

# Onečišćenje okoliša uslijed ispiranja nitrata u biljnoj proizvodnji

---

**Katušić, Mario**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:112117>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Mario Katušić

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA USLIJED ISPIRANJA NITRATA U BILJNOJ  
PROIZVODNJI**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2019.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Mario Katušić

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA USLIJED ISPIRANJA NITRATA U BILJNOJ  
PROIZVODNJI**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. dr. sc. Marija Ravlić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
3. dr. sc. Vladimir Zebec, član

**Osijek, 2019.**

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. DUŠIK U BILJKAMA I TLU</b> .....	7
<b>3. ISPIRANJE NITRATA</b> .....	10
3.1. Lizimetri .....	11
3.2. Uloga usjeva i tla u ispiranju nitrata .....	11
3.3. Uloga vode i N gnojidbe u ispiranju nitrata .....	16
3.4. Mjere preporuke .....	23
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	25
<b>5. POPIS LITERATURE</b> .....	26
<b>6. SAŽETAK</b> .....	32
<b>7. SUMMARY</b> .....	33
<b>8. POPIS TABLICA</b> .....	34
<b>9. POPIS SLIKA</b> .....	35
<b>10. POPIS GRAFIKONA</b> .....	36

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

## 1. UVOD

Porast stanovništva zahtijeva sve veću proizvodnju hrane što opet dovodi do povećanja u količini primijenjenih gnojiva, zaštitnih sredstava, vode te drugih inputa u poljoprivrednoj proizvodnji. Cassman (1999.) predviđa porast stanovništva za 50 % do 2050. godine te dvostruko veću potrebu za žitaricama što opet dovodi do povećane potrošnje gnojiva i vode. Više od 90 % gnojiva u EU su primjenjivana u obliku uree, KAN i AN obliku (Harmsen i sur., 1990.), odnosno u vidu dušičnih gnojiva koja snižavaju pH tla te dovode do niza drugih negativnih posljedica po zdravlje i okoliš. Kako navode Tilman i sur. (2002.) intenzivna poljoprivredna proizvodnja s visokim prinosima ovisna je o gnojidbi, posebice  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_3^-$ . Autor nadalje navodi kako bez primjene mineralnih gnojiva ne bi moglo doći do povećane proizvodnje hrane te kako bi sve više ekosustava bilo narušeno radi privođenja poljoprivrednoj proizvodnji.

Količina primijenjenog gnojiva u Europi značajno varira po državama članicama. Od trenutka primjene Nitratne direktive 1991. godine, zemlje članice su uvele različite mjere, akcije i programe te objavile rezultate monitoringa. EU komisija obvezuje zemlje članice za izvještaje međutim kako navodi van Grinsventen (2012.) izvještaji nisu javno dostupni. Konferencija FAO-a koja je 1972. godine održana u Stockholmu smatra se ključnom za povećanje političke svijesti Europe o negativnim posljedicama nitrata na okoliš. Najvažniji pravilnik Europske Unije (EU) za smanjenje negativnih učinka gnojidbe mineralnim i organskim N gnojivima te povećanje učinkovitosti gnojidbe je Nitratna direktiva (van Grinsven i sur., 2012.). Glavni cilj Nitratne direktive (Directive 91/676/EEC, 1991.) je smanjenje onečišćenja uslijed nitrata i fosfora u poljoprivredi. Zhaouhui i sur. (2012.) navode kako je niska učinkovitost N gnojidbe (10 do 50 %) posljedica značajnih gubitaka nitrata. Nitratna direktiva pravno ograničava godišnju količinu primijenjenog organskog gnojiva na  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  dušika, a dozvoljeno odstupanje je do  $250 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Oenema, 2004.).

De Clercq (2001.) navodi kako kombinacija direktiva o zaštiti okoliša i poljoprivredne prakse imaju za ulogu omogućiti proizvodnju zdrave hrane na okolišno prihvatljiv način, a s druge strane omogućiti proizvođačima konkurentno nastupanje na tržištu. Navedeno se posebice odnosi na zemlje sjeverozapadne Europe tzv. „London-Berlin-Paris trokuta“. Zemlje članice su obvezne definirati Pravilnike Dobre poljoprivredne prakse (GAP – Good Agricultural Practice) te odrediti zone ranjivosti na kojima je visok rizik onečišćenja

nitratima. Programi i akcije bi trebali sadržavati mjere kojima bi se udovoljilo pravilniku Nitratne direktive. Za pojedine zemlje članice to znači standarde u N gnojidbi, odnosno granične vrijednosti za količinu N gnojiva.

Obzirom na učestalu degradaciju tala u Europskoj uniji, Europska komisija (European Commission, EC) je predložila Strategiju zaštite tla (EC, 2006.) koja sadrži slijedeće direktive:

- Sprječavanje daljnje degradacije tala te očuvanje uloge tala;
- Poduzimanje mjera kod iskorištavanja tala;
- Poduzimanje mjera u slučajevima kada je tlo korišteno kao skladište (ljudske aktivnosti);
- Obnavljanje degradiranih tala.

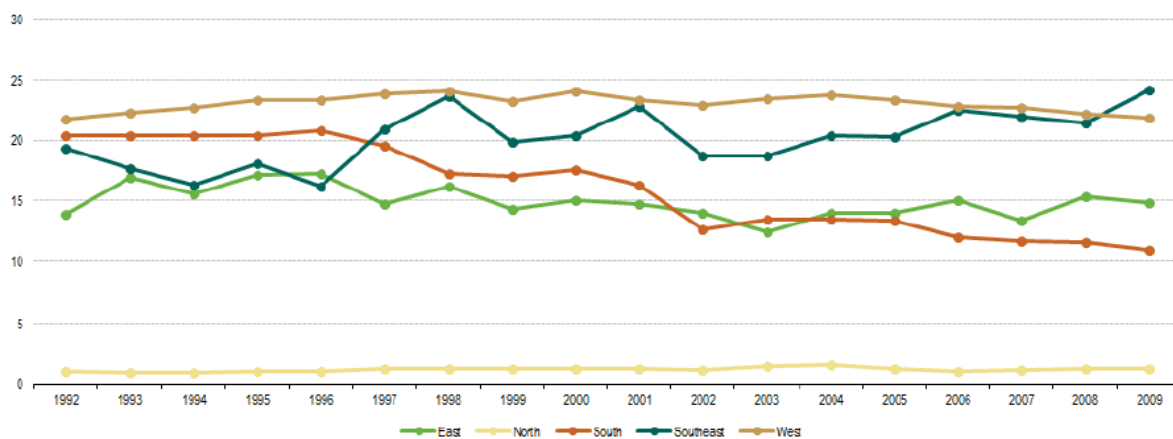
U Strategiji je jasno naveden utjecaj ljudske aktivnosti na tlo kao što je neadekvatna poljoprivredna praksa te glavne degradacije tla kao što su erozija, salinizacija, gubitak organske tvari i dr. (Tóth i sur., 2008.). Pored poljoprivredne proizvodnje EC (2006.) navodi turizam, industriju, šumarstvo te građevinske radove kao osnovne čimbenike degradacije tala u EU. Nadalje, u okviru zaštite tala uvrštena je EU direktiva o vodama jer tlo ima ulogu filtera i pufera (pročišćivača) točkastih i raspršenih izvora onečišćenja akvatičnog sustava (površinskih i podzemnih voda).

Proces degradacije tala znatno varira po državama članicama EU (EC, 2006.):

- Procijenjeno je kako je 155 mil. ha (12 % europskog tla) ugroženo vodenom erozijom, a 42 % erozijom vjetrom;
- 45 % tala ima nizak sadržaj organske tvari, posebice u južnoj Europi premda se problem javlja u Francuskoj, Velikoj Britaniji i Njemačkoj;
- 3,5 mil. ha je procijenjeno kao onečišćeno (kontaminirano).

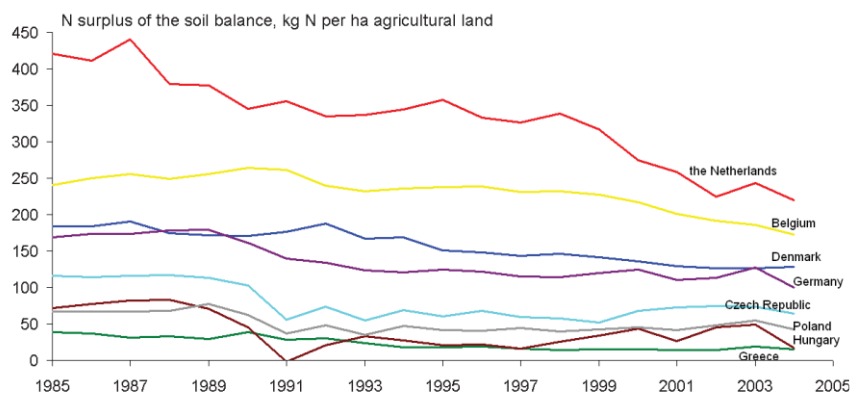
Na području Europe u proteklom desetljeću dogodile su se značajne promjene u korištenju tla (pokrova zemljišta). Naime kako je navedeno u CLC2000 (Corine Land Cover, 2000.) u razdoblju od 1990. do 2000. najmanje 2,8 % europskog tla je došlo do prenamjene u korištenju uključujući i urbana područja. Prema Velthof (2011.) suvišak dušika u tlima zemalja Europe je u rasponu od 50 kg N/ha godišnje do preko 200 kg N/ha godišnje. De Vries i sur. (2011.) navode kako se 50 % do 60 % ukupnog suviška N iz tla gubi volatilizacijom ( $N_2$ ), potom emisijom  $NH_3$  i  $N_2O$  te ispiranjem  $NO_3$ .

Prosječna koncentracija nitrata u podzemnim vodama na području Europe prikazana je grafikonom 1. Prikazano je razdoblje od 1992. do 2009. godine, a prosječna koncentracija nitrata (mg/l) u podzemnim vodama je podijeljena prema zemljopisnim regijama Europe. Kako je vidljivo iz grafikona koncentracija nitrata je značajno ispod MDK, a najniža razina je zabilježena u sjevernoj Europi (Eurostat, 2018.).



Grafikon 1. Prosječna koncentracija nitrata u podzemnim vodama različitih zemljopisnih regija Europe (1992. – 2009.)

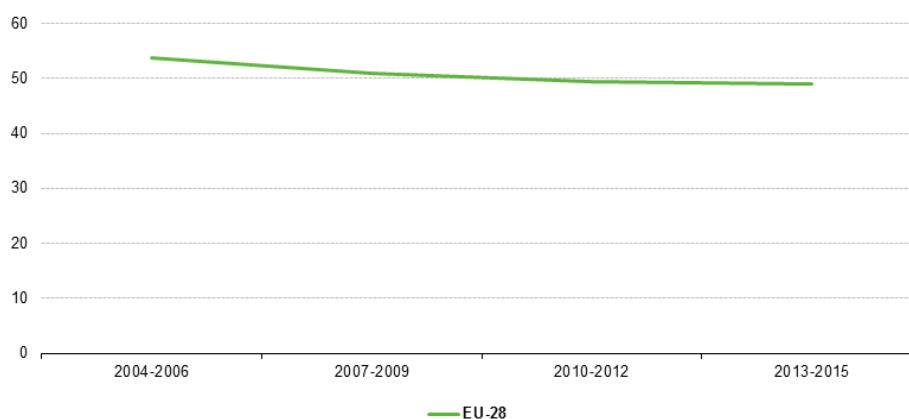
Suvišak N (kg/ha) u poljoprivrednim tlima zemalja članica EU u razdoblju od 1985. do 2005. prikazan je grafikonom 2.



Grafikon 2. Suvišak N (kg/ha) u poljoprivrednim tlima zemalja članica EU (OECD i UROSTAT, 2007.).

Tijekom 80-tih godina prošloga stoljeća došlo je do smanjenja u prekomjernoj količini N u tlima zemalja članica EU. Različiti su razlozi za smanjenje, kako navodi Velthof (2011.) do smanjenja količine N u središnjoj Europi došlo je radi ekonomske situacije tijekom ranih 90-tih dok u zemljama sjeverne i zapadne Europe smanjenje je došlo kao posljedica

reformi koje su nastupile nakon uvođenja pravilnika i legislativa što je dovelo do veće učinkovitosti N gnojidbe. Iz grafikona 3. vidljivo je smanjenje suviška N u poljoprivrednim tlima (kg/ha) u zemljama članicama EU od 2004. do 2015. godine za 10 % (EUROSTAT, 2018.).



Grafikon 3. Suvišak N (kg/ha) u poljoprivrednim tlima zemalja članica EU (2004. - 2015.).

U razdoblju od 2012. do 2015. godine 13,2 % EU zemalja (EU28 = 34 901 mjerna postaja) zabilježilo je koncentraciju nitrata u podzemnim vodama iznad MDK, a 5,7 % zemalja je zabilježilo koncentraciju nitrata između 40 i 50 mg/l (EC, 2018.). Na području Europe zamijećeno je značajno odstupanje u kvaliteti podzemnih voda, kako navodi EC (2018.) Irska, Finska i Švedska u prosjeku nisu zabilježile odstupanje od MDK, dok Malta, Njemačka i Španjolska bilježe 71 %, 28 % i 21,5 % mjernih postaja s koncentracijom nitrata iznad MDK.

Onečišćenje podzemnih voda uslijed ispiranja nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) javlja se u mnogim zemljama svijeta 70-tih godina prošloga stoljeća (Roy i sur., 2007.). Ispiranje nitrata u dublje slojeve tla dovodi do onečišćenja podzemnih voda ili može doći do onečišćenja površinskih voda (rijeka, potoka) te na kraju doseći do mora i oceana. Uslijed toga dolazi do eutrofikacije, odnosno do povećanog rasta algi i akvatičnih biljaka (slika 1.). Kao posljedica intenzivnog rasta algi dolazi do povećanog trošenja kisika što stvara disbalans kod ostalih živih bića (ribe, rakovi i dr.). Eutrofikacija je dugotrajan proces koji ostavlja trajne posljedice na akvatični sustav, a kako navode James i sur. (2005.) koncentracija nitrata kod koje dolazi do početka eutrofikacije je od 4,4 do 8,8 mg  $\text{NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  (1 – 2 mg N  $\text{L}^{-1}$ ).

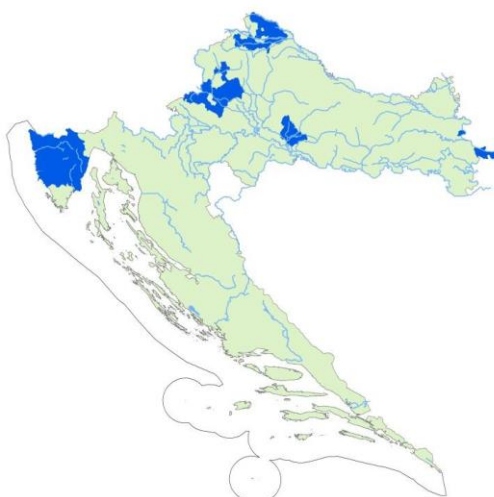




Slika 1. Posljedice eutrofikacije površinskih voda (izvor:

<https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-and-solutions-to-eutrophication.php>)

Na području Republike Hrvatske 2012. godine donesena je Odluka o određivanju ranjivih područja za nitratre prema Direktivi Vijeća 91/676/EEZ o zaštiti voda (Nitratna direktiva). Ranjiva područja (slika 2. ) je potrebno dodatno nadzirati od onečišćenja koje uzrokuju nitrati poljoprivrednog podrijetla.



Slika 2. Ranjiva područja u Republici Hrvatskoj (izvor: [www.hrvatskevode.hr](http://www.hrvatskevode.hr))

Ranjiva područja čine 9 % površine Republike Hrvatske, a određena su prema postojećim podacima o povećanim koncentracijama nitrata u vodama nekog područja ili prema procjeni kako bi u budućnosti moglo doći do onečišćenja. Prema odredbama Uredbe o klasifikaciji voda u Republici Hrvatskoj se prilikom ocjene podzemnih voda nitrati ne uzimaju u obzir. Oni su kako navodi AZO (?) jedan od pokazatelja kojim se ocjenjuje kakvoća podzemne vode za piće. Pravilnik je usklađen s graničnim vrijednostima koje je donijela Svjetska zdravstvena organizacija te je MDK  $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ .

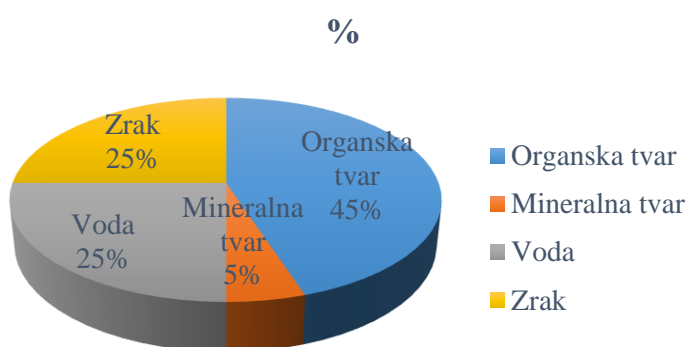
AZO (?) navodi kako su srednje godišnje vrijednosti nitrata u vodama izvorišta u razdoblju od 2004. do 2008. godine bile znatno niže od maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK). Nadalje u spomenutom razdoblju karakterističan je blagi trend smanjenja koncentracije nitrata u površinskim kopnenim vodama. Prema AZO (2014.) uočen je blagi trend snižavanja srednjih godišnjih koncentracija nitrata u podzemnim vodama na Jadranskom vodnom području ( $6 - 7,5 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ). Nadalje autori navode povećanje prosječnih koncentracija nitrata na vodnom području rijeke Dunav ( $10,1 - 14,7 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ). Važno je istaknuti kako su sve srednje godišnje vrijednosti koncentracija ispod standarda kakvoće nitrata za podzemne vode ( $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ ).

Svjetska zdravstvena organizacija (World health organisation, WHO) donijela je Direktivu (Drinking Water Directive 98/83/EC; WHO, 2004.) kojom je postavljena granična vrijednost za količinu dušika u vodi za piće od  $11 \text{ mg N L}^{-1}$  ( $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ ), a koja je primjenjivana u EU, odnosno u Republici Hrvatskoj.

## 2. DUŠIK U BILJKAMA I TLU

Dušik kod biljaka nalazimo u klorofilu koji je neophodan za fotosintezu, zatim je dio nukleinskih kiselina, biljnih proteina, enzima koji kataliziraju biokemijske reakcije te u staničnim stjenkama. Biljke pri nedostatku dušika imaju svjetliju boju listova i usporenog su rasta. Dušik utječe na povećanje prinosa tako što povećava lisnu površinu što utječe na intenzitet fotosinteze. Nadalje, utječe na broj listova premda brojnost listova ovisi o biljnoj vrsti. Kod porodice *Poaceae*, dušik utječe na povećanje broja izdanaka pšenice i ječma. Kod krumpira (*Solanum tuberosum* L.) s kompleksnijom strukturom lista, povećan sadržaj dušika potiče razvoj grana i povećava broj listova. Dušik povećava trajnost lisne površine. Naime, dušik ima sposobnost translokacije iz starijih listova u mlađe pa se gnojidbom odgađa odumiranje starijih listova. Biljke ostaju zelenije s više listova kroz dulje vrijeme.

Nakon atmosfere i oceana, tlo je najveći rezervoar dušika na planetu. Prema EC (2006.) u Europi je identificirano preko 320 osnovnih tipova tala među kojima se nalaze brojne varijacije u pogledu fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava tla. Tlo čini gornji sloj Zemlje, a sastoji se od mješavine mineralne i organske tvari, vode, zraka i živih organizama. Sastav tla prikazan je slikom 3. Čvrsta faza tla odnosi se na gotovo 50 % volumena tla dok ostatak (pukotine) popunjavaju voda (mikropore) i zrak (makropore).



Slika 3. Sastav tla

Tla su klasificirana u odnosu na svojstva kao što je sadržaj organske tvari, pH, sadržaj gline te u odnosu na tvorbu horizonata. Schjønning i sur. (2004.) navode osnovnu funkciju tla:

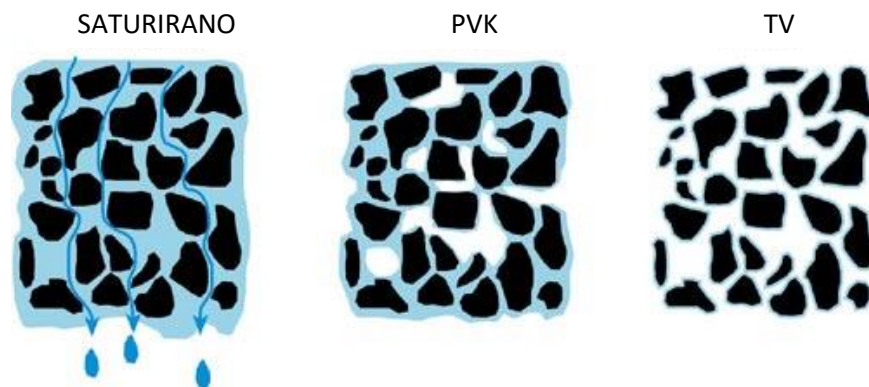
- Proizvodnja hrane i biomase;
- Pohrana, filtriranje, pufer i transformacija prirodnih i antropogenih supstanci, uključujući dušik;
- Stanište;
- Izvor sirovina;
- Okoliš čovjeka i čovjekovih aktivnosti;
- „Arhiva“ povijesti.

Prema Addiscott i Benjamin (2004.) tlo koje je češće obrađivano dulje vremensko razdoblje, sadrži manju količinu organske tvari, vjerojatno 2 do 3 t/ha dušika. Nadalje autor navodi kako je umjerenom klimatu u obradivim tlima sadržaj dušika veći (3 do 5 t/ha) dok u područjima s toplijom klimom dolazi do brže razgradnje organske tvari pa je stoga i manji sadržaj dušika u tlu. Tlo čuva kvalitetu podzemnih voda filtrirajući prekomjerne količine dušika.

Ispiranje dušika (nitrata) se odnosi na kretanje dušika u vodi izvan zone korijenovog sustava. Voda u tlu može postojati u tekućoj, plinovitoj i krutoj fazi od kojih jedino tekuća faza ima utjecaj na sadržaj i mobilnost nitrata u tlu. Tlo je saturirano (MKV – maksimalni kapacitet za vodu) kada su sve pore tla popunjene vodom. To stanje nije uobičajeno pa višak vode uslijed djelovanja sile teže odlazi u dublje slojeve tla, a u makroporama se nalazi zrak (slika 4.). Kada je tlo saturirano tada je onemogućeno kruženje zraka u tlu što dovodi do anaerobnih, redukcijskih uvjeta, pojave štetnih mikroorganizama te gušenja korijena biljke radi nedostatka kisika.  $\text{NO}_3^-$  anion se nalazi u otopini tla, vrlo je pokretljiv te se u slučaju descendentnog kretanja vode ispire u dublje slojeve tla.

Višak dušika u poljoprivrednim tlima indikator je emisije N u atmosferu i hidrosferu. Prekomjerna primjena N gnojiva u tlu utječe na promjenu kruženja N u prirodi, organsku tvar tla, bioraznolikost te smanjuje pufernu sposobnost tla. Nadalje, transformacija dušika u tlu utječe na smanjenje pH (Lehmann i Schroth, 1999.) što opet dovodi do smanjenja prinosa, bioraznolikosti i kruženje N u prirodi.

Kruženje N ili transformacija N u tlu važan je izvor vodikovih iona ( $H^+$ ) što smanjuje plodnost tla, utječe na mikrobiološku aktivnost tla, snižava prinos te smanjuje pristupačnost ostalih hraniva (fosfora, kalcija, magnezija, molibdena), a oslobađa toksične elemente uključujući aluminij i mangan. Nadalje sprječava rad mikroorganizama tla koji su uključeni u mineralizaciju organske tvari tla i biološku fiksaciju N (Velthof, 2011.). Kako navode Granali i Bøckman (1994.) nizak pH tla potiče sintezu  $N_2O$  tijekom nitrifikacije i denitrifikacije.

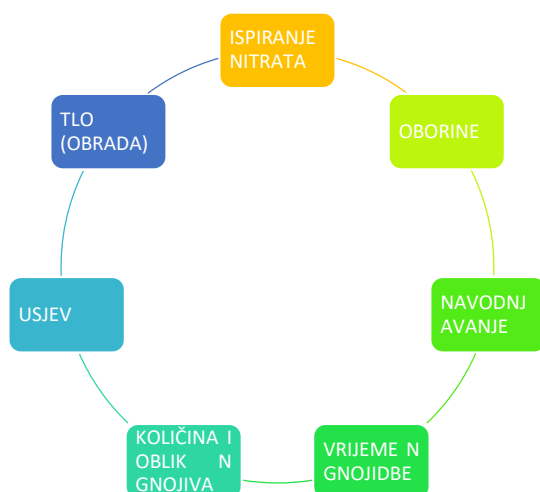


Slika 4. Vodne konstante tla

(izvor: <http://www.terragis.bees.unsw.edu.au>)

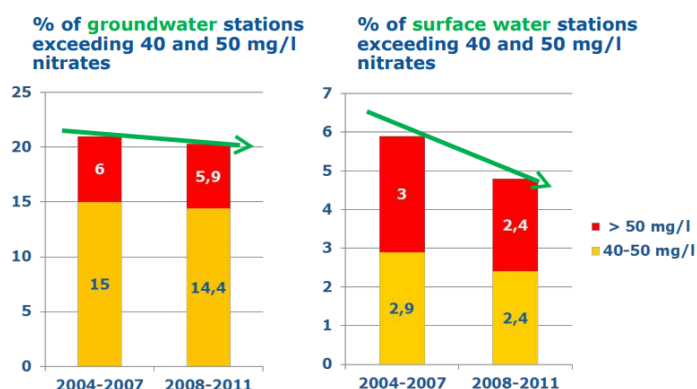
### 3. ISPIRANJE NITRATA

Zhaohui i sur. (2012.) navode kako je više od 95 % dušika u tlu nepristupačan biljkama te kako količina ispranog N uvelike ovisi o čimbenicima koji utječu na količinu vode u tlu te količini drenažne vode. Čimbenici koji utječu na ispiranje nitrata iz tla prikazani su slikom 5.



Slika 5. Čimbenici koji utječu na ispiranje nitrata

Na grafikonu 4. prikazana je udio mjernih postaja s koncentracijom nitrata iznad MDK u podzemnim i površinskim vodama na području Europe. U promatranom razdoblju (2004. – 2011.) vidljivo je poboljšanje u kakvoći površinskih i podzemnih voda.

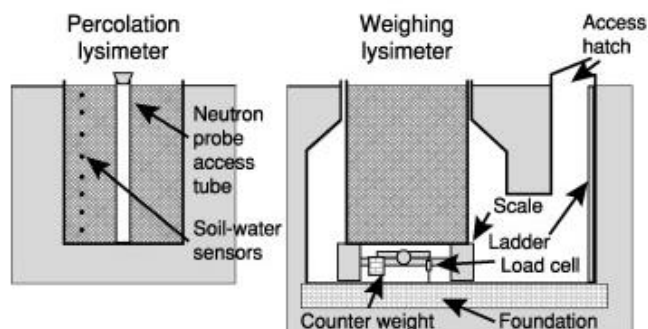


Grafikon 4. Udio postaja s koncentracijom nitrata iznad MDK na području Europe

(izvor: European Commission, 2014.)

### 3.1. Lizimetri

Lizimetri su uređaji odnosno posude ili kontejneri pomoću kojih se mjeri ili prati vodna bilanca tla ili količina i sastav procjedne vode (perkolata), a mogu biti drenažni (zapreminski) i težinski (slika 6.). Naziv lizimetar dolazi od grčke riječi *lysis* što znači kretanje i *metron* što znači mjera. Drenažni lizimetri se upotrebljavaju uz neki od uređaja za mjerenje sadržaja vode u tlu (TDR, Waterark, tenziometar).



Slika 6. Izvedbe lizimetara

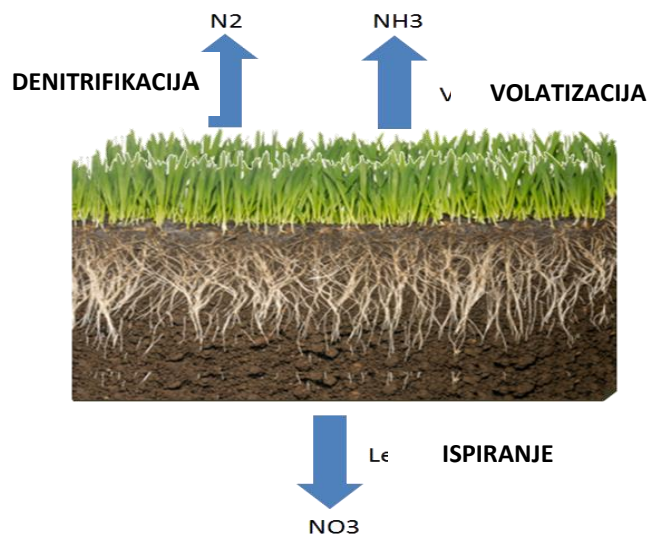
(izvor: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/lysimeters>)

Težinski lizimetri mjere razliku u masi tla, odnosno sadržaj vode. Nadalje težinski lizimetri mogu mjeriti infiltracije i količinu drenažne vode od oborina ili navodnjavanja te tako dati vrijednost evaporacije. Prvi zapisi o korištenju lizimetara datiraju iz 70-tih godina prošloga stoljeća iz Nizozemske i Francuske. Lizimetri su u to vrijeme uglavnom bili korišteni za određivanje količine vode koju usvoji biljka. Pored primarne uloge u mjerenju vodne bilance, količine i sastava procjedne vode lizimetri su našli primjenu u meteorologiji, poljoprivredi, ekologiji, geokemiji, ekologiji šuma, hidrologiji, pedologiji, obradi tla, biologiji tla te zbrinjavanju otpada i kvaliteti voda (Meißner i sur. (2010.).

### 3.2. Uloga usjeva i tla u ispiranju nitrata

Dušik iz tla se gubi volatilacijom, denitrifikacijom i ispiranjem (slika 7.). Prema pojedinim autorima ključni čimbenik za gubitak dušika iz tla je tlo bez usjeva (golo tlo). U početnom dijelu vegetacije (proljeće) gubici dušika iz tla posljedica su manjeg usvajanja od strane biljke. Biljke reagiraju na porast temperature tla i zraka, duljinu dana te intenzivniju svjetlost pa raste intenzitet fotosinteze. Stoga i biljke rastu te se povećava usvajanje  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{NH}_4^+$  oblika dušika iz tla. U takvim uvjetima intenzivirana je mineralizacija dušika u tlu

djelovanjem mikroorganizama. U prirodi, rast biljaka biti će ograničen u odnosu na pristupačna hraniva dok je u poljoprivrednoj proizvodnji nedostatak hraniva nadoknađen gnojidbom (uglavnom mineralnim dušikom,  $\text{NO}_3^-$ ). Nitratni oblik dušika usvajaju biljke za rast i tvorbu prinosa. Nadalje, nitratni oblik dušika može biti ugrađen u organsku tvar tla ili denitrificiran ( $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Tijekom razdoblja vegetacije pojedine kulture, najveći gubici događaju se uslijed značajnijih oborina ili navodnjavanja većim obrocima kada dolazi do ispiranja nitrata. Ovaj proces se vjerojatno simultano događa s denitrifikacijom pa ih je kako navode Addiscott i Benjamin (2004.) teško izmjeriti.



Slika 7. Gubici nitrata iz tla

(izvor: <https://www.smart-fertilizer.com/articles/ways-to-minimize-nitrate-leaching>)

Nakon žetve tlo u pravilu sadrži manju količinu vode radi visoke ET tijekom razdoblja vegetacije. Dolaskom hladnijeg vremena i intenzivnijih oborina u jesenjem razdoblju vlaži se (u početku) gornji sloj tla, a potom dolazi do descendentnog kretanja vode u dublje slojeve tla. Obzirom da je tlo bez usjeva, ne dolazi do usvajanja nitrata od strane biljaka pa se javlja intenzivnije ispiranje u dublje slojeve tla, odnosno u podzemne vode. Stojić (2009.) navodi kako u područjima s većom količinom oborina na laganim pjeskovitim tlima može doći do ispiranja hranjiva u dublje slojeve ili podzemne vode pa takva područja traže i drugačiji raspored gnojidbe. Lehmann i sur. (2003.) navode značajnu razliku u sadržaju N ovisno o tipu tla. Autori navode veći sadržaj N u antropogenom horizontu, međutim zbog širokog C:N odnosa radi visokog sadržaja N u tlu dolazi do imobilizacije N.



Sylvester-Bradley i sur. (1987.) navode kako je na području Velike Britanije prije 1976. godine količina dušičnog gnojiva pri gnojidbi pšenice bila manja od stvarne potrebe biljaka. Nakon 1977. godine raste količina gnojiva, kako autori navode do 300 kg/ha do 1986. godine. Prema Powlson i sur. (1992.) 65 % dušika iz gnojiva je usvojen od strane biljaka, 18 % je inkorporiran u organsku tvar tla, 1 % je mineraliziran, 10 % je denitrificiran, a 6 % nitrata je izgubljeno ispiranjem. Autori nadalje navode kako je 35 % ukupne količine N gnojiva premašio potrebe biljaka od čega je 51 % inkorporiran u organsku tvar tla, 29 % denitrificiran, a 20 % ispran u dublje slojeve tla.

Jedna od metoda smanjivanja gubitaka N iz tla je sjetva pokrovnih usjeva. Cilj metode je potrošnja ostataka N u tlu od strane pokrovnog usjeva nakon žetve glavnog usjeva. Pored toga, pokrovni usjevi štite tlo od zaslanjivanja (Logsdon i sur., 2002.). Naime ispiranje nitrata je izraženo u jesenskom razdoblju uslijed intenzivnijih oborina. U to vrijeme količina oborine premašuje kapacitet tla za vodu pa dolazi do descentnog kretanja vode u tlu. Uloga pokrovnih usjeva je usvojiti N iz tla te obogatiti tlo N nakon zaoravanja žetvenih ostataka. Nedoumica kod primjene ove metode je kratko vremensko razdoblje nakon žetve prethodne (glavne) kulture. Na primjer, nakon žetve kukuruza malo je vremena za razvoj pokrovnog usjeva prije pojave kiša i drenaže. Nadalje sjetva pokrovnih usjeva otežava jesenju obradu tla što je posebice problem kod teških tala. Justes i sur. (2012.) navode kako prema rezultatima brojnih istraživanja pokrovni usjevi mogu smanjiti koncentraciju nitrata  $< 50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ , te količinu drenažne vode za više od 50 %. Autori nadalje naglašavaju kako učinkovitost pokrovnih usjeva varira u odnosu na tlo, klimu te vremenske uvjete tijekom godine. Prema rezultatima istraživanja Hooker i sur. (2008.) na tretmanima s pokrovnim usjevom (goruščica) značajno je smanjen gubitak  $\text{NO}_3^-$  na tretmanima konvencionalne i reducirane obrade tla. Sadržaj nitrata u tlu je bio smanjen za 38 % do 70% na tretmanima s pokrovnim usjevom. Autori naglašavaju važnost rezultata istraživanja za područja s blagim zimama gdje su visoke temperature tijekom zimskog razdoblja važne za vegetaciju pokrovnog usjeva te mineralizaciju dušika. Rasse i sur. (2000.) navode gubitak od  $88 \text{ kg NO}_3 \text{ ha}^{-1}$  godišnje na tretmanima gnojidbe linija kukuruza s  $202 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Na tretmanu s pokrovnim usjevom, usjev raži usvojio je od 46 do  $56 \text{ kg N ha}^{-1}$  zaostalog N iz tla nakon žetve glavnog usjeva.

U istraživanju gdje je korišten veći broj pokrovnih usjeva (raž, facelija, ljulj, goruščica) autori navode kako nije bilo značajne razlike u količini ispranog nitrata u odnosu na

pokrovni usjev (Macdonald i sur., 2005.). Tijekom zimskog razdoblja rano posijani pokrovni usjevi smanjili su količinu ispranih nitrata za 29 do 91 % u usporedbi s ugarom.

U istraživanju koje su proveli Rong i Xuefeng (2011.) na tretmanima gdje nije dodano N gnojivo nije zabilježena akumulacija nitrata u tlu na dubini do 300 cm. Nakon što je tlo analizirano po završetku istraživanja zabilježena je manja koncentracija nitrata u odnosu na prethodno razdoblje vegetacije posebice na tretmanima navodnjavanja s visokim normama navodnjavanja što ukazuje na ispiranje nitrata. Autori nadalje navode kako je manja koncentracija nitrata zabilježena u pjeskovitim tlima u odnosu na glinasta tla radi manje apsorpcijske sposobnosti pjeskovitih tala.

Obrada tla ubrzava proces mineralizacije N u tlu, premda prema rezultatima istraživanja koja su provedena u SAD-u (Weed i Kanwar, 1996.) koncentracija nitrata u drenažnoj vodi je bila veća kod konvencionalne obrade tla u odnosu na reduciranu obradu, ali količina drenažne vode kod konvencionalne gnojidbe je manja radi većeg kapaciteta za vodu.

Bensa (2010.) je proučavao dinamiku koncentracija nitrata u tlu pri proizvodnji krumpira, kukuruza i ozime pšenice te u voćnjaku jabuka u razdoblju od 2007. do 2010. godine. Koncentracija nitrata određivana je u drenažnoj vodi koja je prikupljena lizimetrima koji su bili postavljeni na dubinu od 60 cm. Količina dodanog dušika prikazana je tablicom 1.

Tablica 1. Tretmani N gnojidbe (kg N/ha) krumpira i kukuruza

	Varijanta I			Varijanta II			Varijanta III			Varijanta IV		
<b>KRUMPIR</b>												
	O	P	Ukup.	O	P	Ukup.	O	P	Ukup.	O	P	Ukup.
<b>2008.</b>	50	0	50	50	50	100	50	100	150	50	150	200
<b>2009.</b>	215	0	215	215	50	265	215	100	315	215	150	365
<b>2010.</b>	50	0	50	50	50	100	50	100	150	50	150	200
<b>KUKURUZ</b>												
<b>2008.</b>	50	0	<b>50</b>	50	50	<b>100</b>	50	100	<b>150</b>	50	150	<b>200</b>
<b>2009.</b>	50	0	<b>50</b>	50	50	<b>100</b>	50	100	<b>150</b>	50	150	<b>200</b>

**O – osnovna gnojidba; P - prihrana**

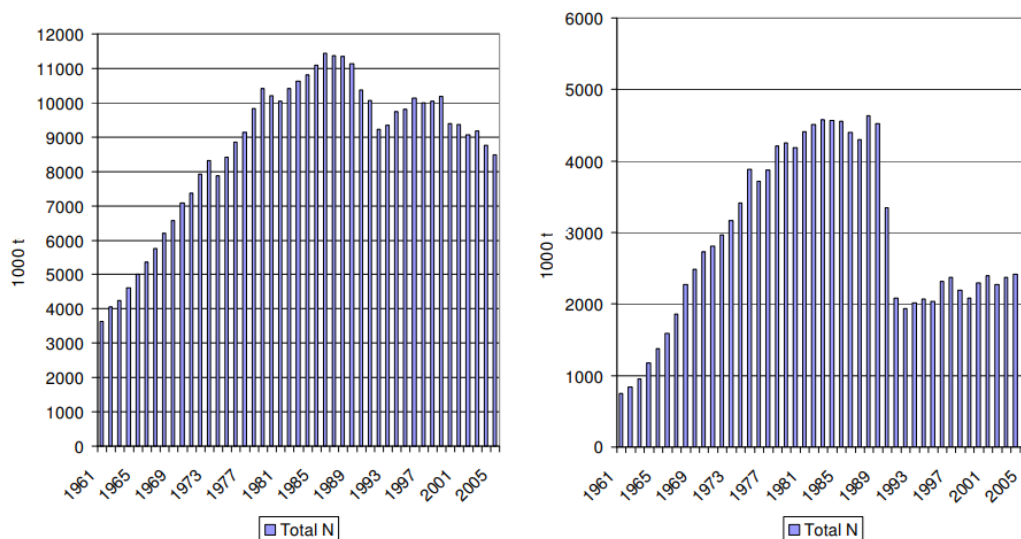
Izvor: Bensa (2010.)

Količina N gnojiva u prihrani ozime pšenice bila je rasponu od 18 do 220 kg N/ha. Prema rezultatima istraživanja koncentracije nitrata u podzemnim vodama često su prelazile MDK (50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l). U pogledu tla autor navodi kako je kod uzgoja krumpira znatno veća koncentracija nitrata zabilježena na teksturno lakšem tlu s manjim sadržajem humusa u odnosu na teksturno teže tlo koje je bogatije humusom, a zasijano kukuruzom i ozimom pšenicom. Na lakšem tlu izmjerena je i veća količina procjedne vode (perkolata). Maksimalna količina ispranog dušika pri uzgoju krumpira bila je 13,9 kg N/ha, a pri uzgoju kukuruza 3,7 kg N/ha pri istoj gnojidbi. Autor navodi kako su navedene vrijednosti djelomično rezultat i boljeg iskorištenja dušika od strane biljaka. U pogledu vremena uzorkovanja procjedne vode autor navodi veću koncentraciju nitrata u jesenskom razdoblju kod uzgoja pšenice (iznad MDK) jer je minimalna potrošnja nitrata od strane tek izniklih biljaka pšenice, male ETo i veće količine oborina u jesensko-zimskom razdoblju. U rezultatima istraživanja autor navodi kako je najveća količina ispranog nitrata zabilježena na tretmanima koji su prihranjivani najvećom količinom dušika. Nadalje, autor navodi kako pri uobičajenoj gnojidbi nije zabilježena zabrinjavajuća koncentracija nitrata u procjednoj vodi.

Kod ispiranja nitrata odnosno kretanja vode u tlu važna je vododržea sposobnost tla odnosno hidraulička provodljivost što zahtijeva različite obroke navodnjavanja kako bi se sadržaj vode u tlu doveo do vrijednosti PVK, a ujedno gubici nastali procjeđivanjem vode u dublje slojeve tla bi bili svedeni na minimum. Sigua i sur. (2016.) su proveli trogodišnje istraživanje s ciljem usporedbe različitih metoda u određivanju trenutka početka navodnjavanja (vodni potencijal tla (Soil Water Potential, SWP), Irrigator Pro (IPRO) te NDVI) i količine N gnojiva (157 i 224 kg N ha<sup>-1</sup>) na sadržaj nitrata, učinkovitost vode i prinos kukuruza koji je uzgajan na 4 tipa tla. Prinos kukuruza nije varirao u odnosu na metodu navodnjavanja i tip tla, dok je zabilježena razlika u prinosu kukuruza i učinkovitosti vode u odnosu na godinu. Količina procjedne vode varirala je u odnosu na navodnjavanje (11,1 mg/L (IPRO) do 16,5 mg/L (SWP) i količinu N gnojiva (13,4 mg/L (157 kg N ha<sup>-1</sup>) i 17 mg/L (224 kg N ha<sup>-1</sup>), dok za tip tla nije zabilježeno značajno variranje. Autori zaključuju kako se pravilnim odabirom metode navodnjavanja može smanjiti količina ispranog nitrata na različitim tipovima tala.

### 3.3. Uloga vode i N gnojidbe u ispiranju nitrata

Oborine, navodnjavanje (norma i obroci) te N gnojidba su najvažniji čimbenici pri ispiranju nitrata, posebice u intenzivnoj biljnoj proizvodnji kod kultura s plitkim korijenovim sustavom. Ispiranje hraniva je izraženije u humidnijoj klimi u odnosu na aridnu. Navodnjavanje prekomjernim normama navodnjavanja uz N gnojidbu može dovesti do niske učinkovitosti N gnojidbe, odnosno usvojenog N od strane biljaka te uslijed povećanog ispiranja nitrata može dovesti do onečišćenja okoliša odnosno akumuliranja nitrata u podzemnim vodama. Količina ukupnog N (1000 t) dodanog gnojidbom u zemljama zapadne (Njemačka, Belgija, Luxemburg, Nizozemska, Danska, Španjolska, Francuska, Austrija) i središnje Europe (Hrvatska, Slovenija, Slovačka, Poljska, Češka, Mađarska, Bugarska) prikazana je grafikonom 5.

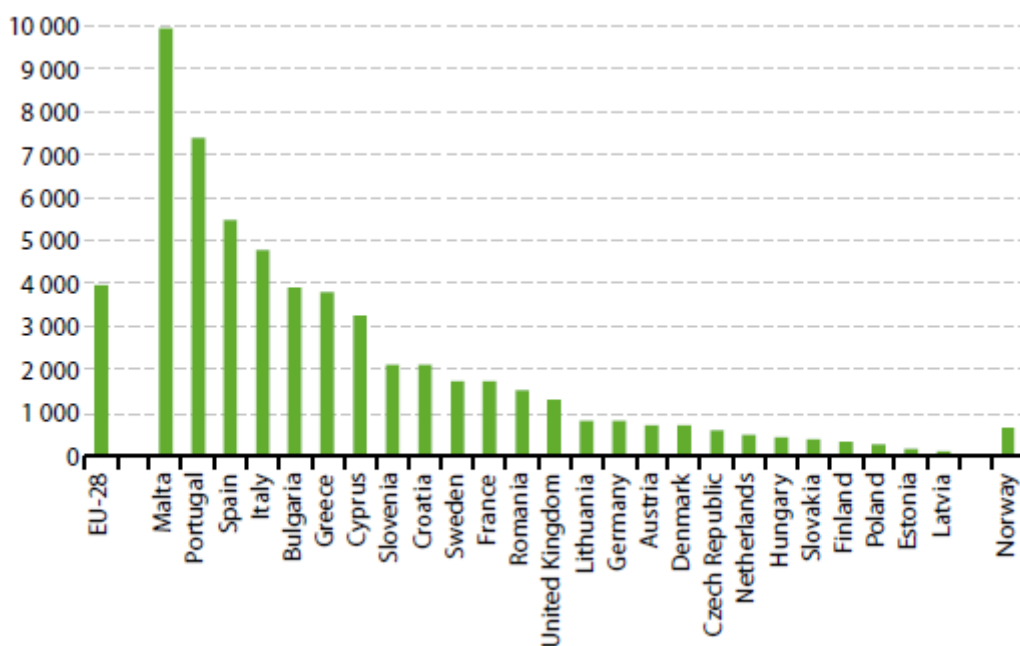


Grafikon 5. Količina ukupno N (1000 t) dodan gnojidbom u zemljama zapadne i središnje Europe

(izvor: EEA, ?)

Prema statističkim podacima koje objavljuje FAO potrošnja dušika iz mineralnih gnojiva u Hrvatskoj u razdoblju od 1996. - 2008. godine se kretala od 46 do 133 kg N ha<sup>-1</sup> poljoprivredne površine, ili od 71 do 181 kg N ha<sup>-1</sup> obradive površine (AFZ, 2014.). Dušik je važan za optimalan rast biljaka, međutim lako je topiv pa se stoga ispire u dublje slojeve tla descendentnim kretanjem vode u tlu. Kolika količina dušika će dospjeti do podzemnih voda ovisit će o razini podzemne vode, teksturi tla, oborinama i navodnjavanju (norma navodnjavanja) te o dubini korijena biljaka.

Površine koje su navodnjavane u Republici Hrvatskoj su u blagom porastu premda još uvijek znatno ispod prosjeka europskih zemalja. Grafikonom 6. prikazana je potrošnja vode za navodnjavanje ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) u Europi 2010. godine. Najveću potrošnju vode za navodnjavanje bilježi Malta, gotovo  $10\,000 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ , a prema izvješću na tom području zabilježeno je onečišćenje uslijed ispiranja nitrata prekomjernom gnojidbom i navodnjavanjem velikim normama (Eurostat, 2016.).



Grafikon 6. Potrošnja vode za navodnjavanje ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) u Europi 2010. godine

(izvor: Eurostat, 2016.)

Pravilno gospodarenje N (nitrata) za proizvođače predstavlja balansiranje između isprane količine N i ekonomske koristi od N gnojidbe u pogledu povećanja prinosa. Količina N gnojiva bez obzira radi li se o gnojivu organskog ili mineralnog podrijetla često prelazi stvarne potrebe usjeva tijekom vegetacije. Prekomjerna primjena N gnojiva je osnovni razlog ispiranja nitrata zbog količina N koja ostaje u tlu nakon žetve. Rezultati brojnih istraživanja prikazuju povećanje količine nitrata u podzemnim vodama koje prati povećanje količine N gnojiva (Guo, 2006., Bawatharani i sur., 2004.). Pored količine dodanog gnojiva važno je i vrijeme gnojidbe. Naime gnojidba N gnojivima bi trebala biti usklađena sa stvarnim potrebama biljaka za N, odnosno u fazi rasta kada je intenzivno

usvajanje N iz tla. Stoga je važno preporučenu količinu N gnojiva za neki usjev provesti u nekoliko faza (predsjetvena gnojidba, prihrana).

U istraživanju Bawatharni i sur. (2004.) praćeno je ispiranje nitrata u regosolu (sirozemu) u laboratorijskim uvjetima. Monolitni blokovi u nenarušenom stanju bili su 20, 30 i 40 cm dubine, a gustoća tla  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ . Tlo je zasićeno destiliranom vodom, a u svaki blok dodano je 0, 70 i 140 kg N/ha. Norme navodnjavanja su bile 7, 14 i 30 mm. Mjerena je količina i koncentracija  $\text{NO}_3^-$  drenažne vode (perkolata). U rezultatima istraživanja autori navode kako je količina i koncentracija  $\text{NO}_3^-$  drenažne vode ovisila o normi navodnjavanja i dubini monolitnog bloka. Veća količina drenažne vode izmjerena je kod većih normi navodnjavanja. Najmanji gubici ispiranjem zabilježeni su na tretmanu s normom od 7 mm, 70 kg /ha i dubinom uzorka od 40 cm. Nasuprot tome, najveći gubitak (93,3 %) zabilježen je na tretmanu s 30 mm i 140 kg/ha na monolitu od 20 cm.

Fang i sur. (2006.) proučavali su količinu ispranih nitrata, količinu nitrata usvojen od strane biljaka te količinu nitrata u tlu ovisno o tretmanima navodnjavanja i N gnojidbe u pšenica – kukuruz dvopolju. Tretmani N gnojidbe bili su kako slijedi: 0, 100, 200 i 300 kg N ha<sup>-1</sup>. N gnojidba provedena je ručno u obliku uree (46 % N) prije navodnjavanja i oborina. U istraživanju su bila dva tretmana navodnjavanja:  $85 \pm 15$  % te  $70 \pm$  poljskog vodnog kapaciteta. Praćen je sadržaj vode u tlu na dubini do 50 cm, a navodnjavanje je bilo dopunskog karaktera.

Rong i Xuefeng (2011.) proveli su istraživanje kako bi proučili učinak navodnjavanja i N gnojidbe na sadržaj nitrata u tlu tijekom 2006. i 2007. godine. Područje istraživanja okarakterizirano je semiaridnom monsunskom klimom (Sjeverna Kina) s prosječnom količinom godišnje oborine 116,8 mm. Prosječna godišnja evaporacija je 2390 mm, a tlo je antropogeno pjeskovito. Autori su navodnjavali s tri norme navodnjavanja, 12 000 m<sup>3</sup>/ha (W1, uobičajena norma za navedeno područje), zatim deficitnim navodnjavanjem (W2) 10800 m<sup>3</sup>/ha (2006.) i 10500 m<sup>3</sup>/ha (2007.) kojem je umanjena norma navodnjavanja za 10 % i 12,5 % te deficitnim navodnjavanjem (W3) s umanjenom normom za 20 % i 25 %, 9600 m<sup>3</sup>/ha (2006.) i 9800 m<sup>3</sup>/ha (2007.). Količine dodanog N gnojiva u obliku Uree (46 % N) bile su: 0 (N1), 150 (N2), 225 (N3), 300 (N4) i 375 kg/ha (N5). U rezultatima istraživanja autori navode kako je koncentracija nitrata u gornjem sloju tla (do 40 cm) bila viša u odnosu na preostale promatrane dubine (140 do 160 cm; 230 do 300 cm) radi fizikalnih svojstava te tretmana navodnjavanja i N gnojidbe. U gornjem sloju tla

koncentracija nitrata bila je u rasponu od 3,21 mg kg<sup>-1</sup> (N1W1) do 7 mg kg<sup>-1</sup> na W2N5 tretmanu. Tretmani s 225, 300 i 375 kg N ha<sup>-1</sup> su imali značajno veću koncentraciju nitrata u odnosu na tretmane gnojene s 0 i 150 kg N ha<sup>-1</sup>. Nadalje kod tretmana sa 375 kg N ha<sup>-1</sup> zabilježena je najveća koncentracija nitrata na svim tretmanima navodnjavanja na dubini do 160 cm što ukazuje na značajan utjecaj N gnojidbe na sadržaj nitrata u tlu. Autori navode veću koncentraciju nitrata pri gnojidbi s 375 kg N ha<sup>-1</sup>, a na dubini većoj od 200 cm što je posljedica ispiranja nitrata. Na tretmanu bez N gnojidbe navodnjavanje nije utjecalo na ispiranje nitrata jer nije bilo suviše količine nitrata u tlu, odnosno pristupačan dušik je utrošen od strane usjeva.

Provedena su istraživanja o utjecaju sporo otpuštajućih, kontroliranih N gnojiva na prinos i količinu ispranih nitrata. Prema rezultatima istraživanja zabilježena je manja količina nitrata u tlu, međutim gnojidba nije imala značajan utjecaj na prinos pšenice dok je prinos kukuruza povećan za 18,3 % u odnosu na konvencionalnu gnojidbu (Zhaohui, 2012.). Noellsch i sur. (2009.) istraživali su utjecaj sporo otpuštajućih N gnojiva na prinos kukuruza te zaključili kako primjena takvih gnojiva može biti ekonomski isplativa te da povećava prinos kukuruza.

Nakamura i sur. (2004.) proučavali su utjecaj gnojidbe, navodnjavanja te tipa tla na ispiranje nitrata. Istraživanje su proveli na pjeskovitoj ilovači te pijesku, a gnojidbu N proveli su na slijedeći način: na prvom tretmanu dodali su cjelokupnu količinu N gnojiva od jednom, a na drugom tretmanu N gnojivo su dodali podijeljeno u nekoliko gnojidbi. Autori navode značajan utjecaj tretmana gnojidbe i tipa tla na količinu ispranih nitrata. Značajno veća količina nitrata zabilježena je na tretmanu gnojidbe u kojoj je sva količina gnojiva dodana u jednoj gnojidbi. Nadalje autori navode smanjenje ispiranja nitrata za 1/3 na tretmanu s podijeljenom količinom gnojiva.

Usporedbom navodnjavanog i nenavodnjavanog tretmana u pogledu količine ispranog dušika Bensa (2010.) navodi kako je u navodnjavanju voćnjaka jabuka zabilježena veća količina ispranog dušika (10,1 kg N/ha), za 66 % više u odnosu na nenavodnjavani tretman (6,9 kg N/ha).

Količina ispranog dušika u procjednoj vodi ne ovisi samo o normi navodnjavanja nego i o rotaciji usjeva odnosno plodoredu. Klocke i sur. (1999.) proučavali su količinu ispranog nitrata te dinamiku ispiranja u pogledu vremena uzorkovanja procjedne vode. Količinu procjedne vode te ispranog nitrata mjerili su pomoću lizimetara. Trenutak početka

navodnjavanja određen je prema sadržaju vode u tlu na dubini do 2 m i potencijalne ETo. Lentokapilarna vlažnost (LKV) određena je na 50 % od poljskog vodnog kapaciteta (PVK) odnosno ETo. Usjeve kukuruza i soje navodnjavali su metodom kišenja. Autori navode kako je ključni čimbenik u ispiranju dušika imala količina oborina i učinkovitost vode. Prosječna količina procjedne vode bila je 218 mm godišnje na oba usjeva, a sam usjev prema rezultatima istraživanja nije imao utjecaj na količinu perkolata. Nadalje autori navode kako je koncentracija nitrata u monokulturi kukuruza (6 godina) bila 24 mg/l, a u plodoredu 42 mg/l.

Moreno i sur. (1996.) su proveli trogodišnje istraživanje (1991. - 1993.) s ciljem određivanja količine drenažne vode i koncentracije nitrata u zoni ispod korijenovog sustava u uvjetima navodnjavanja. Kukuruz je navodnjavan površinskom metodom, brazdama. Tretmani N gnojidbe bili su 500 kg N ha<sup>-1</sup> i 170 kg N ha<sup>-1</sup>. U rezultatima istraživanja u pogledu količine procjedne vode autori navode kako nije zabilježena značajnija količina vode tijekom razdoblja navodnjavanja. Nadalje količina ispranog nitrata bila je 150 i 43 kg ha<sup>-1</sup> po tretmanima gnojidbe i to u razdobljima kada je tlo bilo golo te za vrijeme kišnog razdoblja.

Cilj istraživanja Errebhi i sur. (1998.) bio je proučiti utjecaj N gnojidbe na prinos i ispiranje NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kod uzgoja krumpira u uvjetima navodnjavanja. Kontrolni tretman N gnojidbe bio je 0 kg N ha<sup>-1</sup>, a ukupno je dodano 270 kg N ha<sup>-1</sup>. U vrijeme sjetve dodano je 0, 45, 90, i 135 kg N ha<sup>-1</sup>, a ostatak gnojiva podijeljen je u jednakim količinama tijekom klijanja i zagrtanja krumpira. Autori navode da je 33 % dodanog N gnojiva usvojeno od strane biljke u godini sa značajnijom količinom procjedne vode, dok je u godini u kojoj je izmjerena manja količina procjedne vode biljka usvojila 56 % N. Nadalje autori navode linearno povećanje nitrata u procjednoj vodi povećanjem N gnojiva.

Utjecaj folijarne gnojidbe ureom u uvjetima navodnjavanja na prinos i kvalitetu durum pšenice proučavali su Abad i sur. (2004.). Istraživanje je provedeno na dvije lokacije na kojima je izmjeren različit sadržaj NO<sub>3</sub><sup>-</sup> u tlu. Proučavan je utjecaj različite količine gnojiva i vrijeme primjene. Na dva tretmana dodano je 50 kg N ha<sup>-1</sup> folijarnom gnojidbom u obliku uree. Autori navode kako je prinos varirao u odnosu na godinu i lokaciju te da je u tlima s niskim sadržajem NO<sub>3</sub><sup>-</sup> najviši prinos i kvaliteta zrna u pogledu sadržaja proteina, kvalitete glutena i karotenoida zabilježen kod tretmana gnojidbe sa 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Nadalje autori preporučuju daljnje povećanje N gnojiva na 200 kg N ha<sup>-1</sup> kada se očekuje



maksimalna kvaliteta zrna, ali da se pri tome može očekivati značajnije ispiranje  $\text{NO}_3^-$ . Prema rezultatima istraživanja sadržaj  $\text{NO}_3^-$  u tlu u vrijeme žetve, na objema lokacijama rastao je povećanjem N gnojiva.

Cilj istraživanja Waddell i sur. (2000.) bio je odrediti utjecaj različitih metoda navodnjavanja (kišenjem i lokalizirano), trenutne vlažnosti (70 i 40 % PVK), položaj emitera (na površini ili postavljeni na 25 cm u tlu) te različitih oblika N gnojiva (urea i organsko gnojivo (Meleagris Gallopavo)) te vrijeme primjene N gnojiva na (3 i 5 gnojidbi) na ispiranje nitrata. Veća količina procjedne vode zabilježena je kod metode kišenja u odnosu na lokaliziranu metodu. Nadalje veća količina procjedne vode zabilježena je kod održavanja vlažnosti tla na 70 % PVK. U pogledu oblika N gnojiva u odnosu na metodu navodnjavanja količina procjedne vode bila je jednaka. Gnojidba u 5 prihrani rezultirala je manjim ispiranjem u odnosu na 3 prihrane. U pogledu oblika N gnojiva, na tretmanu gnojidbe organskim gnojem nije zabilježena manja količina procjedne vode.

Sharma i sur. (2012.) su proučavali utjecaj različitih metoda navodnjavanja na ispiranje nitrata u proizvodnju luka (*Allium cepa* L.). Luk je navodnjavan površinskom metodom, brazdama te lokaliziranom metodom. Autori navode kako je sadržaj  $\text{NO}_3^-$  u otopini tla bio u rasponu od 97,4 do 105,2 mg  $\text{L}^{-1}$  kod navodnjavanja brazdama te od 65,2 do 66,8 mg  $\text{L}^{-1}$  kod lokaliziranog navodnjavanja na dubini od 60 do 200 cm. Nadalje sadržaj  $\text{NO}_3^-$  ispod zone korijenovog sustava bio u rasponu od 145 do 150 kg N  $\text{ha}^{-1}$  kod navodnjavanja brazdama te u rasponu od 76 do 79 kg N  $\text{ha}^{-1}$  kod lokaliziranog navodnjavanja. Učinkovitost navodnjavanja bila je u rasponu od 78 do 80 % kod navodnjavanja brazdama te 83 % kod lokaliziranog navodnjavanja. Učinkovitost N gnojidbe bila je od 35 do 36 % kod navodnjavanja brazdama te od 38 do 39 % kod lokaliziranog navodnjavanja. Na osnovu dobivenih rezultata autori preporučuju manje količine N gnojiva u vrijeme formiranja lukovice te lokalizirano navodnjavanje kako bi se povećala učinkovitost navodnjavanja i N gnojidbe, a ispiranje svelo na minimum.

Provedeno je istraživanje o utjecaju N gnojidbe i navodnjavanja na nakupljanje nitrata u tlu i ispiranje u dvopolju kukuruz-pšenica (Fang i sur., 2006.). Tretmani N gnojidbe bili su kako slijedi: 0, 100, 200 i 300 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . U istraživanju su bila dva tretmana navodnjavanja: 85 % i 70 % PVK na dubini do 50 cm. Prema rezultatima istraživanja autori navode kako nije zabilježeno povećanje prinosa kod kukuruza niti soje gnojidbom većom od 200 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . Na dubini do 100 cm količina N gnojiva nije imala značajan

utjecaj na sadržaj  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Povećan sadržaj  $\text{NO}_3\text{-N}$  na dubini do 100 cm bio je na tretmanima gnojidbe sa 200 i 300 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . U pogledu iskoristivosti N gnojiva, kod kukuruza je zabilježena bolja iskoristivost u odnosu na pšenicu. Veća količina ispranih nitrata zabilježena je kod kukuruza radi veće količine oborine koja je bila u ljetnom razdoblju.

### **3.4. Mjere preporuke**

Problem povećane koncentracije nitrata u podzemnim vodama prepoznat je u većini zemalja svijeta i Europe pa su stoga određene smjernice za budućnost kako bi ovaj problem bio riješen. Prema EC (2018.) svaka zemlja članica EU obavezna je donijeti programe koji se odnose na zone ranjivosti ili na čitav teritorij zemlje. Ciljevi programa i akcija jesu smanjenje onečišćenja voda uslijed nitrata iz poljoprivredne proizvodnje te prevencija daljnjih onečišćenja. Velika pozornost zemalja članica usmjerena je na količinu gnojiva koja je prihvatljiva za pojedinu kulturu te zbrinjavanje stajskog gnoja.

Pojedine zemlje EU razvile su modele i simulacije budućih scenarija kvalitete podzemnih voda čiji rezultati uvelike ovise o vremenskim uvjetima i tlu. 12 zemalja članica i dvije regije iznijele su rezultate scenarija u kojem dolazi do smanjenja koncentracije nitrata u podzemnim vodama kao rezultat provedenih mjera, programa Ruralnog razvoja te primijenjenih agroekoloških mjera. Sedam zemalja članica nisu iznijele jasne rezultate u pogledu budućih scenarija kakvoće podzemnih voda, dok tri zemlje članice među kojima je i Republika Hrvatska nisu podnijele izvješće o predviđanju u pogledu kvalitete vode.

Potiče se trajni monitoring kakvoće voda te provedba akcijskih planova i programa koji imaju za cilj proglašavanje ranjivih zona, davanje izvješća te postavljanje jasnih ciljeva i mjera kojima bi se onečišćenje voda uslijed nitrata iz poljoprivredne proizvodnje svelo na najmanju moguću mjeru. Neke od mjera jesu sjetva pokrovnih usjeva, upotreba inhibitora nitrifikacije ili spoorootpuštajućih gnojiva, agrotehnika koja je u skladu s agroekologijom, gnojidba provedena kao osnovna i dopunska, određivanje elemenata navodnjavanja, navodnjavanje kišenjem ili fertigacija, folijarna gnojidba i dr.

Smanjenje N u poljoprivrednim tlima moguće je postići dodavanjem manje količine N gnojiva i/ili povećanjem biomase (output). Smanjivanje količine mineralnog N u tlu na kraju razdoblja vegetacije te prije intenzivnog porasta nadzemne mase i korijenovog sustava iduće zasijane kulture je prema Zhaohui i sur. (2012.) ključni čimbenik u smanjenju ispiranja nitrata. Power i Schepers (1989.) zaključuju da je bez obzira na

važnost vremena i metode gnojidbe te mjerenje sadržaja N u tlu, ipak najvažnije dodati odgovarajuću količinu N gnojiva kako bi se smanjilo ispiranje nitrata. Tilman i sur. (2002.) navode povećanje učinkovitosti N gnojidbe kao rješenje za smanjenje onečišćenja okoliša. Autori navode kako je u SAD-u učinkovitost N gnojidbe kod kukuruza povećana za 36 %, a javlja se kao rezultat velikih ulaganja u javni sektor, istraživanja, obrazovanja te ulaganja proizvođača u analizu tla te odabir vremena prihrane. Bauder i sur. (2014.) navode vodilje pri planiranju N gnojidbe. Autori navode kako bi prinos trebalo planirati na osnovu prosječnog petogodišnjeg prinosa te povećati za 5 %. Nadalje autori preporučuju analizu tla, odnosno određivanje sadržaja N u tlu prije gnojidbe i analizu vode za navodnjavanje kako bi se vidio sadržaj nitrata u vodi. Preporuka autora je izbjegavanje većih količina N gnojiva u jesenjem razdoblju ili tijekom sjetve te unošenje uree u tlo kako bi se spriječila volatilizacija.

U uvjetima navodnjavanja ispiranje nitrata može se svesti na minimum pravilno određenim normama navodnjavanja. Prevelike norme navodnjavanja potiču ispiranje nitrata u dublje slojeve tla, odnosno podzemne vode. Obroci navodnjavanja bi trebali biti usklađeni sa stvarnim potrebama biljaka za vodom odnosno agroekološkim uvjetima. Za precizno planiranje navodnjavanja preporuča se mjerenje sadržaja vode u tlu nekom od metoda (direktne ili indirektne). Nadalje učinkovitost navodnjavanja je moguće povećati pravilnim odabirom sustava odnosno metode navodnjavanja.

Za procjenu učinkovitosti navodnjavanja odnosno N gnojidbe u pogledu količine usvojene vode i dušika od stane biljaka te ispiranja u dublje slojeve tla korišteni su računalni modeli. Hu i sur. (2010.) su koristili WNMM model (water and nitrogen management model) kako bi simulirali kretanje vode i nitrata u tlu te rast kukuruza (*Zea mays* L.) u SZ Kini. U njihovom istraživanju model je pokazao kako je u konvencionalnoj poljoprivredi 35 % od dodane vode i 58 % od dodanog N procijeđeno u dublje slojeve tla (< 1, 8 m). Velika količina ispranih nitrata posljedica je velikih normi navodnjavanja, prekomjerne količine N gnojiva te tla pjeskovite strukture. Simulirano je više od 1700 scenarija različitih kombinacija tretmana navodnjavanja i N gnojidbe. Prema rezultatima istraživanja preporučena je norma navodnjavanja od 600 mm u 8 obroka navodnjavanja te gnojidbom od 75 kg N ha<sup>-1</sup> u samo jednoj primjerni.

Praćenje bilance dušika, odnosno ispiranje nitrata olakšano je primjenom modela kojima se prati transport N u tekućoj fazi tla. Follett (1995.) je predstavio NLEAP model (Nitrate

Leaching and Economic Analysis Package) koji uz pomoć GIS-a identificira potencijalna područja onečišćenja NO<sub>3</sub> na aluvijalnim tlima u uvjetima navodnjavanja. SOILN model pruža uvid u bilancu N i C u poljoprivrednim tlima, zatim rast biljaka te usvajanje N (Jabro i sur., 2001.). Piccini i sur. (2016.) pratili su bilancu N pomoću WinEPIC modela u dvopolju kukuruz (*Zea mays* L.) – ljulj (*Lolium multiflorum* Lam.) koji su bili prihranjivani mineralnim i organskim dušikom. Sadržaj NO<sub>3</sub> u drenažnoj vodi mjereno je lizimetrima koji su bili ukopani na dubinu od 30, 60 i 90 cm. Godišnja količina N bila je 224 kg ha<sup>-1</sup> od čega je 65 % od ukupne količine N izmjereno kod ljulja, a javlja se kao posljedica prekomjerne količine N koju biljka nije u mogućnosti usvojiti te predstavlja gornju granicu prema Nitratnoj direktivi. Prema indeksu NUE (Nitrogen Use Efficiency) usjevi su usvojili tek 49 % ukupne količine N pri čemu je kod ljulja zabilježena daleko manja učinkovitost N gnojidbe nego kod kukuruza. Prema rezultatima WinEPIC modela smanjenjem N gnojiva (organskih i mineralnih) za 50 %, dolazi do smanjenja ukupnog N za 40 %, a količine ispranog N za 22 %. Pri tome je učinkovitost N gnojidbe povećana do 82 % za oba usjeva.

#### 4. ZAKLJUČAK

Suvremena poljoprivredna proizvodnja ima za cilj visoke prinose po jedinici površine što zahtijeva i povećanje potrošnje inputa u biljnoj proizvodnji (voda, hraniva). Mineralna gnojiva, prvenstveno dušična su neophodan prinosotvorni element. Međutim prekomjernim i nekontroliranim korištenjem dušičnih gnojiva dolazi do negativnih posljedica za okoliš. Nadprosječno visoka količina oborina te navodnjavanje normom navodnjavanja koja premašuje zahtijeva biljaka su u najvećoj mjeri uzročnici ispiranja nitrata u dublje slojeve tla i podzemne vode. Nadalje, vrijeme dušične gnojidbe, količina i oblik N gnojiva kao i odabir usjeva utječu na ispiranje nitrata (rijeke, potoci, mora i oceani). Pored toga uslijed prekomjerne količine N gnojiva u tlu narušava se bioraznolikost, organsku tvar tla, smanjuje se puferska sposobnost tla, smanjuje pH tla što rezultira smanjenjem prinosa. Sve veći problem povećane koncentracije nitrata u podzemnim vodama prepoznat je u većini zemalja, gdje su određene smjernice za održivu proizvodnju. Određuju se ciljevi i programi kod poljoprivrednika u svrhu smanjenja onečišćenja voda uzrokovanih nitratima uz visoke prinose.

## 5. POPIS LITERATURE

1. Abad A., Lloveras J., Michelena A. (2004.): Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. *Field crop research*, 87(2-3): 257 – 269.
2. Addiscott T.M., Benjamin N. (2004.): Nitrate and human health. *Soil use and management*, 20(2): 98-104.
3. Agencija za zaštitu okoliša, AZO (?): Konačni nacrt izvješća o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2005. – 2008. Dostupno na: [https://vlada.gov.hr/UserDocsImages//Sjednice/Arhiva//135\\_5.pdf](https://vlada.gov.hr/UserDocsImages//Sjednice/Arhiva//135_5.pdf) (27. 11. 2018.; 10:18)
4. Agencija za zaštitu okoliša, AZO (2014.): Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj, 2014. Dostupno na: <http://www.haop.hr/hr/publikacije/izvjesce-o-stanju-okolisa-u-republici-hrvatskoj-2014>
5. (27. 11. 2018.; 10:41).
6. Agronomski fakultet Zagreb, AFZ (2014.): Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj. Sveučilište u Zagrebu, 2014.
7. Al-Kaisi M. M., Yin X. H. (2003.): Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agron. J.*, 9: 1475 - 1482.
8. Bawatharani T., Mowjood M. I. M., Dayawansa N. D. K., Kumaragamage D. (2004.): Nitrate Leaching as A Function of Fertilization and Irrigation Practices in Sandy Regosols. *Tropical Agricultural Research*, 16: 172 - 180.
9. Bauder T. A., Waskom R. M., Andale A. (2014.): Fact Sheet 0.514. Colorado State University Extension. Dostupno na: <https://extension.colostate.edu/docs/pubs/crops/00514.pdf> (28. 01. 2019.; 11:14)
10. Bensa A. (2010.): Utjecaj biljne proizvodnje na onečišćenje voda nitratima. Završno izvješće projekta. Agronomski fakultet sveučilišta u Zagrebu.
11. Cassman K. G. (1999.): Ecological intensification of cereal production systems, yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 96, 5952–5959.
12. Corine Land Cover, CLC (2000.): Data base. Dostupno na: <http://terrestrial.eionet.eu.int/CLC2000/docs/publications/corinescreen.pdf>

13. (26. 11. 2018.; 7:51)
14. De Clercq P., Gertsis A. C., Hofman G., Jarvis S. C., Neeteson J. J., Sinabell F. (Eds.): Nutrient Management Legislation in European Countries, Wageningen Press, The Netherlands, 2001.
15. De Vries W, Leip A. , Reinds G. J. (2011.): Geographic variation in terrestrial nitrogen budgets across Europe. In: Th e European Nitrogen Assessment, ed. M. A. Sutton, C. M. Howard , J. W. Erisman et al., Cambridge University Press.
16. European Commission, EC (2006.): Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Th ematic Strategy for Soil Protection. Brussels. 22.9.2006, COM (2006)231 final and SEC(2006)1165.
17. European Commission (2014.): Nitrates pollution in the EU: policy approaches, lessons learnt and challenges. Dostupno na:  
[http://aqua.crpa.it/media/documents/Aqua\\_www/20140314\\_FINALmeeting\\_RE/2\\_relazione\\_De%20la%20Fuente\\_AQUA\\_14\\_Marzo\\_2014.pdf](http://aqua.crpa.it/media/documents/Aqua_www/20140314_FINALmeeting_RE/2_relazione_De%20la%20Fuente_AQUA_14_Marzo_2014.pdf) (25. 01. 2019.; 08:50)
18. European Commission, EC (2018.): REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT. Dostupno na:  
[http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/nitrates\\_directive\\_implementation\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/nitrates_directive_implementation_report.pdf) (19. 02. 2019.; 09:44)
19. EEA, European Environment Agency (?): Nitrate pollution of European waters. Dostupno na:  
[http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/3\\_Kristensen\\_EEA.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/3_Kristensen_EEA.pdf) (25. 01. 2019.; 08:57).
20. Errebhi M., Rosen J. C., Gupta S. C., Birong D. E. (1998.): Potato Yield Response and Nitrate Leaching as Influenced by Nitrogen Management. Agronomy Journal Abstract, 90(1): 10 – 15.
21. EUROSTAT (2016.): Agriculture, forestryand fishery statistics. Dostupno na:  
<https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistical-books/-/KS-FK-16-001> (24. 01. 2019.; 9:37).
22. EUROSTAT (2018.): Statistic explained. The gross nitrogen balance. Dostupno na:  
<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-> (26. 11. 2018.; 11:53).

23. Fang Q., Yu Q., Wang E., Chen Y., Zhang G., Wang J., Li L. (2006.): Soil nitrate accumulation, leaching and crop nitrogen use as influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat–maize double cropping system in the North China Plain. *Plant Soil*, 284: 335 – 350.
24. Follett, R.F. (1995.): NLEAP model simulation of climate and management effects on N leaching for corn grown on sandy soil. *J. Contam. Hydrol.* 20:241–252.
25. Granli, T., Bøckman, O.C. ( 1994 ). Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences Supplement*, 12, 7 –128.
26. Guo, M., Li, H., Zhang, Y., Zhang, X., Lu, A. (2006.): Effects of water table and fertilization management on nitrogen loading to groundwater. *Agricultural Water Management*, 82: 86-98.
28. Harmsen, K. , Loman , H. and Neeteson , J. J. ( 1990 ). A derivation of the Pierre–Sluijsmans equation used in the Netherlands to estimate the acidifying effect of fertilisers applied to agricultural soil . *Fertilizer Research*, 26 , 319 –325.
29. Hooker, K. V., Coxon C. E., Hackett R., Kirwan L. E., O'Keeffe E., Richards K. G. (2008.): Evaluation of Cover Crop and Reduced Cultivation for Reducing Nitrate Leaching in Ireland. *Journal of Environmental Qualit*, 37: 138 -145.
30. Hu K., Chen W., Chen D., Wei Y., Edis R., Li B., Huang Y., Zhang Y. (2010.): Modeling nitrate leaching and optimizing water and nitrogen management under irrigated maize in desert oases in Northwestern China. *Journal of environmental quality*, 39(2): 667 - 677.
31. Jabro, J.D., Stout W.L., Fales S.L., Fox R.H. (2001.): SOIL-SOILN soil core lysimeters. *J. Environ. Qual.* 30:584–589.
32. James, C., Fisher, J., Russell, V., Collings, S., Moss, B.R. (2005.): Nitrate availability and hydrophyte species richness in shallow lakes. *Freshwater Biol.* 50 (6), 1049–1063.
33. Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O. (2012.): The use of cover crops in the reduction of nitrate leaching: Impact on the water and nitrogen balance and other ecosystem services. INRA. Dostupno na:



- [https://www6.paris.inra.fr/depe/content/download/3562/34466/version/2/file/EtIC-8pages\\_EN.pdf](https://www6.paris.inra.fr/depe/content/download/3562/34466/version/2/file/EtIC-8pages_EN.pdf) (29. 11. 2018.; 11:50).
34. Klocke N.L., Watts D.G., Schneekloth J.-P., Davison D.R., Todd R.W. (1999.): Nitrate Leaching in Irrigated Corn and Soybean in a Semi-Arid Climate. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications* 48, 42(6): 1621 – 1630.
  35. Lehmann J., Schroth G. (1999.): Nutrient leaching. In: *Trees, Crops and Soil Fertility*, 151 – 166.
  36. Lehmann U. J., Jose Pereira da Silva Jr., Steiner C., Nehls T., Zech W., Glaser B. (2003.): Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249: 343–357.
  37. Logsdon D., Kaspar C., Meek W., Prueger H. (2002.): Nitrate leaching as influenced by cover crops in large soil monoliths. *Agronomy Journal*, 94: 807 - 814.
  38. Meißner R., Prasad M. N. V., Du Laing G., Rinklebe J. (2010.): Lysimeter application for measuring the water and solute fluxes with high precision. *Current science*, 99(5): 601 – 607.
  39. Macdonald A.M., Griffiths K. J., Dochartaigh B.É.Ó, Lilly A., Chilton P.J. (2005.): Scotland's groundwater monitoring network: its effectiveness for monitoring nitrate. *Groundwater programme commissioned report CR/05/205N*
  40. Moreno F., Cayuela J. A., Fernández J. E., Fernández-Boy E., Murill J. M., Cabrera F. (1996.): Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain. *Agricultural Water Management*, 32(1): 71 - 83.
  41. Noellsch A. JU., Motavalli P. P., Nelson k. A., Kitchen N. r. (2009.): Corn Response to Conventional and Slow-Release Nitrogen Fertilizers across a Claypan Landscape. *Agronomy journal*, 101(3): 607 – 6014.
  42. OECD i EUROSTAT (2010.): *Gross nitrogen balances handbook*. Dostupno na: <http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/40820234.pdf> (26. 11. 2018.; 11:36)
  43. Oenema O. (2004.): Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture, *J Anim. Sci.*, 82, 196–206, 2004.

44. Piccini C., Di Bene C., Farina R., Pennelli B, Napoli R. (2016.): Assessing Nitrogen Use Efficiency and Nitrogen Loss in a Forage-Based System Using a Modeling Approach. *Agronomy*, 6(23): 1 – 12.
45. Power F., Schepers, S. (1989). Nitrate contamination of groundwater in North America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 26: 165–187.
46. Powlson D. S., Hart P. B. S., Poulton P. R., Johnston A. E. Jenkinson D. S. (1992) Influence of soil type, crop management and weather on the recovery of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to winter wheat in spring. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 118, 83–100.
47. Rasse D. P., Ritchie J. T., Peterson W. R., Wei J., Alvin J. M. (2000.): Rye Cover Crop and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrate Leaching in Inbred Maize Fields. *Journal of Environmental Quality*, 29(1): 298 -304.
48. Roy, S., Speed, C., Bennie, J., Swift, R., Wallace, P. (2007.): Identifying the significant factors that influence temporal and spatial trends in nitrate concentrations in the Dorset and Hampshire Basin Chalk aquifer of Southern England. *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.*, 40, 377–392.
49. Rong Y., Xuefeng W. (2011.): Effects of nitrogen fertilizer and irrigation rate on nitrate present in the profile of a sandy farmland in Northwest China. *Procedia Environmental Sciences*, 11: 726 – 732.
50. Schjøning P., Elmholt S., Christensen B.T. (2004.): Soil quality management: concepts and terms. In: *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*, ed. P. Schjøning, S. Elmholt and B. T. Christensen. UK, CAB International, Wallingford, 1 – 12.
51. Sharma P., Shukla M. K., Wammis T. W., Adhikari P. (2012.): Nitrate-Nitrogen Leaching from Onion Bed under Furrow and Drip Irrigation Systems. *Applied and Environmental Soil Science*, 12: 1-17.
52. Sigua G. C., Stone K. C., Bauer P. J., Szogi A. S. (2016.): Nitrate leaching, water-use efficiency and yield of corn with different irrigation and nitrogen management systems in coastal plains, USA. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 203: 159 – 170.
53. Stojić B. (2009.): Pravilna gnojidba kukuruza, temelj prinosa. *Glasnik zaštite bilja* 5: 1 – 2.

54. Sylvester-Bradley R., Addiscott T. M., Vaidyanathan L.V., Murray A.W.A., Whitmore A. P. (1987.): Nitrogen advice for cereals: present realities and future possibilities. *Proceedings of the Fertilizer Society* 363, 36 pp.
55. Tilman D., Cassman K. G. Matson P., Rosamnod N., Polasky S. (2002.): Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677.
56. Tóth, G. , Montanarella , L. and Rusco , E. ( 2008 ). Threats to Soil Quality in Europe . European Commission , Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
57. van Grinsventen H. J. M., Berge H. F. M. , Dalgaard T., Fraters B., Durand P., Hart A., Hofman G., Jacobsen B. H., Lalor S. T. J., Lesschen J. P., Osterburg B., Richards K. G., Techen A. K., Vertes F., Webb J., Willems W. J. (2012.): Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive; a benchmark study. *Biogeosciences*, 9, 5143–5160.
58. Velthof G. (2011.): Nitrogen as a threat to European soil quality. Chapter 21. Cambridge University Press, 495 -510.
59. Waddell J.T., Gupta S.C., Moncrief J.F., Rosen C.J., Steele D.D. (2000.): Irrigation- and Nitrogen-Management Impacts on Nitrate Leaching under Potato. *Journal of Environmental Quality Abstract*, 29(1): 251-261.
60. Wagene, R.J. (1983) Principles of salt movement in soils. In: Nelson, D.W., Elrick, D.W. and Tanji, K.K. (eds) *Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems*. Special Publication 11. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
61. Weed J., Kanwar S. (1996). Nitrate and water present in and flowing from root-zone soil. *J. Environ. Qual.*, 25: 709-719.
62. World Health Organization, WHO (2004.): *Guidelines for Drinking Water Quality, third ed.* WHO, Geneva.
63. Zhaohui L., Xiaozong S., Lihua J., Haitao L., Yu X., Xinhao G., Fuli Z., Deshui T., Mei W., Jing S., Yuwen S. (2012.): Strategies for Managing Soil Nitrogen to Prevent Nitrate-N Leaching in Intensive Agriculture System, Soil Health and Land Use Management. Dostupno na:  
<http://www.intechopen.com/books/soil-health-and-land-usemanagement/strategies-for-managing-soil-nitrogen-to-prevent-nitrate-n-leaching-in-intensive-agriculturesystem>, 27. 11. 2018.; 11:01)

## 6. SAŽETAK

Sve veća intenzivna poljoprivredna proizvodnja s visokom prinosima zahtijeva i povećanje potrošnje mineralnih gnojiva. Mineralna gnojiva, prvenstveno dušik su neophodni za razvoj biljke, jer u nedostatku dušika biljke imaju usporen rast, svijetliju boju listova, smanjenje prinosa. Međutim brojnim istraživanjima koja su navedena u diplomskom radu, ukazuje se na pretjerano i nekontrolirano korištenje dušičnih gnojiva, jer koliko god su dušična gnojiva neophodna za razvoj biljke, biljka ne može usvojiti svu količinu. Prekomjernim navodnjavanjem i značajnijim oborinama dolazi do ispiranja nitrata u dublje slojeve tla, gdje onečišćuju podzemne ili površinske vode. Ključni čimbenik koji utječe na gubitak dušika iz tla je tlo bez usjeva (golo tlo), a u početnom dijelu vegetacije gubici dušika iz tla posljedica su manjeg usvajanja od strane biljke. Problem povećane koncentracije nitrata u podzemnim vodama prepoznat je u većini zemalja svijeta i Europe gdje su poduzete određene smjernice za budućnost. Proveli su mjere i doveli do smanjenja koncentracije nitrata u podzemnim vodama, dodavanjem manje količine dušičnih gnojiva u poljoprivrednim kulturama, a u uvjetima navodnjavanja ispiranje nitrata može se svesti na minimum pravilno određenim normama navodnjavanja.

## **7. SUMMARY**

Increasing intensive agricultural production with high yields also requires an increase in the consumption of mineral fertilizers. Mineral fertilizers, primarily nitrogen, are essential for the development of the plant, because in the absence of nitrogen plants have slow growth, brighter leaves colour, and lower yields. However, numerous researches listed in the graduate thesis indicate the excessive and uncontrolled use of nitrogen fertilizers because as much as the nitrogen fertilizers are necessary for the development of the plant, the plant cannot absorb the whole quantity. Excessive irrigation and significant rainfall lead to nitrate leaching in deeper layers of soil where it pollutes groundwater and surface water. A key factor influencing the loss of nitrogen from the soil is the soil without crops (bare soil) and in the initial part of vegetation the loss of nitrogen from the soil is the consequence of lesser plant absorption. The problem of increased nitrate concentration in groundwater is recognized in most countries of the world and Europe where certain guidelines for the future have been issued. The measures have been taken and led to a reduction of nitrate concentration in groundwater by adding less nitrogen fertilizers to agricultural crops and in irrigation conditions, nitrate leaching can be reduced to a minimum by proper irrigation standards.

## 8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Tretmani N gnojidbe (kg N/ha) krumpira i kukuruza .....	14
--	----

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Posljedice eutrofikacije površinskih voda.....	5
Slika 2. Ranjiva područja u Republici Hrvatskoj.....	5
Slika 3. Sastav tla.....	7
Slika 4. Vodne konstante.....	9
Slika 5. Čimbenici koji utječu na ispiranje nitrata.....	10
Slika 6. Izvedbe lizimetara.....	11
Slika 7. Gubici nitrata iz tla.....	12

## 10. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prosječna koncentracija nitrata u podzemnim vodama različitih zemljopisnih regija Europe (1992. – 2009.) .....	3
Grafikon 2. Suvišak N (kg/ha) u poljoprivrednim tlima zemalja članica EU (OECD i UROSTAT, 2007.). .....	3
Grafikon 3. Suvišak N (kg/ha) u poljoprivrednim tlima zemalja članica EU (2004. - 2015.).....	4
Grafikon 4. Udio postaja s koncentracijom nitrata iznad MDK na području Europe.....	10
Grafikon 5. Količina ukupno N (1000 t) dodan gnojidbom u zemljama zapadne i središnje Europe.....	16
Grafikon 6. Potrošnja vode za navodnjavanje ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) u Europi 2010. godine .....	17



## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski

rad

Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

Sveučilišni diplomski studij Ekološka poljoprivreda

### ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA USLIJED ISPIRANJA NITRATA U BILJNOJ PROIZVODNJI

Mario Katušić

#### Sažetak :

Sve veća intenzivna poljoprivredna proizvodnja s visokom prinosima zahtijeva i povećanje potrošnje mineralnih gnojiva. Mineralna gnojiva, prvenstveno dušik su neophodni za razvoj biljke, jer u nedostatku dušika biljke imaju usporen rast, svijetliju boju listova, smanjenje prinosa. Međutim brojnim istraživanjima koja su navedena u diplomskom radu, ukazuje se na pretjerano i nekontrolirano korištenje dušičnih gnojiva, jer koliko god su dušična gnojiva neophodna za razvoj biljke, biljka ne može usvojiti svu količinu. Prekomjernim navodnjavanjem i značajnijim oborinama dolazi do ispiranja nitrata u dublje slojeve tla, gdje onečišćuju podzemne ili površinske vode. Ključni čimbenik koji utječe na gubitak dušika iz tla je tlo bez usjeva (golo tlo), a u početnom dijelu vegetacije gubitci dušika iz tla posljedica su manjeg usvajanja od strane biljke. Problem povećane koncentracije nitrata u podzemnim vodama prepoznat je u većini zemalja svijeta i Europe gdje su poduzete određene smjernice za budućnost. Proveli su mjere i doveli do smanjenja koncentracije nitrata u podzemnim vodama, dodavanjem manje količine dušičnih gnojiva u poljoprivrednim kulturama, a u uvjetima navodnjavanja ispiranje nitrata može se svesti na minimum pravilno određenim normama navodnjavanja.

**Ključne riječi:** nitrati, gnojidba ,tlo, navodnjavanje

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** doc. dr. sc. Monika Marković

**Broj stranica:**36

**Broj grafikona i slika:** 13

**Broj tablica:** 1

**Broj literaturnih navoda:** 63

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Datum obrane:**

#### Stručno povjerenstvo za obranu:

1. dr. sc. Marija Ravlić, predsjednik
2. doc. dr. sc. Monika Marković, mentor
3. dr. sc. Vladimir Zebec, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayer u Osijeku, Vladimira Preloga 1

**BASIC DOCUMENTATION CARD****Josip Juraj Strossmayer University of Osijek****Graduate****thesis****Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek****University Graduate Studies Ecological Agriculture****ENVIRONMENTAL POLLUTION FROM NITRATE LEACHING IN PLANT PRODUCTION**

Mario Katušić

**Abstract:** Increasing intensive agricultural production with high yields also requires an increase in the consumption of mineral fertilizers. Mineral fertilizers, primarily nitrogen, are essential for the development of the plant, because in the absence of nitrogen plants have slow growth, brighter leaves colour, and lower yields. However, numerous researches listed in the graduate thesis indicate the excessive and uncontrolled use of nitrogen fertilizers because as much as the nitrogen fertilizers are necessary for the development of the plant, the plant cannot absorb the whole quantity. Excessive irrigation and significant rainfall lead to nitrate leaching in deeper layers of soil where it pollutes groundwater and surface water. A key factor influencing the loss of nitrogen from the soil is the soil without crops (bare soil) and in the initial part of vegetation the loss of nitrogen from the soil is the consequence of lesser plant absorption. The problem of increased nitrate concentration in groundwater is recognized in most countries of the world and Europe where certain guidelines for the future have been issued. The measures have been taken and led to a reduction of nitrate concentration in groundwater by adding less nitrogen fertilizers to agricultural crops and in irrigation conditions, nitrate leaching can be reduced to a minimum by proper irrigation standards.

**Key words:** nitrates, fertilization, soil, irrigation**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**Mentor:** doc. dr. sc. Monika Marković**Number of pages:** 36**Number of figures:** 13**Number of tables:** 1**Number of references:** 63**Number of appendices:** 0**Original in:** Croatian**Thesis defended on date:****Reviewers:**

1. PhD Marija Ravlić, president of the Commission
2. PhD Monika Marković Assistant professor, mentor
3. PhD Vladimir Zebec Assistant professor, member of the Commission

**Thesis deposited at:** Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1