

# Ekonomika i optimizacija gnojidbe

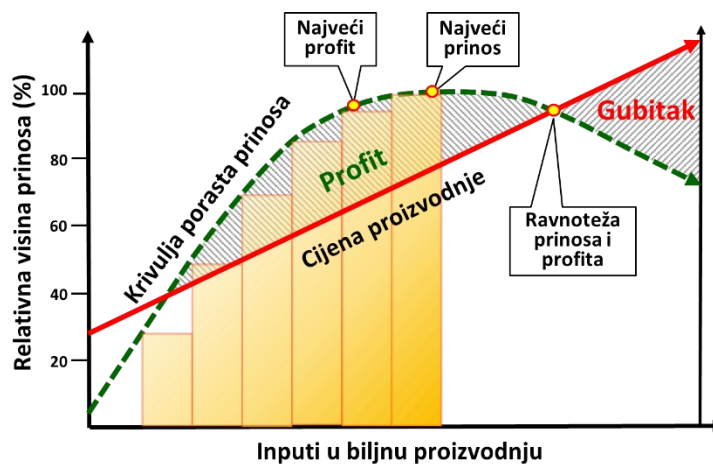
Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

U svakoj, pa tako i poljoprivrednoj proizvodnji za ostvarivanje dobiti potrebno je da prihodi budu veći od troškova. Budući da su [interakcije između usjeva, tehnologije proizvodnje i okoliša veoma složene uslijed velikog broja faktora biotske i abiotske naravi](#), odluka o optimizaciji gnojidbe zahtijeva svestranu analizu profitabilnosti ulaganja sa željenim rezultatom, ali se intenzitet gnojidbe i norma sjetve moraju tretirati različito u odnosu na druge troškove, jer se te vrijednosti mogu mijenjati. Npr. u primjeni pesticida moraju se poštivati određene norme da bi učinak bio očekivan.

Upravljanje hranjivim tvarima u tlu jedan je od najvažnijih aspekata uspješne biljne proizvodnje pa razumijevanje prirodnih zakonitosti biljnog rasta i tvorbe prinosa pomaže u optimizaciji gnojidbe i postizanju najvećeg mogućeg prinosa u konkretnim *agrološkim* (agronomskim, ekonomskim i agroekološkim uvjetima). Dakle, poljoprivredni proizvođač mora unaprijed znati koliki može i/ili želi postići prinos, uz koje troškove, profit ili eventualno gubitak.

[U biljnoj proizvodnji djeluju prirodne i ekonomske zakonitosti koje se moraju poznavati, razumjeti i uvažavati s ciljem ostvarivanja najvećeg mogućeg profita te intenzitet, način i vrijeme gnojidbe koja nerijetko čini do 40 % ukupnih troškova biljne proizvodnje](#). Stoga optimizaciju biljne proizvodnje treba podrediti fizikalno-ke-mijskoj analizi, odnosno plodnosti tla koju je najtočnije determinirati vrednovanjem njegovih specifičnih funkcija koje kvantificiraju biljnu produktivnost, ali ujedno opisuju i utjecaj na zdravlje ljudi i okoliš. Također, uzalud je povećavati dozu nekog elementa, a najčešće je to dušik, kad je niska raspoloživost nekih drugih biogenih (neophodnih) elemenata ishrane.

[Rast biljaka i tvorba prinosa je paralelan proces koji se odvija prema složenim prirodnim zakonitostima i podložan je djelovanju ekoloških faktora biotičke i abiotičke naravi](#). Kako odnose pojedinih organizama i biocenoza prema vanjskoj sredini te uzajamne odnose živih bića izučava *ekologija*, a mehanizme reakcije organizama na ekološke faktore izučava *ekofiziologija*, proizvođači moraju dobro poznavati zakonitosti koje vladaju unutar *agrofitecenoze* (usjeva), a koji su bitno različiti od onih u prirodnim *fitocenoza* (zajednicama različitih biljaka). Rast biljaka (*neto produkcija*) odvija se u funkciji vremena i [tipično ima oblik S krivulje \(sigmoidna krivulja\)](#). Premda je vrijeme fizikalna veličina, ono za pojedine organizme ipak ima bitno različito značenje koje ovisi o vremenu i intenzitetu djelovanja mnogobrojnih faktora rasta.



Slika 1. [Odnos porasta prinosa, visine ulaganja i profita](#)

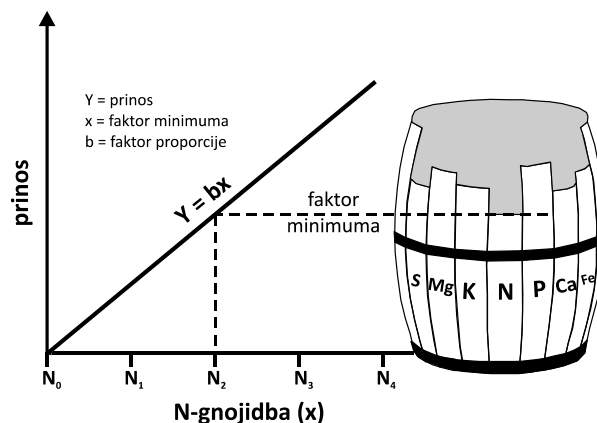
Rast biljaka (*neto produkcija*) odvija se u funkciji vremena i [tipično ima oblik S krivulje \(sigmoidna krivulja\)](#). Premda je vrijeme fizikalna veličina, ono za pojedine organizme ipak ima bitno različito značenje koje ovisi o vremenu i intenzitetu djelovanja mnogobrojnih faktora rasta.

Od davnina je poznato da povećanjem gnojidbe raste visina prinosa, ali je porast sve manji u odnosu na povećanje količine hraniva. [Pravilo koje je Turgot uveo u ekonomsku misao \(1767.\) tzv. „Zakon opadajućeg povrata“ \(Law of Diminishing Returns\)](#), u biljnoj je proizvodnji poznatije kao „[Zakon opadajućeg prirasta prinosa](#)“, zapravo je raritet ekonomske teorije koji bi se mogao nazvati zakonom. Sukladno *Turgotovom zakonu*, primjenom sve većih količina gnojiva porast prinosa je sve manji (i sve je manje isplativ), a kod pretjerane ili luksuzne gnojidbe (nevažno je li to mineralni ili organski gnoj) prinos pada (Slika 1.) što se praktično primjenjuje i u optimizaciji gnojidbe. Međutim, budući da visina prinosa usjeva po jedinici površine nije samo funkcija unosa gnojiva, već proizvod niza biljnih (biotskih), okolišnih (abiotskih) i agrotehničkih faktora, svaki model definiranja optimalne razine gnojidbe svodi se na procjenu uz [prihvatljivi rizik pogreške koji je uglavnom između 20 i 35 %](#).

Skлонost kvantitativnom poimanju faktora rasta prisutno je dugo vremena u ishrani i gnojidbi bilja kao odraz težnje da se unaprijed utvrdi utjecaj nekog faktora na povećanje prinosa. To je rezultiralo velikim brojem različitih "zakona" ili "pravila" čiji je karakter najprije statističko-empirijski, jer su utemeljeni na promatranjima i vrijede upravo onoliko koliko se precizno može utvrditi djelovanje nekog faktora rasta, odnosno prinosa te najčešće nemaju univerzalni značaj. Takvi zakoni mogu se predstaviti matematičkim jednadžbama/modelima koji pokušavaju što je moguće točnije prezentirati, odnosno simulirati primarnu organsku produkciju.

Simulirati zapravo znači oponašati, reproducirati pa je simulacija zapravo analogija stvarnosti, odnosno apstrakcija stvarnog sustava. [Otuda je kompjutorska simulacija matematički model implementiran u nekom od programskih jezika te predstavlja "računalni pokus", a kompjutorsko izvođenje takvog pokusa označava se pojmom kompjutorska simulacija.](#) Budući da je svaki model pojednostavljena verzija sustava, on je dobar koliko i dostupno znanje o sustavu. U svakom slučaju, modeli su veoma korisni za testiranje i generiranje novih ideja i hipoteza, njihovo pobijanje, ali i za predviđanje ponašanja sustava u nepoznatim situacijama. Naime, modeli zahtijevaju veliki broj stvarnih i eksperimentalnih podataka te omogućuju njihovu interpolaciju i predviđanje, rangiranje prioriteta, omogućuju i napredak u razumijevanju ponašanja. Dakle, osim svoje znanstvene važnosti, *simulacija prinosa biljaka* ima praktičnu primjenu u upravljanju uzgoja usjeva, u formiranju zaliha, komercijalizaciji, donošenju poljoprivrednih politika i zoniranju/rajonizaciji, kao i u mnogim drugim granama poljoprivredne djelatnosti. Međutim, potrebno je naglasiti kako ne postoji univerzalni model koji nudi rješenje svih problema.

U literaturi je opisan veliki broj modela, odnosno jednadžbi za analizu rasta *agrofitecenoza*, ali tek se njih nekoliko češće koristi u praksi. [Važno je naglasiti da su jednadžbe vrlo pojednostavljeni, generalizirani modeli rasta te se u suvremenoj znanosti koriste uglavnom vrlo složeni kompjutorski modeli kojima se mogu vrlo točno simulirati i analizirati rast biljaka i tvorba prinosa.](#) Međutim, dvije zakonitosti imaju opći i globalni značaj u razumijevanju primarne produkcije organske tvari, a to su *Liebigov zakon minimuma* (1840.) ili pravednije [Sprengelov zakon minimuma \(1828.\)](#) koji kaže da rast ili širenje populacije ovisi o faktoru koji najviše nedostaje, tzv. faktor minimuma (Slika 2.) i [Shelfordov zakon tolerancije \(1911.\)](#) koji kaže da svaka biljna i životinjska vrsta može opstati i uspješno se razmnožavati samo unutar određenih uvjeta okoliša. Zbog toga se u ovom članku razmatraju samo neki od najvažnijih modela proračuna važnih za optimizaciju gnojidbe, odnosno utjecaj na visinu prinosa i profitabilnost proizvodnje.



Slika 2. Liebigov "zakon" minimuma

*Liebscher* (1895.) formulira „Zakon optimuma“ koji *Liebigov* (točnije *Sprengelov*) „Zakon minimuma“ transformira tako da su svi proizvodni faktori najučinkovitiji kad su svi u optimumu. Klasični primjer *Liebscherovog* zakona je pozitivna interakcija dušika i fosfora s visinom prinosa pod uvjetima kad su oba biogena elementa deficitarna. Takvi su uvjeti danas rijetki, premda se javljaju na tlima niske plodnosti gdje se takve pozitivne interakcije lako potvrđuju. Prema „Zakonu minimuma“ prinos može nastaviti rasti ako je faktor u minimumu uklonjen pa povećanje prinosa raste i dalje s uklanjanjem preostalih faktora ograničenja.

Pokazalo se [da je Liebscherov zakon poveznica dva granična zakona: Liebigov zakon minimuma i Mitscherlichov zakon opadajućeg porasta prinosa.](#) Čak i kad je raspoloživost svih [17 biogenih elemenata \(neophodni ili esencijalni ili biogeni\)](#) odgovarajuća, rast može biti ograničen temperaturom i sunčevim zračenjem, manjkom vode, skromnim genetskim potencijalom kultivara itd., ili neadekvatnom i nepravovremenom agrotehnikom. *Liebigov zakon* vjerojatno će prevladati pod teškim ograničenjima hranjivih tvari i rasta, dok s druge

strane [Mitscherlichov zakon \(1909.\)](#) zahtijeva postojanje razumne opskrbe svim hranjivim tvarima što je očekivano u biljnoj proizvodnji, tako da dostupnost jednog hraniva osigurava učinkovito korištenje drugih.

[Najjednostavnija procjena isplativosti ulaganja \(inputa\) u biljnu proizvodnju, visine prinosa i profita temelji se na uporabi polinomne jednadžbe drugog reda \(tzv. paraboli\)](#). Premda se ova vrsta proračuna lako izvodi, rizik pogreške razmjernan je točnosti podataka kojima se raspolaže, npr. visini inputa (troškova), očekivanoj visini prinosa i njegovoj prodajnoj cijeni. Na primjeru gnojidbe ekonomski optimalna stopa ulaganja je omjer pri kojem je promjena prihoda od proizvodnje jednaka promjeni ulaznih troškova, ili gdje je granični prihod jednak graničnom trošku, pri čemu se ulazni (višestruki) troškovi mogu uzimati istovremeno ili pojedinačno. To olakšava optimizaciju gnojidbe, prvenstveno primjenu dušika koja i najviše utječe na visinu prinosa, a time i na profitabilnost biljne proizvodnje.

Općenito, što je veća N-doza razumno je očekivati i veći prinos, međutim kako se količina primijenjenog N povećava porast prinosa je sve manji što se lako može matematički uklopiti u jednadžbu „Zakona opadajućeg prirasta prinosa“ (Slika 3.). Rješenje za određivanje ekonomski optimalne N-doze lako se rješava polinomijalnom jednadžbom drugog reda (1):

$$Y = a + b \times N + c N^2 \quad (1)$$

Gdje je  $Y$  = prinos,  $a$  = prinos bez  $N$  primjene (presjek  $Y$  osi),  $b$  i  $c$  = nelinearni odnos između unosa dušika i visine prinosa (tzv. faktori proporcionalnosti).

Nagib polinomijalne jednadžbe drugog reda je prvi derivat prinosa s obzirom na N-dožu (2):

$$\frac{\Delta Y}{\Delta N} = b + 2cN \quad (2)$$

$\Delta Y/\Delta N$  = promjena porasta prinosa zbog promjene porasta N-dože,  $b$  i  $c$  = nelinearni odnos između unosa dušika i visine prinosa (tzv. faktori proporcionalnosti).

Izvedenica  $\frac{\Delta Y}{\Delta N}$  naziva se granični proizvod ulaznog podatka  $N$  (dušik), a ekonomska interpretacija ove jednadžbe omogućava transformaciju primjene  $N$  ha<sup>-1</sup> u prinos kg ha<sup>-1</sup> kombiniranjem jednadžbi povrata ulaganja ( $P_U$  je učinkovitost ulaganja) i prinosa (3):

$$\frac{\Delta P_U}{\Delta N} = P_C(b + 2cN) - P_N \quad (3)$$

$P_U$  = povrat ulaganja,  $P_C$  = marginalni ili granični prihod (prodajna cijena),  $P_N$  = trošak  $N$  gnojiva,  $b$  i  $c$  = nelinearni odnos između unosa  $N$  i visine prinosa (tzv. faktori proporcionalnosti).

Uključivanjem odnosa prinos prema N-doži u funkciju povrata ulaganja (4):

$$\text{Povrat ulaganja} = P_C Y_N - P_N N \quad (4)$$

$P_C$  = marginalni ili granični prihod (prodajna cijena),  $Y_N$  = funkcija prinosa u odnosu na dušik,  $P_N$  = jedinična cijena N-gnojiva,  $N$  = N-doža

Jednadžba (5) omogućuje definiranje ekonomske optimalne stope za  $N$  sljedećim izrazom:

$$(b + 2cN) = \frac{P_N}{P_C} \quad (5)$$

Treba primijetiti da je ekonomski optimalna N-doža jednaka omjeru jedinične cijene kukuruza i dušika pa se optimalna N-doža (kg ha<sup>-1</sup>) dobije rješavanjem jednadžbe (6):

$$\text{Optimalna } N \text{ doža} = \left( \frac{P_N}{P_C} \right) \times \left( \frac{1}{2c} \right) - \left( \frac{b}{2c} \right) \quad (6)$$

**Primjeri izračunavanja gnojidbe prema kvadratnom modelu:**

Napomena: Podaci korišteni u primjerima proračuna koji slijede su generirani (nisu stvarni) tako da budu što sličniji prosječnim za područje Istočne Slavonije i Baranje.

Rješenje proračuna/procjene ekonomski optimalne stopu pomoću kvadratnog modela (Slika 3.) prikazuje jednadžbu) kad je  $b = 0,1069$ ,  $c = 0,0003$ , cijena kukuruza  $P_C = 0,85 \text{ kn kg}^{-1}$ , cijena aktivne tvari N-gnojiva  $P_N = 5,05 \text{ kn kg}^{-1}$ :

Prinos zrna kukuruza =  $1.7795 + 0.1069 * 102.3614 - 0.0003 * 102.3614 = 12,69 \text{ t ha}^{-1}$  pri optimalnoj N-dози od **102,36 kg ha<sup>-1</sup>**:

$$N_{opt} = \left( \frac{P_N}{P_C} \right) \times \left( \frac{1}{2c} \right) - \left( \frac{b}{2c} \right) = \frac{5,05}{0,85} \times \frac{1}{2 \times 0,0003} - \frac{0,1069}{2 \times 0,0003} = 102,36 \text{ kg N ha}^{-1} \quad (7)$$

Mitscherlich (1909.) je pokušao uvažiti eksperimentalno utvrđenu činjenicu da na visinu prinosa utječe niz biotskih faktora (vrsta, kultivar, nejednaka produktivnost fotosintetskog aparata, različita tolerantnost na nepovoljne uvjete rasta itd.) i abiotske prirode (klimatski i zemljišni uvjeti). Na tim postavkama razradio je metodu uzgoja biljaka u strogo nadziranim uvjetima rasta kako bi se sa sigurnošću mogao utvrditi utjecaj pojedinih faktora (doze hraniva) na visinu prinosa. Metoda se temelji na uzgoju biljaka u posudama (često i u polju uz nešto izmijenjeni način izračunavanja potreba u gnojidbi), a gnojidba se postavlja po planu koji omogućuje utvrđivanje utjecaja svakog pojedinog elementa ishrane uz procjenu potrebne gnojidbe.

Mitscherlich je svoju hipotezu o odnosu gnojiva i prinosa predstavio kao "Zakon smanjenja rasta prinosa" s povećanjem količine gnojiva što opisuju diferencijalna jednadžba (8):

$$\log(A - y) = \log(A) - cx \quad (8)$$

$A$  = najveći postignuti prinos kod potpune gnojidbe s NPK;  $c$  = faktor djelovanja hraniva;  $x$  = količina hraniva dodana gnojidbom;  $y$  = postignuti prinos kod doze gnojiva  $x$ .

Ako se s "a" označi prinos koji se postiže bez gnojidbe nekim elementom, tada je "b" pristupačna količina hraniva u tlu pa se "b" (u dt = decitona = 100 kg, odnosno kvintalima po ha) izračunava (9):

$$b = \frac{\log A - \log(A - a)}{c} \quad (9)$$

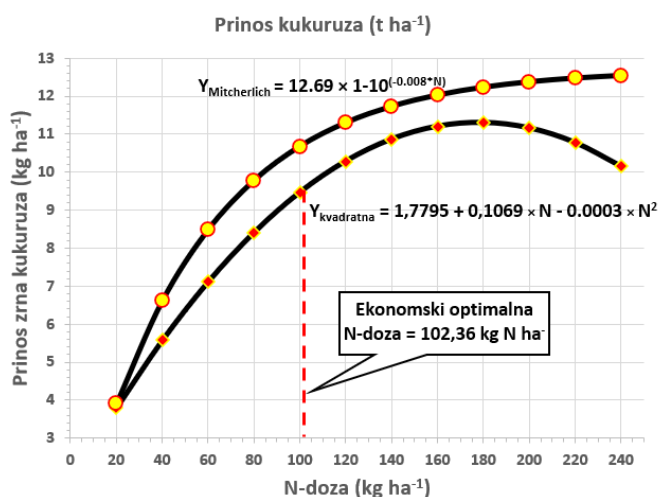
Porast prinosa proporcionalan je faktoru „c“, odnosno u ishrani bilja „c“ je zapravo faktor djelovanja hraniva. Prema Mitscherlichu taj faktor ima različitu vrijednost, ovisno o tome da li se utvrđivanje potrebe za gnojidbom obavlja u posudama ili u polju, odnosno da li se koristi izvorni oblik jednadžbe ili njezini izvodi. Za gore navedene jednadžbe u nadziranim uvjetima (Mitscherlichovim posudama) su  $c_N = 0,64$ ;  $c_P = 2,00$  i  $c_K = 1,33$ , dok je u polju  $c_N = 0,20$ ,  $c_P = 0,60$  i  $c_K = 0,40$ . U literaturi se mogu pronaći i druge vrijednosti „c“, kao i tvrdnja da se „c“ prilično razlikuje za različite usjeve koji se uzgajaju pod različitim uvjetima i da ga je potrebno utvrditi eksperimentalno.

Za praktične potrebe/proračune često se koriste antilogaritmirani i derivirani izvod originalne jednadžbe Mitscherlicha (10):

$$y = A(1 - e^{-cx}) \text{ ili } \frac{\Delta y}{\Delta x} = c \times (A - y) \quad (10)$$

Za dva ili više hranjivih elemenata gornji izrazi mogu se proširiti (11):

$$y = A \times \{1 - \exp(-c_N N)\} \times \{1 - \exp(-c_P P)\} \times \{1 - \exp(-c_K K)\} \quad (11)$$



Slika 3. Prinos kukuruza ovisno od N-doze (kvadratni model (7) i Mitscherlichov zakon (12) za iste podatke)

### Primjeri izračunavanja gnojidbe prema Mitscherlichovim zakonu:

**Napomena:** Podaci korišteni u primjerima proračuna koji slijede su generirani (nisu stvarni) tako da budu što sličniji prosječnim za područje Istočne Slavonije i Baranje.

Kod utvrđivanja potrebe u gnojidbi prema Mitscherlichovoj jednadžbi gornji matematički izrazi mogu se prilagoditi na sljedeći način (12):

$$Y_m = Y_p [1 - 10^{-c_i(x_0 + x_i)}] \rightarrow Y_m = 12,69 \times [1 - 10^{(-0,008 \times 102,36)}] = 10,76 \text{ t ha}^{-1} \text{ (12)}$$

$Y_m$  = visina prinosa,  $Y_p$  = potencijalni prinos (prema kvadratnom modelu),  $c_i$  = faktor djelovanja hraniva (npr., za kukuruz u sjev. Italiji uzimaju za faktore djelovanja  $c_N = 0,008$ ,  $c_P = 0,010$  i  $c_K = 0,015$ ),  $x_0$  = raspoloživost hraniva prije gnojidbe,  $x_i$  = gnojibom dodana količina hraniva (doza).

1) **Primjer:** Koliki će se postići prinos zrna kod kukuruza ako je utvrđeno analizom tla 50 kg Nmin (13)?

$$Y_m = Y_p [1 - 10^{-0,008 \times 50}] = 0,6 \text{ (13)}$$

**Rješenje:** Za očekivati je 60 % od najveće mogućeg prinosa  $Y_p$  ( $0,6 \times 100 \% = 60 \%$ )

2. **Primjer:** Uobičajenom agrotehnikom u proizvodnim uvjetima postiže se do 70 % potencijalnog prinosa ( $Y_m = Y_p \times 0,70$ ), a još 20 % povećanja prinosa ( $Y_m$ ) može se postići primjenom znanja, adekvatnom agrotehnikom, najčešće učinkovitom gnojibom, odnosno 84 % od najvećeg mogućeg (dostižnog) prinosa (više od toga malo kad je profitabilno) za date uvjete ( $0,70 \times 1,2 = 0,84 \%$ ). Kolika je potreba za dušikom za postizanje 84 % najvećeg mogućeg, tzv. dostižnog prinosa zrna kukuruza (14)?

$$(x_0 - x_i) = \frac{\log \left[ \frac{1}{(1 - 0,84)} \right]}{c_N} = \frac{0,796}{0,008} = 2,89 \text{ dt, odnosno } 289 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ (14)}$$

**Rješenje:** Za postizanje 84 % od dostižnog prinosa kukuruza potrebno je 289 kg N ha<sup>-1</sup>.

3. **Primjer:** Najveći mogući prinos zrna kukuruza za određene agroekološke uvjete je 15 t ha<sup>-1</sup>. Kolika je potreba za dušikom (15) uz 60 % potencijalnog prinosa ( $15,0 \times 0,6 = 9,0 \text{ t ha}^{-1}$ )?

$$b = \frac{\log(15) - \log(15,0 - 9,0)}{0,2} = 1,99 \text{ dt ili } 199 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ (15)}$$

**Rješenje:** Za postizanje 60 % od dostižne visine prinosa, odnosno 9,0 t ha<sup>-1</sup> od 15,0 t ha<sup>-1</sup> kukuruza potrebno je 199 kg N ha<sup>-1</sup>.



Slika 4. Izgled Mitscherlichovog biološkog testa raspoloživosti N, P i K



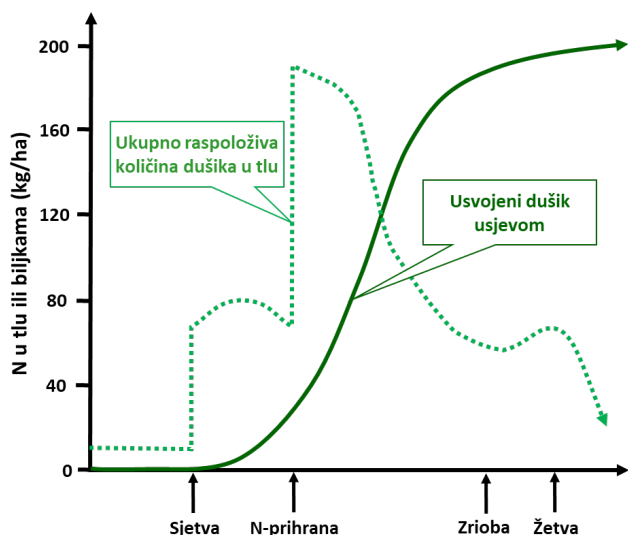
Slika 5. Poljski pokus (D. Miholjac 17.05.2002.) god.

U biljnoj proizvodnji ne smije biti šablona ili receptura nerijetko preuzetih iz posve različitih agroekoloških i ekonomskih okruženja, a strategija, kao i planiranje cjelokupne agrotehnike, uključujući gnojidbu i zaštitu usjeva, mora biti podređena profitu, agrotehničkim i

[agroekološkim uvjetima](#). Svaka proizvodna parcela jedinstvena je i različita od drugih, bilo susjednih ili šire, jer bez obzira na slične klimatske i zemljišne uvjete izvor varijacije može biti veoma različit, a najčešće je posljedica povijesti njezine eksploatacije (npr. različita predkultura, prethodni prinosi, gnojidba, zaštita, obrada i dr.). Tla su općenito vrlo heterogeno po svojim morfološkim, fizikalnim i kemijskim svojstvima, pa čak i onda kad naoko izgledaju homogeno (po boji, nagibu i dr.). Stoga je važno istaći da je za profitabilnu biljnu proizvodnju neophodno imati dobru ekonomsku teoriju, rezultate velikog broja pokusa u poljskim (proizvodnim, Slika 4.) i u kontroliranim uvjetima. Uzgred, između 1975. i 1990. god. svaki moj student sudjelovao je u utvrđivanju potrebe NPK gnojidbe u [Mitscherlichovim posudama](#) (Slika 5.) i raspoloživosti P i K u [Neubauerovim posudicama](#)). Dakle, [želim naglasiti da poljoprivredni proizvođači moraju imati veće opće i praktično znanje](#), posebice [u vremenu nadolazeće sofisticirane, pametne poljoprivrede \(tzv. treće zelene revolucije\)](#) i da je neobično važno imati velik broj relevantnih podataka o tlu, klimi, kultivarima, odgovarajuće statističke i geostatističke tehnike, ali i provjerenu i učinkovitu agrotehniku te stručne i dobro educirane istraživače i proizvođače. To je put za optimizaciju biljne proizvodnje kroz adekvatne gnojdbene i tehnološko-proizvodne preporuke specifične za pojedina poljoprivredna gospodarstva i lokacije, kao i pravi put za povećanje dobiti proizvođača uz manje štete po okoliš i manji gubitak hranjivih tvari zbog prekomjerne upotrebe agrokemikalija.

[Gnojidba mora uvažavati agronomski, ekonomski i ekološki aspekt i ne smije se promatrati isključivo kao dodatak i/ili nadoknada prirodnog izvora hraniva kako bi se zadovoljile potrebe biljaka za ostvarenje visokih prinosa, kompenzirao gubitak i odnošenja hraniva iz tla te poboljšala nepovoljna svojstva tla, već mora isto-vremeno imati prihvatljiv i kontrolirani rizik za okoliš uz isplativu cijenu](#). Međutim, komercijalni imperativ i ekonomski interesi, koji često nemaju čvrstu vezu sa stanjem i održivosti poljoprivrednih resursa i složenim odnosima živih organizama i okoliša, imaju još uvijek majoritet nad agroekološkim pristupom i očuvanjem okoliša u proizvodnji kvalitetne hrane.

Važno je da svaki, posebice veći poljoprivredni proizvođač mora imati relevantne podatke o mogućem kapacitetu produkcije svojih proizvodnih površina, a to se može postići samo analizom tla i provođenjem egzaktnih poljskih pokusa u konkretnim agroekološkim i ekonomskim okolnostima. Naime, poljski eksperimenti danas ne predstavljaju osobit problem, niti veliki trošak zbog dostupnosti monitoringa prinosa, GIS alata i mogućnosti korištenja automatiziranih senzora za različita istraživanja. [Najpouzdanija metoda za prepoznavanje navedenih specifičnosti su referentne trake unutar proizvodne parcele \(najčešće jedna traka bez gnojidbe i jedna s maksimalnom gnojdbom\)](#). Temeljem tako dobivenih podataka moguće je definirati *ekonomski optimalnu dozu*, prvenstveno dušika, ali i ostalih biogenih elemenata, kombinacijom podataka o prethodno postignutim prinosima (tzv. *mogućem ili dostižnom prinosu*), trenutnom stanju usjeva, statusu hraniva u tlu, podacima o lokaciji, vremenskim prilikama itd.



Slika 6: [Sinkronizaciju između vremena primjene gnojiva i usvajanja hranjivih tvari biljkama](#)

u sinkronizaciji potrebe usjeve, mogućnosti usvajanja, mogućim gubicima (npr. [ispiranje, volatizacija i denitrifikacija](#)), kao i kapacitetu za akumulaciju hraniva u biljkama i ugradnji u organsku tvar kad vremenski uvjeti to omogućuje. ["Princip sinkronosti" je agronomov san](#), a rijetko se, ako ikad i ostvari (Slika 6.). Poteškoće u sinkronizaciji uzrokovana su iz dva glavna razloga:

Idealno vrijeme primjene gnojiva je naročito veliki izazov, osobito kad se radi o N-prihrani dušikom ozimih usjeva ili NP prihrani jarih usjeva. Zapravo, problem je u sinkronizaciji potrebe usjeve, mogućnosti usvajanja, mogućim gubicima (npr. [ispiranje, volatizacija i denitrifikacija](#)), kao i kapacitetu za akumulaciju hraniva u biljkama i ugradnji u organsku tvar kad vremenski uvjeti to omogućuje. ["Princip sinkronosti" je agronomov san](#), a rijetko se, ako ikad i ostvari (Slika 6.). Poteškoće u sinkronizaciji uzrokovana su iz dva glavna razloga:

- 1) *asinkronost između mladih biljaka i osnovnog gnojiva* primijenjenog prije ili za vrijeme sjetve Klijanci (mlade biljke) prvo usvajaju hranjive tvari iz rezerve u sjemenu (*endosperm*) i nisu u stanju koristiti hrani-va iz bilo kojeg gnojiva sve dok ne razviju korijenov sustav i
- 2) *pulsni učinak primjene topljivih gnojiva (solni udar ili solni stres)* kad topiva mineralna gnojiva izložena vlazi tla drastično povećavaju ionsku koncentraciju uz porast osmotske vrijednosti vodene faze tla (Slika 6.).

Često pitanje koje si poljoprivredni proizvođač postavlja u nepovoljnim ekonomskim vremenima je „[Koliko gubitak prinosa mogu očekivati ako smanjim moje stope gnojidbe?](#)“. Jednostavno pitanje primjereno uvje-tima ograničenih investicija u proizvodnju, ili pak problem tržišta, otkupa niskih cijena, politike poticaja i dr., na koje često nema pravog odgovora.

Naime, koliko će pasti prinos kad se smanji doza gnojiva ovisi prije svega o plodnosti tla, odnosno aktivaciji mobil-nih rezervi hraniva koje biljke potenci-jalno mogu usvojiti. Što je veća količina raspoloživih hraniva u tlu, usjevi manje reagiraju na gnojidbu (Slika 7.).

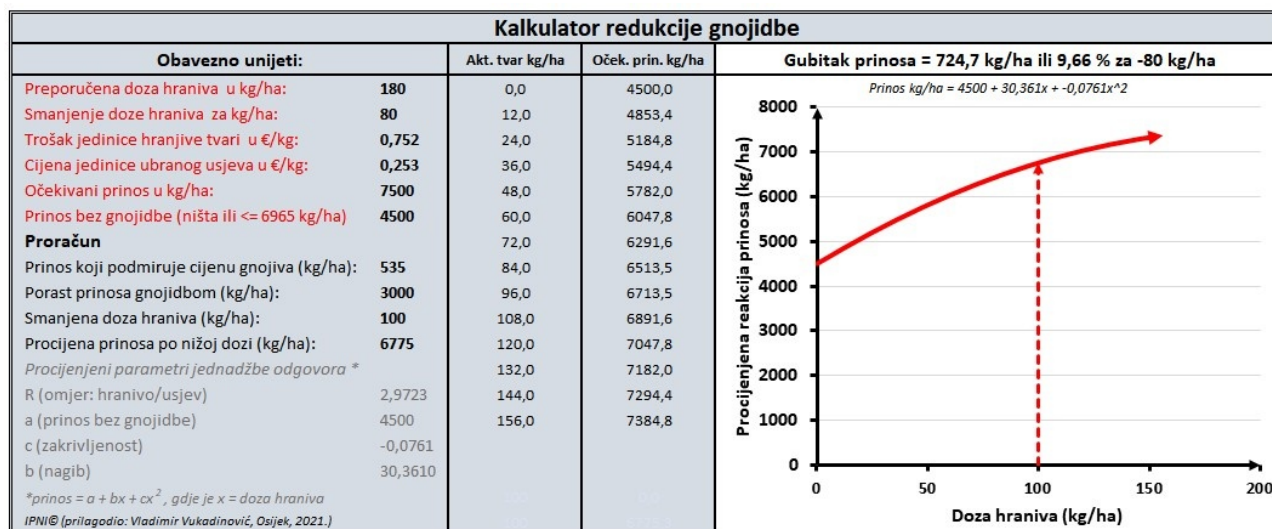
Opskrbljenost tla	Usvajanje hraniva iz tla i gnojiva		Očekivani po-rast prinosa
Vrlo visoka	Tlo		<10 %***
Visoka	Tlo	Gnojivo <sup>o</sup>	10 - 30 %**
<b>Optimalna</b>	Tlo	Gnojivo	<b>30 - 50 %*</b>
Niska	Tlo	Gnojivo	50 - 80 %
Vrlo niska	Tlo	Gnojivo	>80 %

Slika 7. Opskrbljenosti tla i povećanje prinosa gnojidbom

Gnojivo\* = Startna i gnojidba za održavanje plodnosti tla  
\* = kakvoća prinosa

Temeljni problem u procjeni gubitka prinosa redukcijom gnojidbene doze je

reakcija visine prinosa na razinu dostupnosti hraniva što se može uz prihvatljivi rizik procijeniti samo redovi-tom kemijskom analizom tla. Dakle, redukcija gnojidbe je adekvatna mjera samo kad je raspoloživost ele-mentata ishrane zadovoljavajuća za nekoliko narednih vegetacijskih sezona. Fosfor i kalij mogu se primjenji-vati „na zalihu“ ili „na rezervu“, dakle više nego što je potrebno za narednu vegetaciju kako bi se podigla nji-hova raspoloživost uz smanjeni broj prohoda gnojidbe.



Slika 8. [Kalkulator pada prinosa pri redukciji gnojidbe \(Prilagođen IPNI kalkulator\)](#)

[Unutar strategije gnojidbe tla sve češće se u posljednje vrijeme, naročito u SAD-u, prakticira koncept dostat-nosti kojim se znatno smanjuje potreba za čestom gnojidbom.](#) Kako biljka može usvojiti nepokretne hranjive tvari (kao što su P, K, Ca i Mg) samo iz tla u zoni korijena (*rizosfera*), mogućnost usvajanja tih hraniva ograni-čena je na interakciju korijena i tla, a potrebna razina raspoloživosti postiže se jednokratnom primjenom ve-ćih doza P i K gnojiva (tzv. *gnojidba na zalihu ili rezervu*, odnosno *meliorativna gnojidba*). Princip dostatnosti ne može se primjenjivati na gnojidbu dušikom i sumporom jer su lako pokretni u tlu i ne mogu stvarati re-zerve hraniva u tlu.

Redukciju gnojidbe moguće je uspješno primijeniti pod pretpostavkom da je raspoloživa količina hraniva u tlu jedini faktor koji utječe na visinu prinosa te je poznata očekivana visina prinosa temeljem poljskih testova da prinos neće značajno pasti bez primjene fosfora i/ili kalija i kad je poznato koliki su ranije postignuti prinosi pri primjeni smanjene doze dušika. Kada nema podataka o padu visine prinosa pri reduciranoj ili izostavljenoj gnojidbi, ipak je moguće izraditi konzervativnu procjenu temeljem očekivane visine prinosa uz preporučenu gnojidbu i poznatu visinu prinosa bez gnojidbe (Slika 8.) za što je potreban egzaktan podatak dobiven bez gnojidbe manje površine, npr. [već spomenute referentne trake](#).

[Tekstu je priložen original Excel kalkulator procjena gubitka prinosa usjeva zbog smanjenja doze hraniva preveden na hrvatski jezik, a korisnicu mogu preuzeti kalkulatora s priloženom uputom \(na hrvatskom; Slika 8.\)](#). Za procjenu gubitka prinosa redukcijom gnojidbe potrebna je vrijednost preporučene N-doze, reducirana N-doza, cijena jedinice aktivne tvari, cijena jedinice prinosa, očekivana visina prinosa i ako je poznata visina prinosa bez gnojidbe. Rezultat proračuna je konzervativna procjena prinosa bez, ili uz reduciranu gnojidbu, a rezultat se prikazuje i grafikonom (Slika 8.). Proračun se temelji na kvadratnoj funkciji predviđanja prinosa što je ranije već opisano u tekstu (jednadžbe 1 - 6). Budući da je kalkulator jednostavan za primjenu, a može pomoći u promišljanju eventualne redukcije gnojidbe, preporučam da ga isprobate, ali njegove procjene treba uzeti s rezervom, naročito ako već imate problema u rentabilnosti biljne proizvodnje. [Naime, proizvođači moraju biti svjesni da bez gnojidbe gube velik dio profita jer, prema široko prihvaćenim spoznajama, gnojidba je zaslužna za 30 do 50 % povećanja prinosa, a često i više](#).

U Osijeku 8. siječnja 2021. god.