

MINERALNI DUŠIK U TLU I PROCJEDNOJ VODI U UVJETIMA INTENZIVNE RATARSKÉ PROIZVODNJE NA LOKACIJI VINOKOVŠČAK

MINERAL NITROGEN IN SOIL AND PERCOLATED WATER UNDER INTENSIVE CROP PRODUCTION AT VINOKOVŠČAK LOCATION

**Danijela Jungić, Stjepan Husnjak, Mario Sraka, Aleksandra Bensa,
Vedran Rubinić**

SAŽETAK

Postizanje što većih prinosa poljoprivrednih kultura podrazumijeva korištenje većih količina mineralnih i/ili organskih gnojiva kako bi se maksimalno iskoristili fizikalni, kemijski i biološki potencijali tla. Najveću opasnost za čistoću tla i vode predstavljaju dušična gnojiva, a posebno nitratni oblik dušika. Stacionarno lizimetrijsko istraživanje provedeno je u razdoblju 2003.-2006. na semiglejnóm tlu kontrolnog polja Vinokovšćak, u Varaždinskoj županiji. Ratarske kulture u pokusu bile su šećerna repa, ozima pšenica i uljana repica, a godišnja gnojidba dušikom kretala se od 40,5 do 71,5 kg N/ha. Cilj istraživanja je bio utvrditi utjecaj primjene različitih vrsta i doza mineralnih gnojiva na onečišćenje procjednih voda mineralnim dušikom pri uzgoju različitih ratarskih kultura. U tu svrhu: (1) praćena je dinamika koncentracija mineralnog dušika u tlu i procjednoj vodi, (2) izračunato je ispiranje mineralnog dušika iz rizosfernog sloja tla procjednom vodom te (3) ocijenjeno onečišćenje procjednih voda nitratnim dušikom. Nitrati u tlu varirali su od 0,06 do 21,43 mg $\text{NO}_3^-/100$ g tla. Ukupni mineralni dušik u tlu kretao se od 17,37 do 267,79 kg N/ha. Koncentracije nitrata u procjednoj vodi gravitacijskih lizimetara kretale su se u širokom rasponu od 4,30 do 225,10 mg NO_3^-/l te su uglavnom prelazile MDK od 50,0 mg NO_3^-/l , a posebice tijekom vlažnih godina (2004. i 2005.) Maksimalno ispiranje dušika iz tla (35,96 kg N/ha, odnosno 54,5% od dušika dodanog gnojidbom) utvrđeno je tijekom 2004. godine, u uvjetima uzgoja šećerne repe i ozime pšenice. Dobiveni rezultati upućuju na onečišćenje procjednih voda, kao i vodonosnika mineralnim dušikom. U skladu s time,

trebale bi se poduzeti dodatne mjere u smislu trajnog praćenja kakvoće tla, a posebice procjednih voda, te eventualno ograničiti unos mineralnih gnojiva na ovom području.

Ključne riječi: dušik, tlo, procjedna voda, ispiranje, onečišćenje

ABSTRACT

Achieving the highest possible yields of major agricultural crops implies using large quantities of mineral and/or organic fertilizers in order to take advantage of the physical, chemical and biological soil potential to the highest extent. Nitrogen fertilizers, especially when in nitrate form, represent the biggest threat to soils and waters. Thereby, stationary lysimetric research was conducted during years 2003-2006 on semigley soil at the control field Vinokovščak in Varaždin county. In this trial, growing crops were: sugar beet, winter wheat and winter oil-seed rape with annual nitrogen fertilization varied from 40.5 to 71.5 kg N/ha. The goal of this research was to determine the influence of the application of different type and doses of mineral fertilizers on percolate pollution by mineral nitrogen, with regards to growing different crops.

For this purpose: (1) dynamics and concentrations of mineral nitrogen in the soil and percolating water were determined, (2) mineral nitrogen leached from rhizosphere layer by percolating water was calculated, and (3) leachate pollution by nitrates was evaluated. Nitrates in soil varied from 0.06 mg $\text{NO}_3^-/100$ g (soil) to 21.43 mg $\text{NO}_3^-/100$ g (soil). Total mineral nitrogen in soil ranged from 17.37 kg N/ha to 267.79 kg N/ha. Nitrates concentrations in percolated water collected from gravity lysimeters varied in a wide range from 4.30 mg NO_3^-/l to 225.10 mg NO_3^-/l and they are mostly exceeded MAC of 50.0 mg NO_3^-/l especially in wet years (2004 and 2005). Maximum mineral nitrogen leaching (35.96 kg N/ha, or 54.5 % of total N added through fertilization) was determined during cultivation of sugar beet and winter wheat (year 2004). These results indicate continuous leachate and aquifer pollution by mineral nitrogen. Therefore, adequate measures should be taken, such as continuous monitoring of soil and particularly water quality, as well as limitation of the agricultural production intensity in this very sensitive area.

Key words: nitrogen, soil, percolate, leaching, pollution

UVOD

Danas je posebno aktualna problematika onečišćenja tla, površinskih i podzemnih voda različitim agrokemikalijama, a posebno dušičnim mineralnim gnojivima. Razlog tome leži u činjenici da se dušična gnojiva u tlu, odnosno vodi, oksidiraju, te kao konačni produkt oksidacije nastaju ioni nitrata. Oni uglavnom nemaju sposobnost vezanja na adsorpcijski kompleks tla, jako su pokretljivi i ispiru se u dublje slojeve tla dospijevajući na taj način i u pitke podzemne vode. Najveća nalazišta podzemne pitke vode u sjeverozapadnoj Hrvatskoj nalaze se u kvartarnim naslagama dravske nizine. Šljunkovito-pjeskoviti sedimenti tvore vodonosni sloj velike debljine, vrlo dobrih hidrauličkih značajki, što čini ovo područje vrlo značajnim za vodoopskrbu cijele Varaždinske županije. S obzirom na visoku ranjivost varaždinskog vodonosnika, svaki antropogeni utjecaj vrlo brzo se registrira kroz narušavanje kakvoće podzemne vode. Prema provedenim simulacijama transporta nitrata kroz 25-godišnje razdoblje u uvjetima postojećeg režima crpljenja i načina korištenja zemljišta utvrđeno je da će koncentracije nitrata na varaždinskom crpilištu još dugo biti razmjerno visoke. Smatra se da bi se tek nakon 10 godina kontinuiranog prekida unosa nitrata kroz nesaturiranu zonu u vodonosni sustav, koncentracije nitrata u vodi mogle smanjiti na ispod 40 mg/l. (Larva, 2008.).

Onečišćenje procjedne vode mineralnim dušikom, na području III vodozaštitne zone na lokaciji Vinokovščak nedovoljno je istražen i neadekvatno znanstveno tretiran problem. Najveći problem na istraživanom području predstavlja nekontrolirana gnojidba dušičnim gnojivima, posebno u jesenskom i ranoproljetnom razdoblju, u količinama iznad potrebnih za ostvarenje optimalnih prinosa. Temeljem navedenog, provedeno je istraživanje onečišćenja tla i procjedne vode mineralnim dušikom, u uvjetima uzgoja različitih ratarskih kultura, u razdoblju od 2003 do 2006. godine, na kontrolnom polju Vinokovščak.

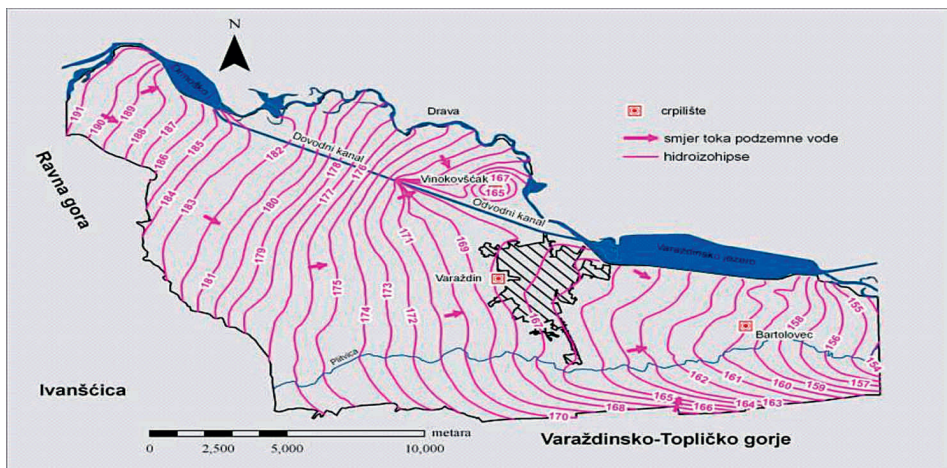
U tu svrhu postavljeni su sljedeći ciljevi:

1. utvrditi dinamiku koncentracija nitratnog dušika u tlu i procjednim vodama (gravitacijskih lizimetara);
2. utvrditi dinamiku ukupnog mineralnog dušika u tlu;
3. izračunati količine ispranog mineralnog dušika iz tla procjednom vodom;
4. procijeniti onečišćenje procjedne vode nitratnim dušikom sukladno zakonskoj regulativi.

MATERIJAL I METODE RADA

Agroekološki uvjeti istraživanja

Kontrolno polje Vinokovščak smješteno je u blizini istoimenog vodocrpilišta, na semiglejnom tlu, u Varaždinskoj županiji. Površina parcele je 3 ha. To su mlađa tla, nastala pretežno na lakšim fluvijalnim nanosima ili lesu. Dinamika podzemne vode u profilu tla je topografski uvjetovana, međutim znakovi oglejavanja javljaju se tek na dubini od 100 cm. Na ovom području dominantan je antropogeni utjecaj u smislu intenzivne obrade, gnojidbe i primjene zaštitnih sredstava kako bi se povećao prinos različitih ratarskih kultura. Također treba naglasiti i činjenicu da je regulacijom vodotoka Drave nakon izgradnje hidroelektrana, reguliran i promijenjen režim podzemnih i poplavnih voda što je utjecalo na to da se ovo tlo dalje razvijalo u terestričkim uvjetima, slika 1.



Slika 1. Crpilište Vinokovščak i varaždinski vodonosnik
(izvor: Brkić i sur., 2012.)

Figure 1: Vinokovščak water supply area and Varaždin aquifer
(origin : Brkić et al., 2012.)

Na lokaciji Vinokovščak, u srpnju 2003. započela su stacionarna istraživanja onečišćenja procjednih voda mineralnim dušikom. Na početku istraživanja otvoren je pedološki profil iz kojeg su uzeti uzorci tla u neporušenom stanju (cilindri volumena 100 cm^3 po Kopeckom) iz oraničnog (0-30 cm) i podoraničnog sloja (30-70 cm). U ovim uzorcima određena su standardna fizikalna svojstva tla (trenutačna vlaga, retencijski kapacitet tla za vodu, gustoća volumena i čvrstih čestica, kapacitet za zrak i ukupna poroznost) prema JDPZ (1971).

Na dubini tla od 70 cm ugrađeni su gravitacijski lizimetri, Ebermayer-ovog tipa, s ciljem praćenja količine i kakvoće procjedne vode. Dimenzije ovih lizimetara su $70 \times 70 \times 15\text{ cm}$. U prosječnim uzorcima tla iz oraničnog sloja određen je mehanički sastav tla u Na-pirofosfatu (pipet metoda i prosijavanje), retencija vlage kod 0,33 i 15,0 bara (tlačni ekstraktor i membrana, prema Richardu), pH (elektrometrijski, ISO 10390:2005.), sadržaj humusa (metoda Tjurina), ukupnog dušika (mikro Kjeldahlova metoda) te biljci pristupačnih fosfora (P_2O_5) i kalija (K_2O) prema AL metodi spektrofotometrijski i plamenfotometrijski. Prosječni uzorci tla za određivanje koncentracija nitratnog i amonijačnog dušika uzimani su iz oraničnog sloja tla (0-30 cm) višekratno godišnje, sukladno gnojidbi i vegetaciji kultura.

Uzorci procjedne vode iz gravitacijskih lizimetara za iste analize uzimani su iz kompozitnog mjesečnog uzorka dobivenog iz dekadnih uzoraka, višekratno godišnje. Koncentracije nitratnog dušika u tlu određene su pomoću kompleksa žute boje fenoldisulfonskom kiselinom (APHA, 1992), a amonijačnog pomoću Nessler-ovog reagensa, metodom prema Jacksonu (1958). U uzorcima voda nitratni i amonijačni dušik određeni su prema metodi Chapmana i Pratta (1961). Očitanje koncentracija nitratnog i amonijačnog dušika u tlu i procjednoj vodi, obavljeno je metodom spektrofotometrije kod valne dužine 436 nm.

Podaci o mjesečnim i godišnjim količinama oborina dobiveni su s meteorološke postaje Varaždin, a u proračun bilance oborinske vode uzete su efektivne oborine (oborine umanjene za vrijednost intercepcije prema stadiju razvoja kulture). Bilanca vode u tlu istraživanog područja u razdoblju 2003-2006. godine izračunata je prema modificiranom i kalibriranom Palmer-ovom hidrološkom proračunu (Vidaček, 1981), pomoću računalnog programa HIDROKALK (Širić i Vidaček, 1989). Referentna evapotranspiracija izračunata

je prema Penman-Monteith-u (FAO, 1992) i uz pomoć računalnog programa CROPWAT (Smith, 1992). Evapotranspiracija kulture izračunata je korištenjem koeficijenta usjeva za pojedine mjesece, odnosno njihove stadije rasta i razvoja (Door enboos i Pruit, 1977). Mjesečno i godišnje ispiranje dušika iz tla izračunato je temeljem količina procjedne vode i koncentracija nitratnog i amonijačnog dušika u njima. Dobiveni podaci o koncentracijama nitratnog dušika u procjednoj vodi analizirani su i interpretirani sukladno Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08) i Uredbi o izmjenama i dopunama Uredbe o klasifikaciji voda (NN 137/08). Rezultati 4-godišnjeg praćenja dinamike mineralnog dušika u tlu i procjednoj vodi prikazani su grafički i tablično (kompjuterski program Excell, 7.0).

Tijekom razdoblja 2003-2006., na kontrolnom polju Vinokovščak, uzgajane su različite ratarske kulture te je primijenjena različita vrsta i količina mineralnih gnojiva i to NPK i UREA u osnovnoj gnojidbi, te KAN u proljetnoj prihrani ozime pšenice, tablica 1.

Tablica 1: Plodored i gnojidba, Vinokovščak (2003-2006)

Table 1: Crop rotation and fertilization, Vinokovščak (2003-2006)

Godina /Year	Kulture/ Crops	Datum/mj. Gnojidbe/ Date-month of fertilization	Osnovna gnojidba/ Basic fertilization	Prihrana/ Side-dressing kg N/ha	Ukupno/ Total kg N/ha
2003	šećerna repa/ sugar beet	ožujak/March	700 kg/ha NPK 7:14:21	-	49,0
2004	šeć.repa + oz.pšenica/ sugar beet + w.wheat	15.04.	250 kg/ha NPK 8:16:20 100 kg/ha UREA	-	66,0
2005	oz.pšenica +oz.ulj.repica/ w.wheat+ w.oil-seed rape	20.04.		200 kg/ha KAN	71,5
		07.09.	250 kg/ha NPK 7:20:30		
2006	oz.ulj.repica + oz.pšenica/ w. oil seed rape+ w.wheat	ožujak/March		150 kg/ha KAN	40,5

REZULTATI I RASPRAVA

Fizikalne i kemijske značajke tla

Oranični sloj (0-30 cm) semiglejnog tla ilovaste je teksture, a dubina do šljunka i/ili pijeska je veća od 90 cm. Ostale fizikalne značajke ovog tipa tla određene su za oranični (0-30 cm) i podoranični sloj (30-70 cm).

Tlo je u oba sloja porozno, osrednjeg retencijskog kapaciteta za vodu, te malog kapaciteta tla za zrak u oraničnom, a velikog u podoraničnom sloju tla. Gustoća volumena oba sloja tla je ujednačena, dok se gustoća čvrstih čestica tla povećavala s dubinom. Podaci o analiziranim fizikalnim svojstvima oba sloja tla te vrijednosti hidropedoloških konstanti prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Fizikalne značajke tla, Vinokovščak

Table 2. Physical soil properties, Vinokovščak

Dubina / Depth cm	Mv	Kv	Kz	P	ρ_v	ρ_ε	Kv	Nv	FAv
	vol %				g/cm ³		mm		
0-30	38,6	44,6	6,6	51,2	1,25	2,56	133,8	51,6	82,2
30-70	34,0	40,9	12,7	53,6	1,22	2,63	163,6	53,2	110,4

Tumač kratica : Mv – trenutačna vlaga tla, Kv – retencijski kapacitet tla za vodu, Kz – kapacitet tla za zrak, P – porozitet, ρ_v – gustoća tla volumna, ρ_ε – gustoća čvrstih čestica tla, Nv – nepokretna vlaga, FAv – fiziološki aktivna vlaga.

Legend: Mv - current soil moisture, Kv – water holding capacity, Kz – air capacity, P – porosity, ρ_v - bulk density, ρ_ε - particle density, Nv – wilting point, FAv – plant available water

Tlo je u oraničnom sloju neutralne reakcije (pH u 1MKCl = 6,93), dosta humozno (4,0%humusa) i bogato opskrbljeno ukupnim dušikom (0,23%). Opskrbljenost tla biljci pristupačnim fosforom je bogata (23,0 mg P₂O₅/100 g tla), a kalijem dobra (19,0 mg K₂O /100 g tla).

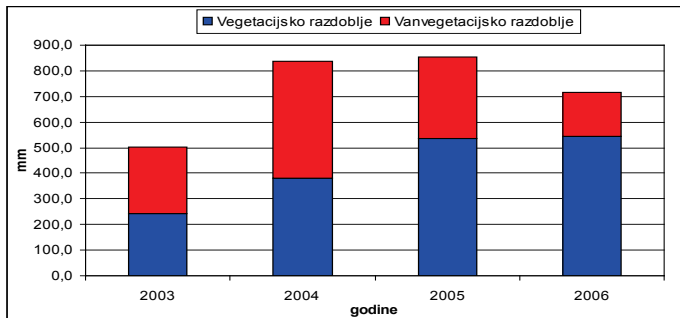
Bilanca oborinske vode u tlu

Tijekom razdoblja istraživanja godišnje efektivne oborine varirale su od 501,3 mm u sušnoj 2003. do 853,2 mm u 2005. godini. Najmanje efektivnih oborina (242,2 mm) palo je u aktivnoj vegetaciji šećerne repe (travanj-rujan) 2003., a najviše (542,1 mm) u vegetaciji ozime uljane repice i ozime pšenice

tijekom 2006. godine, graf 1. Ukupni gubitak vode evapotranspiracijom (ET_0/ET_k) tijekom istraživanja kretao se od 650,7 mm u vlažnoj 2004. do čak 774,8 mm u sušnoj 2003., graf 2. Najveći ukupni manjak oborinske vode u tlu (293,7 mm) zabilježen je tijekom izrazito sušne 2003., a najmanji (18,7 mm) tijekom 2006, graf 3.

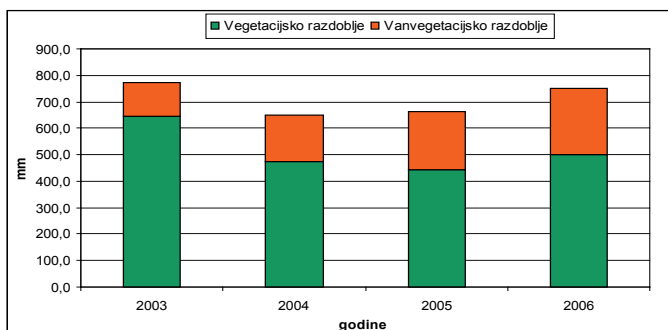
Graf 1: Ukupne efektivne oborine u vegetacijskom i izvanvegetacijskom razdoblju, Vinokovščak (2003-2006)

Graph 1: Total effective rainfall during the growing and out of growing season, Vinokovščak (2003-2006)



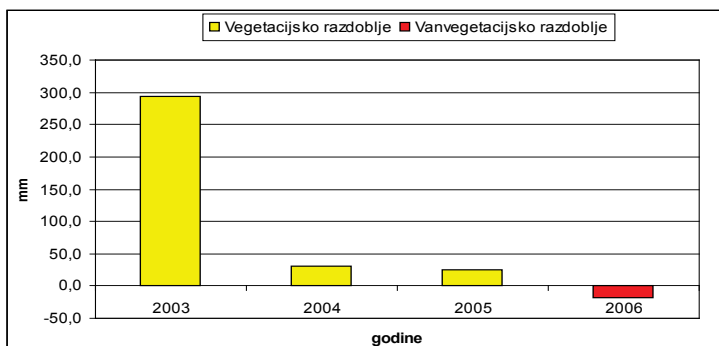
Graf 2: Referentna evapotranspiracija (ET_0) i evapotranspiracija kultura (ET_k) u vegetacijskom i izvanvegetacijskom razdoblju, Vinokovščak (2003-2006)

Graph 2: Reference evapotranspiration (ET_0) and crop evapotranspiration (ET_c) in growing and out of growing season, Vinokovščak (2003-2006)



Graf 3: Manjak korisne vode u tlu ($ET_0/ET_k - AE$) u vegetacijskom i izvanvegetacijskom razdoblju, Vinokovščak (2003-2006)

Graph 3: Deficit of available water in soil ($ET_0/ET_k - AE$) in growing and out of growing season, Vinokovščak (2003-2006)

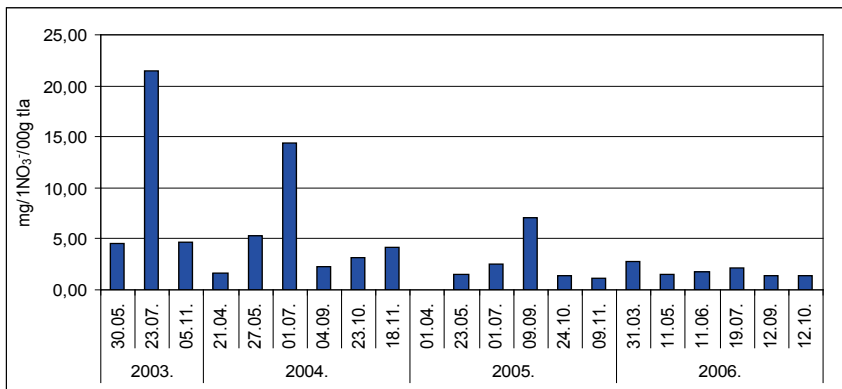


Nitratni dušik u tlu

Koncentracije nitrata u oraničnom sloju tla uglavnom su bile ispod 5,00 mg $NO_3^-/100$ g tla tj. kretale su se od 0,06 mg $NO_3^-/100$ g tla u travnju 2005., uoči proljetne prihrane ozime pšenice, do 21,43 mg $NO_3^-/100$ g tla u srpnju 2003. godine, nakon startne gnojidbe šećerne repe s 49,0 kg N/ha, graf 4. Iz grafa je vidljivo da su maksimalne koncentracije nitrata u oraničnom sloju tla utvrđene neposredno nakon gnojidbe kultura. Ovi podaci u skladu su s istraživanjem Bense i sur. (2012), koji su u oraničnom sloju močvarno glejnog tla u Kotoribi utvrdili povećanje koncentracija nitrata od 0,06 do 4,35 mg $NO_3^-/100$ g tla, uslijed povećanja doza dušičnih gnojiva od 50 do 200 kg N/ha, pri uzgoju kukuruza. Dobiveni rezultati slažu se i s podacima Mesića i sur. (2003) koji su pri rastućoj gnojidbi ratarskih kultura utvrdili značajno povećanje koncentracija nitrata u oraničnom sloju tla u rasponu od 0,7 do 9,8 mg $NO_3^-/100$ g tla. Međutim, rezultati istraživanja u Vinokovščaku ukazuju na pojavu znatno viših koncentracija nitrata u tlu, što je u velikoj mjeri posljedica različitih hidropedoloških značajki, klimatskih uvjeta (oborine), količine i vrste primijenjenih dušičnih gnojiva te primjene različitih sustava biljne proizvodnje, na čiji utjecaj upozoravaju i Fan i sur. (2010.).

Graf 4: Dinamika nitrata u oraničnom sloju tla, Vinokovščak

Graph 4: Dynamics of nitrates in ploughed layer of soil, Vinokovščak



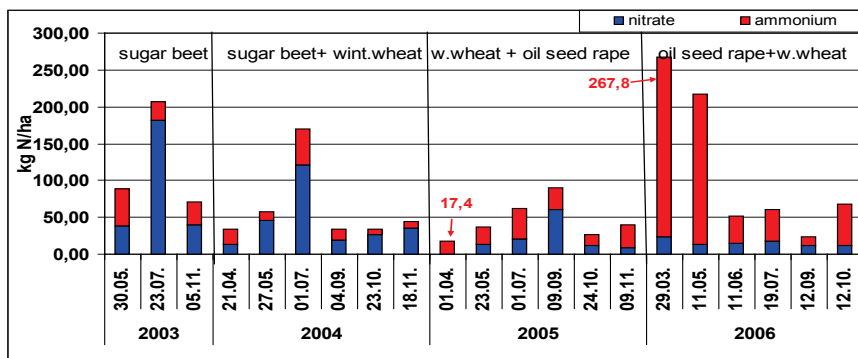
Ukupni mineralni dušik u tlu

Ukupni mineralni dušik u oraničnom sloju tla kretao se od 17,37 kg N/ha (travanj 2005.) do čak 267,79 kg N/ha (ožujak 2006.), utvrđenih neposredno nakon proljetne prihrane ozime uljane repice sa 40,5 kg N/ha, graf 5.

Najveće količine mineralnog dušika u tlu utvrđene su tijekom sušnijih godina (2003. i 2006.), dok su u vlažnim godinama (2004. i 2005.), one uglavnom bile ispod 100 kg N/ha, kao rezultat intenzivnijeg gubitka dušika iz tla ispiranjem. Količine nitratnog dušika (kg NO_3^- -N/ha) kretale su se od 0,51 kg NO_3^- -N/ha (travanj 2005.) do maksimalnih 181,41 kg NO_3^- -N/ha (srpanj 2003.), utvrđenih nakon startne gnojidbe šećerne repe s 49 kg N/ha. Dobivene količine nitratnog dušika u tlu, tijekom 2003. u skladu su sa rezultatima Cu i i sur. (2010.), koji su na ilovastim tlima, u subhumidnom području Kine pri uzgoju pšenice utvrdili akumulaciju više od 172 kg NO_3^- -N/ha u tlu. Znatno veće količine nitratnog dušika u tlu (275 kg NO_3^- -N/ha). dobili su Ju i sur. (2006.), nakon žetve ozime pšenice. U odnosu na rezultate dobivene na Vinokovščaku, Kołodziejczyk (2013.) je na teksturno lakšem tlu (černozem), pri uzgoju pšenice, dobio znatno manje količine nitratnog dušika u tlu tj. 12,6 kg NO_3^- -N/ha na negnojnom do 29,7 kg NO_3^- -N/ha, na tretmanu gnojenom s 160 kg N/ha.

Graf 5: Ukupni mineralni dušik u tlu, Vinokovščak

Graph 5: Total mineral nitrogen in soil, Vinokovščak



Nitrati u procjednoj vodi

Koncentracije nitrata u procjednoj vodi varirale su u širokom rasponu od minimalnih 4,30 mg NO₃⁻/l utvrđenih u kolovozu 2006., nakon žetve ozime uljane repice, do maksimalnih 225,10 mg NO₃⁻/l u travnju 2004. godine. Tijekom većeg dijela istraživanog razdoblja (2004. i 2005.) koncentracije nitrata u procjednoj vodi prelazile su maksimalno dozvoljenih 50 mg NO₃⁻/l, odnosno 11,3 mg NO₃⁻-N/l, a njihove najviše vrijednosti uglavnom su zabilježene neposredno nakon dušične gnojidbe kultura u pokusu. Također, intenzivne oborine u tom razdoblju ubrzale su ispiranje ovog oblika dušika. Najniže koncentracije nitrata u procjednoj vodi utvrđene su tijekom 2006., u uvjetima gotovo cjelogodišnje pokrivenosti tla ozimom uljanom repicom i ozimom pšenicom, graf 6.

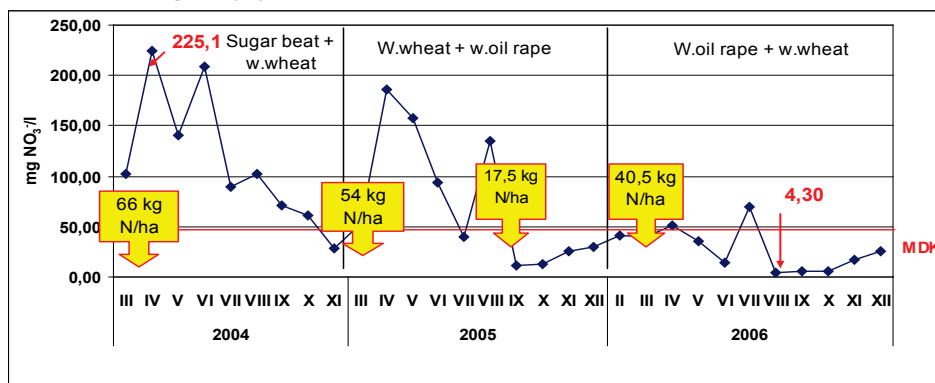
Utvrđene koncentracije nitrata u procjednoj vodi uglavnom su iznad prosječnih koncentracija koje su utvrdili Mesić i sur. (2003.) u procjednoj vodi na pseudoglejnom tlu, pri uzgoju kukuruza. U njihovom istraživanju koncentracije nitrata su varirale u rasponu od 5,3 do 28,7 mg NO₃⁻-N/l, kao rezultat rastuće gnojidbe s 100 do 300 kg N/ha. Prema istraživanjima Puvače (2000.) u procjednim vodama pri uzgoju ozime pšenice utvrđeno je povećanje

koncentracija nitratnog dušika od 6,85 mg NO₃⁻-N/l utvrđenih pri gnojidbi s 128 kg N/ha, na 14,6 mg NO₃⁻-N/l pri gnojidbi s 256 kg N/ha.

Nešto niže koncentracije (3,7 – 8,7 mg NO₃⁻-N/l) u procjednoj vodi utvrdili su Šimunić i sur. (1997.) pri uzgoju kukuruza na pseudoglejnom tlu, uz gnojidbu s 145 kg N/ha. O širokom rasponu koncentracija nitratnog dušika (0-110 mg NO₃⁻-N/l) na području sjeverne Italije, pri uzgoju kukuruza i uz godišnju količinu dušičnih gnojiva od 209 do 801 kg N/ha, izvještavaju i Perego i sur. (2012.).

Graf 6: Dušična gnojidba (kg N/ha) i dinamika nitrata u procjednoj vodi gravitacijskih lizimetara, Vinokovščak

Graph 6: Nitrogen fertilization (kg N/ha) and dynamics of nitrate N in percolated water from gravity lysimeters, Vinokovščak



Ispiranje mineralnog dušika iz tla procjednom vodom

Mjesečne količine ispranog mineralnog dušika iz tla izračunate temeljem mjesečnih količina procjedne vode iz gravitacijskih lizimetara i koncentracija mineralnog dušika u njima, prikazane su na tablicama 3-5.

Godišnja količina procjedne vode kretala se od 100,9 mm u 2005. do 123,0 mm u 2006. godini, odnosno procijedilo se 11,8 do 17,1% efektivnih oborina. Tijekom sušne 2003. godine, u uvjetima uzgoja šećerne repe, uzoraka procjedne vode od srpnja do prosinca nije bilo.

Tijekom 2004. godine najmanje mjesečno ispiranje mineralnog dušika zabilježeno je u studenom (1,0 kg N/ha), a najviše (15,2 kg N/ha) u lipnju, u uvjetima 139,6 mm oborina i uz 31,4 mm procjedne vode, tablica 3. Gotovo identične mjesečne vrijednosti ispranog dušika (14,9 kg N/ha) utvrdili su Bensa i sur. (2008.) u agroekološkim uvjetima istočne Slavonije pri uzgoju ozime pšenice nakon prihrane s 40 kg N/ha. Najveća mjesečna količina ispranog mineralnog dušika tijekom 2005. godine, zabilježena je u travnju (10,5 kg N/ha), nakon prihrane ozime pšenice s 54,5 kg N/ha i uz 24,2 mm procjedne vode, dok se najmanje dušika ispralo u listopadu iste godine, samo 0,1 kg N/ha, tablica 4.

U 2006. godini maksimalno mjesečno ispiranje mineralnog dušika utvrđeno je u travnju (2,1 kg N/ha), a minimalno u listopadu (0,1 kg N/ha), tablica 5. Na tako male količine ispranog dušika, znatno je uz klimatske uvjete utjecala i cjelogodišnja pokrivenost tla kulturama, što je u skladu s istraživanjima Kaspára i sur. (2008), koji su utvrdili da žitarice mogu značajno utjecati na smanjenje mogućeg ispiranja dušika za čak 60%.

Tablica 3: Mjesečne i godišnje količine efektivnih oborina i procjedne vode te mjesečne i godišnje količine ispranog dušika pri uzgoju šećerne repe i ozime pšenice, Vinokovščak, 2004.

Table 3: Monthly and total amount of effective rainfall and percolate, monthly and total amount of leached mineral nitrogen, under sugar beet and winter wheat, Vinokovščak, 2004.

Godine /Years	2004												Ukupno /Total
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Mjeseci/ Months													
Efektivne oborine Effective rainfall (mm)	41,9	37,2	84,1	119,9	32,2	139,6	24,5	60,2	65,7	172,4	38,6	21,8	838,1
Procj.voda/ Percolate	0,0	0,0	6,8	11,1	11,1	31,4	14,2	13,6	6,2	11,7	11,7	0,0	117,8
Isprani N min/ Leached N min (kg/ha)	-	-	1,59	5,68	3,59	15,20	2,90	3,22	1,05	1,73	1,01	-	36,0

Tablica 4: Mjesečne i godišnje količine efektivnih oborina i procjedne vode te mjesečne i godišnje količine ispranog dušika pri uzgoju ozime pšenice i ozime uljane repice, Vinokovščak, 2005.

Table 4: Monthly and total amount of effective rainfall and percolate, monthly and total amount of leached mineral nitrogen under winter wheat and winter oil-seed rape, Vinokovščak, 2005.

Godine /Years	2005												Ukupno /Total
Mjeseci/ Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Efekt. oborine/ Effective rainfall (mm)	11,0	37,8	52,6	90,5	55,1	39,5	182,8	136,2	90,8	3,5	66,0	87,4	853,2
Procj.voda/ Percolate	0,0	0,0	4,6	24,2	17,7	4,6	13,2	15,1	11,3	2,0	5,1	3,1	100,9
Isprani N min/ Leached N min (kg/ha)	-	-	0,55	10,48	6,38	0,99	1,20	4,64	0,34	0,06	0,30	0,24	25,2

Tablica 5: Mjesečne i godišnje količine efektivnih oborina i procjedne vode, te mjesečne i godišnje količine ispranog dušika pri uzgoju ozime uljane repice i ozime pšenice, Vinokovščak, 2006.

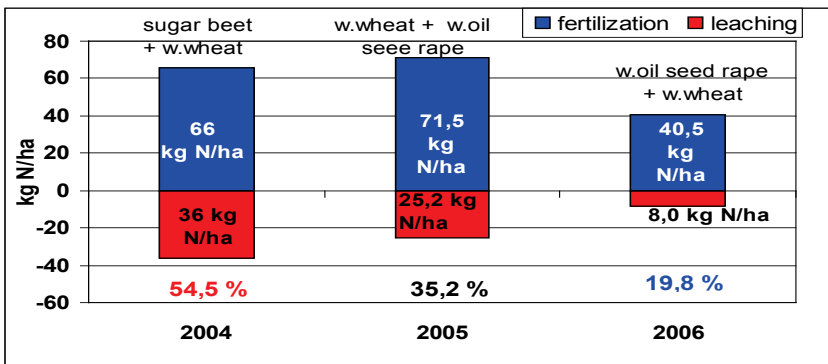
Table 5: Monthly and total amount of effective rainfall and percolate, monthly and total amount of leached mineral nitrogen, under winter oil-seed rape and w. wheat, Vinokovščak, 2006.

Godine /Years	2006												Ukupno /Total
Mjeseci/ Months	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Efektiv.oborine/ Effective rainfall (mm)	36,1	28,8	38,3	92,4	115,1	62,0	46,0	128,9	70,3	34,5	40,4	26,1	718,9
Procj.voda/ Percolate	0,0	3,2	11,4	17,6	18,1	14,8	8,6	17,7	15,3	4,2	7,2	4,9	123,0
Isprani N min/ Leached N min (kg/ha)	-	0,31	1,10	2,09	1,47	0,49	1,40	0,25	0,24	0,07	0,34	0,29	8,0

Godišnje količine ispranog dušika iz tla procjednom vodom kretale su se od 8,03 kg N/ha u 2006. do 35,96 kg N/ha u vlažnoj 2004. godini, odnosno iznosile su od 19,8 do 54,5% od ukupno dodanog dušika gnojidbom, graf 7.

Utvrđene količine ispranog dušika iz tla više su u odnosu na one koje su utvrdili Bensa i sur. (2008.) na hidromelioriranom močvarno glejnom tlu u blizini Donjeg Miholjca pri uzgoju ozime pšenice (2,8 – 17,2 kg N/ha, odnosno od 1,8 do 11,2% od ukupno dodanog dušika gnojidbom), Ercoli i sur. (1996.) pri uzgoju iste kulture (50 kg N/ha, odnosno 17% od ukupno dodanih 280 kg N/ha) te Boumans i sur. (2005.) u Nizozemskoj gdje se procjednom vodom ispralo 16% dušika od 610 kg N/ha dodanog gnojidbom. U grafu je uočljiv trend smanjenja količina ispranog dušika od 2004. do 2006. godine, kao posljedica intenzivnijeg iskorištenja dušika od strane usjeva, manje količine dušika dodanog gnojidbom te pokrivenosti tla usjevom tijekom cijele godine. Fraser i sur. (2013.) ističu smanjenje ispranog dušika za čak 50% u uvjetima uzgoja ozimina, te plodoreda ječam-pšenica-grašak. Godišnje ispiranje dušika tijekom 2005. pri uzgoju ozime pšenice i ozime uljane repice bilo je tri puta više u odnosu na 2006. te je iznosilo 25,17 kg N/ha, odnosno ukupno se ispralo 35,2 % od dušika dodanog gnojidbom. To je u skladu s istraživanjima Heynesa (1997.), koji smatra da gubici dušika u uzgoju pšenice u količini od 30 do 60 kg/ha nisu neuobičajeni i da se značajno povećavaju primjenom dušičnih gnojiva.

Graf 7: Godišnje količine mineralnog dušika ispranog iz tla procjednom vodom iz tla
Graph 7: Annual amounts of mineral nitrogen leached by percolated water from soil



Ocjena onečišćenja procjedne vode nitratima

Onečišćenje procjedne vode nitratima najčešće se javljalo tijekom vlažne 2004. godine, kada su koncentracije nitrata uglavnom prelazile MDK od 50,0 mg NO₃⁻/l, posebno nakon gnojidbe šećerne repe s 66 kg N/ha i u uvjetima obilnih oborina.

U 2005. koncentracije nitrata prelazile su MDK u razdoblju ožujak-lipanj i u kolovozu, a najveće onečišćenje javilo se u travnju nakon prihrane ozime pšenice i uz 90,5 mm efektivnih oborina. Startna gnojidba uljane repice (17,5 kg N/ha) nije utjecala na povećanje koncentracije nitratnog dušika u procjednoj vodi zbog intenzivnog usvajanja hraniva na početku vegetacije. Tijekom 2006. godine onečišćenje nitratnim dušikom javlja se samo u travnju, nakon prihrane ozime uljane repice te u srpnju. U ostalim mjesecima biljke su iskoristile dušik za svoj vegetativni porast, ali i za formiranje prinosa, pa nije bilo opasnosti od onečišćenja pitkih podzemnih voda.

ZAKLJUČCI

1. Dinamika mineralnog dušika u tlu i procjednoj vodi kontrolnog polja Vinokovšćak u istraživanom razdoblju najviše je ovisila o oborinskom režimu, količini dušika dodanog gnojidbom i pokrivenosti tla usjevima.
2. Ukupni mineralni dušik u oraničnom sloju tla kretao se od 17,37 kg N/ha (2005) do čak 267,79 kg N/ha (2006), utvrđenih nakon proljetne prihrane ozime uljane repice.
3. Koncentracije nitratnog dušika u procjednoj vodi varirale su od 4,3 do 225,1 mg NO₃⁻/l i uglavnom su prelazile MDK od 50,0 mg NO₃⁻/l.
4. Godišnje količine ispranog dušika iz tla procjednom vodom kretale su se od 8,03 do 35,96 kg N/ha odnosno od 19,8 do 54,5% od dušika dodanog gnojidbom.
5. Visoka ranjivost varaždinskog vodonosnika i dugogodišnje narušeno stanje kakvoće kako procjednih, tako i podzemnih pitkih voda nalažu obavljanje stalnog monitoringa stanja onečišćenja procjednih voda nitratnim dušikom, sukladno Nitratnoj direktivi (91/676/EEC).

LITERATURA

1. APHA-AWWA-WPCF (1992): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Metals (300), 156-157. Washington DC
2. Bensa, A. (2001): Utjecaj drenaže i gnojidbe na raspodjelu dušika u sustavu tlo-voda-biljka. Magistarski rad. Agronomski fakultet, Zagreb.
3. Bensa, A., Vidaček, Ž., Bogunović, M., Vrhovec, D. (2008): Nitrogen leaching in crop production. Book of Abstracts. 43rd Croatian and 3rd International Symposium on Agriculture, Opatija., 20-21.
4. Bensa, A., Sever-Štrukil Z., Rubinić V., Ninčević T. (2012): Ispiranje nitrata pri gnojidbi kukuruza različitim dozama dušika. Zbornik radova 47.hrvatskog i 7. međunarodnog simpozija agronoma. Agronomski fakultet Zagreb, str.35-39.
5. Boumans, L.J.M., Fraters, D., Van Drecht, G. (2005): Nitrate leaching in agriculture to upper groundwater in the sandy regions of the Netherlands during the 1992-1995 period. Environmental Monitoring and Assessment, 102. 225-241.
6. Brkić, Ž., Marković, T., Larva, O. (2012): Ekološko stanje varaždinskog vodonosnika. Znanstveni skup "Inženjerstvo okoliša 2012." – Varaždin
7. Chapman, H.D., Pratt, F.P. (1961): Methods of analysis for soils, plants and water. California University, Agriculture Division, USA.
8. Cui, Z., Zhang, F., Chen, X., Dou, Z., Li, J. (2010): In-season nitrogen management strategy for winter wheat: Maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. Field Crops Research. Vol. 116. Issue 1-2, 140-146.
9. Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977): Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24 (revised), Rome
10. EEC (1991): Council directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. Official J. Eur. Commun. L135:1-8: 1
11. Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A. (1996): Fate of fertilizer applied to winter wheat. Proceedings of the Fourth Congress of the European Society of Agronomy, Veldhoven, Wageningen: 334-345.
12. Fan, J., Hao, M., Malhi, S.S. (2010): Accumulation of nitrate-N in the soil profile and its implications for the environment under dryland agriculture in northern China. Canadian Journal of Soil Science, 429-440.

13. Fraser, P.M., Curtin, D., Harrison-Kirk, T., Meenken, E.D., Beare, M.H., Tabley, F., Gillespie R.N., Francis, G.S. (2013): Soil Science Society of America Journal, vol. 77.:1391-1401.
14. Haynes, R.J. (1997): Leaching of nitrogen from agricultural soils in New Zealand. A Crop and Food Client Report for MAP Policy, pp. 59.
15. Jackson, M.L. (1958): Soil Chemical Analysis, Madison, Wisconsin, 498
16. JDPZ (1971): Priručnik za ispitivanje zemljišta, knjiga V-Metode istraživanja fizičkih svojstava zemljišta. Beograd.
17. Ju, X.T., Kou C.L., Zhang, F.S. Christie, P. (2006): Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination. Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain. Environmental Pollution 143: 117-125.
18. Kaspar, T.C., Kladvik, E.J., Singer, J.W., Morse, S., Mutch, D.R. (2008): Potential an limitations of cover crops, living mulches and perennials to reduce nutrient losses to water sources from agricultural fields in the Upper Mississippi River Basin. Final Report Gulf Hypoxia and Local Water Quality Concerns Workshop, St. Joseph, Michigan, pp. 127-148.
19. Kołodziejczyk, M.(2013): Effect of nitrogen fertilization and application of soil properties improving microbial preparations on the content of mineral nitrogen in soil after spring wheat harvesting. Journal of Central European Agriculture, 14(1), p.306-318.
20. Larva, O. (2008): Ranjivost vodonosnika na priljevnom području varaždinskih crpilišta. Doktorski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
21. Mesić, M., Bašić, F., Kisić, I., Butorac, a., Gašpar, I. (2003): Učinkovitost mineralnog dušika u gnojidbi kukuruza i gubici dušika ispiranjem s vodom iz lizimetara. Priopćenja, XXXVIII znanstveni skup hrvatskih agronoma, Zagreb,315-318.
22. Narodne novine (2008): Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o klasifikaciji voda, 137/08
23. Narodne novine (2008): Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, 47/08
24. Perego, A., Basile, A., Bonfante, A., De Mascellis, R., Terribile F., Brenna, S., Acutis, M. (2012): Nitrate leaching under maize cropping systems in Po Valley (Italy). Agriculture, Ecosystems and Environment, 147, pg 57-65.
25. Puvača, V. (2001): Onečišćenje podzemnih voda u poljodjelstvu. 37. znanstveni skup hrvatskih agronoma s međunarodnim sudjelovanjem, Opatija.

26. Smith, M. (1992): CROPWAT- a computer program for irrigation planning and management. FAO, Irrigation and ranage paper, No. 46., Rome
27. Šimunić, I., Tomić, F., Drevenkar, V., Klačić, Ž., Petošić, d., Stričević, I., Rus, B. (1997): Koncentracija NO_3^- i atrazina u drenažnim vodama različitih sustava detaljne odvodnje na pseudoglej-glejnom tlu.XXXIII znanstveni skup hrvatskih agronoma, Pula
28. Širić, I., Vidaček, Ž. (1989): HIDROKALK- Kompjutorski program za izračunavanje bilance oborinske vode u tlu. Zavod za pedologiju, Agronomski fakultet Zagreb.
29. Škorić, A. (1982): Priručnik za pedološka istraživanja. Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
30. Vidaček, Ž. (1981): Procjena proizvodnog prostora i prikladnosti tla za natapanje u istočnoj Slavoniji i Baranji. Doktorski rad. Fakultet poljoprivrednih znanosti. Zagreb
31. Vrhovec, D. (2009): Mineralni dušik i teški metali u poljoprivrednim tlima i procjednim vodama gornjeg toka Drave. Magistarski rad. Agronomski fakultet Zagreb.

Adresa autora – Author’s addresses:

dr. sc. Danijela Jungić

e-mail: dvrhovec@agr.hr

prof. dr. sc. Stjepan Husnjak

e-mail: shusnjak@agr.hr

doc. dr. sc. Mario Sraka

e-mail: msraka@agr.hr

prof. dr. sc. Aleksandra Bensa

e-mail: abensa@agr.hr

Vedran Rubinić, dipl.ing.agr.

e-mail: vrubinic@agr.hr

Primljeno – Received:

10.04.2013.

Sveučilište u Zagrebu

Agronomski fakultet

Zavod za pedologiju

Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

