

Značaj fosfora u gnojidbi bilja

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Fosfor je veoma važan element za sve žive organizme. Neophodan je u fiziološkim procesima i metabolizmu energije i tvari, u građi vitalnih spojeva i reprodukciji, odnosno nasljeđivanju te ga biljke usvajaju i zahtijevaju u velikim količinama, po količini odmah iza dušika i kalija. U odnosu na gnojidbu ostalim biogenim elementima, najviše zabrinjava primjena fosfora zbog brzine iskorištavanja ovaq neobnovljivoq resursa. Premda je fosfor kemijski element po zastupljenosti 11. u zemljinoj kori, on je prilično limitirani resurs jer su njegova koncentracija u mnogim stijenama uobičajeno niske pa su njegove ukupne rezerve, posebno ekonomski isplative, relativno skromne.

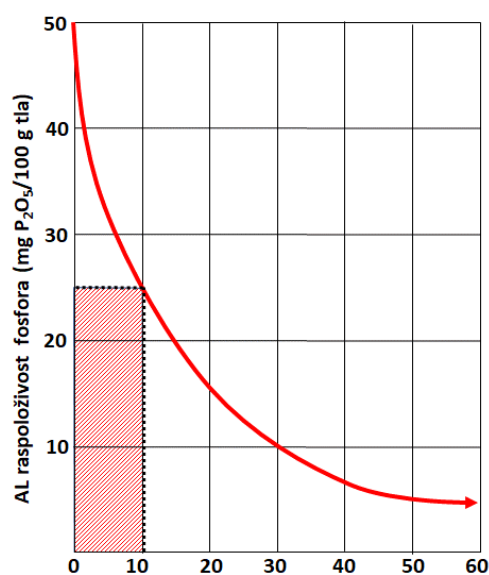
Biljke zahtijevaju veće količine fosfora u dva vremenska razdoblja vegetacije. Prvi put rano, tijekom brzog porasta korijena, a drugi put u trenutku prijelaza iz vegetativne u generativnu fazu (cvjetanje/oplodnja). Budući da se fosfor unesen u tlo gnojidbom neznatno i polako premješta, svega 2-3 cm godišnje, izuzev u vrlo lakim pjeskovitim tlima, mora se primijeniti pod osnovnu obradu kako bi se rasporedio cijelom dubinom oraničnog sloja, odnosno u prostor koji prožima korijenov sustav, ili najkasnije sa sjetvom, ali tada samo u trake (pored i/ili ispod sjemena), a nikad po površini tla (omaške). Premještanje P u tlu je veoma ograničeno zbog kemijske fiksacije i brze tvorbe malo, ili potpuno netopljivih fosfornih spojeva u tlu, pa je njegovo usvajanje limitirano, posebice pri niskim temperaturama kad je niska životna aktivnost biljaka. Stoga je usvajanje je fosfora ozimim usjevima tijekom zime zanemarivo, kao i drugih hranjivih tvari (NH_4^+ , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} i K^+) te ih je najbolje zaorati prije sjetve do dubine najvećeg rasprostiranja korijenovog sustava.

Tablica 1. Utjecaj pH tla na agronomsku efikasnost mineralnih gnojiva

pH	N	P	K
	Efikasnost (%) u prvoj godini primjene		
7,0	70	30	60
6,0	63	15	60
5,5	52	15	45
5,0	38	10	30
4,5	21	8	21

Fosfor se nakon gnojidbe brzo i čvrsto veže s kalcijevim ionima (gradeći sekundarne i posve netopljive tercijarna Ca-fosfate) u karbonatnim tlima, a u kiselim s željezom i aluminijem brzo gradi posve netopljive Al i Fe-fosfate, osobito uz izostanak tzv. humat efekta (nizak sadržaj, uglavnom kiselog humusa sa slabim kelatizirajućim potencijalom). Kemijsko vezivanje (kemijska fiksacija) fosfora rezultira u kiselim i karbonatnim tlima ograničenom raspoloživosti fosfora, kojem je zbog toga agronomska efikasnost u prvoj godini primjene P-gnojiva često ispod

10 %, a u neutralnim tlima ne prelazi 20 - 30 %. Zbog navedenih kemijskih reakcija u tlu na raspoloživost fosfora snažno utječe pH-vrijednost tla (Tablica 1.) kao i tekstura, sadržaj humusa i dr. Koncentracija fosfora u vodenoj fazi tla je između 10^{-4} mol dm^{-3} (visoka) do 10^{-8} mol dm^{-3} (nedovoljna raspoloživost). Budući da koncentracija P od 10^{-5} M (dobra raspoloživost) odgovara ~0,31 mg fosfora po litri otopine tla, to u oraničnom sloju (30 cm) uz $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vode (~6 cm) iznosi manje od $0,2 \text{ kg P ha}^{-1}$. Dakle, tijekom vegetacije usjev će zbog niske koncentracije fosfora u vodenoj fazi tla moći usvojiti svega 20 - 40 kg ha^{-1} što rezultira uobičajeno niskom fiziološkom učinkovitost (porast prinosa po jednom kg usvojene aktivne tvari) u prvoj godini primjene fosfora. Potrebno je naglasiti da veliki značaj u usvajanju biogenih elemenata, naročito onih čija je koncentracija u vodenoj fazi mala (npr. P zbog kemijske fiksacije fosfora ili K zbog fizičke fiksacije glinom) ima korijenov sustav. Npr., ozima pšenice može dati prinos od 10 tona zrna po hektaru, a suha masa korijenovog sustava iznosi ~1,5 t po ha, uz duljinu od ~300.000 km ha^{-1} , što je ~100 m korijena pojedinačne biljke pšenice. Premda korijenov sustav biljaka posjeduje tzv. „otvorenu



Slika 1. Tipična krivulja pada AL-P bez njegove primjene

„otvorenu

organizaciju“ (praktično ne prestaje rasi tijekom cijele vegetacije u potrazi za vodom i hranjivim tvarima, osobito glavni korijen) i dostiže zavidnu duljinu, korijen može ući samo u pore promjera >0,05 mm te ne može usvajati elemente ishrane iz tijela strukturnih mikroagregata (promjer mikroagregata tla je <0,25 mm), niti međulamelarnih prostora čestica gline unutar mikroagregata koji ne prelazi 2 nm, pa tako tlo s 10 % montmorilonitne gline, na 1 m² površine, do dubine od 20 cm, ima ukupnu površinu veću od 24 km².

Zbog niske agronomske efikasnosti gnojidbe fosforom poljoprivredni proizvođači često primjenjuju suviše visoke doze fosfora, vrlo često „napamet“, odnosno bez kemijske analize tla, što nerijetko rezultira prevelikom ponudom fosfora nakon višegodišnje eksploatacije poljoprivrednih površina, povećava rizik od gubitka fosfora iz „lakših tala“ zbog erozije i ispiranja, te doprinosi eutrofikaciji površinskih voda (npr. cvjetanje mora i slatkovodnih voda), naravno uz ubrzano smanjivanje resursa sirovih fosfata iz kojih se P-gnojiva proizvode.

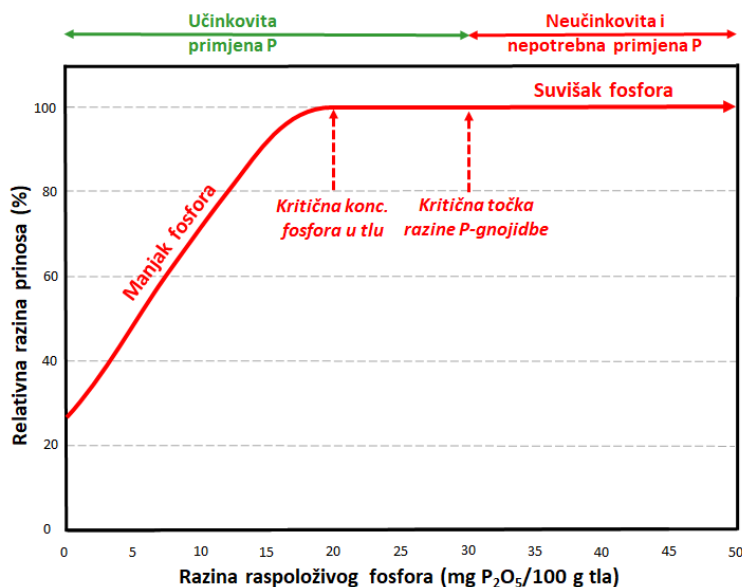
Tablica 2. Granične vrijednosti AL-P₂O₅ i AL-K₂O za ratarske usjeve na području istočne Hrvatske

Razred raspoloživosti	AL-P ₂ O ₅ mg 100 g ⁻¹		AL-K ₂ O mg 100 g ⁻¹ tla		
	pH < 6	pH ≥ 6	lako	srednje	teško
(A) jako siromašno	< 5	< 8	< 8	< 12	< 15
(B) siromašno	5 - 12	8 - 16	9 - 15	13 - 19	16 - 24
(C) dobro	13 - 20	17 - 25	16 - 25	20 - 30	25 - 35
(D) visoko	21 - 30	26 - 45	26 - 35	30 - 45	36 - 60
(E) ekstremno visoko	> 30	> 45	> 35	> 45	> 60

Prethodna primjena fosfornih gnojiva znatno povećava njegovu učinkovitost u narednim godinama te je to glavni razlog zbog kojeg poljoprivrednici moraju redovito primijeniti fosfora gnojiva. Naime, fosfatni ioni (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻) povećavaju negativni naboj čestica tla što sprečava njihovo daljnje kemijsko vezanje (P-fiksacija) te ga biljke uz nižu primjenu P-gnojiva lakše usvajaju. Međutim, podizanje raspoloživosti fosfora u tlu mora biti razumno i ograničeno da razine koja je dovoljna za dobru ishranjenost biljaka. Npr., mišljenje da je 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ prava doza za cijeli prostor od Osijeka do Zagreba je notorna glupost, jer je nemoguće bez kemijske analize tla utvrditi potrebu nekog usjeva (i kultura) u fosforu za planirani ili očekivano visok prinos.

Premda je suvišak fosfora u tlu (kad je >1 % P u suhoj tvari biljaka uz čest nedostatak cinka i željeza) rijetko štetan, kad se utvrdi njegov suvišak primjenu fosfora treba na određeno vrijeme zaustaviti ili pak jako smanjiti (Slika 1.) vraćajući u tlo samo odneseni fosfor (prinosom i žetvenim ostacima kad se oni odnose s parcele i ne zaoravaju) (Slika 2.). Simptomi suviška fosfora su usporen rast, tamno mrke pjege na lišću koje se šire prema bazi lista i lišće konačno opada. Veće količine fosfora ubrzavaju metabolizam i dovode do skraćivanja vegetacije, prijevremenog cvjetanja i starenja biljaka. Budući da ubrzanje rasta, kao i brz razvitak biljaka skraćuje etape organogeneze (razvitka biljaka), to pogoduje postrnim usjevima i sideratima, ali kod glavnog usjeva može skratiti period tvorbe plodova ili nalijevanja zrna.

Preporuku da se nakon determiniranja suviška fosfora u tlu kemijskom analizom prekine daljnja primjena tek mali broj proizvođača prihvaća i primjenjuje pa je razloga za to potrebno posebno pojasniti. U tu svrhu najbolje se poslužiti tzv. kritičnom razinom raspoloživosti hranjivih tvari koja predstavlja granicu iznad koje usjev ne reagira povećanjem prinosa na primjenu gnojiva (Slika 2.), ali kvaliteta proizvoda ipak može biti viša. Npr. kritična razina za fosfor prema AL metodi (Tablica 2.), koja je standardna za područje RH,



Slika 2. AL-raspoloživi fosfor i visina prinosa kao determinante kritične koncentracije P u tlu

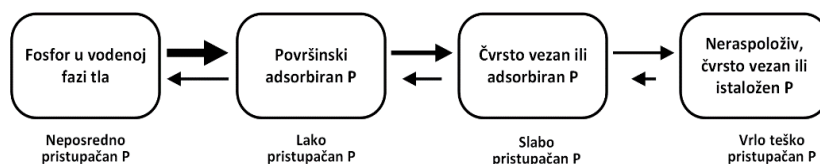
U tu svrhu najbolje se poslužiti tzv. kritičnom razinom raspoloživosti hranjivih tvari koja predstavlja granicu iznad koje usjev ne reagira povećanjem prinosa na primjenu gnojiva (Slika 2.), ali kvaliteta proizvoda ipak može biti viša. Npr. kritična razina za fosfor prema AL metodi (Tablica 2.), koja je standardna za područje RH,

kod šećerne repe je ~ 21 ili $26 \text{ mg AL-P}_2\text{O}_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$, ovisno o pH tla, ali ta vrijednost može varirati $\pm 5 \text{ mg}$ obzirom na fizikalna svojstva tla, razinu agrotehnike, uređenost parcele i dr.

Dakle, potrebno je dostići i održavati određenu razinu raspoloživosti fosfora u tlu potrebnu za postizanje visokog prinosa usjeva, naravno uz zadovoljenje svih ostalih potreba usjeva (toplina, voda i dr.) i njegovo očuvanje od bolesti i štetnika. Ovaj koncept "*kritične vrijednosti*" ima važne praktične implikacije za učinkovito korištenje većine hraniva. Izuzetak je dušik, čija je pokretljivost u tlu velika, a raspoloživost promjenjiva u vremenu i prostoru i zbog ovisnosti od mikrobiološke mineralizacije organske tvari tla. Također, rezerve N u tlu su isključivo organske i mnogo lakše promjenjive u odnosu na druge biogene elemente.

Gubici fosfora i kalija općenito su zanemarivi (izuzev na vrlo lakim i tlima izloženim eroziji i ispiranju), te je gnojidbu ta dva elementa ishrane bilja najbolje usklađivati na razini plodoreda, odnosno duboke obrade tla, tako da se primjenjuju „pod kulturu“ čiji su zahtjevi za njima najveći, ali pazeći da ne dođe do prevelikog odstupanja od planirane gnojidbe. Posebno je važno istaći da kad je razina raspoloživosti P u tlu daleko iznad kritične vrijednosti (Slika 2.), njegovu primjenu treba obustaviti sve dok analiza tla ne pokaže da je vrijednost pala malo iznad kritične vrijednosti (Slika 1.).

Krivulja desorpcije fosfora ima drugačiji oblik u odnosu na njegovu sorpciju u tlu. Pojava se označava kao *histereza*, a događa se zato što adsorpcija fosfora u tlu (zapravo kemijska P-fiksacija) povećava negativni naboj tijela sorpcije koji čine humus i glina pa je njegov sve negativniji naboj manje atraktivan za daljnju reakciju s P. *Kapacitet sorpcije tla* (uobičajeno se naziva *KIK* ili *kationski izmjenjivački kapacitet tla*, a veličina mu se izražava u $\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ tla, što je identično starijem načinu izražavanja u $\text{meqv}/100 \text{ g}$ tla). *Mehanizam kemijske sorpcije fosfora jasniji je tek u posljednjih 10 - 15 godina*, a utvrđeno je da se krivulja sorpcije i desorpcije fosfora tek nakon stoljeća podudaraju, odnosno nema više *histereze*, niti kemijske fiksacije P, pri čemu efikasnost gnojidbe fosforom znatno raste.



Slika 3. [Konceptualni dijagram anorganskih oblika fosfora u tlima u pogledu pristupačnosti, ekstrakcije i raspoloživosti za](#)

Zaključno je potrebno istaći da raspoloživost fosfora, kao i kalija, kad

su u granicama dobre opskrbljenosti, znatno utječe na visinu i stabilnost prinosa (http://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/Optimizacija_gnojidbe_usjeva.pdf), a njihov manjak ne može se nadoknaditi jednokratnom primjenom ili pak u kratkom vremenu. Zbog brze kemijske transformacije *vodotopivih i citrat topivih fosfata* (kemijski oblik P u većini mineralnih gnojiva) u slabo topive kemijske spojeve fosfora, odnosno brze fizikalne fiksacije kalija unutar minerala gline, za uspostavljanje tzv. *dinamičke ravnoteže* (Slika 3.) potrebna je tzv. *kritična koncentracija fosfora i kalija* u vodenoj fazi tla, odnosno popunjen kapacitet za njihovu *imobilizaciju (fiksaciju)*.

U Osijeku 15. prosinca 2018.