

E-GRADIVO:

Kroženje hranil, organske snovi, procesov in informacij v kmetijstvu

Marija Klopčič¹, Karmen Erjavec², Matej Podgornik Milosavljevič¹, Sonja Rogina¹, Marija Bric¹,
Tina Perčič¹, Janez Klopčič¹

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

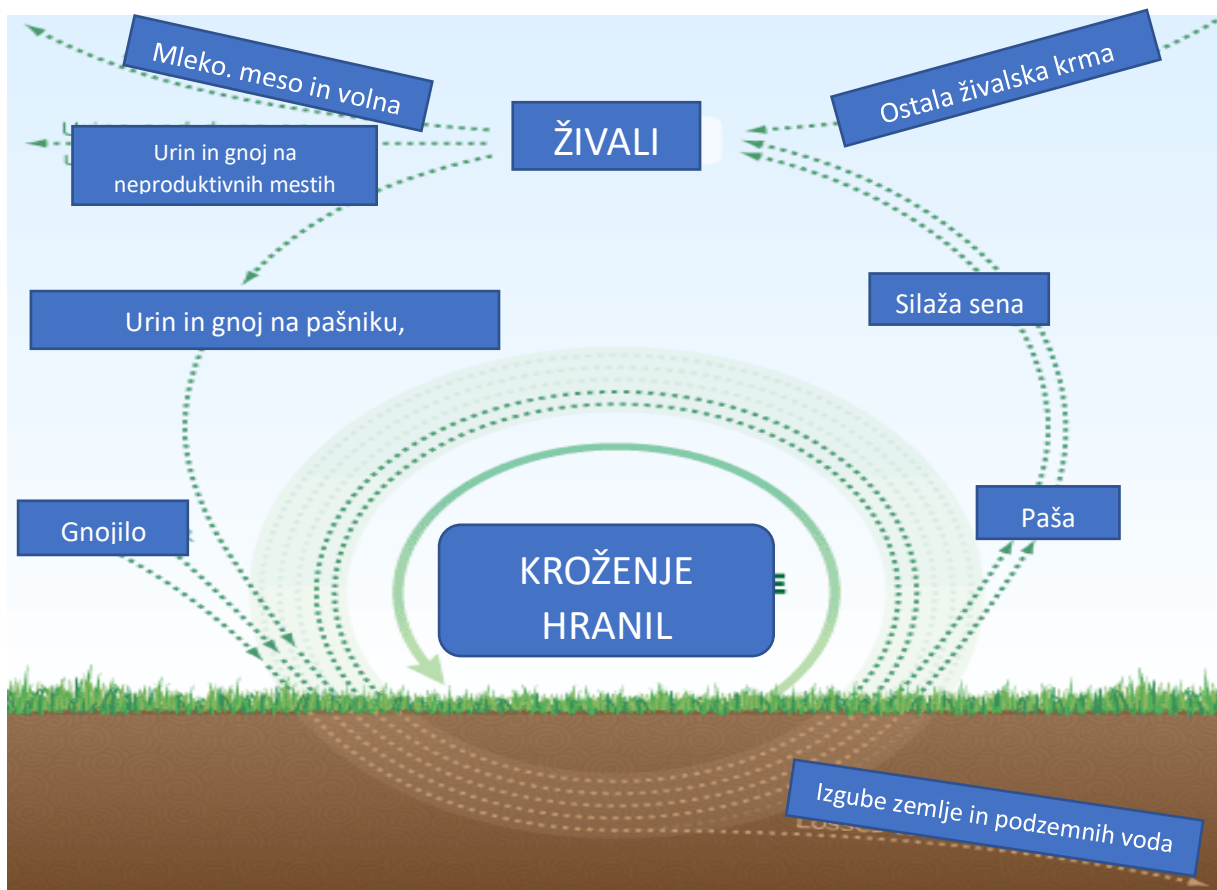
² Univerza v Novem mestu, Fakulteta za ekonomijo in informatiko, Na Loko 2, 8000 Novo mesto

UVOD

Kroženje hranil na govedorejski kmetiji je tok organskih in anorganskih elementov, ki so prisotni v ekosistemu. Pri naravnem kroženju snovi imajo tla pomembno vlogo, ker se v njih vežejo organske snovi in hranila. Kroženje hranil omogoča, da tla in življenje v tleh vsakodnevno prejemajo potrebna hranila za svoj obstoj, pri čemer se hranila pretvarjajo iz ene oblike v drugo in jih na ta način lahko različni organizmi uporabljajo na za njih najustreznejši način. Tako se mora za rastline, ki nimajo sposobnosti sprejema atmosferskega dušika, le-ta fiksirati in pretvoriti v amonij in nitrat.

Organske snovi, kot so koreninice ali listi, morajo organizmi, ki živijo v tleh najprej razgraditi na preproste spojine, da jih tako razgrajene lahko rastline uporabijo. Za rast rastlin je pomemben mineralni dušik, ki ga nekatere bakterije v tleh spreminjajo v atmosferski dušik. Gnojila vsebujejo dušik, fosfor, kalij in žveplo, ki so glavna hranila in so pomembni za razvoj in rast rastlin. Namenjena so nadomestitvi izgubljenih hranil v različnih delih cikla. Odvečni fosfati in dušik, ki jih rastline ne porabijo prehajajo v vode, kot so jezera ali reke in tako vplivajo tudi na življenje v vodnih sistemih.

V procesu kroženja hranil so prisotni štirje cikli kroženja hranil, ki so ključnega pomena pri ohranjanju trajnostnega življenja ekosistema, in sicer: ogljikov cikel, kroženje fosforja, kroženje žvepla in kroženje vode. Fosfor, kalij in žveplo so skupaj z dušikom glavna hranila, ki jih vsebujejo gnojila. Živali zaužijejo fosfor, kalij in žveplo s krmo, kot svežo pašo, senom ali s silažo. Z izdelki v obliki mleka in/ali mesa so nekatera hranila, ki jih živali zaužijejo, dostopna ta prehrano ljudi, največ hranil pa se izloči in vrne nazaj na kmetijske površine. Tako se urin in živalski iztrebki goveda porabijo za gnojenje kmetijskih površin: njivskih in travniških površin.



Energetska učinkovitost in emisije ogljika so danes vroča tema in so deležni vedno večje pozornosti. Posamezniki, različne organizacije in industrija si prizadevajo za boljše razumevanje posledic svojih dejavnosti na okolje, zato so izrazi, kot je »vezava ogljika«, »podnebne spremembe«, »ogljčni odtis« in »emisije toplogrednih plinov« vse bolj prisotni na vseh področjih našega življenja. Pariški sporazum predlaga in si prizadeva za ohranitev dviga svetovne povprečne temperature v okviru 2°C do konca tega stoletja in nadzor v okviru 1,5°C. Fosilna goriva, kot so premog, nafta in zemeljski plin, proizvajajo veliko število onesnaževal in CO₂, kar povzroča onesnaževanje okolja in učinek tople grede. Obnovljiva energija pridobiva na pomenu zaradi nizkih emisij in trajnosti. Kljub nestanovitnosti obnovljivih virov pri proizvodnji električne energije, se posveča velika pozornost razvoju njene proizvodnje. Elektroenergetsko-toplotni integrirani energetski sistem (IES) bi lahko zagotovil ravnotežje med povpraševanjem in dobavo električne energije kot toplote in bi pomembno prispeval na področju razvoja obnovljivih virov energije in zmanjševanja emisije ogljika.

Večina ogljika vstopa iz ozračja v ekosistem v **procesu fotosinteze**, v katerem rastline s pomočjo svetlobe v asimilacijskih tkivih reducirajo CO₂ do sladkorja. Je gonilna sila rasti rastlin in posledičnega nastajanja organske snovi, ki jo porabijo živali in talni mikroorganizmi. Krma in travniki zajemajo ogljikov dioksid med rastjo rastlin in vežejo ogljik v podzemnih koreninah. Travinje shrani do 30 % svetovnega organskega ogljika, trajno travinje pa je še posebej učinkovito pri vezavo ogljika, saj ga pod zemljo shranijo do 97 %. Govedo oddaja toplogredne pline, kot je metan (CH₄), ki je naravni stranski produkt fermentacije vampa. Emisije ogljikovega dioksida povzročajo kurjenje fosilnih goriv za pripravo krme in sam postopek krmljenja živali. Možna rešitev tega problema bi bilo izvajanje podaljšane paše, ker bi se s tem zmanjšala odvisnost od vsakodnevnega krmljenja, s tem pa bi se zmanjšale emisije ogljikovega dioksida.

OGLIJKOV CIKEL

Ogljik je prisoten v različnih oblikah. Najpogostejše ga zasledimo v obliki ogljikovega dioksida, grafitnega diamanta in karbonatov. V ozračju se ogljik nahaja predvsem v obliki ogljikovega dioksida. Nastaja zaradi dihanja ljudi, živali in rastlin in kot posledica sežiganja fosilnih goriv. Prst vsebuje ogljik v obliki odmrlega rastlinskega materiala ter v številnih bakterijah in drugih majhnih organizmih, ki tam živijo. Rastline ga porabijo pri izdelavi organskih spojin.

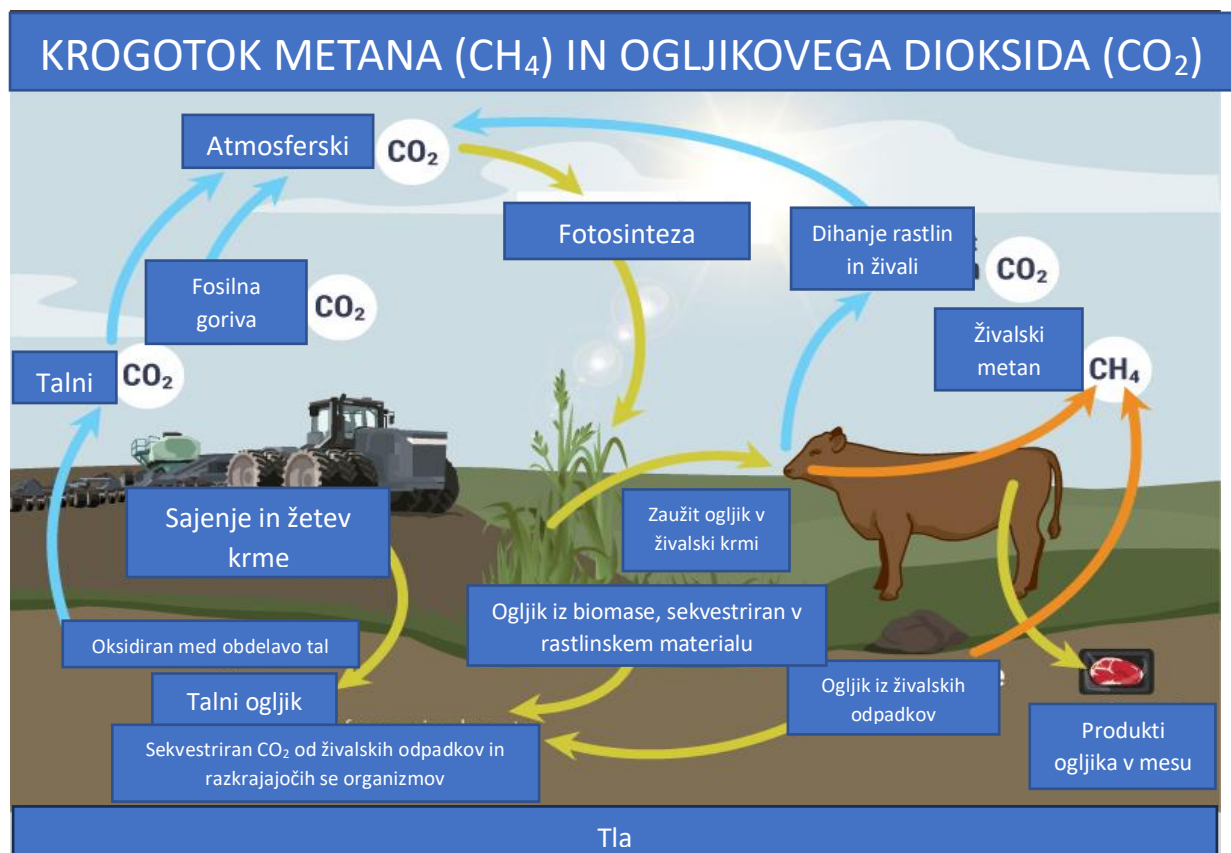
Ogljikov cikel nam pojasni, kako se ogljik giba v elementarnem (npr. grafit) ali kombiniranem stanju (npr. ogljikov dioksid) na Zemlji. Vir ogljika v živi snovi je ogljikov dioksid v zraku ali raztopljen v vodi. Najdemo ga tudi v različnih mineralih v obliki karbonatov (npr.: kalcijev karbonat).

Ogljik je del ozračja, morske vode in kamnin. Njegovo premikanje med vsemi tremi imenujemo ogljikov cikel, ki poteka v več korakih. Ogljik se najprej premakne iz ozračja v rastline. Veže se na kisik v ozračju in tvori ogljikov dioksid. V procesu fotosinteze se ogljikov dioksid črpa iz kisline in tako se iz ogljika proizvede hrana za rast rastlin. Ker se živali prehranjujejo z rastlinami, se ogljik skozi prehranjevalno verigo premika od rastlin do živali. Na naslednji stopnji se ogljik premika od živih bitij v ozračje, saj se po izdihu ogljikov dioksid sprošča v ozračje. Prav tako se ogljik v fosilnih gorivih pretvori v ogljikov dioksid, ki se med izgorevanjem goriv razvije v ozračje. Pri sežiganju fosilnih goriv se sprosti ogromna količina ogljika (3,3 milijarde ton). Preostali ogljik se v glavnem raztopi v morski vodi. Ogljik se iz ozračja premika v oceane. Poleg oceanov se tudi v drugih vodnih telesih absorbira nekaj ogljika iz ozračja, nato pa se raztopi v vodi. Ogljikov dioksid se premika na krajši in daljši rok skozi naš planet, zato ločimo kratkoročni in dolgoročni ogljikov cikel. Kratkoročni cikel traja krajše časovno obdobje, več dni, mesecev ali let. Presežek ogljika v tem ciklu se shranjuje dolgo časa, preden se sprosti. Dolgoročni cikel traja več tisoč let. Na dolgi rok se lahko sprosti nazaj v apnenčaste taline ali se metamorfizira v coni subdukcije.

Ogljik je zelo pomemben za preživetje na Zemlji. Spremembe v ogljikovem ciklu lahko vplivajo na naš planet. Prekomerna proizvodnja ogljika povzroča prekomerno segrevanje planeta in s tem podnebne spremembe, ki negativno vplivajo na ljudi, živali in rastline in njihovo okolje. Prav tako povzroča, da se kislost vode v oceanih poveča. Ogroženo je življenje v morju, ker pride do poškodb morskih organizmov. Presežek ogljikovega dioksida ne povzroča trenutnega globalnega segrevanja, temveč ga povzroča na dolgi rok. Vsekakor se vedno bolj zavedamo pomembnosti uravnoteženega kroženja ogljika, ki je zelo pomembno na vseh ravneh življenja. Spremembe v ogljikovem ciklu pomenijo poleg globalnega segrevanja in podnebnih sprememb tudi velike zdravstvene težave ljudi in živali in motnje vseh naravnih procesov, ki so za naše življenje zelo pomembni.

Med največje probleme današnjega časa sodi krčenje gozdov, ker se zaradi zmanjševanja njihovega obsega količina ogljikovega dioksida v ozračju povečuje in povzroča višanje temperature našega planeta. Povišana temperatura na dolgi rok povzroča taljenje ledu na polarnih območjih, kar pomeni veliko naravno katastrofo. Zelo pomembno je, da se z uporabo obnovljivih virov in s pogozdovanjem uravnava količina ogljikovega dioksida v zraku, ker bi to bistveno pripomoglo k zmanjšanju podnebnih sprememb in naravnih nesreč. Vse to bi lahko dosegli z zmanjšanim ogljičnim odtisom. **Ogljični odtis** nam pove število toplogrednih plinov, ki so posledica naših dejanj, na primer uporaba fosilnih goriv, krčenje gozdov ali industrijska proizvodnja. Prizadevati si moramo, da s svojim ravnanjem ogljični odtis zmanjšamo na način, da zmanjšamo porabo energije ali preidemo na uporabo obnovljivih virov.

Kmetijstvo in živinoreja sta pomembna vira emisij toplogrednih plinov (TGP) in prispevata k podnebnim spremembam, vendar ima funkcija ponora ogljika njiv in travinja pomembno vlogo pri blaženju podnebnih sprememb.



Prežvekovalci, govedo, ovce in koze oddajajo metan, ki se reciklira v ogljik v rastlinah in tleh v procesu, **biogenega ogljikovega cikla**, ki je pomemben naravni cikel. Zaradi izločanja metana, ki je toplogredni plin, krave in druge prežvekovalce pogosto povezujejo s podnebnimi spremembami. Ne gre zanemariti dejstva, da je izločen metan prežvekovalcev del naravnega, biogenega ogljikovega cikla v katerem po približno 12 letih razpade na ogljikov dioksid (CO₂) in vodo. Trava nato s fotosintezo absorbira ogljikov dioksid, krave travo pojedjo in cikel se nadaljuje. Biogeni ogljikov cikel med kravami, rastlinami in atmosfero poteka v razmeroma kratkem času, saj traja približno 12 let. Dejstvo je, da v primeru, da emisije metana, ki jih povzročajo krave in ostali prežvekovalci ostanejo stabilne ali se celo zmanjšajo, nikakor nimajo tako velikega in dolgoročnega vpliva na podnebje kot emisije, ki jih povzročajo fosilna goriva. S stalnim številom živali količina proizvedenega metana dejansko uravnoteži metan, ki se razgradi iz ozračja. Paša živali pomaga odstraniti toplogredne pline iz zraka tako, da spodbudi večjo rast rastlin, kar pospeši absorpcijo ogljikovega dioksida iz zraka in ga spremeni v ogljik v rastlinah in tleh. **Fotosinteza**, ki je proces, pri katerem rastline odstranjujejo ogljikov dioksid iz ozračja in ga odlagajo v liste, korenine in stebela, medtem ko sproščajo kisik nazaj v ozračje, je prav tako del biogenega ogljikovega cikla. Ogljik se nato pretvori v celulozo, ki je organska spojina, ki je prisotna v travah, grmovju in drevesih. Krave prebavijo celulozo, oddajajo metan, ki vrne ogljik v ozračje in cikel se lahko znova začne. Fotosinteza prav tako olajša vezavo ogljika, odstranjevanje in shranjevanje v tleh, velikih grmovnicah in drevesih.

Emisije v kmetijstvu je vsekakor možno zmanjšati, in sicer z razvojem čistejših proizvodnih tehnologij, ki obsegajo optimizirano gnojenje in ustrezno obdelavo tal. Pri tem igra pomembno vlogo koncept

»ogljirnega odtisa«, ki omogoča preuèevanje skupne emisije toplogrednih plinov v kmetijstvu in ÷ivinoreji. Številne študije uporabljajo definicijo ogljirnega odtisa kot »skupno kolièino izpustov toplogrednih plinov, povezanih z ÷ivilskim izdelkom ali storitvijo, izraeno v ekvivalentih ogljikovega dioksida. Ne gre zanemariti dejstva, da funkcija ponora ogljika v kmetijstvu veæe ogljik v prst in rastline ter ima kljuèno vlogo pri vezavi ogljika, zaradi èesar je uèinkovit naèin za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Za ustrezno oceno uèinka kmetijstva in ÷ivinoreje na podnebne spremembe je potrebno upoštevati tako emisije ogljika kot vezavo ogljika. Zato se koncept ogljirnega odtisa v metodologiji ekološkega odtisa uporablja za karakterizacijo in kolièinsko opredelitev vpliva ogljika iz kmetijstva na okolje.

KROÏENJE DUŠIKA

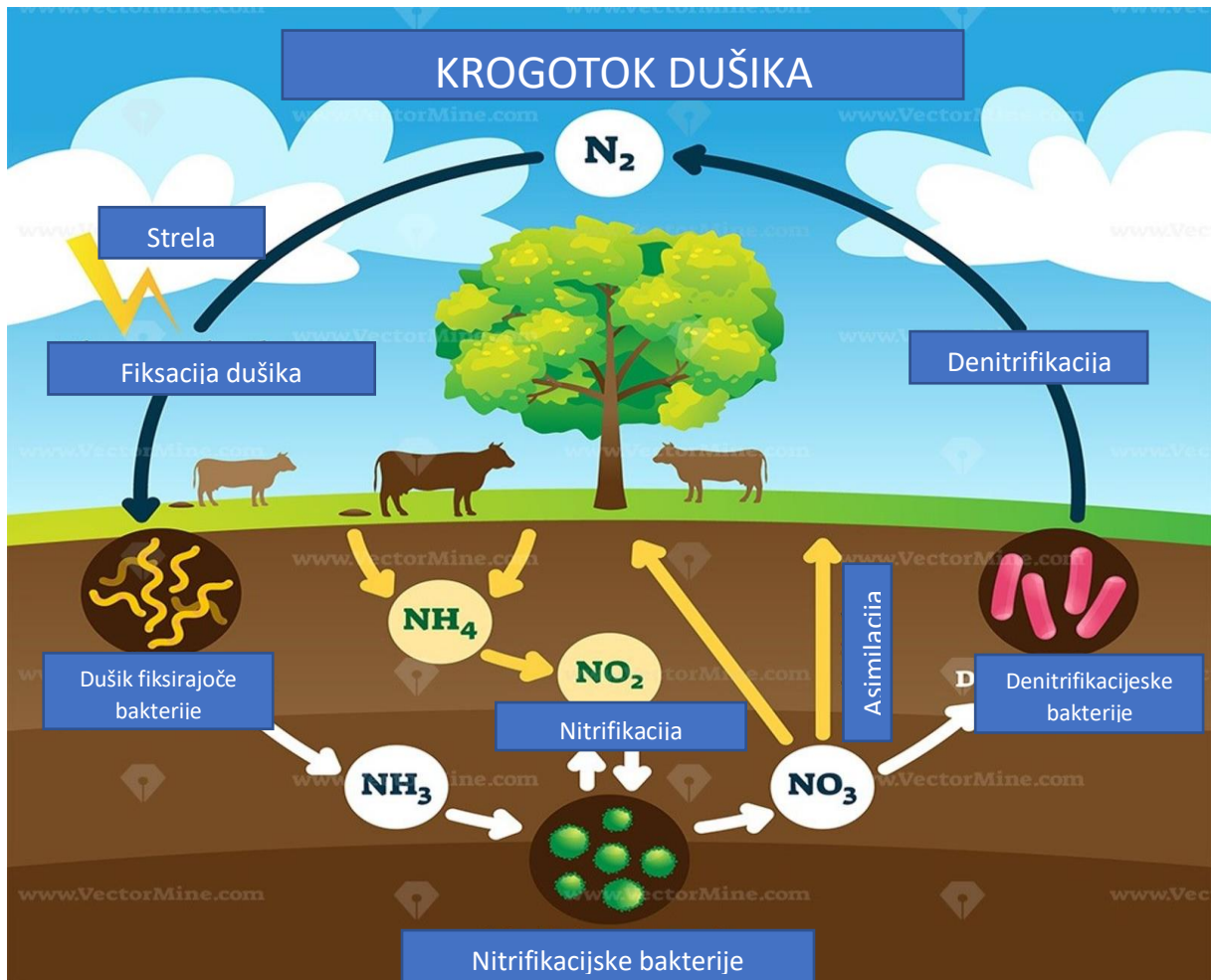
Dušik predstavlja približno 78 % Zemljinega ozraèja in je njen najpogostejši element. Uvršèamo ga med najpomembnejše elemente za vsa ÷iva bitja in je eno najpomembnejših hranil v tleh. Prisoten je v vseh ÷ivih organizmih v obliki beljakovin, aminokislin in nukleinskih kislin DNK in RNK, v atmosferi pa v molekularni obliki (N₂) in v obliki nekaterih oksidov. V svoji elementarni obliki je plin brez barve in vonja, ki ga rastline in ÷ivali ne morejo uporabljati, po kombinaciji s kisikom in drugimi elementi pa ga lahko ÷ivi organizmi uporabljajo kot hranilo. Kroženje dušika je proces, pri katerem se dušik pretvori v razliène kemiène oblike in se premika skozi okolje. Dušik prehaja skozi ÷iva in neživa bitja, kot so rastline, ÷ivali, bakterije, prst, voda in ozraèje.

Dušikov cikel je definiran kot krožni tok dušika od prostega dušikovega plina v atmosferi do nitratov v tleh do vraèanja v atmosferski dušik. Atmosferski dušik se simbiotièno in asimbiotièno veæe z razliènimi mikroorganizmi. Primarni povzročitelji, ki povzročijo za fiksacijo dušika, so obièajno bakterije, ki veæejo dušik in se nahajajo znotraj koreninskih nodulov rastlin stroènic, ki so njihove gostiteljice. Strela in ultravijolièni žarki pa imajo pomembno vlogo pri fiksiranju dela atmosferskega dušika. Strela lahko razcepi vez med atomoma v plinu N₂. To jih spremeni v dušikove okside (npr. N₂O in NO₂), ki se sèasoma izpirajo v tla.

Dušikov cikel ima kljuèno vlogo pri vzdræevanju ravnovesja dušika v okolju in je tesno povezan s ciklom ogljika. Del rastlinskih beljakovin zaužijejo ÷ivali in jih pretvorijo v ÷ivalske beljakovine, preostanek pa se po razpadu rastline razgradi, pri èemer se v ozraèje sprosti dušik. Te beljakovine tudi pri ÷ivalih razpadejo v dušikove odpadke, kot so seènina, seèna kislina in **amoniak**, ter se izloèijo. Razkrojevalci nato delujejo na mrtva telesa in ÷ivalske odpadke, pri èemer se prosti dušik sprošèa nazaj v ozraèje. Dušik kroži iz okolja v organizme in nato nazaj v okolje po veè poteh.

Dušik je med kroženjem med ozraèjem, zemljo in ÷ivimi bitji podvræn številnim transformacijam. Dušikov cikel je pomemben tudi na podroèju priraje mleka. Krave pridobivajo dušik s pašo rastlin in ga uporabljajo za svoje ÷ivljenjske procese in pri proizvodnji mleka. Gnojila dovajajo rastlinam manjkajoèe elemente in se dodajajo zemlji za zagotavljanje boljše rodovitnosti. Tako se zagotavlja boljša in hitrejša rast rastlin. Pridelovalci mleka uporabljajo gnojila za nadomešèanje hranil, ki so bila odstranjena iz zemlje zaradi paše krav ali spravila krme iz travinja in njivskih površin. Kmetje morajo skrbno uravnoteæiti uporabo gnojil, da **optimizirajo rast rastlin in zmanjšajo izgubo hranil** zaradi odtekanja ali izpiranja. V postopku Haber se dušik pretvori v amoniak, ki se uporablja v gnojilih. V tleh so nitrifikacijske bakterije, ki lahko pretvorijo amonijeve ione v nitrate. Gnojila zagotavljajo umeten naèin za zagotovitev, da rastline dobijo nitrate, potrebne za rast in kmetu omogoèa neodvisnost od zunanjih procesov, ki jih zagotavlja prisotnost bakterij, ki veæejo dušik. Stroènice, kot je detelja, tvorijo

koreninske gomolje, ki vsebujejo bakterije, Rhizobia. Rhizobia pretvori atmosferski dušik v oblike, ki jih rastline lahko uporabljajo. Iz zraka jemljejo dušik in ga v tleh spremenijo v nitrate.



Govedo ima sposobnost, da absorbira dušik iz pašnih rastlin, presežek dušika pa se izloči z urinom in gnojem. Z urinom se znatna količina dušika odloži na majhnem območju, kar lahko predstavlja velik problem. Rastline na pašniku ne morejo izkoristiti vsega dušika in ga lahko izgubijo zaradi izpiranja.

V optimalnih pogojih se deževnica ali voda, ki se uporablja za namakanje ter odplake infiltrirajo v tla in se premaknejo v koreninski sistem rastlin. Problem nastane, kadar je zemlja nasičena ali kadar je dežja ali vode več, kot jo zemlja lahko prenese. Takrat se lahko voda premakne z mesta in s seboj odnese hranila, ki se tako izgubijo. Dušik v tleh se lahko izgubi v ozračje z izhlapevanjem in denitrifikacijo. Izhlapevanje je pretvorba raztopljenega amoniaka iz urina v plin amoniak (NH_3). Denitrifikacija je pretvorba nitrata v dušikov oksid (N_2O) in plinasti dušik (N_2). Čeprav so to naravni procesi, se pretvorbe štejejo za izgube, saj hranila niso več na voljo za vnos rastlin. Bakterije v tleh povzročajo transformacije v krogu dušika. Amonij (NH_4^+) se pretvori v nitrit (NO_2^-) in nato v nitrat (NO_3^-). Ta proces je znan kot nitrifikacija. Drugi procesi, ki se prav tako dogajajo v tleh, so mineralizacija in denitrifikacija. Mineralizacija je razgradnja stelje v tleh in sproščanje dušika v oblike, ki jih rastline lahko sprejmejo. Denitrifikacija je pretvorba nitrata v dušikov oksid (N_2O) in plinasti dušik (N_2). Dušikov oksid je močan toplogredni plin.

Rastline in mikroorganizmi sprejemajo različne vrste dušika. Glavni vrsti sta amonij (NH_4^+) in nitrat (NO_2^-). Rastline uporabljajo dušik za številne življenjske procese, med katerimi je pomemben proces izdelave klorofila, ki je zeleni pigment v rastlinah in omogoča, da se energija sončne svetlobe pretvori v kemično energijo. Pri premikanju vode skozi tla lahko pride do izpiranja. Voda med premikanjem s seboj nosi nitrat, ki se lahko premakne pod območje korenin in zato ga rastline ne morejo več uporabiti. Nitrat se lahko premakne v podtalnico in pozneje v površinske vode.

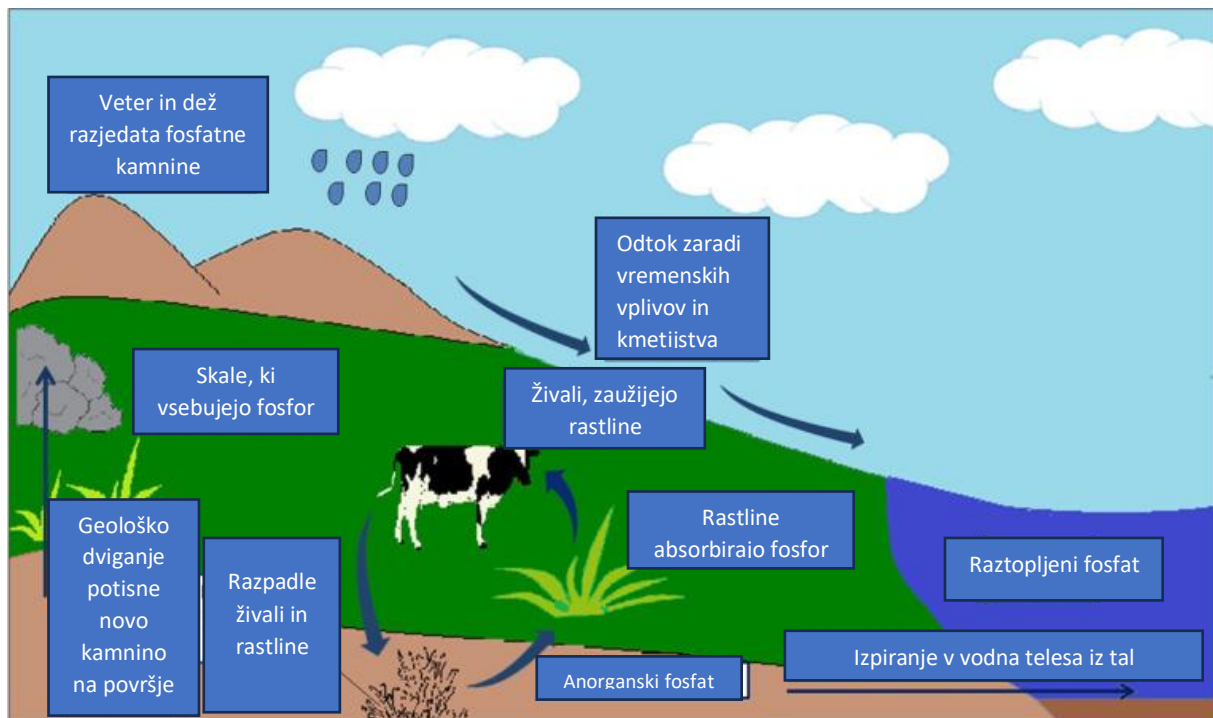
KROŽENJE FOSFORJA

Fosfor sodi med bistvene elemente za življenje, zato se njegovi uporabi v sistemih kmetijske proizvodnje posveča velika pozornost. Monogastrične vrste, kot so prašiči in perutnina, ki so odvisne od zaloge mineralnega anorganskega fosforja v svoji krmi, lahko pomembno prispevajo k globalni varnosti preskrbe s hrano. Prašiči in perutnina predstavljajo 70 % svetovne proizvodnje mesa. Ker so glavni izločevalci fosforja, predstavljajo pomemben vir njegovega vnosa v okolje. Za izboljšano in ustrezno upravljanje fosforja so potrebni ustrezni multidisciplinarni pristopi na področju povezave živalske krme, živinoreje, živalskih izločkov, tal in vodnih ekosistemov. Le na ta način se lahko doseže trajnostno ustrezna, okolju prijazna živinoreja.

Fosfor se uvozi v sistem mlečnih kmetij s kupljeno krmo in z mineralnimi gnojili. Rastline lahko prevzamejo fosfat, ki je oblika fosforja. Od fosfata, ki ga krava poje v travi ali dodatkih, bo približno 30% zapustilo kmetijo v izdelkih, kot sta mleko in meso. Preostanek bo krava izločila kot gnoj. Fosfor zapušča kmetijo s površinskim odtokom preko gnojil, odplak in erodiranih tal. Ker je fosfat razmeroma netopen in se močno veže na delce zemlje, bo velik delež fosforja, dodanega v sistem ostal v talnih delcih. Dejavnosti, ki motijo tla, prispevajo tudi k izgubam fosfata z erozijo in odtokom površinske vode. Ker se fosfor zlahka veže na prst in organske delce, se za razliko od dušika izluži le zelo majhen delež. Le majhen delež fosforja se izgubi ali prenese v vodne poti. Na žalost pa že majhna količina škodljivo vpliva na kakovost sprejemnega vodnega telesa. Izgube fosfatov so tesno povezane z usedlinami in fekalnimi snovmi. Fosfor se nagiba k vezavi na delce zemlje (sediment). Gnoj in odpadne vode iz govedorejskih kmetij vsebujejo visoke ravni fosforja. Zato so izgube fosforja na govedorejskih kmetijah tesno povezane z izgubami usedlin in fekalnih snovi. Izguba fosforja pomeni, koliko vnesenega fosforja se izgubi ali izpere v vodne poti in je povezana s hidrološkim ciklom. Pomembna dejavnika, ki uravnavata stopnjo izgube fosforja sta vrsta tal in padavine.

Pri površinskem odtoku se med velikimi količinami padavin ali v primeru nasičenosti fosforja v gnoju, gnojevki ali odplakah iz govedorejskih kmetij, fosfor izgubi v vodotoku, še posebej na zemljiščih, ki se nahajajo na pobočju. Pri podpovršinskem toku gre za izgubo prek odtočnih cevi ali makropor. Pri eroziji ali premikanju tal pride do izgube talnih delcev in s tem fosforja, ki je lepljiv se veže na te delce.

Z ustrezno rabo zemlje in dobrim gospodarjenjem, kot je izogibanje prekomerni paši ali zbijanju tal, se lahko ublaži izguba tal in s tem fosforja. Pomembna je ustrezna in pravilna uporaba gnojil, ker zaradi prevelike količine njihove uporabe pride posledično do prevelike porabe fosforja, kar povzroči, da se na zemljo veže več fosforja, ki potem odteka v vodo. Izguba fosforja v vodo iz posevkov in pašnikov ter sistemov in zajetij se lahko zelo razlikuje in se giblje med 0,5 do 4,2 kg/ha/leto. Evtrofikacijo povzroča presežek hranil kot sta fosfor in dušik v vodi. Posledica je cvetenje alg in pomanjkanje kisika, kar je škodljivo za sladkovodne ekosisteme. Poleg tega se lahko težave z zdravjem ljudi pojavijo tudi zaradi strupenega modrozelenega cvetenja cianobakterij.



Za uskladitev ekonomske in ekološke trajnosti živinoreje bo nujno potrebno s strateškimi cilji na podlagi raziskav zagotoviti rešitve za zadostno oskrbo z visokokakovostnimi živalskimi proizvodi iz učinkovitih in ekonomsko konkurenčnih kmetijskih sistemov, ki jih bo družba ustrezno cenila in spoštovala. Tako se bodo ohranjala tla in vodni sistemi.