

Kako optimizirati gnojidbu temeljem cijene gnojiva?

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Uvod

Troškovi gnojidbe (gnojiva i gnojidba) veoma utječu na ekonomičnost biljne proizvodnje pa su gnojidbene i druge tehnološke preporuke temeljene na iskustvu, često iz drugih agroekoloških područja u vidu gotovih rješenja (tzv. receptura) najčešće posve pogrešan način utvrđivanja potrebe u gnojidbi. Naime, utjecaj gnojidbe na povećanje prinosa prosječno iznosi 50-ak %, a gnojidba sudjeluje u ukupnim troškovima biljne proizvodnje često i do 40 %. Optimizacija gnojidbe nije samo značajno s ekonomskog aspekta, već je veoma važna s aspekta potrebe usjeve, izbora gnojiva, doze aktivne tvari, formulacije, kemijskog oblika hraniva u gnojivu, vremenu i načinu primjene gnojiva. Pored navedenog agronomskog aspekta gnojidbe, odnosno usuglašavanja potrebe biljaka s mogućnosti usvajanja hraniva iz tla, što se najpouzdanije utvrđuje kemijskom analizom tla i/ili biljaka, s ekonomskog aspekta važno je izbjegavanje suvišnih i/ili nepotrebnih zahvata i izbora neadekvatnog ili skupog, često i neučinkovitog gnojiva.

Gnojidba zahtijeva donošenje odluka i pojavljuje se kao čest i važan problem odlučivanja. U pojedinim slučajevima problemi donošenja odluka mogu biti prilično jednostavni kad zahtijevaju određivanje vrijednosti malog broja kontroliranih varijabli s jednostavnim uvjetima koji moraju biti zadovoljeni, ali odluke o gnojidbi nisu niti malo jednostavne jer postoji niz uvjeta i velik broj mogućih alternativa. U svom dugogodišnjem radu i istraživanjima u ishrani bilja striktno sam izbjegavao *uopćene šablone i recepture gnojidbe* koje nisu utemeljene na statusu i bioraspoloživosti hraniva u tlu (analizi tla i biljaka, bilanciranju hraniva, simptomima deficita ili suficita, pogodnosti zemljišta i dr.), potrebama biljaka, očekivanom i mogućem prinosu, kao i ekološkom i ekonomskom aspektu gnojidbe. Stoga sam za potrebe utvrđivanja potrebe u gnojidbi izradio više računalnih modela i kalkulatora kako bi biljnu proizvodnju kroz utvrđivanje, kvantificiranje i razumijevanje svih relevantnih činitelja kao što su poznavanje produktivnog kapaciteta tla i usuglašavanje gnojidbe sa statusom hraniva u tlu i potrebama biljaka. Naime, matematičko modeliranje je brže i jeftinije od metode pokušaja i pogrešaka pri usuglašavanju biljne proizvodnje s biološkim, agrološkim i ekonomskim ograničenjima (limitima) te nije niti malo jednostavno jer se problem mora promatrati i rješavati multifunkcionalno u interakciji biljke, tla, klime i agrotehnike.

Optimizacija izbora gnojiva linearnim programiranjem

Analizom posjećenosti svoje web stranice (<http://tlo-i-biljka.eu>) utvrdio sam koliko se pojedini tekstovi čitaju (uzgred, najviše se čitaju/preuzimaju knjige), a od kalkulatora najrjeđe se preuzima/koristi [Optimizacija gnojidbe Simplex metodom](#).

Tablica 1. Prosječna potreba usjeva za NPK kg/ha

Usjev	Broj uzoraka	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
Pšenica ozima	3.112	121	84	55
Kukuruz	6.182	173	94	102
Šećerna repa	10.805	144	83	185
Soja	2.337	68	90	93
Suncokret	1.745	130	82	98
Uljana repica	1.226	121	91	81
Ječam ozimi	629	90	58	57

aplikacija u *Microsoft Excelu* koji ima programski dodatak *rješavatelj* ili *solver* koji služi za analizu **što ako** (*What-If Analysis*), odnosno pronalaženje optimalne (minimalne ili maksimalne) vrijednosti formulom u jednoj od ćelija (tzv. *objektivna ćelija*; *objective cell*) koja sadrži sva potrebna ograničenja. Rješavatelj funkcionira zajedno s grupom ćelija koje sadrže tzv. *varijable odluke*, a njihov sadržaj se može mijenjati što utječe na rezultate/rješenja koje mora biti u izvedivim granicama i prikazano u objektivnoj ćeliji.

U aplikaciji [Optimixfert koji je slobodan za download](#), a služi za optimizaciju cijene gnojiva, odnosno gnojidbe, koristi se *linearno programiranje* (tzv. *simplex metoda*) za *minimiziranje ciljne funkcije*, odnosno cijene gnojiva

sjetvom i dr.) i realizaciju optimalne gnojidbe, obzirom na biljne potrebe, agrotehniku, način primjene gnojiva i dr.

Kalkulator nije zaštićen i moguće ga je podesiti/prilagoditi promjenom cijena, izmjenom scenarija i dr.), ali u tom slučaju mudro je sačuvati originalnu verziju (scenariji se čuvaju unutar aplikacije, a mora se navesti lokacija ćelije u kojoj se čuva pojedini scenarij). Naime, promjena ograničenja/uvjeta može biti pogrešna pa će takvi i biti rezultati optimizacije. Stoga su u daljem tekstu objašnjena tri različita scenarija kao bi olakšao korisnicima prilagodbu aplikacije [Optimixfert](#). Kad je u pitanju raspodjela N (osnovna gnojidba, predstjetvena, start i prihrana), najbolje je svaki put napraviti novu kalkulaciju, npr. prvo za ureu i PK gnojivima (u jesen), pa onda za KAN, AN, ASN itd. za N-prihranu.

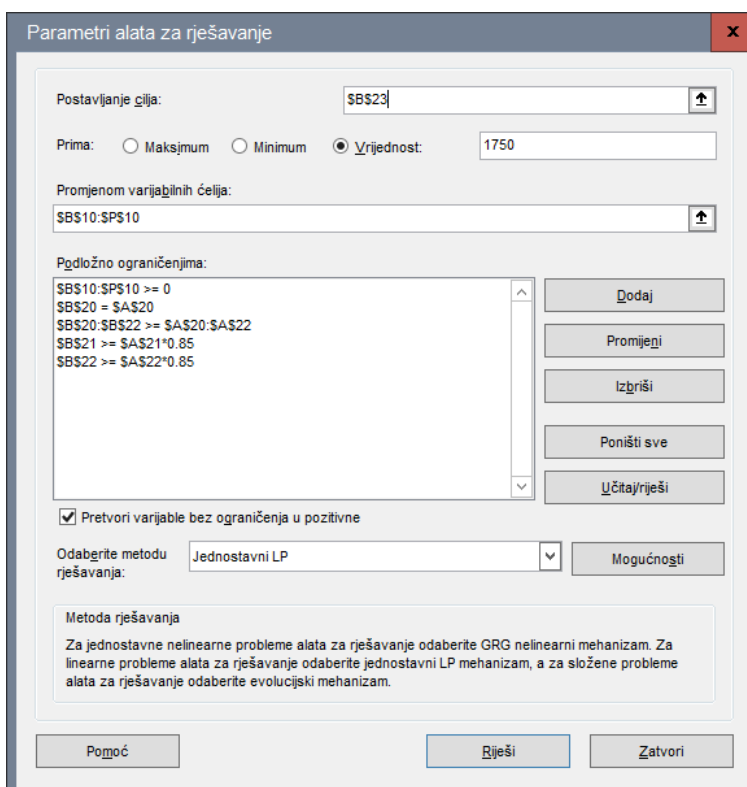
Scenariji optimizacije

Zadani scenarij (za promjene scenarija vidi Sliku 2.) optimizira izbor gnojiva tako da budu sva tri glavna hraniva (odnosno njihova aktivna tvar: N, P₂O₅ i K₂O) jednaki ili veći od potrebe utvrđene kemijskom analizom tla uz najmanju ukupnu cijenu izabranih gnojiva. Dakle, cilj optimizacije po scenariju 1. je što niža cijena gnojiva (minimum, Slika 2.) u *objektivnoj ćeliji* $\$B\23 , dok *varijabilne ćelije* ($\$A\$20:\$A\22) sadrže potrebu N, P i K elemenata ishrane u kg/ha svih gnojiva ($\$B\$10:\$P\10) uz ograničenje da je optimizirana gnojidba jednaka ili veća od preporučene (za pšenicu, Tablica 1.), odnosno $\$B\$20:\$B\$22 \geq \$A\$20:\$A\22 (Slika 1. i Slika 2.).

U *scenariju I* alat za rješavanje pronašao je rješenje i sva su ograničenja i uvjeti optimizacije zadovoljeni. Od ponuđenih 6 gnojiva (Slika 1.), izabrana su samo tri (urea, MAP i KCl 60 %). Po *scenariju I* provedena je optimizacija za više različitih gnojiva (Tablica 2. na kraju teksta), u kojoj je prikazan i način raspodjele dušika na osnovnu gnojidbu i prihranu (40 % N iz uree u osnovnoj gnojidbi i 60 % N iz KAN-a u N-prihrani/prihranama). Rezultati Tablice 2. pokazuju da je najmanja cijena gnojidbe uz korištenje uree, MAP-a i KCl-a, koja je gotovo jednaka onoj kad se urea koristi za osnovnu gnojidbu, a KAN za prihranu.

Naravno, aplikacija *Optimixfert* uzima u obzir samo cijenu gnojidba, a korisnik mora izračunati/odlučiti je li to ipak najniža cijena gnojidbe, obzirom na potreban broj prohoda. Upravo zbog toga u daljem tekstu je objašnjen *scenarij II* i *scenarij III* koji u ograničenjima dopuštaju odstupanje za sva tri elementa ishrane (N, P i K) u odnosu na gnojidbenu preporuku. *Scenarij II* razmatra primjenu uree i 0:20:30, uz uvjet da je cijena gnojiva jednaka ili niža od 1750 kn/ha, da je N doza točno tražena vrijednost, a fosfor i kalij moraju biti jednaki ili veći od 85 % potrebe (Scenarij II, Slika 3.). Rezultat optimizacije samo s dva gnojiva (urea + 0:20:30) je točan za dušik, neznatno niži za fosfor, ali znatno viši za kalij, uz višu cijenu (Slika 3.) u odnosu na scenarij I (uvjet je da je cijena ≥ 1750 kn/ha). Izvještaj optimizacije aplikacije bio je: „Alat za rješavanje ne može pronaći točku za koja su sva ograničenja zadovoljena“.

Scenarij III uključuje korištenje uree, MAP-a i KCl-a uz uvjet da cijena gnojiva može biti najviše 1500 kn/ha, N mora biti ≥ 90 % preporuke, a P₂O₅ i K₂O moraju biti ≥ 75 % preporučene doze (Slika 4.). Izvještaj



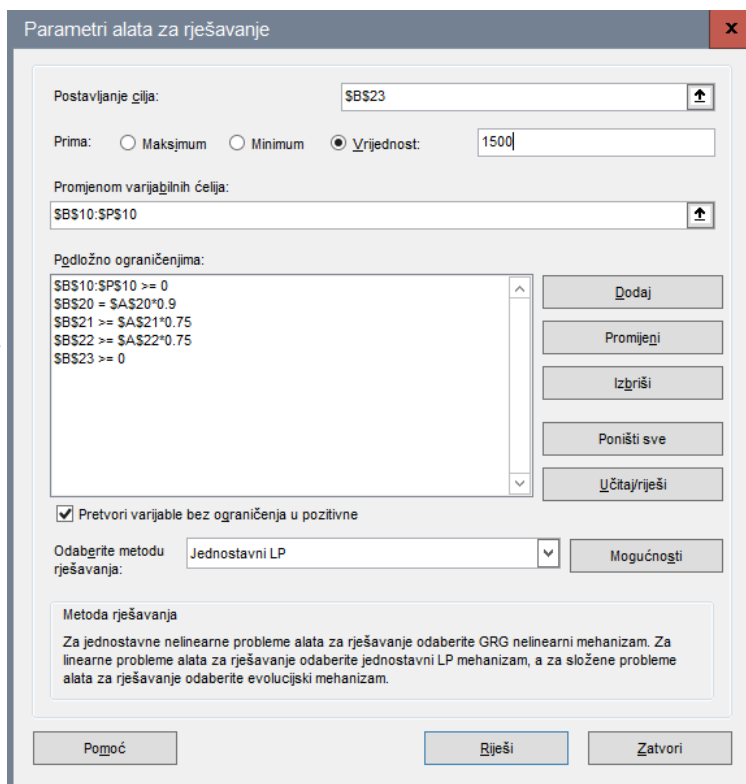
Slika 2. Scenarij II - Traži se cijena gnojiva ≤ 1750 kn/ha, N točno po preporuci, a P₂O₅ i K₂O $\Rightarrow 85$ % potrebe.
Potreba: N = 121, P₂O₅ = 84 i K₂O = 55 kg/ha
Rezultat: N = 121, P₂O₅ = 81 i K₂O = 121 kg/ha

optimizacije aplikacije za *scenarij III* bio je: „Alat za rješavanje pronašao je rješenje. Sva su ograničenja i uvjeti optimizacije zadovoljeni“, a optimizacijom je postignut isti rezultat kao po scenariju I (Slika 4.).

Planiranje proizvodnje i usklađivanje troškova s prihodima biljne proizvodnje, posebice usjeva, često se lomi preko manjeg intenziteta ili izostavljanja gnojidbe i/ili prihrane, redukcije obrade te sjetvom necertificiranog sjemena. Nasuprot gnojidbi i obradi, zaštita usjeva se najčešće provodi potpuno, ponekad i nepotrebno, jer su poljoprivrednici pod lavinom reklama, koje nikad ne kažu da i najefikasnija zaštita usjeva neće, niti može povećati prinos, već ga samo očuvati, ali i to najčešće ne uspijeva u potpunosti.

Neosporno je na povećanje prinosa najveći utjecaj imaj gnojidba (*naravno tek iza energije Sunca i raspoloživosti vode*), zatim poštivanje agrotehničkih rokova, sortiment, obrada i dr. Međutim, adekvatnu i pravovremenu gnojidbu nemoguće je obaviti bez poznavanja plodnosti tla te je oslanjanje na tzv. uvriježenu praksu, koja je često bez ikakve ozbiljne znanstvene i praktične provjere, *prepuna zabluda i mitova*, a rezultat su niski prosječni prinosi, gotovo svih vrsta biljne proizvodnje, pa i na istoku RH gdje su mahom plodna tla. Stoga visoki troškovi biljne proizvodnje rezultiraju skromnom produktivnošću, slijedom toga i niskom profitabilnosti, a veoma često proizvođači proizvode i značajne gubitke.

U Osijeku, 9. prosinca 2020. god.



Slika 3. Scenarij III - Traži se cijena gnojiva ≤ 1500 kn/ha, $N \geq 90$ % preporuke, a P_2O_5 i $K_2O \Rightarrow 75$ % potrebe.
Potreba: $N = 121, P_2O_5 = 84$ i $K_2O = 55$ kg/ha
Rezultat: $N = 109, P_2O_5 = 63$ i $K_2O = 41$ kg/ha

Tablica 2. Optimizacija cijene NPK gnojidbe za šest usjeva aplikacijom Optimixfert

Izbor gnojiva	NPK kg/ha	Pšenica		Kukuruz		Šećerna repa		Soja		Suncokret		Ulj. repica		Ječam	
		Potreba	Optim.	Potreba	Optim.	Potreba	Optim.	Potreba	Optim.	Potreba	Optim.	Potreba	Optim.	Potreba	Optim.
Urea + MAP + KCl	N	121	121	173	173	144	144	68	68	130	130	121	121	90	90
	P ₂ O ₅	84	84	94	94	83	83	90	90	82	82	91	91	58	58
	K ₂ O	55	55	102	102	185	185	93	93	98	98	81	81	57	57
Cijena (kn/ha)		1320.8		1860.9		2053.2		1267.6		1561.1		1482.5		1035.5	
Urea (40%) + KAN (60%) + MAP + KCl	N	121	48 + 73	173	69 + 104	144	57 + 87	68	28 + 40	130	52 + 78	121	49 + 72	90	36 + 54
	P ₂ O ₅	84	84	94	94	83	83	90	90	82	82	91	91	58	58
	K ₂ O	55	55	102	102	185	185	93	93	98	98	81	81	57	57
Cijena (kn/ha)		1322.1		1859.3		2055.0		1265.2		1562.4		1482.3		1035.4	
KAN + 7:20:30	N	121	121	173	173	144	144	68	68	130	130	121	121	90	90
	P ₂ O ₅	84	84	94	94	83	123	90	90	82	82	91	91	58	58
	K ₂ O	55	126	102	141	185	185	93	135	98	123	81	137	57	87
Cijena (kn/ha)		2001.1		2431.1		2766.6		1829.8		2014.1		2116.5		1414.6	
KAN + 0:20:30	N	121	121	173	173	144	144	68	68	130	130	121	121	90	90
	P ₂ O ₅	84	84	94	94	83	123	90	90	82	82	91	91	58	58
	K ₂ O	55	126	102	141	185	185	93	135	98	123	81	137	57	87
Cijena (kn/ha)		1667.0		2057.1		2275.9		1471.7		1687.8		1754.5		1183.9	
KAN + 15:15:15	N	121	121	173	173	144	185	68	93	130	130	121	121	90	90
	P ₂ O ₅	84	84	94	102	83	185	90	93	82	98	91	91	58	58
	K ₂ O	55	84	102	102	185	185	93	93	98	98	81	91	57	58
Cijena (kn/ha)		1519.4		1977.9		2930.8		1473.3		1715.7		1594.6		1082.0	
KAN + 12:6:18	N	121	121	173	173	144	144	68	76	130	130	121	121	90	90
	P ₂ O ₅	84	84	94	94	83	83	90	90	82	82	91	91	58	58
	K ₂ O	55	55	102	102	185	185	93	93	98	98	81	81	57	57
Cijena (kn/ha)		2492.6		3245.1		3440.5		2617.6		2783.1		2788.7		1878.1	
0:20:30 + 20:10:10	N	121	121	173	173	144	144	68	68	130	130	121	121	90	90
	P ₂ O ₅	84	84	94	97	83	147	90	90	82	87	91	91	58	58
	K ₂ O	55	96	102	102	185	185	93	118	98	98	81	106	57	65
Cijena (kn/ha)		1868.6		2343.0		2892.9		1654.6		1961.7		1967.5		1326.6	