

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

VPLIV GNOJENJA NA OKOLJE V SLOVENIJI

TINA VERDEV

VELENJE, 2021

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

VPLIV GNOJENJA NA OKOLJE V SLOVENIJI

TINA VERDEV

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: prof. dr. Andrej Simončič

Somentor: Janez Sušin, univ. dipl. inž. agr.

VELENJE, 2021



Številka: 726-2/2020-2
Datum: 29. 6. 2020

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Tina Verdev** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:
Vpliv gnojenja na okolje v Sloveniji.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:
Effects of fertilization on the environment in Slovenia.

Mentor: **izr. prof. dr. Andrej Simončič.**
Somentor: **Janez Sušin, univ. dipl. inž. agr.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokornj
dekan

Visoka šola za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si
www.vsvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana TINA VERDEV, vpisna številka 34170020 R, študentka visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom VPLIV GNOJENJA NA OKOLJE V SLOVENIJI, ki sem ga izdelala pod:

- mentorstvom prof. dr. ANDREJA SIMONČIČA
- somentorstvom JANEZA SUŠINA, univ. dipl. inž. agr.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala mag. Nataša Koražija, prof. slov.;
- ne dovoljujem objave diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: ____ . ____ . _____

Podpis avtorice: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Andreju Simončiču ter somentorju Janezu Sušinu, univ. dipl. inž. agr., za vso njuno strokovno pomoč in nasvete med izdelavo diplomskega dela.

Zahvaljujem se g. Heleni Matoz z Ministrstva za okolje in prostor za strokovne usmeritve.

Zahvaljujem se g. Katji Gjerkeš Knežević iz knjižnice Šolskega centra Velenje za pomoč pri navajanju literature.

Še posebej pa bi se rada zahvalila moji družini, zlasti staršema. Iskrena hvala za vso podporo, spodbudne besede in ljubezen, ki so me spremljali skozi življenje in me pripeljali do zaključka študija.

IZVLEČEK

V diplomskem delu smo prikazali načine ter obseg vplivov gnojenja na vode, tla in zrak v Sloveniji v aktualnih časovnih obdobjih. Osredotočali smo se na nitrate v podzemnih vodah v obdobju 1998-2018, težke kovine v kmetijskih tleh in gnojilih v obdobju 1983-2001 in leta 2006 ter toplogredne pline v ozračju v obdobjih 1990-2014 in 1986-2014. Raziskava je vključevala pregled domače in tuje literature ter javno dostopnih podatkov z različnih področij kmetijstva in okolja v Sloveniji. Gnojenje je ključna dejavnost, od katere je odvisna uspešnost rastlinske pridelave, s tem pa tudi preskrba sodobnega sveta s hrano. Ta pomemben tehnološki ukrep v kmetijstvu pa lahko povzroči tudi neželene vplive na okolje, ki jih v največji meri povzročajo nestrokovni postopki v povezavi z naravnimi danostmi. Izgube hranil, povezane z gnojenjem, imajo lahko tudi obsežen gospodarski vpliv, saj se v vode in/ali zrak izgubljajo rastlinska hranila. Rezultati raziskav kažejo, da so najvišje vsebnosti nitratov v podzemnih vodah značilne za kmetijsko intenzivna porečja Mure, Drave, Savinje, Krke ter Save. Visoke vsebnosti težkih kovin v kmetijskih tleh so še posebej značilne za uporabo živinskih gnojil, predvsem iz prašičereje. Gnojenje ima tudi pomemben vpliv na izpuste toplogrednih plinov, med katerimi so najpomembnejši metan, didušikov oksid ter posredno toplogreden amonijak, ki ima še dodatne neželene okoljske vplive. Predstavljene negativne vplive gnojenja je s primernim ravnanjem in pridelovalnimi tehnologijami mogoče bistveno zmanjšati, zelo težko pa jih je v celoti preprečiti. Na podlagi rednega spremljanja vplivov gnojenja na okolje v zadnjih letih lahko ugotovimo, da se stanje redno izboljšuje in je primerljivo z drugimi kmetijsko in okoljsko razvitimi državami.

Ključne besede: gnojilo, nitrati, težke kovine, metan, didušikov oksid, amonijak.

ABSTRACT

In the diploma thesis, we presented different means of fertilization as well as the extent of various impacts of fertilization on the water, soil and air in Slovenia during current time periods. We focused on groundwater nitrates over a period of 1998-2018, heavy metals in agricultural soils and fertilizers over a period of 1983-2001 and the year 2006, and greenhouse emissions in the atmosphere over periods of 1990-2014 and 1986-2014. The research included a review of domestic and foreign literature and publicly accessible data acquired from various fields of agricultural and environmental studies in Slovenia. The success of plant production, and consequently the worldwide food supply, both depend on the key activity of fertilization. However, this critical agricultural technological measure can also cause adverse environmental effects, mostly caused by unprofessional procedures relating to natural endowments. Fertilization associated losses of nutrients can also present a significant economic impact, as plant nutrients are lost into water and/or thin air. The research results indicate that the highest groundwater nitrate contents are characteristic of the agriculturally intensive river basins of the Mura, Drava, Savinja, Krka and Sava rivers. High contents of heavy metals in agricultural soils are particularly characteristic of the use of livestock fertilizers, mainly in pig farming. Fertilization also has a significant impact on greenhouse emissions, the most important of which are methane, dinitrogen oxide and, indirectly, greenhouse ammonia, which triggers additional adverse environmental effects. The presented negative effects of fertilization can be significantly reduced with suitable management and production technologies, but it is very hard to prevent them altogether. Based on the regular monitoring of the environmental effects of fertilization in recent years, we can conclude that the situation constantly improves and is comparable to other agriculturally and environmentally developed countries.

Keywords: fertilizer, nitrates, heavy metals, methane, dinitrogen oxide, ammonia.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
1.1. NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA	2
1.2. DELOVNI HIPOTEZI	2
2. GNOJENJE V KMETIJSTVU	3
2.1. VRSTE GNOJIL	3
2.2. POMEN DUŠIKA PRI GNOJENJU	4
2.3. PORABA MINERALNIH GNOJIL V SLOVENIJI	6
3. VPLIV GNOJENJA NA KAKOVOST PODZEMNIH VODA V SLOVENIJI	7
3.1. OBREMENJENOST PODZEMNIH VOD Z NITRATI V SLOVENIJI	8
3.2. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE OBREMENJENOSTI PODZEMNIH VOD Z NITRATI IZ GNOJENJA V SLOVENIJI	10
3.2.1. NITRATNA DIREKTIVA OZ. UREDBA O VARSTVU VODA PRED ONESNAŽEVANJEM Z NITRATI IZ KMETIJSKIH VIROV KOT UKREP ZMANJŠEVANJA OBREMENJENOSTI PODZEMNIH VOD Z NITRATI IZ GNOJENJA V SLOVENIJI	11
3.2.2. VVO KOT UKREP ZMANJŠEVANJA OBREMENJENOSTI PODZEMNIH VODA Z NITRATI IZ GNOJENJA V SLOVENIJI	13
4. VPLIV GNOJENJA NA VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI	16
4.1. OBREMENJENOST KMETIJSKIH TAL S TEŽKIMI KOVINAMI IZ GNOJENJA V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI	17
4.2. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN IZ GNOJENJA V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI	18
4.2.1. UREDBE S PODROČJA VNOSA TEŽKIH KOVIN V TLA KOT UKREP ZMANJŠEVANJA VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN IZ GNOJENJA V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI	18
5. VPLIV GNOJENJA NA IZPUSTE V OZRAČJE V SLOVENIJI	21
5.1. IZPUSTI AMONIJAKA V OZRAČJE PRI GNOJENJU V SLOVENIJI	21
5.1.1. DIREKTIVA NEC KOT UKREP ZMANJŠEVANJA IZPUSTOV AMONIJAKA V SLOVENIJI	22
5.2. IZPUSTI METANA IN DIDUŠIKOVEGA OKSIDA V OZRAČJE PRI GNOJENJU V SLOVENIJI	24
5.2.1. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE IZPUSTOV METANA IN DIDUŠIKOVEGA OKSIDA V SLOVENIJI	27
5.3. IZPUSTI SMRADU V OZRAČJE PRI GNOJENJU V SLOVENIJI	27
5.3.1. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE SMRADU V SLOVENIJI	28
6. REZULTATI Z RAZPRAVO	29
7. SKLEPI	31
8. POVZETEK	33
9. SUMMARY	35
10. LITERATURA IN VIRI	37

KAZALO SLIK

Slika 1: Bilančni presežek dušika na hektar kmetijskih zemljišč v uporabi, Slovenija.....	5
Slika 2: V kmetijstvu porabljena glavna rastlinska hranila iz mineralnih gnojil, Slovenija.	6
Slika 3: Povprečne letne vrednosti vsebnosti nitratov v vzorcih podzemne vode na merilnih mestih državnega monitoringa 2015.	9
Slika 4: Trend zmanjševanja vsebnosti nitrata v vodnih telesih Savinjske, Murske in Dravske kotline v obdobju 1998-2018.	10
Slika 5: Prikaz splošnih časovnih omejitev gnojenja v celinskem območju Slovenije glede na vrsto uporabljenih gnojil.	12
Slika 6: VVO po Sloveniji.	15
Slika 7: Indeks težkih kovin (I_{TK}) v tleh glede na uporabo posameznih gnojil in globin vzorčenja, kjer se gnojila z različnima črkama značilno razlikujejo.	18
Slika 8: Izpusti amonijaka v kmetijstvu v Sloveniji v letu 2018.	22
Slika 9: Deleži izpustov toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu leta 2014.	25

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Uredbe o VVO za vodna telesa vodonosnikov v Sloveniji.....	14
Preglednica 2: Vsebnosti cinka in bakra v živinskih gnojilih v Sloveniji.	17
Preglednica 3: Mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla.	19
Preglednica 4: Mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v blatu, ki se uporablja v kmetijstvu ^[2]	20
Preglednica 5: Izpusti metana pri skladiščenju različnih živinskih gnojil v letih 1986 in 2014.	25
Preglednica 6: Izpusti didušikovega oksida pri gnojenju v letih 1986 in 2014.	26

SEZNAM KRATIC

KAN – apnenčev amonijev nitrat

UAN – kombinacija uree in amonitrata

VVO – vodovarstveno območje

Direktiva NEC – National Emission Ceilings Directive

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

Direktiva IPPC – Directive concerning Integrated Pollution Prevention and Control

1. UVOD

Gnojila obsegajo vse snovi, v katerih so prisotna rastlinska hranila, ki jih dodajajo tlom ali rastlinam z namenom povečanja pridelka, kakovosti pridelka ali rodovitnosti tal. Gnojenje pa je rastlinsko pridelovalni agrotehnični ukrep, ki zagotavlja hranila za rast in razvoj rastlin. Če želimo dosegati primerno in tudi učinkovito gnojenje, je ključnega pomena poznavanje razmer v tleh, potreb rastlin po hranilih ter navsezadnje tudi načina gnojenja (Republika Slovenija GOV.SI, 2020).

Rast in razvoj rastlin sta pogojena s snovmi, ki so prisotne v vodi, zraku in tleh. Prav v slednjih so prisotna rastlinska hranila, ki pa ne smejo biti v premajhnih količinah. Pomen gnojil v rastlinski pridelavi je predvsem vračanje uporabljenih rastlinskih hranil s pridelki nazaj v tla. Rastlinska hranila se delijo na primarna (dušik, fosfor, kalij), sekundarna (kalcij, magnezij, natrij, žveplo) ter mikrohranila (bor, kobalt, baker, železo, mangan, molibden, cink). Gnojila pa se po nastanku delijo na mineralna, ki so ustvarjena preko industrijskega procesa; organska, ki so sestavljena iz snovi živalskega ali rastlinskega porekla in stranskih proizvodov kmetijstva; organsko-mineralna, ki so sestavljena tako iz mineralnih gnojil kot tudi iz organskih snovi živalskega ali rastlinskega porekla (Republika Slovenija GOV.SI, 2020).

Za dejavnost gnojenja velja, da je največ pripomoglo k povečanju pridelkov ter kakovosti hrane. Velja tudi, da ima prav gnojenje največji učinek pri donosnosti kmetovanja. Če pa se gnojenje ne opravlja v skladu s potrebami rastlin, lahko pride do onesnaženja okolja. Ena od pomembnih sestavin pri določanju morebitnega onesnaženja okolja je bilanca hranil. To je razlika med vnosom in odvzemom hranil na ravni preučevane enote (regije, kmetije ali parcele). Bilanca dušika, izračunana iz podatkov o kmetijskih območjih Slovenije nad podzemnimi vodami s potencialom vplivanja na širše območje zajetij pitne vode obsega razliko med vnosom dušika z mineralnimi in/ali organskimi gnojili in odvzemom dušika s pridelki. Celotna Slovenija ima povprečen bilančni presežek dušika relativno majhen, na območjih intenzivnega kmetijstva pa so bilančni presežki dušika večji (Mihelič in sod., 2010).

Če se gnojenje izvaja na način, ki omogoča čim večjo izkoriščenost hranil za rast in razvoj rastlin, se dosega tudi manjša izguba hranil ter posledično izpiranje v vode. Vnašanje dušikovih gnojil je torej treba prilagoditi potrebam pridelkov ter hkrati gnojenje z dušikom izvajati preko več odmerkov v rastni dobi. Onesnaževanje vodnih teles z nitrati je neenakomerno in pogosto večje na območjih plitvih tal nad podzemnimi vodami oz. v porečjih večjih slovenskih rek. Do tega prihaja zaradi kombinacije majhne sposobnosti zadrževanja vode v tleh ter intenzivnega kmetijstva (ARSO, 2020a).

Gnojenje vpliva tudi na vnos težkih kovin v tla. Z ekološkega vidika so najbolj sporni elementi, za katere so značilne razlike v potrebah živali in rastlin, npr. mikroelementa baker in cink. Med ostalimi ekološko spornimi elementi so še predvsem arzen, živo srebro, kadmij, krom, nikelj in svinec. Težke kovine prihajajo v gnojila preko krmljenja naštetih mikroelementov živalim ter uporabe organskih gnojil neemetijskega izvora (Babnik, 2006).

Tretji pomemben vpliv gnojenja na okolje pa predstavljajo izpusti različnih plinov v zrak-amonijaka ter smradu. Izgube dušika preko emisij amonijaka dodatno povzročajo tudi nastanek posrednih emisij didušikovega oksida, ki spada med toplogredne pline. Koraki k manjšim emisijam amonijaka pri gnojenju načeloma delujejo ugodno tudi pri zmanjševanju emisij toplogrednih plinov. Ukrepi, usmerjeni v zmanjševanje emisij amonijaka, imajo tudi ekonomsko plat – manj emisij pomeni manj izgubljenega dušika ter posledično varčevanje ob nakupih dušikovih gnojil. Gnojenje pa ne povzroča le izpustov amonijaka in smradu, temveč tudi izpuste metana ter didušikovega oksida, ki sta toplogredna plina in kot taka negativno učinkujeta na okolje ter gospodarstvo (Verbič, 2006a; Verbič in Mekinda Majaron, 2016).

1.1. NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je ugotoviti vpliv gnojenja v okviru kmetijstva na stanje okolja (vode, tla in zrak) v Sloveniji.

Cilji diplomskega dela so predstaviti gnojenje kot dejavnik tveganja za kakovost podzemnih vod, ki so lahko vir pitne vode; kot dejavnost, ki povzroča pomembne izpuste toplogrednih in ostalih neželenih plinov v ozračje ter kot potencialno dejavnost vnosa težkih kovin v okolje in posredno preko živinske krme tudi v hrano.

1.2. DELOVNI HIPOTEZI

Delovni hipotezi, ki smo si jih zastavili ob začetku izdelave diplomskega dela, sta:

H1: Gnojenje negativno vpliva na kakovost podzemnih voda in tal.

H2: Gnojenje vpliva na povečanje izpustov toplogrednih plinov v zrak.

2. GNOJENJE V KMETIJSTVU

Pogoj za razvoj rastlin je prisotnost različnih neorganskih snovi. Te so jim dostopne iz vode in zraka (ogljikov dioksid, kisik in voda oz. kemični elementi ogljik, kisik ter vodik). Ti elementi tvorijo od 90 % pa do 99 % telesa rastlin. Pšenično zrnje kot primer rastlinskega telesa vsebuje le 6,5 % raznih »soli«, ki so prisotne v zemlji in so prav ta rastlinska hranila, ki jih večinoma vnesemo preko gnojenja (Mihelič in sod., 2010).

Med najpomembnejša rastlinska hranila spadajo dušik, fosfor in kalij ter kalcij, magnezij in žveplo. Rastline jih potrebujejo v relativno velikih količinah, hkrati pa jih je treba običajno dodatno vnašati oz. z njimi izvajati gnojenje zaradi običajno premajhnih količin v tleh. Ta skupina hranil se imenuje makrohranila. Poznamo pa tudi skupino mikroelementov oz. mikrohranil, ki jih rastline potrebujejo v skrajno majhnih količinah (bor, mangan, baker, cink, molibden in železo). Vsa navedena hranila so izjemnega pomena pri zagotavljanju rasti in razvoja rastlin, neodvisno od tega, ali spadajo v skupino makro ali mikrohranil. Prisotna morajo biti torej vsa hranila, seveda pa primanjkljaja posameznega hranila ni mogoče nadomeščati z drugim (Mihelič in sod., 2010).

Dobro kmetijsko gospodarjenje na področju gnojenja pomeni vračanje počrpanih rastlinskih hranil s pridelki nazaj v tla. Na živinorejskih kmetijah se od 80 % do 95 % hranil iz živalskega obroka pretvori v blato in seč, ki se nato uporabljata v obliki živinskih gnojil. Če pa je kmetija usmerjena v prodajo rastlinskih pridelkov zunaj lastne kmetije, se rastlinska hranila s kmetije izgubljajo, a še vedno jih je treba vračati tlom. To vračanje hranil se navadno izvaja preko gnojenja z mineralnimi gnojili. V obdobju pred iznajdbo mineralnih gnojil se celovito vračanje hranil ni moglo izvajati, zato so bile količine pridelkov na s hranili osiromašeni zemlji majhne. Kot primer učinka delovanja mineralnih gnojil navajamo količine pridelkov pred in po uporabi mineralnih gnojil v Sloveniji. Te količine znašajo v povprečju 1,1 t pšenice in 1,6 t koruze na hektar pred uporabo mineralnih gnojil, torej do leta 1955, medtem ko se v zadnjih letih pridelava v povprečju okoli 5 ton pšenice, 8 ton koruze ter 6–7 ton grozdja ipd. na hektar. Takšne razlike v pridelkih ne bi bilo mogoče dosegati niti z vsemi ostalimi ugodnimi pridelovalnimi ukrepi (Mihelič in sod., 2010).

2.1. VRSTE GNOJIL

Gnojila se po nastanku delijo na organska in mineralna. Organska gnojila vsebujejo organske spojine, rastlinske in živalske odpadke, ostanke ter izločke. Te sestavine vsebujejo načeloma malo ali celo nič neposredno dostopnih rastlinskih hranil, saj organske snovi postanejo za rastlinsko prehrano uporabne šele po razpadu, in sicer v obliki soli oz. v neorganski obliki. Organske snovi se morajo zato razkrojiti v osnovne kemijske elemente, iz katerih so tudi nastale–vodo, ogljikov dioksid ter neorganske spojine dušika, fosforja, žvepla, ipd., torej v ione, ki so uporabni za prehrano rastlin. Opisani postopek se imenuje mineralizacija organskih snovi (Leskošek, 1993).

Glavna organska gnojila so:

- hlevski gnoj (goveji, prašičji, perutninski ...),
- gnojnica in gnojevka,
- kompost,
- gošča oz. blato iz komunalnih čistilnih naprav ter kompostirani odpadki (Leskošek, 1993).

Mineralna gnojila pa so po kemijski zgradbi pretežno različne soli, zato so v njih rastlinska hranila tako rekoč že pripravljena. A vseeno se ta hranila pogosto dokaj močno vežejo na fine zemeljske delce, tj. glino in humus, ki predstavljata shrambo za hranila v zemlji. Ta hranila se nato sčasoma izločajo v talno raztopino, kjer so na voljo rastlinskim koreninam. Še

podrobneje se delijo na enojna (dušikova, fosfatna in kalijeve) ter sestavljena (mešana ali spojena) (Leskošek, 1993).

Glavna mineralna gnojila so:

- dušikova gnojila: KAN, sečnina oz. urea, amonsulfat, UAN, utekočinjeni amonijak, apneni dušik, kalcijev nitrat, natrijev nitrat, počasi delujoča dušikova gnojila;
- fosfatna gnojila: superfosfat, tripleks oz. trojni superfosfat, Thomasov fosfat, hiperfosfat, fosfati iz sestavljenih gnojil;
- kalijeve gnojila: kalijeve kloridi oz. kalijeve sol in kalijeve sulfati;
- sestavljena gnojila: NPK 15-10-10 + 3 % MgO, NPK 13-13-21, NPK 10-15-20 + 2 % MgO + 0,3 % B, NPK 10-15-20 + 3 % MgO, NPK 15-15-15, KAN 27 % N^[1] (Leskošek, 1993).

2.2. POMEN DUŠIKA PRI GNOJENJU

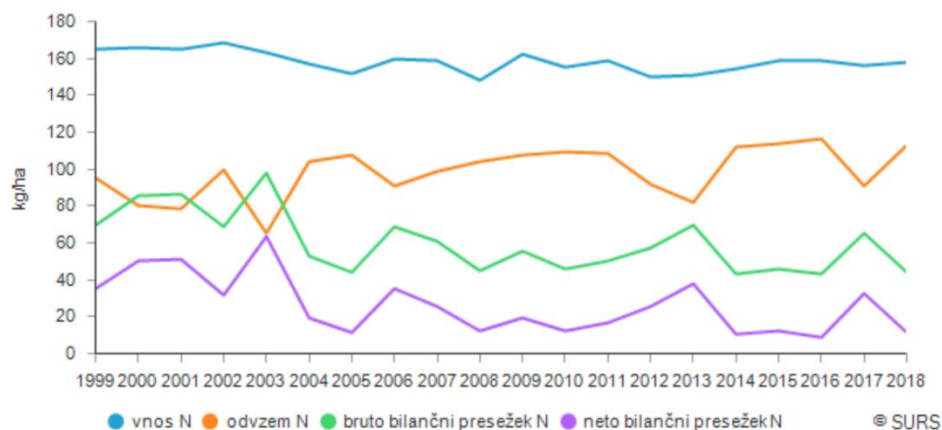
Dušik je splošno prisoten element v okolju, hkrati pa tudi najpomembnejši plin našega ozračja, ključno rastlinsko hranilo ter nepogrešljiv element v beljakovinah rastlin in živali. V ozračju je dušik večinoma prisoten kot dušikove molekule – N₂. V takšni obliki ostaja nedostopen za rastline in živali. V naravi pa poteka naravna pretvorba dušikovih molekul v oblike tega elementa, ki so rastlinam dostopne pod imenom biološka vezava dušika. To izvajajo rastline metuljnice in koreninske bakterije, ki delujejo v sožitju. Izjemnega pomena pri kroženju oz. pretvorbah dušika predstavlja že omenjeni postopek mineralizacije, ko se v okolje sprošča dušik, ki je vezan v organski snovi. Produkt mineralizacije je amonijska oblika dušika NH₄⁺. Po zaključenem procesu mineralizacije nastopi nitrifikacija, ki jo omogočata bakteriji *Nitrobacter* in *Nitrosomonas*. Ta organizma pretvorita dušik v oblike, ki so uporabne za potrebe rastlin. Pretvorba poteka v aerobnih pogojih, in sicer z oksidacijo amonijske oblike NH₄⁺ do nitritne oblike NO₂⁻, zatem pa še s ponovno oksidacijo do nitrata NO₃⁻. Kroženje dušika zaključi proces denitrifikacije oz. mikrobne redukcije preko bakterije *Pseudomonas*. Najprej poteče redukcija nitrata oblike dušika NO₃⁻ v nitritno obliko NO₂⁻, nato pa se ta oblika pretvori še v molekularno obliko dušika N₂. Količine rastlinam dostopnega dušika so se močno povečale v obdobju po drugi svetovni vojni kot posledica odkritja industrijske vezave dušika iz zraka, pa tudi povečanja pridobivanja mineralnih gnojil. Dušik z izvorom iz mineralnih gnojil ima dobre in slabe plati. Dobra plat obsega omogočanje okvirno polovico pridelave hrane po vsem svetu, slaba plat pa zajema manjšo skrb za premišljeno rabo živalskih gnojil, saj so v mineralnih gnojilih prisotne velike količine dušika. Večje so tudi emisije dušikovih spojin in njihov negativni vpliv na vode, zrak in tla. Eden od največjih izzivov sodobnega kmetijstva je doseganje učinkovitega kroženja dušika v čim večji meri. Glavni vir dušika v Sloveniji znašajo živalska gnojila (okvirno 30.000 ton letno), na drugem mestu so mineralna gnojila (okvirno 27.000 ton letno), sledi dušik, odložen na kmetijski površini iz zraka (7.000 ton letno), biološka vezava dušika pa prispeva okvirno 2.000 ton dušika letno. Če bi zmanjšali uhajanje dušikovih spojin v okolje, bi lahko zmanjšali tudi porabo dušika iz mineralnih gnojil, kar pa ne bi imelo vplivov na pridelek. Z doseganjem tega cilja bi bilo mogoče povečati celo konkurenčnost kmetijstva (Sušin in sod., 2017; Špes, 2009).

O dušiku navadno govorimo kot o motorju za rast rastlin. Poenostavljeno rečeno, z dušikom torej gnojimo rastline, s fosforjem, kalijem ter ostalimi hranili pa tla. To pomeni, da rastline sprejemajo dušik v relativno kratkem časovnem obdobju – dušik je rastlinam na voljo, da ga uporabijo takoj ali za približno dva meseca vnaprej. Ostala hranila se navadno najprej vežejo

^[1] Sestavljena gnojila vsebujejo več glavnih hranil (dve ali tri). Koliko odstotkov glavnih hranil ima določeno sestavljeno gnojilo, pove t. i. formula, kjer prva številka pomeni odstotek N, druga odstotek P₂O₅, tretja pa odstotek K₂O v gnojilu (Leskošek, 1993).

v tla in so rastlinam nato na voljo za črpanje preko korenin. Zaradi tega je treba vse pridelke (razen stročnic) z dušikom gnojiti vsako leto posebej, lahko celo večkrat, glede na rastlinske potrebe, z ostalimi hranili pa le enkrat letno ali enkrat na več let, odvisno od potreb tal (Leskošek, 1993).

Pri učinkoviti rabi dušika pri gnojenju je treba omeniti tudi bilančni presežek dušika. Ločimo bruto in neto bilančni presežek, kjer bruto bilančni presežek pomeni razliko med skupnim vnosom (dušik v izločkih rejnih živali, mineralnih gnojilih, preko biološke vezave, nanos dušika iz ozračja, dušik iz ostalih organskih gnojil ter dušik prisoten v semenih in sadilnih materialih) in odvzemom dušika (pospravljeni rastlinski pridelki). Neto bilančni presežek pa predstavlja dušik, ki je kmetijskim rastlinam dejansko razpoložljiv (neto vnos). Ta se izračuna na način, da se od skupnega vnosa odšteje izgubljen dušik v zrak (iz hlevov, gnojišč, na paši, pri samem gnojenju, razpadanju žetvenih ostankov v tleh ter kot posledica obdelave histosolov). Izgube dušika obsegajo emisije amonijaka (NH_3), didušikovega oksida (N_2O) ter dušikovih oksidov (NO_x). V kmetijstvu ni mogoče popolnoma preprečiti izgub dušika, možno pa jih je občutno zmanjšati. Bruto bilančni presežek je tveganje za okolje zaradi možnosti izpiranja v vodna telesa ali prehoda v razne oblike reaktivnega dušika v zrak. Upoštevati pa je treba dejstvo, da presežek dušika ne zajema nenevarnih emisij dušika v molekularni obliki (N_2) ali možnega povečanja zaloga dušika v tleh (Sušin in sod., 2019).

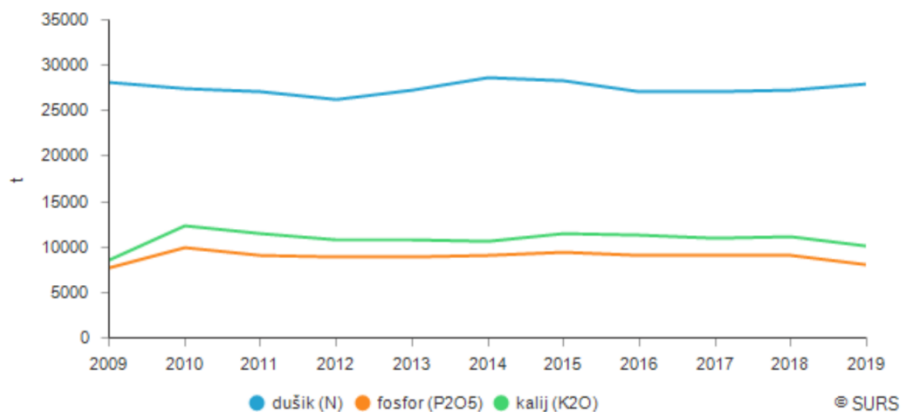


Slika 1: Bilančni presežek dušika na hektar kmetijskih zemljišč v uporabi, Slovenija.

Vir: KIS, v Maver in Šuštar, 2020

Slika 1 prikazuje trend bruto in neto bilančnega presežka dušika v Sloveniji med leti 1999 in 2018. Po letu 1999 so opazna precejšnja nihanja presežkov iz leta v leto. Trend zadnjih nekaj let obdobja obsega sorazmerno nizke, ne pa ustajene vrednosti. Največji bilančni presežki, ki močno izstopajo, so iz let 2003, 2000 in 2001 ter 2013. Primerjava med obema presežkoma prikaže tudi, da razmerje izgub dušika pri neto presežku po letih ostaja skoraj enako, torej se izgube dušika v okolje ne spreminjajo bistveno.

2.3. PORABA MINERALNIH GNOJIL V SLOVENIJI



Slika 2: V kmetijstvu porabljena glavna rastlinska hranila iz mineralnih gnojil, Slovenija.

Vir: SURS, v Flis, 2020

Slika 2 prikazuje porabo mineralnih gnojil v slovenskem kmetijstvu ločeno po dušikovitih, fosforjevih in kalijevih mineralnih gnojilih med letoma 2009 in 2019. Poraba vseh treh vrst mineralnih gnojil med leti je podobna oz. brez večjih sprememb, kar z izjemo opaznega povečanja porabe iz leta 2009 v leto 2010 še posebej velja za fosforjeva in kalijeva mineralna gnojila. Poraba dušikovih mineralnih gnojil je torej nekoliko bolj spremenljiva, a še vedno precej stabilna. Občutno največja poraba med mineralnimi gnojili je značilna za dušikova, s precej manjšo porabo pa jim sledita kalijeva in fosforjeva mineralna gnojila.

Leta 2019 je skupna poraba mineralnih gnojil v slovenskem kmetijstvu znašala približno 138.000 ton, kar v primerjavi z letom 2018 predstavlja približno 7 % povečanje. Iz tega sledi, da je bilo na hektar uporabljenega kmetijskega zemljišča leta 2019 povprečno nanešeno 58 kg mineralnega dušika (N), 21 kg mineralnega kalija (K₂O) ter 17 kg mineralnega fosforja (P₂O₅) (Flis, 2020).

Sicer pa se je v obdobju 1992–2015 poraba mineralnih gnojil v Sloveniji znižala za 28 %. Znižala sta se tudi dva povezana kazalca, in sicer poraba mineralnih gnojil na hektar kmetijske zemlje v uporabi ter poraba rastlinskih hranil na hektar kmetijske zemlje. Največji delež hranil v mineralnih gnojilih je zavzemal dušik z 51 %, sledi mu kalij s 27 % ter fosfor z 22 %. Iz tega sledi, da se v Sloveniji mineralna gnojila večinoma uporabljajo kot ukrep dognojevanja z dušikom preko uporabe enostavnih dušikovih gnojil. Gnojenje s fosforjem in kalijem pa se združuje preko uporabe živinskih gnojil pri predsetveni obdelavi tal. Trend zniževanja porabe mineralnih gnojil lahko prisodimo upoštevanju zahtev nitratne direktive ter načelom dobre kmetijske prakse pri gnojenju, katerih upoštevanje je zadnjih nekaj let za kmetije obvezno. Oba predpisa poudarjata pomen uporabe živinskih gnojil ob hkratnem oziru na rastlinska hranila v živinskih gnojilih, ko se načrtuje gnojenje z mineralnimi gnojili. Dodaten vzrok zniževanja porabe mineralnih gnojil so obvezni gnojilni načrti za kmetije, kjer so določena tudi rastlinska hranila iz živinskih gnojil (Sušin in Kmetijski inštitut Slovenije, 2016).

3. VPLIV GNOJENJA NA KAKOVOST PODZEMNIH VODA V SLOVENIJI

Tveganje za izpiranje dušikovitih spojin v podtalnico je povečano, če je mineralnega dušika v tleh prisotnega več, kot ga za svoje delovanje potrebujejo rastline. Dušikove spojine, ki se izpirajo, največkrat obsegajo nitrate, zato je govora o onesnaževanju podtalnice z nitrati. Posredno prihaja tudi do onesnaževanja površinskih vod, ali preko onesnažene podtalnice ali preko površinskega odplavljanja dušikovitih spojin v vodna telesa (Verbič, 2006b).

V obdobjih pred iznajdbo in uporabo mineralnih gnojil so kmetje povsem drugače ravnali z dušikom v gnojilih. Bili so zelo skrbni pri urejanju gnojilšč, gnojili pa so tudi z dušikom iz greznic. Uporaba mineralnih gnojil je torej povečala pridelke, s tem pa tudi tveganje onesnaževanja vod. Dejavniki tveganja za izpiranje nitratov v vode je poleg tega obširno trgovanje z živinsko krmo, kjer je prisoten enosmerni tok rastlinskih hranil iz območij poljedelstva v območja živinoreje. Za predele z intenzivno živinorejo je tipična pozitivna bilanca dušika, saj živali z izločki proizvedejo več dušika, kot ga pridelki potrebujejo (Verbič, 2006b).

Nitrati, prisotni v stoječih oz. počasi tekočih vodnih telesih povzročajo evtrofikacijo, kjer velike količine rastlinskih hranil povzročijo pretiran razrast alg in ostalih vodnih rastlin. Ta biomasa se nato razkroji in posledično omogoči ugodne pogoje za razmnoževanje mikroorganizmov, ki porabljajo v vodi prisoten kisik. Celoten proces predstavlja nevarnost za vodne živali. Evtrofikacijo v največji meri povzročajo dušikove spojine, delno pa tudi fosfor. Nitrati imajo poleg evtrofikacije vpliv tudi na pH-vrednost vodnih teles. S svojo prisotnostjo lahko pH vrednost znižajo preko povišanja vsebnosti H^+ ionov, kar ima za posledico manjšo sposobnosti nevtralizacije kislin v jezerih. Višja kislost vode v vodnih telesih lahko povzroči tudi nastajanje mobilnih oblik aluminija in ostalih težkih kovin, kot so kadmij, baker, svinec ter cink. Omenjen raztopljen aluminij nato zniža dostopnost ortofosfatov in moti kroženje fosforja v vodnem sistemu. Kislost med pH 5,5 in pH 6 pa velja kot mejna vrednost, pod katero organizmi ne morejo preživeti. Nadalje, visoke vsebnosti nitratov so lahko za vodne organizme tako zelo strupene, da negativno vplivajo na njihovo sposobnost razmnoževanja in preživetja (Verbič, 2006b; Nelson in Campbell, 1991, Anderson in sod., 2002, Smith, 2003 v Bibi in sod., 2016).

Nitrati pa imajo vpliv tudi na zdravje ljudi, kar je še posebej problematično ob uporabi z nitrati onesnažene vode kot pitne vode. Za nitrate velja, da sami po sebi niso nevarni—taki postanejo, ko se v telesu, natančneje v prebavilih, preoblikujejo v nitrite. Ta dušikova spojina se nato veže na hemoglobin v krvi in otežuje prenos kisika, kar se imenuje methemoglobinemija (Verbič, 2006b).

Viri nitratov v vodnih telesih so navadno nedosledno ravnanje z živinskimi gnojili, samo gnojenje ter nenadzorovani izpusti komunalnih odplak. Na podlagi ocenjenih vrednosti se predvideva, da je onesnaževanje v kmetijstvu razporejeno polovično med mineralnimi in živinskimi gnojili. Treba pa je vedeti, da pri onesnaževanju podtalnice delujejo nekateri naravni dejavniki, na katere imamo ljudje malo vpliva ali pa ga sploh nimamo, in sicer:

- vrsta tal: tveganje onesnaževanja je večje na lahkih in prepustnih tleh;
- vrsta pridelka: na travinju je izpiranje nitratov znatno manjše kot na njivah;
- količina padavin in izhlapevanje vode: velik pretok v vodnem telesu omogoča hitro redčenje nitratov in s tem obnovo podtalnice, posledično je največje tveganje nitrata onesaženja prisotno na predelih s kombinacijo manjših količin padavin ter obsežnega izhlapevanja vode;
- zaledni nekmetijski in neposeljeni predeli: tamkajšnja čista voda omogoča hitro redčenje nitratov v podtalnici (Verbič, 2006b).

Dejstvo, da so od vseh dušikovitih spojin glede prehajanja v vodna telesa najbolj problematični ravno nitrati, pojasni njegov ionski naboj in posledično obnašanje v tleh.

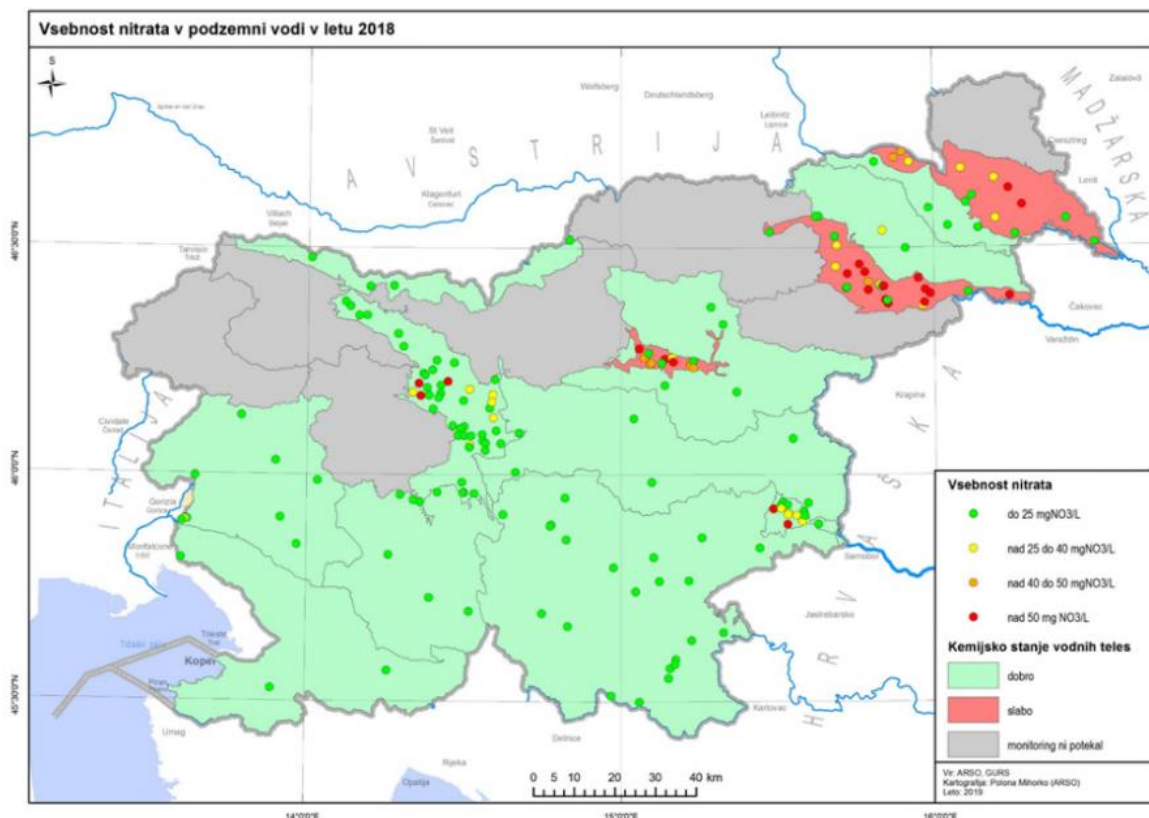
Nitratna oblika dušika oz. nitratni anion NO_3^- ima v tleh negativen ionski naboj, hkrati pa imajo tak naboj tudi talni delci. To je razlog, da se nitrati in delci tal medsebojno odbijajo. Posledično so nitrati bolj dovzetni za izpiranje v vodna telesa v primerjavi z ostalimi rastlinskimi hranili, celo v primerjavi z amonijsko obliko dušika. Ostala rastlinska hranila, ki so prisotna v talni raztopini, pa so pozitivno nabiti ioni oz. kationi, npr. kalijev kation K^+ , magnezijev kation Mg^{2+} , kalcijev kation Ca^{2+} , amonijev kation NH_4^+ ipd. Ti se zaradi omenjenega pozitivnega naboja uspešno vežejo na negativno nabite talne delce (Sušin in sod., 2017).

3.1. OBREMENJENOST PODZEMNIH VOD Z NITRATI V SLOVENIJI

Prisotnost nitrata v podzemnih vodah je lahko posledica naravnega izvora ali človekovih dejavnosti. V prvem primeru so vsebnosti nitrata odvisne od geološke sestave vodonosnikov. V Sloveniji znaša koncentracija naravno prisotnih nitrata manj kot $10 \text{ mg NO}_3/\text{l}$. V drugem primeru pa so koncentracije nitrata povečane zaradi kmetijstva, ki vodna telesa onesnažuje točkovno preko neurejenega skladiščenja živinskih gnojil ter kanalizacije in razpršeno zaradi uporabe živinskih in mineralnih gnojil. Tretji vzrok prisotnosti nitrata v podzemni vodi je lahko tudi neurejeno odvajanje komunalnih odpadnih voda. Treba pa je še omeniti, da je podzemna voda v Sloveniji najpomembnejši vir pitne vode (Mihorko in sod., 2019; Sušin in sod., 2008).

Pri obremenjevanju podzemnih vodnih teles z nitrati je treba omeniti tudi kemijsko stanje podzemnih vod. Poznamo dve vrsti kemijskega stanja podzemnih vod, in sicer dobro ter slabo kemijsko stanje podzemnih vod. Dobro kemijsko stanje je tisto, kjer kemijska sestava podzemne vode zagotavlja, da letna aritmetična srednja vrednost parametrov podzemne vode na nobenem merilnem mestu ne preseže standardov kakovosti ter vrednosti praga. Slabo kemijsko stanje podzemne vode pa je stanje, ki ni v skladu s pogoji dobrega kemijskega stanja (Uredba o stanju ..., U. I. RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16).

Standard kakovosti za parameter nitrati je opredeljen kot $50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ podzemne vode (Uredba o stanju ..., U. I. RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16, priloga 2).



Slika 3: Povprečne letne vrednosti vsebnosti nitratov v vzorcih podzemne vode na merilnih mestih državnega monitoringa 2015.

Vir: ARSO, 2019, v Mihorko in sod., 2019

Slika 3 prikazuje vsebnosti nitrata v podzemni vodi v letu 2018 v Sloveniji. Za večino merilnih mest po državi, kjer se je izvajal monitoring, je značilna vsebnost nitrata do 25 mg NO₃⁻/l podzemne vode. Povečane vsebnosti nitrata med 25 mg NO₃⁻/l in 50 mg NO₃⁻/l so prisotne v porečjih Murske, Dravske, Savinjske, Krške ter Savske kotline. Vsebnosti nitrata, ki presegajo standard kakovosti 50 mg NO₃⁻/l, pa so prav tako prisotne v vseh naštetih porečjih. V Dravski kotlini je takih rezultatov monitoringa največ, ostale kotline pa so po pogostosti preseganja standarda kakovosti med sabo primerljive. Posledično je kemijsko stanje vodnih teles za porečja Mure, Drave in Savinje slabo, za ostalo ozemlje Slovenije (kjer se je izvajal monitoring) pa dobro.

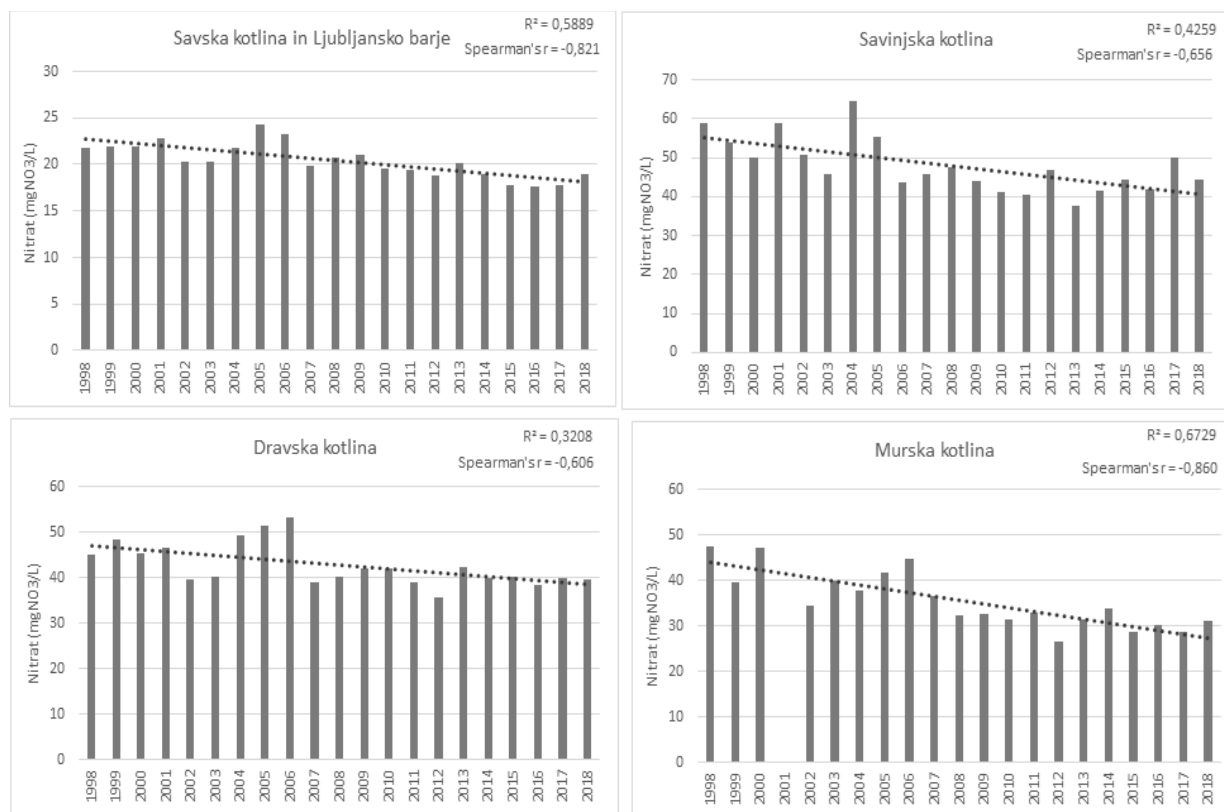
Pri spremljanju obremenjevanja podzemnih vod z nitrati ločimo kraške ali razpoklinske vodonosnike ter medzrnske oz. aluvialne vodonosnike. Za kraške ali razpoklinske vodonosnike velja, da podzemna voda v njih vsebuje manj nitratov. Do tega prihaja zaradi samih geografskih značilnosti, manj goste poseljenosti in manjših kmetijskih območij. To trditev potrjuje državni monitoring tudi v letu 2018. Povprečne letne koncentracije nitratov v večjem delu vod s predvsem takšnimi vodonosniki znašajo manj od 10 mg NO₃/l, nikjer pa niso presegle 25 mg NO₃/l (Mihorko in sod., 2019).

Nasprotno pa prevladujoči medzrnski oz. aluvialni vodonosniki v severovzhodni ter osrednji Sloveniji, natančneje v ravninskih območjih rečnih dolin Drave, Mure, Savinje in Save, vsebujejo večje koncentracije nitratov v podzemni vodi. Te so navadno večje od naravnega ozadja, ponekod presegajo celo mejno vrednost, ki znaša 50 mg NO₃/l. Vodna telesa, ki spadajo med najbolj onesnažena, so porečja Savinje, Drave ter Mure, a izboljšanje je vendarle prisotno – od leta 2007 povprečne letne vsebnosti nitratov na teh območjih niso presegle standarda kakovosti (Mihorko in sod., 2019).

Pri omenjenih območjih porečij Dravske, Murske in Krške kotline, ki so zgodovinsko gledano najbolj problematična območja preseženih vsebnosti nitratov v podzemnih vodah, gre za to, da se najbolj rodovitna kmetijska tla prekrivajo z območji, ki so najbolj dovzetna za izpiranje nitratov. Tveganje predstavlja večinoma plitva in lahka tla z globino do pol metra, kjer imajo nitrati občutno krajšo pot do podzemnih vod kot pri globljih tleh. Takšna tla so še posebej tipična za večji del vodnih teles Dravske in Murske kotline, kjer so preseganja vsebnosti nitratov največja. Poleg tega so bile leta 2007 vsebnosti nitratov ponekod presežene tudi na območju porečij Savinjske in Savske kotline, za kateri so ravno tako značilna plitva tla do globine pol metra. Pri tleh, globljih od pol metra se ne zaznavajo preseganja nitratov. Iz tega sledi, da so presežki vsebnosti nitratov v podzemnih vodah v Sloveniji pretežno značilni za območja s plitvimi tlemi do globine pol metra. Dodatno tveganje predstavlja še obsežen delež njiv na področju rabe tal, saj so tu prisotna najbolj rodovitna kmetijska tla v Sloveniji. Posledično je tukaj kmetijska pridelava najbolj obsežna, to pa se odraža tudi pri tveganju onesnaževanja podzemnih vod z nitrati iz kmetijstva. Na njivah se porabi največ dušika za gnojenje z mineralnimi in živinskimi gnojili. Iz analize pokritosti z njivami v Sloveniji glede na posamezna vodna telesa v letu 2007 lahko namreč razberemo, da so prav njive v največji meri prisotne na vodnih območjih preseganja nitratov v podzemni vodi in so zaradi tega klasificirane s slabim kemijskim stanjem. Porečja Krke in Drave imata 47 % njiv na površini vodnega telesa, porečje Mure pa celo 57 %. Preostala vodna telesa imajo te odstotke znatno nižje. Oba dejavnika imata negativne učinke na tveganje za obremenjevanje vodnih teles z nitrati iz kmetijstva. Zadnja leta se v Sloveniji kot dodaten negativen vpliv kaže tudi manjša količina padavin. Izprani nitrati se tako v podzemnih vodah manj razredčijo (Sušin in sod., 2008).

Za povprečne letne vsebnosti nitratov v vodah z aluvialnimi vodonosniki kot območja največje onesnaženosti z nitrati med leti 1998 in 2018 nakazujejo statistično značilne trende

zmanjševanja vrednosti nitratov, in sicer na območjih porečij Savinjske, Dravske ter Murske kotline. Kot novost je v letu 2018 vidno zmanjševanje tudi na območju porečja Save ter Ljubljanskega barja. Za ostala vodna območja tega ne moremo trditi. Rezultati državnega monitoringa na nekaterih vodnih območjih torej podpirajo ugodne vplive, česar vzrok bi lahko bilo upoštevanje ukrepov za zmanjševanje vnosa dušika v tla (Mihorko in sod., 2019).



Slika 4: Trend zmanjševanja vsebnosti nitrata v vodnih telesih Savinjske, Murske in Dravske kotline v obdobju 1998-2018.

Vir: ARSO, 2019, v Mihorko in sod., 2019

Slika 4 prikazuje trend zmanjševanja vsebnosti nitrata v vodnih telesih Savinjske, Murske in Dravske kotline med letoma 1998 in 2018. Pri vseh porečjih je opazen trend padanja vrednosti nitrata. Padanje je najbolj izrazito v porečju Murske in Savske kotline ter na Ljubljanskemu barju, v porečju Savinjske in Dravske kotline pa je trend manjših vsebnosti nitrata nekoliko nižji. Pri vseh kotlinah so opazne povišane vsebnosti nitrata med letoma 2004 in 2006, na splošno pa so si vsebnosti nitrata med kotlinami precej podobne. Po razpršenosti vsebnosti nitratov najbolj izstopa Murska kotlina.

3.2. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE OBREMENJENOSTI PODZEMNIH VOD Z NITRATI IZ GNOJENJA V SLOVENIJI

Temeljni pravili zmanjševanja izgub dušika pri gnojenju v kmetijstvu sta naslednji. Načeloma več vnesenega dušika pomeni več izgub v okolje, zato je pridelke treba gnojiti le s tolikšnimi količinami dušika, kot ga res potrebujejo, enako pa velja tudi za oskrbo živali z beljakovinami. Nadalje, z ustreznim ravnanjem se morajo preprečevati izgube dušika, kar posledično zmanjša potrebe po vnašanju mineralnih gnojil. Viri nitratov v podzemnih vodah so večinoma izpiranje s kmetijskih površin, izpiranje iz neprimerno urejenih ter nevodotesnih gnojišč in izpiranje iz neprimerno urejenih hlevov in izpustov domačih živali (Verbič, 2006b).

Ko se pripravljajo ukrepi, ki so namenjeni zmanjševanju obremenjevanja z nitrati na lokalnem nivoju, je ključnega pomena tudi opravljanje meritve nitratov na določenem merilnem mestu v daljšem časovnem obdobju. Dolgoročne meritve namreč omogočajo celovito presojo pri vprašanju učinkovitosti uvedenih ter izvedenih ukrepov, ki so namenjeni zmanjševanju obremenjenosti podzemnih vod z nitrati. Ponekod po Sloveniji določena merilna mesta že dalj časa izkazujejo močno presežene vsebnosti nitratov. To dejstvo bi moralo biti jasen znak za uvedbo dodatnih ukrepov (Sušin in sod., 2008).

Kot ukrep zmanjševanja onesnaževanja slovenskih vodnih teles z nitrati je bila leta 1996 sprejeta omejitev obtežbe kmetijskih površin z živino, poleg tega pa so bili uvedeni tudi okolju prijazni načini gnojenja kmetijskih površin. Tudi Program razvoja podeželja vsebuje kmetijsko okoljske ukrepe, ki ugodno vplivajo na obremenjevanje vod z nitrati. Prejemniki plačil tega ukrepa so zavezani k strožjim standardom glede obremenitve kmetijskih površin z živino, kot je navedeno v zakonodaji. Slovenija se je z letom 2004 zavezala k izvajanju nitratne direktive, katere namen je zmanjševanje in preprečevanje nadaljnjega onesnaževanja podzemnih voda z nitrati iz kmetijstva (Sušin in sod., 2008).

3.2.1. NITRATNA DIREKTIVA OZ. UREDBA O VARSTVU VODA PRED ONESNAŽEVANJEM Z NITRATI IZ KMETIJSKIH VIROV KOT UKREP ZMANJŠEVANJA OBREMENJENOSTI PODZEMNIH VOD Z NITRATI IZ GNOJENJA V SLOVENIJI

Nitratna direktiva oz. Direktiva Sveta z dne 12. decembra 1991, o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati s kmetijskih virov (UL L št. 375 z dne 31. 12. 1991, str. 1) je dokument, ki ureja gnojenje na ravni Evropske unije. Določila te direktive so bila v slovenski pravni red prenešena z Uredbo o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov, U. I. RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17. Navedena uredba narekuje ukrepe, usklajene z nitratno direktivo, ki med drugim državam članicam narekuje izvedbo delovnih programov za ranljiva območja. Ti obsegajo zavezujoče ukrepe zmanjševanja vnosa dušika v tla ter na tla z namenom varovanja voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov iz nitratne direktive. Prav varovanje voda pred onesnaževanjem z nitrati s kmetijskih virov je razlog, da ima celotno ozemlje Slovenije od leta 2001 status ranljivega območja. Posledično so bili uvedeni ukrepi varstva voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov, za katere je predvideno izvajanje na kmetijskih površinah po celotnem območju Slovenije (Vlada Republike Slovenije, 2018).

Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov določa mejne vrednosti vnosa dušika iz kmetijskih virov v tla ali na tla ter ukrepe zmanjševanja in preprečevanja onesnaževanja voda, ki ga povzročajo nitrati iz kmetijskih virov. Določila uredbe so dolžna spoštovati vsa kmetijska gospodarstva, ki izvajajo gnojenje oz. pri katerih prihaja do nastanka živinskih gnojil, bioplinske gnojevke, komposta ali digestata, tudi v primeru, da slednja ne obsegata živinskih gnojil (Uredba o varstvu ..., U. I. RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17).

»Nitratna uredba« torej podrobneje ureja gnojenje, kar obsega količinske in časovne omejitve. Količinska omejitev ureja obremenitev kmetijskih površin z dušikom iz živinskih gnojil. Ta na letni ravni ne sme preseči vrednosti 170 kg N/ha kmetijskih površin na nivoju kmetijskega gospodarstva. Nadalje vnos dušika iz gnojil organskega izvora na enoto rabe kmetijskih površin na letni ravni ne sme preseči vrednosti 250 kg N/ha. Časovna omejitev pa prepoveduje gnojenje v celinskem območju na splošno (Iljaš, 2018).

Vrsta gnojila		September	Oktober	November	December	Januar	Februar	Marec
Tekoča organska gnojila	Splošna časovna prepoved				15. november - 1. marec			
	Izjema: priprava zemljišč za setev jarih žit, trav in TDM ter dognojevanje ozimim in sejane travinja				15. november - 15. februar			
Hlevski gnoj, kompost, digestat (> 20 % ss)	Splošna časovna prepoved				1. december - 15. februar			
	Zaščiteni prostori (rastlinjaki)				Ni prepovedi			
Mineralna gnojila, ki vsebujejo dušik	Splošna časovna prepoved	Dovoljeno	15. oktober - 1. marec					
	Izjema: gnojenje ozimim (vključno s sejanim travinjem)	največ 40 kg N/ha	1. december - 15. februar					
	Zaščiteni prostori (rastlinjaki)				Ni prepovedi			

Slika 5: Prikaz splošnih časovnih omejitev gnojenja v celinskem območju Slovenije glede na vrsto uporabljenih gnojil.

Vir: Iljaš, 2018

Če na kmetijskem gospodarstvu nastajajo presežki dovoljenega letnega vnosa dušika, se morajo upoštevati naslednja določila: presežek živinskih gnojil je mogoče oddati ostalim uporabnikom kmetijskih površin; presežek se lahko predela in se nato v raznih oblikah proda na trgu; mogoča je tudi obdelava presežkov skladno s predpisi, ki urejajo odpadke ali ravnanje s stranskimi proizvodi živali (Uredba o varstvu ..., U. I. RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17).

Uredba o varstvu... narekuje, da se mora gnojenje rastlin z dušikom opravljati skladno s potrebami rastlin. To pomeni, da se gnojenje opravlja ob ustreznem času, s primernim gnojilom in odmerkom dušika ter poleg tega tudi na primeren način. Gnojenje ob ustreznem času pomeni, da se opravlja takrat, ko ga rastline zares potrebujejo, torej v času rasti. Za tako gnojenje je značilen tudi večji izkoristek dušika. Če se gnojenje ne opravlja v skladu s časovnimi potrebami rastlin, lahko prihaja do izgub dušika v vodna telesa ali v zrak. Primeren odmerek dušika mora biti prilagojen potrebam rastlin v posamezni rastni fazi. Primerno gnojilo je gnojilo, ki omogoča uporabo potrebne količine dušika in dobro delovanje. Ustrezen način gnojenja označuje tehnično pravilno uporabo gnojila, ki združuje učinkovito delovanje in čim manjše izgube, še posebej v zrak (Sušin in sod., 2017). Omenjena Uredba glede gnojenja in stanja tal ima precej omejitev glede uporabe. Uporaba organskih in mineralnih gnojil ni dovoljena na poplavljenih tleh, na tleh, nasičenih z vodo, na tleh, ki jih prekriva sneg, ter na zamrznjenih tleh. Prav tako ni dovoljeno vnašanje gnojil v ali na tla na kmetijskih površinah, ki se zaraščajo, so nerodovitna ali se uvrščajo v skupino vodnih zemljišč. Posebna pozornost je namenjena območjem v bližini objektov zajema pitne vode (tista, ki oskrbujejo sistem javne oskrbe s pitno vodo). V primeru, da takšno območje nima urejenega vodovarstvenega režima, je do sprejema z zakonom skladnega vodovarstvenega režima, ki ureja vode, prepovedano gnojenje s tekočimi organskimi gnojili v ali na tla na oddaljenosti 100 metrov od opisanega objekta (Uredba o varstvu ..., U. I. RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17).

Za živinska gnojila ter bioplinsko gnojilko (tudi tako, ki ne sestoji iz živinskih gnojil) je potrebno zagotoviti skladiščenje v zbiralnikih tekočih živinskih gnojil, na gnojiščih ali v ostalih vodotesnih skladiščnih objektih. Gradnja in upravljanje teh objektov morata zagotavljati vodotesnost, stabilnost ter odpornost proti mehanskim, toplotnim ali kemičnim učinkom, hkrati pa morajo imeti ustrezno zmogljivost. Nadalje je treba izvajati enakomeren raztros obeh vrst gnojil, preprečevati nenadzorovano gnojenje izven za to predvidenih površin ter zagotavljati brezhibnost naprav za izvajanje gnojenja, ki bi lahko učinkovali na predpisan raztros, odmerjanje in izgube pri vnosu. Uredba dodatno priporoča izvedbo dejavnosti, ki jih opredelita pristojna ministrstva za okolje in kmetijstvo z namenom večje stopnje varstva vod pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. Podatki monitoringa površinskih in podzemnih vod se uporabljajo pri določitvi razsežnosti onesnaženja vod z nitrati iz kmetijskih

virov. Ocena učinkovitosti ukrepov zmanjševanja in preprečevanja onesnaževanja vod preko vnosa dušika iz kmetijskih virov iz te uredbe v kombinaciji s podatki monitoringa površinskih in podzemnih vod lahko predpiše podrobnejše ukrepe za doseganje zmanjševanja in preprečevanja naknadnega onesnaževanja vod z nitrati iz kmetijstva za prepoznane površine preseganji nitrati v vodnih telesih (Uredba o varstvu ..., U. I. RS, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17).

3.2.2. VVO KOT UKREP ZMANJŠEVANJA OBREMENJENOSTI PODZEMNIH VODA Z NITRATI IZ GNOJENJA V SLOVENIJI

Vlada RS odreja VVO z namenom zavarovanja vodnega telesa, ki je vir javne oskrbe s pitno vodo pred obremenjevanjem, ki bi lahko imelo učinke na njegovo zdravstveno ustreznost ali na količino. Znotraj VVO se lahko določijo območja različnih ravni varovanja (Zakon o vodah, U. I. RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20).

VVO se delijo na razna vplivna območja:

- območje z blažjim vodovarstvenim režimom, ki se izvršuje na širšem območju (VVO III),
- območje s strožjim vodovarstvenim režimom, ki se izvršuje na ožjem območju (VVO II),
- območje z najstrožjim vodovarstvenim režimom, ki se izvršuje na najožjem območju (VVO I) (Mihelič in sod., 2010).

Bistvenega pomena na vseh VVO je prepoved gnojenja brez gnojilnega načrta. Omejitve gnojenja na teh treh območjih so naslednje: Na VVO III se dopušča standardno gnojenje pod pogojem, da mejna vrednost dušika ni presežena. Na VVO II je gnojenje, skladno z določbami integrirane ali ekološke pridelave dovoljeno izvajati le izjemoma, in sicer v primeru, da mejna vrednost dušika ni presežena ter v primeru, da monitoring dokaže, da je dotična voda iz zajetja v zadnjih petih letih izkazovala dobro kemijsko stanje po predpisih kakovosti podzemnih vod. Na VVO I pa velja prepoved uporabe dušikovih mineralnih gnojil ter tekočih organskih gnojil. Uporabljajo se lahko le gnojila, ki so navadno primerna v ekološkem kmetijstvu, torej organska gnojila ekstenzivne živinoreje; najmanj pol leta zoren hlevski gnoj; posušen hlevski gnoj; dehidriran perutninski gnoj; kompost iz gospodinjev 1. razreda; šota; glina; žaganje; lesni sekanci; lesni pepel; mehki surovi fosfati; aluminijev kalcijev fosfat; droži in izvlečki iz droži; kalcijev karbonat; magnezijev in kalcijev karbonat naravnega izvora; magnezijev sulfat; kalcijev sulfat; kalijev sulfat; kalijev karbonat ter kamninska moka. Našteta gnojila morajo izpolnjevati predpisane pogoje ekološke pridelave kmetijskih pridelkov (Mihelič in sod., 2010).

Vodovarstvena zakonodaja obsega naslednje predpise: Zakon o vodah določa sprejetje; meje; ukrepe, prepovedi, omejitve; vrste rabe; navedbo lokalne skupnosti (v primeru oskrbe prebivalcev s pitno vodo iz tega vodnega telesa); nadzor; vodovarstveni režim; označevanje; nadomestna zemljišča ter nadomestila zaradi manjšega dohodka pri kmetovanju na VVO. Pravilnik o kriterijih za določitev VVO z namenom odvzema vode ureja določila zunanjih meja; notranjih območij; vodovarstvenega režima pri tveganih okoljskih posegih ter ostale teme določanja VVO (površina, zaščitni ukrepi, strokovne podlage). Uredba o načinu izplačevanja in merilih za izračun nadomestila za zmanjšanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima ureja ukrepe, za katere je mogoče pridobiti nadomestila zaradi manjšega dohodka kmetovanja kot posledica upoštevanja vodovarstvenega režima; način izplačevanja ter kriterije izračuna obsega nadomestil za manjši dohodek kmetovanja. Izplačila nadomestil so mogoča na najožjih VVO z namenom varovanja voda, ki zagotavljajo javno oskrbo s pitno vodo (Zakon o vodah, U. I. RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20;

Pravilnik o kriterijih ..., U. I. RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16; Uredba o načinu ..., U. I. RS, št. 105/11, 64/12, 44/13, 55/15, 97/15, 77/16).

Zakon o vodah še dodatno določa uredbe, ki podrobneje opredeljujejo VVO za različna vodna telesa vodonosnikov po državi. Te uredbe so torej namenjene določitvi VVO za vodna telesa tistih vodonosnikov Slovenije, ki so v uporabi kot vir pitne vode za prebivalce. Omenjene uredbe vsebujejo še podatke o vodovarstvenem režimu, notranjih območjih, zemljiških parcelah; ukrepih, prepovedih in omejitvah rabe vode; ukrepih, prepovedih in omejitvah za gradnjo; prepovedih, omejitvah in zaščitnih ukrepih ravnanja z zemljišči; drugih zahtevah in omejitvah ter o nadzoru in kaznovanju (Uredba o vodovarstvenem ..., U. I. RS, št. 56/2015).

Preglednica 1: Uredbe o VVO za vodna telesa vodonosnikov v Sloveniji.

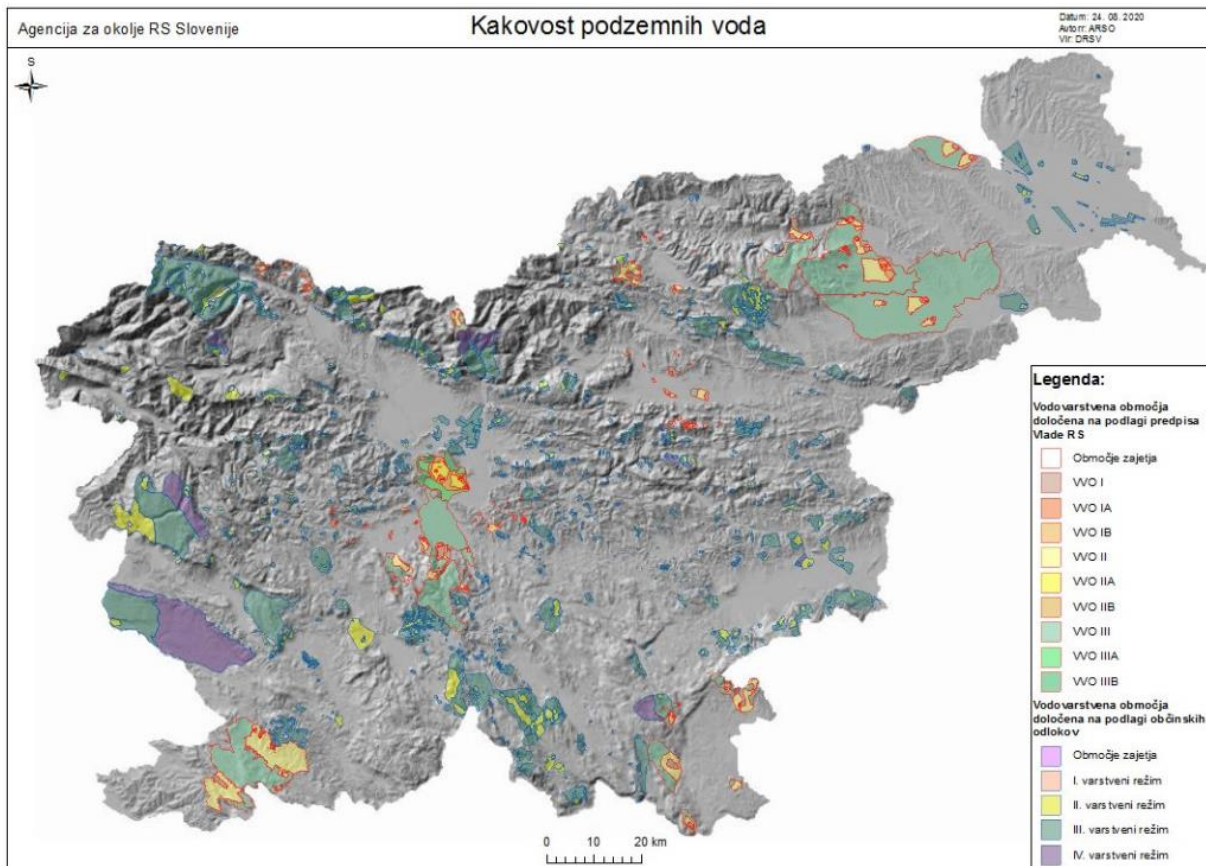
Uredba o vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov na območju Slovenj Gradca (Uradni list RS, 56/15, 21/18)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območje občin Črnomelj, Metlika in Semič (Uradni list RS, 53/16)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Apaškega polja (Uradni list RS, 59/07, 32/11, 22/13, 79/15)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uradni list RS, 43/15)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Selniške dobrove (Uradni list RS, 72/06, 32/11, 22/13, 79/15)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Dravsko-ptujskega polja (Uradni list RS, 59/07, 32/11, 24/13, 79/15)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega barja in okolice Ljubljane (Uradni list RS, 115/07, 9/08, 65/12, 93/13)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov na območju občine Jesenice (Uradni list RS, 62/13, 92/14)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov na območju občine Jezersko (Uradni list RS, št. 24/12)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Rižane (Uradni list RS, 49/08, 72/12, 69/13)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrove in Dravskega polja (Uradni list RS, 24/07, 32/11, 22/13, 79/15)
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov za območje Celja in Žalca (Uradni list RS, št. 25/16).
Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov za območja občin Šmartno ob Paki, Polzela in Braslovče (Uradni list RS, št. 98/11, 93/13, 84/16)

Vir: Služba Vlade Republike Slovenije za zakonodajo, 2017

Slovenski okoljski posebnosti (velike količine padavin od 800 do preko 2.000 milimetrov letno ter plitva prodnata tla na glavnih VVO) povzročata izpiranje nitratov izven obdobja rasti, hkrati pa tudi med rastjo. Slednje prav tako predstavlja slovensko posebnost. Nasprotno pa obsežne gozdne in travnate površine ohranjajo čisto vodo. Zaradi omenjenih slovenskih specifik izpiranja nitratov v podzemne vode ni mogoče preprečiti v celoti, ne preko celovitega opuščanja gnojenja ali celo preko popolnoma strokovno utemeljenega gnojenja pridelkov (Mihelič in sod., 2010).

Gnojenje na VVO zahteva čim večjo mero upoštevanja smernic strokovno utemeljenega gnojenja, kar vključuje gnojenje na podlagi gnojilnega načrta. Ta dokument se izdelava z upoštevanjem analize tal, evidence porabljenih gnojil in samih pridelkov, kjer se vključita še njuna velikost in uporaba. Bistvenega pomena je sodelovanje kmetovalcev s primerno izobraženimi kmetijskimi svetovalci. Za večji del ukrepov na VVO velja, da niso koristni le pri ohranjanju kakovosti pitne vode, temveč tudi za kmetovalce. Ti bi morali zaradi ukrepov, ki

dražijo pridelovanje in/ali zmanjšujejo pridelke (npr. preko omejitev gnojenja), pridobiti temu primerno odškodnino (Mihelič in sod., 2010).



Slika 6: VVO po Sloveniji.

Vir: ARSO, 2020b

Slika 6 prikazuje VVO po Sloveniji, določena na podlagi predpisa Vlade Republike Slovenije ter VVO, določena na podlagi občinskih odlokov. Vidno je, da je velik del VVO odrejen prav na območjih porečij, za katere so značilne višje vsebnosti nitratov. Tu izstopata predvsem porečji Dravske in Savske kotline, nekaj manjših razpršenih VVO pa je zastopanih tudi v porečju Murske kotline.

4. VPLIV GNOJENJA NA VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI

Povišane vsebnosti težkih kovin v kmetijskih tleh so lahko tudi posledica gnojenja v kmetovanju. Te imajo lahko pomembne negativne posledice za zdravje rastlin, biološke procese v tleh ter preko biomagnifikacije tudi za ljudi. Težke kovine definira mnogo njihovih značilnosti, kot so atomsko število, kemijske lastnosti, gostota ter strupenost. Težke kovine obsegajo nejasno opredeljeno skupino anorganskih elementov, ki imajo lastnosti kovin, vključujoč prehodne kovine, metaloide, lantanide ter aktinide, ki imajo petkrat večjo specifično težo v primerjavi z vodo. Večina težkih kovin lahko ostane v tleh še dolgo po tem, ko so bile vnesene. Temu je tako, ker niso podvržene mikrobiološkemu ali kemičnemu razpadu. Nekatere od teh težkih kovin so sicer mikrohranila, ki so nujno potrebna za rast rastlin (bor, kobalt, baker, železo, mangan, molibden, cink), čeprav je večina od njih strupenih. Za težke kovine velja, da je njihova vsebnost v tleh odvisna tudi od geokemičnih lastnosti tal. Na omejenih območjih so lahko naravno prisotne v obliki točkovnih virov (Sharma, 2014, Kirpichtchikova, 2006, Shubhra in sod., 2015 v Alves in sod., 2016; Republika Slovenija GOV.SI, 2020).

Eden od načinov prehajanja težkih kovin v tla je tudi gnojenje. Na ta način se koncentracije le-teh v tleh postopoma zvišujejo, s tem pa postajajo škodljive za rastline in posledično tudi za živali, za katere so značilne nižje potrebe po teh snoveh. Za določene predele se pričakujejo večje težave v obdobju naslednjih petdeset do sto let. V preteklih letih je bilo razširjeno obremenjevanje kmetijskih tal z nekaterimi težkimi kovinami (svinec, cink, živo srebro) zlasti na točkovni ali regijski ravni iz industrije in prometa, skrb vzbujajoče pa so bile tudi vsebnosti bakra na sadjarskih in vinogradniških območjih. V zadnjem času pa v ospredje prihaja onesnaževanje tal s težkimi kovinami preko kmetijstva zaradi bolj intenzivne ter zgoščene živinoreje. Kot že omenjeno, so ekološko najbolj problematični elementi arzen, živo srebro, kadmij, krom, baker, nikelj, svinec ter cink (Babnik, 2006).

Gnojenje z mineralnimi ter organskimi gnojili predstavlja obsežen izvor težkih kovin v kmetijskih tleh. S težkimi kovinami so lahko še posebej bogata organska gnojila, ki so nekmetijskega izvora, npr. blato, mulj, kompost, zato je gnojenje z njimi zakonsko nadzorovano. Vedno bolj problematična postajajo živinska gnojila iz intenzivnih živinorejskih obratov, med katerimi izstopa prašičereja. Dognanja namreč pravijo, da nekatere težke kovine v sledovih (baker, cink, selen, mangan, krom) v večjih vsebnostih v krmi izboljšajo odpornost in produktivnost živali, živinorejci pa jih posledično uporabljajo v večjih količinah. To seveda vodi k višji vsebnosti težkih kovin v živinskih gnojilih, ki se v zadnjem času hitro zvišuje. Opisano onesnaževanje tal poleg tega zvišuje tudi vsebnost težkih kovin v voluminozni krmi na kmetijah, ki obsega več kot polovico vira težkih kovin v obroku (razen bakra in cinka). Kot drugi najvažnejši vir težkih kovin sledi dokupljena močna krma, kjer je še posebej treba omeniti dokupljene mineralno-vitaminske mešanice, ki so velik vir bakra in cinka. V teh mešanicah se lahko pojavljajo tudi ostale težke kovine, npr. kadmij, arzen, svinec, fluor ter živo srebro. Razni nosilci elementov v sledovih lahko vsebujejo tudi spremljevalne, a neželene elemente – v fosfatih se lahko nahaja kadmij, v cinkovih spojinah pa svinec. Kadmij je namreč naravno prisoten element v geoloških nahajališčih fosfatnih kamnin, iz katerih se proizvajajo fosforjeva gnojila. V samem proizvodnem postopku se zato veliko kadmija v rudi prenese v končna gnojila (Babnik, 2006; International Plant Nutrition Institute, 2020).

Kombinacija obsežnega gnojenja, kislih atmosferskih depozitov ter nezadostnega apnenja lahko povzroči večjo kislost tal in posledično poviša dostopnost težkih kovin v tleh. S tem se poslabša stanje na področju kakovosti hrane, izpiranja kovin ter učinkov na organizme v tleh. Tudi uporaba krmnih rastlin, ki so bile pridelane na tleh s povišanimi vsebnostmi kadmija, lahko povzroči visoke vsebnosti kadmija v govedini ter perutnini, še posebej v jetrih in ledvicah (De Vries in sod., 2002, Wa'ngstrand in sod., 2007 v Atafar in sod., 2010).

4.1. OBREMENJENOST KMETIJSKIH TAL S TEŽKIMI KOVINAMI IZ GNOJENJA V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI

Za vsebnost in spremenljivost cinka ter bakra v živinskih gnojilih velja, da se povišujeta. Velika raznolikost vsebnosti cinka ter bakra v živinskih gnojilih je v Sloveniji primerljiva z ostalimi razvitimi živinorejskimi državami. Razlog za veliko spremenljivost vsebnosti težkih kovin v živinskih gnojilih so velika nihanja pri zaužitju teh elementov v obroku preko dokupljene močne krme in mineralno-vitaminskih dodatkov. Nekaj težkih kovin prispevata tudi korozija hlevske opreme ter določena zdravila oz. razkužila. Tudi voluminozna krma vsebuje različne vsebnosti bakra in cinka, kar pa je posledica mnogih dejavnikov (Babnik, 2006).

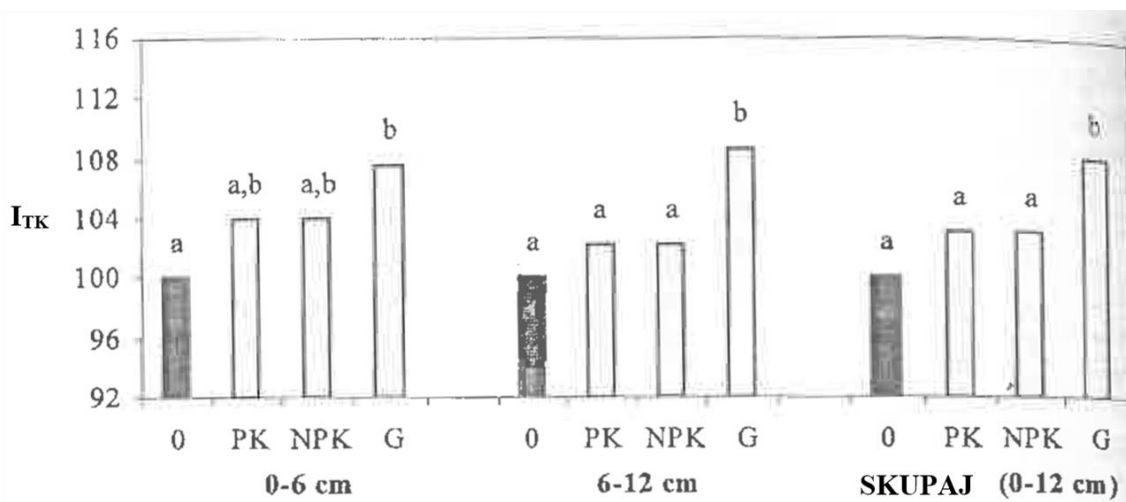
Preglednica 2: Vsebnosti cinka in bakra v živinskih gnojilih v Sloveniji.

	Cink (mg/kg sušine)			Baker (mg/kg sušine)		
	Povprečje	Najmanj	Največ	Povprečje	Najmanj	Največ
Goveja gnojevka	220	79	600	45	10	159
Goveji gnoj	123	52	235	25	13	48
Goveja gnojnica	83	17	245	22	4	61
Praščja gnojevka	830	492	1189	205	36	552

Vir: Babnik, 2006

Preglednica 2 prikazuje različne vsebnosti težkih kovin, natančneje cinka in bakra v živinskih gnojilih v Sloveniji. Podatki za element cink kažejo, da ga v povprečju daleč največ vsebuje praščja gnojevka, med ostalimi govejimi gnojili pa ga je največ prisotnega v goveji gnojevki. Vsebnosti v govejem gnoju ter v goveji gnojnici pa sta med sabo najbolj primerljivi. Podatki za element baker kažejo podobno stanje, a s precej manjšimi vsebnostmi. Velike razlike med najmanjšimi in največjimi vsebnostmi pri obeh elementih kažejo na veliko spremenljivost vsebnosti težkih kovin, ne le pri posameznem gnojilu, temveč tudi med vsemi navedenimi gnojili.

Na področju vpliva gnojenja na vsebnost težkih kovin v tleh je bila poleg tega izvedena študija, ki je preučevala vsebnost težkih kovin (cink, baker, kadmij, krom, nikelj in svinec) na trajnem kraškem travniku v Sloveniji v daljšem časovnem obdobju (med letoma 1983 in 2001) kot posledico uporabe goveje gnojevke in mineralnih gnojil na dveh različnih globinah tal (0-6 cm in 6-12 cm). Tla so bila gnojena z mineralnimi gnojili, ki vsebujejo fosfor in kalij (PK); mineralnimi gnojili, ki vsebujejo dušik, fosfor in kalij (NPK) in govejo gnojevko (G). Prisotna so bila tudi negnojena kontrolna tla (0). Najvišji relativni vsebnosti, upoštevajoč njuni mejni vrednosti sta dosegla nikelj in kadmij, natančneje, v obeh primerih sta mejno vrednost preseгла. Pri ostalih težkih kovinah so bile izmerjene relativne vsebnosti pod mejno vrednostjo. Analiza indeksa težkih kovin ($I_{TK} = \text{onesnaženje tal z vsemi omenjenimi težkimi kovinami glede na mejne vrednosti ter na negnojena tla} = 1/6 * \sum (I_{MVi} / I_{MVi(0)}) * 100 \%$) kaže, da gnojenje z govejo gnojevko v primerjavi z negnojenimi tlemi povzroča značilno višjo stopnjo onesnaževanja pri obeh globinah tal. V primerjavi z obema vrstama mineralnih gnojil goveja gnojevka povzroča značilno višji indeks težkih kovin (I_{TK}), a le pri globini 6–12 cm—tega ne moremo trditi za globino 0–6 cm. Iz tega sledi, da se težke kovine v tleh zaradi gnojenja z govejo gnojevko hitreje izpirajo iz zgornjih v spodnje sloje v primerjavi z obema vrstama mineralnih gnojil. Gnojenje z obema vrstama mineralnih gnojil v primerjavi z negnojenimi tlemi ne vpliva značilno na indeks težkih kovin (I_{TK}) pri obeh globinah tal. Rezultati kažejo, da uporaba goveje gnojevke vpliva na stopnjo onesnaženja tal s težkimi kovinami v primerjavi z negnojenimi tlemi, česar pa ne moremo trditi za obe vrsti mineralnih gnojil. Iz rezultatov analize težkih kovin sledi, da je uporaba goveje gnojevke na tleh trajnega kraškega travnika okolju manj prijazna kot uporaba mineralnih gnojil (Sušin in sod., 2004).



Slika 7: Indeks težkih kovin (I_{TK}) v tleh glede na uporabo posameznih gnojil in globin vzorčenja, kjer se gnojila z različnimi črkama značilno razlikujejo.

Vir: Sušin in sod., 2004

Slika 7 prikazuje indeks težkih kovin (I_{TK}) v tleh glede na uporabo posameznih gnojil in globin vzorčenja. Pri obeh globinah tal so prisotne precej podobne vsebnosti težkih kovin, zato je tako tudi pri skupnih vsebnostih težkih kovin v tleh. Najvišje ter tudi najbolj izstopajoče so vsebnosti težkih kovin pri goveji gnojevki, vsebnosti pri obeh vrstah mineralnih gnojil so nižje, a so si zelo blizu, na negnojnih tleh pa so vsebnosti najnižje.

4.2. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN IZ GNOJENJA V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI

Obremenjevanje kmetijskih tal s težkimi kovinami je v prvi vrsti mogoče uspešno nadzirati in preprečevati preko sistematičnega nadzora vsebnosti elementov v krmi, v samih živinskih gnojilih, v tleh ter preko načrtovanja njihovega vnašanja v kroženje hranil na kmetiji. Najučinkovitejši ukrep obsega ustrezno obremenitev kmetijskih površin z živino. Ko se v tleh ali v krmi ugotovi povišana vsebnost določenih elementov, je za to treba najti razlog. Na večinoma živinorejskih kmetijah je učinkovit ukrep izogibanje uporabi organskih gnojil nekmetijskega izvora (blato, mulj, kompost), pa tudi uporabi mineralnih gnojil s spornimi elementi. Bistvenega pomena je zniževanje vsebnosti spornih elementov v živinskih gnojilih. Razne mineralno-vitaminske mešanice se morajo izbirati in krmiti glede na resnične potrebe živali oz. po predpisih, pa tudi v odvisnosti od vsebnosti določenih elementov v voluminozni krmi. V primeru, da se pri živalih za potrebe preprečevanja zdravstvenih težav uporabljajo specialni mineralno-vitaminski dodatki, ki vsebujejo višje vsebnosti mikroelementov (cinka, bakra, kroma), je treba take dodatke v največji meri časovno omejiti. Če se krma kupi, se priporoča opravljanje analize vsebnosti prisotnih elementov. Vsebnost določenih elementov v živinskih gnojilih je posredno odvisna tudi od ustreznega prezračevanja hlevov, kar znižuje korozijo pocinkane opreme in uporabe primernih razkužil brez težkih kovin (Babnik, 2006).

4.2.1. UREDBE S PODROČJA VNOSA TEŽKIH KOVIN V TLA KOT UKREP ZMANJŠEVANJA VSEBNOSTI TEŽKIH KOVIN IZ GNOJENJA V KMETIJSKIH TLEH V SLOVENIJI

Področje vnosa težkih kovin v kmetijska tla v slovenski zakonodaji urejata Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Uredba o predelavi ..., U. I. RS, št. 99/13, 56/15 in 56/18) ter Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu (Uredba o uporabi ..., U. I. RS, št. 62/08)).

Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata med drugim ureja področje ravnanja z živalskimi iztrebki, urinom, gnojem, steljo (brez prisotnosti furnirja, premazov ali sredstev za zaščito) in drugimi živinskimi gnojili. Za to skupino biološko razgradljivih odpadkov sta primerna oba postopka obdelave, torej kompostiranje preko aerobne razgradnje ter digestiranje preko anaerobne razgradnje. Nadalje je v omenjeni Uredbi določeno tudi, da ta dokument med drugim ne velja pri živinskih gnojilih, ki izvirajo iz kmetijstva—a pod pogojema, da se obdelava le-teh vrši na območju nastanka ter da se kompost ali digestat iz njih uporabljata na kmetijskih površinah dotične kmetije (Uredba o predelavi ..., U. I. RS, št. 99/13, 56/15 in 56/18, priloga 1).

Preglednica 3: Mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla.

Nevarna snov	[g/ha] v dveh letih
Kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd	10
Celotni krom	600
Baker in njegove spojine, izražene kot Cu	700
Živo srebro in njegove spojine, izražene kot Hg	10
Nikelj in njegove spojine, izražene kot Ni	400
Svinec in njegove spojine, izražene kot Pb	600
Cink in njegove spojine, izražene kot Zn	3.000

Vir: Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata, U. I. RS, št. 99/13, 56/15 in 56/18, priloga 5

Preglednica 3 prikazuje mejne vrednosti vnosa nevarnih snovi v tla preko uporabe komposta ali digestata pri predelavi biološko razgradljivih odpadkov, med katere spada tudi že omenjena skupina živalskih iztrebkov, urina, gnoja, stelje in drugih živinskih gnojil, in sicer v obdobju dveh let. Med vsemi težkimi kovinami izstopata kadmij in njegove spojine ter živo srebro in njegove spojine, natančneje po njunih izrazito nizkih mejnih vrednostih v primerjavi z ostalimi snovmi. Celotni krom, baker in njegove spojine, nikelj in njegove spojine ter svinec in njegove spojine so med sabo prav tako primerljivi. Izstopajoče najvišjo mejno vrednost pa ima cink in njegove spojine.

Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu pa ureja področje ravnanja z blatom, ki nastaja pri komunalnih čistilnih napravah, ko se to blato uporablja kot gnojilo pri kmetovanju. Blata, ki nastajajo pri komunalnih, malih komunalnih ali skupnih čistilnih napravah, je dovoljeno pri kmetovanju uporabljati z namenom gnojenja le skladno z omenjeno Uredbo. Pri uporabi teh blat kot gnojila pri kmetovanju so določene mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v tleh, kjer je bilo obdelano blato vneseno; mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v obdelanem blatu in mejne vrednosti vnašanja težkih kovin v enem letu. Blata, pri katerem bi prišlo do presežanja določenih mejnih vrednosti težkih kovin v tleh, pri kmetovanju ne sme uporabljati. Tudi pri načinih uporabe blata pri kmetovanju veljajo prepovedi, ki so predstavljene v nadaljevanju v skladu s to Uredbo. Dodatne prepovedi se nanašajo na uporabo blata iz različnih objektov (greznic, nepretočnih greznic ter malih komunalnih čistilnih naprav s kapaciteto do 50 populacijskih ekvivalentov) kot gnojilo pri kmetovanju. Izjemi te prepovedi predstavljata oddaja blata izvajalcu občinske gospodarske javne službe varstva okolja, skupaj s predelavo, ki je skladna z zakonodajo s področja obdelave biološko razgradljivih odpadkov ali izvor blata, ki mora biti na sami kmetiji ter je zmešano s komunalno odpadno vodo, z gnojivko oz. gnojnico in za katerega je zagotovljeno skladiščenje za čas najmanj šestih mesecev, preden se uporablja kot gnojilo pri kmetovanju (Uredba o uporabi ..., U. I. RS, št. 62/08).

Preglednica 4: Mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v blatu, ki se uporablja v kmetijstvu^[2].

Parameter	Obdelano blato (mg/kg suhe snovi)
Kadmij in njegove spojine, izražene kot Cd	1,5
Krom in njegove spojine, izražene kot celotni Cr	200
Baker in njegove spojine, izražene kot Cu	300
Živo srebro in njegove spojine, izražene kot Hg	1,5
Nikelj in njegove spojine, izražene kot Ni	75
Svinec in njegove spojine, izražene kot Pb	250
Cink in njegove spojine, izražene kot Zn	1.200

Vir: Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu, U. I. RS, št. 62/08, priloga 1, del B

Preglednica 4 podaja mejne vrednosti koncentracije težkih kovin v blatu, ki se uporablja pri kmetovanju, in sicer v mg/kg suhe snovi obdelanega blata. Primerljivost tukaj navedenih mejnih vrednosti je podobna tistim iz prejšnje Uredbe, torej izrazito nizki mejni vrednosti kadmija in njegovih spojin ter živega srebra in njegovih spojin, ki jima sledijo med sabo primerljive mejne vrednosti kroma in njegovih spojin, bakra in njegovih spojin, niklja in njegovih spojin ter svinca in njegovih spojin. Za cink in njegove spojine pa ponovno velja, da imajo izrazito najvišjo mejno vrednost.

^[2] »Mjerne vrednosti veljajo za koncentracije težkih kovin v obdelanem blatu. Izmerjene vrednosti morajo biti preračunane na 30 % vsebnost biološko razgradljivih organskih snovi v obdelanem blatu« (Uredba o uporabi ..., U. I. RS, št. 62/08, priloga 1, del B).

5. VPLIV GNOJENJA NA IZPUSTE V OZRAČJE V SLOVENIJI

5.1. IZPUSTI AMONIJAKA V OZRAČJE PRI GNOJENJU V SLOVENIJI

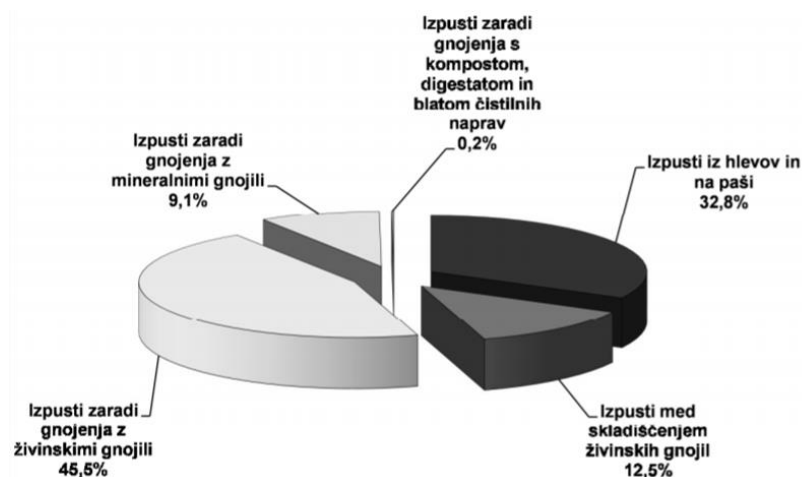
Amonijak (NH_3) je brezbarven, alkalen, zelo vodotopen plin, ki je lažji od zraka in ima tipičen oster vonj. Povzročča ga razpad večjega dela organskih snovi na dušikovi osnovi. Uvršča se med onesnaževalce ozračja (poleg žveplovega dioksida, dušikovih oksidov, nemetanskih hlapnih organskih spojin, ogljikovega oksida in trdnih delcev), sicer pa je tudi uporabno dušikovo gnojilo. Ob pretvorbi amonijske oblike dušika NH_4^+ v plin nastanejo izgube amonijaka, ki je hlapljiv. Pri snoveh, ki vsebujejo amonijak, je njegovo izhlapevanje večje v bazičnih okoljih v primerjavi s kislimi okolji. Izgube amonijaka so večje tudi ob višjih temperaturah in ob višjih vsebnostih amonijske oblike dušika (Poje, 2015; Bittman in Mikkelsen, 2009).

Amonijak škodi zdravju ljudi ter okolju, in sicer je predhodnik finih prašnih delcev, ki povzročajo dihalne in srčne bolezni ter bolezni ožilja. Dodatno pripomore k nastanku kislega dežja ter zakisovanju prsti. Preko izpustov amonijaka se dušik nalaga v naravne ekosisteme in jih posledično spreminja, npr. skozi proces evtrofikacije. Velike količine amonijaka celo neposredno škodijo zdravju in počutju ljudi ter domačim živalim, poleg tega pa neposredno škodijo tudi rastlinam. Hkrati pa ti izpusti predstavljajo gospodarsko škodo, saj se v ozračje izgublja dušik, ki je rastlinam dostopen. Navsezadnje pa ima amonijak tudi toplogredni učinek, saj posredno povzročča nastanek didušikovega oksida, ki je toplogreden plin (Verbič, 2015b; Verbič, 2006c).

Če pri gnojenju nastajajo velike izgube amonijaka, je mogoče, da so rastline zaradi teh nenamernih izgub dušika premalo dognojene. Obseg izgub amonijaka pri samem gnojenju je odvisen od medsebojnega vpliva mnogih kemijskih lastnosti tal in okolja. V teoriji so vsa gnojila, ki vsebujejo amonijsko obliko dušika, podvržena izgubam preko izhlapevanja, od lastnosti vsakega posameznega gnojila pa so lahko odvisne velike razlike pri izgubah dušika. Kot že omenjeno, potencial gnojila za izgube amonijaka je večinoma odvisen od pH-vrednosti okolja. Gnojila, ki vsebujejo amonijsko obliko dušika, npr. amonijev nitrat ali amonijev sulfat na začetku razpada v tleh tvorijo rahlo kislo raztopino in večinoma nimajo velikih izgub amonijaka. Za gnojila, ki vsebujejo ureo, pa velja, da so lahko bolj dovzetna za izgube amonijaka. Te so odvisne od mnogih pogojev, ocene tipičnih izgub amonijaka iz uree, ki ostane na površini tal dlje časa, pa obsegajo med 10 in 40 %. Zato so izgube amonijaka problematične pri pridelovanju brez obdelave tal, kjer dušik pogosto ostane na površini tal. Dodatne značilnosti okolja, od katerih je odvisen nastanek amonijaka, so naslednje:

- v tleh prisotna vlaga (v suhih tleh so kemijske reakcije počasnejše),
- lastnosti tal (tla z višjo kationsko izmenjevalno kapaciteto v splošnem zadržijo več amonijske oblike dušika in imajo zato nižje izgube pri izhlapevanju),
- veter (vetrovno vreme povečuje izgube amonijaka),
- temperatura (izgube amonijaka se povečajo pri višjih temperaturah zaradi vpliva na kemijske in biokemijske reakcije),
- poplavljenost tla (izgube amonijaka se povečajo) ter
- spremembe samih gnojil (inhibitorji ureaze, prevleke, dodajanje kalcijevih soli in kislin) (Mikkelsen, 2009).

Največje količine amonijaka v Sloveniji nastajajo pri gnojenju z živinskimi gnojili, sledijo izpusti iz hlevov in na paši, izpusti med skladiščenjem živinskih gnojil in kot zadnji, izpusti pri uporabi mineralnih gnojil. Eden od razlogov za obsežne izpuste, ki nastajajo ob gnojenju, je tudi neuporaba strojev, ki omogočajo pasovno porazdeljevanje ali zadelovanje gnojevke v tla. Ti stroji povzročajo bistveno manj izpustov amonijaka v primerjavi z bolj uporabljenim načinom pršenja gnojevke. Največje količine amonijaka, z všteti izpusti gnojenja z živinskimi gnojili, povzročča govedoreja s 64,3 %, za njo pa prašičereja z 10,3 % (Verbič, 2015b).



Slika 8: Izpusti amonijaka v kmetijstvu v Sloveniji v letu 2018.

Vir: Verbič, 2020

V obdobju med letoma 1990 in 2014 so se izpusti amonijaka iz kmetijstva znižali iz 21.606 ton letno do 17.304 ton letno oz. za 19,9 %. Manjše količine izpustov tega plina so prav tako vidne v obdobju po letu 2005, to znižanje za omenjeno obdobje znaša 7,3 %. Leto 2005 namreč predstavlja izhodiščno leto za obveze Slovenije v prihodnosti s tega področja. Manjši izpusti amonijaka so primerljivi s povprečjem držav članic Evropske unije 28. Glavni razlog za znižanje izpustov je zmanjšan obseg perutninarstva in prašičereje. Izpusti so se prav tako znižali v govedoreji, ki prispeva največji posamezni vir teh izpustov. Tako zaradi zmanjšanja čred, kjer je treba omeniti, da se znižanje izpustov ni popolnoma skladalo s spremembami velikosti črede. K temu je pripomogla večja intenzivnost reje, kjer nastaja več izločkov dušika, posledično pa tudi izpustov amonijaka. Kljub sorazmernemu povečanju izpustov v konjereji in reji drobnice je to dejstvo v absolutnem smislu zanemarljivo, saj ti izpusti obsegajo le 4,2 % skupnih kmetijskih izpustov. Ne glede na znižanje porabe dušika iz mineralnih gnojil pa so se izpusti iz gnojenja z mineralnimi gnojili povečali, k čemur je pripomogla večja raba sečnine. Ta namreč povzroča večje izpuste amonijaka v primerjavi z drugimi mineralnimi gnojili (Verbič, 2015b).

Treba se je zavedati, da imajo izpusti amonijaka učinek tudi na konkurenčnost v kmetijstvu. To se zgodi zaradi dejstva, da se z izpusti tega plina v ozračje izgublja tudi dušik, ki bi bil v nasprotnem primeru na voljo kot pomembno hranilo za rast in razvoj rastlin. Podatki kažejo, da je okoli 35 % celotnega dušika, ki ga izločijo rejne živali na kmetijah, izgubljenega. Ta odstotek pri mineralnih gnojilih znaša okoli 7 %. Ocena denarnega ovrednotenja izgub dušika v okolje preko izgub amonijaka znaša okoli 10 milijonov evrov letno (Ministrstvo za okolje in prostor, 2020a).

5.1.1. DIREKTIVA NEC KOT UKREP ZMANJŠEVANJA IZPUSTOV AMONIJAKA V SLOVENIJI

Na ravni Evropske unije je bila sprejeta Strategija za izboljšanje kakovosti zraka, ki podaja izvedbo mnogih dejavnosti glede zniževanja izpustov v zrak. Poudarka dotične Strategije obsegata bolezenski in okoljski vidik onesnaženega zraka v Evropi. Sledila je uzakonitev nove Direktive 2016/2284 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka, spremembi Direktive 2003/35/ES in razveljavitvi Direktive 2001/81/ES-nova Direktiva NEC. Ta direktiva se je prenesla v slovenski pravni red z Uredbo o nacionalnih zgornjih mejah emisij onesnaževal zunanega zraka, U. I. RS, št. 24/05, 92/07, 10/14, 47/17 in 48/18. Razveljavljena Direktiva 2001/81/ES je opredeljevala absolutne zgornje meje izpustov amonijaka (in nekaterih ostalih plinov) v kilotonah, ki so morale biti izpolnjene najkasneje leta

2010, veljale pa so do leta 2019. Z letom 2020 pa so stopile v veljavo nove obveze glede zniževanja izpustov v novi Direktivi NEC 2016/2284. Razveljavljena Direktiva 2001/81/ES je opredeljevala državno zgornjo mejo izpustov amonijaka z vrednostjo 20.000 ton. Nova Direktiva NEC pa glede amonijaka določa zgornje meje izpustov za leta 2020, 2025 in 2030, ki so opredeljena v sorazmerju z letom 2005. Za leto 2020 znaša obveznost znižanja izpustov amonijaka -1% glede na leto 2005, za leto 2030 -15% glede na leto 2005, za leto 2025 pa se ta obveznost opredeli glede na linearno krivuljo zniževanja med obveznostjo v letu 2020 in 2030. Trenutno se omenjeni cilji dosegajo. Izpusti amonijaka iz kmetijstva zadnja leta obsegajo vrednosti okrog 5% pod vrednostjo iz leta 2005, a če želimo doseči obveznost, predpisano za leto 2030, bo treba prilagoditi zlasti dejavnost gnojenja z živinskimi gnojili. Nova Direktiva NEC obsega mnoge ukrepe, ki znižujejo izpuste amonijaka v kmetijstvu, npr. izdelavo državnega svetovalnega kodeksa dobrih kmetijskih praks, ki jih bomo predstavili v naslednjih odstavkih (Verbič, 2020; Ministrstvo za okolje in prostor, 2020b).

Za amonijak je značilno, da na površini gnoja ali gnojevke prehaja v ozračje. Izpusti amonijaka pa so pretežno pogojeni s površino živinskega gnojila, ki je v stiku z zunanjim zrakom, z že omenjenima dejavnikoma oblike prisotnega dušika ter pH-vrednosti, pa tudi s temperaturo gnoja oz. gnojevke. Izvajanje pokrivanja skladišč za gnojevko znižuje prehajanje amonijaka v ozračje. Za pokrivanje skladiščnih objektov gnojevke so primerni razni pokrovi, plavajoči elementi ter mehovi, ki znižujejo izgube amonijaka. Dodajanje razrezane slame plavajočemu sloju nastilja, krmnih ostankov ter neprebavljene celuloze na vrhu gnojevke pospeši izoblikovanje le-te, kar sorazmerno dobro znižuje izpuste amonijaka. Pogosto mešanje gnojevke je nezaželeno, saj onemogoča izoblikovanje plavajočega sloja, kar poveča izgube amonijaka. Prezračevanje gnojevke pospeši preoblikovanje amonijskega dušika v nitratni dušik, kar je ugodno pri izgubah amonijaka, vendar pa se s tem dvigne pH-vrednost gnojevke, kar še poveča izgube amonijaka. Skladiščenje nepokrite gnojevke v toplih hlevih prav tako povzroča velike izgube amonijaka. Za hlevski gnoj je z vidika izpustov pomembna oblika, kjer je v stiku z okolico čim manj gnoja, zaželeni so torej visoki in skrbno oblikovani kupi (Verbič, 2020).

Pri samem gnojenju z živinskimi gnojili so izgube amonijaka odvisne od količine dušika, ki je bila uporabljena pri gnojenju. Splošno načelo zniževanja izgub amonijaka je enako kot tisto pri zniževanju nitratov v vodah, in sicer celoten dušik (vnesen z gnojili, biološko vezavo, namakanjem, odložen iz ozračja) mora biti v skladu s potrebami rastlin. Če dosegamo manjše izgube amonijaka pri uporabi živinskih gnojil, to pripomore tudi k boljšemu kroženju dušika, posledično pa se znižajo izgube amonijaka preko manjšega obsega gnojenja z mineralnimi gnojili. Dejstvo je, da če gnojenja z živinskimi gnojili ne izvajamo v skladu s predpisanimi ukrepi, se med gnojenjem izgubi tako rekoč ves dušik, ki je prej ostal v hlevih in skladiščih. Ukrepi znižanja izgub amonijaka med gnojenjem s tekočimi živinskimi gnojili obsegajo uporabo prilagojenih strojev (cevi, sani, vbrizgavanje v tla); zadelovanje v tla (oranje); redčenje gnojevke z vodo (razmerje $1 : 1$); gnojenje v ustreznem vremenu (hladno, vlažno vreme, ob večeru, ob rahlem dežju). Ob zadelavi se amonijska oblika dušika veže na minerale glin. Bistvenega pomena pa je tudi časovni vidik zadelave, saj mora biti ta opravljena v štiriindvajsetih urah. Zadelovanje v tla in gnojenje ob ustreznem vremenu sta primerna ukrepa tudi za znižanje izgub amonijaka pri uporabi hlevskega gnoja. Pri gnojenju z razpršilno ploščo nastaja največ izgub amonijaka, saj gnojevka škropi visoko, z nastalih kapljic pa se amonijak pospešeno izgublja v zrak. Kot že omenjeno je zaradi nižje vsebnosti amonijaka v razredčeni gnojevki smiselno opravljati redčenje tudi z gnojnico. Takšna gnojevka v tla pronica hitreje v primerjavi z nerazredčeno gnojevko, zato je na mestu opravljati redčenje gnojevke in gnojnice prav tako v razmerju $1 : 1$. V tem primeru se izgube amonijaka znižajo za okvirno 50% (Verbič, 2020; Mihelič in sod., 2010).

Pri gnojenju z mineralnimi gnojili izgube amonijaka iz dušikovitih gnojil znižamo z upoštevanjem količinskih in časovnih potreb rastlin. Če uporabljamo sečnino, povzročamo okrog dvajsetkrat večje izgube amonijaka, kot bi jih z uporabo gnojila KAN in okrog trikrat večje, kot bi jih z uporabo kompleksnih dušikovih gnojil. Pri uporabi sečnine je priporočljivo,

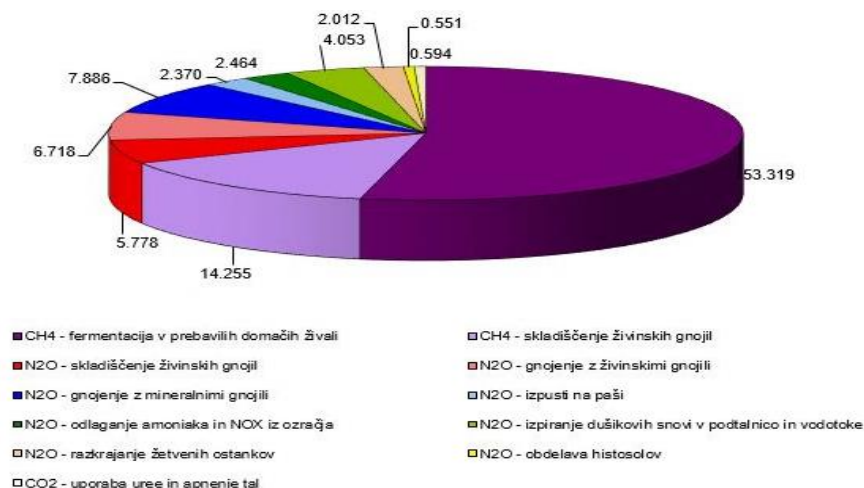
da se takoj ob/po nanosu zadela v tla; pomembno je upoštevanje vremena, torej gnojimo v hladnih, vlažnih ter po možnosti pomladnih dneh; ne uporabljamo je po apnenju; ne uporabljamo je na površinah z ostanki živinskih gnojil ali žetvenih ostankov (razen ob zadelavi). Izgube amonijaka pri uporabi sečnine se bistveno znižajo pri uporabi gnojil, ki vsebujejo inhibitorje ureaze (Verbič, 2020).

5.2. IZPUSTI METANA IN DIDUŠIKOVEGA OKSIDA V OZRAČJE PRI GNOJENJU V SLOVENIJI

Metan (CH_4) in didušikov oksid (N_2O) sta toplogredna plina, ki nastajata pri gnojenju, v kmetijstvu pa imata še druge vire. Za oba plina velja, da imata intenziven učinek tople grede. Ker imajo toplogredni plini različni obseg učinka tople grede, se učinki preračunajo v ekvivalente ogljikovega dioksida. V primerjavi z ogljikovim dioksidom ima metan petindvajsetkrat večji učinek tople grede, didušikov oksid pa celo dvesto osemindvetdesetkrat. Omenjena plina torej zvišujeta temperaturo ozračja ter posledično spreminjata podnebje na svetovni ravni. Zaradi teh sprememb prihaja do učinkov na naravno okolje ter škod, zlasti v gospodarski panogi kmetijstva. Metan in didušikov oksid obsegata glavna toplogredna plina, ki se nadzirata na področju kmetijskih izpustov. Predstavljeni podatki so v sorazmerju z izhodišnim letom računanja slovenskih zavez zniževanja izpustov, letom 1986. Ti podatki so bili ovrednoteni v skladu z metodologijo IPCC, hkrati pa so bile v obzir vzete tudi lokalne posebnosti kmetovanja (Verbič in Mekinda Majaron, 2016; KIS in Govedorejska služba Slovenije, 2020).

Metan nastaja pri bakterijski razgradnji živinskih gnojil ob anaerobnih pogojih. Ti so pogosti tam, kjer je prisotno večje število živali na omejenem območju (farme, krmišča). Živinska gnojila se na teh mestih običajno skladiščijo v večjih kupih ali v lagunah. Glavna dejavnika, od katerih so odvisni izpusti metana iz živinskih gnojil, obsegata količino gnojila ter delež gnojila, ki se razgradi anaerobno. Količino gnojila je mogoče oceniti s pomočjo povprečnih količin na žival in številom živali, obseg anaerobne razgradnje pa je odvisen od načina skladiščenja živinskih gnojil ter podnebja. Način skladiščenja torej določa ključne dejavnike nastajanja metana, ki so prisotnost kisika, vsebnost vode, pH-vrednost ter razpoložljivost hranil. Podnebni dejavniki pa vključujejo temperaturo ter padavine. Optimalni pogoji za nastanek metana so anaerobno okolje na vodni osnovi z veliko hranili, ki omogočajo rast bakterij, nevtralna pH-vrednost (okrog 7) ter višje temperature (Jun in sod., 2020).

Didušikov oksid nastaja v procesih nitrifikacije in denitrifikacije dušika v živinskih gnojilih. Količina tega plina je odvisna od načina in trajanja skladiščenja živinskih gnojil. Ker je za nastanek didušikovega oksida potrebna začetna aerobna reakcija s kasnejšim anaerobnim procesom, v teoriji velja, da skladiščenje živinskih gnojil v suhih ter aerobnih okoljih lahko predstavlja bolj ugodne pogoje za nastanek tega plina. Nitrifikacija v živinskih gnojilih poteče aerobno in pretvori amonijak (glavna oblika dušika v živinskih gnojilih) v nitrat, po drugi strani pa denitrifikacija poteče anaerobno in pretvori nitrat v didušikov oksid. Tvorbo tega plina določajo temperatura, pH-vrednost, biokemijska potreba po kisiku ter sama vsebnost dušika. Nastanek didušikovega oksida pa je lahko tudi posledica anaerobnih pogojev v tleh. Tam prisotni mikroorganizmi v postopku oksidacije izkoriščajo nitrato v tleh namesto kisika, ki tam ni prisoten. Didušikov oksid pa ni le močno toplogreden plin, temveč je tudi plin, ki s svojim delovanjem škodi stratosferskemu ozonu (Jun in sod., 2020; Mihelič in sod., 2010).



Slika 9: Deleži izpustov toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu leta 2014.

Vir: ARSO, 2016 v Verbič in Mekinda Majaron, 2016

Na sliki 9 so prikazani deleži izpustov toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu leta 2014, poudarek v nadaljevanju pa je na izpustih metana in didušikovega oksida, ki nastajajo zaradi dejavnosti gnojenja v kmetijstvu. Podatke sem zaradi preglednosti zaokrožila na eno decimalno mesto. Leta 2014 je na omenjenem področju največji delež prispeval metan iz skladiščenja živalskih gnojil (14,3 %), sledijo izpusti didušikovega oksida iz gnojenja z mineralnimi gnojili (7,9 %) in živalskimi gnojili (6,7 %) ter izpusti didušikovega oksida iz skladiščenja živalskih gnojil (5,8 %). Omeniti je treba še izpuste didušikovega oksida preko izpiranja dušikovih snovi v podtalnico in vodotoke (4,1 %) ter odlaganja amonijaka in dušikovih oksidov iz ozračja (2,5 %). Vidno je, da izpusti metana v ozračje iz dejavnosti gnojenja nastajajo le pri skladiščenju živalskih gnojil, medtem ko izpusti didušikovega oksida nastajajo pri obeh vrstah gnojil, dodatno pa tudi pri gnojenju.

Preglednica 5: Izpusti metana pri skladiščenju različnih živalskih gnojil v letih 1986 in 2014.

	Skladiščenje ž. gnojil – govedo (1000 t)	Skladiščenje ž. gnojil – prašiči (1000 t)	Skladiščenje ž. gnojil – perutnina (1000 t)	Skladiščenje ž. gnojil – ovce, koze, konji (1000 t)
1986	7,385	4,902	1,352	0,047
2014	7,839	1,147	0,617	0,085
Indeks (1986=100)	106,153	23,398	45,62	179,503

Vir: ARSO, 2016 v Verbič in Mekinda Majaron, 2016

Preglednica 5 prikazuje izpuste metana pri skladiščenju živalskih gnojil v letih 1986 in 2014, natančneje glede na vir živalskega gnojila (goveja; prašičja; perutninska; ovčja, kozja, konjska). Podatki kažejo, da je pri skladiščenju govejih gnojil v omenjenih letih nastalo največ izpustov metana, ki so bili leta 2014 celo nekoliko višji kot leta 1986. Sledijo izpusti metana pri skladiščenju prašičjih gnojil, kjer je leta 2014 prisotno izrazito znižanje v primerjavi z letom 1986. Izpusti metana pri skladiščenju perutninskih gnojil so se v letu 2014 prepolovili v primerjavi z letom 1986. Pri skladiščenju ovčjih, kozjih in konjskih gnojil, za katere so nasploh značilne najmanjše količine izpustov metana, pa so se le-te v letu 2014 povečale glede na leto 1986.

Preglednica 6: Izpusti didušikovega oksida pri gnojenju v letih 1986 in 2014.

	Gnojenje z mineralnimi gnojili (t)	Gnojenje z živinskimi gnojili (t)	Skladiščenje živinskih gnojil (t)	Zaradi izpiranja dušika v vode (t)	Zaradi odlaganja dušikovih spojin iz zraka (t)
1986	467	476	589	245	156
2014	450	383	329	231	140
Indeks 2014/1986	96	80	56	94	90

Vir: ARSO, 2016 v Verbič in Mekinda Majaron, 2016

Preglednica 6 predstavlja izpuste didušikovega oksida pri gnojenju, in sicer pri obeh vrstah gnojil, pri samem skladiščenju živinskih gnojil ter pri procesih, povezanih z gnojenjem v letih 1986 in 2014. Izpusti didušikovega oksida pri gnojenju z mineralnimi gnojili se v omenjenih letih niso bistveno spremenili, leta 2014 je bilo prisotno le manjše znižanje. Za gnojenje z živinskimi gnojili je značilno precej večje znižanje izpustov didušikovega oksida v letu 2014. Velika razlika je vidna na področju skladiščenja živinskih gnojil, kjer so se izpusti didušikovega oksida v letu 2014 skoraj preplopolovili glede na leto 1986. Izpusti omenjenega plina so se v letu 2014 rahlo znižali pri izpiranju dušika v vode, podobno stanje pa je tudi na področju izpustov didušikovega oksida pri odlaganju dušikovih spojin iz zraka. Iz tega sledi, da je za obdobje med letoma 1986 in 2014 značilno zniževanje izpustov didušikovega oksida na vseh področjih, povezanih z gnojenjem.

Posodobljena IPCC-metodologija določa, da se h kmetijskim izpustom uvrščajo tudi izpusti ogljikovega dioksida. V Sloveniji le-ta nastaja iz dveh virov manjšega obsega, in sicer preko uporabe uree kot gnojila ter apnenja tal, kar je k skupnim izpustom leta 2014 prispevalo manj kot odstotek. V obdobju med letoma 1986 in 2014 so se letni izpusti metana iz kmetijstva znižali za 13,3 %, izpusti didušikovega oksida pa za 15 %. Učinek tople grede obeh plinov, izražen v ekvivalentih ogljikovega dioksida pa se je v navedenem obdobju znižal za 13,9 %. Bistvena razloga za znižanje izpustov teh plinov sta kombinacija nižjih izpustov metana v govedoreji iz fermentacije v prebavilih in izpustov didušikovega oksida iz skladiščenja živinskih gnojil. Znižanje je prisotno zlasti zaradi bolj učinkovite reje, nižjega obsega reje ter boljših postopkov ravnanja z živinskimi gnojili (tudi pri prašičereji in perutninarstvu). V primeru, da se za skladiščenje prašičjega gnoja uporablja bolj učinkovito ločevanje gnojevke ter gradnja anaerobnih digesterjev z namenom pridobivanja bioplina, je mogoče izpuste metana na vseh področjih znižati za okrog 20 % (Verbič in Mekinda Majaron, 2016).

Področje izpustov toplogrednih plinov iz kmetijstva v slovenski zakonodaji ni samostojno opredeljeno. Izjemo predstavljajo le velike prašičje in perutninske farme, ki so v skladu z IPPC-direktivo zavezane k načelu »najboljših razpoložljivih postopkov«. Zrak posredno varujejo posamezni predpisi, ki varujejo vodo in tla (zlasti Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov). K nižjim izpustom didušikovega oksida posredno prav tako pripomorejo kmetijsko-okoljski ukrepi, ki so v izvajanju od leta 2001, vsebuje pa jih tudi Program razvoja podeželja 2014–2020. K ugodnejšemu stanju izpustov so posredno prav tako pripomogle strokovne naloge v živinoreji, katerih financer je Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (Verbič in Mekinda Majaron, 2016).

Na področju ukrepov, ki so namenjeni zniževanju onesnaževanja voda in zraka, je treba izpostaviti tudi, da si ti lahko medsebojno nasprotujejo, zato se v praksi postopa v skladu z naslednjimi priporočili. Na predelih zajema pitne vode ter na predelih stalnega ali občasnega pojavljanja večjih vsebnosti nitratov v podzemnih in površinskih vodnih telesih je varovanje voda prednostna naloga v primerjavi z varovanjem zraka. Na predelih manjšega tveganja onesnaževanja voda ima zniževanje izpustov toplogrednih plinov ter amonijaka prednost v primerjavi z varovanjem voda in preprečevanjem smradu. V naseljih, v katerih bi lahko prišlo

do nasprotujočih si razmer zaradi smradu, je preprečevanje smradu prednostna naloga v primerjavi z zniževanjem izpustov toplogrednih plinov in amonijaka (Verbič, 2006a).

5.2.1. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE IZPUSTOV METANA IN DIDUŠIKOVEGA OKSIDA V SLOVENIJI

Premišljeno ravnanje z dušikom na kmetijah pripomore k zniževanju izpustov omenjenih plinov. Načeloma velja, da ukrepi, usmerjeni v varovanje vodnih teles, pripomorejo k nižjim izpustom toplogrednih plinov. Bistvenega pomena pa je tudi ravnanje v skladu z načeli kroženja dušika na kmetiji, kjer se poudarja količinska in časovna usklajenost dušika s potrebami rastlin ter domačih živali. Nadalje, ko gre za klasičen način uhlevitve z ločenim zbiranjem gnoja z nastiljem ter gnojnice, so izpusti metana, pa tudi amonijaka in smradu nižji, velja pa, da so izpusti didušikovega oksida višji v primerjavi z zbiranjem in skladiščenjem gnojevke. Ukrep, ki prav tako pripomore k nižjim izpustom didušikovega oksida, je ustrezna obdelava tal, preko katere se izboljša izkoriščanje dušika. Tu gre za enakomerno razdelitev živinskih gnojil, ki pripomorejo h ključnim količinam v tleh prisotnih organskih snovi (Verbič, 2006c).

Kot smo že omenili, predstavljajo izpusti amonijaka posredni razlog za nastanek izpustov didušikovega oksida. Torej se z upoštevanjem že naštetih ukrepov zniževanja izpustov amonijaka pripomore tudi k znižanju izpustov didušikovega oksida. Izjema pri tem ukrepu je le zadelovanje gnoja in gnojevke v tla, kar pa lahko pri določenih pogojih spodbudi nastanek didušikovega oksida, vendar naj se zadelovanje živinskih gnojil v tla v praksi še vedno izvaja (Verbič, 2006a).

Ukrep, ki še dodatno zniža izpuste metana (in tudi smradu) pri skladiščenju živinskih gnojil, je prezračevanje gnojevke oz. aerobna obdelava. Učinek te dejavnosti na izpuste amonijaka in didušikovega oksida pa je neugoden, saj se izpusti v praksi navadno zvišajo. Ukrep prezračevanja gnojevke se zato svetuje le tam, kjer je preprečevanje smradu pomembnejše od izpustov plinov. Pri prezračevanju je velikega pomena redno opravljanje tega ukrepa. V primeru nezadostnega zračenja lahko pride do povišanja smradu, če pa je zračenje prekomerno, to lahko privede do povišanja izpustov amonijaka in ostalih dušikovih plinov. V splošnem velja, da zračenje rahlo zniža količino dušika v gnojevki. Poznamo pa tudi anaerobno obdelavo gnojevke, kjer ta poteka preko zajemanja bioplina. Postopek je za okolje ugoden, a v splošnem predrag za majhne kmetije v Sloveniji. Anaerobna obdelava gnojevke v bioplinskih napravah torej prav tako zniža izpuste metana, hkrati pa se dobljena energija koristno uporabi. Na ta način se pripomore k manjši potrošnji fosilnih goriv. Dodatni ugodni lastnosti tega postopka sta ohranitev hranil v gnojevki ter manj prisotnega smradu (Verbič, 2006č).

Tudi na področju izpustov toplogrednih plinov imajo ukrepi, ki so namenjeni njihovem zniževanju, opazen gospodarski pomen. Natančneje, izpusti metana povzročajo izgube energije krme v ozračje, izpusti didušikovega oksida pa izgube hranil za rast in razvoj rastlin (Verbič, 2015a).

5.3. IZPUSTI SMRADU V OZRAČJE PRI GNOJENJU V SLOVENIJI

Smrad je najbolj opazen kazalnik onesnaženega zraka. V nasprotju s toplogrednimi plini in amonijakom ga je mogoče z lahkoto zaznati, težje pa ga je izmeriti. Zanj velja tudi, da je v okolju manj škodljiv v primerjavi s toplogrednimi plini ter amonijakom. Viri smradu v okolju so mnoge kemijske spojine. Smrad predstavlja enega od najpogostejših razlogov nasprotij med kmetovalci ter bližnjimi prebivalci. Pri kmetovanju ga ni mogoče popolnoma preprečiti, lahko pa se zmanjša. V splošnem je največji vir smradu pri kmetovanju živinoreja, natančneje prašičereja, perutninarstvo ter govedoreja. Razvoz gnojevke in gnoja pa je največji vir izpustov smradu pri prašičereji in govedoreji (Verbič, 2006c; Verbič, 2006a).

5.3.1. UKREPI ZA ZMANJŠEVANJE SMRADU V SLOVENIJI

Večji del ukrepov, ki so namenjeni zniževanju izpustov amonijaka, deluje ugodno tudi na smrad, torej gnojenje v pasovih, vbrizgavanje gnojevke in gnojnice v tla ter zadelovanje živinskih gnojil. Smrad se še dodatno zmanjša, če se gnojenje opravlja v hladnih dneh. Ugoden vpliv na smrad pa ima tudi vetrovno vreme, čeprav so v takšnih pogojih izpusti amonijaka povišani. Dodatni ukrepi, ki znižujejo smrad, obsegajo prilagoditev razpršilne plošče na cisterni za gnojevko tako, da le-ta prši nizko, da kapljice ostanejo velike ter da tlak ni previsok; prednostno opravljanje gnojenja z živinskimi gnojili na oddaljenih površinah, še posebej poleti, ko je smrad povišan (z upoštevanjem predpisov zmanjševanja onesnaževanja vodnih teles); upoštevati je treba smer vetra, ki naj bo usmerjena stran od naselja; ker največ smradu nastopi tik ob gnojenju in takoj po tem, naj se ne gnoji v večernih urah ter ob koncih tedna, ko so ljudje v večjem številu doma; gnojenje je dobro opraviti v enem kosu, brez premorov in brez posledično ponavljajočega se smradu; ter gnojevke ni priporočljivo kombinirati s silažnim sokom ali odpadnim mlekom, saj bi tako smrad le še povečali. Tudi področja smradu slovenska zakonodaja ne opredeljuje samostojno, tudi tukaj so izjema le velike farme, ki so zavezane k delovanju po »najboljših razpoložljivih postopkih«. Smrad torej posredno regulirajo določeni predpisi varovanja vod in tal (Verbič, 2006a; Verbič, 2006c). Smrad sicer uspešno zmanjšuje tudi v prejšnjem poglavju opisano prezračevanje gnojevke.

6. REZULTATI Z RAZPRAVO

Negativnim vplivom gnojenja na okolje so zaradi lastnosti gnojil in nujnosti uporabe izpostavljene vse osnovne strukture okolja-vode, tla in zrak. Pravilno gnojenje zahteva poznavanje mnogih dejavnikov gnojil ter okolja in ne obsega le praznjenja skladiščnih objektov, ko so zapolnjene/napolnjene skladiščne zmogljivosti. Gnojenje lahko povzroča negativne vplive na navedene strukture okolja že preden se to sploh opravlja (neprierno skladiščenje), zato je treba zagotoviti ustrezno ravnanje z gnojili od začetnih pa vse do končnih faz. Z zavedanjem o nenamernih izgubah sestavin gnojil pridobiva na pomenu tudi gospodarski vidik, kar bi lahko bil dodaten motivator povečanja učinkovitosti te dejavnosti. Vplive gnojenja na vse sestavine okolja (vode, tla in zrak) je na splošno mogoče zmanjšati z upoštevanjem strokovnih priporočil ter področne zakonodaje, ni pa jih mogoče v celoti preprečiti. Velja tudi, da ima Slovenija zaradi svojih naravnih posebnosti (različne količine padavin ter različne vrste vodonosnikov) različen obseg vplivov na okolje iz gnojenja po državi.

Trenutno stanje na področju vplivov gnojenja na okolje v Sloveniji ocenjujemo kot ugodno. Nitrati v podzemnih vodah na večinskem območju države, kjer se izvaja monitoring, ostajajo v nizkih vsebnostih, višje vsebnosti pa ostajajo zgoščene v porečjih, kjer je to zaradi intenzivnejšega kmetovanja in okoljskih dejavnikov tudi pričakovano. Dodatno prisoten ugoden pojav je poleg tega tudi trend padanja vsebnosti nitratov v podzemnih vodah na območju štirih problematičnih porečij Mure, Drave, Savinje ter Save z Ljubljanskim barjem. Iz primerjave med podatki o vsebnosti cinka ter bakra v živinskih gnojilih v Sloveniji ter podatki o predpisanih mejnih vrednostih vnosa težkih kovin v tla oz. v samem obdelanem blatu, ki se uporablja v kmetijstvu sledi, da mejne vrednosti vnosa težkih kovin v nobenem primeru niso presežene. Skupni izpusti omenjenih toplogrednih plinov iz dejavnosti gnojenja pa se v analiziranih letih znižujejo, sicer z nekaterimi izjemami pri plinu metanu. Zaključimo lahko, da vpliv gnojenja na okolje v Sloveniji postaja vedno manj problematičen, čeprav smo negativne vplive s hipotezami potrdili. K temu bistveno pripomore področna zakonodaja za vse tri sestavine okolja, ki je v skladu z evropskimi smernicami in se redno posodablja.

Prvo zastavljeno hipotezo H1: **Gnojenje negativno vpliva na kakovost podzemnih voda in tal** v celoti potrdimo. Največji negativen vpliv je prisotnost nitratov v podzemnih vodah, saj je ta zaradi svojih kemijskih lastnosti najbolj potrjen izpiranju iz tal po nanosu gnojil. Najvišje letne vsebnosti nitratov v podzemnih vodah so bile v zadnjih dvajsetih letih ugotovljene v porečjih Mure, Drave, Savinje, Krke ter Save z Ljubljanskim barjem, saj so na teh območjih prisotne najobsežnejše kmetijske površine, ki se seveda izdatno gnojijo. Letne vsebnosti nitrata, ki so presegale standard kakovosti 50 mg NO₃⁻/l podzemne vode, so bile v tem obdobju v porečju Savinje prisotne petkrat, v porečju Drave dvakrat, v porečju Mure ter Save z Ljubljanskim barjem pa do preseganja standarda kakovosti ni prišlo. Na ostalem ozemlju države so bile te vsebnosti nizke ter neproblematične, omeniti pa je treba, da se monitoring stanja ni opravljal po celotnem ozemlju Slovenije. Vsebnosti nitratov v podzemnih vodah Slovenije so torej odvisne od intenzivnosti gnojenja, odvisne pa so tudi od mnogih naravnih danosti, ki so neodvisne od človeka samega. Predvsem za našeta problematična porečja velja, da je pri njih globina tal pol metra ločnica, ki opredeljuje tveganje izpiranja nitratov kot nizko ali visoko. Podatki zadnjih let sicer kažejo trend upadanja vsebnosti nitratov v podzemnih vodah najbolj obremenjenih območij države. Slovenija področje prisotnosti nitratov v podzemnih vodah uspešno regulira z nitratno direktivo oz. Uredbo o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. Zavedanje o pomenu nevarnosti, ki ga imajo lahko nitrati v podzemni vodi, ki se uporablja kot pitna voda, je vodilo tudi v opredelitev VVO, ki dodatno ščitijo omenjene vodne vire preko nadzorovanega in vnaprej določenega načina gnojenja. Precej le-teh se nahaja na območjih zgoraj omenjenih porečij, zlasti v porečju Drave ter Save. Za gnojenje je značilno tudi, da ima lahko vpliv na vsebnost različnih težkih kovin v pognojnih tleh. Dejavnik vnosa težkih kovin v živalska gnojila je prehrana živali z različnimi dodatki, bogatimi z elementi težkih kovin, saj živali te v krmi prisotne snovi izločijo. Podatki o vsebnostih cinka ter bakra v štirih vrstah živinskih gnojil v Sloveniji kažejo,

da je pri obeh elementih prašičja gnojevka najbolj problematična med vsemi analiziranimi živinskimi gnojili, sledijo pa ji goveja gnojevka, goveji gnoj ter goveja gnojnica. Za težke kovine v slovenskih živinskih gnojilih je značilna velika spremenljivost vsebnosti cinka in bakra, kar je lahko posledica različne prehrane živali. Študija na kraških tleh je pokazala na višje vsebnosti težkih kovin v živinskem gnojilu (goveja gnojevka) v primerjavi z dvema vrstama mineralnih gnojil, kar bi lahko kazalo na zaključek, da slovenska živinska gnojila vsebujejo več težkih kovin kot mineralna gnojila. Slovenski predpisi kažejo na različno nevarnost naštetih težkih kovin. Izstopajoči najnižji mejni vrednosti sta določeni za elementa kadmij in živo srebro, kar kaže, da zakonodaja zanju predvideva največje tveganje. Mejne vrednosti kroma, bakra, niklja ter svinca so si podobne, po čemer sklepamo, da predstavljajo podobno tveganje. Najvišjo mejno vrednost pa ima element cink, kar kaže na najnižjo stopnjo tveganja za okolje.

Drugo zastavljeno hipotezo H2: **Gnojenje vpliva na povečanje izpustov toplogrednih plinov v zrak** prav tako v celoti potrdimo. Gnojenje namreč povzroča izpuste amonijaka (posredno toplogreden plin), metana ter didušikovega oksida, in sicer v največji meri preko uporabe živinskih gnojil. Nastanek ter količina teh plinov sta odvisna od načina ravnanja z gnojili, kar obsega vse postopke od iztrebljanja živali pa do kemijskih pretvorb v pognojnih tleh. Prav slednje je primer vpliva gnojenja na okolje, na katerega ljudje nimamo vpliva. Toplogredne pline iz dejavnosti gnojenja pa je ne glede na to s strokovno utemeljenimi ukrepi mogoče bistveno zmanjšati. Za vse naštetih pline je v analiziranih časovnih obdobjih v Sloveniji sicer značilno zniževanje izpustov, le pri metanu je pri nekaterih vrstah živinoreje (govedoreja ter ovčereja, kozjereja in konjereja) značilno povišanje. Amonijak v okviru gnojenja v Sloveniji izstopa kot plin, ki nastaja predvsem pri uporabi in skladiščenju živinskih gnojil, in sicer v več kot polovici skupnih izpustov. Nasprotno pa podatki za Slovenijo kažejo, da didušikov oksid v največji meri nastaja pri uporabi mineralnih gnojil, šele potem mu sledijo izpusti pri uporabi in skladiščenju živinskih gnojil. Za didušikov oksid lahko trdimo tudi, da je plin, ki ima na področju gnojenja največ virov nastanka, medtem ko ima npr. metan le en vir nastanka, namreč skladiščenje živinskih gnojil. Vpliv omenjenih plinov na ozračje Slovenija zmanjšuje z ukrepi strokovno utemeljenega gnojenja, pa tudi z izvajanjem nove Direktive NEC na področju izpustov amonijaka. Izpuste metana in didušikovega oksida pa posredno urejajo zakoni s področja varovanja vod in tal.

7. SKLEPI

Gnojenje pomembno vpliva na obremenjevanje podzemnih voda z nitrati. Višje vsebnosti nitratov so značilne za kmetijsko intenzivne dele države (porečja Mure, Drave, Savinje, Krke ter Save z Ljubljanskim barjem); porečja Mure, Drave in Savinje pa se po parametru nitrati uvrščajo v slabo kemijsko stanje vodnih teles. Razlogi so predvsem skupno delovanje obsežnega gnojenja kmetijskih površin (predvsem njiv) s presežki dušika in mnogih nenaklonjenih naravnih danosti tega dela Slovenije. Meritve v zadnjih dvajsetih letih sicer kažejo trende izboljševanja stanja. Slovenija negativne vplive gnojenja na kakovost podzemnih vod zakonsko zmanjšuje in preprečuje z Uredbo o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov preko mnogih ukrepov. Le-ti temeljijo na časovnih, količinskih, načinovnih ter tehničnih omejitvah gnojenja, ki se mora izvajati v skladu s potrebami rastlin. Dodaten predpis, ki zmanjšuje vsebnost nitratov kot posledico gnojenja v podzemnih vodah Slovenije so VVO oz. vodovarstvena zakonodaja, ki sta ključnega pomena za ustrezno javno pitno vodo, tudi na nivoju vodonosnikov po državi.

Gnojenje vpliva tudi na vnos težkih kovin (kadmij, krom, baker, živo srebro, nikelj, svinec, cink) v tla. Vsebnosti težkih kovin v tleh, gnojeni s živinskimi gnojili so odvisne predvsem od količine zaužitih mineralno-vitaminskih mešanic živali. Med analiziranimi slovenskimi živinskimi gnojili vsebuje daleč največ cinka in bakra prašičja gnojilka, zato bi bilo treba obremenjenosti gnojnih tal na območjih zgoščene prašičereje nameniti še posebno pozornost. Na tleh slovenskega kraškega travnika pa dolgotrajno gnojenje z govejo gnojilko predstavlja večje tveganje vnosa težkih kovin kot pri gnojenju z mineralnimi gnojili. Presežke težkih kovin v gnojnih tleh je mogoče zmanjšati s premišljenim krmljenjem živali ter učinkovitim nadzorom vsebnosti spornih elementov. Slovenija vnos težkih kovin v kmetijska tla ureja z dvema področnima uredbama (Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata ter Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu). Obe uredbi poleg pogojev uporabe določata tudi mejne vrednosti vnosa elementov v kmetijska tla oz. v samo blato, kjer sta kadmij ter živo srebro z izrazito nizkimi mejnimi vrednostmi opredeljena kot posebej nevarna za okolje, zato ju moramo v gnojnih tleh skrbno spremljati.

Vpliv gnojenja na ozračje se kaže še v povečanju izpustov toplogrednih plinov (metana, didušikovega oksida ter posredno amonijaka, ki ima še dodatne neželene vplive). V splošnem sta nastanek oz. količina teh plinov zelo odvisna od različnih okoljskih dejavnikov. Izpusti vseh naštetih plinov ne povzročajo le škode za okolje, ampak imajo vpliv tudi na gospodarske izgube, še posebej amonijak. Bistveno se lahko zmanjšajo z upoštevanjem primernih skladiščnih ter gnojilnih oz. tehničnih postopkov, ki povečujejo učinkovitost gnojil. Če se gnojila skladiščijo in uporabljajo strokovno, se dušik v njih uspešno zadržuje in oskrbuje rastline ter ne obremenjuje okolja z nezaželenimi plini. Omeniti je treba povezanost med ukrepi varovanja voda in nižjimi izpusti toplogrednih plinov, izpuste amonijaka pa še dodatno ureja direktiva NEC. Pri vseh toplogrednih plinih v analiziranih časovnih obdobjih je vidno znižanje, razen metana na področju govedoreje ter ovčereje, kozjereje in konjereje. Tudi smrad negativno vpliva na okolje, čeprav v manjši meri, sploh ob uspešnem zmanjševanju s podobnimi ukrepi.

Podatki o izgubah sestavin gnojil (predvsem dušikovih spojin) prikazujejo, kako celovito je treba obravnavati področje vplivov gnojenja na okolje. Ogromno izgub namreč lahko nastane v različnih postopkih skladiščenja in obdelave, še preden se gnojenje, z lastnimi izgubami sploh izvaja. Zato je bistvenega pomena, da se pri obeh vrstah gnojil ravna v skladu s potrebami rastlin kot tudi v skladu z usmeritvami dobre prakse, vse od njihovega nastanka pa do same dejavnosti gnojenja. Poudariti želimo, da vseh izgub sestavin gnojil nikakor ni mogoče popolnoma preprečiti, saj to onemogočajo same lastnosti gnojil ter različne nenaklonjene naravne danosti po državi. A tisti del hranil, ki bi ga s premišljenim ravnanjem zadržali, bi zmanjšal denarne izgube in slovensko kmetijstvo bi postalo bolj konkurenčno, ob hkrati manj obremenjenem okolju.

Vpliv gnojenja na okolje v Sloveniji se zaradi ustreznih okoljskih ukrepov iz leta v leto zmanjšuje, zato ga podajamo kot ugodnega.

8. POVZETEK

Namen diplomskega dela je bil predstaviti vplive gnojenja na vode, tla in zrak v Sloveniji. Problematika dela je obsegala študij prisotnosti nitratov v podzemnih vodah, prisotnosti težkih kovin v kmetijskih tleh ter pojavnost toplogrednih plinov kot posledico gnojenja v Sloveniji. Pri izdelavi dela smo uporabljali opisno metodo oz. študij različne domače in tuje strokovne literature ter tudi javno dostopne podatke o stanju kmetijstva in okolja v državi, kar nam je omogočilo seznanitev s teoretičnimi ter raziskovalnimi podatki področja. Raziskavo smo zastavili z dvema hipotezama, ki smo ju tudi potrdili: gnojenje negativno vpliva na kakovost podzemnih voda in tal ter gnojenje vpliva na povečanje izpustov toplogrednih plinov v zrak.

Gnojenje je nujno potreben del rastlinske pridelave, preko katerega je rastlinam omogočena zadostna oskrbljenost s hranili, ki jih potrebujejo za svoje delovanje. Dušik kot element, ki povzroča največ negativnih vplivov na vode, in zrak zahteva še posebej strokovno in preiščljeno uporabo, s katero se njegove izgube aktivno preprečujejo. Bilančni presežek dušika in poraba mineralnih gnojil v Sloveniji v analiziranih letih kot splošna kazalnika tveganj za kakovost vod in zraka sta se znižala.

Na večinskem območju Slovenije z rednim monitoringom so vsebnosti nitratov v podzemnih vodah nizke, vode pa imajo posledično dobro kemijsko stanje. Povišane vsebnosti so značilne za porečja Mure, Drave, Savinje, Krke ter Save zaradi kombinacije intenzivno gnojnih tal in neugodnih naravnih dejavnikov okolja. Ti obsegajo plitva tla do globine pol metra, manjše količine padavin, tip vodonosnikov, delež njiv v rabi tal ter kakovost zalednih vod. Med naštetimi porečji po visokih vsebnostih nitratov izstopajo porečja Mure, Drave in Savinje, za katere posledično velja slabo kemijsko stanje podzemnih vodnih teles. Trend prisotnosti nitratov v podzemnih vodah v analiziranem časovnem obdobju v porečjih Savinje, Drave, Mure in Save z Ljubljanskim barjem pa se v zadnjih letih le izboljšuje. Področni ukrepi obsegajo predvsem ravnanje po nitratni direktivi ter upoštevanje omejitev gnojenja na različnih VVO po državi, kar pred onesnaževanjem z nitrati dodatno varuje tudi pitno vodo po Sloveniji.

Težke kovine kot obstojni in strupeni elementi se v kmetijska tla vnašajo preko uporabe organskih ali mineralnih gnojil. Onesnaževanje kmetijskih tal s presežki težkih kovin je povezano z neskladjem med potrebami živali in rastlin. Med slovenskimi živinskimi gnojili po najvišjih vsebnostih cinka in bakra izstopa prašičja gnojevka, sledijo pa ji med sabo primerljive različne vrste govejih gnojil z bistveno nižjimi vsebnostmi. Gnojena tla na območjih intenzivne prašičereje bi bilo treba redno spremljati. Podatki kažejo tudi, da na območju slovenskega krasa uporaba živinskega gnojila predstavlja večje tveganje za okolje z vidika težkih kovin kot uporaba mineralnih gnojil. Ugodno stanje je mogoče ohranjati s primernimi živinorejskimi ukrepi, zakonodajni okvir pa predstavljata dve področni uredbi z določenimi ukrepi in mejnimi vrednostmi. Te ob primerjavi z analiziranimi slovenskimi živinskimi gnojili niso bile presežene. Uredbi kot posebno nevarna elementa za vnos v tla določata kadmij ter živo srebro.

Gnojenje povečuje izpuste toplogrednih plinov metana in didušikovega oksida, pa tudi amonijaka, ki je sicer toplogreden le posredno. Našteti plini nastajajo preko različnih pretvorb pri različnih fazah ravnanja z gnojili, kar obsega postopke skladiščenja in samega gnojenja. Nastajanje omenjenih plinov pri različnih fazah gnojenja je pogojeno z mnogimi dejavniki okolja. Izpusti vseh toplogrednih plinov so se v Sloveniji v analiziranih časovnih obdobjih znižali, z izjemo metana pri govedoreji ter ovčereji, kozjereji in konjereji. Ukrepi izboljšanja stanja so usmerjeni v strokovno utemeljeno gnojenje s primernimi postopki skladiščenja in gnojenja, ki jih določajo že predpisi varovanja vod in tal. Izpuste amonijaka pa še dodatno ureja direktiva NEC.

Za vse preučevane sestavine okolja velja, da je bistveno načelo preprečevanja in zmanjševanja neželenih vplivov strokovnost v prav vseh fazah in postopkih, povezanih z gnojenjem. To področje je torej treba obravnavati celostno, saj pri gnojenju lahko vplivamo na več sestavin okolja hkrati. Bistvenega pomena je tudi vnašanje/dodajanje hranil skladno s potrebami organizmov in načeli dobre prakse. Na ta način se okolja ne obremenjuje s presežki snovi, ki poslabšujejo njegovo kakovost. Vseh neželenih vplivov gnojenja pa tudi z upoštevanjem pravil ni mogoče v celoti preprečiti, predvsem zaradi neugodnih naravnih danosti in lastnosti gnojil. Z zmanjševanjem izgub sestavin gnojil ne bi izboljšali le okolja, ampak bi zmanjšali tudi denarne izgube v kmetijstvu. Vsi vplivi gnojenja na okolje zahtevajo stalno sledenje predpisom, da se ohranja in izboljšuje primerno stanje. Tudi sistematično spremljanje okolja na tem področju je pomembno, saj je na tak način mogoče stanje oz. učinkovitost ukrepov primerno ovrednotiti.

Trenutno splošno oceno stanja na raziskovanem področju podajamo kot ugodno ter iz leta v leto manj sporno. Vsi preučevani vplivi gnojenja na okolje (z manjšimi izjemami) so se izboljšali, čeprav smo negativne vplive na okolje z zastavljenimi hipotezami potrdili. To bi lahko pripisali dobro razviti državnemu okoljski politiki z različnimi spodbudami za ustrezno ravnanje z gnojili, zakonodajo ter sledenju evropskim zahtevam. Ugodno stanje z doseganjem ambicioznih strateških ciljev pa bomo lahko ohranjali in dodatno izboljševali le, če bomo temu področju tudi v prihodnosti posvečali še več stalne pozornosti.

9. SUMMARY

The purpose of the diploma thesis was to present the effects of fertilization on waters, soils, and air in Slovenia. Presented materials included the study of the presence of nitrates in underground waters and heavy metals in agricultural soils, as well as the occurrence of greenhouse emissions as the result of fertilization in Slovenia. We used the descriptive method – an overview of various domestic and foreign professional literature and publicly accessible data regarding the state of agriculture and the environment in the country, which provided us with theoretical and practical information from our field of research. Our research propounded two hypotheses which we subsequently confirmed – fertilization affects the quality of underground waters and soils positively, and fertilization affects the increase of greenhouse emissions in the air.

Fertilization is an essential part of vegetable production through which the plants can get a sufficient supply of nutrients needed to function properly. Nitrogen is a chemical element that has the most negative effects on waters and air and therefore requires professional and responsible application, which actively prevents its losses. In the analyzed years, both the nitrogen budget and the consumption of mineral fertilizers in Slovenia as general indicators of risks for air and water quality have significantly decreased.

In the majority of Slovenian territories under regular monitoring, the nitrate concentrations in underground waters are low and consequently in a good chemical state. Elevated nitrate concentrations are characteristic for river basins of Mura, Drava, Savinja, Krka, and Sava due to a combination of intensively fertilized soils and unfavorable environmental factors, such as shallow soils up to half a meter in-depth, less precipitation, particular types of aquifers, the portion of fields in agricultural use, and the quality of outskirt waters. Regarding high nitrate concentrations, the stated river basins of Mura, Drava, and Savinja stand out, with consequently poor chemical state of underground water bodies. The trend of nitrate presence in underground waters in analyzed times in the river basins of Savinja, Drava, Mura, and Sava with Ljubljana bogs is improving in recent years. Field measures mainly include fertilization according to the Nitrates Directive and respecting the fertilization restrictions on different water protection areas throughout the country, which additionally protects the drinking water in Slovenia from nitrate pollution.

Heavy metals – persistent and toxic elements – are being deposited in agricultural soils through the use of organic or mineral fertilizers. The pollution of agricultural soils with surpluses of heavy metals is associated with an imbalance between animal and plant needs. In regards to the highest concentrations of zinc and copper among Slovenian livestock manure, the pig manure stands out, followed by different kinds of cattle manure, comparable with types of manure with substantially lower concentrations. Fertilized soils in areas of intensive pig farming should be regularly monitored. The research also suggests that the use of livestock manure in Slovenian Karst poses a higher risk for the environment from the standpoint of heavy metals compared to the use of mineral fertilizers. A favorable state can be preserved by respecting appropriate livestock measures and legislative framework which consists of two field decrees with defined measures and limit values. Comparison of these with those of analyzed Slovenian livestock manure revealed no surpasses. Decrees define cadmium and mercury as especially dangerous chemical elements to introduce into the soil.

Fertilization increases emissions of greenhouse gases – methane, dinitrogen oxide, and also ammonia which is described only indirectly as a greenhouse gas. These gases are formed through various conversions in the different phases of fertilizer treatment and undergo processes from storing to actual fertilization. The formation of such gases in different phases of fertilization is conditioned with many environmental factors. Emissions of all greenhouse gases in Slovenia in analyzed times have shown a decline, except for methane in cattle and sheep farming, and goat and horse breeding. Measures of improvement are directed towards professional fertilization with continuing processes from storing to fertilization, which is

already defined in existing Regulations of waters and soil protection. Ammonia emissions were additionally regulated by the NEC Directive.

The crucial principle of preventing or decreasing unwanted effects that applies to all researched elements of the environment is professional attention in all phases and processes connected to fertilization. Therefore, this field requires consideration as a whole for it can affect multiple elements of the environment at the same time. The introduction/addition of nutrients following the needs of organisms and the principles of good practice is also of key importance. This way the environment is not burdened with surpluses of substances that worsen its quality. All unwanted effects of fertilization cannot be fully prevented, even in compliance with all the regulations, mainly due to unfavorable natural environment and fertilizer properties. Decreasing the losses of fertilizer compounds would not only improve the environment but also reduce monetary losses in the field of agriculture. All effects of fertilization on the environment require the constant following of regulations to keep and improve an adequate state. Systematic environmental monitoring of the field is also important – that way the state or effectiveness of measures can be properly evaluated.

We evaluate the current general assessment of the researched field as favorable and increasingly less problematic. All of the researched effects of fertilization on the environment (with smaller exceptions) have improved, even though we confirmed negative effects on the environment with propounded hypotheses. That could be the result of a well-developed environmental state policy with various incentives for proper treatment of fertilizers, legislation, and following the European demands. The favorable state, in which we consistently achieve ambitious strategic goals can only be maintained and additionally improved if we dedicate yet more constant attention to this field of expertise in the future.

10. LITERATURA IN VIRI

Alves Rodrigues, L., Reis Rodrigues dos, A., Gratao Lupino, P. (2016). Heavy metals in agricultural soils: from plants to our daily life (a review). V: *Científica, Jaboticabal*, str. 346, 347.

ARSO.2020a:Tla.Med mrežje:<https://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/tla.pdf> (14. 8. 2020).

ARSO. 2020b: Kakovost podzemnih voda. Med mrežje: <https://gis.arso.gov.si/portal/apps/webappviewer/index.html?id=a16308bd37344559b1c5d5e515468f49> (24. 8. 2020).

Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., Mahvi Hossein, A. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. V: *Environmental Monitoring and Assessment*, str. 84.

Babnik, D. 2006: Onesnaževanje kmetijskih tal s težkimi kovinami. Med mrežje: <https://www.kis.si/f/docs/Druge publikacije/Kodeks dobre kmetijske prakse 1.pdf> (15. 8. 2020).

Bibi, S., Saifullah, Naeem, A., Dahlawi, S. (2016). Environmental Impacts of Nitrogen Use in Agriculture, Nitrate Leaching and Mitigation Strategies. V: *Soil Science: Agricultural and Environmental Prospectives*. Switzerland, Springer International Publishing, str. 137, 138.

Bittman, S., Mikkelsen, R. (2009). Ammonia Emissions from Agricultural Operations: Livestock. V: *Better Crops*, str. 28.

Flis, J. 2020: V letu 2019 v kmetijstvu po ocenah porabljenih okoli 138.000 ton mineralnih gnojil. Med mrežje: <https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/8985> (1. 12. 2020).

Iljaš, D. 2018: Gnojenje po zahtevah »nitratne uredbe«. Med mrežje: <https://lj.kgzs.si/Portals/1/A-Splet2019/5%202018%20TN%20Gnojenje%20po%20zahtevah%20nitratne%20uredbe.pdf> (21. 8. 2020).

International Plant Nutrition Institute. 2020: Crop Fertilization and Heavy Metal Accumulation in Soils. Med mrežje: [http://www.ipni.net/publication/stewardship.nsf/0/DE1122F39112162385257BE50055293D/\\$FILE/StewSpec-EN-07.pdf](http://www.ipni.net/publication/stewardship.nsf/0/DE1122F39112162385257BE50055293D/$FILE/StewSpec-EN-07.pdf) (16. 9. 2020).

Jun, P., Gibbs, M., Gaffney K. (2020). CH₄ and N₂O emissions from livestock manure. V: *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, str. 321, 322, 323.

Kmetijski inštitut Slovenije, Govedorejska služba Slovenije. 2020: Pri reji goved nastajata metan in didušikov oksid. Med mrežje: https://www.govedo.si/pls/demo/%21portal_pkg.startup?v_vec=30&m=530&j=SI (30. 8. 2020).

Leskošek, M. (1993). *Gnojenje: za velik in kakovosten pridelek, zaboljšanje rodovitnosti tal, za varovanje narave*. Ljubljana, Kmečki glas, 197 str.

Maver, D., Šuštar, Č. 2020: Vrednosti bruto bilančnih presežkov dušika in fosforja na hektar v 2018 bistveno nižji kot v 2017. Med mrežje: <https://www.stat.si/statweb/News/Index/8653> (1. 12. 2020).

Mihelič, R., Čop, J., Jakše, M., Štampar, F., Majer, D., Tojnko, S., Vršič, S. 2010: Smernice za strokovno utemeljeno gnojenje. Med mrežje: <https://www.program-podezelja.si/sl/knjiznica/26-smernice-za-strokovno-utemeljeno-gnojenje/file> (14. 8. 2020).

Mihorko, P., Gacin, M., Agencija RS za okolje. 2019: Nitrati v podzemni vodi. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/nitrati-v-podzemni-vodi-7> (18. 8. 2020).

Mikkelsen, R. (2009). Ammonia emissions from agricultural operations: Fertilizer. V: *Better Crops*, str. 9-11.

Ministrstvo za okolje in prostor. 2020a: Kako zmanjšati izpuste amonijaka (NH₃) v kmetijstvu? Medmrežje: <http://www.mojzrak.si/wp-content/uploads/2016/03/Kmetijstvo-mojzrak.pdf> (16. 9. 2020).

Ministrstvo za okolje in prostor. 2020b: Emisije onesnaževal zraka. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/emisije-onesnazeval-zraka/> (26. 8. 2020).

Poje, T. 2015: Zmanjšanje izpusta amonijaka. Medmrežje: <https://www.program-podezelja.si/sl/knjiznica/82-zmanjsanje-izpusta-amonijaka/file> (1. 9. 2020).

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja. *Ur. l. RS*, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV1024> (23. 12. 2020).

Republika Slovenija GOV.SI. 2020: Gnojenje in gnojila. Medmrežje: <https://www.gov.si teme/gnojenje-in-gnojila/> (14. 8. 2020).

Služba Vlade Republike Slovenije za zakonodajo. 2017: Uredbe o vodovarstvenih območjih za vodna telesa vodonosnikov. Medmrežje: http://www.pisrs.si/Pis.web/pravniRedRSSearch?search=Uredba%20o%20vodovarstvenem%20obmo%20C4%8Dju%20za%20vodna%20telesa%20vodonosnikov&filter=&chosenFilters=abela_reg_predpisov&od=&do=&sortOrder=relevantnost&page=1&scrollTop=333.3333435058594 (23. 12. 2020).

Sušin, J., Žnidaršič Pongrac, V., Verbič, J. (2004). Soil pollution of with heavy metals as a result of long-term use of cattle slurry and mineral fertilisers on a meadow. V: *Znanstveni skup Hrvatskih agronoma s mednarodnim sudjelovanjem*. Zagreb, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 487,488.

Sušin, J., Vrščaj, B., Bergant, J., Kmetijski inštitut Slovenije. 2008: Nitrati v podzemni vodi in kmetijstvo. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/nitrati-v-podzemni-vodi-kmetijstvo-nadomesti-kazalec-vd05> (18. 8. 2020).

Sušin, J., Kmetijski inštitut Slovenije. 2016: Poraba mineralnih gnojil. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/poraba-mineralnih-gnojil-3> (17. 8. 2020).

Sušin, J., Verbič, J., Matoz, H. 2017: Smernice za izvajanje zahtev varstva voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. Medmrežje: <https://lj.kgzs.si/Portals/1/A-Splet2018/smernice%20-%20varstvo%20voda%20-%20NS%202017.pdf> (16. 8. 2020).

Sušin, J., Verbič, J., Kmetijski inštitut Slovenije. 2019: Bilančni presežek dušika v kmetijstvu. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/bilancni-presezek-dusika-v-kmetijstvu-0> (17. 8. 2020).

Špes, R. (2009). Vloga in pomen talnih organizmov. V: *HORTIKULTURA – možnosti, priložnosti, prenos dobre prakse, zbornik strokovnega posveta*. Celje, Šola za hortikulturo in vizualne umetnosti, Višja strokovna šola, str. 19.

Uredba o načinu izplačevanja in merilih za izračun nadomestila za zmanjšanje dohodka iz kmetijske dejavnosti zaradi prilagoditve ukrepom vodovarstvenega režima. *Ur. l. RS*, št. 105/11, 64/12, 44/13, 55/15, 97/15 in 77/16. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5897> (23. 12. 2020).

Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata. *Ur. l. RS*, št. 99/13, 56/15 in 56/18. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6281> (20. 9. 2020).

Uredba o stanju podzemnih voda. *Ur. l. RS*, št. 25/09, 68/12 in 66/16. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5121> (19. 8. 2020).

Uredba o uporabi blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu. *Ur. l. RS*, št. 62/08. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4880> (20. 9. 2020).

Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. *Ur. l. RS*, št. 113/09, 5/13, 22/15 in 12/17. Medmrežje: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5124> (20. 8. 2020).

Uredba o vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov na območju Slovenj Gradca. *Ur. l. RS*, št. 56/2015. Medmrežje: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2015-01-2363/uredba-o-vodovarstvenem-obmocju-za-vodna-telesa-vodonosnikov-na-obmocju-slovenj-gradca#> (23. 12. 2020).

Verbič, J. 2006a: Zmanjševanje sproščanja amonijaka, toplogrednih plinov in smradu pri gnojenju z živalskimi gnojili. Medmrežje: https://www.kis.si/f/docs/Druge_publicacije/Kodeks_dobre_kmetijske_prakse_1.pdf (15. 8. 2020).

Verbič, J. 2006b: Preprečevanje onesnaženja voda z nitrati. Medmrežje: https://www.kis.si/f/docs/Druge_publicacije/Kodeks_dobre_kmetijske_prakse_1.pdf (18. 8. 2020).

Verbič, J. 2006c: Pomen in možnosti za zmanjšanje onesnaževanja zraka v kmetijstvu. Medmrežje: https://www.kis.si/f/docs/Druge_publicacije/Kodeks_dobre_kmetijske_prakse_1.pdf (25. 8. 2020).

Verbič, J. 2006č: Skladiščenje živalskih gnojil. Medmrežje: https://www.kis.si/f/docs/Druge_publicacije/Kodeks_dobre_kmetijske_prakse_1.pdf (25. 8. 2020).

Verbič, J. 2015a: Izpusti toplogrednih plinov v slovenskem kmetijstvu. Medmrežje: https://www.kis.si/f/docs/Obvestila/3_Izpusti_toplogrednih_plinov_v_slovenskem_kmetijstvu.pdf (16. 9. 2020).

Verbič, J. 2015b: Izpusti amoniaka v kmetijstvu. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-amoniaka-v-kmetijstvu-2> (25. 8. 2020).

Verbič, J., Mekinda Majaron, T. 2016: Izpusti metana in didušikovega oksida. Medmrežje: <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-metana-didusikovega-oksida-3#article-footer-id> (30. 8. 2020).

Verbič, J. 2020: Svetovalni kodeks dobrih kmetijskih praks za zmanjševanje izpustov amonijaka. Medmrežje: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Zrak/Dobra-kmetijska-praksa-AMONIAK-2020.pdf> (26. 8. 2020).

Vlada Republike Slovenije. 2018: Odgovor na poslansko vprašanje poslanca dr. Franca Trčka v zvezi s prekomerno uporabo gnojil v kmetijstvu. Medmrežje: [http://vrs-3.vlada.si/MANDAT14/VLADNAGRADIVA.NSF/aa3872cadf1c8356c1256efb00603606/a712aee59b522b5cc125821200401742/\\$FILE/odgovor20.pdf](http://vrs-3.vlada.si/MANDAT14/VLADNAGRADIVA.NSF/aa3872cadf1c8356c1256efb00603606/a712aee59b522b5cc125821200401742/$FILE/odgovor20.pdf) (20. 8. 2020).

Zakon o vodah. *Ur. l. RS*, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20. Medmrežje: <http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244#> (21. 8. 2020).