

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 najpouzdanoje 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 deficitia 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 usuglašavanje 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](#). To je jednostavna 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 funkcioniра 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.

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

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

uz *linearna ograničenja jednakosti i nejednakosti*. Ostale tehnike optimizacije uključuju *nelinearno programiranje, stohastičko programiranje, dinamičko programiranje*, itd. i nisu razmatrane u ovom tekstu.

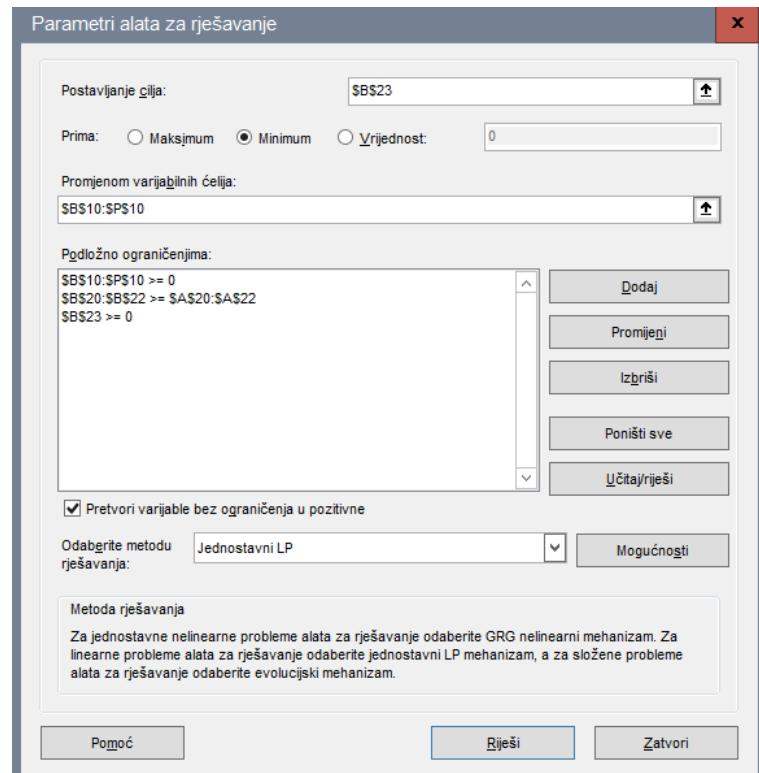
Optimixfert je jednostavna, ali vrlo moćna Microsoft Excel aplikacija za optimizaciju gnojidbe izborom pojedinačnih ili kompleksnih gnojiva čiji se izbor odvija automatski obzirom na njihovu cijenu i traženu formulaciju (ili mogućnost nabave). Rješavatelj može sadržavati više pristupa, tzv. scenarija (koji se mogu unutar aplikacije sačuvati i koristuti po potrebi), a aplikaciju je moguće sačuvati (snimiti) i koristiti na osobnom računalu u Microsoft Excelu (verzije iznad 2010) u kojem je potrebno uključiti alat za rješavanje, ako već ranije nije bio uključen. Upute za rad su priložene u aplikaciji.

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović
Hr-31000 Osijek, 07.12.2020, v2.1

Optimizacija gnojidbe																
Cijena	Urea 46%	KAN 27%	UAN 30%	ASN 26%	7:14:21	13:10:12	7:20:30	12:6:18	20:10:10	15:15:15	8:16:24	20:20:0	0:20:30	MAP	KCI 60%	
kn/t gnojiva	2317.27	1376.68	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	2376.33	10000.00	10000.00	2825.00	3378.70	2870.20	
kn/kg N	5.04	5.10	33.33	38.46	142.86	76.92	142.86	83.33	50.00	15.84	125.00	50.00		28.16		
kn/kg P ₂ O ₅					71.43	100.00	50.00	166.67	100.00	15.84	62.50	50.00	14.13	6.50		
kn/kg K ₂ O					47.62	83.33	33.33	55.56	100.00	15.84	41.67		9.42		4.78	
Izabrano gnojivo(*):	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
kg/cijena	Urea 46%	KAN 27%	UAN 30%	ASN 26%	7:14:21	13:10:12	7:20:30	12:6:18	20:10:10	15:15:15	8:16:24	20:20:0	0:20:30	MAP	KCI 60%	
Potreba kg:	220.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	161.5	91.7
Kn/kg gnojiva:	2.32	1.38	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	2.38	10.00	10.00	2.83	3.38	2.87	
Cijena (kn):	511.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	545.79	263.10	
Aktivna tvar	Urea 46%	KAN 27%	UAN 30%	ASN 26%	7:14:21	13:10:12	7:20:30	12:6:18	20:10:10	15:15:15	8:16:24	20:20:0	0:20:30	MAP	KCI 60%	
N	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00	0.00	
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.00	0.00	
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.00	
Potreba	Postignuto															
121	121															
84	84															
55	55															
Cijena kn/ha:	1320.8															

Slika 1. Izgled aplikacije Optimixfert (Microsoft Excel aplikacija). Izabrana gnojiva označena su crvenom točkom (tri od ponuđenih šest, a preostala su diskriminirana visokom cijenom). Na dnu je u objektivnoj ćeliji (\$B\$23) rezultat optimizacije, odnosno cijena izabranih gnojiva u kn/ha.

Gnojdbene preporuke koje su optimizirane kao primjer u ovom tekstu su prosječne preporučene gnojidbe za najčešće usjeve temeljem kontrole plodnosti zemljišnih resursa Osječko-baranjske županije u periodu od 2003. do 2015. god. (26.914 analiziranih uzoraka tla, Tablica 1.) i drugim podacima iz vlastite *interpretacijske baze zemljišnih resursa Istočne Hrvatske* koji su dobiveni identičnom metodologijom. Prodajne cijene gnojiva su aktualne (Petrokemija, Kutina od 2.12.2020., osim tri posljednje kojih Petrokemija nema u listi). Aplikacija Optimixfert v2.1 nudi izbor 15 mineralnih gnojiva (pojedinačnih, dvojnih i potpunih), a korisnik koji ih namjerava primijeniti treba upisati aktualnu prodajnu cijenu (Slika 1.). Gnojiva koja ne želi primijeniti, ili ih ne može kupiti isključi se (diskriminira) visokom cijenom, npr. 10000 kn/t gnojiva (Slika 1.). Takav pristup omogućuje isključivanje pojedinih gnojiva iz postupka optimizacije obzirom na njihovu cijenu, namjenu (npr. za osnovnu gnojdbu, N-prihranu, startnu primjenu u trake sa



Slika 2. Scenarij I - Traži se najniža cijena gnojiva i rezultat jednak gnojdbenoj preporuci
Potreba: N = 121, P₂O₅ = 84 i K₂O = 55 kg/ha
Rezultat: N = 121, P₂O₅ = 84 i K₂O = 55 kg/ha

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 čelije 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, predsjetvena, 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.

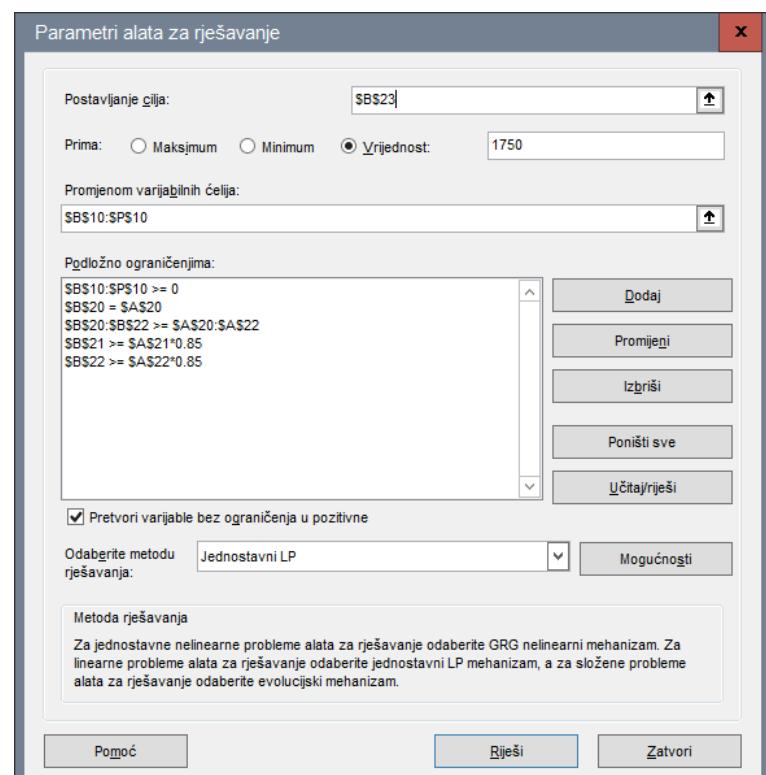
Scenariji optimizacije

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 čeliji \$B\$23*, dok *varijabilne čelije (\$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>=\$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 => 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 manje intenziteta ili izostavljanja gnojidbe i/ili prihrane, redukcije obrade te sjetvom necertificiranog siemena. 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.

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

U Osijeku, 9. prosinca 2020. god.

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	