

## Fizikalna svojstva mineralnih gnojiva

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Pod mineralnim gnojivima podrazumijevaju se soli i drugi proizvodi koji sadrže elemente neophodne za rast i razvitak biljaka te postizanje visokih i stabilnih priroda uzgajanih biljnih vrsta. Mineralna gnojiva se najčešće proizvode preradom prirodnih minerala, ali se dušična gnojiva danas najčešće proizvode iz atmosferskog dušika te se često nazivaju *sintetička*, ili pogrešno *umjetna*. Gnojidbom se nadoknađuje nedostatak, kao i gubitak svih elemenata ishrane iz tla, osobito glavnih (N, P i K) te tako utječe na biološki (ukupni) i merkantilni prinos, ubrzava rast, poboljšavaju produktivna svojstva tla i kvaliteta poljoprivrednih proizvoda. Osim krutih gnojiva često se koriste i tekuća za primjenu preko korijena, odnosno tla, ali i ona za folijarnu gnojidbu preko lista.

### Podjela mineralnih gnojiva

Gnojiva se dijele prema podrijetlu, namjeni, sastavu i načinu proizvodnje.

#### Prema funkciji:

- Izravna ili neposredna gnojiva sadrže *biogene elemente (neophodne; esencijalne)*, a u tlu se razlažu do kemijskih oblika koje biljke izravno apsorbiraju,
- Neizravna ili posredna gnojiva također sadrže *biogene elemente*, ali u kemijskom obliku koje biljke ne mogu odmah usvojiti (npr.: humus, kompost, vapno, gips i dr.) te utječu posredno potičući mikrobiološku aktivnost, neutraliziraju kiselost, djeluju preko poboljšanja strukture tla i dr., a prije usvajanja moraju se transformirati do kemijskih oblika koje biljke mogu usvojiti,
- Kompletna ili potpuna gnojiva (često se nazivaju i *kompleksna* ili *NPK gnojiva*) sadržavaju sva tri glavna elementa ishrane,
- Nepotpuna gnojiva sadrže samo jedan ili dva od tri glavna hranjiva elementa (N, P, K, NP, NK ili PK), npr.:  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{KNO}_3$  i dr., i
- Miješana gnojiva se dobiju fizičkim miješanjem odgovarajuće količine pojedinačnih gnojiva.

#### Prema podrijetlu:

- Mineralna (sintetska ili umjetna) najvećim dijelom su mineralne soli, iako se u ovu grupu ubraja i urea koja je organski spoj koji biljke mogu usvojiti korijenom i listom, ali se u tlu pod djelovanjem enzima ureaze (podrijetlom iz mikroorganizama i biljaka) brzo transformira do mineralnih oblika dušika ( $\text{NO}_3^-$  i  $\text{NH}_3^+$ ) koje biljke brzo i lako usvajaju. Premda i druga mineralna gnojiva, osim uree, mogu sadržavati ugljik, sintetski proizvodi su za razliku od prirodnih topljivi u vodi ili slabim kiselinama, često potpuno,
- Organska (prirodna, naravna) sadrže hranjive elemente pretežito u obliku organskih spojeva i najčešće su prirodnog podrijetla (ponekad se nazivaju i *prirodna organska*), npr. stajnjak, treset, slama i dr.,
- Organomineralna gnojiva su smjesa organskih i mineralnih i
- Bakterijska gnojiva koja spadaju u grupu posrednih gnojiva, a sadrže kulture bakterija koje imaju sposobnost transformacije nepristupačnih oblika hraniva u tlu do biljkama raspoloživih oblika.

#### Prema vremenu unošenja:

- Osnovna gnojiva koja se unose u tlo (zaoravanje plugom, no-till aplikatorima, sondama i dr.),
- Startna gnojiva koja se unose neposredno prije ili za vrijeme sjetve i
- Gnojiva za prihranu koja se dodaju tijekom vegetacije.

### **Prema vrsti hranjivog elementa:**

Gnojiva su prema vrsti hranjivog elementa *dušična, fosforna, kalijeva, magnezijeva, borna* itd.

### **Prema sastavu:**

- *Pojedinačna gnojiva* sadrže samo jedan neophodan element,
- *Miješana gnojiva* su smjesa pojedinačnih gnojiva dobivena miješanjem pojedinačnih i
- *Kompleksna gnojiva* su proizvod kemijskih reakcija i sadrže više hranjivih elemenata u nekoliko oblika.

(Podjela na kompleksna i miješana gnojiva je uvjetna, jer kod miješanih gnojiva dužim skladištenjem dolazi također do različitih kemijskih reakcija koje mogu rezultirati nepovoljnim fizikalnim i/ili kemijskim svojstvima, tzv. *antagonizam gnojiva*).

Sadržaj i omjer hraniva u gnojivu može biti različit. Gnojiva koja imaju omjer hranjivih elemenata prilagođen potrebama određene biljne vrste ili sadržaju raspoloživih hraniva u tlu, nazivaju se *prilagođena*. Ukoliko sve komponente gnojiva služe za biljnu ishranu tada su to *gnojiva bez punila (bezbalastna)*, a u ovu grupu ulaze soli čiji kation i anion biljke koriste, npr.  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  itd.

### **Ovisno o agregatnom stanju gnojiva su:**

- *Kruta gnojiva* mogu biti *praškasta, peletirana* (prah komprimiran u granule ili štapiće koji mogu sadržavati pesticide, hormone i dr.), *prilirana (prile)* su glatke, sferične i glatke granule, npr. urea) i *granulirana* (sušenjem viskozne mase u struji toplog zraka, proizvedene ekstruzijskom granulacijom bez sušenja, dobivena drobljenjem i dr.),
- *Tekuća gnojiva* mogu biti *prave otopine* (nemaju talog) i *suspenzije* i
- *Plinovita gnojiva* koja su plinovi kod normalnog atmosferskog tlaka.

Gnojiva koja od biogenih elemenata sadrže isključivo, ili najveću koncentraciju mikroelemenata, nazivaju se i *mikrognojivima* jer se primjenjuju u malim količinama (do  $500 \text{ g ha}^{-1}$  aktivne tvari). Radi poteškoća u ravnomjernom raspodjeljivanju tako malih količina, uobičajeno se dodaju konvencionalnim gnojivima u procesu njihove proizvodnje ili se primjenjuje folijarno s drugim gnojivima ili sredstvima.

### **Kvaliteta mineralnih gnojiva**

Mineralna gnojiva i proizvodi za poboljšanje kvalitete tla (*poboljšivači, kondicioneri*) dugo vremena su unapređivana u kemijskom i u fizikalnom pogledu kako bi imala veću efikasnost uz precizniju, lakšu i bržu upotrebu. Na početku moderne poljoprivrede većina gnojiva nije bila idealna, ali s boljim razumijevanjem učinka hranjivih tvari i granulacijom mineralnih (i svih drugih gnojiva) prema preciznim specifikacijama proizvođa danas raspoložemo s gnojivima koja kad se primjenjuju prema agrotehničkim normama imaju očekivano visok učinak. *Gnojivba je najvažnija agrotehnička mjera koja povećava produktivnost (plodnost) tla najmanje za 50 % u odnosu na negnojena tla i najviše utječe na vrijednost uloženog rada u poljoprivrednoj proizvodnji.*

Najvažnije mjerilo kojim se ocjenjuje kakvoća gnojiva je učinak na visinu priroda u odnosu na vrstu usjeva, klimatske prilike i agrotehničke mjere. Budući da je kod nekih poljoprivrednih vrsta kvaliteta važnija od prinosa, ili su podjednako značajni, djelovanje gnojiva na svojstva proizvoda također je njihova važna odlika. U tom smislu, pored količine *aktivne tvari*, kemijski oblik hraniva u gnojivu i njihov omjer (*formulacija*) imaju svakako veliki značaj.

Osim utjecaja na rast, razvoj, tvorbu i kvalitetu prinosa, značajan kriterij za ocjenu vrijednosti gnojiva je njihov utjecaj na promjenu plodnosti tla preko kemijskih, fizikalnih ili bioloških promjena. Zbog toga se vrijednost gnojiva, osim postotnog udjela aktivne tvari, ocjenjuje i međusobnim omjerom (*formulacija*), zatim temeljem djelovanja drugih komponenti gnojiva kao što su *balast* koji može utjecati na promjenu kemijskih (npr. pH, *fiziološka reakcija gnojiva* i dr.) i fizikalnih svojstva tla (npr. Ca, Mg i dr.), sadržaja mikroelemenata (npr. Fe, Mn i dr.) kao i fizikalnih svojstava gnojiva koja utječu na njihovo skladištenje i primjenu.

Fiziološka reakcija gnojiva često se razlikuje od njihove pH reakcije. Npr., kalijaska gnojiva su kemijski neutralne soli, ali fiziološka reakcija im je kisela jer se nakon primjene  $K^+$  iz njih izmjenjivo veže na adsorpcijski kompleks tla, usvaja korijenom viših biljaka ili mikroorganizmima, ili čak fiksira unutar nekih sekundarnih minerala gline (npr.  $K^+$  i  $NH_4^+$ ) te u vodenoj fazi tla zaostaje *kiseli* kloridni ( $Cl^-$ ) ili sulfatni anion ( $SO_4^{2-}$ ), dok se nitrarni ion ( $NO_3^-$ ) brzo usvaja ili premješta iz rizosfere kretanjem vode, ali i difuzijom, doduše znatno sporije. Fiziološka reakcija gnojiva izražava se najčešće pomoću alkalnog ekvivalenta ili kao solni indeks mineralnih gnojiva, a kako se mineralna gnojiva primjenjuju u velikim količinama (nekoliko stotina  $kg\ ha^{-1}$ , a kod meliorativne gnojidbe i nekoliko  $t\ ha^{-1}$ ) fiziološka reakcija gnojiva u dugogodišnjoj primjeni može utjecati na trajno zakiseljavanje ili alkalnost tla.

Kvalitetno gnojivo mora imati određena i homogena kemijska i fizikalna svojstva čestica (partikla, granula, prila ili peleta), postojanu i poznatu čvrstoću čestica radi strojne primjene, određenu i poznatu brzinu raspada u tlu (razlaganja, pokretljivosti hraniva, gubitaka u podzemne vode ili atmosferu i dr.), ne smije dolaziti u skladištenju do sljepljivanja ili razdvajanje pojedinih čestica (tzv. *segregacije* zbog različite veličine i/ili vrste čestice) te smanjenog protoka kroz cijevi ili sonde za deponiranje u tlo.

Veličina čestica gnojiva u većini slučajeva glavni faktor efikasnosti gnojiva i kondicionera tla jer utječe na:

- Brzinu oslobađanja aktivne tvari gnojiva, jer što su čestice gnojiva veće to će trebati više vremena za njihovu razgradnju i otapanje (*hidrolizu*) u tlu. Zatim, sitne praškaste čestice lako raznosi vjetar, osobito korištenjem *centrifugalnih* i *rotacijskih raspodjeljivača* (*rasipači; aplikatori*). Kad su čestice sitne i male mase centrifugalni raspodjeljivači imaju mnogo manji zahvat i nepravilnu raspodjelu, ali s druge strane praškasta gnojiva najbrže djeluju i
- Segregaciju čestica kada se čestice gnojiva sljepljuju te nastaje nehomogena smjesa što rezultira neravnomjernom raspodjelom gnojiva, odnosno neravnomjernog porasta i konačno razlikama u prinosu.

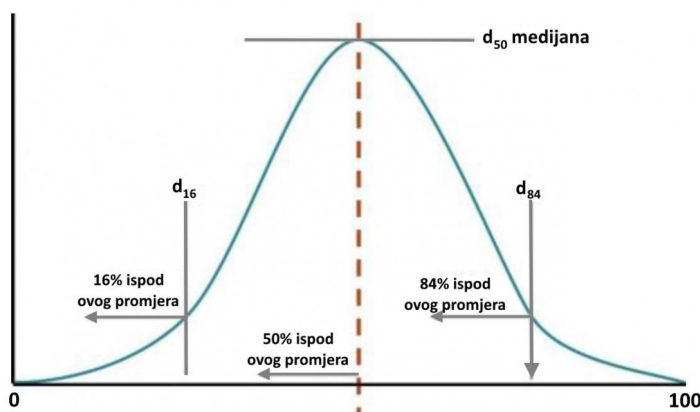
Veličina i udio čestica po grupama različite veličine u gnojivu (*PSD; Particle Size Distribution*) propisan je i sastavni je dio deklaracije proizvođača gnojiva, a u RH je reguliran Pravilnikom o mineralnim gnojivima. Npr. Pravilnik određuje da granulirani KAN mora imati 95 % granula  $\varnothing 1 - 5\ mm$  itd. Naime, veličina čestica gnojiva, bez obzira na njihov oblik (sferične ili nepravilne granule, prile, pelete), ima eksponencijalni utjecaj na širinu raspodjele i veći rizik od segregacije proizvoda. Naime, veće čestice raspodjeljivač baca znatno dalje od manjih čestica pa primjena krupnijih čestica gnojiva zahvaća širu traku (npr. urea promjera čestica od 4,7 mm ima širinu raspodjele od 19,8 m, dok urea manjih čestica od 1,7 mm ima širinu zahvata od samo 10,0 m). Velike i teže čestice ( $\varnothing > 4\ mm$ ) pogodne su za gnojidbu šuma iz zraka zbog manjeg zanošenja vjetrom i manjeg zadržavanja u krošnjama.

U drugim zemljama primjenjuje se više parametara vezanih za granulometrijski sastav, npr. SGN (SGN; Size Guide Number ili vodeći broj veličine granula), GSI (granulometrijski indeks raspodjeljivanja), zatim indeks ujednačenosti (UI; Uniformity Index) čija se vrijednost 40 - 60 smatra idealnom. Indeks ujednačenosti granulometrijskog sastava gnojiva izračunava se jednostavnom

formulom nakon prosijavanja gnojiva kroz dva sita. Prvo sito (oznaka  $d_{95}$ ) zadržava 95 % (manji promjer granula), a drugo ( $d_{10}$ ) zadržava 10 % uzorka gnojiva (veći promjer granula):

$$UI = (d_{95}/d_{10}) \times 100$$

(npr., kad je  $d_{95} = 2,5\ mm$ , a  $d_{10} = 4,5\ mm$   $UI = 2,5/4,5 \times 100 = 55,6\ \%$  (idealna granulacija)



Slika 1. Primjer raspodjele veličine čestica koji ilustrira definiranje GSI indeksa čestica gnojiva

GSI (*Granulometric Spread Index; granulometrijski indeks raspodjele gnojiva*) je varijanca (mjera disperzije) i veličine granula i što je taj indeks niži raspodjela gnojiva je ujednačenija (Slika 1.):

$$GSI = (d_{84} - d_{16} / (2 \times d_{50}) \times 100$$

gdje su  $d_{84}$  i  $d_{16}$  promjer masenih frakcija na razini 84 %, odnosno 16 % percentila, a  $d_{50}$  = srednji promjer granula

Kod primjene poboljšivača tla važno je znati kakav je odnos površine granula prema njihovom volumenu. Naime, čestice s visokim omjerom površine i volumena omogućuju bolji kontakt s tlom i njihovo brže djelovanje (manje čestice imaju veću površinu u odnosu na njihov volumen). Ponekad je potrebno dulje vrijeme djelovanja kondicionera, osobito kod zasnivanja trajnih nasada i tempirati promjenu svojstava tla (npr. pH, humizacija, fosfatizacija, kalizacija itd.) na dulje vrijeme, jer je svaki zahvat dublje primjene gnojiva i kondicionera tla unosi rizik oštećenja korijenskog sustava i povezan je sa povećanim troškovima.

Čvrstoća ili tvrdoća označava tlak koji je potreban za razbijanje granula gnojiva, a pokazuje obim degradacije uslijed skladištenja, manipulacije i primjene gnojiva. Npr., niska čvrstoća drobljenje može uzrokovati raspadanje granula skladištenjem ili u mehaniziranoj raspodjeli. Čvrstoća drobljenja izražava se u kg potrebnih za mrvljenje jedne granule i obično iznosi 1,5 - 2,5 kg. Također, sferne čestice su općenito manje sklone preranom raspadanju u odnosu prema nazubljenih ili nepravilnih granula. Čvrstoća granula može se brzo i jednostavno provjeriti pa tako granula koja se može zdrobiti između palca i kažiprsta je meka, ako se može zdrobiti prstima na tvrdoj površini je srednje tvrdoće, a ako ostane neoštećena nakon pritiska kažiprstom na tvrdu površinu klasificira se kao tvrda.

Nasipna gustoća gnojiva i kondicionera predstavlja omjer njihove težine i zapremine i značajno utječe na pakiranje i raspodjelu čestica gnojiva. Nasipna gustoća najčešće se odnosi na rastresitu nasipnu gustoću, ali nakon pakiranja, prijevoza i manipulacije gnojivom može biti nešto manja pa se označava kao pakirana nasipna gustoća (npr. sadržaj vreće nakon nekog vremena izgleda manji što može zabrinjavati proizvođača, ali ima i pozitivnu stranu jer više gnojiva stane u raspodjeljivač). Vrijednost nasipne gustoće znatno ovisi od oblika i veličine čestice, varijabilnosti veličine čestice, vlažnosti proizvoda (higroskopne tvari lako preuzimaju ili otpuštaju vlagu u okolni prostor, ovisno o relativnoj vlazi zraka) jer se vlažne granule mogu sljepljivati, brže raspadati i imati smanjenu protočnost kroz raspodjeljivače gnojiva.

Higroskopnost je općenito ovisna o kemijskom sastavu gnojiva, a može se smanjiti, ili čak eliminirati dodatkom tvari koji sprečavaju higroskopnost ili površinskim tretmanima (gotov proizvod zapraši se inertnom prašinom npr. dolomita, dijatomejske zemlje i dr.) ili premazivanjem (npr. bornom kiselinom, bakarnim sulfatom, mineralnim uljima, masnim aminima i dr.) i tako stvori hidrofobna barijera kako bi se spriječilo upijanje vlage. Također, važno je poznavati tzv. kritičnu vlažnost krutog gnojiva kojom se označava postotna relativna vlaga zraka iznad koje će gnojivo vezati vlagu, a vlažno gnojivo može se degradirati, sljepljivati ili čak i gubiti aktivnu tvar.

Osipanje čestica (attrition; iscrpljenost) je raspadanje čestica u prašinu kao rezultat međusobnog trenja granula ili granula i opreme čemu su podložnije uglate i lomljene, odnosno nepravilne čestice gnojiva.

## Raspodjela mineralnih gnojiva

U suvremenoj biljnoj proizvodnji gnojidba se provodi s više tipova mehaničkih uređaja ili aplikatora koje čine dvije vrste poljoprivrednih oruđa:

- Raspodjeljivači (rasipači *centrifugalni, rotacioni* i *pneumatski*) koji se koriste za brzo i ravnomjernu raspodjelu gnojiva na poljoprivrednim površinama i
- Deponatori (više tipova) za osnovnu i predstjetvenu gnojidbu (Slika 2.), aplikaciju gnojiva u tlo istovremeno sa sjetvom, pored i ispod sjemena (deponatori za sijačice ili sadilice), za prihranu tijekom ranog porasta rednih usjeva i nasada te duboko unošenje gnojiva u trajnim nasadima.

U primjeni je više tipova aplikatora krutih ili granuliranih gnojiva od koji se zahtjeva što točnija dozacija i ravnomjerna distribucija gnojiva, a od deponatora (ulagača gnojiva u tlo) da što manje utječu na narušavanje tla oko sjemena i polažu precizno gnojivo pored ili ispod sjemena kako bi se izbjegla mogućnost sušenja tla uz sjeme i solnog stresa zbog porasta osmotskog tlaka vodene faze tla što može oštetiti klijanje sjemena



ili štetno utjecati na mlade biljke. Također, raspođjeljivači moraju osigurati ravnomjernu raspođjelu gnojiva po parceli s obje strane linije kretanja traktora.



Slika 2. *Nutri-Placer pull-type aplikator tekućeg gnojiva*

*U suvremenoj biljnoj proizvodnji sve češće se primjena gnojiva usklađuje sa ekonomskim i ekološkim principima optimizacije s ciljem smanjivanja ulaznih troškova uz minimalizaciju ekološke štete* zagađenjem, tla, atmosfere, podzemnih i površinskih voda što uključuje varijabilnu gnojidbu s promjenjivom dozom (VRF; *varijabilna rata gnojidbe*). Tehnologija preciznog uzgoja usjeva (PA; *Precision agriculture*) danas omogućuju brza računala, točni prijemnici sustava globalnog pozicioniranja (GPS), geografski informacijski sustavi (GIS), daljinska detekcija, karte prinosa usjeva ili plodnosti tla, *aktuatori* i *različiti senzori koji odašilju podatke o tlu i usjevu čak i stvarnom vremenu*.

*Precizna poljoprivreda* integrira više novih tehnologija kako bi se omogućilo učinkovito gospodarenje u prostorno promjenjivim agroekološkim uvjetima (VRT; *variable rate technology*) i znatno smanjio omjer troškova prema koristi. *Diferencijalna gnojidba* (VRF; *varijabilna rata gnojidbe*) iste proizvodne parcele temelji se na više različitih izvora informacija (npr. karata svojstva tla, terenskih atributa, daljinskih istraživanja, karata visine prinosa itd.). *Zbog efikasnosti i ušteda sve se više primjenjuju VRF aplikatori koji omogućuju varijabilnu primjenu gnojiva uz smanjenje i do 40 % doze u odnosu na konvencionalnu gnojidbu*.

Osijek, 9. travnja 2023. god.