

Agrovoc descriptors: plants; growth; crop yield, yield forecasting; simulation models; meteorology; water balance; monitoring; maize; Zea mays

Agris category code: F01; P40; F62

WOFOST: model za napovedovanje pridelka – 2. del

Tjaša POGAČAR¹, Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ²

Prispelo 23. januarja 2009, sprejeto 23. junija 2009
Received January 23, 2009; accepted June 23, 2009

IZVLEČEK

Model WOFOST (WORld FOod STudy) je precej enostaven za prvo uporabo. Za nastavitve imamo na voljo pet zavihkov: splošno, poljščina, vreme, tla, ponovitve. Izbiramo med potencialno simulacijo, dejansko simulacijo pri omejeni količini vode in dejansko simulacijo pri omejeni količini hranil. Za obravnavo izbrane poljščine moramo dobro poznati njene karakteristike ali pa si izberemo poljščine, ki so že definirane v modelu. Določamo tudi datum setve in žetve ali pa prepustimo modelu, da izbere najprimernejša. Meteorološke podatke moramo za obravnavan kraj pripraviti v zahtevanem formatu. Tudi podatki o različnih tipih tal so že pripravljeni, lahko pa dodamo svoje. WOFOST nam med drugim izračuna fenološke faze, suho težo korenin, listov, stebel in založnih organov, celotno nadzemsko produkcijo, žetveni indeks, evapo(transpi)racijo, asimilacijo, bazalni metabolizem, globino dejanske koreninske cone, vsebnost vode v tleh ter sušne in mokre dni.

Naši izračuni za primer koruze kažejo stanje sušnosti, kot je po izbranih letih od 2003 do 2006 tudi pričakovano – izrazito sušno leto 2003, sušnejše 2006, zmerno 2005 in precej mokro leto 2004. Razlike v vsebnosti vode v tleh se kažejo po koncu maja. Najhitreje je koruza dozorela v najbolj sušnem letu 2003 in najpočasneje v najbolj namočenem 2004. Vidimo lahko še, da na začetku rasti evaporacija iz tal prevladuje nad transpiracijo, med glavno rastno sezono prevladuje transpiracija, na koncu pa zopet evaporacija iz tal. Daleč najmanjša je produkcija leta 2003 zaradi precejšnih težav s sušo, sledi leto 2006 in praktično

enaka pridelka v letih 2004 in 2005, ko večjega pomanjkanja dežja ni bilo.

Pokazali smo še, da je število sušnih dni precej različno pri različnih tipih tal. Na tleh s slabo zadrževalno sposobnostjo je več sušnih let, kot na boljših tleh, v splošnem pa so bila najbolj sušna leta 2001, 1992, 1971, 1988, 2003 in 1993 (izračuni do leta 2005).

Ključne besede: WOFOST, napovedovanje pridelka, vhodni podatki, suša, rastlinska produkcija

ABSTRACT

WOFOST: CROP GROWTH SIMULATION MODEL – 2ND PART

WOFOST (WORld FOod STudy) model is with its user friendly preface very simple to use. It has five tabs: general, crop, weather, soil and reruns, where we determine the calculation parameters. The simulation can base on potential, water-limited or nutrition-limited conditions. Crop parameters have to be quite well known or we can choose pre-determined crop from the model, similar it is with the soil data. There is also possible to set the date of sowing and harvesting (maturity), but we can let the model to choose the more appropriate ones, which are based on meteorological conditions. The format for meteorological data is determined, so we have to prepare them correctly. WOFOST model calculates among others phenological stages, dry weight of roots, leaves, stems and storage organs, total above ground production, harvesting index,

¹ univ. dipl. meteor., ARSO, Ljubljana, tjasa.pogacar@gov.si

² prof., dr., Biotehniška fakulteta, p.p. 2995, 1001 Ljubljana, lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

evapo(transpi)ration, assimilation, maintenance respiration, actual root zone depth, soil moisture and dry/wet days.

Our calculations for maize (pre-defined) give us the estimation of the effect of drought on crop yield for the period 2003-2006. Year 2003 was extremely dry, dry was also 2006, 2005 was moderate and 2004 was wet. Major differences in soil moisture between years came out at the end of May. Maize reached maturity the earliest in 2003 and the latest in 2004. At the beginning of the growth season there is higher soil evaporation than transpiration, in the middle is higher transpiration

and at the end again soil evaporation. Crop production is also depending on water conditions, so it is much smaller in 2003, a bit bigger in 2006, in 2004 and 2005 it was quite the same – there were no problems with the water shortage. We have also shown that the number of dry days strongly depends on the soil type; there are much more dry days on the soil with low water holding capacity. In general, the driest years were 2001, 1992, 1971, 1988, 2003 in 1993 (until 2005).

Key words: WOFOST, yield prediction, input data, drought, crop production

1 UVOD

V prvem delu (Pogačar in Kajfež-Bogataj, 2009) smo podrobneje predstavili nizozemski model WOFOST (Bouman et al., 1996; Diepen et al., 1989; Hooijer and van der Wal, 1994), tokrat pa prikazujemo konkretno uporabo modela. Gre za konkretne napotke in komentarje za uporabo modela ter primere izračunov.

Z implementacijo in prilagoditvijo modela WOFOST na slovenske razmere bi izračune vodne bilance tal lahko nadgradili z oceno kmetijskega pridelka in tako omogočili boljše prilagajanje kmetijske pridelave v Sloveniji novemu podnebjju (Reidsma et al., 2009; Kajfež in Sušnik, 2007). Hkrati bi lahko preučili

kompleksne interakcije med klimatskim sistemom in fenološkim razvojem (sprememba datuma nastopa ter trajanja posameznih fenoloških faz) ter količino pridelka, kar s poljskimi poskusi ni možno (Wolf in van Diepen, 1994; Wegehenkel, 2000). Poleg tega bi lahko z modelom preučevali tudi vodno bilanco kmetijskih tal in rezultate primerjali z vodnobilančnima modeloma IRRFIB (Sušnik, 2006; Ceglar in sod., 2008) ter SIMPEL (Hörmann, 1997; Ipavec in Kajfež Bogataj, 2008). Vodno bilanco kmetijskih tal so z modelom WOFOST preučeval že Eitzinger s sodelavci (2004) ter Todorović s sodelavci (2009).

2 PRIKAZ UPORABE MODELA

Model WOFOST ima prijazen uporabniški vmesnik, zato je precej enostaven za uporabo (Supit et al., 2008). Za nastavitve imamo na voljo pet zavihkov: splošno, poljščina, vreme, tla, ponovitve.

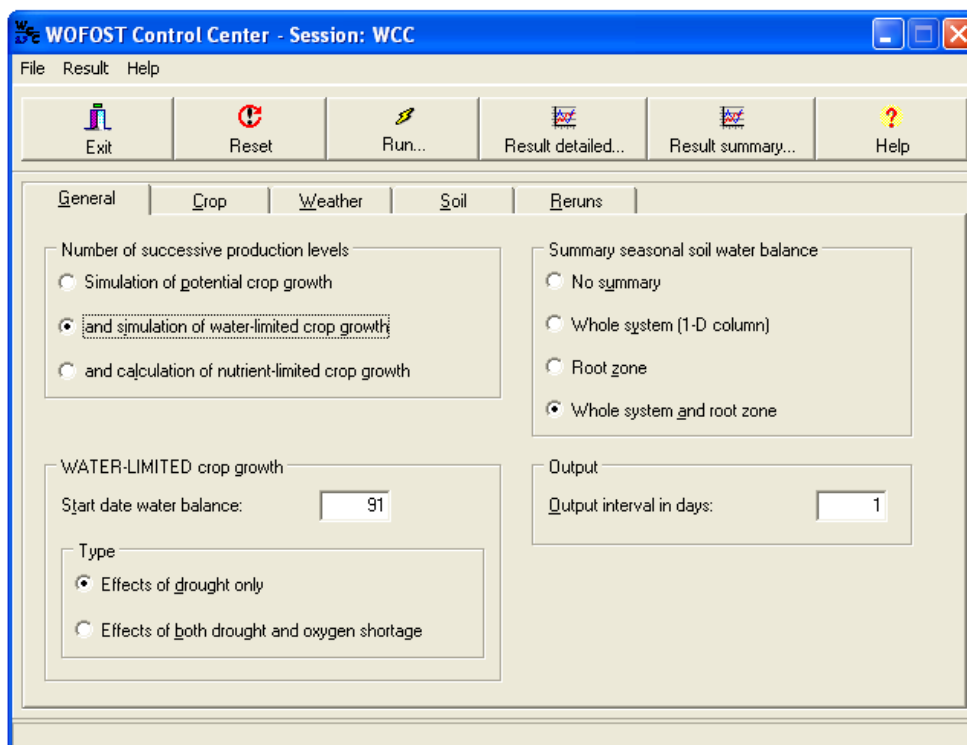
Pri splošnem (Slika 1) si izberemo, kakšno simulacijo želimo: potencialno, dejansko pri omejeni količini vode ali dejansko pri omejeni količini hranil. Določimo, kateri dan v letu (julijanski dan) naj se začne simulacije vodne bilance tal in ali bomo upoštevali le vpliv suše ali tudi primanjkljaja kisika (preveč vode). Za izpis rezultatov določimo, za kateri del tal želimo povzetek vodne bilance: za cel sistem, za koreninsko cono, za oboje ali pa ne želimo povzetka. Izberemo še časovni interval (v dnevih) za izpis.

Nato pri zavihku 'poljščina' (Slika 2) izberemo, katero poljščino bomo obravnavali. Veliko jih že imamo na

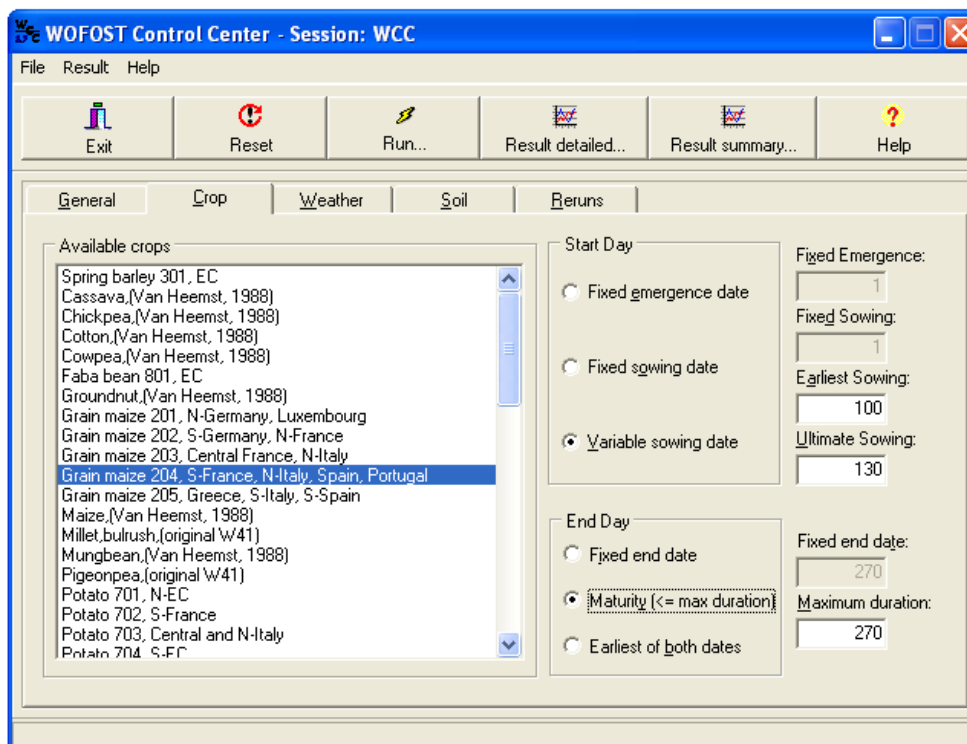
izbiro, lahko pa tudi dodamo svojo, vendar moramo zelo dobro poznati njene karakteristike. Navodila za dodajanje so priložena modelu. Definirati moramo tudi začetni in končni dan simulacije rasti.

Pri začetnem dnevu se lahko odločimo za točen datum setve ali vznika, ki ga kot julijanski dan vpišemo v polje, ali pa izberemo spremenljiv datum setve, pri čemer moramo vpisati spodnjo in zgornjo mejo za ta datum, model pa bo poiskal najprimernejši čas glede na simulirane razmere.

Pri končnem dnevu lahko prav tako vpišemo točen datum, lahko pustimo poljščino rasti do zrelosti, a pri tem vpišemo maksimalno trajanje, ali pa pustimo modelu, da izbere zgodnejšega izmed obeh datumov.



Slika 1: Zavihek 'splošno' pri nastavitvah modela WOFOST 7.1.2.
Figure 1: WOFOST model – tab 'General'.



Slika 2: Zavihek 'poljščina' pri nastavitvah modela WOFOST 7.1.2.
Figure 2: WOFOST model – tab 'Crop'.

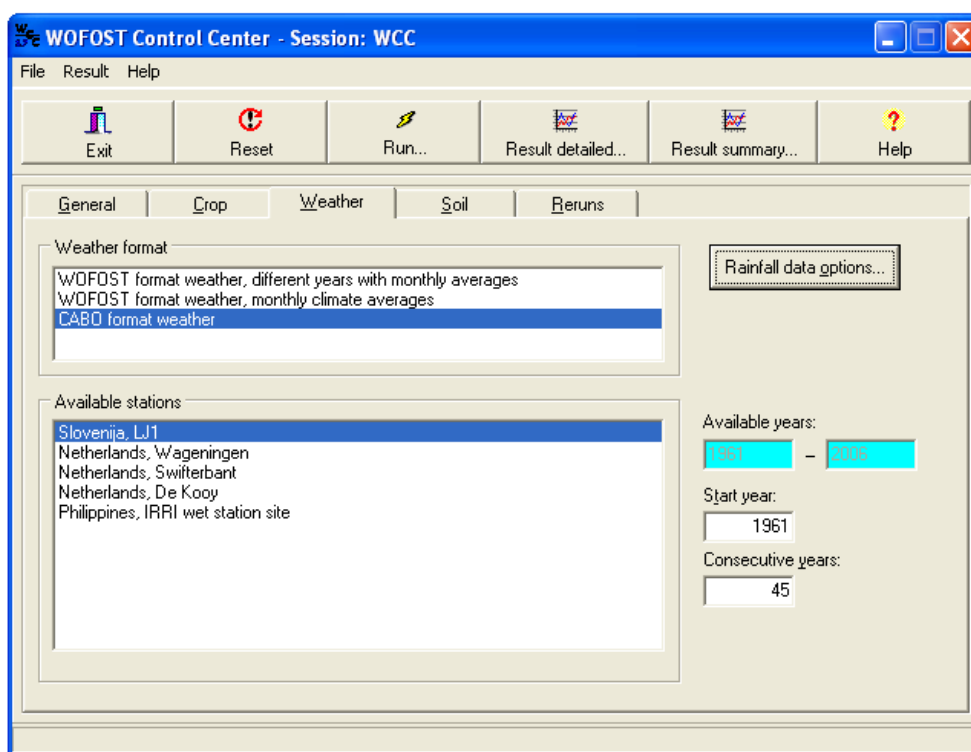
Zavihek 'vreme' (Slika 3) nam omogoča, da izberemo format, v katerem imamo meteorološke podatke, dodatne možnosti imamo še za podatke o količini padavin (če so v drugačnem formatu). Na voljo so podatki s treh nizozemskih postaj in ene na Filipinih, lahko pa dodamo svojo – kot že lahko vidimo možnost izbire Ljubljane. Pri tem uporabimo CABO format z dnevnimi vrednostmi spremenljivk, ki je opisan v navodilih.

Vpisati moramo še začetno leto obravnave in število zaporednih let, za katera želimo izračune.

Pri zavihku 'tla' (Slika 4) imamo na razpolago na tri različne načine definirana tla s 4, 5 oz. 6 tipi tal. Tudi tu lahko na precej zapleten način (potrebujemo veliko podatkov o tleh) dodamo nov tip tal.

Vpisati moramo začetno količino vode, ki se zadržuje na površju, največjo možno količino vode na površju, začetno dostopno količino vode v tleh in maksimalno količino vode v začetni koreninski coni. Če izberemo upoštevanje vpliva podtalnice, ne potrebujemo zadnjih dveh podatkov, temveč začetne podatke o podtalnici, poleg tega pa lahko izberemo še drenažo in v tem primeru vpišemo globino drenaže.

Definirati moramo tudi maksimalno globino koreninske cone in maksimalni delež padavin, ki se ne infiltrira. Izberemo lahko še ali se infiltrira določena količina padavin ali pa so vrednosti infiltracije določene glede na velikost nevihte (količino padavin).



Slika 3: Zavihek 'vreme' pri nastavitvah modela WOFOST 7.1.2.

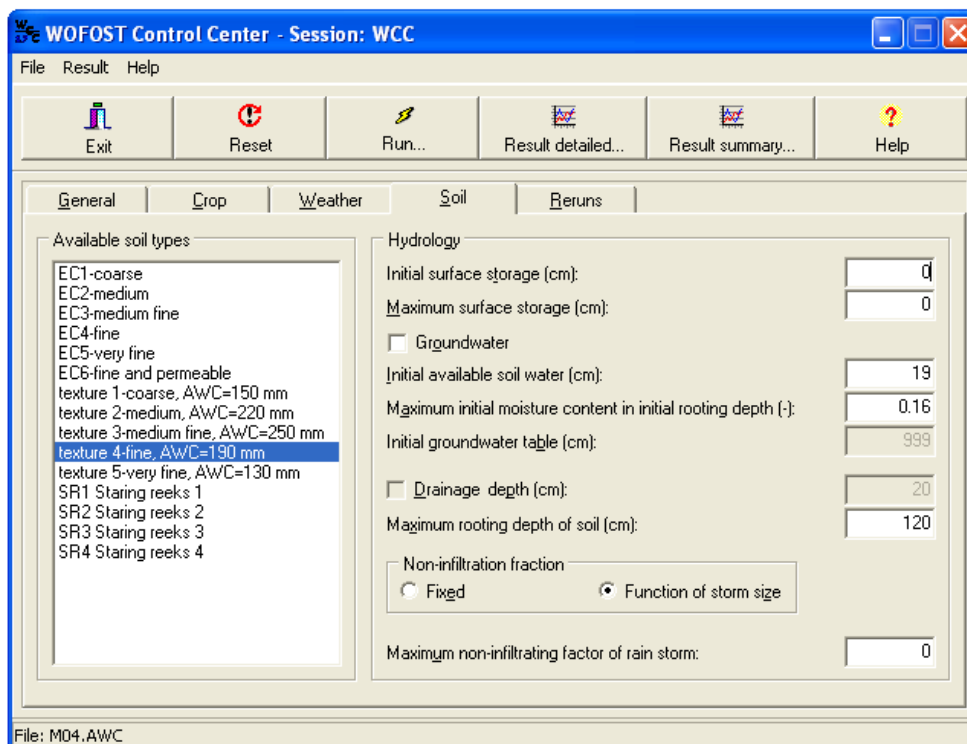
Figure 3: WOFOST model – tab 'Weather'.

Zadnji zavihek nam omogoča, da si nastavimo ponovitve simulacij s spremenjenimi parametri, ki si jih sami izberemo.

Ko nastavimo vse vhodne parametre, zaženemo model ('Run...'). Rezultati se nam izpišejo v obliki tabele, ki

nam jo model lahko tudi prenese v Excel.

Izbiramo lahko med razčlenjenim izpisom po dnevih ('Result detailed...') in povzetkom rezultatov ('Result summary...').



Slika 4: Zavihek 'tla' pri nastavitvah modela WOFOST 7.1.2.
 Figure 4: WOFOST model – tab 'Soil'.

WEATHER: Slovenija, LJ1 (..\meteo\cabowe\l1.)
 RAIN: belonging to weather station
 CROP: Grain maize 204, S-France, N-Italy, Spain, Portugal (..\cropd\mag204.cab)
 SOIL: texture 4-fine, AWC=190 mm (..\soild\m04.awc)
 START: sowing date variable between day nr100 and 130; start calculations = 90
 sowing date: 100 emergence date: 112 start date waterbalance: 91

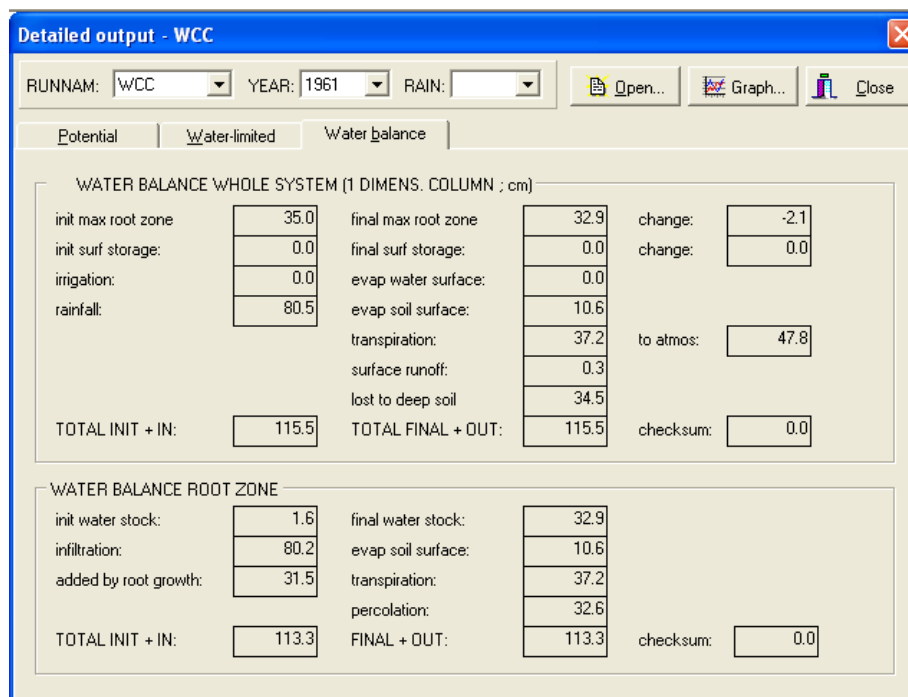
WATER LIMITED CROP PRODUCTION WITHOUT GROUNDWATER
 variable fraction RDM_{so}=120 NOTinf=0.00
 SM0=0.450 SMFC=0.350 SMW=0.160 SMLIM=0.160 RDM=100. WAV= 19.0 SS_{max}= 0.0

| DAY | WLV | WST | WSO | TAGP | LAI | RD | SM | RESRV | AVAIL | RAIN | TRA | EVA | wet | dry |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|----|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | | cm | vol.fr | cm | cm | mm | mm/d | mm/d | days | days |
| 112 | 19 | 11 | 0 | 30 | 0.05 | 10 | 0.344 | 18.9 | 1.8 | 63 | 0.04 | 0.45 | 0 | 0 |
| 113 | 20 | 13 | 0 | 33 | 0.05 | 12 | 0.342 | 18.9 | 2.2 | 63 | 0.04 | 0.49 | 0 | 0 |
| 114 | 22 | 14 | 0 | 36 | 0.06 | 14 | 0.365 | 19.2 | 2.9 | 66 | 0.05 | 2.11 | 0 | 0 |
| 115 | 24 | 15 | 0 | 38 | 0.06 | 17 | 0.404 | 19.9 | 4.0 | 75 | 0.07 | 2.62 | 0 | 0 |
| 116 | 27 | 17 | 0 | 44 | 0.06 | 19 | 0.352 | 19.0 | 3.6 | 76 | 0.07 | 0.84 | 0 | 0 |

SUMMARY

| HALT | ANTH | TWRT | TWLV | TWST | TWSO | TAGP | HINDEX | TRC | GASST | MREST | wet | dry |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|
| 265 | 82 | 2899 | 5102 | 10219 | 13811 | 29132 | 0.47 | 127.6 | 67016 | 19272 | 0 | 0 |

Slika 5: Prikaz rezultatov v modelu WOFOST 7.1.2.
 Figure 5: WOFOST model: detailed output – tab 'Water-limited'.



Slika 6: Zavihek, ki prikazuje vodno bilanco.

Figure 6: WOFOST model: detailed output – tab 'Water balance'.

Pri razčlenjenem izpisu (Slika 5) izberemo leto, za katerega želimo izpis. Na voljo imamo zavihke z rezultati za potencialno simulacijo ('Potential'), simulacijo pri omejeni količini vode ('Water-limited') in z vodno bilanco ('Water balance'). Pri vodni bilanci so predstavljene glavne komponente le-te za celotni sistem in za koreninsko cono (Slika 6).

V tabeli predstavljamo spremenljivke, ki se kot rezultat izpišejo pri potencialni simulaciji.

Pri rezultatih simulacije pri omejeni količini vode imamo prav tako spremenljivke, ki so v tabeli 1 odebeljene, poleg njih pa še dodatne, ki so predstavljene v tabeli 2.

Pri povzetku rezultatov prav tako lahko izbiramo med zavihkoma z rezultati za potencialno simulacijo ('Potential') in simulacijo pri omejeni količini vode ('Water-limited'). Rezultati se nam izpišejo po posameznih letih, poleg tega pa dobimo tudi izračun povprečij, standardnih odklonov in variacijskih koeficientov za simulirano obdobje (dolžina obdobja je navedena pod spremenljivko DUR) za spremenljivke, ki so v tabeli 3 odebeljene.

V tabeli 3 so zbrane in opisane vse spremenljivke, ki so izračunane pri potencialni simulaciji (večinoma so enake kot pri razčlenjenem izpisu).

Tabela 1: Spremenljivke pri razčlenjenem izpisu rezultatov potencialne simulacije.**Table 1:** Variables in detailed output of the potential simulation.

| ime spremenljivke | enote | pomen |
|-------------------|--------------------------------|---|
| DAY | | julijanski dan v letu |
| IDSEM | d | št. dni od vznika |
| DVS | | razvojna faza poljščine |
| TSUM | °C | termalni čas |
| WLV | kg/ha | suha teža živih listov |
| WST | kg/ha | suha teža živih stebel |
| WSO | kg/ha | suha teža živih založnih organov |
| TAGP | kg/ha | celotna nadzemna produkcija |
| LAI | m ² /m ² | indeks listne površine |
| TRA | mm/d | stopnja transpiracije |
| GASS | kg(CH ₂ O)/ha/d | stopnja asimilacije |
| MRES | kg(CH ₂ O)/ha/d | stopnja bazalnega metabolizma |
| DMI | kg/ha/d | stopnja rasti suhe snovi |
| v povzetku še: | | |
| HALT | | dan žetve |
| ANTH | d | št. dni do cvetenja |
| TWRT | kg/ha | celotna suha teža korenin |
| TWLV | kg/ha | celotna suha teža listov |
| TWST | kg/ha | celotna suha teža stebel |
| TWSO | kg/ha | celotna suha teža založnih organov |
| HINDEX | | žetveni indeks: teža založnih org./teža nadzemnega dela poljščine |
| TRANSP | cm | celotna transpiracija |
| TRC | | transpiracijski koeficient: kg(H ₂ O)/kg(suha snov) |
| GASST | kg(CH ₂ O)/ha | celotna asimilacija |
| MREST | kg(CH ₂ O)/ha | celotni bazalni metabolizem |

Tabela 2: Preostale spremenljivke pri razčlenjenem izpisu rezultatov simulacije pri omejeni količini vode.**Table 2:** The rest of variables in detailed output of the water-limited simulation.

| ime spremenljivke | enote | pomen |
|-------------------|----------------------------------|---|
| RD | cm | globina dejanske koreninske cone |
| SM | cm ³ /cm ³ | vsebnost vode v tleh |
| RESRV | cm | količina dostopne vode v potencialni koreninski coni |
| AVAIL | cm | količina dostopne vode v dejanski koreninski coni |
| RAIN | mm | celotna količina padavin v simulacijskem obdobju |
| EVA | mm/d | stopnja evaporacije iz tal ali iz vode na površju |
| wet | kg/ha | št. dni z zmanjšano rastjo poljščin zaradi pomanjkanja kisika |
| dry | kg/ha | št. dni z zmanjšano rastjo poljščin zaradi pomanjkanja vode |

Pri dejanski simulaciji z omejeno količino vode se poleg že znanih pojavijo še spremenljivke, ki so zbrane v tabeli 4.

Pri razčlenjenih rezultatih nam model sam izriše tudi grafe posameznih spremenljivk, hkrati za vsa simulirana leta (kar je nekoliko nepregledno, če si izberemo daljše obdobje). Žal pa grafov ne moremo izvoziti.

Tabela 3: Spremenljivke pri povzetku rezultatov potencialne simulacije.**Table 3:** Variables in summary output of the potential simulation.

| ime spremenljivke | enote | pomen |
|-------------------|--------------------------|---|
| YR | | leto |
| RUNNAM | | oznaka simulacijskega zagona |
| SOW | | dan setve |
| → | d | št. dni med setvijo in vznikom |
| EM | | dan vznika |
| ANT | d | št. dni do cvetenja |
| FLWR | | dan, ko poljščina zacveti |
| HALT | | dan žetve |
| TWRT | kg/ha | celotna suha teža korenin |
| TWLV | kg/ha | celotna suha teža listov |
| TWST | kg/ha | celotna suha teža stebel |
| TWSO | kg/ha | celotna suha teža založnih organov |
| TAGP | kg/ha | celotna nadzemna produkcija |
| LAIM | ha/ha | maksimalni indeks listne površine |
| HINDEX | | žetveni indeks: teža založnih org./teža nadzemnega dela poljščine |
| TRC | | transpiracijski koeficient: kg(H ₂ O)/kg(suha snov) |
| GASST | kg(CH ₂ O)/ha | celotna asimilacija |
| MREST | kg(CH ₂ O)/ha | celotni bazalni metabolizem |
| TRANSP | cm | celotna transpiracija |
| EVSOL | cm | celotna evaporacija iz površja tal |

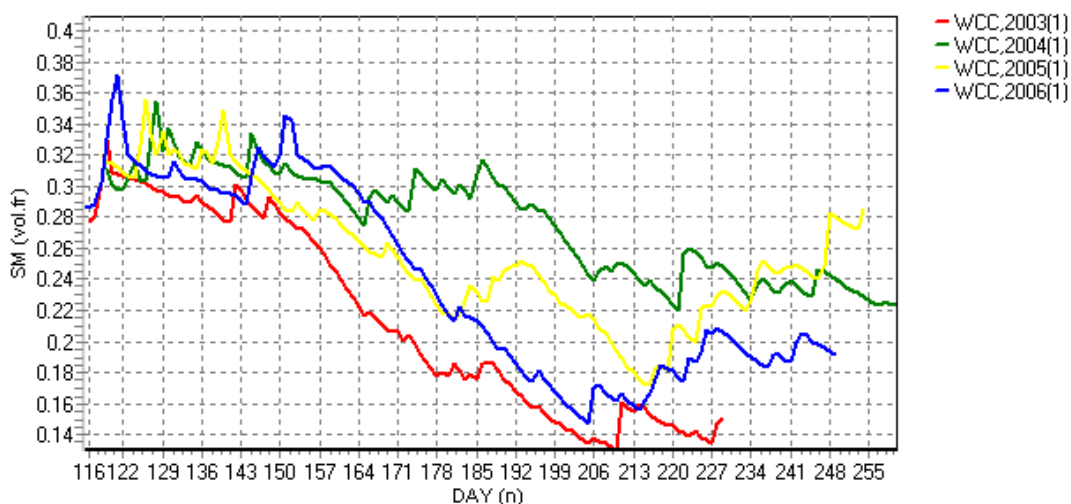
4 PRIMER IZRAČUNOV

V nadaljevanju si pogledimo nekaj rezultatov vodno-bilančnih izračunov z modelom WOFOST za korožo v letih od 2003 do 2006.

Slika 7 kaže stanje sušnosti kot je po izbranih letih tudi pričakovano – izrazito sušno leto 2003, sušnejše 2006, zmerno 2005 in precej mokro leto 2004. Razlike v vsebnosti vode v tleh se kažejo po 150. dnevu, torej nekje po koncu maja. Kot vidimo na vseh grafih, se simulacijsko obdobje vsako leto drugače konča, saj smo nastavili naj model računa do zrelosti poljščine (ali najdlje do 270. dneva). Najhitreje je koroža dozorela v najbolj sušnem letu 2003 in najpočasneje v najbolj namočenem 2004.

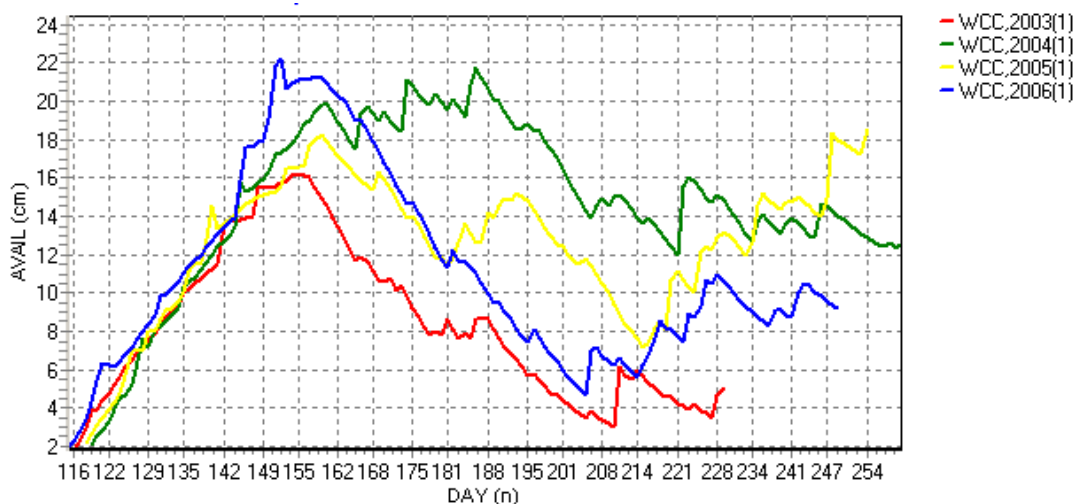
Slika 8 je precej podobna prejšnji, saj kaže količino dostopne vode v dejanski koreninski coni. Tu so rezultati prikazani v centimetrih, medtem ko so na sliki 13 v volumskih odstotkih.

Na slikah 9 in 10 sta grafa transpiracije in evaporacije iz tal, ki se med seboj nekako dopolnjujeta. Jasno lahko vidimo, da je na začetku rasti glavni proces evaporacija iz tal, kasneje med rastno sezono prevladuje transpiracija, na koncu pa zopet evaporacija iz tal. Rezultati so prikazani v milimetrih, transpiracija doseže tudi še enkrat višje vrednosti kot evaporacija.



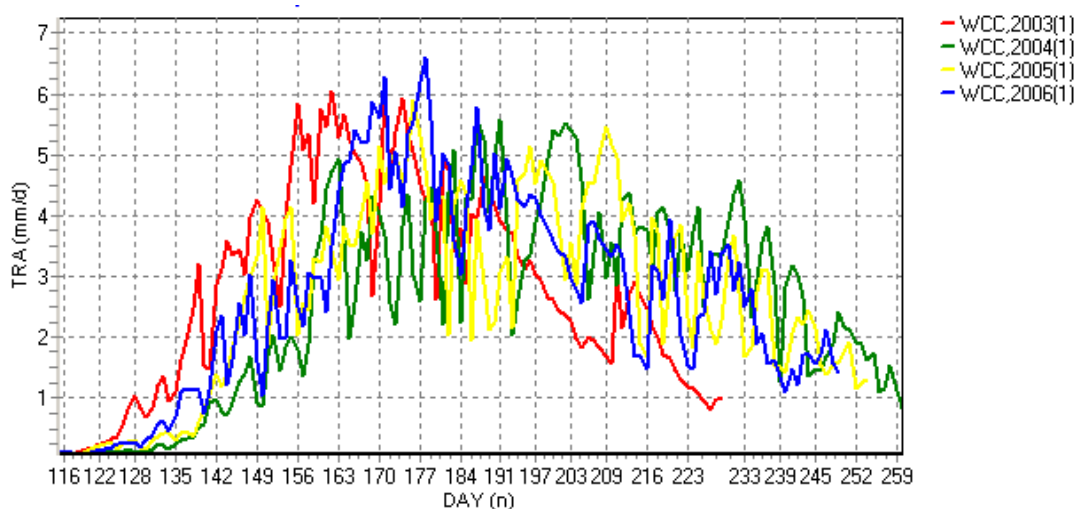
Slika 7: Vsebnost vode v dejanski koreninski coni v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 2003 do 2006.

Figure 7: Soil moisture content in actual root zone during the simulated period in years 2003-2006.

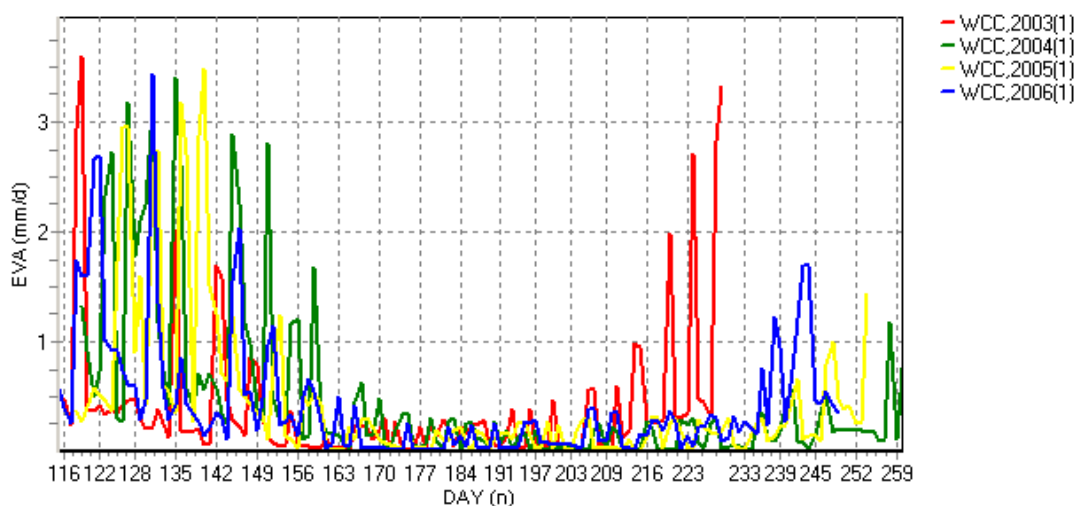


Slika 8: Količina dostopne vode v dejanski koreninski coni v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 2003 do 2006.

Figure 8: Amount of water available in actual root zone during the simulated period in years 2003-2006.



Slika 9: Stopnja transpiracije v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 2003 do 2006.
Figure 9: Transpiration rate during the simulated period in years 2003-2006.



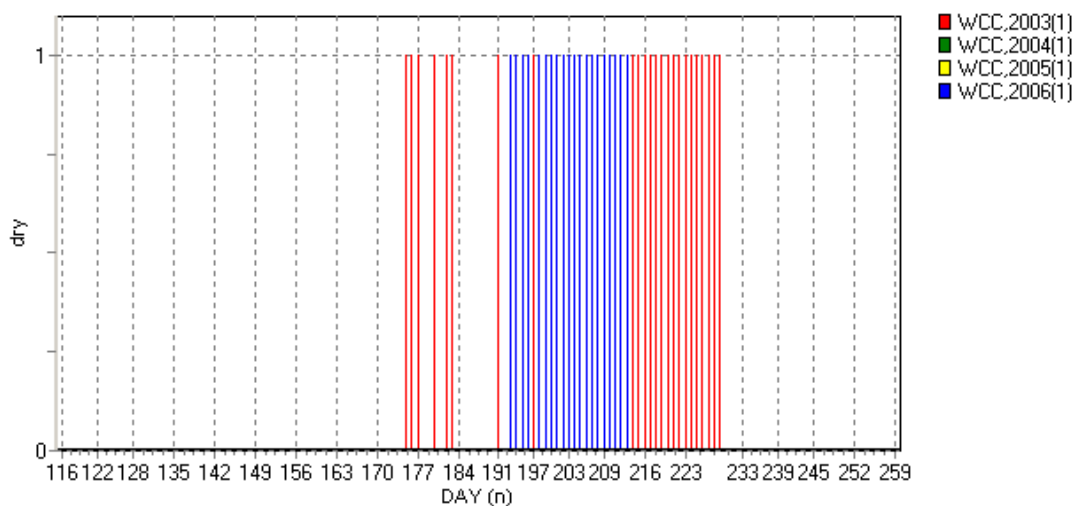
Slika 10: Stopnja evaporacije iz tal v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 2003 do 2006.
Figure 10: Soil evaporation rate during the simulated period in years 2003-2006.

Prikažemo lahko tudi število sušnih ali mokrih dni. Tako imamo na grafu na sliki 11 označene dneve z zmanjšano rastjo poljščin zaradi pomanjkanja vode (dnevov z zmanjšano rastjo zaradi pomanjkanja kisika v teh letih ni bilo).

Na sliki 12 je rastlinska produkcija v kilogramih na hektar, ki je odvisna od vseh prej prikazanih dejavnikov ter ostalih spremenljivk, ki smo jih predstavili pred tem. Daleč najmanjša je produkcija leta 2003 zaradi precejšnih težav s sušo, sledi leto 2006 in praktično

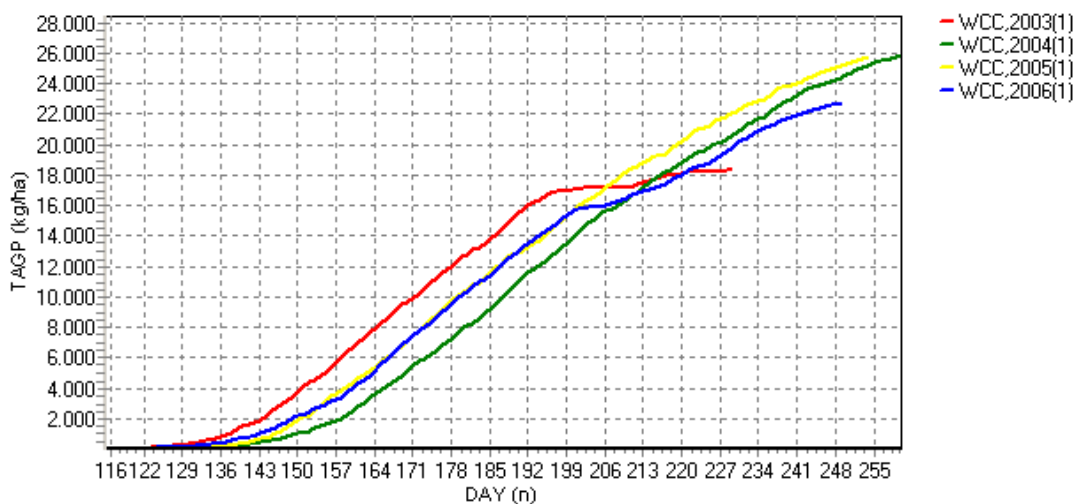
enaka pridelka v letih 2004 in 2005, ko večjega pomanjkanja dežja ni bilo.

Graf na zadnji sliki (Slika 13) pa je sam po sebi zgovoren o primernosti različnih tal za izbrano kulturo (v našem primeru je to koruza). Število sušnih dni je namreč precej različno pri različnih tipih tal. Na tleh s slabo zadrževalno sposobnostjo (le 130 mm rezervoarja za vodo) je precej več sušnih let, kot na boljših tleh, v splošnem pa so bila najbolj sušna leta 2001, 1992, 1971, 1988, 2003 in 1993 (nismo računali za leta po l. 2005).



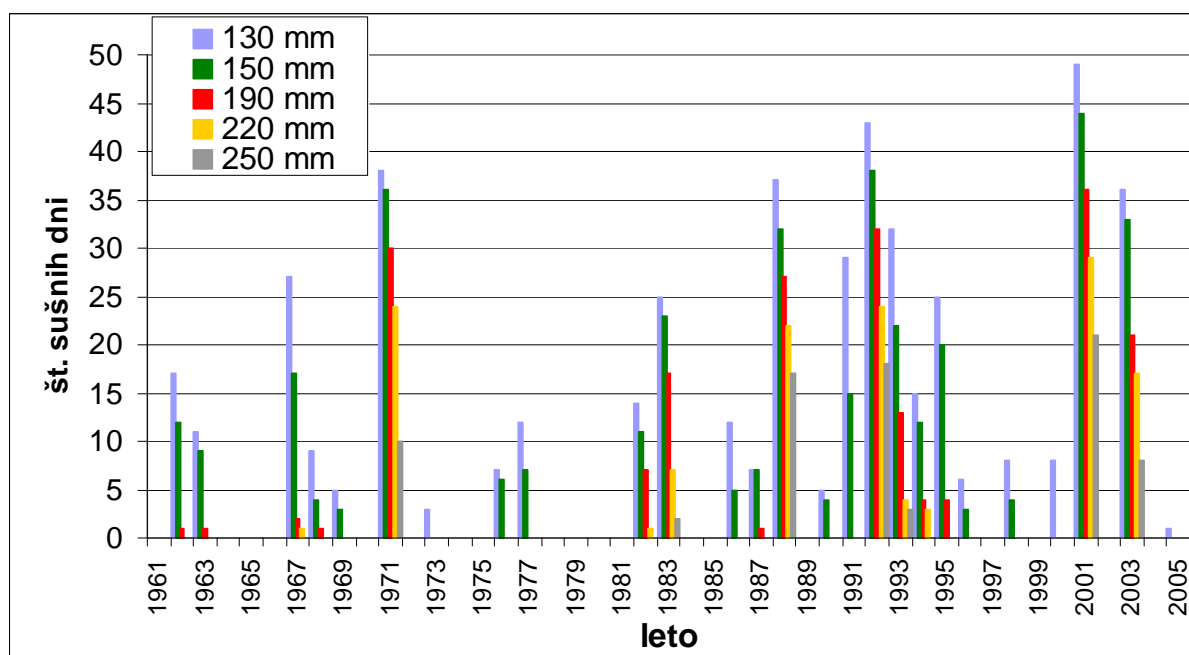
Slika 11: Dnevi z zmanjšano rastjo poljščin zaradi pomanjkanja vode v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 2003 do 2006.

Figure 11: Days characterized by reduced crop growth due to water shortage during the simulated period in years 2003-2006.



Slika 12: Celotna nadzemska produkcija v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 2003 do 2006.

Figure 12: Total above ground production during the simulated period in years 2003-2006.



Slika 13: Število dni z zmanjšano rastjo poljščin zaradi pomanjkanja vode v modelsko določenem vegetacijskem obdobju za leta od 1961 do 2005 pri petih različnih tipih tal (različne barve predstavljajo različno sposobnost zadrževanja vode v tleh).

Figure 13: Number of days characterized by reduced crop growth due to water shortage on different soil types during the simulated period in years 1961-2005.

4 ZAKLJUČEK

Prikazali smo osnovno upravljanje z modelom WOFOST. Potrebujemo precej vhodnih podatkov, a kadar vseh parametrov ne poznamo, lahko testiramo in poskušamo smiselno uporabiti parametre, ki jih ima model že definirane. Zavedati se moramo, da se ob tako velikem številu podatkov akumulirajo tudi napake letih, kar nam lahko precej pokvari naše končne izračune.

Izračuni, ki smo jih prikazali, delujejo na prvi pogled zelo dobro, saj nakazujejo stvari kot smo jih pričakovali. Vendar se moramo zavedati, da smo uporabili že

definirano vrsto koruze (ki ni nujno povsem primerna) in že definirana tla, ki se gotovo nekoliko razlikujejo od slovenskih.

Za Slovenijo bi bilo potrebno model dobro preizkusiti in kalibrirati. Tu se kot ponavadi zatakne pri pomanjkanju meritev. Čeprav zato ne moremo umerjati posameznih komponent, pa lahko kljub vsemu preverjamo končne rezultate. Potem bomo rezultate lahko dejansko uporabili, morda bolje pripravili svoje baze podatkov in se lotili napovedovanja pridelka.

5 LITERATURA

Boogaard, H. L., Diepen C. A. van, Rötter R. P., Cabrera J. M. C. A., Van Laar H. H. WOFOST 7.1; User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Wageningen DLO Winand Staring Centre. Technical Document 52 (1998). 142 str.

Bouman, B.A.M., van Keulen, H., van Laar, H.H., Rabbinge, R., 1996. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. Agr. Syst. 52, 171-198.

Ceglar, A., Sušnik, A., Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L., 2008 Uporaba modela IRRFIB pri analizi vodne bilance

breskev in travinja v Sloveniji v obdobju 1991-2006. V: Hudina, M. (ur.). Zbornik referatov 2. Slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno udeležbo, Krško, 31. januar - 2. februar 2008. Ljubljana: Strokovno sadjarsko društvo Slovenije, 2008, str. 109-117

Diepen, C. A. van, Wolf, J., Keulen, H. van., 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. Soil Use and Management, 5 (1989):16-24.

Eitzinger, J., M. Trnka, J. Hosch, Z. Zalud, M. Dubrovsky, 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing

- season under different soil conditions, *Ecological Modelling*, Vol. 171 (3): 223-246
- Hooijer, A. A., Wal, T. van der, 1994. CGMS version 3.1, user manual. Technical document 15.1. SC-DLO, Wageningen (1994).
- Hörmann, G., 1997: SIMPEL - ein einfaches, benutzerfreundliches Bodenwassermodell zum Einsatz in der Ausbildung. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 41(2):67-72,
- Ipavec, T., Kajfež Bogataj, L., 2008. Možni vplivi podnebnih sprememb na vodno bilanc tal v Sloveniji = Potential climate change impacts on water balance in Slovenia. *Acta agric. Slov.*, 2008, let. 91, št. 2, str. 427-441.
- Kajfež-Bogataj, L., Sušnik, A. 2007. Challenges to agrometeorological risk management - regional perspectives: Europe. In: SIVAKUMAR, Mannava V.K. (Ed.), MOTHARAY, Raymond P. (Ed.). *Managing weather and climate risks in agriculture*. Springer Verlag; Berlin; Heidelberg; New York, 114-124.
- Pogačar, T. in Kajfež Bogataj, L., 2009. WOFOST: model za napovedovanje pridelka – 1. del. *Acta agric. Slov.* [Tiskana izd.], 2009, let. 93, št. 2, str. 231-243.
- Reidsma, P. F. Ewert, H. Boogaard, K. van Diepen, 2009. Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields, *Agricultural Systems*, Vol. 100, Issues 1-3 : 51-60.
- Supit, I., Goot, E. van der, 2008. Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model, dokument za Evropsko komisijo. <http://supit.net/main.php?q=aXRlbV9pZD01OQ==> [Uporabljeno 23. 7. 2008].
- Sušnik, A., 2006. Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb. Magistrsko delo. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, 147 s.
- Todorović, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M. T. Abi Saab, C. Stockle, and P. Steduto. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agron. J.* 101:509–521
- Wegehenkel, M., 2000. Test of a modelling system for simulating water balances and plant growth using various different complex approaches, *Ecological Modelling*, Volume 129, (1): 39-64
- Wolf, J. and C.A van Diepen, 1994. Effects of climate change on silage maize production potential in the European community, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 71, Issues 1-2 : 33-60