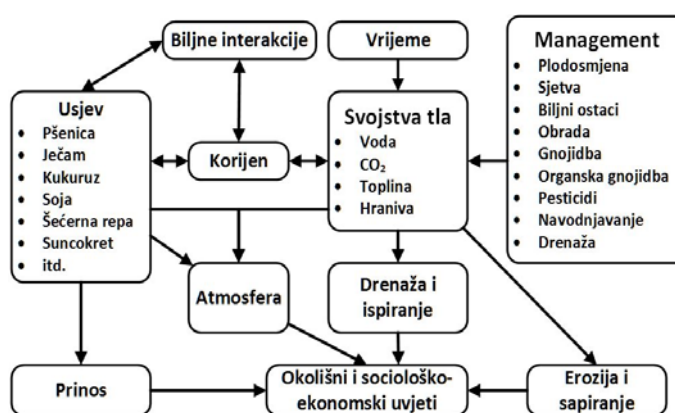


Suvremene metode predviđanja biomase i prinosa šećerne repe

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Predviđanje biomase i prinosa uzgajanih biljaka veoma je usavršeno u posljednjih nekoliko desetljeća. Zbog sve veće potrebe za hranom procjene očekivanog prinosa i stanja na tržištu, kao i ranog upozorenja na moguće poremećaje nacionalnih i globalnog tržišta (ponuda, potražnja, cijena...), razvijeno je niz modela (npr. simulacijski modeli, daljinska istraživanja, analiza prinosa itd.). To je posve razumljivo jer je proizvodnja hrane od strateškog značaja, dakle od najvećeg značaja za svaku državu, a prinosi veoma često po sezonama značajno variraju, ali mogu i kardinalno podbaciti, ovisno o vremenskim, ekonomskim, ekološkim, društvenim i političkim uvjetima. Značaj pojedinih čimbenika u proizvodnji hrane jako varira, od odluke svakog pojedinog poljoprivrednika koji djeluje u lokalnom agroekološkom, ekonomskom, sociološkom i političkom okružju i pokušava se održati, najprije zbog svoje egzistencije, pa se pokušava prilagoditi kako zna i umije pod pritiskom tih okolnosti, često samo preživjeti.

Koncept održivosti u proizvodnji hrane čvrsto se oslanja na očekivanu visinu prinosa, obzirom na primijenjenu agrotehniku i očekivani profit te su stoga *prognostički modeli* veoma važni. Efikasan i pouzdan model zahtijeva provođenje dugoročnih istraživanja, eksperimentiranje u stvarnim proizvodnim uvjetima, odnosno utvrđivanje rasta, razvoja i konačno prinosa usjeva, ovisno o svojstvima tla, intenzitetu agrotehlike, kao i društveno-ekonomskim pokazateljima. To je jedini put koji može rezultirati razvojem efikasnih i pouzdanih modela za podršku donošenja odluka u proizvodnji hrane (npr., dobar izbor usjeva/kultivara, izbor, vrijeme i način primjene gnojiva i pesticida, učinkovito navodnjavanje, minimalna potrebna obrada tla, potreba osiguranja usjeva ili nasada, itd. Dakle, efikasan model predviđanja prinosa važan je alat za optimiziranje cjelokupne biljne proizvodnje, kao i za razumijevanje fizioloških procesa, ali i utjecaja gospodarske prakse na prirodni okoliš (Slika 1.).



Slika 1. Dijagram interakcija u sustavu tlo-biljka-atmosfera (SALUS model, FAO, 2013.)

Modeli su brojni u rasponu od jednostavnih do složenih, a dijele se u više različitih grupa (od simulacijskih koji mogu biti *deterministički* ili *stohastički*, preko *statističkih*, *mehaničkih*, *funkcionalnih*, *holistički* itd., sve do danas, zbog satelita i dronova, široko rasprostranjenih modela koji se temelje na *daljinskim istraživanjima*. Jednostavni modeli najčešće se koriste za procjenu prinosa većih regija temeljem statističkih podataka o klimi i prinosima koji se postižu a nekom agroekološkom području, dok složeniji mehanicistički modeli zahtijevaju brojne podatke za razumijevanje procesa unutar sustava tlo-biljka-atmosfera.

O temi daljinskih istraživanja za potrebe gnojidbe i predviđanja visine prinosa već sam više puta pisao (<http://tlo-i-biljka.eu/zanimljivosti.htm>; 02/2017., 06/2016., 06/2015., 01/2015.) pa čitatelje upućujem na te članke i e-knjige [Ishrana bilja](#) i [Tlo, gnojidba i prinos](#). U daljnjem tekstu prikazan je kratak pregled rezultata i metoda za predviđanja prinosa šećerne repe.

Predviđanje prinosa šećerne repe veoma je zahtjevno obzirom na podjednak utjecaj prinosa korijena i koncentracije šećera u njemu (*digestija*) na ostvareni *biološki prinos šećera*, pri čemu je *tehnološka kvaliteta korijena* presudna za efikasnost ekstrakcije šećera, odnosno proizvodnju konzumnog, tzv. bijelog šećera. Na visinu prinosa i tehnološku kvalitetu korijena šećerne repe najviše od svih faktora utječe ishrana dušikom, ali budući da suvišak N smanjuje koncentraciju šećera u korijenu, snižava njegovu tehnološku kvalitetu te povećava troškove transporta i prerade. U tom kontekstu, veoma je važno utvrditi koliko je dušika u tlu prije

sjetve i koliko će se kroz *proces mineralizacije organske tvari tla* staviti šećernoj repi na raspolaganju dušika tijekom vegetacije. Premda biljke imaju fiziološke mehanizme za selektivno usvajanje većine biogenih (i drugih) elemenata, dušik je neobično važan za žive organizme pa za usvajanje dušika nema ograničenja, što se u ishrani bilja označava kao „*luksuzna ishrana dušikom*“. Suvišak usvojenog nitratnog dušika repa akumulira, a njegova redukcija do amonijskog oblika potrebnog za sintezu bjelančevina se veoma često intenzivira pred kraj vegetacije (tzv. *retrogradacija lista*) što iscrpljuje rezerve saharoze u korijenu uz pogoršanje tehnoloških svojstava korijena. Naravno, obzirom na promjenjive godišnje vremenske uvjete, teško je uzeti u obzir mogućnost ispiranja N-NO₃ dušika tijekom vegetacije izvan dohvata korijena zbog suviška oborina, pojavu suše, slabe dreniranosti zbog težeg mehaničkog sastava ili neadekvatne obrade.

Premda su raniji modeli za predviđanje prinosa šećerne repe pokazali kako se prinos šećerne repe može predvidjeti, suvremena istraživanja primjene aktivnih optičkih senzora u *Sjevernoj Dakoti* i *Minnesoti*, (~180.000 ha/god. pod šećernom repom) pokazala su da je pogrešno zaključiti kako je N-gnojidba šećerne repe uvijek čvrsto povezana s visinom prinosa ([Arnall et al., 2013.](#)). Naime, između pojedinih sorti, na tlima sličnih svojstava, odgovor na dušik može rezultirati visokim, ali i niskim prinosom, a povezanost duljine vegetacije (broj dana od sjetve do vađenja) može se bitno razlikovati po godinama.

Vađenje šećerne repe u SAD počinje između 1. i 15. rujna, slično kao kod nas, a svrha tako ranog vađenja je opskrbiti šećerane s dovoljno repe na početku kampanje. Budući da masovno vađenje šećerne repe u SAD obično počinje oko 1 listopada i može potrajati, obzirom na vremenske uvjete 2 do 6 tjedana, šećerna repa u tom periodu i dalje akumulira šećer pa se u SAD primjenjuje posebna formula kako bi se proizvođačima koji su ranije obavili vađenje nadoknadio gubitak.

Istraživanja [Arnalla et al. \(2013.\)](#) predviđanja prinosa šećerne repe aktivnim optičkim sensorima bilo je puno uspješnije kad se ono provodilo kasnije (faza 12-14 listova) u odnosu na ranije utvrđivanje (6-8 listova) uz pomoć NDVI (*Normalized Differential Vegetative Indeks*), dakle kada je površina tla gotovo potpuno prekrivena listom, a korekcija na duljinu vegetacije (*INSEY*) može se provesti sumom fiziološki aktivnih dana vegetacije (*GDD*) ([Bu et al., 2017.](#)):

$$INSEY = \frac{NDVI}{GDD}$$

U posljednje vrijeme za predviđanje prinosa i kvalitete šećerne repe sve češće se koristi NDVI (~43 % površina u Sjevernoj Dakoti i Minnesoti), ali i za procjenu ostataka (lista i glava) koje sadrže ~70 % ukupno usvojenog dušika šećernom repom ([Self-Study CEUs, 2011.](#)) koji se veoma brzo i lako razlažu što svakako treba uzeti u obzir kod gnojidbe narednog usjeva.

Budući da većina istraživanja smatra kako tehnologija uzgoja šećerne repe, posebice N-gnojidba, djeluje podjednako na visinu prinosa i tehnološku kvalitetu korijena, dok nedovoljna ishrana dušikom šećerne repe jako ograničava prinos korijena, a višak N ima negativan učinak na tehnološku kvalitetu korijena kroz smanjenje saharoze u njemu uz veći sadržaj štetnih tvari. Zbog toga je kontrola ponude dušika veoma važna u povećanju prinosa i kvalitetnijeg korijena šećerne repe.

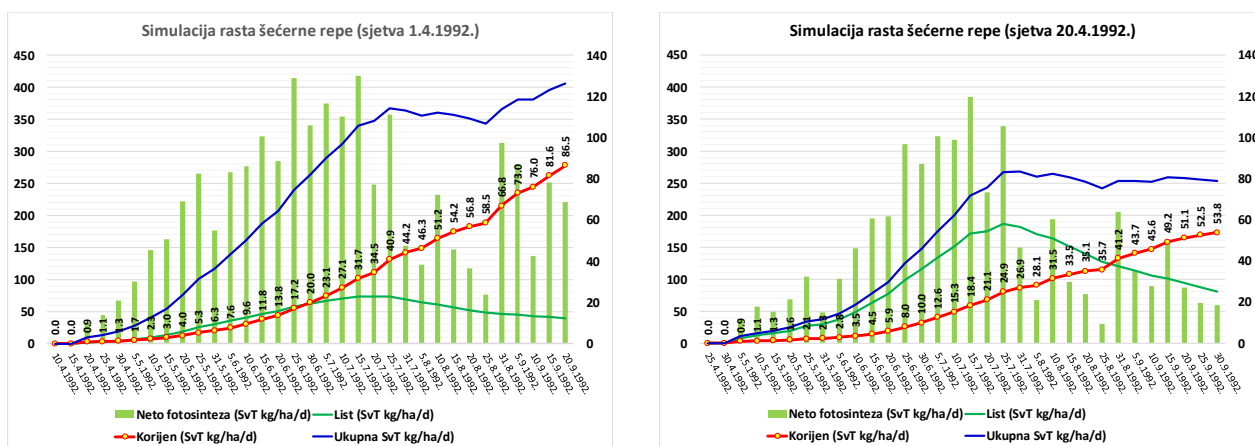
Raspoloživost mineralnog dušika iz tla najčešće se prati predstjetvenim utvrđivanjem [N_{min} metoda](#) čiji je izvor osnovna gnojidba u jesen, rezidualni dušik prethodnog usjeva (posebice leguminoza), mineralizacija žetvenih ostataka ili ostataka organske gnojidbe, kao i [mineralizacija lakorazgradljivog dijela humusa](#) (prosječno se u ist. Hrvatskoj razgradi ~1 % ukupnog humusa, odnosno ~50 kg N/ha/god.), što jako ovisi od vlage, količine oborina i temperature tla, kao i nekih drugih svojstava tla i organske tvari (npr. pH, C/N i C/P omjera, raspoloživost Ca i dr.). Također, koncentracija NO₃ u peteljka šećerne repe vrlo je dobar indikator statusa N-ishrane šećerne repe, ali je ta veza veoma čvrsta na kraju vegetacije, dok kroz ranije faze vegetacije nema potrebnu signifikantnost povezanosti s prinosom i njegovim tehnološkim kvalitetom u vađenju.

Vlastita analiza rezultata proizvodnje šećerne repe simulacijskim modelom kojeg sam razvio prije više od 25 godina ([Vukadinović i Sarić, 1990.](#)) sada ima više smisla nakon recentnih istraživanja u SAD o predviđanju prinosa usjeva, uključujući i šećernu repu. Stoga, nakon puno godina, prezentiram u ovom članku stare rezultate simulacije vegetacije šećerne repe (programi su posve funkcionalni, ali u emulaciji Atari ST na PC

računalu te su rezultati prikazani u Excelu) u kojima je prinos korijena i ukupne biomase snažno ovisio o datumu sjetve, uz iste (stvarni podaci iz 1992.) ostale varijable (Slika 2.). Npr., u ranijem roku sjetve šećerne repe simulacija rezultira prinosom korijena 83,55 t/ha (biomasa 120,86 t/ha), a simulacija uz iste parametre, ali sjetvom sa zakašnjenjem od 3 tjedna rezultirala je prinosom korijena od svega 53,80 t/ha (biomasa 78,86 t/ha). Razlika u prinosu izravna je posljedica velike razlike u neto fotosintezi i indeksu lisnatosti (max LAI ranije sjetve bio je 4,12, a kasnije 3,48 m² lista po m² tla).

Kompjutorski programi za simulaciju organske produkcije pšenice, kukuruza, šećerne repe i soje, kojeg sam kreirao prije gotovo 30 god. je računalni model koji je hijerarhijski koncipirana tako da najviše mjesto u hijerarhiji zauzima iskorištenje Sunčeve radijacije (temperatura i svojstva fotosintetskog aparata: LAI, SLA i koef. ekstinkcije), na drugom je mjestu voda (mogućnost korištenja vode iz tla u kojem se uspoređuje aktualna transpiracija s maksimalno mogućom), a na trećem mjestu je potreba za dušikom i drugim biogenim hranivima. Model uključuje i svojstva tla, posebice njegova mehanička i hidrološka svojstva, a dinamika rasta i razvoja prati se diskontinuirano kroz vremenski inkrement (najčešće 5 dana). Razmatrajući samo aktualne performanse tog složenog sustava, varijable kao njegova mjerljiva svojstva, smatraju se konstantama u kratkom vremenskom razmaku i zatim iznova prilagođavaju svoje vrijednosti.

Rast biljaka utvrđuje se na temelju sume aktivne temperature pri čemu suma od 3.200°C odgovara završetku vegetacije šećerne repe. Ovisno o stadiju, određuje se translokacija asimilata u list, glavu i korijen šećerne repe).



Slika 2. Rezultati simulacije vegetacije šećerne repe (lijevo: sjetva 1.4.1992.; 172 dana vegetacije, desno: sjetva 20.4.1992.; 163 dana vegetacije)

U Osijeku, 15. veljače 2017.