

Nova paradigma ishrane bilja

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Gnojidba usjeva ima ključnu ulogu u postizanju visokih i kvalitetnih prinosa, odnosno dovoljno hrane za ljude i stoku te je stoga najveći izazov biljne proizvodnje unapređenje gnojidbe, odnosno povećanje usvajanje elemenata ishrane, njihov manji zaostatak u tlu, kao i gubitak iz tla procesima ispiranja, volatilizacije, denitrifikacije, kemijske, fizičke i biološke fiksacije, što se odnosi jednako na organska i mineralna gnojiva. Dakle, efikasna ishrana bilja ne smije predstavljati rizik za onečišćenje tla, hrane i okoliša i mora doprinositi njegovom zdravlju što se do sada veoma često zanemarivalo zbog naglog porasta stanovništva i sve veće globalne potrebe za hranom. Stoga nova paradigma ishrane bilja mora podržavati prehrambeni sustav u kojem su objedinjeni sociološko-ekonomski, agrotehnički, biološko-ekološki i zdravstveni ciljevi (Slika 1.) pa će narednih 20-ak godina biti kritičan period u kome je



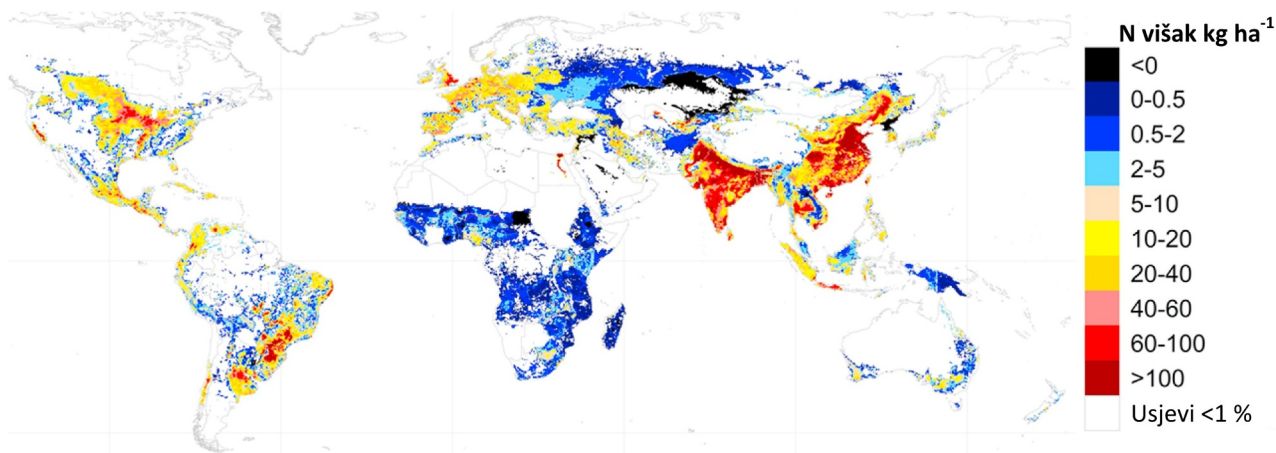
potrebno promijeniti globalni sustav prehrane, najvećim dijelom temeljen na mineralnoj ishrani bilja, upravljati njime na cjelovitiji i efikasniji način. Odgovorna ishrana bilja mora osigurati primarnu produkciju organske tvari na održiv način, povećavajući sposobnost Zemlje da podrži zdrav život te promjena paradigme zahtijeva korištenje svih dostupnih organskih i anorganskih gnojiva visoke agronomske efikasnost koja moraju biti prilagođene specifičnostima različitih agroekosustava.

Nova paradigma ishrane bilja uključuje pet glavnih ciljeva koji se mogu ostvariti primjenom šest kompleksnih postupaka (Slika 1.) koji su usmjereni na (1) održivu praksu primjene biljnih hraniva, (2) digitalna rješenja u ishrani usjeva, (3) recikliranju i obnovi hranjivih tvari te održanju plodnosti tla, (4) uzgoju hranjivijih usjeva, (5) korištenju novih vrsta klimatski pametna gnojiva i (6) ubrzanju primjeni novih saznanja i inovacija za postizanje veće produktivnosti na zdravom tlu. Naime, umjesto plodnosti u znanstveno-stručnoj sredini sve češće se primjenjuje izraz pogodnost tla, a u proizvođačkom miljeu zdravlje tla, koje je neophodno za visoku produktivnost poljoprivrednih i prirodnih ekoloških sustava, kao i održivo korištenje zemljišnih resursa danas, kao i u budućnosti. Zdravlje tla se ne može odrediti mjerenjem samo prinosa usjeva, količinom raspoloživih hraniva u tlu ili bilo kojeg drugog pojedinačnog atributa tla, niti se može izravno mjeriti te se stoga procjenjuju pokazateljima (indikatorima zdravlja) pa buduća istraživanja moraju rješavati konkretne probleme povezujući znanstvena dostignuća s praktičnim inovacijama u agrotehnologiji.

Efikasnost gnojidbe i povećanje bioraspoloživosti hraniva iz tla je vrlo složeno i višedimenzionalno svojstvo i najveći izazov za napredak suvremene ishrane bilja jer integrira napredak više znanstvenih disciplina, posebice genetike, fiziologije i ekofiziologije. To je posve razumljivo jer su funkcije tla, kao supstrata biljne ishrane, ovisne od niza njegovih kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava, npr. sadržaja humusa, strukture od koje ovisi zbijenost, dreniranost, prozračnost, brzina infiltracije i perkolacije vode i dr., klime, odnosno količine i rasporeda oborina i temperature, duljinom dana tijekom vegetacije i naravno agrotehnike (obrade, gnojidbe, zaštite, uređenja/popravki i dr.). Također, jedan od razloga sporosti u povećanju efikasnosti gnojidbe zasigurno je to što se interesi razvijenih poljoprivreda ne podudaraju s potrebama za hranom u nerazvijenim i zemljama u razvoju za koje je prioritet ostvarivanje većih prinosa uz niže inpute i veću profitabilnost, a za bogate i razvijene zemlje prioritet je sve više smanjenje zagađenja i štete za okoliš.

Dosadašnja globalna poljoprivredna proizvodnja je tijekom posljednjih 60 godina rasla prosječnom godišnjom stopom od ~2,2 % pri čemu se porast istovremeno oslanjao na povećanju poljoprivrednih površina (uz radikalno smanjenje šumskih) i intenzifikaciji proizvodnje što je potaknulo golemi porast inputa i do sada najviše globalne potrošnje gnojiva i pesticida. Općenito, zemljište je globalno oskudan resurs te je zbog porasta broja stanovnika, degradacije, onečišćenja, erozije i širenja pustinja (dezertifikacije), učinka klimatskih promjena, urbanizacije i dr. na raspolaganju sve manje poljoprivrednog, posebice plodnog tla, pri čemu na raspoloživo zemljište još konkuriraju različiti i brojni korisnici. Planiranje korištenja raspoloživog poljoprivrednog zemljišta je stoga veoma bitno za nadzor i prevenciju njegovog onečišćenja i devastacije. Naime, životni prostor ima tendenciju sve veće i ubrzane urbanizacije te su neminovni sve češći *prostorni sukobi*, kako na nacionalnoj tako i regionalnoj razini, između potrebe za ubrzanim razvojem, s jedne te potrebe za očuvanjem krajolika i kulturne baštine za sadašnje i budućih generacija, s druge strane.

Značajno intenziviranje i širenje poljoprivredne proizvodnje rezultiralo je znatno većim prinosima usjeva što je spasilo milijarde ljudi od gladi, ali i milijuni hektara prirodnih ekosustava pretvoreni su u poljoprivredne površine. Također, intenzivna poljoprivredna proizvodnja (podjednako biljna i stočna) prouzročila je velike poteškoće u očuvanju okoliša zbog onečišćenja voda, atmosfere i tla reaktivnim oblicima dušika (N) i fosfora (P) koji utječu na kvalitetu vode, biološku raznolikost, kvalitetu zraka i emisiju stakleničkih plinova, što sve više ubrzava klimatske promjene. Napretkom i modernizacijom poljoprivredne proizvodnje, potreba za više hrane uz sve veću kemizaciju, odnosno uporabu mineralnih gnojiva i pesticida, doveli su uskoro do zanemarivanja ekoloških načela i izazvali tzv. „kriзу okoliša“. Dakle, suvremena agrikultura, premda produktivna i konkurentna, izazvala je niz gospodarskih, ekoloških i društvenih problema jer globalne



Slika 2. Globalni višak ili manjak dušika na površinama s usjevima u 2015. god.

promjene okoliša nepovratno mijenjaju *ekosferu* ili *ekosustav* (Zemlje, odnosno *geobiosfere*) te utječu na život velikog dijela svjetskog stanovništva, a mogu biti prirodne i antropogene pa je ekološko opterećenje okoliša jednako: broj stanovnika × tehnologija × životni standard. Intenzivna gnojidba je danas uobičajena praksa, a često, za svaki slučaj i prekomjerna (tzv. *luksuzna*) jer se tako osigurava kontinuitet postizanja visokih prinosa, ali uz suvišan i nekontrolirani unos dušika, fosfora i drugih hraniva pritisak na okoliš permanentno raste uz jasno vidljive štete po okoliš i degradaciju tla uz pad njegove plodnosti.

Premda se procjene značajno razlikuju, globalni višak dušika, izračunat kao unos N-gnojiva, stajnjaka, biološke fiksacije dušika i drugih izvora, umanjen za njegove odnošenje s proizvodnih parcela, narastao je s nešto manje od 20 na ~90 10⁶ t god⁻¹ od 1960. do 2010. god., uz veoma velike razlike između pojedinih regija (Slika 2.). Zbog značajnih razlika između suviška dušika po državama i konkretnim poljoprivrednim regijama potrebno je definiranje specifičnih potreba za hranivima i pažljivo osmišljena regulativa nadzora koji uvažavaju različitosti obzirom na specifične potrebe usjeva i tla. Stoga bi budući nacionalni planovi za kontrolu plodnosti i smanjenje rizika od onečišćenja okoliša morali sadržavati specifična rješenja za efikasnije korištenje N-gnojiva kako bi prije svega NUE porastao (NUE; *Nitrogen use Efficiency*, odnosno

efikasnost gnojidbe dušikom). [Agronomska efikasnost N-gnojiva je trenutno ~50 %, a za njegove povećanje ima i sada dobrih rješenja, koja se globalno, na žalost, još uvijek rijetko primjenjuju](#). Npr., potrebno je primijeniti dušik u više navrata i to u manjim dozama kad god je to moguće i/ili kad ne utječe na poskupljenje proizvodnje, a za to je potrebno poznavanje potrebe biljaka tijekom vegetacije (ne gledati u kalendar već u rast, razvitak i kondiciju biljaka), analiza tla i/ili biljne tvari, N-gnojidbu i prihranu nikad ne obavljati kad je to agrotehnički zgodno i lako (npr. po snijegu, na visokim temperaturama po suhom ili smrznutom tlu, po površini i sl.). Također, potrebno je uzeti u obzir vremensku prognozu, pratiti etape organogeneze, intenzitet metabolizma i kondiciju biljaka, izbjegavati površinsku (omaške) primjenu dušika (zbog mogućih gubitaka erozijom sapiranjem i volatilizacijom) i dr.

Primjena gnojiva tijekom najveće potražnje usjeva u više navrata manjim dozama i to u blizini korijenovog sustava (pazeći na mogući [solni udar](#)), povećava efikasnost mineralnog gnojiva, utječe na brži porast biljaka i formiranje visokih prinosa uz prihvatljivi rizik od *ekološko opterećenje okoliša*. Takva [precizna poljoprivreda](#) sve se više koristi u intenzivnom uzgoju, uz primjenu dijagnostičkih metoda utvrđivanja potrebe za hranivima, kao što su redovita kemijska analiza tla, primjene beskontaktnih tehnika koje obuhvaćaju senzorsku dijagnostiku tla i usjeva, odnosno izradu agrokemijskih karata uz pomoć korištenja [dronova](#), zrakoplova i/ili satelita. Naime, [kartiranje zemljišta](#) (istraživanje njegovih pedo-fizikalnih, kemijskih i bioloških, odnosno ukupnih produkcionih svojstava) i izrada agrokemijskih karata svojevrsna je dijagnostika, inventarizacija i karakterizacija temeljem koje je moguće pouzdano definiranje potencijalne plodnosti, odnosno pogodnosti za određenu uporabu poljoprivrednog zemljišta. [Plodnost tla](#) može se utvrditi samo mjerenjem (*kvantifikacijom*) pojedinih indikatora neophodnih za pouzdano vrednovanje (npr. sadržaj makro i mikro hraniva, njihova dostupnost (raspoloživost), sadržaj humusa, pH, mogućnost obrade, dubina soluma, nagib, propusnost, tekstura i struktura tla, opasnost od erozije, količina padalina, moguća duljina vegetacije (nadmorska visina, kretanje temperatura i dr.), mogućnost navodnjavanja, potreba kondicioniranja itd.) jer ograničenja (koja se ne mogu efikasno poboljšati) određuju ne samo njegovu namjenu, već i izbor usjeva, agrotehniku, visinu mogućeg prinosa, ali i razumnu razinu ulaganja.

[Novija istraživanja pokazuju da bi se agronomska iskoristivost dušika mogla povećati sve do 80 %](#), uz očekivanje da će se povećati u naredna dva desetljeća na 70 %. Važno je napomenuti kako nedovoljna i neadekvatna, često i pogrešna gnojidba, zbog nedostatka znanja i neophodnih informacija utječe na loš proizvodni rezultat i smanjenje prinosa. Također, promjena prakse bacanja ili uništavanja suvišne, jeftine ili neiskorištene hrane zasigurno bi utjecala na manji gubitak hraniva i veću efikasnost gnojidbe. [Osim toga, veoma često se pogrešno smatra kako je efikasnost gnojidbe \(agronomska: porast prinosa po jedinici aktivne tvari i/ili fiziološka: porast prinosa po jedinici usvojene aktivne tvari\) jedini i najvažniji pokazatelj uspješnosti gnojidbe](#), ali *gnojidba je najprije u funkciji veće produktivnosti biljno-proizvodnog sustava*, a efikasnost hraniva iz gnojiva samo je jedan aspekt produktivnosti tla.

Masovni rast stočarskog sektora utjecao je na porast otpada i [velikih emisija stakleničkih plinova u atmosferu i vodu](#) koja se globalno gledano trenutno procjenjuje na 65 Tg N god⁻¹ u obliku NO₃ (29 Tg N god⁻¹), NH₃ (26 Tg N god⁻¹), NO_x (8 Tg N god⁻¹) i N₂O (2 Tg N god⁻¹), što je ekvivalentno 1/3 globalne antropogene emisije dušika. Održiva stočarska proizvodnja zahtijeva integraciju s uzgojem usjeva jer se tako omogućuje recikliranje, odnosno korištenje nusproizvoda kao gnojiva. Međutim, mješoviti sustavi uzgoja usjeva i stoke često zahtijevaju veći inicijalni kapital i njima je teže upravljati.

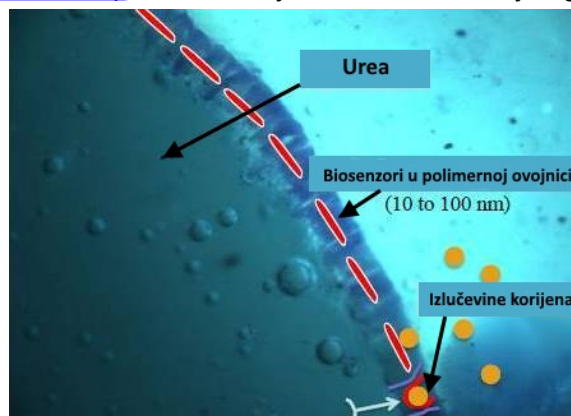
[Tlo je uvjetno obnovljiv prirodni resurs](#); reaktor, transformator i integrator kombiniranih procesa iz drugih prirodnih izvora (solarno zračenje, atmosfera, površinska i podzemna voda, biološki resursi), medij interakcije sfera (litosfera, atmosfera, biosfera), medij produkcije biomase za ljudsku i stočnu hranu, industrijsku sirovinu i alternativnu energiju; skladište je topline, vode, biljnih hraniva, a u nekim slučajevima i otpada iz različitih izvora; pufer je velikog kapaciteta koji može prevenirati ili ublažiti nepovoljne ekološke

utjecaje; prirodni je filter koji može spriječiti onečišćenja podzemnih voda; značajno je za varijabilnost gena i važan element bioraznolikosti; konzervator je i nositelj prirodne i ljudske baštine. Iz tako opisane funkcionalnosti tla, jasno je kako je prioritetni cilj očuvati tlo iz više razloga, a ne samo s ciljem daljnje dostatnosti u proizvodnji hrane. [Ishrana bilja smatra tlo živim, dinamičnim i nužnim supstratom biljne ishrane, neophodnim za rast bilja unutar uređenog ili prirodnog ekosustava](#), ali pored toga [ima i niz drugih bitnih funkcija od koji su najvažnije](#):

- **Produktivnost:** zemljište podržava velik broj sustava koji omogućuju život na Zemlji preko primarne organske produkcije (biomase) koja je izvor hrane za ljude i životinje, izvor vlakana, goriva, drva i drugih biotičkih materijala za ljudsku upotrebu, bilo izravno ili posredno kroz uzgoj životinja, uključujući morsku i slatkovodnu akvakulturu;
- **Biološki okoliš:** zemljište je temelj biološke raznolikosti jer osigurava staništima genske rezerve za biljke, životinje i mikroorganizme, iznad i ispod zemlje;
- **Regulacija klime:** zemljište i njegovo korištenje su izvor i filter za stakleničke plinove te tako sudjeluje u regulaciji globalne energetske bilance kroz procese apsorpcije i transformacije sunčeve radijacije i globalni hidrološki ciklus;
- **Hidrološke:** zemljište regulira zadržavanje i protok površinskih i podzemnih voda, te utječe na njihovu kvalitetu;
- **Skladištenje:** zemljište je skladište sirovina i minerala za ljudsku uporabu;
- **Kontrola otpada i onečišćenja:** zemljište adsorbira i sekvestira (npr. veže CO₂), filtrira vodu, puferira i transformira mnoge opasne spojeve;
- **Životni prostor:** zemljište pruža fizičku osnovu za ljudska naselja, poljoprivredu, industriju, transport, sport, rekreaciju itd.;
- **Povijesna baština:** zemljište čuva i štiti dokaze o kulturnoj povijesti čovječanstva; ono je i izvor informacija o prošlim klimatskim uvjetima i prošlom korištenju zemljišta i
- **Zajednički prostor:** zemljište je prostor koji omogućuje humane komunikacije kao što su prijevoz ljudi, sirovina i proizvoda, ali i za kretanje životinja i biljaka između diskretnih područja prirodnih ekosustava.

Budući da je upravljanje s više funkcija tla veoma složeno, ono se najčešće svodi na primarnu funkciju, odnosno biljnu proizvodnju, a kako ne postoji idealno tlo za sva korištenja, opći indeksi plodnosti tla neminovno podrazumijevaju zanemarivanje mnogih informacija te se optimizacija strategije upravljanja tлом može bitno razlikovati. Npr., dok je dosadašnji fokus ishrane bilja bio na plodnosti tla, odnosno njegovom kapacitetu opskrbe hranjivim tvarima, nova paradigma mora uvažiti širi aspekt zdravlja tla kao što su [sekvestracija atmosferskog CO₂](#) jer ona doprinosi smanjenju globalnog zagrijavanja i porastu organskog C u tlu. [Naime, živa faza tla \(tzv. edafon\) obavlja mineralizaciju i humifikaciju organske tvari \(razgradnju ili dekompoziciju svježih organskih tvari i sintezu humusa\)](#), a ona zahtijeva i stalni unos svježeg organskog materijala, npr., organskog gnoja, žetvenih ostataka, siderata i dr. te mineralnih hraniva, osobito dušika i fosfora kako bi se formirala stabilna organska tvar tla (humus).

[Više od 2 milijarde ljudi u svijetu pogođeno je raznim oblicima pothranjenosti mikronutrijentima](#) (npr. željezom, cinkom, jodom i selenom), što povećava smrtnost djece i njihovo zaostajanje u rastu, anemiju i osjetljivost na mnoge zarazne bolesti, ali utječe i na mnoge kognitivne funkcije. [Nema sumnje da prehrana igra ključnu ulogu u zdravlju ljudi \(kao i životinja\) pa se proizvodnja tzv. zdrave hrane i funkcionalne hrane, biofortifikacija i fortifikacija](#)



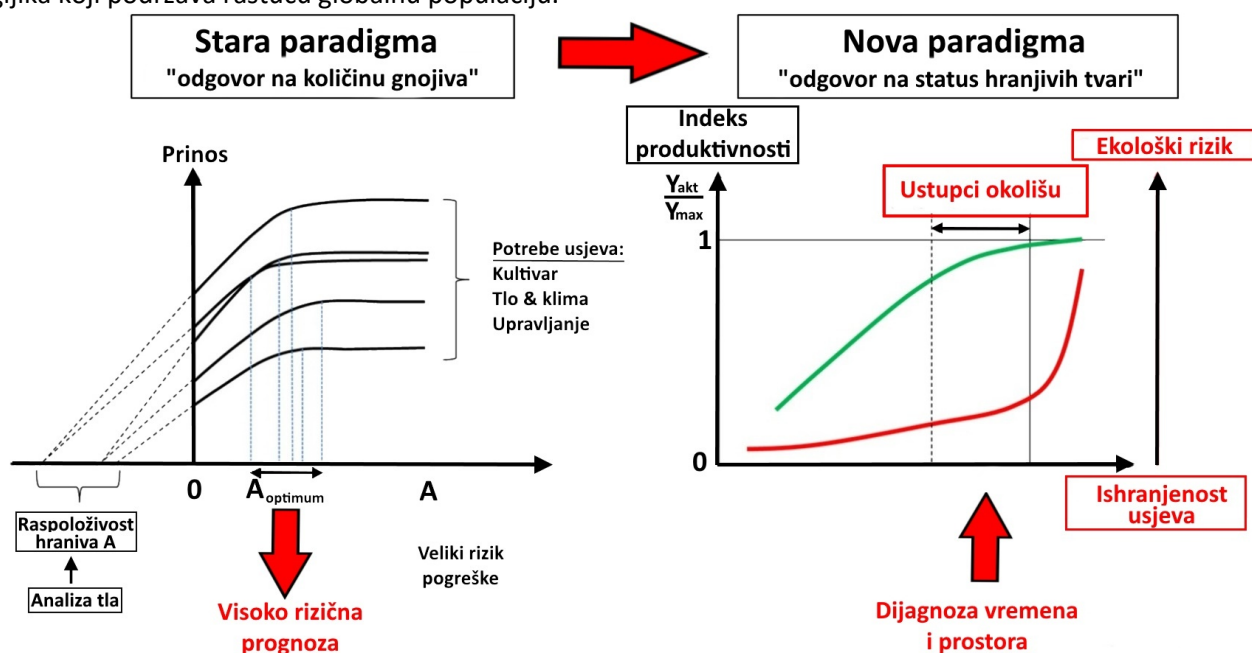
Slika 3. [Smart nano gnojivo koje otpušta ureu pod utjecajem korijenskih izlučevina](#)

[hrane izdvajaju danas u posebnu kategoriju proizvoda, sve snažnije podržanu od farmaceutske industrije](#), dok istovremeno jedna trećina Zemlje nema dovoljno hrane.

Opravdano se očekuje da će suvremena digitalna i tehnološka rješenja i informacije utemeljene na podacima (npr. *senzori* za daljinsku i *in situ dijagnostiku* tla i usjeva, podaci o raspoloživosti hraniva u tlu, stanju usjeva, vremenu i dr.) i *modelima predviđanja* temeljenih na *umjetnoj inteligenciji* biti široko dostupni i od praktične koristi poljoprivrednicima. [Već danas mnoge suvremene aplikacije za pametne mobitele posjeduju pristup moćnim bazama znanja i umjetnu inteligenciju \(AI\) te pouzdano detektiraju probleme i predlažu rješenje.](#)

[Prva "zelena revolucija"](#) u 60-im i 70-im godinama 20. stoljeća nas je naučila da se prinosi mogu povećati i do 300 % i zaslužna je za bolju prehranu milijarda ljudi širom svijeta, a mineralna gnojiva su bila jedan od ključnih pokretača tog poljoprivrednog buma, naravno uz sve štetne posljedice na svojstva tla i okoliš. [Nova istraživanja u razvoju pametnih \(nano\) gnojiva pokazuju da je moguće hranu proizvesti efikasno, bez onečišćenja okoliša te se čini da je pokrenuta tzv. "Treća \(zelena\) revolucija" u proizvodnji hrane](#) (Slika 3.). Nove formulacije, sporo djelujuća mineralna gnojiva i *inhibitori ureaze* znatno mogu smanjiti emisiju stakleničkih plinova i gubitke dušika, [a uz sve veću elektrokatalitičku sintezu tzv. „zelenog amonijaka“](#) bit će uskoro moguće proizvoditi dušična gnojiva bez korištenja fosilnih goriva.

[Suština nove paradigme ishrane bilja je u suštini premještanje fokusa s ekonomskog optimuma poljoprivredne proizvodnje na društveni optimum ishrane bilja](#) (Slika 4.). Društvo će morati više uložiti za postizanje željenih društvenih (ekoloških) ishoda, ali mehanizmi za to su trenutno još nejasni. Kako god, nova ekonomija primjene svih gnojiva: [mineralnih, organskih mineralno-organskih i svih vrsta posrednih](#), morat će postati sastavni dio prirodno pozitivnog i kružnog prehrambenog sustava s niskom emisijom ugljika koji podržava rastuću globalnu populaciju.



Slika 4. [Grafički prikaz stare i nove paradigme ishrane bilja](#)

Planirani ciljevi nove paradigme ishrane bilja i njihovo ostvarivanje mogu se postići unutar jedne generacije uz veća ulaganja i usklađenim naporima svih aktera kroz strategije koje integriraju novo znanja, efikasnije prakse proizvodnje zdravije hrane, manje rasipanja, više recikliranja i odgovarajuću razinu trgovine.