

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Nataša MEDEN

**UČINKOVITOST FERTIGACIJE PRI GOJENJU SOLATNIC  
ZA ZMANJŠANJE NEVARNOSTI ONESNAŽENJA  
PODTALNICE Z NITRATI**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Nataša MEDEN (MASTEN)

**UČINKOVITOST FERTIGACIJE PRI GOJENJU SOLATNIC  
ZA ZMANJŠANJE NEVARNOSTI ONESNAŽENJA  
PODTALNICE Z NITRATI**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

**FERTIGATION EFFICIENCY IN THE CULTIVATION  
OF LEAFY VEGETABLES TO REDUCE THE RISK  
OF GROUNDWATER POLLUTION BY NITRATES**

GRADUATION THESIS

Higher professional studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek visokošolskega strokovnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Poskus je bil izveden na njivi na območju Ljubljanskega polja v Sneberjah, kemijske in druge analize so bile opravljene v kemijskem laboratoriju Javnega podjetja Vodovod – kanalizacija d.o.o. Ljubljana v Zalogu in na Biotehniški fakulteti na Centru za pedologijo in varstvo okolja ter na Katedri za sadjarstvo, vinogradništvo in vrtnarstvo.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je dne 21. februarja 2007 odobrila naslov diplomskega dela: Učinkovitost fertigacije pri gojenju solatnic za zmanjšanje nevarnosti onesnaženja podtalnice z nitrati. Za mentorico je imenovala izr. prof. dr. Marino Pintar in za somentorico doc. dr. Nino Kacjan-Maršič.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof. dr. Katja Vadnal  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: izr. prof. dr. Marina Pintar  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: doc. dr. Nina Kacjan-Maršič  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: izr. prof. dr. Marijana Jakše  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Nataša MEDEN

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Vs  
DK UDK 631.816.35: 502.51: 635.5: 631.559 (043.2)  
KG nitrati/tla/talna voda/rastlina/onesnaženje podtalnice/gnojilne in namakalne prakse/  
učinkovitost fertigacije/solatnice/pridelek  
KK AGRIS F04/F06/F01  
AV MEDEN (Masten), Nataša  
SA PINTAR, Marina (mentor) / KACJAN-MARŠIĆ, Nina (somentor)  
KZ SI-Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo  
LI 2009  
IN UČINKOVITOST FERTIGACIJE PRI GOJENJU SOLATNIC ZA ZMANJŠANJE  
NEVARNOSTI ONESNAŽENJA PODTALNICE Z NITRATI  
TD Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)  
OP VII, 29 str., 2 pregl., 8 sl., 24 vir.  
IJ sl  
JI sl/en  
AI Namen diplomskega dela je z različnimi tehnikami gnojenja in namakanja ugotoviti, ali je fertigacija prava rešitev za zmanjšanje nevarnosti onesnaženja podtalnice z nitrati. Fertigacija je postopek, ko rastlinam hkrati z vodo za namakanje dodajamo rastlinska hranila. Ta način gnojenja naj bi poleg zelo majhnega izpiranja hranil v podtalje omogočal tudi optimalno rast rastline, ki bi dajala pridelek, po kakovosti in količini primerljiv ali boljši oziroma večji od pridelka rastlin, ki so vzgojene z drugimi gnojilnimi tehnikami. V Sneberjah v Ljubljani smo postavili poskus s štirimi obravnavanji, to so: 50 % pokrivanje potencialne evapotranspiracije z namakanjem in kmetova praksa gnojenja (založno gnojenje), 100 % pokrivanje potencialne evapotranspiracije in fertigacija, kmetova praksa gnojenja in namakanja (založno gnojenje in enkrat do dvakrat namakano v začetku rasti) ter kontrolno obravnavanje, kjer ni bilo gnojeno in kjer smo imeli kmetovo prakso namakanja. Meritve so pokazale, da je v talni vodi najmanj nitrata (17,8 mg/l) v primeru, ko za gnojilno in namakalno tehniko uporabimo sistem fertigacije. Ravno v tem obravnavanju pa je bila izmerjena največja vrednost nitratov v endiviji (433,2 mg/kg v sveži masi oziroma 699,4 mg/100 g suhe snovi) v primerjavi z drugimi obravnavanji, vendar so te vrednosti kljub temu precej pod dovoljeno mejo (2500 mg/kg sveže snovi). Pridelek solate pri fertigacijskem obravnavanju je bil primerljiv (65 t/ha) s pridelkom ostalih obravnavanj: 63 t/ha (kontrola), 65 t/ha (»50 % namakanje«), največji pridelek je bil 79 t/ha (»kmetova praksa«). Pridelek endivije je bil pri fertigacijskem obravnavanju najmanjši (43,1 t/ha), po vrednostih si sledijo: 45,9 t/ha (»kmetova praksa«), 48,8 t/ha (kontrola) in 49,8 t/ha (»50 % namakanje«). Rezultati kažejo, da je bila fertigacija v našem poskusu učinkovita praksa za zmanjšanje nevarnosti onesnaženja podtalnice z nitrati, ob tem da je bil tudi pridelek primerljiv s pridelkom ostalih obravnavanj.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs  
DC UDK 631.816.35: 502.51: 635.5: 631.559 (043.2)  
CX nitrate/soil/soil water/plant/ground water/fertilising and irrigation practices/  
fertigation efficiency/leafy vegetables/crop  
CC AGRIS F04/F06/F01  
AU MEDEN (Masten), Nataša  
AA PINTAR, Marina (supervisor) / KACJAN-MARŠIČ, Nina (co-supervisor)  
PP SI-Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy  
PY 2009  
TI FERTIGATION EFFICIENCY IN THE CULTIVATION OF LEAFY  
VEGETABLES TO REDUCE THE RISK OF GROUNDWATER POLLUTION  
BY NITRATES  
DT Graduation thesis (higher professional studies)  
NO VII, 29 p., 2 tab., 8 fig., 24 ref.  
LA sl  
AL sl/en

The purpose of this thesis is to establish, with the use of various techniques of crop fertilization and irrigation, whether fertigation is the right solution to the problem of polluting the underground waters with nitrates. Fertigation is a process where along with the water, plant nutrition are added to the plant. This method of fertilization does not only have a small level of leakage of nutrients into the soil, it should also enable an optimal growth level for the plants, which should yield produce of equal or better quality and quantity to those plants grown using other fertilization techniques. We have set up an experiment in Sneberje with four different treatments. Those treatments were: 50 % coverage of potential evapotranspiration with irrigation and the farmer's usual practice of fertilization (stock fertilization), 100 % coverage of potential evapotranspiration and fertigation, farmer's practice of fertilization and irrigation (stock fertilization and irrigation once or twice at the beginning of growth), and a control treatment, where we used no fertilization and employed the farmer's practice of irrigation. Measurements have shown that underground water has the lowest levels of nitrates (17,8 mg/l) when we employ the technique of fertigation, whereas the levels of nitrates in the plants are the highest when using fertigation (433,2 mg/kg of fresh matter or 699,4 mg/kg of dry matter) in comparison to other techniques, but those values are still way below the legal level (2500 mg/kg of fresh matter). The yield of lettuce in fertigation treatment was comparable (65 t/ha) with crop of other treatments: 63 t/ha (control), 65 t/ha ("50 % of irrigation"), the maximum yield was 79 t/ha ("the farmer practice"). Endive yield was lowest in fertigation treatment (43,1 t/ha), where values are followed: 45,9 t/ha ("farmer's practice"), 48,8 t/ha (control) and 49,8 t/ha ("50 % of irrigation"). The results show that the fertigation in our experiment the effective practice to reduce the risk of contamination of groundwater by nitrates, while the yield was also comparable to the yield of other considerations.

KAZALO VSEBINE		Stran
	Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
	Key words documentation (KWD)	IV
	Kazalo vsebine	V
	Kazalo slik	VII
	Kazalo preglednic	VIII
<b>1</b>	<b>UVOD</b>	1
1.1	POVOD ZA RAZISKAVO	1
1.2	NAMEN RAZISKAVE	1
1.3	DELOVNA HIPOTEZA	2
<b>2</b>	<b>PREGLED OBJAV</b>	3
2.1	FERTIGACIJA	3
<b>2.1.1</b>	<b>Prednosti fertigacije</b>	3
<b>2.1.2</b>	<b>Gnojila za fertigacijo</b>	4
<b>2.1.3</b>	<b>Fertigacijsko gnojenje z dušikom</b>	4
2.2	KAKOVOST VODE	5
2.3	PODTALNICA	5
2.4	SPLOŠNO O DUŠIKU	5
<b>2.4.1</b>	<b>Oblike dušika v atmosferi, na kopnem in v vodi</b>	5
<b>2.4.2</b>	<b>Kroženje dušika</b>	6
2.5	PROBLEM ONESNAŽENOSTI VODNIH VIROV Z DUŠIKOVIMI SPOJINAMI	7
2.6	NITRATI V PODTALNICI	7
2.7	ZAKONODAJA V ZVEZI Z VNOSOM NEVARNIH SNOVI V TLA	7
<b>2.7.1</b>	<b>Evropska zakonodaja</b>	7
<b>2.7.2</b>	<b>Slovenska zakonodaja</b>	8
2.8	SOLATNICE	10
<b>2.8.1</b>	<b>Solata</b>	10
<b>2.8.2</b>	<b>Endivija</b>	10

<b>3</b>	<b>MATERIALI IN METODE</b>	11
3.1	OPIS POSKUSA	11
3.2	ZASNOVA POSKUSA	11
3.3	NAČINI GNOJENJA IN NAMAKANJA	12
3.4	POSKUSNA OBRAVNAVANJA	12
3.5	GNOJILNI NAČRT	13
3.6	METEOROLOŠKI PODATKI	14
3.7	JEMANJE VZORCEV	15
<b>4</b>	<b>REZULTATI IN RAZPRAVA</b>	16
4.1	NITRAT V TALNI VODI	16
4.2	NITRAT V RASTLINI	18
<b>4.2.1</b>	<b>Nitrat v svežem vzorcu rastline</b>	18
<b>4.2.2</b>	<b>Nitrat v suhi snovi rastline</b>	19
4.3	KOLIČINA PRIDELKA	21
<b>4.3.1</b>	<b>Pridelek solate (<i>Lactuca sativa</i> L.)</b>	21
<b>4.3.2</b>	<b>Pridelek endivije (<i>Cicorium endivia</i> L.)</b>	22
4.4	SUHA SNOV	23
<b>4.4.1</b>	<b>Solata (<i>Lactuca sativa</i> L.)</b>	23
<b>4.4.2</b>	<b>Endivija (<i>Cicorium endivia</i> L.)</b>	24
<b>5</b>	<b>SKLEP</b>	25
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	26
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	28

ZAHVALA

KAZALO SLIK	Stran
Slika 1: Dušikov krog: kemijske oblike in procesi mikrobne presnove dušika (Mahne, 1996)	6
Slika 2: Povprečna koncentracija nitrata v talni vodi (mg/l) na globini 50 cm po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	17
Slika 3: Povprečna koncentracija nitrata v svežem vzorcu (mg/kg) listov endivije po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	19
Slika 4: Povprečna koncentracija nitrata v suhi snovi rastline (mg/100 g) po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	20
Slika 5: Povprečen pridelek solate ( <i>Lactuca sativa</i> L.) v t/ha po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	21
Slika 6: Povprečen pridelek endivije ( <i>Cichorium endivia</i> L.) v t/ha po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	22
Slika 7: Povprečna vrednost suhe snovi (g/100 g sveže snovi) solate ( <i>Lactuca sativa</i> L.) po obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	23
Slika 8: Povprečna vrednost suhe snovi (g/100 g sveže snovi) endivije ( <i>Cichorium endivia</i> L.) po obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)	24



## KAZALO PREGLEDNIC

Stran

Preglednica 1: Obravnavanja, količina in vrsta gnojil ter odmerki hranil, ki smo jih uporabili v poskusu pri gnojenju in namakanju solate 13

Preglednica 2: Obravnavanja, količina in vrsta gnojil ter odmerki hranil, ki smo jih uporabili v poskusu pri gnojenju in namakanju solate 14

## 1 UVOD

Podzemna voda je v Sloveniji glavni vir za oskrbo prebivalstva s pitno vodo in je zato že samo v tem pogledu njena kakovost izrednega pomena. Prav tako je pomembna naša etična odgovornost do naravnega okolja, ki poleg drugega narekuje tudi varovanje vodnih virov, ti pa so tudi ekološki in gospodarski potencial države.

Dušik stalno kroži med atmosfero in tlemi. Problematici so presežki dušika predvsem iz kmetijskih dejavnosti, ki v obliki nitrata prehajajo skozi talni profil v podtalnico in po tej poti onesnažujejo podzemne vodne vire. Izpiranje nitrata povečuje gnojenje ob nepravem času - pred padavinami in v zimskih mesecih - in prekomerna količina dodanih gnojil. Kot način gnojenja je fertigacija med vsemi oblikami dognojevanja okoljevarstveno najbolj primerna.

### 1.1 POVOD ZA RAZISKAVO

Kakovost vodnih virov je bistvenega pomena za življenje na Zemlji. Spiranje nitrata skozi talni profil v podzemne vodne vire predstavlja veliko nevarnost za onesnaženje le-teh. Ali lahko način gnojenja vpliva na razlike v presežkih hranil v tleh oziroma točneje, ali je fertigacija učinkovita v smislu, da so hranila bolj izkoriščena in so zato presežki dušika v tleh minimalni ali jih morda celo ni?

### 1.2 NAMEN RAZISKAVE

Namen diplomskega dela je z različnimi tehnikami gnojenja in namakanja ugotoviti, ali je fertigacija kot gnojilna tehnika prava rešitev za zmanjšanje nevarnosti onesnaženja podtalnice z nitrati. Tehnike gnojenja in namakanja v našem poskusu so bile različne glede na obravnavanja: pri fertigacijskem obravnavanju je bila voda z gnojilno raztopino dodajana skozi sistem kapljičnega namakanja, pri ostalih obravnavanjih je bila voda dodajana ali kapljično z upoštevanjem potencialne evapotranspiracije ali razlita iz cisterne po kmetovi presoji za čas namakanja in količino vode. Gnojenje je bilo fertigacijsko ali založno, kontrolni poligon pa je bil negnojen. Ob tem, da s sistemom fertigacijskega gnojenja zmanjšamo nevarnost onesnaženja podtalnice z nitrati, pa hkrati predpostavljamo, da količina pridelka pri fertigacijskem obravnavanju ostaja podobna, enaka ali večja glede na ostale, zgoraj opisane tehnike namakanja in gnojenja.

### 1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Predvidevamo, da je fertigacija kot gnojilna tehnika najboljša rešitev za zmanjšanje nevarnosti onesnaženja podtalnice z nitrati. To pomeni, da fertigacijsko dognojevanje v primerjavi z ostalimi gnojilnimi in namakalnimi tehnikami, ki so opisane v poglavju Namen raziskave, vpliva na vsebnost nitrata v talni vodi in v rastlini tako, da je le-ta majhna. Predvidevamo tudi, da bo količina pridelka ob uporabi fertigacije enaka ali pa večja od količine pridelka, ki ga dobimo pri uporabi primerjanih gnojilnih tehnik.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 FERTIGACIJA

Postopek, ko rastlinam hkrati z vodo dodajamo rastlinska hranila, imenujemo fertigacija. Tehnike fertigacije so različne. Na zunanjih zemljiščih je voda z rastlinskimi hranili dodajana preko sistema za kapljično namakanje; za gojenje rastlin v zaprtih prostorih se fertigacija lahko izvaja še na poplavnih mizah, z oroševanjem ali še na drug način (Knapič, 2003). V našem poskusu je bila fertigacijska tehnika taka, da smo v vodi raztopljena rastlinska hranila rastlinam dodajali preko sistema za kapljično namakanje. Zato v vsej diplomski nalogi izraz fertigacija pomeni fertigacijo, izvajano preko sistema za kapljično namakanje.

Zaradi boljšega izkoristka dodanega hranila lahko zmanjšamo gnojenje in izpiranje določenih hranil, predvsem dušika. S fertigacijo lahko dodajamo posamična hranila ali pa sami pripravimo raztopino z ustreznim razmerjem. Na ta način dobimo tudi večjo možnost nadzora nad gnojenjem, saj lahko prilagajamo količino posameznega hranila talnim lastnostim in razvoju rastlin. Ena od odlik fertigacije je tudi znižanje stroškov aplikacije gnojila (Knapič, 2003).

Za uspešno in učinkovito fertigacijo moramo poznati številne dejavnike. Pri zahtevnejši pridelavi je potrebno poznati (Knapič, 2003):

- kemične, fizikalne in biotične lastnosti tal ali rastnega substrata in z njimi povezano topnost in mobilnost posameznega elementa v tleh,
- potrebe po posameznih hranilih v skladu z razvojem in vrsto rastlin,
- osnovne kemične lastnosti posameznega gnojila (sposobnost mešanja z ostalimi gnojili, topnost-obarjanje, korozivnost sredstva),
- osnovne kemične lastnosti vode za namakanje.

#### 2.1.1 Prednosti fertigacije

Fertigacija je eden najbolj učinkovitih sistemov gnojenja vrtnin. Pred drugimi sistemi ima naslednje prednosti (Montag, 1999):

- omogoča enakomerno doziranje hranil po celotnem namakalnem območju,
- količine in koncentracije hranil so natančno določene in prilagojene dnevnim potrebam rastlin, razvojnim fazam in klimatskim razmeram,
- povečana je izkoriščenost gnojil in zmanjšano izpiranje hranil v podtalje,
- zmanjšana je poraba delovnega časa in ročnega dela,

- povečana sta količina in kakovost pridelkov,
- primerna je za vse tipe namakanja in rastne razmere.

### **2.1.2 Gnojila za fertigacijo**

Vsa gnojila niso primerna za uporabo pri fertigaciji. Tako niso primerna granulirana mineralna gnojila, ki jih običajno uporabljamo pri gnojenju. Osnovna lastnost, ki jo morajo imeti gnojila, ki jih uporabljamo za gnojenje skozi namakalni sistem, je njihova popolna vodotopnost, saj bi se sicer mašili kapljači ali pa bi velik del hranil ostal na filtrirni napravi. Zaželeno je, da se gnojilo hitro raztaplja, da ne vsebuje snovi, ki bi kot netopni ostanek mašile namakalni sistem in da ne reagira s snovmi, ki so v vodi za namakanje (Knapič, 2003).

Gnojila, ki jih uporabljamo, lahko delimo glede na agregatno stanje na tekoča in trdna, glede na zastopanost hranil v njih pa na enojna (če vsebujejo samo eno hranilo) in sestavljena (če vsebujejo več hranil). Za fertigacijo se največ uporabljajo trdna in sestavljena gnojila (Knapič, 2003).

Na tržišču se srečujemo z različnimi vrstami gnojil, ki so namenjena predvsem fertigaciji, in sicer (Magan, 1995, cit. po Hagin in Lowengart – Aycicegi, 1999):

- tekoča, pripravljena za neposredno rabo,
- prašnata gnojila, topna v vodi in
- granulirana, ki so popolnoma vodotopna.

### **2.1.3 Fertigacijsko gnojenje z dušikom**

V naših pridelovalnih razmerah dosegamo največje pozitivne učinke fertigacije pri gnojenju z dušikom. Dušik je v tleh zelo mobilni in se v naših razmerah izpira iz tal. Zaradi tega z dušikom ne moremo gnojiti na zalogo, kot je to primer pri fosforju, kaliju in ostalih elementih, ampak v več manjših odmerkih. V primerjavi s klasičnim gnojenjem so lahko dodane vrednosti dušika pri fertigiranju ustrezno manjše, nemalokrat tudi za več kot 30 %. Pri uravnoteženi prehrani naj bi fertigirali tako, da je pretežni delež dušika v nitratni obliki (npr. 40 % delež v amonijski in 60 % v nitratni obliki). S fertigacijo lahko sledimo potrebam rastlin glede na njihov razvoj. Tako tudi ob zelo neugodnih vremenskih razmerah, ko se lahko izpere skoraj celotna količina dodanega obroka dušika, z gnojenjem s fertigacijo izgubimo veliko manjše količine dušika, saj so le-te dosti manjše v primerjavi s klasičnim gnojenjem (Knapič, 2003).

## 2.2 KAKOVOST VODE

Neoporečnost vode ugotavljamo po kakovostnih standardih, ki so mednarodno usklajeni. Za površinsko in podzemno vodo jih je sprejela Svetovna zdravstvena organizacija (WHO), v Evropi pa jih uveljavlja Evropska ekonomska komisija ZN (EEC) kot kakovost za človekovo porabo.

Ti standardi upoštevajo točno določena kakovostna merila (Lah, 1998):

- **organoleptične lastnosti**, t.j. obarvanost, motnost, okus, vonj,
- **fizikalno-kemijske lastnosti**: temperatura, električna prevodnost, količina kloridov, kalcija, magnezija, aluminija, sulfatov, raztopljenega kisika idr.,
- **nezaželeni snovi v čezmernih količinah**: količina nitratov, amonijevih spojin, fenolov, železa, mangana, bakra, cinka, tudi fluoridov idr. snovi,
- **strupene snovi**, kot so arzen, živo srebro, svinec, kadmij in še druge, so nevarne tudi v najmanjši količini,
- **mikrobiološko (bakteriološko) stanje**.

## 2.3 PODTALNICA

Podtalnica je zelo pomembna vodna zaloga, ki se nabira nad neprepustnimi plastmi pod zemeljskim površjem. Uporablja se tudi izraz *podzemna voda*, ker je poleg podtalnice v prodnih nanosih tudi voda v kraških podzemnih vodonosnikih (Lah, 1998).

Od celotne porabe pitne vode v Sloveniji jo 54 % črpamo iz podtalnice, 43 % zajemamo iz izvirov ali studencev in 3 % iz površinskih vodnih virov z ustreznim čiščenjem (Lah, 1998).

## 2.4 SPLOŠNO O DUŠIKU

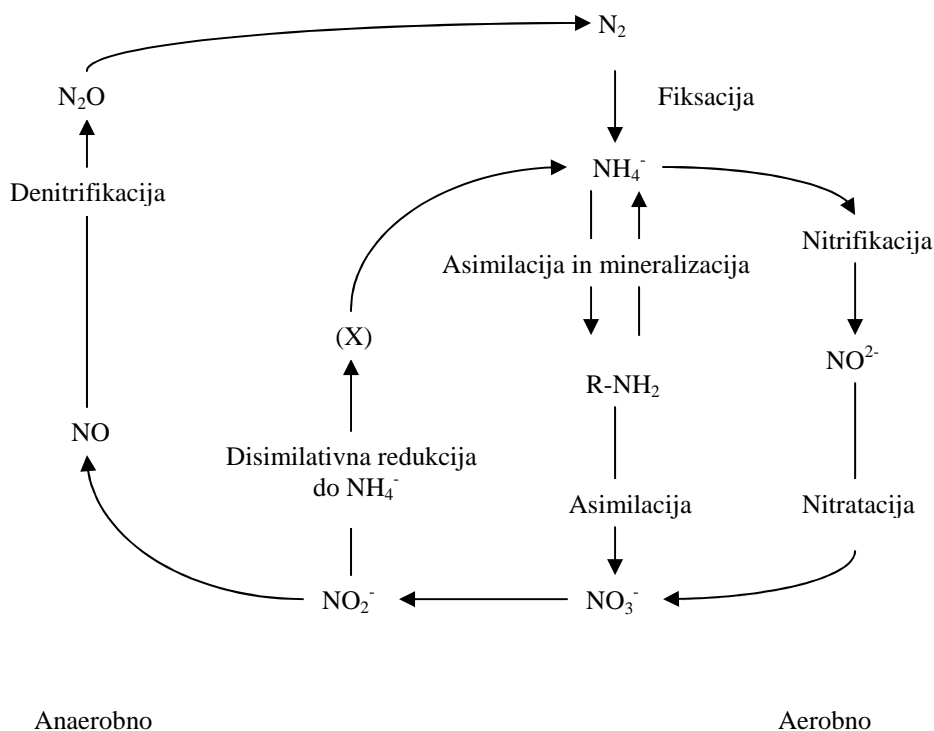
### 2.4.1 Oblike dušika v atmosferi, na kopnem in v vodi

Dušik se na kopnem in v atmosferi nahaja glede na svoje redoks stanje v mnogih oblikah. Največ je oblik, v katerih dušik nastopa v molekularni obliki didušikove molekule (N<sub>2</sub>). Didušikova molekula v plinastem stanju je najbolj stabilna oblika in k tej obliki dušik teži v ravnotežnostnih razmerah. Temperatura v atmosferi je tolikšna, da se molekula pojavlja v plinastem agregatnem stanju, kar ji zagotavlja pogoje za prisotnost. V atmosferi se dušik pojavlja tudi v drugih oblikah, med drugim v nekaterih organskih oblikah (Megušar, 1996).

V tleh je razporejenost dušika popolnoma drugačna kot v atmosferi. Skoraj 95 % vsega dušika je ujetega v organski snovi, ki je odmrta in je še nemineralizirana. V vodi se organsko vezani dušik, podobno kot v tleh, razporeja med rastlinsko in živalsko biomaso ter večinskim delom organskega dušika, ki je v odmrli organski snovi vodotopen (Megušar, 1996).

## 2.4.2 Kroženje dušika

Dušik zaradi svoje kemije v naravi nastopa v različnih oblikah. Kljub svoji nereaktivnosti lahko pri povišani temperaturi ali prisotnosti katalizatorja tvori spojine z vsemi elementi, razen žlahtnimi plini, kar nudi osnovo za sodelovanje v številnih procesih tako v atmosferi kot v tleh in vodnih virih. Dušik kroži med ekosistemi in znotraj njih na molekularni ravni. Tako na zemljo pade dušik, ki je posledica premeščanja vodotopnih oblik v podtalne vodne vire in obratni proces plinastih oblik v atmosfero. Ključni mikrobni procesi v kroženju dušika zajemajo mineralizacijo in imobilizacijo, nitrifikacijo in fiksacijo molekularnega dušika (Slika 1) (Megušar, 1996).



Slika 1: Dušikov krog: kemijske oblike in procesi mikrobne presnove dušika (Mahne, 1996)

Pri nastajanju anorganskih oblik dušika iz organskih poteka proces mineralizacije, katere glavni produkt je amonij (amonifikacija), ki se sprosti v okolje brez spremembe

oksidacijskega stanja dušika. Poleg amonija se lahko pojavijo tudi nitrat, nitrit, hidroksamin in druge anorganske oblike, pri katerih se redoks stanje spremeni. Mineralizacija poteka v tesni povezavi z mineralizacijo ogljika. Hitrost mineralizacije je odvisna od različnih faktorjev: pH vrednosti, temperature, vlage in drugih. Ko se zaloge dušika zmanjšajo in ga začne primanjkovati za rastne potrebe mikroba, se le-ta asimilira iz raztopine. Mineralni dušik, ki je z asimilacijo vgrajen v organsko snov, je imobiliziran ter tako nedostopen drugim organizmom (Mahne, 1996).

## 2.5 PROBLEM ONESNAŽENOSTI VODNIH VIROV Z DUŠIKOVIMI SPOJINAMI

Onesnaženje vodnih virov s presežki hranil iz kmetijske proizvodnje predstavlja v Evropi velik problem. V obdobju 1950-2000 se je poraba mineralnega dušika povečala za 10 krat, količina celotnega dušika v živalskem gnojilu pa se je povzpela na 9 milijonov ton (Operativni program..., 2003). Presežki vnosa dušika v tla predstavljajo resno ogroženost podtalnih vodnih virov. Presežki dušika v tleh v letu 1997 so bili v Sloveniji v povprečju 64 kg/ha, na Nizozemskem za primerjavo pa 256 kg/ha (Eurostat, 2000, cit. po Operativni program ..., 2003).

## 2.6 NITRATI V PODTALNICI

Nitrati prihajajo v tla in podtalnico po naravni poti ali kot posledica človeškega delovanja. Glavni viri dušika v površinski vodi so: 30 % fekalne odplake, 31 % industrijske odplake in 39 % komunalne čistilne naprave. Približno 80 % dušika priteka v obliki amonijevih spojin, ki se s pomočjo kisika pretvorijo v nitratni ion (Krajnc in Zupan, 1996).

## 2.7 ZAKONODAJA V ZVEZI Z VNOSOM NEVARNIH SNOVI V TLA

### 2.7.1 Evropska zakonodaja

Leta 1991 je Svet evropskih skupnosti sprejel Nitratno direktivo oz. Direktivo Sveta EU, ki se nanaša na varstvo voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov (Direktiva ..., 1991).

Direktiva je bila sprejeta zaradi razlogov, ki so zapisani v uvodu direktive. Med drugim tudi zato, ker delež nitrata v vodi na nekaterih območjih v državah članicah narašča in je že sedaj velik glede na standarde, določene v Direktivi Sveta iz leta 1975. Onesnaževanje voda z nitrati v eni državi članici namreč vpliva na vode v drugih državah članicah, ker je



treba varovati zdravje ljudi in še zaradi nekaj drugih razlogov. Direktiva zahteva, da države članice zaradi varstva voda določijo vode, prizadete zaradi onesnaževanja, imenujejo vsa ranljiva območja in vpeljejo operativne programe in predpisane ukrepe za zmanjšanje onesnaženosti z nitrati iz kmetijstva na teh območjih. V skladu z direktivo je celotno območje Republike Slovenije določeno za občutljivo območje (Uredba o vnosu ...,1996). Metode in merila so določene v prilogi direktive.

Standarde kakovosti za nitrato v pitni vodi določa Direktiva Sveta EU (98/83/ES) o kakovosti pitne vode. Ta direktiva ureja kakovost vode, namenjene za prehrano ljudi. Cilj direktive je varovanje zdravja ljudi pred škodljivimi vplivi vsakršnega onesnaževanja vode, namenjene za prehrano ljudi, z zagotovilom, da je zdravstveno ustrezna in čista. Države članice določijo vrednosti za parametre, ki ne smejo biti manj stroge, kot so določene v direktivi. Za nitrat znaša vrednost **50 mg NO<sub>3</sub>/l**. Države članice morajo spremljati, obveščati in poročati o stanju voda (Direktiva ..., 1998).

### **2.7.2 Slovenska zakonodaja**

Na podlagi Zakona o varstvu okolja (Zakon o varstvu okolja, 1999) je bil leta 1999 sprejet Nacionalni program varstva okolja (Nacionalni program..., 1999), ki določa osnovne cilje in ukrepe na področju varstva okolja. Na področju voda je eden izmed osnovnih ciljev zmanjšanje emisij iz razpršenih virov – intenzivno kmetijstvo. V skladu z zakonom je sprejetih tudi več podzakonskih predpisov, ki se nanašajo na varstvo voda pred onesnaženjem iz kmetijskih dejavnosti.

**Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (1999) in Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (2004)** določata mejne vrednosti letnega vnosa rastlinskih snovi v tla, vnos snovi pri namakanju rastlin in gnojenju in stopnje zmanjševanja vnosa ter druge ukrepe v zvezi z vnosom. V uredbi so določene tudi denarne kazni, ki se jih izreče za prekršek.

V **Navodilu za izvajanje dobre kmetijske prakse (2000)** so zapisana temeljna določila za varovanje voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov. Gnojenje z rastlinskimi hranili naj se izvaja tako, da rastline v največji meri izkoristijo hranila in da se pri pridelavi preprečijo izgube hranil v tla. Pri gnojenju je treba upoštevati pričakovano količino in kakovost pridelka, razpoložljive količine hranil v tleh ter dodatne količine rastlinam dostopnih hranil, ki nastanejo v času rasti posevka, vsebnost apna, pH, količino humusa ter ostale parametre, ki vplivajo na povečevanje vnosa hranil v tla. Predpis obsega tudi način vnosa hranil v tla ter navodila za skladiščenje živalskih gnojil.

V **Uredbi o kemijskem stanju površinskih voda (2002)** so zapisani kemijski in splošno fizikalno-kemijski parametri površinskih voda, ki so pomembni za ugotavljanje kemijskega stanja, mejne vrednosti parametrov iz prednostnega in indikativnega seznama nevarnih snovi za površinske vode, merila za ugotavljanje kemijskega stanja voda ter merila za čezmerno obremenjenost. Del uredbe sta tudi vsebina in način izdelave programa monitoringa. V zvezi z nitratom je najpomembnejša določba o njegovi mejni vrednosti v površinskih vodah. Ta znaša  $25 \text{ mg NO}_3^- / \text{l}$ .

**Uredba o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (2000)**, določa kakovostne razrede za površinske vode, ki se jih odvzema ali so namenjene za oskrbo s pitno vodo. Za posamezni kakovostni razred se glede na fizikalne, kemijske ali mikrobiološke lastnosti površinske vode določijo:

- mejne in priporočene vrednosti parametrov,
- način vrednotenja za razvrščanje v kakovostne razrede in
- standardni postopki obdelave pri pripravi pitne vode.

Površinske vode se razvršča v tri kakovostne razrede z oznako A1, A2 in A3; po mejnih in priporočenih vrednostih in standardnih postopkih, ki so določeni v uredbi, pa enkrat letno na podlagi podatkov državnega emisijskega monitoringa, za kar je pristojen minister za okolje v soglasju z ministrom za zdravje. Priporočena vrednost za nitrat v kakovostnem razredu A1 je  $10 \text{ mg/l}$ , mejna pa  $25 \text{ mg/l}$ .

**Uredba o kakovosti podzemne vode (2002)** določa kemijske lastnosti podzemnih voda, mejne vrednosti parametrov za podzemne vode dobrega kemijskega stanja, merila za ugotavljanje čezmerne onesnaženosti telesa podzemne vode ter rok za prenehanje izvajanja sankcijskih ukrepov. Kemijsko stanje podzemne vode se ugotavlja za vsako leto posebej na podlagi rezultatov kemijske analize vzorcev vode, ki se pridobijo z rednim vzorčenjem na izviri. Nitrat ne sme presegati mejne vrednosti  $50 \text{ mg/l}$ .

V **Pravilniku o pitni vodi (2004)** in **Pravilniku o spremembah in dopolnitvah pravilnika o pitni vodi (2004)** so določene zahteve, ki morajo biti izpolnjene za pitno vodo z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki kakršnegakoli onesnaženja pitne vode. Mejna vrednost nitratov, določena v pravilniku, je  $50 \text{ mg NO}_3^- / \text{l}$ .

**Pravilnik o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda (2002)** in **Pravilnik o imisijskem monitoringu podzemne vode (2002)** določata način in obseg izvajanja imisijskega monitoringa stanja kakovosti površinskih in podzemnih voda ter pogojev za izvajalce monitoringa, kar zagotavlja stalen nadzor nad stanjem kakovosti vodnih virov.

## 2.8 SOLATNICE

Solatnice so vrtnine, pri katerih za prehrano ljudi in živali najpogosteje uporabljamo liste. Najbolj razširjeno je gojenje in poraba solate, sledita ji endivija in radič, cenjena sta tudi motovilec in regrat. Zaradi pestrosti vrst in sort lahko izberemo za vsak letni čas in namen pridelave primerno vrsto in sorto (Osvald, 2000).

### 2.8.1 Solata

Solata je rastlina, ki spada v skupino solatnic. Pridelujemo jo zaradi listov, ki se razvijajo na skrajšanem reduciranem stebelu. Listi so različno obarvani – temno zeleni, svetlo zeleni, rumeno zeleni, rdečkasti, rjavkasti, lisasti... Glavnina korenin solate je razvitih v vrhnjem sloju tal (do 60 cm). Solata zahteva vlažna in topla območja. Ne prenaša direktnega gnojenja s hlevskim gnojem, zato jo sadimo na drugo ali tretjo poljino. Gnojimo z 80 kg/ha dušika, 80 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150–200 kg/ha K<sub>2</sub>O, 50 kg/ha CaO, 15 kg/ha MgO (Osvald, 2000).

### 2.8.2 Endivija

Endivija spada v skupino radičevk. Je enoletnica, ki jo gojimo zaradi listov. Ne tvori glav, ampak razvije kompaktno rozeto, pri nekaterih sortah tudi rahlo glavico. Ima srednje bujno razvite korenine s številnimi stranskimi koreninicami. Gnojimo jo lahko s kompostom in mineralnimi gnojili: 80–100 kg/ha dušika, 100–120 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150–200 kg/ha K<sub>2</sub>O, 80 kg/ha CaO, 20 kg/ha MgO (Osvald, 2000).

### 3 MATERIALI IN METODE

#### 3.1 OPIS POSKUSA

Na območju Ljubljanskega polja v Sneberjah smo si zastavili cilj, da bomo v šestih mesecih, to je od maja do oktobra 2006, poskusili z različnimi namakalnimi in gnojilnimi praksami dobiti sliko vsebnosti nitrata v talni vodi, v tleh in v rastlini. V ta namen smo na njivo posadili solato (*Lactuca sativa* L.) sorte 'Salakis' in endivijo (*Cichorium endivia* L.) sorte 'Sardana'. Vsebnost nitrata smo izmerili samo v endiviji. Diplomaska naloga je del širše raziskovalne naloge, ki je obravnavala dinamiko razporeditve nitrata v sistemu rastlina – tla – talna voda – podtalnica. V diplomski nalogi so predstavljeni le podatki za koncentracijo nitrata v rastlini in talni vodi.

#### 3.2 ZASNOVA POSKUSA

Poskus je bil zasnovan po naslednjem načrtu:

##### **Poskus s solato**

- Shema poskusa: naključni blok v 3 ponovitvah
- Osnovna parcela: 1,3 m x 5,0 m = 6,5 m<sup>2</sup>; 104 rastline/parcelo
- Sadilna razdalja: 25 cm x 25 cm; sklop rastlin: 160.000 rastlin/ha – 20 % za poti = 128.000 rastlin/ha
- Setev: 6. marec 2006 v gojitvene plošče s 160 vdolbinami, napolnjene s substratom za gojenje sadik
- Presajanje sadik na prosto: 17. maj 2006
- Pobiranje pridelka: 6. julij 2006

##### **Poskus z endivijo**

- Osnovna parcela: 1,3 m x 5,0 m = 6,5 m<sup>2</sup>; 62 rastlin/parcelo
- Sadilna razdalja: 30 cm x 35 cm; sklop rastlin: 95.000 rastlin/ha – 20 % za poti = 76.000 rastlin/ha
- Setev: 10. julij 2006 v gojitvene plošče s 160 vdolbinami, napolnjene s substratom za gojenje sadik
- Presajanje sadik na prosto: 10. avgust 2006
- Pobiranje vzorcev za analize za nitrat: 14.9., 21.09., 28.09., 05.10., 12.10. in 19.10. 2006
- Pobiranje pridelka: 26. oktober 2006

### 3.3 NAČINI GNOJENJA IN NAMAKANJA

Načrtovali smo naslednje načine gnojenja in namakanja:

#### **Gnojenje:**

- založno gnojenje pred saditvijo rastlin, ki smo ga poimenovali kmetova praksa, in
- gnojenje s fertigacijo.

#### **Namakanje:**

- Namakanje, kot ga izvaja kmet: po presaditvi rastlin namaka njivsko površino enkrat do dvakrat, ravno toliko, da se rastline ukoreninijo, potem pa le, če oceni, da rastline trpijo sušo. Kmet je namakal tako, da je potrebno količino vode iz cisterne razlil na njivo. Na njivi je bil postavljen dežemer, ki je meril količino vode, s katero je kmet namakal. Takšno je bilo namakanje na kontrolnem poligonu in pri obravnavanju, imenovanem kmetova praksa.
- 50 % pokrivanje potencialne evapotranspiracije (ETP) rastlin.
- 100 % pokrivanje potencialne evapotranspiracije (ETP) rastlin.

### 3.4 POSKUSNA OBRAVNAVANJA

S kombinacijo različnih načinov gnojenja in namakanja smo določili štiri poskusna obravnavanja:

- 1) **50 % namakanje:** 50 % pokrivanje potencialne evapotranspiracije (ETP) s kapljičnim namakanjem in kmetova praksa gnojenja (založno gnojenje).
- 2) **100 % namakanje (fertigacija):** 100 % pokrivanje ETP rastlin s kapljičnim namakanjem, gnojenje z dušikom je bilo razdeljeno na 1/3 dušika založno (z gnojilom KAN) in 2/3 dušika s fertigacijo.
- 3) **Kmetova praksa:** kmetova praksa gnojenja (založno gnojenje) in kmetova praksa namakanja (namakanje takoj po presaditvi rastlin, potem po njegovi presoji, da rastline trpijo sušo).
- 4) **Kontrola:** kontrolni poligon (negojeno, kmetova praksa namakanja).

### 3.5 GNOJILNI NAČRT

#### Gnojilni načrt za solato

Gnojilna norma za solato: 80 kg N/ha, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O.

Preglednica 1: Obravnavanja, količina in vrsta gnojil ter odmerki hranil, ki smo jih uporabili v poskusu pri gnojenju in namakanju solate

Obravnavanje	Količina gnojila (kg)	Vrsta gnojila	Količina hranil (kg/ha)			
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
1 kontrola – negojeno, namakano po kmetovi praksi (1-2 krat na začetku rastne dobe)						
2 gnojenje – založno; namakanje: kapljično – 50 % pokrivanje potencialne ETP						
	400	0 : 10 : 30	0	40	120	0
	100	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	16	0	0	20
	240	KAN	64	0	0	0
3 gnojenje – fertigacija (1/3 N na zalogo, ostalo preko fertigacije); namakanje - kapljično;						
	100	KAN	27	0	0	0
	530	WSF 10 : 5 : 26	53	27	138	0
4 kmetova praksa: gnojenje – založno; namakanje: 1-2 krat na začetku rastne dobe						
	400	0 : 10 : 30	0	40	120	0
	100	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	16	0	0	20
	168,8	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	64	0	0	0

## Gnojilni načrt za endivijo

Gnojilna norma: 80 kg N/ha, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O.

Preglednica 2: Obravnavanja, količina in vrsta gnojil ter odmerki hranil, ki smo jih uporabili v poskusu pri gnojenju in namakanju endivije

Obravnavanje	Količina gnojila (kg)	Vrsta gnojila	Količina hranil (kg/ha)			
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
1 kontrola – negojeno, namakano po kmetovi praksi (1-2 krat na začetku rastne dobe)						
2 gnojenje – založno; namakanje: kapljično – 50 % pokrivanje potencialne ETP						
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca
	800	PK	0	80	240	0
	500	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	80	0	0	100
3 gnojenje – fertigacija (1/3 N na zalogo, ostalo preko fertigacije); namakanje - kapljično;						
	331	PO <sub>4</sub> (16 %)	0	53	0	0
	204	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (50 %)	0	0	102	0
	100	KAN	27	0	0	0
4 kmetova praksa: gnojenje – založno; namakanje: 1-2 krat na začetku rastne dobe						
	800	PK	0	80	240	0
	500	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	80	0	0	100

Vsako obravnavanje je imelo tri ponovitve, ki so v takem poskusu nujne zato, da med vzorci istega obravnavanja lahko določimo povprečje, ki bo za to obravnavanje reprezentativno.

### 3.6 METEOROLOŠKI PODATKI

Padavine smo merili s pomočjo dežemera, postavljenega ob poskusni njivi. Podatke za potencialno evapotranspiracijo so nam posredovali iz Agencije Republike Slovenije za okolje iz poskusne lokacije najbližje meteorološke postaje, postaje Bežigrad.

### 3.7 JEMANJE VZORCEV

Vzorčili smo talno vodo in rastlinsko maso. Vzorčenje talne vode so opravili sodelavci s Katedre za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja. Vodo v tleh so vzorčili s keramičnimi svečkami tipa Soil Moisture in SDEC na globini 50 cm. Na vsaki poskusni parceli so bile postavljene tri svečke. Vzorce talne vode v času rasti solate so vzeli dvakrat, 20. junija in 4. julija, vzorce v času rasti endivije so vzeli dvanajstkrat, vzorčili so od 4. septembra do 12. decembra, vse v letu 2006.

Rastlinske vzorce smo pri endiviji med vegetacijsko dobo jemali s poskusne parcele tako, da smo označili 10 rastlin in od vsake rastline vzeli po 4 do 5 polno razvitih listov osrednjega dela rozete. Vzorce rastlin smo jemali en dan po izvedeni fertigaciji ali namakanju. Vzorce endivije smo vzeli šestkrat, od 14. septembra do 19. oktobra 2006.

Opraviti smo dali naslednje analize:

- nitrat v tleh (tla), v talni vodi (svečke, vrtine) in v listih rastlin. Analize nitrata v tleh in rastlini so opravili na Centru za pedologijo in varstvo okolja (CPVO), za talno vodo pa na Javnem podjetju Vodovod – Kanalizacija, d.o.o. - JP VO-KA. Za jemanje vzorcev talne vode smo imeli postavljene tri svečke na eno poskusno parcelo;
- količina pridelka (ves nadzemni del rastline). Meritve rastlin so opravili na Biotehniški fakulteti, Oddelku za agronomijo, Katedra za sadjarstvo, vrtnarstvo in vinogradništvo;
- suha snov (listi rastline). Analizo so opravili na CPVO;
- volumski odstotek vode v tleh. Analizo so opravili na poskusnem polju z napravama TDR in enviroscan.

Poleg teh analiz smo spremljali še količino padavin z ombrografom in določili še vodno zadrževalne lastnosti tal, gostoto in teksturo tal in porabljeno količino vode za namakanje.

V rezultatih prikazujemo povprečne vrednosti vseh štirih obravnavanj izmerjenih parametrov: celokupen nitrat v tleh, vodi in rastlini za endivijo, količino pridelka (kg/ha) solate in endivije ter suho snov solate in endivije.



## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 4.1 NITRAT V TALNI VODI

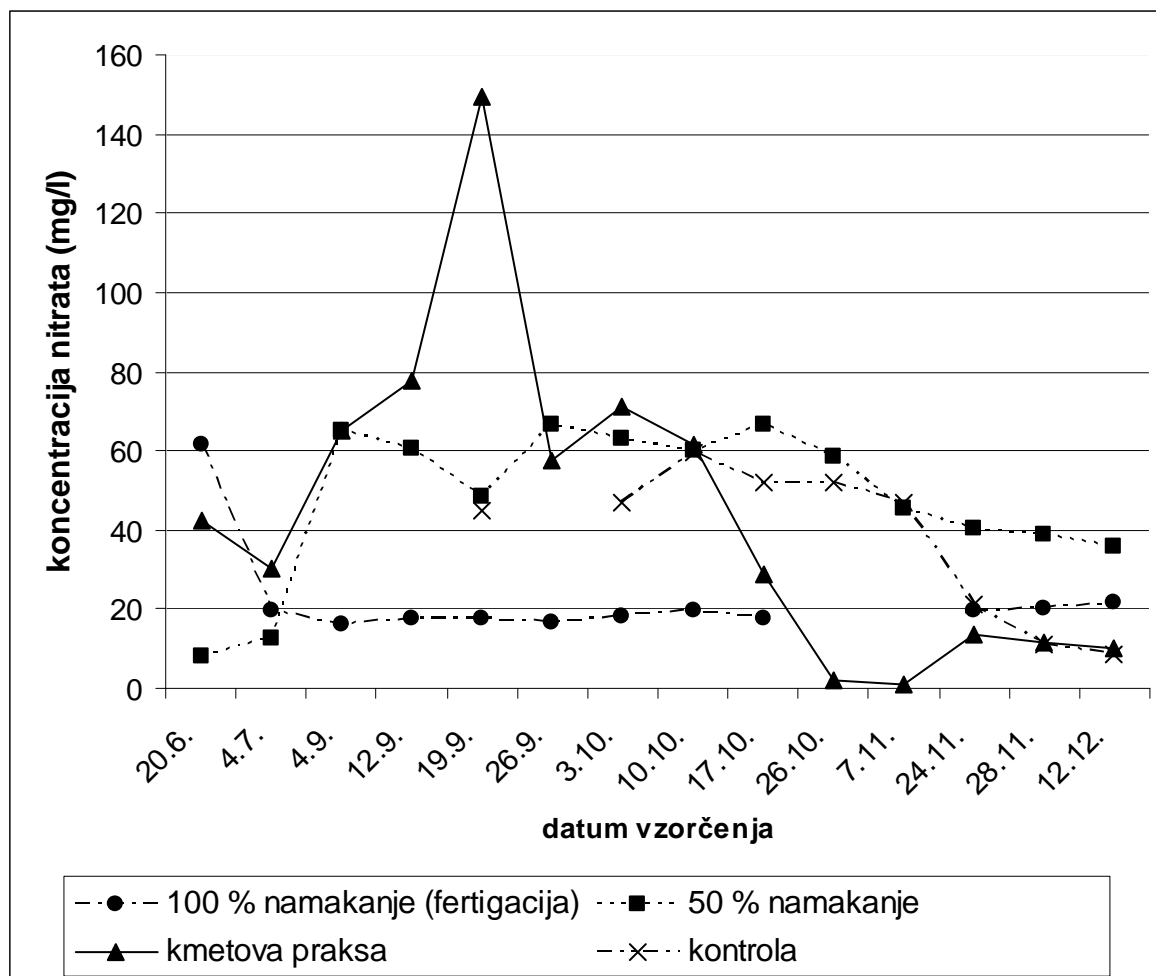
Iz slike 2 na strani 17 je razvidno, da je bila največja povprečna količina nitrata v talni vodi izmerjena dne 19.9. v obravnavanju »kmetova praksa«, izmerjena koncentracija je bila 149,5 mg/l. Dne 7.11. je bila pri istem obravnavanju izmerjena tudi najmanjša vrednost nitrata v talni vodi, to je 0,5 mg/l. Koncentracija nitrata v talni vodi se je pri obravnavanju »kmetova praksa« po 19.9. zmanjševala.

Pri kontrolnem obravnavanju je bila količina nitrata v talni vodi v območju 40 do 60 mg/l, v zadnjih treh meritvah 24.11., 28.11. in 12.12. pa se je zmanjšala na okoli 9 do malo več kot 20 mg/l, skupno nihanje vrednosti nitrata je torej od 9 do 60 mg/l.

Pri obravnavanju »fertigacija« smo imeli največjo izmerjeno koncentracijo nitrata v talni vodi v prvi meritvi dne 20.6., znašala je 61,4 mg/l, nato pa se je v naslednjih meritvah gibala v območju 16,2 do 21,8 mg/l.

Pri obravnavanju »50 % namakanje« smo v prvi meritvi dne 20.6. izmerili najmanjšo koncentracijo nitrata v talni vodi, ta je znašala 8,1 mg/l, 4.9. se je povzpela na 65,2 mg/l in v obdobju meritev od dne 4.9. do 12.12. ostala v območju od 35,9 do 66,8 mg/l (Slika 2).

Največja povprečna vrednost celokupnega nitrata v talni vodi med vsemi obravnavanji je bila izmerjena v obravnavanju »kmetova praksa«, njegova povprečna koncentracija je znašala 59,4 mg/l. Pri obravnavanju »50 % namakanje« je povprečje meritev znašalo 54,9 mg/l in pri kontroli 38,9 mg/l. Najmanjše povprečje vsebnosti nitrata v talni vodi smo dobili v obravnavanju »fertigacija« in je znašala 17,8 mg/l.



Slika 2: Povprečna koncentracija nitrata v talni vodi (mg/l) na globini 50 cm po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

Rezultati so pokazali, da je bilo največ nitrata v talni vodi pri obravnavanju »kmetova praksa«, kjer je kmet-lastnik parcele gnojil založno in namakal po lastni presoji. Najmanj nitrata je bilo izmerjenega pri obravnavanju »fertigacija«, kjer je bila gnojilna tehnika fertigacija, pokrivanje ETP rastlin pa je bilo 100-odstotno. V tej točki potrjujemo z rezultati že del delovne hipoteze, to je, da je med obravnavanimi tehnikami fertigacija najboljša gnojilna tehnika za zmanjšanje nevarnosti onesnaženja podtalnice.

## 4.2 NITRAT V RASTLINI

### 4.2.1 Nitrat v svežem vzorcu rastline

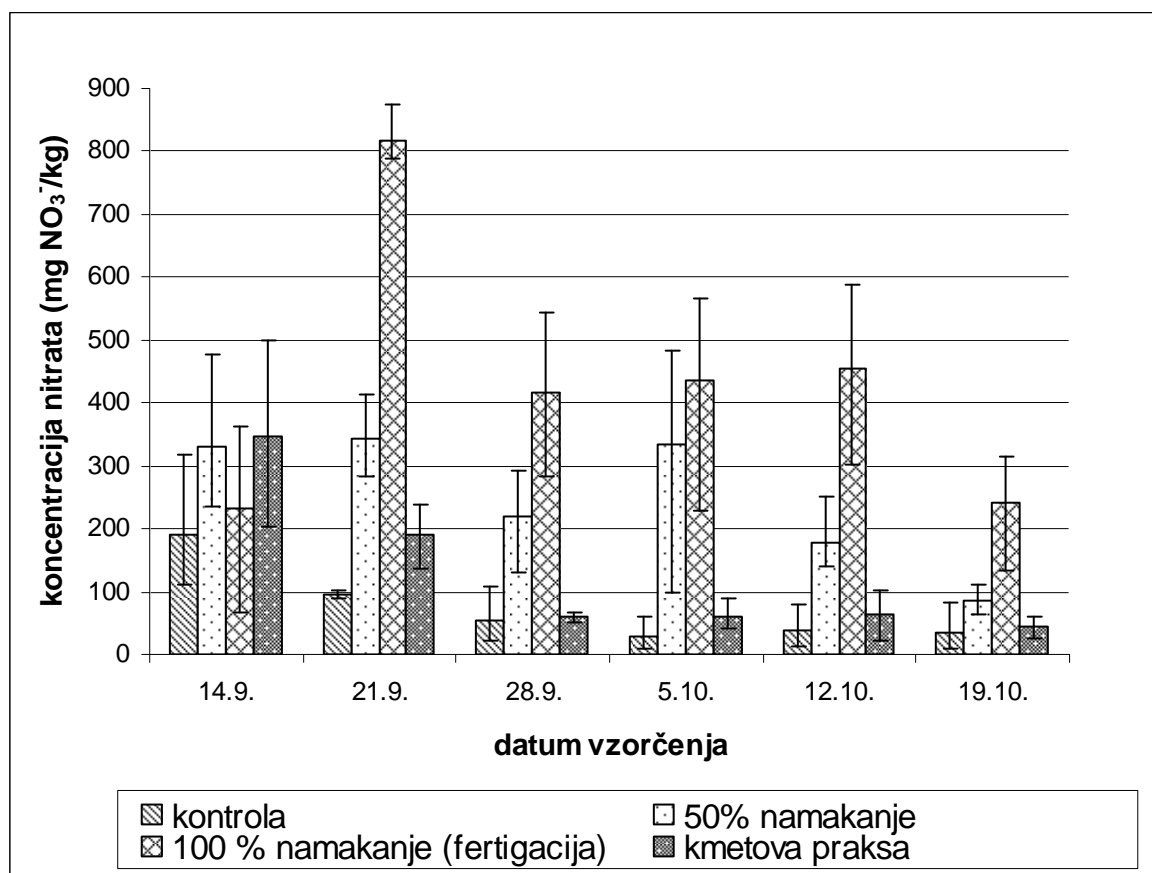
Iz slike 3 na strani 19 je razvidno, da je bila največja povprečna koncentracija nitrata v svežem vzorcu rastlin endivije izmerjena dne 21.9. pri obravnavanju »fertigacija« in je znašala 818,4 mg/kg. Pri tem obravnavanju je bila najnižja vrednost 233 mg/kg dne 14.9. Ostale koncentracije so se gibale od 240,7 mg/kg v zadnji meritvi dne 19.10. do 454,5 mg/kg dne 12.10.

Najmanjša vrednost nitrata v svežem vzorcu rastline je bila izmerjena pri kontrolnem obravnavanju dne 5.10. Koncentracija nitrata pri tej meritvi je bila 27,8 mg/kg. Tej vrednosti so se približale tudi koncentracije v meritvah 28.9., 12.10. in 19.10., ki so se gibale od 34,2 mg/kg do 54,2 mg/kg. Večje vrednosti smo dobili v prvih dveh meritvah dne 14.9. 191,6 mg/kg in 21.9. 94,5 mg/kg.

Pri obravnavanju »50 % namakanje« je bila največja vrednost nitrata v sveži snovi izmerjena dne 14.9. in 5.10., in sicer 332,1 in 333,3 mg/kg.

Pri obravnavanju »kmetova praksa« pa smo največjo koncentracijo nitrata v svežem vzorcu rastline izmerili 346,1 mg/kg, in sicer v prvi meritvi dne 14.9. Najmanjša vsebnost v tem obravnavanju je bila 45,1 mg/kg nitrata, določena dne 19.10. Vmesne koncentracije so dosegale vrednosti od 60,4 do 192,2 mg/kg (Slika 3).

Največja povprečna vrednost nitrata v svežem vzorcu rastline je bila med vsemi obravnavanji pri obravnavanju »fertigacija« in je znašala 433,2 mg  $\text{NO}_3^-$ /kg sveže mase. Najmanjša izmerjena povprečna vrednost nitrata v rastlini je bila pri kontrolnem obravnavanju in je znašala 73,2 mg  $\text{NO}_3^-$ /kg sveže mase. Pri obravnavanju »kmetova praksa« je bila povprečna izmerjena vrednost 128,1 mg  $\text{NO}_3^-$ /kg, pri obravnavanju »50 % namakanje« pa 248,8 mg  $\text{NO}_3^-$ /kg sveže mase.



Slika 3: Povprečna koncentracija nitrata v svežem vzorcu (mg/kg) listov endivije po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

#### 4.2.2 Nitrat v suhi snovi rastline

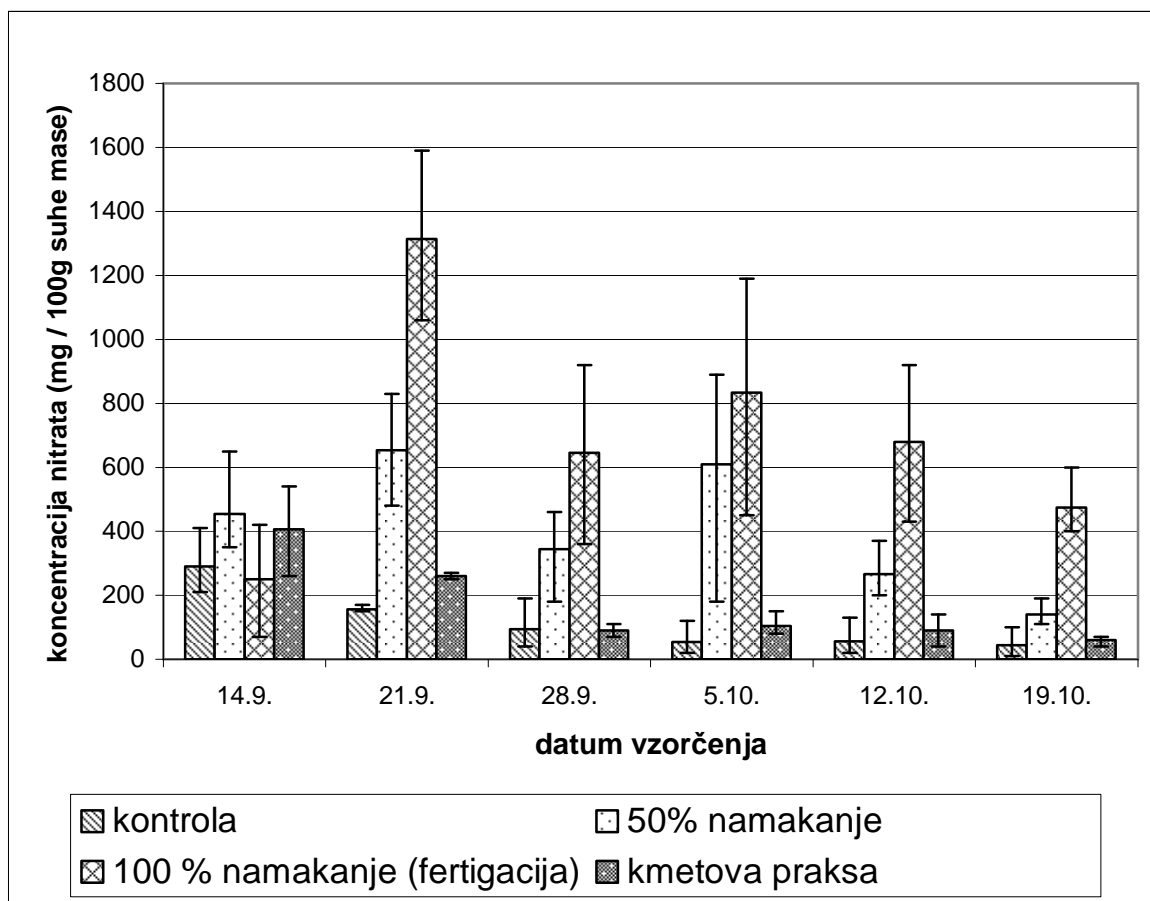
Iz slike 4 na strani 20 je razvidno, da je bila največja povprečna vsebnost nitrata v suhem vzorcu rastline izmerjena dne 21.9. pri obravnavanju »fertigacija« in je znašala 1313,3 mg/100 g suhe mase. Pri tem obravnavanju je bila najmanjša vrednost 250 mg/100 g suhe mase dne 14.9. Ostale koncentracije so se gibale od 473,3 mg/100 g suhe mase v zadnji meritvi dne 19.10. do 833,3 mg/100 g suhe mase dne 5.10.

Najmanjša vsebnost nitrata v suhem vzorcu rastline je bila izmerjena pri kontroli dne 19.10. Koncentracija nitrata pri tej meritvi je bila 43,3 mg/100 g suhe mase. Tej vrednosti so se približale tudi koncentracije v meritvah 5.10. in 12.10., ko sta bili vrednosti 53,3 in 56,7 mg/100 g suhe mase. Večje vrednosti smo dobili v prvih dveh meritvah: dne 14.9. je bila koncentracija nitrata 290 mg/100 g suhe mase in dne 21.9. 156,7 mg/100 g suhe mase.

Pri obravnavanju »50 % namakanje« smo največjo vsebnost nitrata v suhi snovi izmerili dne 21.9. in 5.10., in sicer 653,3 in 610 mg/100 g suhe mase.

Pri obravnavanju »kmetova praksa« pa smo največjo koncentracijo nitrata v suhi snovi rastline, ki je bila 406,7 mg/100 g suhe mase, izmerili v prvi meritvi dne 14.9. Najmanjša vrednost v tem obravnavanju je bila 60 mg/100 g suhe mase nitrata, izmerjena dne 19.10. Vmesne koncentracije so dosegale vrednosti od 90 do 260 mg/100 g suhe mase (Slika 4).

Največja povprečna vrednost nitrata v suhi snovi rastline je bila med vsemi obravnavanji pri obravnavanju »fertigacija« in je znašala 699,4 mg  $\text{NO}_3^-$ /100 g suhe mase. Najmanjša povprečna vrednost nitrata v rastlini je bila izmerjena pri kontroli, znašala je 115,6 mg  $\text{NO}_3^-$ /100 g suhe mase. Obravnavanje »kmetova praksa« je imelo povprečno vrednost nitrata v rastlini 168,3 mg  $\text{NO}_3^-$ /100 g suhe snovi. Obravnavanje »50 % namakanje« je imelo povprečno vrednost 411,1 mg  $\text{NO}_3^-$ /100 g suhe mase.



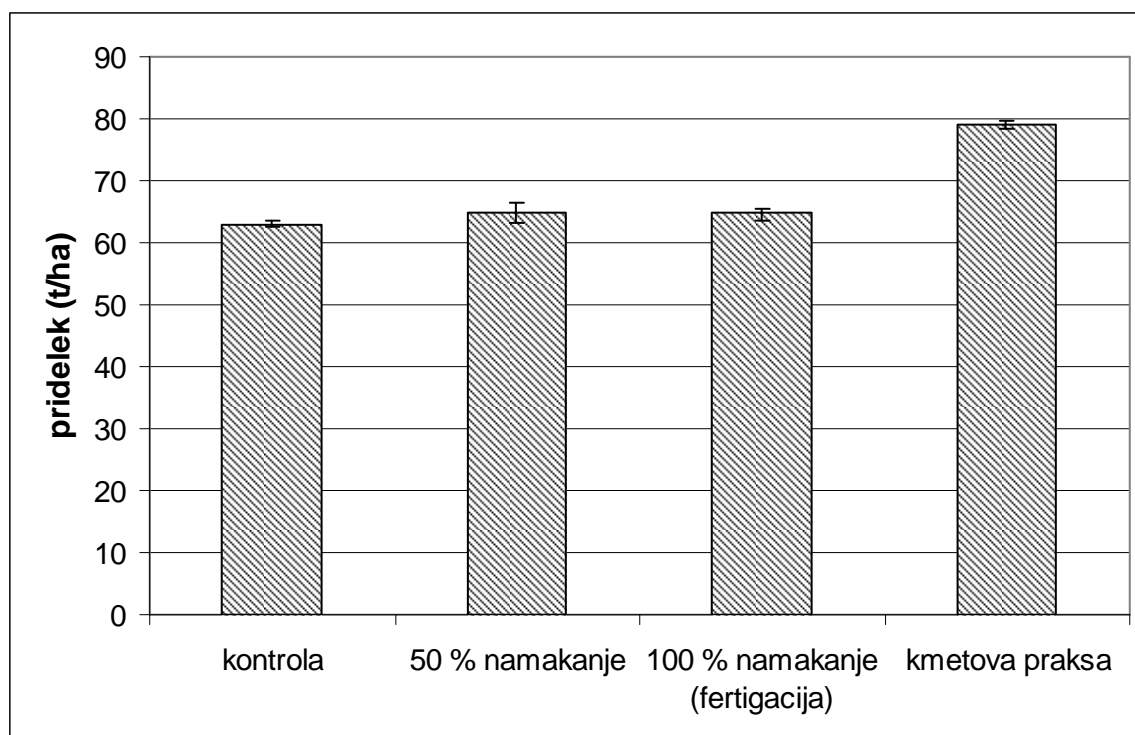
Slika 4: Povprečna koncentracija nitrata v suhi snovi rastline (mg/100 g) po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

Kljub temu da je bila tako v svežem vzorcu rastline kot v suhi snovi največja vsebnost nitrata izmerjena pri obravnavanju »fertigacija« (818,4 mg/kg sveže snovi in 699,4 mg/kg suhe mase), je bila v obeh primerih pod dovoljeno mejo vsebnosti nitrata v solatnicah. Dovoljena koncentracija nitrata v solatnicah, gojenih na prostem, je po določilih Evropske unije 2500 mg/kg sveže snovi (Official Journal, 1998, cit. po Demšar in sod., 2004). Najmanjša vsebnost nitrata je bila izmerjena pri kontrolnem obravnavanju, sledi mu obravnavanje »kmetova praksa«. Ta vrstni red velja tako pri meritvah nitrata v sveži masi rastline kot v suhi snovi. Ker so vrednosti izmerjene koncentracije nitrata v rastlini pri obravnavanju »fertigacija« še daleč pod dovoljeno mejno vrednostjo, je fertigacija poleg tega, da je okoljevarstveno najbolj primeren način, tudi v kakovosti pridelka pozitivna tehnika.

#### 4.3 KOLIČINA PRIDELKA

##### 4.3.1 Pridetek solate (*Lactuca sativa* L.)

Največji pridelek solate je bil pri obravnavanju »kmetova praksa« in je znašal 79 t/ha. Najmanjši je bil pri kontroli in znašal 63 t/ha. Pri obravnavanju »50 % namakanje« in obravnavanju »fertigacija« je bil povprečen pridelek obakrat 65 t/ha (Slika 5).

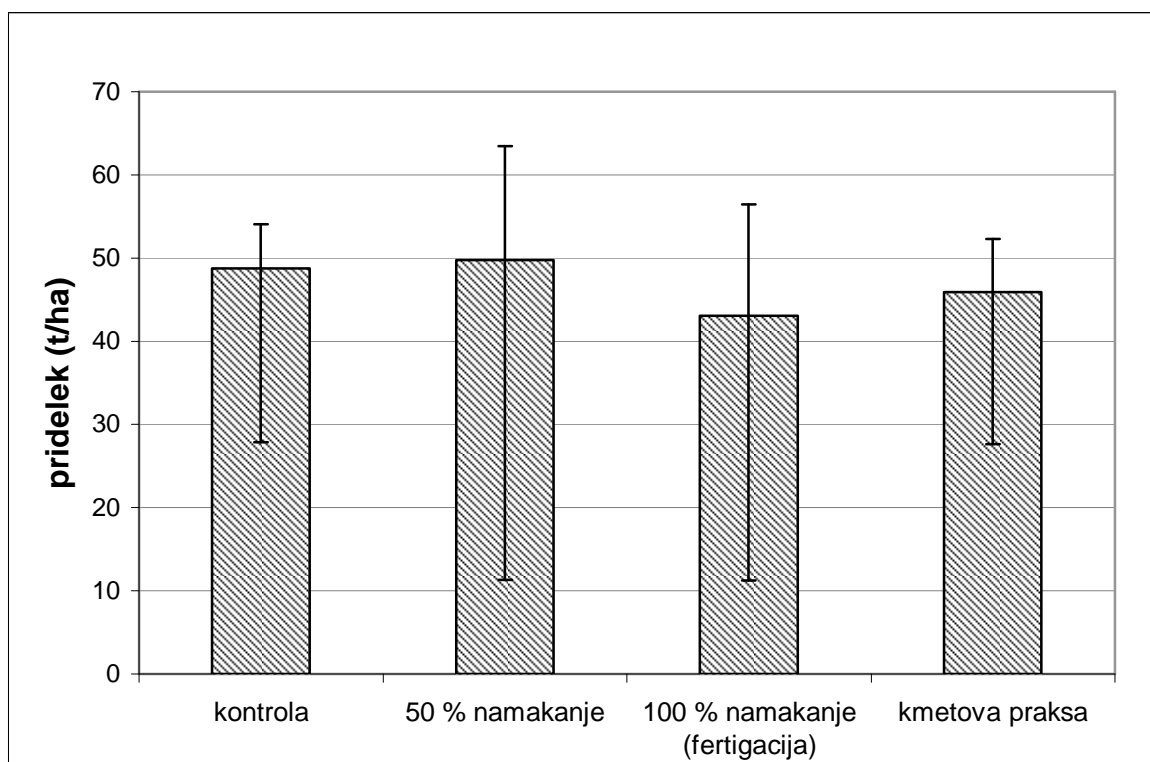


Slika 5: Povprečen pridelek solate (*Lactuca sativa* L.) v t/ha po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

Pridelek solate je bil največji pri obravnavanju »kmetova praksa« in najmanjši pri kontroli. Obravnavanji »50 % namakanje« in »100 % namakanje« se po pridelku med seboj ne razlikujeta.

#### 4.3.1 Pridelek endivije (*Cichorium endivia* L.)

Pridelek endivije se je razlikoval glede na uporabljene metode namakanja in gnojenja. Takoj po prvem fertigiranju se je zgodila neprijetnost, in sicer se je hranilna raztopina, ki je bila pripravljena v cisterni, naenkrat (v 2 do 3 dneh) razlila na parcele, kjer smo sicer izvajali fertigacijo. Tem parcelicam kasneje nismo več dodajali hranil, kar pa se je na koncu odrazilo tudi v majhnem (najmanjšem) pridelku. Največji pridelek so dale rastline, ki smo jih založno pognojili in nato kapljično namakali tako, da smo pokrili 50 % potrebe rastlin po vlagi (Slika 6).



Slika 6: Povprečen pridelek endivije (*Cichorium endivia* L.) v t/ha po posameznih obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

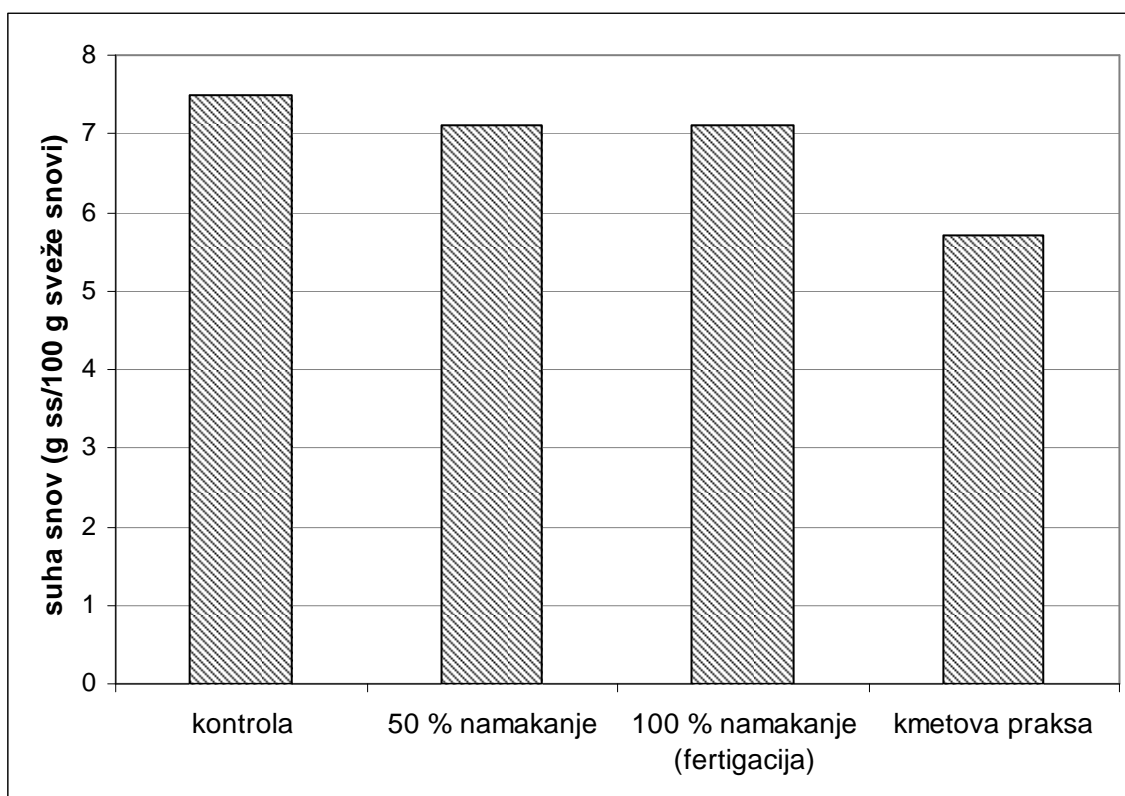
Pridelek endivije je bil največji pri obravnavanju »50 % namakanje« (49,8 t/ha), najmanjši pa pri obravnavanju »fertigacija« (43,1 t/ha), vendar je tu potrebno upoštevati, da so rezultati vprašljivi, ker se je hranilna raztopina naenkrat razlila na parcele, kjer smo sicer

izvajali fertigacijo. Pri obravnavanju »kmetova praksa« je bil pridelek 45,9 t/ha in pri kontroli 48,8 t/ha.

#### 4.4 SUHA SNOV

##### 4.4.1 Solata (*Lactuca sativa* L.)

Največja povprečna vrednost suhe snovi je bila pri kontroli in je znašala 7,5 g/100 g sveže snovi. Sledita ji obravnavanji »50 % namakanje« in »fertigacija«, obe sta imeli vsebnost suhe snovi 7,1 g/100 g sveže snovi. Najmanjša vrednost je bila pri obravnavanju »kmetova praksa« in je znašala 5,7 g/100 g sveže snovi (Slika 7).



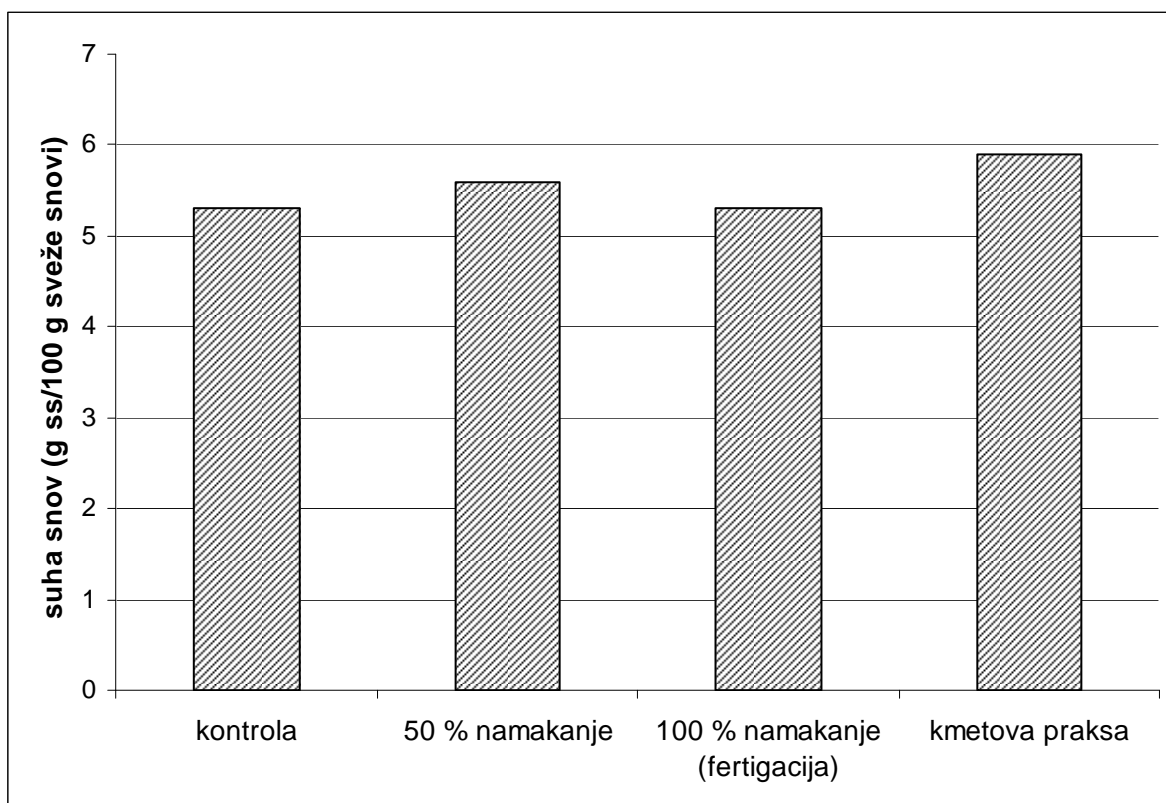
Slika 7: Povprečna vrednost suhe snovi (g/100 g sveže snovi) solate (*Lactuca sativa* L.) po obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

Najvišja povprečna vrednost suhe snovi pri solati je bila pri kontroli, najnižja pri obravnavanju »kmetova praksa«.



#### 4.4.2 Endivija (*Cichorium endivia* L.)

Pri kontroli je bila vsebnost suhe snovi 5,3 g/100 g sveže snovi, pri obravnavanju »50 % namakanje« 5,6 g/100 g sveže snovi, pri fertigacijskem obravnavanju 5,3 g/100 g sveže snovi in pri obravnavanju »kmetova praksa« 5,9 g/100 g sveže snovi (Slika 8).



Slika 8: Povprečna vrednost suhe snovi (g suhe snovi/100 g sveže snovi) endivije (*Cichorium endivia* L.) po obravnavanjih v poskusu v Sneberjah (N=3)

Pri suhi snovi endivije se povprečja po obravnavanjih niso veliko razlikovala.

## 5 SKLEP

Iz dobljenih rezultatov je razvidno, da smo z metodo fertigacije v poskusu dosegli najnižjo vsebnost nitrata v talni vodi (17,8 mg/l) v primerjavi z ostalimi obravnavanji, ki so dosegla naslednje vrednosti: 54,9 mg/l (»50 % namakanje«), 59,4 mg/l (»kmetova praksa«) in 38,9 mg/l (kontrola). Vsebnost nitrata v rastlinski masi je sicer pri fertigacijskem obravnavanju najvišja (433,2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg sveže mase in 699,4 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/100 g suhe snovi) glede na druga obravnavanja, vendar kljub temu še precej pod dovoljeno mejo, ki je 2500 mg/kg sveže mase. Ostala obravnavanja so si po vsebnosti nitrata v svežem vzorcu rastline sledila: 248,8 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg sveže mase (»50 % namakanje«), 128,1 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg sveže mase (»kmetova praksa«) in 73,2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg sveže mase (kontrola). Vsebnost nitrata v suhi snovi rastline si je za fertigacijskim obravnavanjem sledila z naslednjimi vrednostmi: 411,1 mg/100 g suhe snovi (»50 % namakanje«), 168,3 mg/100 g suhe snovi (»kmetova praksa«), 115,6 mg/100 g suhe snovi (kontrola). Pridelek solate pri fertigacijskem obravnavanju je bil primerljiv (65 t/ha) s pridelkom ostalih obravnavanj: 63 t/ha (kontrola), 65 t/ha (»50 % namakanje«), največji pridelek je bil 79 t/ha (»kmetova praksa«). Rezultati pridelka endivije so vprašljivi, ker se je zgodila napaka pri apliciranju gnojila na parcelo, kjer smo izvajali fertigacijo. Pridelek endivije je bil pri fertigacijskem obravnavanju najmanjši (43,1 t/ha), po vrednostih si sledijo: 45,9 t/ha (»kmetova praksa«), 48,8 t/ha (kontrola) in 49,8 t/ha (»50 % namakanje«).

## 6 POVZETEK

Glede na onesnaženost podtalnih vodnih virov so v kmetijstvu največja nevarnost velike količine nitrata v tleh in talni vodi. Namen raziskave je bil ugotoviti, ali je fertigacija kot gnojilna tehnika prava rešitev za zmanjšanje onesnaženosti podtalnice z nitrati, pri čemer naj bi bila kakovost in količina pridelka podobna, enaka ali boljša/večja glede na preostale v poskusu uporabljene tehnike gnojenja. Menimo, da ima fertigacija pred drugimi sistemi gnojenja predvsem prednost v enakomernem doziranju gnojil z natančno določeno količino in koncentracijo hranil. Tako je izkoriščenost gnojila večja, izpiranje hranil v podtalje pa manjše. Ob tem naj bi se povečala tudi količina in kakovost pridelka.

Ta naloga je rezultat prvega dela raziskave o učinkovitosti fertigacije na območju Ljubljanskega polja. Prikazani del raziskave je potekal v Sneberjah v rastni sezoni 2006. Poskus je bil sestavljen iz štirih obravnavanj, poimenovanih fertigacija, 50 % namakanje, kmetova praksa in kontrola. Iz odvzetih vzorcev so bile opravljene analize na nitrat v talni vodi in rastlini, ki so jih naredili na CPVO, in analiza količine in kakovosti pridelka, ki so bile opravljene na BF, Oddelku za agronomijo.

Za namen poskusa smo posadili solato (*Lactuca sativa* L.) sorte 'Salakis' in endivijo (*Cichorium endivia* L.) sorte 'Sardana'. Vsebnost nitrata v rastlini smo izmerili samo v endiviji. Vzorce rastlin endivije smo jemali en dan po izvedeni fertigaciji ali namakanju. Vzeli smo jih šestkrat, v času od 14. septembra do 19. oktobra 2006.

Sklep raziskave na podlagi rezultatov je, da smo z metodo fertigacije kot gnojilne tehnike dosegli nižjo vsebnost nitrata v talni vodi v primerjavi z drugimi gnojilnimi in namakalnimi praksami, njegova vsebnost v rastlinski masi pa najvišja glede na druge prakse, vendar kljub temu precej pod dovoljeno mejo. Količina pridelka je bila najmanjša pri kontroli in največja pri obravnavanju »kmetova praksa«. Fertigacijsko obravnavanje in obravnavanje »50 % namakanje« sta imela enako količino pridelka, ki je med kontrolo in »kmetovo prakso«. S tem je potrjen del delovne hipoteze, ki pravi, da je količina pridelkov pri fertigaciji enaka ali večja glede na preostala obravnavanja.

Fertigacija se je v pogledu varovanja okolja na poskusnem območju izkazala kot najučinkovitejša gnojilna tehnika glede na ostala poskusna obravnavanja. V poskusu se je to pokazalo kot najmanjša izmerjena koncentracija nitrata v talni vodi.

Upoštevati je potrebno, da je ta naloga rezultat prvega dela raziskave o učinkovitosti fertigacije na območju Ljubljanskega polja, ki se je nadaljevala z novo postavitvijo

poskusa v naslednji rastni sezoni. Tako je sama zase preozka za posploševanje rezultatov, ki bi lahko nakazali okolju prijaznejšo kmetovanje na tem delu Slovenije. Ob vsem tem je potrebno upoštevati še, da je ta raziskava narejena na omejenem območju z njegovimi lastnimi lastnostmi tal in lokalnih klimatskih razmer.

## 7 VIRI

- Demšar J., Osvald J., Vodnik D. 2004. The Effect of Light-dependent Application of Nitrate on the Growth of Aeroponically Grown Lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of American Society for Horticultural science, 129.4: 570-575
- Direktiva 91/676/EGS Sveta Evrope z dne 12. decembra 1991, o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. Ur. l. Evropskih skupnosti št. 375/1  
<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=172969:cs&lang=sl&list=195740:cs,172969:cs,&pos=2&page=1&nbl=2&pgs=10&hwords=&checktexte=checkbox&visu=#texte> (4. jan. 2010)
- Direktiva 98/83/ES Sveta Evrope z dne 3.11.1998 o kakovosti pitne vode, namenjene za prehrano ljudi. Ur. l. Evropskih skupnosti št. 330/32  
<http://eur-lex.europa.eu/Notice.do?val=226566:cs&lang=sl&list=248712:cs,234420:cs,234419:cs,226566:cs,&pos=4&page=1&nbl=4&pgs=10&hwords=&checktexte=checkbox&visu=#texte> (4. jan. 2010)
- Hagin J., Lowengart-Aycicegi A. 1999. Fertigation – state of the art. V: Meeting of the International Fertilizer Society, Brussels, 29th April 1999. Proceedings No. 429: 1-24
- Knapič M. 2003. Fertigacija. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 34 str.
- Krajnc M., Zupan M. 1996. Kako ohranjene so naše podtalnice. V: Dušik-naravovarstvena paradigma. Ljubljana, 28-29 mar. 1996. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje: 41-52
- Lah A. 1998. Voda – vodovje. Zbirka Usklajeno in sonaravno št. 2/1998. Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 63 str.
- Mahne I. 1996. Kroženje dušika: segmenti in posebnosti. V: Dušik-naravovarstvena paradigma. Ljubljana, 28-29. mar. 1996. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje: 19-25
- Megušar F. 1996. Globalni pogled na dušik. V: Dušik-naravovarstvena paradigma. Ljubljana, 28-29. mar. 1996. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje: 5-9

Montag U.J. 1999. Fertigation in Israel. IFA Agricultural conference on managing plant nutrition, Barcelona, 19.6.1999.

[http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/PDF/1999\\_biblio\\_20.pdf](http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/PDF/1999_biblio_20.pdf) (3. dec. 2006)

Nacionalni program za varstvo okolja. Ur. l. RS št. 83-3953/99

Navodilo za izvajanje dobre kmetijske prakse. Ur. l. RS št. 34-1555/00

Operativni program za varstvo voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijske proizvodnje za obdobje 2004-2008. Ur. l. RS št. 354-24/03

Osvald J. 2000. Osnove hortikulture: Splošno vrtnarstvo in zelenjadarstvo. Biotehniška fakulteta Ljubljana: 172 str.

Pravilnik o imisijskem monitoringu podzemne vode. Ur. l. RS št. 42-2015/02

Pravilnik o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda. Ur. l. RS št. 42-2014/02

Pravilnik o pitni vodi. Ur. l. RS št. 19-865/04

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o pitni vodi. Ur. l. št. 35-1550/04

Uredba o kakovosti podzemne vode. Ur. l. RS št. 11-463/02

Uredba o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (2000)

Uredba o kemijskem stanju površinskih voda (2002)

Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla. Ur. l. RS št. 35-2049/01 in Ur. l. RS št. 29-1248/04

Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla. Ur. l. RS št. 68-3721/96

Zakon o varstvu okolja. Ur. l. RS št. 41-1694/04

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se svoji mentorici prof. dr. Marini Pintar za pomoč pri izdelavi diplomske naloge, somentorici doc. dr. Nini Kacjan-Maršič za koristne nasvete in pomoč ter članici izr. prof. dr. Marijani Jakše za vsebinske komentarje za temeljitejši prikaz eksperimentalnega dela naloge.

Diplomsko delo je bilo del preostalih družinskih projektov, zato je tu posebno mesto in zahvala možu Urošu za podporo in hčerki Emi za potrpežljivost.

Zahvaljujem se Cvetki in Jožetu, tašči in tastu, za ljubečo podporo in pomoč, Cvetki ob tem še za skrbno lekturo diplomske naloge. Hvala Urošu Klausu za pomoč pri prevodu izvlečka diplomske naloge v angleški jezik in Brigiti Hrovatič za varstvo hčerke, kadarkoli je bilo potrebno kljub njenim trem otrokom in obveznostim.