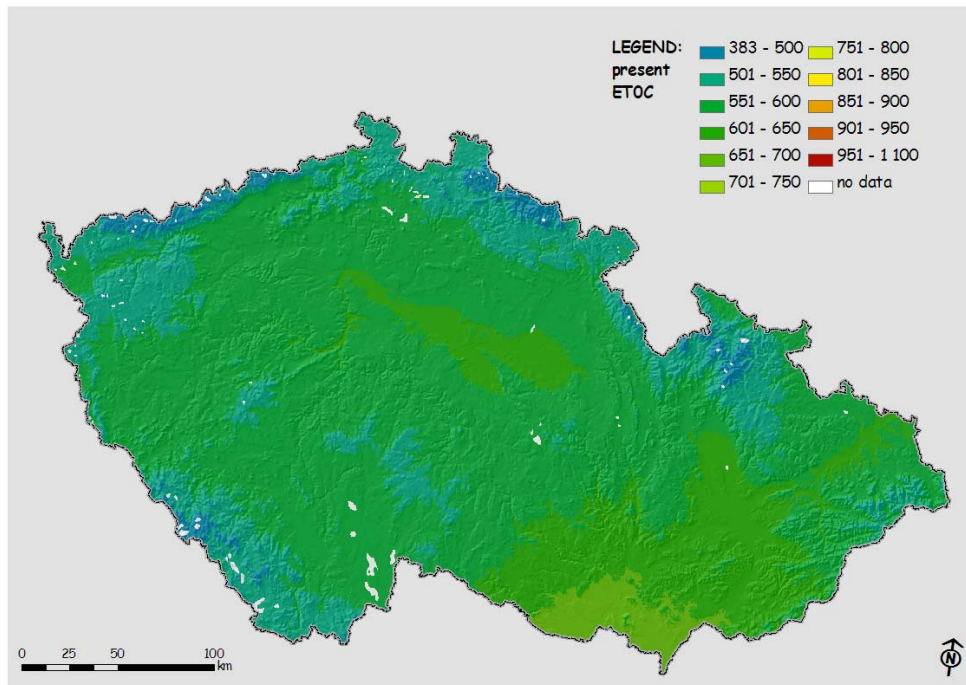


Obr. 4: Srovnání měřené a simulované půdní vlhkosti pod travním porostem na stanicích Gumpenstein (a) a Kirchberg (b) v celém profilu (hloubka půdy 60 cm resp. 40 cm). Použitá data pocházejí z vegetačních sezón 2002 až 2004.

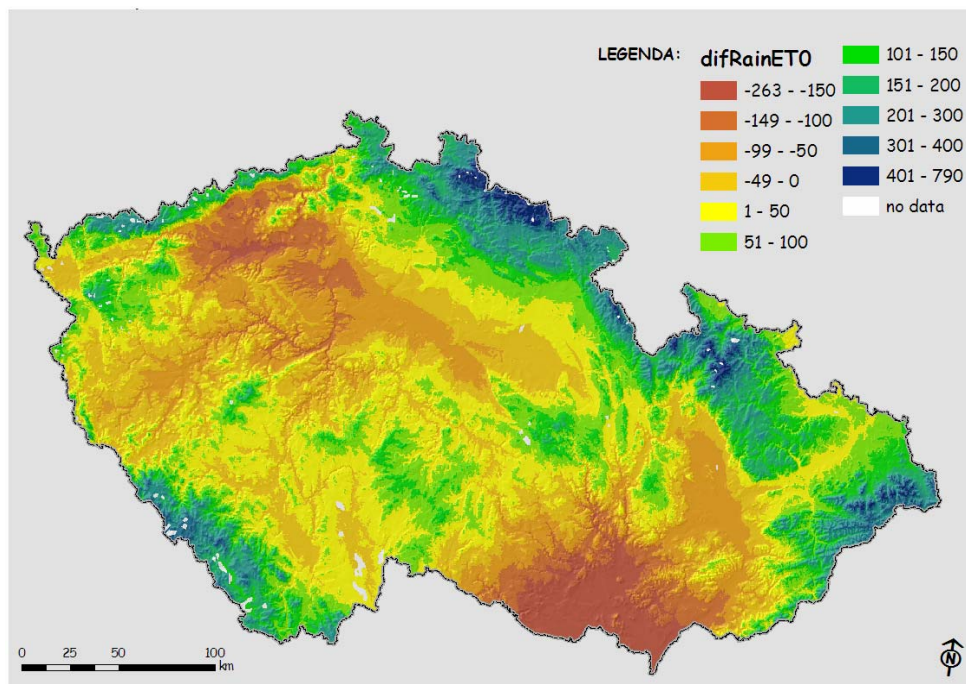
Půdní klimatické režimy ČR v současnosti:

Současné klima, které působilo v nedávných letech na půdu, je v rámci předkládané práce prezentováno syntetickými řadami (99-ti letými) meteorologických veličin, které byly odvozeny s využitím systému Met&Roll (Dubrovský, 1997) pro 125 stanic na základě měřených dat v letech 1961-2000. Modelově jako referenční povrch pokrývající celou ČR byl zvolen ječmen jarní. Charakteristika potřebných vlastností půd (bod vadnutí, polní kapacita, hloubka půdního profilu atd.) a jejich prostorové rozložení vycházelo ze 400 půdních jednotek, reprezentujících 1600 individuálních půdních polygonů v rámci ČR.

Prostorová distribuce sumy referenční evapotranspirace (roční průměr) pro jarní ječmen v období 1961-2000 je zachycena na Obr. 5. Z pohledu výskytu sucha je však velmi zajímavé srovnání rozdílu průměrné roční sumy referenční evapotranspirace a úhrnu srážek, což je pro současné klima zachyceno na Obr. 6, ze kterého jsou dobře patrné regiony s kladnou/zápornou vodní bilancí.

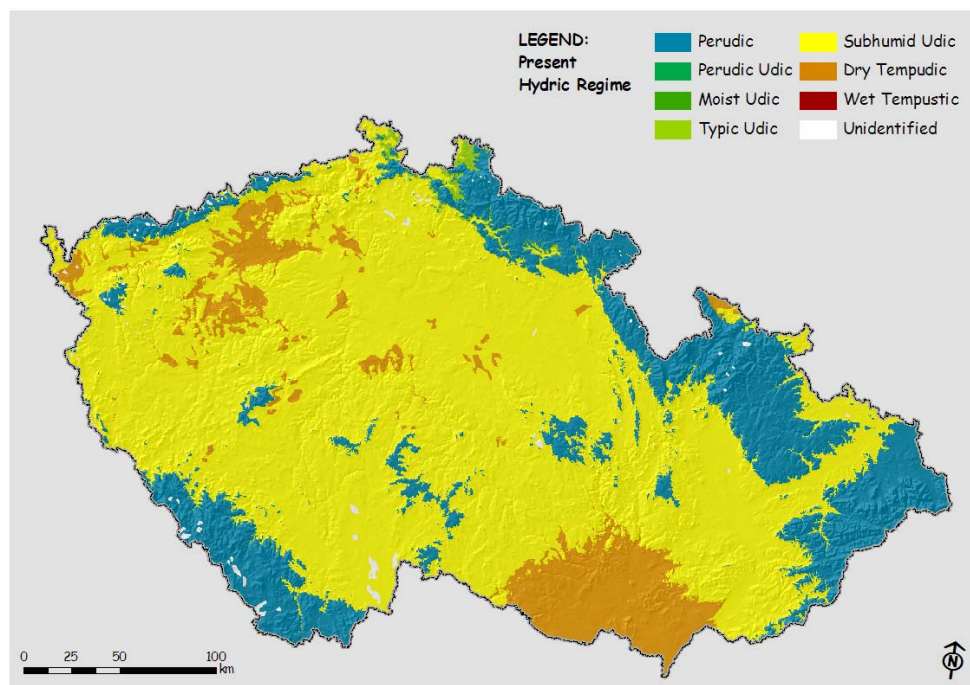


Obr. 5: Průměrná roční suma referenční evapotranspirace (v mm) pro porost jarního ječmene v období 1961-2000.



Obr. 6: Průměrný roční rozdíl mezi sumou referenční evapotranspirace a sumou srážek (v mm).

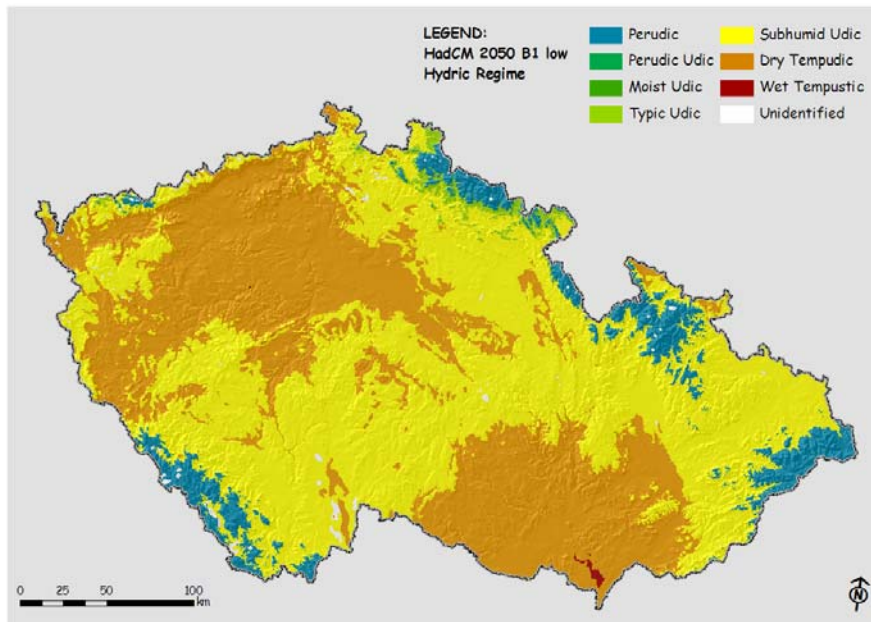
Po následném vyhodnocení modelované vláhové bilance v prostředí dvou sledovaných půdních vrstev získáme informaci o nejčastěji se vyskytujícím půdně klimatickém režimu na daném místě (Obr. 7).



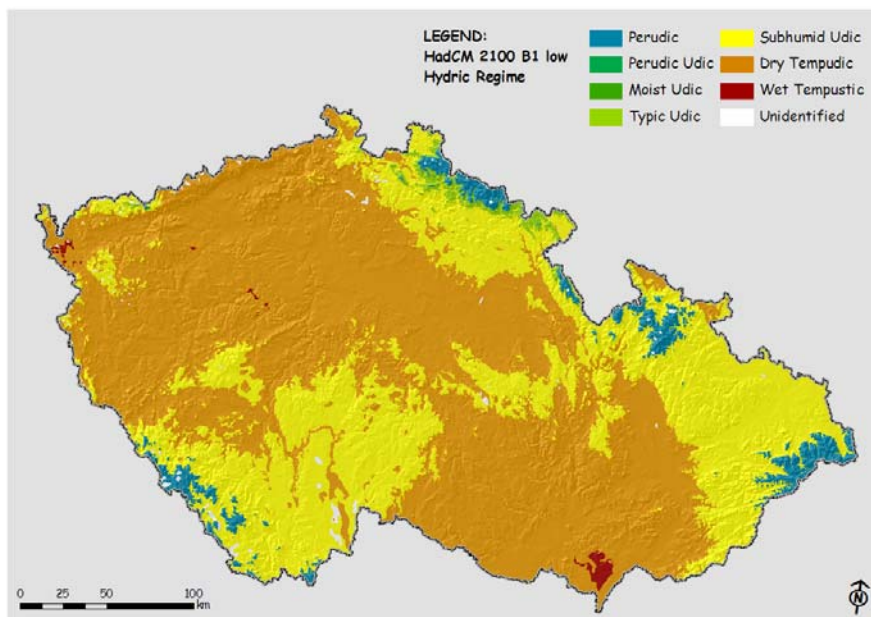
Obr. 7: Půdní Hydrické režimy simulované modelem SoilClim pro období 1961-2000.

Půdní klimatické režimy ČR v podmínkách budoucího klimatu:

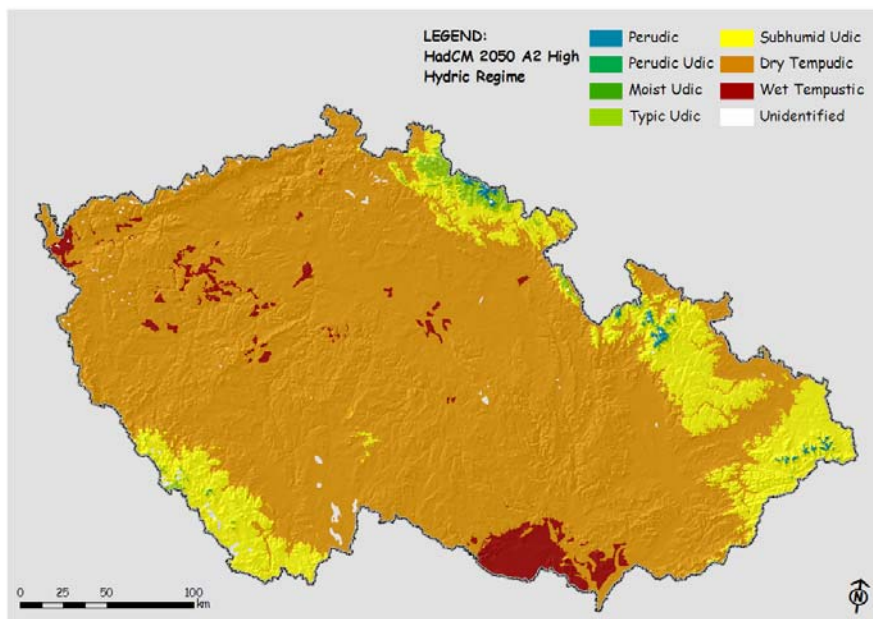
Pro hodnocení půdně klimatických režimů v budoucnu, byly pomocí stochastického generátoru Met&Roll generovány syntetické řady (99 let) pro časové horizonty 2050 a 2100 (simulace odpovídající globálnímu cirkulačnímu modelu HadCM3). Jako varianta budoucího vývoje předpokládající relativně mírné tempo klimatické změny byla zvolena kombinace emisního scénáře B1 a nízké senzitivity atmosféry na nárůst obsahu skleníkových plynů. Příslušné půdně hydrické režimy v horizontu let 2050 a 2100 jsou znázorněny na Obr. 8a-b. V případě vývoje klimatu v souladu s emisním scénářem A2 a vysoké citlivosti klimatu na nárůst koncentrace skleníkových plynů je patrná vyšší razance změn půdně hydrických režimů, jak je zachyceno na Obr. 9 a-b.



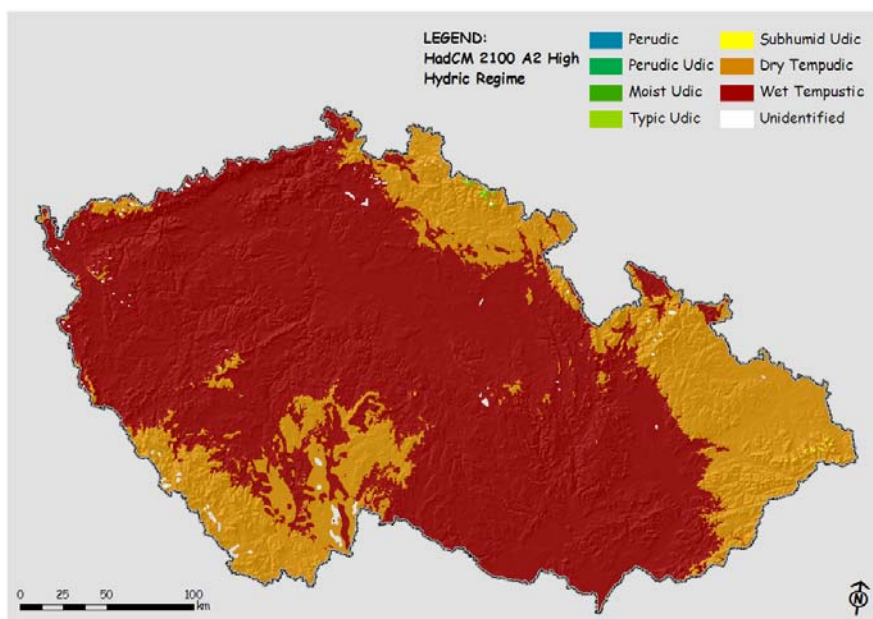
Obr. 8a: Půdně hydrické režimy simulované modelem SoilClim pro podmínky odpovídající roku 2050 (dle modelu HadCM3, emisního scénáře B1 a nízké citlivosti klimatu).



Obr. 8b: Půdně hydrické režimy simulované modelem SoilClim pro podmínky odpovídající roku 2100 (dle modelu HadCM3, emisního scénáře B1 a nízké citlivosti klimatu).



Obr. 9a: Půdně hydrické režimy simulované modelem SoilClim pro **podmínky odpovídající roku 2050** (dle modelu **HadCM3**, emisního scénáře **A2** a **vysoké citlivosti klimatu**).



Obr. 9b: Půdně hydrické režimy simulované modelem SoilClim pro **podmínky odpovídající roku 2100** (dle modelu **HadCM3**, emisního scénáře **A2** a **vysoké citlivosti klimatu**).

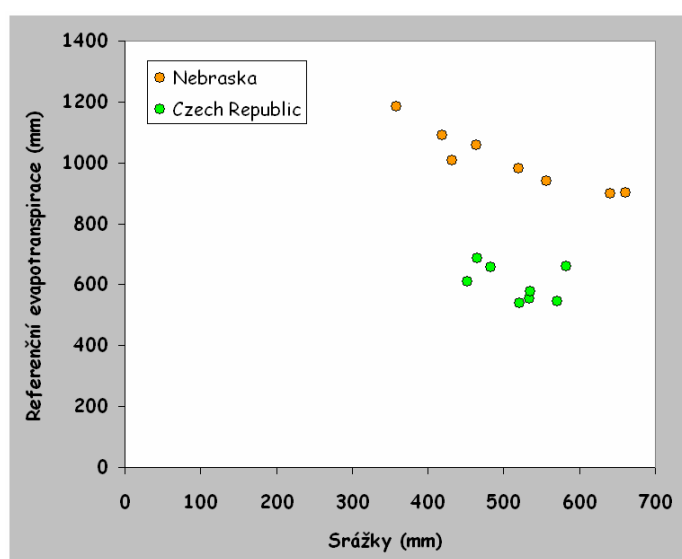
Z výsledků simulací modelu SoilClim vyplývá, že i relativně malá odezva klimatického systému na produkci skleníkových plynů povede v rámci ČR k rozšíření hydrického režimu „Dry Tempudic“, který dnes známe pouze z oblastí jižní Moravy a z malých ploch v Čechách. Při pesimistické variantě budoucího vývoje klimatických podmínek můžeme (dle modelu SoilClim) očekávat významné rozšiřování velmi suchého hydrického půdního režimu „Wet Tempudic“, který se v současných podmínkách na našem území nevyskytuje.

Je třeba připomenout, že uvedená případová studie vychází z referenčního povrchu (pokrývajícího celou republiku), který je tvořen ječmenem jarním. Je zřejmé, že pokud by vegetační kryt odpovídal skutečnému zastoupení rostlinných druhů (TTP, lesní porosty, obilniny atd.) mohlo by se prostorové zastoupení jednotlivých režimů mírně lišit, nicméně jsme přesvědčení, že by se nejednalo o odlišnosti zásadní. Model SoilClim již navíc tuto modifikaci umožňuje a nebyla použita pouze z časových důvodů a komplikované konstrukce výsledných map. Konečná verze mapy půdního klimatu bude předmětem výzkumu v příštím roce.

Z technických důvodů model nepočítá ani s příjmem vody v podobě kapilárního zdvihu, který připadá v úvahu např. v nivách vodních toků. Zahrnutí tohoto procesu do simulované vodní bilance brání absenci prostorových údajů o výšce hladiny podzemní vody. Model také nezahrnuje stres výskytem patogenů působících na vegetační kryt.

Využití programu SoilClim k porovnání klimatických podmínek v Nebrasce a ČR:

Model SoilClim byl rovněž testován na případové studii srovnávající klimatické podmínky dvou rozdílných regionů. K tomuto účelu bylo vybráno 8 stanic z Nebrasky (Ainsworth, Dickens, Gudmudsen, Champion, Mead, Ord, Sydney, Westpoint) a 8 stanic z ČR (Brno Tuřany, Pohořelice, Lednice, Bystřice nad Per., Holešov, Velké Meziříčí, Olomouc, Opava) tak, aby byly zastoupeny různé specifické klimatické podmínky daného státu. Data pro Nebrasku byla dostupná v období 1982-2006 (na st. Aisworth 1984-2006 a Ord 1983-2006) a pro české stanice v období 1961-2000. V rámci studie pak byla na jednotlivých stanicích porovnána hodnota průměrné roční referenční evapotranspirace a ročního úhrnu srážek (Obr. 10), z čehož vyplynulo, že Nebraska je poměrně sušším regionem. Tento fakt je způsoben především vyšší sumou referenční evapotranspirace oproti vybraným stanicím z ČR.



Obr. 10: Srovnání průměrné roční referenční evapotranspirace a ročního úhrnu srážek pro 8 vybraných stanic z České republiky a Nebrasky.

ZÁVĚR

V rámci předkládané studie se podařilo prokázat, že software SoilClim je nástroj, který může být využit ke studiu a simulaci vodní bilance v systému půda-rostlina-atmosféra a to jak v rámci konkrétních lokalit, tak prostorově. V návaznosti na to pak pracuje modul určení půdních hydrických a termických režimů odpovídajících klasifikaci USDA. Pokud při definovaném vegetačním krytu a prostorovém rozložení půd nahradíme vstupní meteorologická data hodnotami pro očekávané scénáře vývoje klimatu, můžeme analyzovat změny půdních režimů i v budoucích podmínkách podnebí.

PODĚKOVÁNÍ

Systém SoilClim je vyvíjen za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v České republice, v rámci projektu: „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ řešeném na MZLU v Brně pod číslem MSM6215648905. Tento příspěvek mohl být publikován také díky podpoře projektu NAZV QG60051 “Dopady změny klimatu na růst a vývoj vybraných polních plodin”.

LITERATURA

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998): Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, pp. 290, ISBN 92-5-104219-5.

Dubrovský M. (1997): Creating daily weather series with use of the weather generator. *Environmetrics*, 8: 409-424.

Heim R.R. (2002): A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the Amer. Meteorol. Society*: 1149-1165.

Kapler P., Trnka M., Semerádová D., Dubrovský M., Žalud Z., Svoboda M., Eitzinger J., Hösch J., Možný M., (2006a): Newhall Model for Assessment of Agricultural Drought Event Probability under Present and Changed Climatic Conditions. EGU 2006, Vienna, European Geosciences Union.

Kapler P., (2006b): Hodnocení meteorologického a zemědělského sucha. Disertační práce, MZLU v Brně, p. 162.

Možný M. (2004): Vymezení a intenzita sucha na území ČR v letech 1891-2003. *ČHMÚ*, 88 s.

Svoboda M., Lecomte D., Hayes M., Heim R., Gleason K., Angel J., Rippey B., Tinker R., Palecki M., Stooksbury D., Miskus D., Stephens S. (2002): The Drought Monitor. *Bulletin of the Amer. Meteorol. Society* 2002: 1181-1190.

SOIL SURVEY STAFF (1999): Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition, USDA Soil Conservation Service, Agricultural Handbook No. 436, US Gov't Printing Office, Washington, D.C.

Trnka M., Hlavinka P., Kocmánková E., Eitzinger J., Formayer H., Ruget F., Žalud Z., (2007): Evaluation and Agrometeorological Application of a Snow Cover Model, 7th annual conference of European Meteorological Society, 30.9.-5.10. 2007 El Escorial, Spain.

Thornton P.E., Hasenauer H., White M.A., (2000): Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over komplex terrain in Austria. Agric. For. Meteorol. 104, 255-271.

Van Wambeke A., Hastings P., Tolomeo M. (1992): Newhall Simulation Model — A BASIC Program for the IBM PC (DOS 2.0 or later). Dept. of Agronomy, Cornell University, Ithaca, NY.