

**Agrovoc descriptors:** grasses, grasslands, crop yield, climatic factors, models, simulation models, weather data, climatic factors, meteorology, weather

**Agris category code:** P40, F01

## LINGRA: model za simulacijo rasti in pridelka travne ruše

Tjaša POGAČAR<sup>1</sup>, Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ<sup>2</sup>

Prispelo 14. junija 2011; sprejeto 12. avgusta 2011  
Received June 14, 2011; accepted August 12, 2011

### IZVLEČEK

Razvoj in uporaba agro-meteoroloških modelov sta pomembna za raziskave razvoja travne ruše in tudi za napovedovanje produktivnosti travne ruše ob različnih podnebnih danostih. V delu je predstavljen dinamičen model LINGRA, ki simulira rast travinja na osnovi procesov, ki se dogajajo v rastlini in upošteva, kako na te procese vplivajo okoljske razmere. Podane so glavne enačbe v pod-modelih LINGRA s katerimi računamo prestrezanje svetlobe, učinkovitost izrabe svetlobe, aktivnost vira in ponora, stopnjo razraščanja poganjkov, stopnjo pojavljanja listov, količino vode v tleh in evaporacijo. Model je dokaj enostaven za uporabo in če ga dobro umerimo, je uporaben za različne simulacije vpliva vremenskih in podnebnih razmer na pridelok trave, kar je uporabno pri sprejemanju raznih odločitev ali pri oceni tveganja rastlinske pridelave.

**Ključne besede:** trava, simulacija, model, agrometeorologija, vreme

### ABSTRACT

#### LINGRA: GRASS GROWTH AND YIELD SIMULATION MODEL

Grass growth models are valuable tool for grassland management for a decision support application. The grassland growth model LINGRA, which was developed to predict growth and development of perennial rye grass across Europe is presented and some of the main equations are described in this work. Key process simulated in the model are light utilisation, leaf formatin and elongation, tillering and carbon partitioning. Integration time step is one day. LINGRA provides algorithms for the simulatin of grass growth under irrigated and non-irrigated conditins. Model is relatively simple, but it contains the most imprtant features of grass growth. Validation of the model from independent historical European data showed that model predictions are sufficiently accurate to make it a useful aid for on-farm decision-making processes.

**Key words:** Grass, Simulation; modelling; sink-surce, grassland, weather

### 1 UVOD

Po podatkih Statističnega urada RS (SURS, 2010) so leta 2007 v Sloveniji 55 % vse kmetijske zemlje predstavljali trajni travniki in pašniki. Dolgo časa se je naravno travinje večinoma obravnavalo kot omejujoči dejavnik pri razvoju bolj učinkovitih sistemov za vzrejo živine. Danes pa v njem prepoznavamo mnoge koristi za okolje in družbo (Gibon, 2005; Duru in sod., 2009) Travnništvo igra po celem svetu glavno vlogo pri trajnostnem razvoju kmetijstva. Produktivnost, trajnost in hranljiva vrednost so pomembne za produkcijo hrane,

varovanje tal, ohranjanje naravnega okolja in shranjevanje ogljika. Z vseh vidikov potrebujemo stalne raziskave za razvoj kmetijstva v Sloveniji (Čop in sod., 2009). Boljše razumevanje procesov prilagajanja podnebnim spremembam, kmetijske produkcije, ekologije in uporabe naravnih virov pa bo prispevalo k razvoju primernejših travniških sistemov tako za produkcijo kot tudi za varovanje narave in okolja (Mannetje, 2002).

<sup>1</sup> univ. dipl. meteorol., Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, tjasa.pogacar@gov.si

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

V Sloveniji je na področju pridelka travne ruše in vremenskih vplivov sicer že bilo opravljenih mnogo poskusov in obravnjav, a predvsem glede učinkov gnojenja (Leskošek, 1998) in števila košenj (Knapič, 1988; Žitek, 1991; Weiss, 1995). Zaenkrat pa ni v uporabi nobenega simulacijskega modela, ki bi služil za spremljanje in napovedovanje komponent rasti ter pridelka travne ruše. Modeli nam pomagajo razumeti

kompleksne interakcije med rastjo, hranilno vrednostjo in okoljskimi komponentami (Bonesmo in Belanger, 2002; Kajfež, 2005). Zato v nadaljevanju predstavljamo nizozemski model LINGRA (LINtul GRAssland), ki ga bomo v nadaljnjih raziskavah umerili za slovenske razmere ter uporabili za modeliranje vpliva vremena in podnebja na rast in razvoj travne ruše.

## 2 MODELIRANJE IN RAZVOJ MODELA LINGRA

Razvoj in uporaba modelov sta se pokazala kot velika pomoč pri raziskovanju razvoja travne ruše, na primer pri načrtovanju eksperimentov, testiranju hipotez in odpiranju novih vprašanj (Wolf in van Ittersum, 2009). V tujini sta v zadnjem desetletju razvoj in uporaba modelov za simulacijo rasti travne ruše v okviru spremljanja dejanskega stanja, analiziranja dosedanjih sprememb ter pripravljanja scenarijev za prihodnost postala zelo aktualna. Z modeli za simulacijo rasti opisujemo odvisnost pridelka od okoljskih dejavnikov, kot so sončno obsevanje, temperatura zraka, dostopnost vode in hranil. Zaradi neoptimalnih razmer za rast so modeli lahko precej netočni, zato je še posebej pomembna kalibracija v aktualnih razmerah. V uporabi je več različnih modelov, kot so Hurley Pasture Model, PaSim, LINGRA. Slednji se dobro odziva tako na košnjo kot tudi na pašo. (Dorigo, 2003). LINGRA (Schapendonk in sod., 1998; Rodriguez in sod., 1999; Wolf, 2006) zagotavlja dobro osnovo za napovedovanje produktivnosti travne ruše v zmernih podnebnih pasovih. Ker model delno temelji na splošnih fizioloških principih, ga je mogoče uporabljati v različnih okoljih, vendar pa je pri tem potrebna kalibracija (Schapendonk in sod., 1998).

Mnoge analize preteklih let so v tujini pokazale, da je produktivnost travnikov močno odvisna od kombinacije dostopne vode v tleh, globalnega obsevanja, temperature zraka, dodanega dušika in načina rabe (Trnka in sod., 2006; Riedo in sod., 1997). Pridelki travinja se na medletni skali močno razlikujejo, celo pri standardnih pogojih rabe (Schapendonk in sod., 1998; Trnka in sod., 2005). Medletna variabilnost pridelka travne ruše je na primer v sosednji Avstriji okoli 10-20 %, v posameznih letih (kot je bilo 2003) pa so lahko odstopanja še večja (Schaumberger in sod., 2007). Kot se je izkazalo, je eden glavnih razlogov za upad pridelka suša. Pridelak pomembno določata količina padavin v času od aprila do septembra in količina dostopne vode v tleh. Izrazit je vpliv suše na fenologijo, a njen učinek ni enak v vseh razvojnih fazah (JRC, 2008). Pri mnogih vrstah travinja se lahko kaže pomembno zaostajanje cvetenja zaradi težav s sušnim stresom (Donatelli et al., 1992). Dolžina vegetacijskega obdobja in količina prestreženega obsevanja pa vplivata na produkcijo

biomase (Wolf, 2006). Nekatere raziskave segajo tudi v drugo smer in opisujejo učinek nizkih temperatur in snega. Pri tem moramo učinek izredno nizkih temperatur zraka kombinirati s snežno odejo, ki predstavlja izolacijo, in postopnim pripravljanjem rastlin na mraz. Zato je končni učinek zelo težko oceniti (JRC, 2008).

Poleg analiziranja preteklega obdobja se vedno bolj uveljavlja napovedovanje pridelka za tekočo sezono ter simuliranje pridelkov po scenarijih podnebnih sprememb, tudi z uporabo vremenskih simulatorjev. Napovedi na začetku sezone so zelo nezanesljive, vendar pa v kasnejših dneh pridobijo na zanesljivosti. Pri tem raje govorimo o tednu, desetih dneh, kot pa mesecih (Eitzinger in sod., 2007).

Precej študij je bilo v tujini narejenih z modelom LINGRA. Pri primerjalni analizi štirih modelov za simulacijo rasti travinj na dveh lokacijah v Veliki Britaniji in na Irskem na 28-letnem nizu podatkov se je izkazal kot najbolj primeren z vidika prilagodljivosti (Barrett, 2004). Če z enostavnimi in sorazmerno manjšimi spremembami nastavitve namreč lahko dosežemo veliko boljše ujemanje izmerjenih in modeliranih vrednosti. Prav tako je dokaj nezahteven z vidika vhodnih podatkov (Bonesmo in Belanger, 2002). Mnogo je napisanega tudi o oceni zahtevanih parametrov (npr. največja specifična listna površina, optimalna in bazna temperatura, kritični LAI ...) in kalibracijskih območjih (van Oijen in sod., 2005; Lazar in Genovese, 2004; Bonesmo in Belanger, 2002) ter testiranju in validaciji modela (Duru in sod., 2009; Trnka in sod., 2006).

Evropska komisija se na področju kmetijstva naslanja na Sistem za spremljanje rasti poljščin CGMS (Crop Growth Monitoring System), ki ji med drugim zagotavlja objektivno kvantitativno napoved pridelka na regionalni in nacionalni skali. Jedro sistema predstavljata deterministična modela WOFOST (Ceglar, 2011) za poljščine in LINGRA za trave (Gallego in sod., 2007). Za leto 2009 so na ta način določili, da je bila vegetacijska sezona travne ruše karakterizirana s sušnimi pogoji v zimskem času, kar je povzročilo

zgodnjo izčrpanost biomase pašnikov v Južni Evropi in zamujanje prve košnje v večini Evrope (JRC, 2009).

ALTERRA (raziskovalni inštitut Univerze Wageningen na Nizozemskem) je v sodelovanju z raziskovalnim centrom Plant Research International (PRI, prav tako Wageningen) za raziskovalni center Evropske Komisije JRC (Ispra) izbrala WOFOST – model za simulacijo rasti poljščin, ki v kombinaciji z GIS-om in rutino za napoved pridelka tvori CGMS (Crop Growth Monitoring System) (Pogačar in Kajfež-Bogataj, 2009a). Iz modela WOFOST pa izhaja tudi model LINGRA (Bouman in sod., 1996). Celotno skupino modelov so razvili na bivšem centru DLO\_Winand STARing Centre (SCDLO) v sodelovanju z bivšim raziskovalnim Inštitutom za agrobiologijo in gnojenje tal (ABDLO), ki sta sedaj oba del ALTERRE. Ime modela LINGRA izvira iz besedne zveze LINTUL GRAssland, saj je bil osnova za razvoj simulator LINTUL (Light INTerception and UtiLisation simulator). Namenjen je bil modeliranju rasti in razvoja trpežne ljuke (*Lolium Perenne*) v državah članicah EU na nivoju potencialne in z vodo omejene produkcije (Lazar in Genovese, 2004), a so jo uporabljali tudi za študije vplivov podnebnih sprememb na rast travne ruše

(Rodriguez in sod., 1999). Kasneje je bila prilagojena tudi za simulacije rasti travniškega mačjega repa (*Phleum pratense*). Implementirana je v FORTRAN-ovi kodi. Model LINGRA je kasneje nadgradil Barrett s sodelavci (2005) za potrebe pridelave krme za živinrejo v inačico modela GrazeGro.

Vsi ti modeli sledijo hierarhični razliki med potencialno in omejeno produkcijo in si delijo podobne podmodele za rast poljščin z intercepcijo svetlobe in asimilacijo CO<sub>2</sub> kot gonilnima procesoma ter fenološkim razvojem kot procesom, ki kontrolira rast. Precej pa se razlikujejo podmodeli, ki opisujejo vodno bilanco tal in privzem hranil iz tal – tako v pristopu, kot tudi v stopnji natančnosti. Model je posebej primeren za določanje kombiniranega vpliva sprememb CO<sub>2</sub>, temperature, padavin in sončnega obsevanja na razvoj in rast poljščin ter porabo vode, saj vse pomembne procese simulira ločeno, a upošteva njihovo medsebojno interakcijo (Pogačar in Kajfež-Bogataj, 2009a). Nekatere omejitve modela pa so, da predvideva optimalno količino hranil v tleh in ne upošteva boleznih, škodljivcev ter plevela.

### 3 OSNOVE IZRAČUNOV, KI JIH UPORABLJA LINGRA

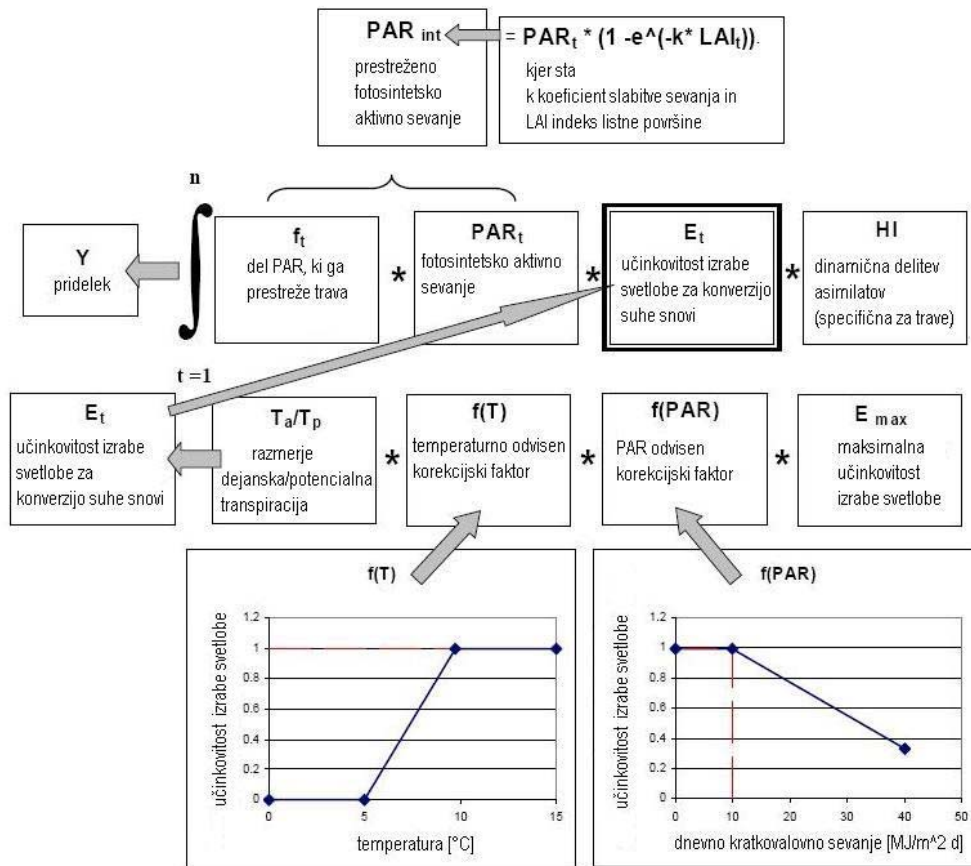
#### 3.1 OSNOVNI KONCEPT

LINGRA izvira iz modela WOFOST (Pogačar in Kajfež Bogataj, 2009b), ki razlaga rast pridelka na osnovi procesov, ki se dogajajo v rastlini (fotosinteza, dihanje ...), in upošteva, kako na te procese vplivajo okoljske razmere. Pri tem je število procesov omejeno na glavne parametre in le manjši del teh procesov je dinamično simuliranih. S statičnim pristopom pa so obravnavani parametri, ki imajo relativno majhen vpliv na rast ali pa jih slabo poznamo.

Za razliko od poljščin je za travno rušo značilna pogosta defoliacija zaradi košnje ali paše. Ponavljajoča se defoliacija vodi do začasnega pomanjkanja asimilatov, pri čemer je znižana stopnja fotosinteze, saj se morajo najprej tvoriti novi listi, da zagotovijo nadaljevanje produkcije. Formacija novih listov sloni na količini ogljikovih hidratov, shranjenih v listnih zasnovah, to pa povzroča, da se menjata obdobje, ko asimilatov primanjkuje, in obdobje, ko se presežek asimilatov pri visokem indeksu listne površine (LAI) shranjuje. Močan vpliv na opisan proces imajo okoljske razmere in kmetijska praksa. Poraba asimilatov (ponor) je v modelu

povezana z rastjo listov, poganjanjem listov in razraščanjem poganjkov (Davies and Thomas, 1983 cv. Schapendonk in sod., 1998), medtem ko je zaloga asimilatov (vir) določena s fotosintezo, ta pa je odvisna od količine svetlobe, ki jo rastlinski pokrov prestreže. Vir je torej odvisen predvsem od sončnega obsevanja, ponor pa od temperature zraka. V modelu LINGRA sta ponor ( $\Delta W_d$ ) in vir ( $\Delta W_s$ ) simulirana semi-neodvisno, kar pomeni, da je vsak dan stopnja rasti rastline določena glede na bolj omejujoč dejavnik (ponor ali vir). Ostale spremenljivke stanja določamo na osnovi stopnje rasti na posamezen dan in niso neodvisno povezane s ponorom ali virom.

Glede na LINTUL so tako inovativni aspekti modela LINGRA ločeni algoritmi za procese, vezane na vir, in procese, vezane na ponor, ter mehanistični, čeprav poenostavljen, pristop k simulaciji morfološkega razvoja trave, ki opisuje naravno zaporedje dogodkov, vključno z defoliacijo zaradi košnje ali paše.



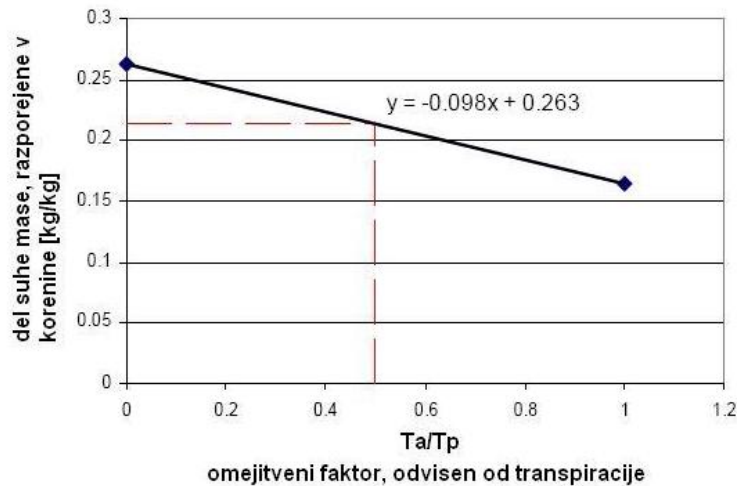
**Slika 1:** Shema izračuna pridelka z modelom LINGRA, s prikazanima izračunoma prestreženega fotosintetskega aktivnega sevanja in učinkovitosti izrabe svetlobe (po Lazar in Genovese, 2004)

**Figure 1:** Overview of the grassland growth model – LINGRA with the calculus of intercepted PAR. The main principle of this concept is that grass growth is proportional to the amount of light intercepted by canopy (modified from Lazar in Genovese, 2004)

Simulacija rasti se v modelu začne, ko 10-dnevno drseče povprečne dnevne temperature zraka preseže temperaturo praga (TMBAS1). O je presežena TMBAS1 se v travni ruši sprožijo fiziološki procesi. Velikost TMBAS1 naj bi bila za severne države 3 °C in za južne pa 5 °C (Schapendonk in sod., 1998). Priderek je rezultat integracije dnevno nastale suhe snovi, premeščene v žetvene organe. Pri tem je količina novo tvorjene suhe snovi odvisna od prestreženega fotosintetskega aktivnega sevanja (PAR) in učinkovitosti izrabe svetlobe (slika 1). Maksimalna učinkovitost izrabe PAR pri fotosintezi je lahko zmanjšana zaradi vodnega stresa (ocenjen kot razmerje med dejansko in potencialno transpiracijo  $T_a/T_p$ ), temperatur pod bazno vrednostjo in zelo visokih

vrednosti PAR. Po košnji je rast listne površine odvisna od števila poganjkov, ki imajo nodij (ta omogoča rast listov). Povprečna širina novih listov je parameter modela (na primer 0,03 m), rast listov pa je opisana kot funkcija temperature.

Porazdelitev novo tvorjenih asimilatov je neodvisna od tega, ali je rast omejena z virom ali ponorom, nanjo pa vpliva vodni stres (slika 2). Viri asimilatov so trenutna fotosinteza in predhodno shranjeni ogljikovi hidrati. Dejanska rast je enaka manjši vrednosti izmed potrebe po asimilatih in njihove zaloge. Ko asimilati, ki nastanejo pri fotosintezi, presežejo potrebe, se razlika shrani kot zaloga ogljikovih hidratov.



**Slika 2:** Vpliv vodnega stresa na razporeditev asimilatov v korenine (vir: Lazar in Genovese, 2004)  
**Figure 2:** The influence of water stress on dry matter allocation to roots (Lazar in Genovese, 2004)

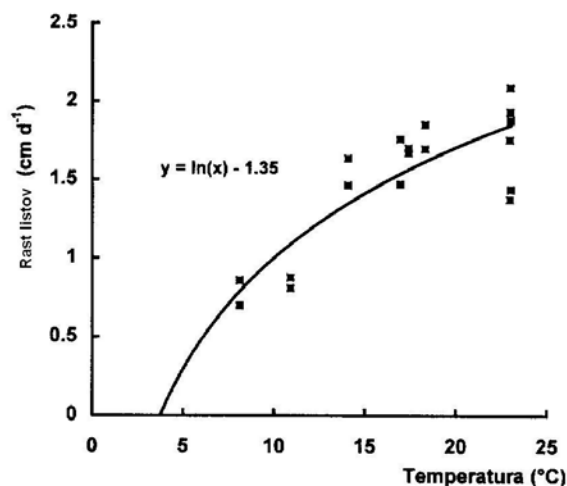
Model LINGRA je torej zgrajen iz podmodelov ali rutin, ki računajo prestrezanje svetlobe, učinkovitost izrabe svetlobe, aktivnost vira in ponora, stopnjo razraščanja poganjkov, stopnjo pojavljanja listov, količino vode v tleh in evaporacijo (zadnji dve enako kot WOFOST).

### 3.2 UČINKOVITOST IZRABE SVETLOBE (VIR), DINAMIKA RASTI POGANJKOV IN LISTOV (PONOR)

Profil svetlobe znotraj rastlinskega pokrova je odvisen od LAI in koeficienta slabitve sevanja ( $k$ ). Učinkovitost pretvorbe absorbirane svetlobe v asimilacijo ogljika pa je odvisna od intenzitete obsevanja, temperature zraka

in dostopnosti vode. Poenostavljeno so učinki temperature zraka opisani kot linearna funkcija, pri čemer je optimalno temperaturo (pri kateri je temperaturni faktor enak 1) potrebno kalibrirati.

Rast listov v prvih petih dneh po košnji je prav tako odvisna od povprečne dnevne temperature zraka. Pri temperaturi 5 °C zrastejo le 0,3 cm/dan, pri 23 °C pa 1,8 cm/dan. Schapendonk in sod. (1998) so eksperimentalno določili logaritemsko povezavo med omenjenima spremenljivkama (slika 3).



**Slika 3:** Povprečje rasti listov v petih dneh po košnji v odvisnosti od povprečne dnevne temperature zraka (vir: Schapendonk in sod., 1998)

**Figure 3:** The influence of air temperature on leaf elongation rate during five days after mowing (Schapendonk et al., 1998)

Tvorba listov na poganjkih je odvisna od temperature tal. Dejanska rast listov je določena s količino dostopnih asimilatov in s stopnjo odmiranja starih listov zaradi samozasenčenja in sušnega stresa. Stopnja razraščanja poganjkov je določena iz deleža brstov, ki so producirali nove poganjke. Največje število poganjkov iz enega brsta je v povprečju 0,69; takoj po košnji pa je to število zmanjšano na 0,335. Ta izkoristek brstov se imenuje razmerje polnjenja (van Loo, 1993). Ko se LAI povečuje, se razmerje polnjenja zmanjšuje zaradi samozasenčenja, saj se pri tem precej zmanjša razmerje med rdečo in infrardečo svetlobo, ki doseže nižje dele lista. Nizka intenziteta svetlobe povzroča remobilizacijo dušika iz listov in s tem hitro staranje. Odmiranje poganjkov in staranje listov sta tako funkciji LAI. Število poganjkov na kvadratni meter je visko v zgodnji pomladi, nato se poleti močno zmanjša in jeseni spet nekoliko poveča. Celoten proces je občutljiv na svetlobo, temperaturo in stresne pogoje.

Stopnja formacije novih listov po košnji je bistvenega pomena za celotno produktivnost, pri čemer je najbolj pomembna prestrežena svetloba v tej fazi. Potrebe po ogljikovih hidratih so v prvih dneh po defoliaciji na splošno večje kot fotosintetski donos (Schnayder in Nelson, 1988), zato rastlina črpa rezervna hranila iz zalog v poganjkih in razrastišču. Kadar imamo pogoje

omejene z virom, razvoj listov ni več temperaturno odvisen, temveč je rast listov določena s količino asimilatov, razporejenih v liste, pomnoženo s specifično listno površino (SLA). Skozi sezono se SLA sicer spreminja od 0,03 m<sup>2</sup>/g v zgodnji pomladi do 0,018 m<sup>2</sup>/g poleti in jeseni, a te fluktuacije v modelu niso upoštevane, uporabljena je povprečna vrednost 0,025 m<sup>2</sup>/g (določena v poskusu v Wageningnu).

### 3.3 VPLIVI SUŠNEGA STRESA

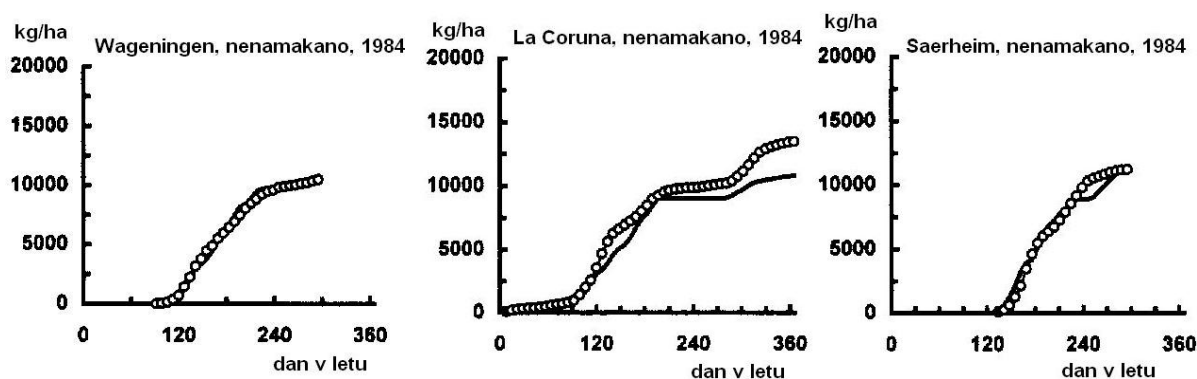
Rastlini dostopna voda je v modelu funkcija maksimalne globine korenin (40 cm) in količine vode v tleh. Ta je določena kot razlika med padavinami in izgubami vode zaradi perkolacije in evapotranspiracije (po Makkinkovi enačbi z uporabo kratkovalovnega sevanja in temperature zraka). Ob pomanjkanju vode rastlina zapira listne reže, da prepreči izsuševanje. Posledično se zmanjša vnos CO<sub>2</sub> iz ozračja, zato pa se zmanjša učinkovitost izrabe absorbirane svetlobe. To opišemo v modelu z razmerjem med dejansko in potencialno transpiracijo kot mero za zmanjšanje stomatalne prevodnosti in učinkovitosti izrabe svetlobe. Poleg tega je posledica suše tudi preferenčna distribucija asimilatov v korenine.

## 4 UMERJANJE IN TESTIRANJE MODELA

Pri umerjanju je primerno uporabljati podatke s tal, kjer naklon ni večji od 5 %, podtalnica globlje od 90 cm in kapaciteta za zadrževanje vode v plasti 0-100 cm med 125 in 175 mm.

Za osnovno kalibracijo modela so Schapendonk in sod. (1998) pridobili standardizirane podatke s poljskih poskusov na 35 lokacijah po Evropi. Poskusi so se izvajali od 1 do 5 let v obdobju 1982-1986 s sortama *Lolium perenne* (tpežna ljujka) in *Phleum pratense* (travniški mačji rep). Pri tem niso imeli določenih dejanskih lastnosti tal, temveč so uporabljali standardne parametre za srednjo teksturo tal z dobro zadrževalno

sposobnostjo. Prav tako je bila privzeta globina koreninjenja 40 cm, simulacije pa so začeli s polnim talnim vodnim rezervoarjem. Višina košnje je bila 4-5 cm, začela pa se je 1. marca ali takoj ko je skopnel sneg. Stopnja fertilizacije je bila visoka: 600 kg N/ha, 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 280 kg K<sub>2</sub>O/leto. Za kalibracijo so uporabili podatke s 15 poskusov, ki so dosegli pridelek nad 16 t/ha/leto. Umerjali so LAI po košnji, bazno temperaturo za začetek fotosinteze in razvoja (TMBAS1) in dnevno temperaturo za optimalno učinkovitost izrabe svetlobe LUE (Topt).



**Slika 4:** Izmerjene (°) in napovedane (-) vrednosti pridelka zelinja v Wageningnu (Nizozemska), La Coruni (Španija) in Saerheimu (Norveška) (vir: Schapendonk in sod., 1998)

**Figure 4:** Observed (°) and predicted (-) grass yield at Wageningen – Netherlands, La Coruni - Spain and Saerheimu - Norway (Schapendonk et al., 1998)

Ob simulaciji pridelka suhe snovi je bila normalizirana napaka med napovedanimi in izmerjenimi vrednostmi za celotno Evropo 13-15 % pri potencialni produkciji in 17-21 % pri produkciji v razmerah z omejeno dostopnostjo vode.

Rezultati so zadovoljivi in so pokazali uporabnost modela za celotno Evropo. LINGRA predstavlja dobro osnovo za modeliranje pridelka travne ruše v zmernih podnebnih razmerah. Vendar pa je zaradi določenih poenostavitvev in statističnih pristopov nujna kalibracija nekaterih parametrov (Schapendonk in sod., 1998).

Obsežna raziskava je bila z modelom LINGRA narejena tudi v okviru projekta PASK. Pokazalo se je (Wolf, 2006), da pridelek narašča od Wageningna preko Bologne do Seville, kar so pripisali dolžini rastne sezone in količini prestreženega sevanja (RADI), ki se v istem vrstnem redu povečujeta. Pri tem pa povečana RADI ne povzroči tudi večjih zalog, torej omejitve ponora še ne omejujejo rasti (v drugem primeru pa so

opazili tudi povečevanje zalog). Večja produkcija biomase pa v povprečju določa višji LAI, s tem pa zaradi samozasenčenja več staranja listov in veliko več odmrle listne mase

Pri testiranju modela ob omejeni dostopnosti vode, so takšno stanje simulirali z nastavljenim razmerjem med dejansko in potencialno transpiracijo na 0,5. Tudi pri stalnem sušnem stresu se pridelek med lokacijami podobno povečuje, vendar celotna produkcija biomase v teh razmerah dosega skromnih 30-35 % optimalne. Rezultat lahko pripišemo 50 % nižji stopnji rasti in počasnejši ponovni rasti listov po košnji. Pridelki dosegajo le 20-40 % optimalne vrednosti. Najslabše rezultate prinaša kombinacija sušnega stresa in nizkih vrednosti sončnega obsevanja. Na vseh treh lokacijah se ne ustvarja nič zaloga hranil, kar pomeni, da je stopnja rasti pri omejenem viru precej nižja od stopnje rasti pri omejenem ponoru.

## 5 ZAKLJUČEK

Model LINGRA je enostavno zastavljen, vendar vsebuje najbolj pomembne značilnosti rasti travne ruše, ne le v povezavi s fotosintezo, temveč tudi glede na morfologijo listov in razraščanje poganjkov (Schapendonk in sod., 1998).

Sedanji modeli pogosto niso dovolj natančni, če jih uporabljamo za lokacije, kjer niso bili razviti. Tudi Hoogenboom in sod. (1999) pravijo, da je potrebno pred uporabo rastlinskega modela za posamezno regijo preveriti njegovo obnašanje pri regijsko značilnih sortah z določenim nizom fenoloških podatkov in podatkov o pridelku. Prav tako je potrebno kalibrirati specifične parametre modela. Pred validacijo modela je torej nujna kalibracija (Alexandrov in sod., 2001). V ta namen

potrebujemo pri modelu LINGRA vsaj 10 let podatkov (Wolf, 2006), pri čemer je pomembno, da so slovenski in vemo, kako so bili pridobljeni. Na področju travništva obstaja velika količina podatkov o pridelku travne ruše, ki jih je s sodelavci na Agronomskem oddelku Biotehniške fakultete dolga leta zbiral prof. dr. Leskošek. Del teh podatkov je ohranjenih v diplomskih nalogah njegovih študentov, veliko pa je tudi neobjavljenih, a shranjenih v njegovem osebni arhivu, kjer jih je uredil, ko jih je vse skupaj želel objaviti v monografiji. Gre za dolgoletne poskuse z več kot 30 let podatki. Tako dolgi nizi podatkov za travno rušo so precej izjemni. Mnogo raziskav v tujini namreč zaradi pomanjkanja podatkov temelji na krajših nizih, saj ima večina poljskih poskusov v osnovi drugačen namen,

zato ne zagotavlja celotnega nabora potrebnih vhodnih podatkov (Zalud in sod., 2006).

Umerjen model LINGRA bo uporaben za različne simulacije vremenskih razmer, kot so število dni s snegom, suša ipd. Na ta način bo v prihodnosti moč določiti odvisnost pridelka od različnih razmer v okolju.

## 6 LITERATURA

- Alexandrov, V., Eitzinger, J. in Oberforster, M. 2001. Adaptation of crop-weather models in Austria and Bulgaria. V: EMS: Proc., 5th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM 2001); 1st Annual Meeting of European Meteorological Society (EMS), Hungary, (CD-Rom).
- Barrett, P. D. 2004. An evaluation of selected perennial ryegrass growth models for development and integration into a pasture management decision support system. *Journal of Agricultural Science*, 142: 327-334.
- Barrett, P. D., Laidlaw, A.S. in Mayne, C.S., 2005. GrazeGro: a European herbage growth model to predict pasture production in perennial ryegrass swards for decision support. *European Journal of Agronomy*, 23, 1: 37-56
- Bonesmo, H. in Belanger, G. 2002. Timothy yield and nutritive value by the CATIMO model; I. Growth and nitrogen. *Agronomy Journal*, 94: 337-345.
- Bouman, B.A.M.; Schapendonk, A.H.C.M.; Stol, W.; van Kraalingen, D.W.G. 1996. Description of the growth model LINGRA as implemented in CGMS. In *Quantitative Approaches in Systems Analysis*, Wageningen: European Commission, Production Ecology and AB-DLO, Wageningen University and Research Centre, 7, 11-22
- Ceglar, A., 2011. Uporaba dinamičnega simulacijskega modela rasti in razvoja rastlin za napovedovanje količine pridelka v spremenjenih podnebnih razmerah. Doktorska disertacija, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, 185 s.
- Čop, J., Lavrenčič, A. in Košmelj, K., 2009. Morphological development and nutritive value of herbage in five temperate grass species during primary growth: analysis of time dynamics. *Grass forage science*, 64, 2: 122-131
- Donatelli, M., Hammer, G. L. in Vanderlip, R. L. 1992. Genotype and water limitation effects on phenology, growth, and transpiration efficiency in grain sorghum. *Crop Science*, 32: 781-786.
- Dorigo, W. A. 2003. A first approach towards estimating nutrient uptake of grasslands by assimilating multi- and hyperspectral remote sensing data in growth models. Predstavljeno na 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching.
- Duru, M., Adam, M., Cruz, P. Martin, G., Ansquer, P., Ducourtieux, C., Jouany, C., Theau, J. P. in Viegas, J. 2009. Modelling above-ground herbage mass for a wide range of grassland community types. *Ecological modelling*, 220, 209-225.
- Eitzinger, J., Thaler, S., Kubu, G., Rischbeck, P., Trnka, M. in Schaumberger, A. 2007. Methods of crop drought stress monitoring in Austria. Predstavljeno na: DROSMON Crop drought stress monitoring by remote sensing, Vienna, Austria.
- Gallejo, J., Conte, C., Dittmann, C., Stroblmair, J. in Bielza, M. 2007. Mapping Climatic Risks in the EU Agriculture. Predstavljeno na: 101st EAAE Seminar 'Management of Climate Risks in Agriculture', Berlin.
- Gibon, A. 2005. Managing grassland for production, the environment and the land scape. Challenges at the farm and the landscape level. *Livestock production science*, 96: 11-31.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P. in Tsuji, G. 1999. DSSAT v3, vol.4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- JRC. 2008. Production and income variability of EU agriculture. EC report: Agricultural insurance schemes, pog. 4: 41-89.
- JRC. 2009. MARS: Pasture bulletin, situation January – June 2009: 5 str.
- Kajfež-Bogataj, L. 2005. Podnebne spremembe in ranljivost kmetijstva. *Acta agriculturae Slovenica*, 85-1:25-40.
- Knapič, V. 1988. Dinamika razvoja flore travne ruše v eni rastni dobi. Diplomsko delo. Univerza E. Kardelja v Ljubljani, VDO Biotehniška fakulteta, VTOZD za agronomijo, Ljubljana: 61 str.
- Leskošek, M. 1998. Gnojenje travinja - nekatere značilnosti in primerjava z alpskimi deželami. *Sodob. kmet.*, 31 (4): 179-181.
- Lazar, C. in Genovese, G., 2004. Agrometeorological modelling, processing and analysis. Methodology of the MARS crop yield forecasting system, vol. 2, JRC-EC (2004): 32-35.
- Mannetje, L. T. 2002. Advances in grassland science. *NJAS*, 50-2: 195-221.
- Pogačar, T., Kajfež-Bogataj, L. 2009a. WOFOST: model za napovedovanje pridelka – 1.del. *Acta agriculturae Slovenica*, 93-2: 231-243.
- Pogačar, T., Kajfež-Bogataj, L. 2009b. WOFOST: model za napovedovanje pridelka – 2.del. *Acta agriculturae Slovenica*, 93-2: 245-257.
- Riedo, M., Gyalistra, D., Grub, A., Rosset, M. in Fuhrer, J. 1997. Modelling grassland responses to climate change and elevated CO<sub>2</sub>. *Acta Ecologica*, 18: 305-311.



## LINGRA: model za simulacijo rasti in pridelka travne ruše

- Rodriguez, D., van Oijen, M. in Schapendonk, A.H.M.C. 1999. LINGRA-CC: a sink-source model to simulate the impact of climate change and management on grassland productivity. *New phytology*, 144: 359-368.
- Schapendonk, A.H.C.M., Stol, W., van Kraalingen, D.W.G. in Bouman, B.A.M. 1998. LINGRA, a sink/source model to simulate grassland productivity in Europe. *European Journal of Agronomy*, 9: 87-100.
- Schaumberger, A., Trnka, M., Eitzinger, J., Formayer, H. in Bartelme, N. 2007. Agrometeorological monitoring of Austrian grasslands using GIS based modeling. *Geophysical Research Abstracts*, 9.
- SURS. 2010. Izpis podatkov o skupnih in kmetijskih zemljiških kmetijskih gospodarstev v Sloveniji. Dostopno na: <http://www.stat.si/>
- Trnka, M., Eitzinger, J., Gruszczynski, G., Formayer, H., Dubrovsky, M., Schaumberger, A. in Žalud, Z. 2005. Grassland statistical yield modelling with focus on 'dry' seasons. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss*, 17: 215-216.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Gruszczynski, G., Buchgraber, K., Resch, R. in Schaumberger, A. 2006. A simple statistical model for predicting herbage production from permanent grassland. *Grass and forage science*, 61: 253-271.
- van Oijen, M., Höglind, M., Hanslin, H. M. in Caldwell, N. 2005. Process-based modeling of Timothy regrowth. *Agronomy Journal*, 97: 1295-1303.
- Weiss, S. 1997. Vpliv dvajsetletne različne rabe in različnega gnojenja na pridelek mrve. Višješolska diplomska naloga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana: 33 str.
- Wolf, J. 2006. Grassland data from PASK study and testing od LINGRA in CGMS. ASEMARS Project report no. 2, Alterra, Wageningen: 38 str.
- Wolf, J. in van Ittersum, M. 2009. Crop models: main developments, their use in CGMS and Integrated modeling. *Agro-Informatica* augustus 2009: 15-18.
- Žalud, Z., Trnka, M., Ruget, F., Hlavinka, P., Eitzinger, J. in Schaumberger, A. Evaluation of crop model STICS in the conditions of the Czech Republic and Austria. *Zbornik povzetkov, Sbornik Strecno* (2006).
- Žitek, D. 1991. Dinamika razvoja pridelka travne ruše pri različnem gnojenju v enem letu. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana: 128 str.