Novafert

BIOGNOJIVA

Praktični vodič za poljoprivrednike

Sadržaj

Uvod **1**

Projekt NOVAFERT **2**

Biognojiva **4**

Što su biognojiva? 4

Agronomska učinkovitost biognojiva 5

Učinkovitost upotrebe dušika 6

Učinkovitost upotrebe fosfora 8

Utjecaj na zdravlje tla i mikrobnu aktivnost 10

Metode proizvodnje biognojiva **11**

Pregled metoda 12

Ekstrakcija i pročišćavanje 12

Termalni proces pretvorbe 13

Anaerobna digestija 14

Membranski sustav 15

Taloženje fosfora 16

Kompostiranje 17

Procjena održivosti **18**

Potencijal korištenja biognojiva u Hrvatskoj **19**

Pokazni primjer u Hrvatskoj **20**

Pokazni primjeri iz Europske unije **21**

Irska 21

Poljska 23

Finska 24

Belgija (Flandrija) 24

Španjolska (Katalonija) 25

Zakonodavni okvir **26**

Europski zakonodavni okvir 26

Hrvatski zakonodavni okvir 27

Zaključak **28**

Literatura **29**

Legenda pojmova

Permeat	Pročišćena tekućina koja prolazi kroz membranu tijekom filtracije. Poželjan i koristan produkt filtracijskog procesa
Volatizacija	Isparavanje amonijaka čime dolazi do ispuštanja amonijaka u atmosferu
Eutrofikacija	Proces prekomjernog obogaćivanja voda hranjivim tvarima, posebno dušikom i fosforom što dovodi do pretjeranog rasta algi i vodenih biljaka čime se smanjuje koncentracija kisika u vodi
Digestat	Anaerobno razgrađen supstrat, bogat makro i mikro-nutrijentima
Precipitacija	Proces stvaranja taloga taloženjem u otopini ili kristalizacija neke faze u slitinama

Predgovor

AUTORI	Morana Jednačak Margareta Đumbir Ana-Marija Špicnagel Anamarija Ćorić
NAKLADNIK	IPS Konzalting d.o.o.
GRAFIČKO OBLIKOVANJE	IPS Konzalting d.o.o.
PRIPREMA I TISAK	IPS Konzalting d.o.o.
NAKLADA	
CIP	CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem ???
ISBN	ISBN 978-953-50391-0-5
IZVOR FINANCIRNJA	Ova publikacija pripremljena je u sklopu HORIZON 2020 programa – Novafert koji financira Europska unija
OGRANIČENA ODGOVORNOST	ZA sadržaj ovog priručnika odgovorni su jedino autori. Sadržaj ne odražava nužno mišljenje Europske unije. EACI i Europska komisija nisu odgovorni za moguću upotrebu informacija sadržanih u materijalu
COPYRIGHT	Sva su prava zadržana. Nijedan dio ovog priručnika ne smije se reproducirati u bilo kojem obliku za uporabu u komercijalne svrhe bez prethodnog pisanog odobrenja nakladnika. Autori ne jamče ispravnost i/ili točnost informacija i podataka sadržanih ili opisanih u ovom priručniku.
DATUM I MJESTO	Sisak, srpanj 2025.

Uvod

Suočeni smo s izazovima klimatskih promjena, kao i iscrpljivanjem tla, te rastućim troškovima energije i gnojiva. Istovremeno, europske i nacionalne politike jasno usmjeravaju prema održivijem, ekološki prihvatljivijem gospodarenju tlom i hranjivim tvarima. Upravo u tom kontekstu, biognojiva se ističu kao prirodna, inovativna rješenja koja mogu osigurati poboljšanje strukture tla, bolju ishranu biljaka i dugoročnu održivost proizvodnje hrane.

Biognojiva su gnojiva koja sadrže mikroorganizme i organske tvari nastale biološkim putem, a njihova je osnovna funkcija poboljšati pristupačnost hranjiva biljkama, stimulirati rast korijena te aktivirati mikrobnu zajednicu u tlu ključnu za plodnost tla i otpornost agroekosustava. Dodatno, opskrbljuju biljke nutrijentima poput dušika, fosfora i kalija. Za razliku od mineralnih gnojiva, biognojiva djeluju u skladu s prirodnim procesima u tlu, čime pridonose povećanju njegove plodnosti, smanjenju emisija stakleničkih plinova te očuvanju bioraznolikosti.

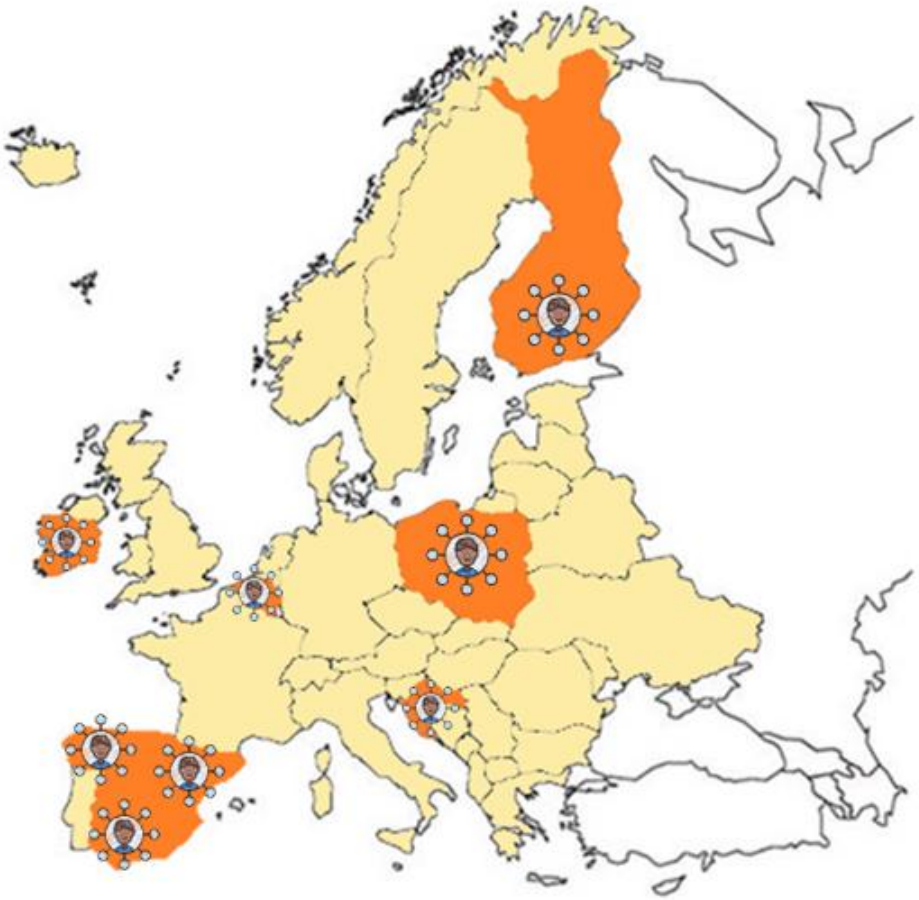
Ova brošura je napisana na temelju iscrpnog literaturnog pregleda raznih znanstvenih istraživanja i stručnih radova kako bi se pružile točne informacije. Projekt NOVAFERT, financiran kroz program Horizon Europe, posvećen je istraživanju i dokazivanju učinkovitosti biognojiva u agroekološkim uvjetima širom Europe. Kroz niz pokusa, analiza i studija, NOVAFERT pruža znanstvenu podlogu za razumijevanje kako biognojiva djeluju, koje su njihove prednosti i ograničenja, te kako se mogu integrirati u postojeće sustave poljoprivredne proizvodnje. Također, pruža pregled osnovnih informacija o biognojivima - uključujući njihove vrste, mehanizme djelovanja, metode primjene i agronomski učinak. Poseban naglasak stavljen je na procjenu njihove održivosti, zakonski okvir Europske Unije te potencijal njihove šire primjene u lokalnoj poljoprivredi.

Informacije sadržane u ovoj brošuri mogu poslužiti kao vrijedan izvor znanja i pokazatelj dobrih primjera iz EU i Hrvatske, s ciljem pružanja korisnih smjernica poljoprivrednicima koji se odluče za primjenu biognojiva.

Projekt NOVAFERT

Projekt **NOVAFERT** razvijen je s ciljem podrške održivoj poljoprivredi kroz razvoj i primjenu biognojiva koja zamjenjuju mineralna gnojiva. U skladu s europskim strateškim dokumentima poput Akcijskog plana za nultu stopu onečišćenja, strategije „Od polja do stola" i nove Uredbe o gnojivima (2019/1009), projekt istražuje i demonstrira tehničku, ekonomsku i okolišnu primjenjivost korištenja 25 različitih proizvoda na bazi obnovljenih hranjivih tvari iz 6 vrsta otpadnih tokova, uključujući poljoprivredne, komunalne i industrijske izvore, s ciljem zamjene sintetskih i mineralnih gnojiva.

Projekt NOVAFERT okuplja 9 partnera iz 6 EU zemalja te iz različitih sektora kako bi zajednički razvili znanstveno utemeljena rješenja i alate koji omogućuju sigurnu i učinkovitu primjenu biognojiva. Okolišni aspekt projekta obuhvaća izradu smjernica i metodologije za procjenu utjecaja biognojiva na okoliš, dok se ekonomski aspekt temelji na razvoju kružnih i zelenih poslovnih modela koji podupiru lokalnu proizvodnju i oporabu biognojiva.



Među ključnim rezultatima projekta su:

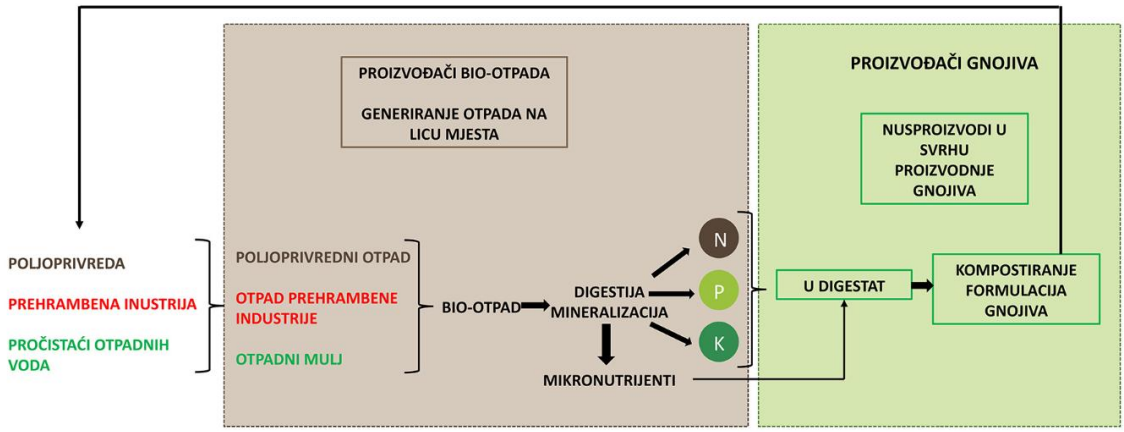
- → Popis biognojiva i tehnologija oporabe hranjiva,
- → Podrška razvoju lokalnih vrijednosnih lanaca i tržišta biognojiva,
- → Osnivanje regionalnih radnih skupina i demonstrativnih lokacija za praktičnu primjenu proizvoda,
- → Razvoj akcijskih planova i prijedloga politika za lakšu implementaciju biognojiva na razini Europske unije i država članova.

Na taj način, NOVAFERT pomaže stvaranju uvjeta za sigurnu, učinkovitu i ekološki prihvatljivu uporabu biognojiva, te smanjenju ovisnosti o vanjskim izvorima hranjiva te doprinosi ciljevima kružnog gospodarstva i otpornije europske poljoprivrede.

Biognojiva

Što su biognojiva?

Bio-gnojiva su gnojiva koja mogu biti proizvedena iz nusproizvoda poput stajnjaka i biljnih ostataka biljne proizvodnje, ostataka hrane, mulja iz pročišćivača voda, nusproizvoda akvakulture i ribarske industrije te mnogih drugih. Takva gnojiva mogu se proizvoditi uz pomoć cijelog niza tehnologija, no glavni princip se bazira na pretvorbi nusproizvoda u proizvod koji je stabilan i može se zatim koristiti kao gnojivo.



(**E-OPG.** *Bio-gnojiva kao temelj profitabilne poljoprivrede budućnosti)*

Biognojiva predstavljaju značajnu priliku za smanjenje ovisnosti o uvoznim mineralnim gnojivima, učinkovitije iskorištavanje lokalnih resursa (poput stajskog gnoja, digestata iz bioplinskih postrojenja, komposta i nusproizvoda prehrambene industrije) te za poboljšanje kvalitete tla koje je u mnogim regijama narušeno dugotrajnom i intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom.

Prednosti korištenja biognojiva u poljoprivrednoj proizvodnji su [1]

- → Povećanje organske tvari u tlu
- → Smanjenje problema gospodarenja otpadom
- → Dodavanje esencijalnih nutrijenata
- → Povećanje plodnosti i produktivnosti tla
- → Poticanje mikrobne aktivnosti tla
- → Smanjenje broja prisutnih patogena .

S druge strane, izazovi i ograničenja primjene biognojiva su njihova učinkovitost ovisno o vrsti tla, klimatskim uvjetima, pravilnoj primjeni i kvaliteti samog proizvoda.

Prema nekim istraživanjima, korištenje biognojiva utječe pozitivno i na povećanje otpornosti usjeva na sušu i bolesti, smanjenje troškova gnojidbe te doprinosi održivoj poljoprivredi u skladu sa izazovnim klimatskim promjenama. Dodatno, razvoj lokalnih

lanaca proizvodnje biognojiva otvara prostor za nova radna mjesta i jačanje ruralnog gospodarstva. [2]

U kontekstu europskih zelenih politika i strategija poput „Od polja do stola“, biognojiva su ključan alat za prelazak na kružnu i klimatski otpornu poljoprivredu.

Agronomska učinkovitost biognojiva

Agronomska učinkovitost se očituje u sposobnosti biognojiva da poboljšaju rast, razvoj i prinos biljaka u usporedbi s konvencionalnim metodama. Biognojiva su organski materijali, kao što su kompost, gnoj, biološki preparati i mikroorganizmi, te se koriste za poboljšanje kvalitete tla i opskrbe biljaka hranjivim tvarima. [4]

Dušik i fosfor su dva osnovna hranjiva elementa koji imaju ključnu ulogu u rastu i razvoju biljaka, te su zastupljeni u raznim organskim materijalima poput:

- → stajskog gnoja – izmet i mokraća domaćih životinja pomiješani sa steljom
- → kanalizacijskog mulja – ostaci iz sustava za pročišćavanje otpadnih voda
- → biootpada – ostaci hrane i biljnog otpada iz kućanstva i industrije
- → komposta

Agronomska učinkovitost biognojiva se mjeri utjecajem na:

- → **Povećanje prinosa usjeva** jer biognojiva obogaćuju tlo hranjivim tvarima (npr. dušik, fosfor, kalij, mikro nutrijenti poput cinka i bora) koje su ključne za pravilan rast i razvoj biljaka

- → **Povećanje kvalitete proizvoda** (npr. okus, veličina, nutritivna vrijednost) jer omogućuju uravnoteženu ishranu biljaka
- → **Poboljšanje kvalitete tla** jer mogu sadržavati korisne mikroorganizme koji pomažu u razgradnji organskog materijala i stvaranju humusa
- → **Efikasnije iskorištavanje nutrijenata** (npr. dušik i fosfor)
- → **Smanjenje upotrebe mineralnih gnojiva** što ima ekološke prednosti i smanjuje negativni utjecaj na okoliš, na primjer smanjuje se ispiranje nutrijenata i emisija stakleničkih plinova
- → **Smanjenje pojave bolesti i štetočina** jer neka biognojiva sadrže prirodne antimikrobne komponente koje mogu pomoći u suzbijanju određenih biljnih bolesti i štetočina

S druge strane, **izazovi primjene biognojiva** uključuju:

- → **Nepravilnu primjenu** – može dovesti do neuravnoteženosti nutrijenata u tlu
- → **Stroge zakonske regulative**
- → **Dodatni troškovi** povezani s adekvatnim skladištenjem, transportom i aplikacijom
- → **Akumulacija onečišćivača u tlo** – može negativno utjecati na kvalitetu tla i sigurnost usjeva [5]

Agronomska učinkovitost može znatno varirati, stoga je ključno primjenjivati prilagođene strategije gnojidbe – uključujući doziranje, trajanje i način primjene – koje su usklađene s vrstom tla i potrebama usjeva. Takvim pristupom moguće je optimalno zadovoljiti hranidbene potrebe biljaka te istovremeno smanjiti štetne emisije u okoliš.

Učinkovitost upotrebe dušika

Jedan od ključnih problema današnje poljoprivrede je emisija dušika, koja negativno utječe na klimu, okoliš te zdravlje ljudi i životinja. Biognojiva proizvedena iz organskog otpada nude održivo rješenje za ovaj izazov jer omogućuju oporabu vrijednih hranjivih tvari koje bi inače ostale neiskorištene ili završile kao otpad. Biognojiva proizvedena na taj način bi mogla zamijeniti mineralna gnojiva ili barem u većoj mjeri smanjiti njihovu uporabu.

Opće je poznato da je dušik najčešće korišteni hranjivi element u poljoprivredi, čineći čak 70 % ukupne potrošnje hranjivih tvari u Europskoj uniji. Prema podacima Eurostata iz 2023., u 2021. godini u EU je potrošeno **9,8 milijuna tona mineralnih dušičnih gnojiva**. Od ukupne količine primijenjenog dušika, 51 % dolazi iz mineralnih izvora, dok preostalih 49 % potječe iz drugih izvora poput stajskog gnoja, biljnih ostataka, atmosferskih taloženja i biološke fiksacije dušika.

Dodatno, u Europi vlada neuravnoteženost u raspodjeli organskih gnojiva kako među regijama, tako i unutar regija.

Na svjetskoj razini, samo 46 % primijenjenog dušika ostaje u biljci, dok ostalih 54 % ostaje u tlu i u većini slučajeva se ispire u podzemne vode. U Europskoj uniji, približno polovica ukupnih gubitaka dušika završava u podzemnim ili površinskim vodama uslijed ispiranja i otjecanja, dok se druga polovica gubi u atmosferu kroz emisiju stakleničkih plinova i proces volatizacije (hlapljenja) dušičnih spojeva. [6]

Kada govorimo o učinkovitosti upotrebe dušika, mislimo na sposobnost biljke da usvoji dušik iz tla ili gnojiva te ga učinkovito pretvori u biomasu i prinos. Na učinkovitost upotrebe utječe niz bioloških, kemijskih i okolišnih faktora, kao što su:

- → **Vrsta i oblik dušičnog gnojiva** – biognojiva su sporo otpuštajuća gnojiva i inhibitori (tvari koje usporavaju ili zaustavljaju kemijski reakciju) nitrifikacije (proces u kojem dušične bakterije u tlu pretvaraju amonijak u nitrite i potom u nitrate, na taj način se tlo obogaćuje dušikom koji biljka može usvojiti) čime smanjuju gubitke i poboljšavaju učinkovitost upotrebe dušika
- → **Vremenska i prostorna primjena** – važna je pravovremena i pravilna primjena gnojiva kako ne bi došlo do gubitka dušika isparavanjem, ispiranjem ili denitrifikacijom. Najbolji učinak postignut je primjenom sredstava u neposrednoj blizini korijena, kao i ponovljenom, višestrukom primjenom..
- → **Vremenski uvjeti** - prekomjerna količina oborina može dovesti do ispiranja nitrata u dublje slojeve tla dok vjetar i toplina mogu povećati volatizaciju amonijaka
- → **Vlažnost tla** - suho tlo smanjuje mobilnost i unos dušika u tlo
- → **pH tla** - idealan pH za usvajanje dušike iznosi 6,0-7,0 jer nizak pH smanjuje aktivnost mikroorganizama, dok alkalna tla povećavaju isparavanje amonijaka

Zamjenom mineralnih gnojiva biognojivima, moguće je smanjiti unos sintetskog dušika i do 70 %, a da se pritom ne naruši prinos ili kvaliteta usjeva. Dušik se u biognojivima nalazi stabilnom organskom obliku koji je potrebno mineralizirati kako bi postao lako dostupan biljci za usvajanje. Potreba za mineralizacijom je jedan od načina smanjenja gubitaka dušika ispiranjem u podzemne vode i emisije stakleničkih plinova.

Prednost biognojiva kada govorimo o **učinkovitosti iskorištenja dušika**:

- → **Dinamika otpuštanja dušika**: biognojiva sporo otpuštaju dušik što omogućuje bolju ravnotežu između potreba biljke i dostupnosti dušika čime se poboljšava učinkovitost, za razliku od lako dostupnog oblika dušika iz mineralnih gnojiva koja često rezultiraju viškovima i gubicima.
- → Organska tvar u biognojivu poboljšava **mikrobiološku aktivnost tla**, što neizravno utječe na mineralizaciju dušika i njegovu bolju dostupnost biljkama tijekom vegetacije
- → **Utjecaj oblika dušika**: biognojiva sadrže kombinaciju amonijskog, nitratnog i organskog dušika. Takav višekomponentni sastav omogućuje postupno otpuštanje i smanjuje rizik od ispiranja u ranim fazama rasta biljke

→ **Ekonomska učinkovitost**: povećanjem učinkovitosti iskorištenja dušika, poljoprivrednici mogu smanjiti troškove gnojidbe, povećati isplativost proizvodnje i postići dugoročnu održivost

→ **Doprinos smanjenju emisije stakleničkih plinova**: veća učinkovitost iskorištenja dušina znači manje emisije u atmosferu koje su važan čimbenik globalnog zatopljenja.

→ **Kvaliteta tla**: biognojiva su imala neutralan do pozitivan učinak na pokazatelje kvalitete tla [7]

Biognojiva su općenito pokazala bolju agronomsku učinkovitost u usporedbi s tradicionalnim organskim gnojivima poput stajskog gnoja, čak i kada su biognojiva proizvedena iz iste sirovine.

Rizik od ispiranja amonijaka je varirao između različitih vrsta biognojiva no u svakom slučaju je rizik od ispiranja dušika kod biognojiva manji u odnosu na ispiranje kod mineralnih gnojiva. Također, ako se biognojivo odmah nakon primjene unese u tlo (npr. tanjuranjem), smanjuje se gubitak dušika isparavanjem. [8]

Učinkovitost upotrebe fosfora

Fosfor je jedan od tri glavna makro elemenata koji imaju ključnu ulogu u brojnim fiziološkim i biokemijskim procesima. Odgovoran je za sve vitalne procese u biljkama. Ključne funkcije fosfora su:

→ **Energetski metabolizam** – sastavni dio molekule koja prenosi energiju unutar stanice
→ **Fotosinteza i disanje** – fosfor sudjeluje u regulaciji enzima i prijenosu elektrona
→ **Stvaranje i razvoj korijena** – potiče razvoj korijenskog sustava, posebno bočnih korjenčića i korijenskih dlačica
→ **Razvoj i sazrijevanje plodova i sjemena** – fosfor je ključan za cvjetanje, oplodnju i razvoj sjemena
→ **Strukturna komponenta** – nalazi se u molekulama DNA i RNA te fosfolipidima u membranama stanica [9]

Učinkovitost upotrebe fosfora odnosi se na sposobnost biljke da usvoji raspoloživi fosfor iz tla ili gnojiva te da ga učinkovito iskoristi za svoj rast i ostvarenje prinosa. Faktori koji utječu na učinkovitost upotrebe fosfora su tip tla, oblik gnojiva, temperatura tla, mikroorganizmi te metoda i vrijeme primjene.

Strategije za poboljšanje učinkovitosti uporabe fosfora baziraju se na:

→ **Korištenju biognojiva s visokim sadržajem dostupnog fosfora**, na primjer kompost
→ **Upotrebi mikoriznih gljiva** koje žive u simbiozi s korijenjem biljaka te povećavaju njihovu sposobnost usvajanja fosfora iz tla, na primjer Rhizophagus irregularis koja rezultira jačim korijenovim sustavom i boljom apsorpcijom fosfora i
→ **Preciznoj i pravovremenoj gnojidbi** što podrazumijeva primjenu gnojiva točno kada i gdje je biljci najpotrebnije, čime se smanjuju gubici i povećava se učinkovitost fosfora. [10]

Fosfatna ruda kao primarni izvor fosfora je neobnovljiv resurs čije zalihe se smanjuju što ugrožava dugoročnu dostupnost fosfora za potrebe poljoprivrede i industrije. Prirodni ciklus fosfora je narušen do mjere da je sve manja količina fosfatnih stijena dostupna te prekomjerna količina fosfata u vodenim sustavima što dovodi do eutrofikacije, procesa nakupljanja hranjivih tvari u vodenom okolišu koje dovode do smanjenje količine kisika. Iz navedenih razloga oporaba fosfora predstavlja ključan korak za održivo upravljanje fosfatnim rudama.

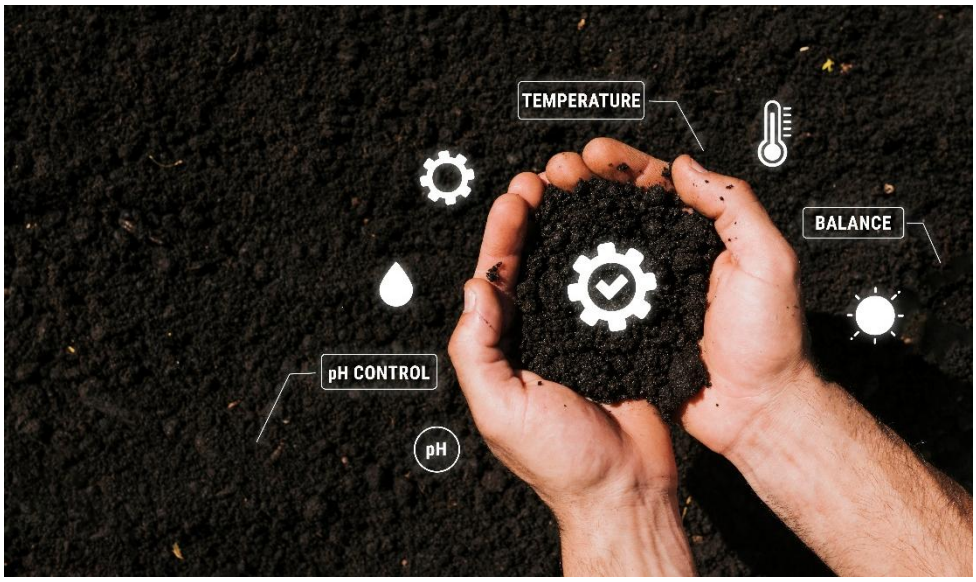
Prednost biognojiva kada govorimo o učinkovitosti iskorištenja fosfora:

→ **Povećanje dostupnosti fosfora**: biognojiva sadrže fosfat-otapajuće mikroorganizme koji otpadaju teško topive fosfate u tlu, proizvode enzime koji oslobađaju organski vezani fosfor i mobiliziraju rezidualni fosfor iz prethodnih gnojidbi
→ **Poboljšan kontakt korijena s fosforom**
→ **Smanjenje fiksacije fosfora u tlu**: mikroorganizmi iz biognojiva inhibiraju vezanje fosfora za željezo, aluminij i kalcij
→ **Stabiliziranje pH tla** čime se fosfor zadržava u topivom obliku

→ **Smanjenje eutrofikacije** jer manje fosfora se ispire u podzemne vode
→ **Poboljšanje zdravlja tla**

Iz pokusa provedenih tijekom istraživanja biognojiva, zaključeno je kako biognojiva imaju potencijal za stabilnu i pouzdanu primjenu u različitim agroekološkim uvjetima, uz zadržavanje ili čak poboljšanje prinosa, kvalitete i zdravlja tla.

Zaključno, biognojiva ne povećavaju količinu fosfora u tlu, već povećavaju njegovu iskoristivost čime se smanjuje potreba za mineralnim gnojivima, povećava prinos na održiv i ekološki način koji štiti okoliš i zdravlje ljudi i životinja. [11]



Utjecaj na zdravlje tla i mikrobnu aktivnost

Gnojiva na bazi organskog materijala, odnosno biognojiva predstavljaju važan segment kružnog gospodarstva, koje se temelji na zatvorenim ciklusima hranjivih tvari u proizvodnji hrane.

Preko 60 dugogodišnjih pokusa u Europi i Sjevernoj Americi pokazali su značajne učinke biognojiva na koncentraciju organskog ugljika u usporedbi s površinama koje su gnojene mineralnim gnojivima. Podaci koji su proizašli iz pokusa, ukazuju da su čvrsta i ugljikom bogata biognojiva najučinkovitija u povećanje koncentracije organskog ugljika. Slabije razvijena tla i ilovasta tla u suhim klimatskim područjima pokazala su najveći potencijal za sekvestraciju ugljika primjenom biognojiva. [12]

Dva ključna aspekta kada se govori o biognojivima kao zamjeni za mineralna dušična gnojiva:

1. **Rizik gubitka dušika je veći za mineralna u odnosu na organska gnojiva**

→ Poljski pokusi nisu pokazali povećani rizik od ispiranja dušika pri korištenju biognojiva u odnosu na mineralna gnojiva.

→ Agronomska učinkovitost na poljskim pokusima je dokazana jer je većina biognojiva pokazala slične rezultate u prinosu usjeva kao i mineralna gnojiva
→ Neka biognojiva su pokazala rezidualni učinak u drugoj godini od gnojidbe, ponekad nadmašujući mineralna gnojiva
→ U usporedbi s tradicionalnim organskim gnojivima (npr. stajski gnoj), biognojiva su imala bolje agronomske performanse

2. **Utjecaj na kvalitetu tla**

→ Laboratorijska simulacija dugotrajne primjene biognojiva je pokazala neutralan do pozitivan utjecaj na pokazatelje kvalitete tla u usporedbi s mineralnim gnojivima
→ Najveće poboljšanje kvalitete tla je zabilježeno kod komposta i biognojiva [13]

Osim biognojiva, **kompost** ima ključnu ulogu u poboljšanju strukture tla i skladištenju ugljika. Redovita primjena visokokvalitetnog komposta, dobivenog recikliranjem biootpada, može značajno povećati sadržaj organske tvari u tlu, što dovodi do poboljšanja njegove strukture, povećane mikrobiološke aktivnosti odnosno potiče rast i aktivnost mikroorganizama u tlu, što doprinosi zdravlju tla i biljaka i veće sposobnosti zadržavanja vode. Osim toga, obogaćuje tlo esencijalnim tvarima poput dušika, fosfora i kalija.

Kompostiranje transformira bilje i životinjske ostatke u stabilne humusne tvari koje, kada se unesu u tlo, mogu ostati prisutne desetljećima. **Istraživanja su pokazala da, u prosjeku, 24 % organskog ugljika iz komposta ostaje u tlu 8 godina nakon primjene.**

U Europskoj uniji godišnje se proizvede oko 12 milijuna tona komposta, ali se procjenjuje da bi se taj broj mogao povećati na preko 32 milijuna tona ako bi se sav prikupljen biootpad obradio. Osim skladištenja ugljika, kompost poboljšava plodnost tla, povećava kapacitet zadržavanja vode, smanjuje eroziju i potiče raznolikost mikroorganizama, čime se doprinosi održivoj poljoprivredi i zdravlju tla. [14]

Metode proizvodnje biognojiva

Biognojiva su prirodni proizvodi koji sadrže korisne mikroorganizme ili organske tvari koje potiču rast biljaka, poboljšavajući plodnost tla i zdravlje biljaka na prirodan način.

Postoje različite metode proizvodnje biognojiva, od tradicionalnih pristupa do suvremenih biotehnoloških procesa. Poseban naglasak se stavlja na sirovine koje se koriste, biološke procese koji se primjenjuju te tehnološke postupke koji omogućuju optimizaciju proizvodnje.

Cilj je prikazati mogućnosti i prednosti koje nude različite metode te istaknuti ključne čimbenike za njihovu uspješnu primjenu u poljoprivredi. Metode koje se koriste su:

→ **Ekstrakcija i pročišćavanje**
→ **Termalni proces pretvorbe**
→ **Anaerobna digestija**
→ **Membranski sustav**
→ **Taloženje fosfora**
→ **Kompostiranje**

Pregled metoda

Ekstrakcija i pročišćavanje

Ekstrakcija i pročišćavanje je tehnologija koja se primjenjuje na tekuće frakcije bogate dušikom kako bi se dobili različiti proizvodi na bazi amonijaka. Tehnologija se temelji na fizikalno-kemijskim procesima, pri čemu se dobiva plin zasićen amonijakom, koji se zatim dovodi u kontakt s kiselom otopinom.

Prednosti korištenja obnovljenih amonijevih proizvoda:

1. Oko 50–60 % dušika iz otpadnih voda može se prikupiti i ponovno iskoristiti – to znači manje zagađenja, a više korisnog gnojiva.
2. Dobiveni proizvodi mogu imati i do 7 % dušika – jednako kao standardni amonijev sulfat koji se kupuje u trgovinama.
3. Ovi proizvodi mogu biti jeftiniji, ekološki prihvatljiviji i jednako učinkoviti kao klasična mineralna gnojiva. [15]

Dvije faze procesa:

→ **Ekstrakcija** (uklanjanje amonijaka): zrak se upuhuje u spremnik koji sadrži amonijak kako bi se amonijak uklonio u plinovitom obliku, koji se oslobađa iz tekuće frakcije stajskog gnoja
→ **Pročišćavanje**: zrak obogaćen amonijakom se raspršuje jakom kiselinom kako bi nastali amonijev sulfat ili amonijev nitrat.

Šira primjena ove tehnologije u praksi je otežana radi složenih pravnih zakona. Amonijev sulfat i amonijev nitrat su trenutno od strane Europske komisije prepoznati kao proizvodi visokog prioriteta s potencijalom za zamjenu sintetskih dušičnih gnojiva. [16]

Termalni proces pretvorbe

Terminalna pretvorba obuhvaća niz procesa kojima se biomasa ili otpadni organski materijal iz poljoprivrede i prehrambene industrije pretvaraju u:

- → Biougljen koji ima sposobnost usvojiti amonijak, nitrate, fosfate i druge ione te stvoriti 'hranjivi bazen' dostupan korijenju i mikroorganizmima
- → Pepeo bogat hranjivim tvarima – procesom oporabe hranjiva, pepeo može biti kvalitetna sirovina za dobivanje hranjiva koja bi mogla biti zamjena za mineralna gnojiva
- → Plinovita goriva – pokazuju daljnju mogućnost prerade radi sastava bogatog hranjivim tvarima [17]

Dobiveni proizvodi se mogu koristit kao:

- → Izvor fosfora, kalija i kalcija
- → Stabilni oblici ugljika za povećanje plodnosti tla
- → Sredstva za pohranu hranjivih tvari i poboljšanje strukture tla, na primjer kompostirani organski ostaci (gnoj, biljni otpad) ne samo da hrane tlo, već i poboljšavaju njegovu strukturu – tlo postaje rahlije, bolje upija vodu i hrani biljke dulje vrijeme.

Termalne i hidrotermalne tehnologije pretvorbe uključuju spaljivanje i pirolizu različitih vrsta krutih nusproizvoda. Kao rezultat ovih procesa nastaju pepeo ili biougljen.

Ključne stavke koje je potrebno istaknuti:

- → Sadržaj teških metala i toksičnih spojeva u pepelu ili katranu može ograničiti upotrebu bez dodatnog pročišćavanja i obrade
- → Nedostatak regulative koja bi poduprla korištenje dobivenih proizvoda
- → Potreba za dugoročnim poljskim pokusima kako bi se dokazala učinkovitost i sigurnost primjene u poljoprivredi

Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je široko rasprostranjena tehnologija koja se konvencionalno primjenjuje za obogaćivanje krutog ili tekućeg organskog otpada. Tijekom procesa nastaju dva ključna nusproizvoda:

→ Digestat: često je bogat ugljikom i hranjivim tvarima te ako se pravilno upravlja njegovom obradom i primjenom, pokazuje značajan potencijal kao poboljšivač tla ili organsko gnojivo. Osim toga, digestat se može dalje preraditi i koristiti za dobivanje specifičnih proizvoda kao što su koncentrirani izvori dušika, fosfora i organske tvari

→ Bioplin: nakon odgovarajuće obrade može se pretvoriti u biometan, gorivo koje pokazuje potencijal za djelomičnu zamjenu prirodnog plina, time doprinosi smanjenju emisija ugljika i povećava energetsku neovisnost.

S obzirom na raznolikost supstrata koji se dodaju u postrojenje, razliku se dvije glavne vrste digestije:

1. Monodigestija – proces u kojem se za proizvodnju bioplina koristi samo jedan supstrat
2. Kodigestija – proces u kojem se za proizvodnju bioplina koristi više od jednog supstrata, na primjer energetski usjevi i stajski gnoj ili druge vrste organskog otpada [18]

Prednost primjene anaerobne digestije i oporavljenog organskog otpada:

→ Primjena na marginalnim tlima, tla koja imaju ograničenu sposobnost za poljoprivrednu proizvodnju zbog svojih nepovoljnih osobina, poput niskog sadržaja hranjiva, loše strukture, plitak sloj obradivog tla, slaba sposobnost zadržavanja vode i zagađenost. za uzgoj višegodišnjih kultura predstavlja učinkovitu strategiju pohrane ugljika u tlu i doprinosi poboljšanju zdravlja okoliša.

→ Ovakav pristup omogućuje vraćanje degradiranih ili neproduktivnih tla u upotrebu, poboljšava njihovu plodnost, doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova te potiče održive oblike poljoprivrede. [19]

Membranski sustav

Na tržištu je dostupna široka paleta membranskih sustava koji se često integriraju u biorafinerijske procese, a osobito u procese i sustave za oporabu hranjivih tvari.

Ove tehnologije uključuju:

- → Procese koje pokreće razlika tlaka, poput mikrofiltracije, ultrafiltracije, nanofiltracije i obrnute osmoze
- → Membrane koje djeluju pod električnim potencijalom, kao što je elektrodijaliza

Membranske tehnologije imaju ključnu ulogu u koncentriranju, odvajanju i pročišćavanju hranjivih tvari, omogućuju daljnje obogaćivanje u obliku gnojiva ili poboljšivača tla.

Potencijalni proizvodi su:

- → Biognojiva na bazi biomase: mogu sadržavati visoke udjele dušika, fosfora ili kalija, ovisno o ulaznom materijalu i odabranom procesu
- → Organske kiseline: primjenom biorafinacije (proces u kojem se biomasa pretvara u korisne proizvode) moguće je proizvesti organske kiseline poput octene, mliječne ili fumarne kiseline, koje se koriste u industriji gnojiva, hrane ili bioplastike
- → Čista voda: permeat odnosno pročišćena voda dobivena membranskom filtracijom pokazuje visok stupanj čistoće i sigurnosti, što je eksperimentalno potvrđeno u brojnim studijama. Takva voda se može ponovno koristiti u industrijskim procesima i navodnjavanju.

Ključni izazovi:

- → Potrošnja energije i ekonomska isplativost: visoki energetski zahtjevi, osobito u procesima obrnute osmoze ili elektrodijalize, mogu značajno utjecati na ukupne troškove i održivost sustava
- → Pravne prepreke i zakonski propisi: zakonski propisi o ponovnoj upotrebi pročišćene vode su ograničeni ili nedovoljno definirani u kontekstu sigurnosti za poljoprivredu upotrebu
- → Uklanjanje virusa i nedostatak podataka o uklanjanju priona: iako je učinkovitost u uklanjanju bakterija i nekih virusa visoka, još uvijek nema dostupnih podataka o sposobnosti uklanjanja priona [20]

Taloženje fosfora

Precipitacija ili taloženje fosfora je kemijski proces kojim se fosfor iz otpadnih voda ili digestata pretvara u netopljive mineralne spojeve koji su stabilni, sporo otpuštajući, te ekološki prihvatljivi. Dodatno, mogu se koristiti kao biognojiva ili sirovine za proizvodnju biognojiva. [21]

Taloženje se najčešće provodi dodavanjem soli metala (npr. željeza, aluminija ili kalcija) koje reagiraju s fosfatima prisutnim u otopini, tvoreći netopljive fosfate poput:

→ Željezov (III) fosfat
→ Kalcijev fosfat
→ Struvit

Prednosti taloženja fosfora:

→ Smanjenje eutrofikacije i onečišćenja voda uklanjanjem viška fosfora
→ Dobiveni talozi su bogati fosforom i kao takvi se izravno mogu koristiti kao fosforno gnojivo ili dalje prerađivati (npr. u granulirane proizvode)
→ Mogu se kombinirati s drugim materijalima za dobivanje kompleksnijih biognojiva
→ U slučaju struvita, dodatan sadržaj dušika i magnezija ga čine višekomponentnim biognojivom

Izazovi:

→ Promjenjiv kemijski sastav sirovine što otežava kontrolu procesa
→ Potreba za doziranjem kemikalija što povećava troškove i kompleksnost
→ Stupanj iskorištenja krajnjeg proizvoda ovisi o njegovoj topivosti [21]

Kompostiranje

Visoki troškovi zbrinjavanja mulja i ciljevi kružnog gospodarstva zahtijevaju inovativne procese za pretvorbu mulja u proizvode dodane vrijednosti ili energiju. U tu svrhu, BETA Tehnološki centar sa Sveučilišta u Vicu je razvio napredne procese biološkog sušenja i kompostiranja radi oporabe hranjivih tvari sadržanih u mulju.

Cilj ovih procesa je proizvodnja:

- → Goriva proizvedenih iz biomase s visokom kalorijskom vrijednosti
- → Visokokvalitetnih biognojiva

Prednost kompostiranja:

- → Do 65 % vlage iz mulja je uklonjena biološkim grijanjem
- → Napredno upravljanje aeracijom (unošenje kisika s ciljem povećanja koncentracije kisika i poboljšanja kemijskih i bioloških uvjeta) za skraćivanje trajanja procesa
- → Smanjenje emisija stakleničkih plinova i potrošnje energije za uklanjanje vlage iz mulja, što doprinosi klimatski održivom gospodarenju otpadom
- → Mogućnost proizvodnje biognojiva po mjeri koja su prilagođena specifičnim potrebama tla, usjeva ili agroekološkim uvjetima
- → Proizvodnja biognojiva visoke stabilnosti s udjelom dušika i fosfora do 5 % u suhoj tvari. Takvo gnojivo predstavlja održivu alternativu mineralnim gnojivima s potencijalom za poboljšanje plodnosti tla i smanjenje ovisnosti o sintetskim izvorima hranjiva.

Kompostiranje predstavlja održivo i učinkovito rješenje za obogaćivanje organskog otpada, posebno mulja. Kroz stabilizaciju materijala i oporabu hranjivih tvari, moguće je proizvesti visokokvalitetna biognojiva koja doprinose zatvaranju kružnih tokova tvari u poljoprivredi. [23]

Procjena održivosti

Procjena životnog ciklusa biognojiva na okoliš (LCA) je metodologija koja sustavno procjenjuje sve faze proizvodnje i primjene biognojiva na okoliš – od izvora sirovina, prerade i proizvodnje, preko distribucije i upotrebe, do krajnjeg zbrinjavanja ili integracije u okoliš [24]

Biognojiva su gnojiva proizvedena iz organskog otpada čime doprinose kružnom gospodarstvu. Sadrže korisne mikroorganizme i njihov glavni cilj je poboljšanje plodnosti tla i poticanje rasta biljaka na održiv način. U usporedbi s mineralnim gnojivima, biognojiva imaju brojne pozitivne učinke na okoliš, no postoje i određeni izazovi.

Pozitivan utjecaj biognojiva na okoliš:

- → Smanjenje zagađenja tla i voda: ne sadrže štetne kemikalije pa smanjuju rizik od ispiranja nitrata i fosfata u podzemne vode i smanjuju eutrofikaciju vodenih sustava
- → Očuvanje mikrobiološke raznolikosti tla: povećava se broj i raznolikost korisnih mikroorganizama u tlu, potiču prirodne procese poput fiksacije dušika, otapanja fosfata i razgradnja organske tvari
- → Smanjenje emisije stakleničkih plinova
- → Poboljšanje strukture tla: Mikroorganizmi potiču povezivanje čestica tla u stabilne spojeve, čime se poboljšava prozračnost tla i njegova sposobnost zadržavanja vode. Podrška održivoj poljoprivredi

Mogući negativni utjecaji:

- → Ograničena učinkovitost i stupanj iskorištenja u određenim klimatskim uvjetima (degradirana tla, suha tla; učinkovitost također može varirati ovisno o temperaturi, pH tla)
- → Poteškoće s pohranom i primjenom: biognojiva su često osjetljiva na uvjete skladištenja poput vlage, UV zračenja i temperature, što može smanjiti njihovu učinkovitost
- → Rizik od unošenja nepoželjnih mikroorganizama: rijetko je, no ukoliko biognojiva nisu pravilno testirana, neka biognojiva mogu sadržavati onečišćivače ili teške metale

Biognojiva predstavljaju ekološki prihvatljiviju alternativu kemijskim gnojivima i imaju velik potencijal u održivoj poljoprivredi. Unatoč tome, potrebno ih je pravilno primjenjivati u skladu s uvjetima tla, klime i vrstom usjeva. [25]

Potencijal korištenja biognojiva u Hrvatskoj

Biognojiva predstavljaju održivu alternativu mineralnim gnojivima, s potencijalno za poboljšanje kvalitete tla i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. U ovom poglavlju analiziran je potencijal njihove šire primjene u Hrvatskoj na temelju podataka prikupljenih upitnikom, s naglaskom na trenutne navike korištenja gnojiva i spremnost korisnika na veća ulaganja u organska rješenja.

Najveći broj potrošača u obje kategorije godišnje potroši do 50€ godišnje, no udio onih koji troše manji iznos je veći kod organskih gnojiva što može upućivati na to da su organska gnojiva ili rjeđe korištena ili dostupna u manjim količinama. Gotovo jednak broj ispitanika troši više na obje vrste gnojiva, ali nešto više njih troši na mineralna gnojiva. Razlog tomu može biti činjenica da su mineralna gnojiva u nekim oblicima i namjenama učinkovitija za veće površine ili intenzivniju proizvodnju.

Koliko godišnje trošite na mineralna gnojiva?	Hrvatska	
0-50 €	18	38%
50-100 €	10	21%
100-200€	8	17%
200-500 €	4	9%
Više od 500€	7	15%
Nisam siguran/na	0	0%

Koliko godišnje trošite na organska gnojiva?	Hrvatska	
0-50 €	22	47%
50-100 €	9	19%
100-200€	4	9%
200-500 €	5	11%
Više od 500€	5	11%
Nisam siguran/na	1	2%

Veća nesigurnost kod organskih gnojiva mogla bi upućivati na manje informiranosti ili manje transparentnosti u kupovini. S obzirom na podatak da 78% ispitanika želi znati više o organskim gnojivima što predstavlja potencijalnu priliku za proizvođače i distributere organskih gnojiva da se učine dostupnijima, konkurentnijima i učinkovitijima.

Biste li bili voljni platit više za organsko gnojivo ako potječe iz obnovljivih izvora?	Hrvatska	
Da	34	72%
Ne	13	28%

Želite li znati više o organskim gnojivima?	Hrvatska	
Da	45	78%
Ne	13	22%

Analiza svih grafova jasno pokazuje da većina ispitanika u Hrvatskoj izražava želju za informiranjem i plaćanjem većeg iznosa za organska gnojiva, unatoč činjenici da trenutna financijska ulaganja u organska gnojiva nisu velika. Pozitivan stav ukazuje na tržišni potencijal i potrebu za proširenjem dostupnosti organskih gnojiva.

Pokazni primjer u Hrvatskoj

Ecodig je hrvatsko ekološko i organsko gnojivo koje proizvodi OPG Dario Cenger iz Grubišnog Polja. Razvijeno je kao odgovor na potrebu za domaćim rješenjima u poljoprivredi, s ciljem smanjenja ovisnosti o uvozu i promicanja održive poljoprivrede u Hrvatskoj.

OPG Dario Cenger je dio Grupe Cenger, koja uključuje više poslovnih subjekata:

- → Bioel d.o.o.: upravlja bioplinskom elektranom snage 1MW, koja proizvodi zelenu energiju i digestat kao nusprodukt
- → Biodem: distribucija i prodaja Ecodig gnojiva
- → OPG Jerko Cenger bavi se ekološkim stočarstvom, ratarstvom i uzgojem ljekovitog bilja
- → PZ Zrno koji organizira kooperaciju i transport.

Ova integracija omogućuje zatvoreni krug proizvodnje, od stočarstva do proizvodnje gnojiva i distribucije, čime se promiče kružna ekonomija i održivost.

Ecodig je peletirano organsko-mineralno gnojivo proizvedeno anaerobnom fermentacijom biljnih materijala i stajskog gnoja (specifikacije u tablici ispod).

Formulacija	Ukupni organski dušik	Fosfor	Kalij	Sumpor	Organski ugljik	Ukupna organska tvar
NPK 2:5:8	2%	5%	8%	8%	33%	78%
NPK 2:7:1	2%	7%	11%	10%	27%	60%

Obje formulacije imaju pH vrijednost 7 što ih čini pogodnima za primjenu na kiselim tlima. Ecodig gnojiva su visoko topiva što ih čini prikladnima za sve tipove tla, uz to značajno doprinosi povećanju prinosa usjeva. Ne sadrži ostatke životinjskog podrijetla, što ga čini pogodnim za ekološku proizvodnju. Proizvod je certificiran prema standardima EU za ekološku proizvodnju i kontroliran HACCP sustavom. [26]

Podaci za postrojenje BIOEL za 2021. godinu su sljedeći:

- proizvedena električna energija iznosi 9,238.500 MWh
- iskoristiva toplinska energija iznosi 4,040.552 MWh
- energija primarnog goriva iznosi 22,010.472 MWh [27]

Pokazni primjeri iz Europske unije

Proizvodnja biognojiva u Europskoj uniji postaje sve značajniji segment održive poljoprivrede i kružnog gospodarstva. S obzirom na rastuću potrebu za smanjenjem ovisnosti o sintetskim gnojivima, kao i za učinkovitijim iskorištavanjem biorazgradivog otpada, mnoge članice EU ulažu u razvoj inovativnih rješenja za proizvodnju visokokvalitetnih biognojiva.

Pokazni primjeri su raspoređeni u 6 europskih zemalja – Irska, Poljska, Finska, Belgija, Španjolska i Hrvatska. Svaka od tih zemalja prikazuje različit pristup u korištenju sirovina, tehnologija i upravljanja procesom proizvodnje biognojiva. Svaka od tih zemalja donosi specifične uvjete, resurse i zakonodavne okvire koji oblikuju njihove modele proizvodnje.

Irska

U Irskoj uspješno radi 7 pokaznih primjera: Teagasc arable trial, Teagasc grassland trial, Enva Ireland Ltd (AMS Project), Arigna Fuels, Sylvester Bourke, Teagasc trial (organic), Uisce Eireann.

Jedan od istaknutijih pokaznih primjera je Enva Ireland Ltd, projekt kružnog gospodarstva koji oporabljuje otpadni materijal u tržišno prihvatljiv proizvod.

Proces pretvara iskorištenu kiselinu u granulirani amonijev sulfat visoke čistoće, s fizičkim i kemijskim svojstvima usporedivim s konvencionalnim kemijskim gnojivom. Postrojenje ima kapacitet obrade do 14.000 tona otpadne amonijeve sulfatne otopine godišnje, što rezultira proizvodnjom približno 4.500 tona granuliranog AMS gnojiva.

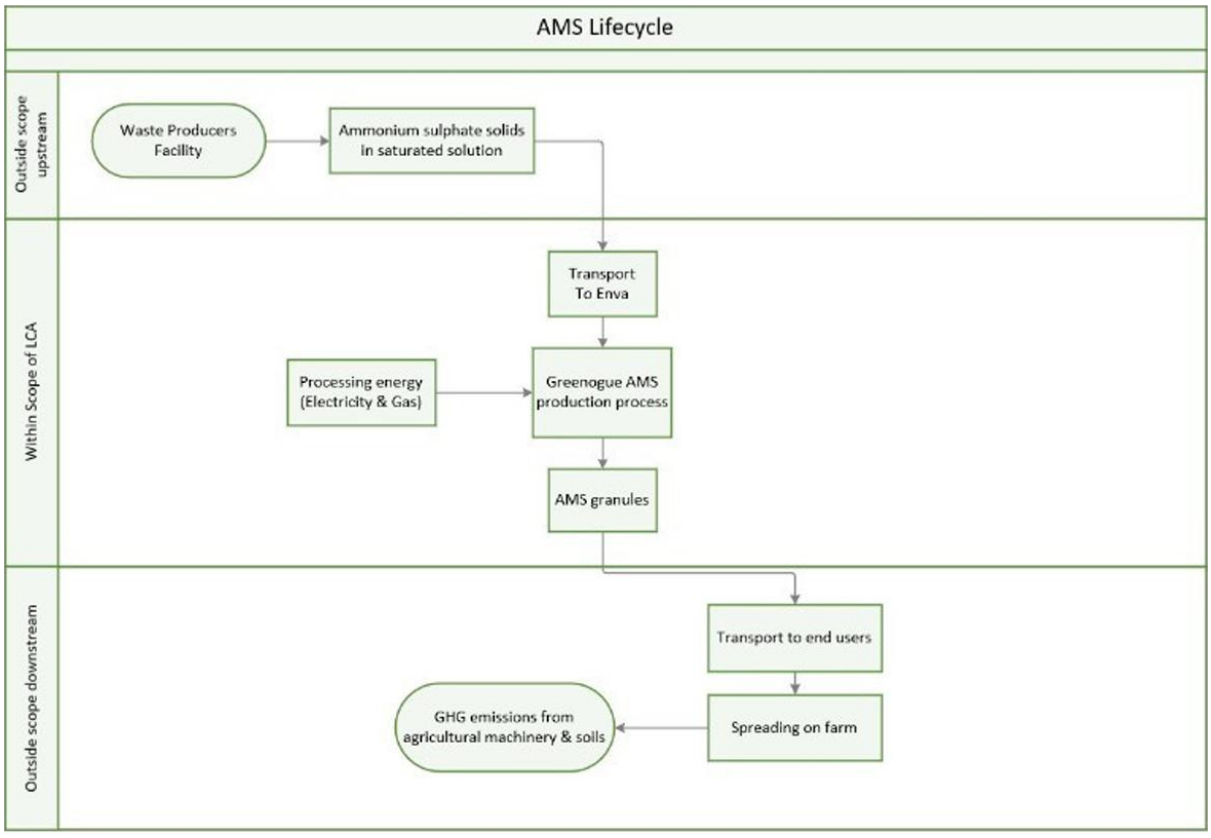
U skladu s kriterijima za prestanak statusa otpada, materijal će biti u skladu s uredbama vezanima na norme i zahtjeve za stavljanje gnojiva na tržište EU-a.

AMS gnojivo se proizvodi u dvostupanjskom procesu:

1. Postrojenje za desalinizaciju i odvodnjavanje – otopina soli se koncentrira i precipitira pomoću temperature i tlaka u kratkim ciklusima. Nastala slana suspenzija prelazi u drugu fazu, dok se preostala voda (otprilike 66% ukupne količine) ponovno koristi u raznim industrijskim procesima
2. Faza granulacije – kristalna suspenzija se centrifugira, zatim se tretira vrućim zrakom kako bi se kristali odvojili, nakon čega se ekstruzijom i prosijavanjem oblikuju u granule odgovarajuće veličine za upotrebu kao gnojivo

Tijekom cijelog procesa ne nastaje otpad, jer se sav materijal koji ne ispunjava specifikacije ponovno vraća u proces dok se ne postigne željena veličina granula.

Prema provedenim istraživanjima je utvrđeno da gnojivo Enva AMS ima 92% do 98% manji ugljični otisak u usporedbi s konvencionalno proizvedenim amonijevim sulfatom. [28]



Poljska

Jedan od uspješnih pokaznih primjera dolazi iz Poljske, PolFerAsh – Polish Fertilizers from Ash. Rješenje ovog primjera se odnosi na proizvodnju višekomponentnih krutih i suspenzijskih gnojiva (NP, NPK), koja se proizvode, između ostalog, na temelju pepela iz industrijskog otpadnog mulja kao alternativnog izvora fosfora i mikroelemenata, i/ili pepela iz pilećeg gnojiva kao izvora kalija.

Ovakav pristup omogućuje smanjenje upotrebe konvencionalnih gnojiva kao izvora fosfora te povećanje otpornosti na oscilacije cijena gnojiva i sirovina za proizvodnju gnojiva na svjetskim tržištima.

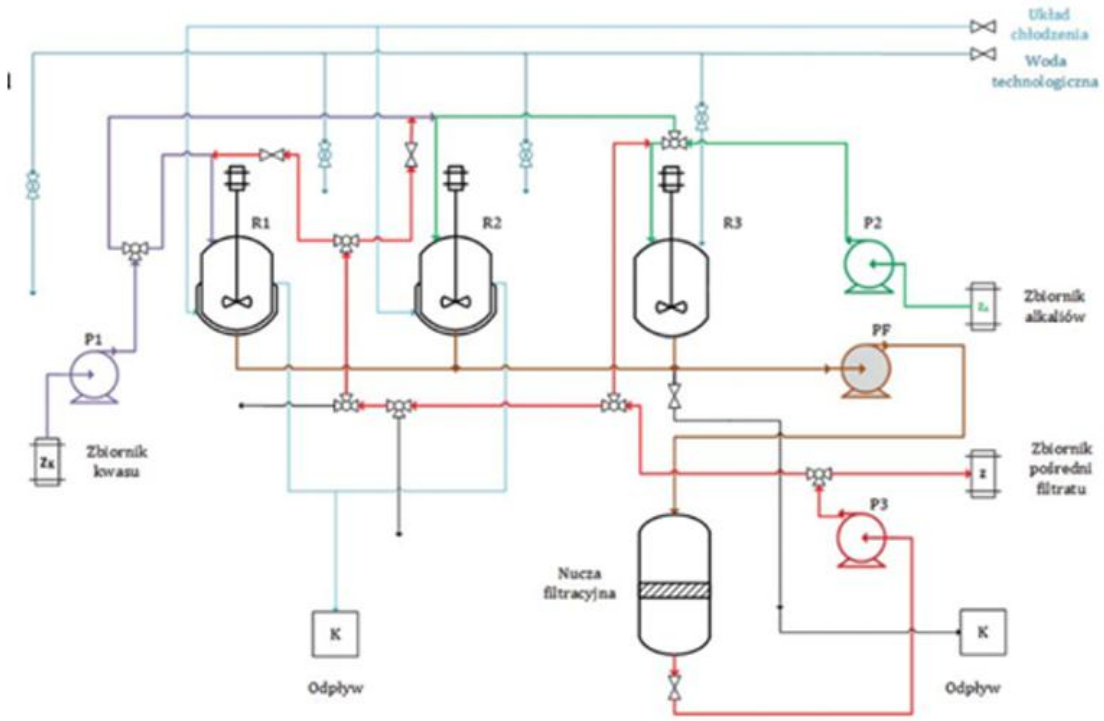
U okviru ovog projekta razvijena je tehnologija za proizvodnju proizvoda poput amonijevog fosfata te kalcijevog i amonijevog nitrata, koji se proizvode iz obnovljivih izbora. Tehnologija PolFerAsh predstavlja ekološki prihvatljivu metodu proizvodnje gnojiva korištenjem alternativnih fosfornih sirovina, na primjer, pepeo iz kanalizacijskog mulja. Tijekom istraživanja, fosforna kiselina se pokazala kao učinkovito sredstvo za ekstrakciju, zahvaljujući svojoj sposobnosti da postigne vrlo visok stupanj iskorištenja fosfora do 99%. Dobivene otopine iz procesa ekstrakcije fosfornom kiselinom korištene su za proizvodnju gnojiva na bazi fosfora, dok se preostali otpad nakon ekstrakcije fosfora iskorištava u građevinskoj industriji čime se postigla potpuna iskoristivost materijala i smanjenje otpada.

Oporaba fosfora iz pepela kanalizacijskog mulja pomoću kiselina se provodi u dvije faze:

1. Faza 1 podrazumijeva ekstrakciju fosfora pomoću dušične i sumporne kiseline
2. Faza 2 obuhvaća precipitaciju spojeva fosfora iz dobivenih ekstrakata u obliku kalcijevog dihidrogenfosfata, korištenjem spojeva kalcija

Dobiveni proizvod se može koristiti kao suspenzijsko gnojivo ili se može podvrgnuti granulaciji ili izravnom sušenju. Ova tehnologija omogućuje oporabu fosfora, ali i sekundarnih hranjivih tvari poput kalcija i magnezija te mikroelemenata poput cinka, bakra i željeza.

Proizvedeno gnojivo zadovoljava standardne zahtjeve u pogledu sadržaja hranjivih tvari, topljivosti ali i sadržaja teških metala te je pogodno za certifikaciju i plasman na domaće tržište. [29]



Finska

Na finskom području se ističe 7 pokaznih primjera od kojih je posebno zanimljiv Biolan Oy – tvrtka za proizvodnju organskih i organo-mineralnih gnojiva.

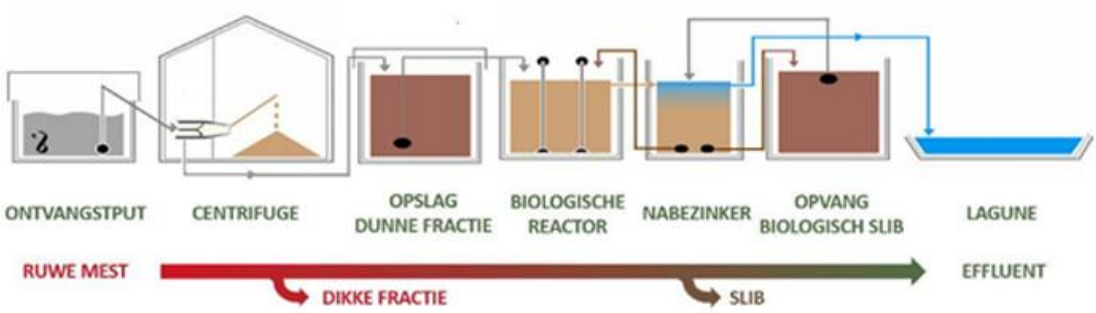
Biolan Oy je osnovan 1974. godine s ciljem proizvodnje prirodnog gnojiva od pilećeg stajskog gnoja. Danas proizvodi širok asortiman različitih gnojiva za različite razine poljoprivrede, koristeći razne sirovine. Ima industrijsku proizvodnju u velikom opsegu. Granulirana gnojiva proizvode se sušenjem, peletiranjem i granuliranjem, koristeći različite sirovine ovisno o potrebnom sadržaju hranjivih tvari u proizvodu. Proizvodni proces je usklađen s europskom direktivom o nusproizvodima životinjskog podrijetla. [30]

Belgija (Flandrija)

U Belgiji je razvijeno 7 pokaznih primjera od kojih se ističe Bio Sterco – moderno postrojenje za preradu stajskog gnoja koja se prvenstveno bavi obradom svinjskog gnoja. Tvrtka je tražila način i prikladnu tehnologiju kako bi se mogla obraditi rjeđa frakcija svinjskog gnoja. Istraživanja su pokazala da je oporaba amonijskog dušika u obliku amonijevog sulfata putem procesa desorpcije i ispiranja adekvatna tehnologija. Na taj način se smanjuje opterećenje biološke obrade, štedi se kisik i smanjuju se emisije.

Uz to, s aspekta upravljanja otpadnim vodama, cilj je bio dodatno pročistiti otpadne vode nastale obradom stajskog gnoja pomoću biljnog sustava pročišćavanja kako bi se maksimalno iskoristila pročišćena voda kao drenažna voda tijekom sušnih ljeta.

Svježi gnoj se najprije odvaja, nakon čega se amonijski dušik u tekućoj frakciji pomoću bakterija u biološkom reaktoru pretvara u bezopasni dušik u plinovitom obliku.[31]



Španjolska (Katalonija)

Na području španjolske regije Katalonija nalazi se 7 pokaznih primjera od kojih se posebno ističe Fertinagro koji se bavi razvojem inovativnih tehnologija za oporabu hranjivih tvari iz stajskog gnoja i njihovo uključivanje u lanac proizvodnje komercijalnih gnojiva. Fertinagro Biotech je nositelj Odjela za prehranu bilja u sklopu Grupo Trevalis, poslovne grupe koja djeluje pod okriljem holdinga Inversalia Patrimonio, a koja je aktivna u agro-prehrambenom sektoru i sektoru obnovljivih izvora energije. Već gotovo 40 godina rade na postizanju konkurentnije, vrjednije i održivije poljoprivrede. Cijela grupa godišnje proizvodi 1.800.000 tona raznih vrsta tehnoloških i održivih gnojiva koja se plasiraju na svjetskom tržištu.

Vrste otpada koje se koriste su organski materijal životinjskog i biljnog podrijetla (stajski gnoj, nusproizvodi životinjskog podrijetla, biljni otpad). Tehnologije koje se koriste uključuju anaerobnu digestiju, fermentaciju, hidrotermalnu konverziju te kompostiranje.

Organski proizvodi za gnojidbu dobiveni oporabom hranjivih tvari su:

- biostimulansi – tvari ili mikroorganizmi koji se primjenjuju na biljke ili u tlo s ciljem da stimuliraju prirodne procese biljaka, na primjer alge i ekstrakti algi, korisne gljivice
- tekući koncentrati bogati hranjivim tvarima
- personalizirana gnojiva [32]

Zakonodavni okvir

Europski zakonodavni okvir

Ključni europski propisi koji reguliraju proizvodnju, označavanje i upotrebu gnojiva u Europskoj uniji su sljedeći:

Uredba (EU) 2019/1009: regulira stavljanje svih gnojiva na tržište, uvodi obavezno CE oznake, kategorije materijala te granične vrijednosti onečišćivača (određuje maksimalne razine kontaminanata i patogena te minimalni sadržaj glavnih hranjiva (N,P,K) ovisno o kategoriji proizvoda. Biognojiva su razvrstana u sljedeće kategorije: organska gnojiva, organsko-mineralna gnojiva, biostimulansi biljaka i mješavine poput komposta i mineralnih gnojiva. Materijali od kojih se biognojiva dobivaju moraju biti sigurni, stabilni i prikladni za poljoprivrednu primjenu te zadovoljiti stroge granice za teške metale (kadmij, olovo, živa, krom i nikal), patogene (Salmonella, E.coli) i zagađivače (plastika, staklo, metal). Ključni materijali su: kompost, digestat iz anaerobne digestije, hrana i nusproizvodi hrane, mikroorganizmi, biougljen i obrađeni stajski gnoj. Proizvođač mora na deklaraciji navesti: vrstu gnojiva i njihovu funkciju, hranjiva, način primjene i doziranje te izjavu o sukladnosti sa zahtjevima što omogućuje korisnicima da budu informirani o kemijskom i agronomskom sastavu. [33]

Direktiva 91/676/EEZ (Nitratna direktiva): cilj nitratne direktive je spriječiti i smanjiti onečišćenje podzemnih i površinskih voda nitratima koji potječu iz poljoprivrednih izvora, uključujući mineralna i organska gnojiva jer višak nitrata može izazvati eutrofikaciji (cvjetanje algi, smanjenje koncentracije kisika)Direktiva se ne odnosi na proizvodnju ili označavanje biognojiva, već isključivo na njihovu primjenu na poljoprivrednim površinama i obuhvaća sva gnojiva koja sadrže dušik, što uključuje stajski gnoj, digestat, kompost i druga organska gnojiva. U sklopu Direktive, države članice EU su obavezne odrediti ranjiva područja (područja gdje voda sadrži više od 50mg/L nitrata ili su podložna eutrofikaciji). Dodatno, države članice moraju pratiti kvalitetu voda i svake 4 godine izvještavati Europsku komisiju o stanju. Jedna od obveza država članica je promicanje dobre poljoprivredne prakse, educirati poljoprivrednike o održivoj upotrebi gnojiva. [34]

REACH uredba (EZ)br. 1907/2006, puni naziv Registracija, evaluacija, autorizacija i ograničavanje kemikalija. Iako REACH uredba nije primarno usmjerena na biognojiva, poveznica između REACH uredbe i biognojiva postoji i primjenjuje se na biognojiva s kemijskim sastojcima, na primjer: huminske kiseline, mikroelemente ili stabilizatore koji nisu organskog podrijetla. REACH uredba se ne odnosi na žive mikroorganizme, na primjer: bakterije, gljivice i alge. [35]

Hrvatski zakonodavni okvir

Hrvatski zakonodavni okvir vezan uz proizvodnju i upotrebu biognojiva obuhvaća niz zakona te su usklađeni s pravilnikom i zakonima Europske unije.

Hrvatski zakonodavni okvir čine sljedeće:

Zakon o gnojidbenim proizvodima NN 39/2023: Ovim se Zakonom utvrđuju nadležna tijela i zadaće nadležnih tijela za provedbu ovog Zakona, uvjeti za ovlaštenje laboratorija za kontrolu kakvoće HR gnojidbenih proizvoda, tijelo za ocjenjivanje sukladnosti EU gnojidbenih proizvoda, zahtjevi koje moraju ispunjavati HR gnojidbeni proizvodi i EU gnojidbeni proizvodi, stavljanje na raspolaganje na tržište RH gnojidbenih proizvoda i EU gnojidbenih proizvoda, obveze gospodarskih subjekata, uvjeti za obavljanje upravnog i inspekcijskog nadzora te prekršajne odredbe. Pojam gnojidbeni proizovdi uključuje organska, mineralna i organo-mineralna gnojiva, poboljšivače tla, biostimulatore, sredstva za poboljšanje svojstava tla, kulture mikroorganizama. U okviru Zakona, biognojiva su svrstana pod organska gnojiva ili kulture mikroorganizama. Zakon omogućava korištenje CE označenih proizvoda bez dodatne registracije u RH. Zakon o gnojidbenim proizvodima direktno provodi Uredu (EU) 2019/1009, ali i omogućuje nacionalnu regulaciju proizvoda bez CE oznake koji moraju biti upisani u nacionalni Upisnik i vrijede samo na teritoriju RH. U okviru Zakona postoje ograničenja vezana uz teške metale, patogene mikroorganizme i nečistoće te je obavezna jasna etiketa s informacijama o vrsti, sastavu gnojiva, proizvođaču i uputama za upotrebu. [36]

Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva: propisuje opća načela dobre poljoprivredne prakse u korištenju gnojiva, razdoblje u tijeku godine kada nije dozvoljena primjena gnojiva na poljoprivrednim tlima, način primjene, uvjeti za primjenu gnojiva blizu vodotoka, postupci primjene mineralnog i organskog gnojiva [37]

Za proizvodnju i plasiranje biognojiva, proizvođač mora imati odobrenje Ministarstva poljoprivrede, provoditi laboratorijska ispitivanja sukladno propisanim normama te voditi evidenciju o količinama i distribuciji.

Hrvatski zakonodavni okvir je u velikoj mjeri usklađen s EU propisima te potiče uporabu alternativnih sredstava za zaštitu i gnojidbu biljaka, uključujući biognojiva.

Hrvatski zakonodavni okvir podložan je čestim izmjenama i dopunama, sukladno potrebama društvenih, gospodarskih i pravnih promjena. Kako bi informacije bile točne i relevantne, važno je redovito provjeravati najnovije verzije zakona, pravilnika i drugih propisa u službenim izvorima, poput "Narodnih novina" ili mrežnih stranica nadležnih državnih tijela. Samo tako se može osigurati usklađenost s važećim zakonodavstvom. [38]

Zaključak

Biognojiva predstavljaju važan korak prema održivijoj i ekološki prihvatljivijoj poljoprivredi. Kao prirodna alternativa mineralnim (sintetskim) gnojivima, biognojiva omogućuju obnovu plodnosti tla, smanjenje onečišćenja okoliša te bolju iskoristivost i manje gubitke dostupnih organskih sirovina. Primjena biognojiva doprinosi razvoju kružnog gospodarstva.

Usprkos brojnim prednostima, poput smanjenja emisija stakleničkih plinova i bolje mikrobiološke aktivnosti tla te poboljšanja strukture tla, biognojiva imaju i određene nedostatke. Nedostaci su primjerice promjenjiva kvaliteta te zahtjevi za pravilno skladištenje i pravilnu primjenu, kao i mogućnost sadržavanja određenih onečišćivača.

Biognojiva se mogu proizvesti različitim tehnološkim procesima, kao što su kompostiranje, membranski sustavi, taloženje fosfora, anaerobna digestija.

Brojni primjeri dobre prakse diljem Europske unije pokazuju kako su biognojiva budućnost te pokazuju izvedivost navedenih tehnoloških procesa. Dodatno, pokazuju kako se biognojiva mogu učinkovito integrirati u suvremene poljoprivredne prakse. Primjena biognojiva može biti ključan alat u postizanju ciljeva Europskog zelenog plana i Strategije od polja do stola, koji predviđaju smanjenje upotrebe kemijskih goriva i prelazak na regenerativne oblike poljoprivrede.

Zakonodavni okvir Republike Hrvatske jasno definira uvjete za proizvodnju, promet i primjenu biognojiva u skladu sa zakonodavnim okvirom Europske unije, čime se osigurava maksimalna učinkovitost i sigurnost za okoliš i čovječanstvo.

Ulaganje u znanje, infrastrukturu i edukaciju je ključno za širu primjenu biognojiva i prijelaz prema zelenijoj i otpornijoj poljoprivredi budućnosti. Zaključno, biognojiva predstavljaju održivu alternativu koja omogućuje učinkovitije korištenje dušika, smanjenje utjecaja na okoliš i jačanje otpornosti agroekosustava.

Literatura

1. Kurniawati, A., Toth, G., Ylivainio, K. et al., 2023
2. Kumar S., Diksha i sur., 2022
3. Europska komisija. (2020). A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system
4. Bašić, F. (2021). Tlo, gnojidba i prinos. Hrvatska udruga za zaštitu tla. Preuzeto s https://tlo-i-biljka.eu/Gnojidba/eKnjiga_Tlo-gnojidba-prinos.pdf
5. Müller, B., Herrmann, M. N., Lewandowski, I., Müller, T., Hartung, J., & Bauerle, A. (2024). The Effect of Biobased N and P Fertilizers in a Winter Wheat–Ryegrass Crop Rotation. Agronomy https://doi.org/10.3390/agronomy14102424
6. Wester-Larsen, L. (2024). Novel biobased nitrogen fertilisers: Risks of nitrogen losses, agronomic performance & effects on soil quality (Doctoral dissertation). University of Copenhagen, Department of Plant and Environmental Sciences.
7. Buckwell, A., & Nadeu, E. (2016). Nutrient recovery and reuse (NRR) in European agriculture: A review of the issues, opportunities, and actions. RISE Foundation. Retrieved from https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2020/06/2016_RISE_NRR_Full_EN_compressed.pdf
8. Wester-Larsen, L. (2024). Novel biobased nitrogen fertilizers: Risks of nitrogen losses, agronomic performance & effects on soil quality (Doctoral dissertation). University of Copenhagen, Department of Plant and Environmental Sciences.
9. Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8th ed.). Pearson.
10. Hernandez Mora, A., Duboc, O., Lombi, E., Bünemann, E. K., Ylivainio, K., Symanczik, S., Delgado, A., Abu Zahra, N., Nikama, J., Zuin, L., Doolette, C. L., Eigner, H., & Santner, J. (2024, August 15). Fertilization efficiency of thirty marketed and experimental recycled phosphorus fertilizers. Journal of Cleaner Production, 467, Article 142957. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142957
11. Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J., & Zessner, M. (2016). Phosphorus recovery and recycling – closing the loop. Science for Environment Policy, Future Brief 14. European Commission, DG Environment. https://data.europa.eu/doi/10.2779/80423
12. Steffens, M., & Bünemann, E. K. (2025). Quality of bio based fertilizers is decisive for improving soil quality in Europe—a meta analysis. Soil Use and Management, 41(1), 1–12. https://doi.org/10.1111/sum.70012
13. Müller, B., Wester Larsen, L., Jensen, L. S., Salo, T., Recena Garrido, R., Arkoun, M., D'Oria, A., Lewandowski, I., Müller, T., & Bauerle, A. (2024). Agronomic performance of novel, nitrogen rich biobased fertilizers across European field trial sites. Field Crops Research, 316, 109486. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109486
14. Steffens, M., & Bünemann, E. K. (2025). Quality of bio based fertilizers is decisive for improving soil quality in Europe—a meta analysis. Soil Use and Management, 41(1), 1–12. https://doi.org/10.1111/sum.70012
15. Biorefine Cluster Europe. (2023, listopad). Stripping scrubbing [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.biorefine.eu/wp-content/uploads/2023/10/Stripping-scrubbing.pdf

16. Sigurnjak I. i sur. (2019) Production and performance of bio based mineral fertilizers from sewage sludge using ammonia (stripping–scrubbing) technology. Journal of Cleaner Production
17. Biorefine Cluster Europe. Thermal and hydrothermal conversion brochure [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.biorefine.eu/wp-content/uploads/2023/10/Thermal-and-hydrothermal-conversion-brochure-1.pdf
18. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
19. Biorefine Cluster Europe. Anaerobic digestion brochure [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.biorefine.eu/wp-content/uploads/2023/10/Anaerobic-digestion-brochure-1.pdf
20. (Biorefine Cluster Europe. (2023, listopad). Membrane based system brochure [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.biorefine.eu/wp-content/uploads/2023/10/Membrane-based-system-brochure-1.pdf
21. Seven Seas Water Group. (2023). Phosphorus removal from wastewater
22. Magrí, A., Carreras Sempere, M., Biel, C., & Colprim, J. (2020). Recovery of phosphorus from waste water profiting from biological nitrogen treatment: Upstream, concomitant or downstream precipitation alternatives. Agronomy, 10(7), 1039. https://doi.org/10.3390/agronomy10071039
23. SMART Plant. SMARTech downstream brochure [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.smart-plant.eu/images/marketing-flyers/SMARTechDownstreamB_web.pdf
24. Ecochain. (2025, March 11). Cradle to grave in LCA – What is it & how does it work? Ecochain. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://ecochain.com/blog/cradle-to-grave-in-lca/
25. Kumar, S., Diksha, Sindhu, S. S., & Kumar, R. (2022). Biofertilizers: An eco-friendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability
26. Ecodig. About us. Preuzeto 09. lipnja, 2025, s https://ecodig.hr/en/about-us/
27. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
28. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
29. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
30. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
31. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
32. NovaFert. (2024, veljača). ATLAS – Nutrient oriented living labs [PDF]. Preuzeto 9. lipnja 2025. s https://www.novafert.eu/wp-content/uploads/2024/02/ATLAS-revised.pdf
33. European Parliament & Council. (2019, 5. lipnja). Regulation (EU) 2019/1009 on the making available on the market of EU fertilising products (Official Journal L 170, 25.6.2019, str. 1–114). Preuzeto 10. lipnja 2025. s https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/ALL/?uri=CELEX:32019R1009
34. Council of the European Communities. (1991, 12. prosinca). Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural

sources (OJ L 375, 31.12.1991, pp. 1–8). Preuzeto 10. lipnja 2025. s https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:31991L0676
35. European Parliament & Council. (2006, 18. prosinca). Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) (OJ L 396, 30.12.2006, pp. 1–849). Preuzeto 10. lipnja 2025. s https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32006R1907
36. Zakon.hr. (2023, 7. travnja). Zakon o gnojidbenim proizvodima. Preuzeto 10. lipnja 2025. s https://www.zakon.hr/z/3496/zakon-o-gnojidbenim-proizvodima
37. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja. (2008, 19. svibnja). Pravilnik o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva [NN 56/2008]. Preuzeto 10. lipnja 2025. s https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_05_56_1937.html
38. Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije Republike Hrvatske. (n.d.). Gnojivo – nacionalni provedbeni propisi i nadležno tijelo. Preuzeto 10. lipnja 2025. s https://mzozt.gov.hr/proizvodi/gnojivo-7854/7854?