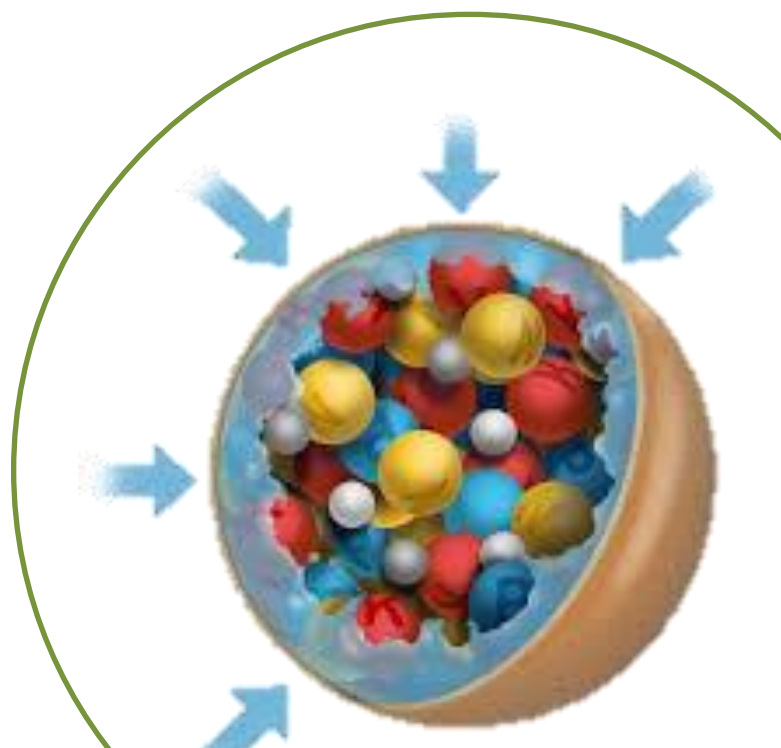


MEMBRANSKA DUŠIČNA GNOJILA, VEZALCI DUŠIKA IN ZMANJŠANA RABA HERBICIDOV



**Membranska dušična gnojila, vezalci dušika in
zmanjšana raba herbicidov**

**Anže Rovanšek
Robert Leskovšek**

Ljubljana 2021

Izdajatelj

KMETIJSKI INŠTITUT SLOVENIJE

Ljubljana, Hacquetova ulica 17

Membranska dušična gnojila, vezalci dušika in zmanjšana raba herbicidov

Avtorja: Anže Rovanšek, Robert Leskovšek

Publikacija je bila izdelana v okviru projekta EIP - »Okoljsko učinkovita kmetijska pridelava koruze in pšenice na vodovarstvenih območjih«

Publikacija bo izšla v elektronski obliki in bo objavljena na spletni strani Kmetijskega inštituta Slovenije [http:// www.kis.si/](http://www.kis.si/)

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

[COBISS.SI-ID](http://www.kis.si/) [88361731](http://www.kis.si/)

ISBN 978-961-6998-53-6 (PDF)

KAZALO VSEBINE

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	V
1 MEMBRANSKA DUŠIČNA GNOJILA IN VEZALCI DUŠIKA	1
2 OPREDELITEV POJMOV	2
2.1 GNOJILA S POČASNIM IN GNOJILA S KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM	2
2.2 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) NITRIFIKACIJE	2
2.3 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) UREAZE	2
3 RAZVOJ GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM	2
3.1 RAZVOJ ZAVIRALCEV NITRIFIKACIJE IN ZAVIRALCEV UREAZE	3
3.1.1 Inhibitorji (zaviralci) nitrifikacije	4
3.1.2 Inhibitorji (zaviralci) ureaze	4
4 ZNAČILNOSTI GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM	4
5 VRSTE GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM	6
5.1 KONDENZACIJSKI PRODUKTI SEČNINE IN ALDEHIDOV / PRODUKTI REAKCIJE Z DUŠIKOM	6
5.1.1 Urea-formaldehid (UF) – 38 % N	6
5.1.2 Izobutiliden diurea (IBDU®) – 32 % N	7
5.1.3 Ciklo diurea (CDU®) – 32.5 % N (Krotonildien diurea)	7
5.2 GNOJILA S KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM HRANIL – (Membranska gnojila)	7
5.2.1 Urea obložena z žveplom (SCU)	7
5.2.2 Urea obložena s polimerno žvepleno prevleko (PSCU)	8
5.2.3 Polimerna in membranska gnojila in s kontroliranim sproščanjem hranil	8
5.2.4 Mešanice membranskih gnojil in neobdelanih N, NP ali NPK gnojil	9
5.3 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) NITRIFIKACIJE	9
5.3.1 Diciandiamid (približno 67 % N)	11
5.3.2 DMPP – 3,4-dimetil-1H-pirazol fosfat	12
5.3.3 Nitrapirin - 2-kloro-6-(triklorometil) piridin in sorodni klorirani piridini	12
5.3.4 Amonijev tiosulfat (ATS)	13
5.3.5 1H-1,2,4-triazol	13
5.3.6 3-methylpyrazole (3-MP)	13
5.3.7 2-amino-4-kloro-6-metil-pirimidin (AM)	13
5.4 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) UREAZE	13
5.4.1 N- (n-butil) tiofosforjev triamid (NBPT)	14
5.4.2 Hidrokinon	15
5.4.3 Fenilfosforodiamidat (PPD / PPDA)	15

6	PREGLED RAZISKAV Z UPORABO MEMBRANSKIH GNOJIL	15
7	PREGLED DOSTOPNIH GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM NA DOMAČEM TRGU	17
8	INTEGRIRAN PRISTOP URAVNAVANJA PLEVELNE VEGETACIJE IN ZMANJŠEVANJE PORABE HERBICIDOV	18
8.1	UPORABA ZMANJŠANIH ODMERKOV HERBICIDOV	18
8.1.1	PREGLED RAZISKAV Z UPORABO ZMANJŠANIH ODMERKOV V KORUZI	20
8.1.2	PREGLED RAZISKAV Z UPORABO ZMANJŠANIH ODMERKOV HERBICIDOV V PŠENICI	21
8.2	RAZVOJ IN IMPLEMENTACIJA TRAJNOSTNIH PRIDELOVALNIH SISTEMOV	22
9	VIRI	23

KAZALO SLIK

Slika 1: Poenostavljena shema kroženja dušika v agro-eko sistemih (Prirejeno po: Zerulla, 2008).....	1
Slika 2: Koncept izboljšane učinkovitosti gnojenja: uporaba dušičnih gnojil v več obrokih (Prirejeno po: Zerulla 2005).....	5
Slika 3: Način delovanja membranskih gnojil s kontroliranim sproščanjem (Prirejeno po: Händel, 1997).....	9
Slika 4: Ključne biokemijske reakcije v povezavi z delovanjem inhibitorjev nitrifikacije in ureaze (prirejeno po Emeades, 2004).....	10

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primeri tujih raziskav z membranskimi in stabiliziranimi gnojili.....	16
--	----

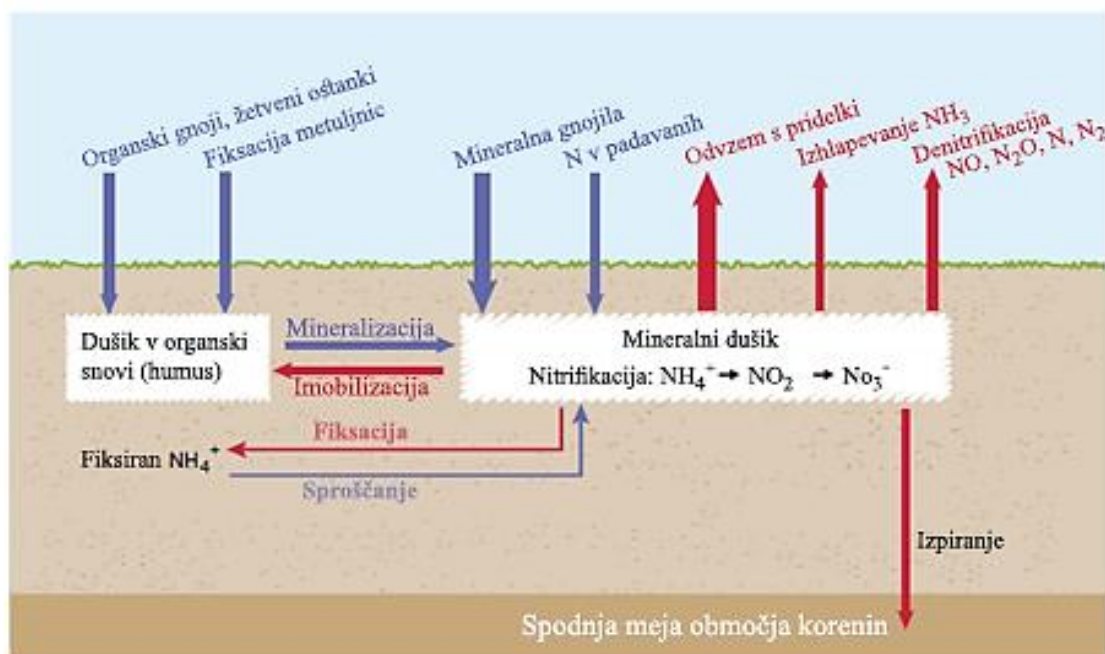
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

2-NPT	s triamid N- (2-nitrofenil) fosforne kisline
3-MP	3-metil pirazol
AM	2-amino-4-kloro-6-metil-pirimidin
ATS	amonijev tiosulfato
C	ogljik
Ca	kalcij
CDU	ciklo diurea
CH ₄	metan
CMP	1-karbamoil-3-metilpirazol
DCD	diciandiamid
DMPP	3,4-dimetil-1H-pirazol fosfat
EU	Evropska unija
FFS	fitofarmacevtsko sredstvo
H	vodik
IBDU	Izobutiliden diurea
K	kalij
KDG	kontrolirano delujoča gnojila
Mg	magnezij
N	dušik
NBPT	N- (n-butil) tiofosforjev triamid
NH ₄ ⁺	amonijski ion
NO ₂ ⁻	nitritni ion
NO ₃ ⁻	nitratni ion
P	fosfor
PDG	počasi delujoča gnojila
PPD / PPDA	fenilfosforodiamidat
PSCU	polimerna prevleka z žveplom obložene uree
S	žveplo
SCU	z žveplom obložena urea
TZ	1H-1,2,4-triazol
UAN	urea amonijev nitrat

1 MEMBRANSKA DUŠIČNA GNOJILA IN VEZALCI DUŠIKA

Dušik je najpomembnejši element v prehrani rastlin, saj je sestavni del beljakovin ter drugih enostavnih in kompleksnih organskih molekul. Pomanjkanje dušika se kaže v slabi rasti, svetlo rumeni barvi listov in manjših pridelkih. Rastline sprejemajo dušik v obliki nitratnega (NO_3^-) ali amonijevega iona (NH_4^+). Dušik v amonijski obliki je v tleh bolj obstojen, vendar predstavlja le prehodno obliko. Ker se dušik v amonijski obliki veže na talne delce, tako rastline kakor tudi sorptivni del tal tekmujejo za tovrstne ione (Xu in sod., 2012). Amonijska oblika dušika se v procesu nitrifikacije hitro spremeni v nitratno obliko NO_3^- , zato ga rastline v takšni obliki sprejemajo v manjših količinah (Podgoršek, 2011). Ob prisotnosti bakterij in zaradi intenzivne nitrifikacije v tleh, je nitrat prevladujoča oblika dušika, ki jo rastline sprejemajo. Nitrat je za razliko od amonija v tleh zelo mobilen in se pri določenih klimatskih pogojih ter strukturi tal spira v podtalnico (Amberger, 2006). Onesnaženost podtalnice z dušikovimi spojinami lahko z načrtovanim gnojenjem, s premišljeno izbiro gnojil in s pravilno načrtovanim kolobarjem ustrezno zmanjšamo.

Celotno kroženje dušika, še posebej pa njegov cikel v tleh je precej zapleten (Slika 1). Zaradi kompleksnosti tega procesa imamo sicer na voljo precej možnosti upravljanja z dušikom (dodajanje z organskimi in mineralnimi gnojili, pospeševanje mineralizacije z obdelavo). Po drugi strani pa nam vpliv zunanjih dejavnikov (tla, podnebje) in interakcije med različnimi procesi onemogočajo uporabo enotnih in enostavnih rešitev za optimalno oskrbo rastlin z dušikom. Osnova za razumevanje vloge in upravljanja z dušikom v kmetijstvu je potreba po uskladitvi zaloga dušika z zahtevami rastlin po njem (Robertson in Vitousek, 2009).



Slika 1: Poenostavljena shema kroženja dušika v agro-eko sistemih (Prirejeno po: Zerulla, 2008)

2 OPREDELITEV POJMOV

2.1 GNOJILA S POČASNIM IN GNOJILA S KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM

Mineralna gnojila v splošnem delimo na enostavna, ki vsebujejo samo eno hranilo in sestavljena, ki vsebujejo kombinacijo hranil. Bolj natančno jih lahko razdelimo glede na način sproščanja hranil. V literaturi se izrazi gnojila s počasnim sproščanjem hranil oz. počasno delujoča gnojila in gnojila s kontroliranim sproščanjem hranil oz. kontrolirano delujoča hranila pogosto mešajo. V praksi se izraz počasi delujoča gnojila (PDG) uporablja za gnojila, ki hranila sproščajo počasneje od hitro delujočih mineralnih hranil, vendar je hitrost sproščanja mogoče predvideti le teoretično. Raztapljanje mineralnih gnojil in hitrost sproščanja je namreč močno odvisna od klimatskih pogojev in talnih razmer. Kontrolirano delujoča gnojila (KDG), pa s svojimi lastnostmi omogočajo bolj natančno določanje dinamike sproščanja hranil, le-ta pa je tudi je manj odvisna od zunanjih dejavnikov (Trenkel, 2010).

2.2 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) NITRIFIKACIJE

Inhibitorji nitrifikacije v določenem časovnem obdobju (4-10 mesecev) zavirajo delovanje bakterij Nitrosomonas in s tem bakterijsko oksidacijo amonijevega iona (NH_4^+) v tleh. Te bakterije pretvarjajo amonijeve ione v nitrit (NO_2^-), ki se nato oksidira v nitrat. Namen uporabe inhibitorjev nitrifikacije je zadrževanje dušika v amonijski obliki. Na ta način se upočasni dinamika nitrifikacije in s tem izpiranje nitratnega dušika. (Edmeades, 2004).

2.3 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) UREAZE

Zaviralci ureaze v določenem časovnem obdobju preprečujejo ali zavirajo delovanje encima ureaze in s tem pretvorbe amida v amonijev hidroksid in amonij. Z upočasnjevanjem hitrosti hidrolize sečnine se zmanjšajo izgube amonijaka zaradi izhlapevanja (kot tudi nadaljnje izgube z izpiranjem nitrata). S tem se poveča učinkovitost izrabe dušikovih gnojil, ki vsebujejo sečnino in zmanjšajo neželeni učinki na okolje. (Trenkel 2010)

Pri uporabi izrazov stabilizatorji dušika, zaviralci nitrifikacije, zaviralci ureaze in stabilizirana dušikova gnojila prihaja do zamenjevanj, kar lahko vodi v zmedo. Strogo tehnično gledano so stabilizirana gnojila samo tista gnojila, katerim so med proizvodnjo dodani stabilizatorji dušika (zaviralci nitrifikacije ali zaviralci ureaze - snovi, ki so dodane gnojilu in s tem podaljšajo čas zadrževanja dušikove komponente v tleh v obliki sečnine oz. v amonijski obliki) (Trenkel, 2010).

3 RAZVOJ GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM

Upočasnitev sproščanja hranil iz gnojil se lahko doseže na različne načine. Najpogostejša metoda je obdajanje klasičnih hitro topnih gnojil v nevodotopen, delno prepusten ali neprepusten sloj s porami oz. membrano. S tem se nadzoruje prodiranje vode in stopnja raztapljanja hranil oz. njihova difuzija v talno raztopino, kjer se v idealnem primeru sinhronizira s potrebami rastlin. (Shaviv in sod. 2003).

Najpomembnejši materiali za obdajanje PDG so:

- Materiali, ki sproščajo hranila bodisi z mikrobnno razgradnjo slabo topnih spojine z zapleteno/visoko molekulsko maso kemijske strukture, npr. organsko dušične spojine z nizko topnostjo (npr. urea-formaldehid) ali kemično razgradljive spojine (npr. izobutilen-diurea) (Shaviv, 2000),
- Materiali, ki sproščajo hranila skozi fizično pregrado, npr. gnojila, prevlečena z anorganskim materialom, kot so žvepovi ali mineralni premazi in gnojila prevlečena z organskim polimerom,
- Materiali, ki sproščajo hranila vključena v matrico, ki je lahko tudi obdana v ovoju. Navadno gre za gele, ki pa se ne uporabljajo pogosto (Shaviv, 2000),
- Materiali, ki sproščajo hranila z zakasnitvijo zaradi majhnega razmerja med površino in prostornino (super-zrnca, briketi, tablete, konice, gnojilne paličice, itd.)

Drugi materiali, ki v širšem smislu delujejo s počasnim sproščanjem hranil:

- organske snovi, na primer žetveni ostanki, zeleni podor, gnoj, gnojevka, kompost, dehidrirano blato iz čistilnih naprav itd.
- organska ali organsko-mineralna gnojila, na primer mesna in kostna moka, ostružki usnja, itd.
- anorganske spojine, struvit - magnezijev amonijev fosfat ($MgNH_4PO_4$)

Veliko bolj zapleteni proizvodni procesi in visoki stroški premaznih materialov za proizvodnjo obloženih gnojil izključno s polimeri vplivajo na znatno višje stroške končnega izdelka v primerjavi s proizvodnjo konvencionalnih mineralnih gnojil. Zaradi visok cen gnojil s počasnim oz. kontroliranim sproščanjem hranil, se je njihova uporaba razširila predvsem v bolj donosnih panogah, kot so okrasno vrtnarstvo, vzgoja travne ruše za rekreacijsko rabo in zelenjadarstvo, kjer je njihova uporaba, zaradi višjih donosov oz. prihranka časa, ekonomsko bolj upravičena (Trenkel 2010).

3.1 RAZVOJ ZAVIRALCEV NITRIFIKACIJE IN ZAVIRALCEV UREAZE

Razvoj inhibitorjev nitrifikacije in ureaze je zelo dolgotrajen in drag proces, saj morajo ti izdelki izpolnjevati naslednje zahteve in značilnosti:

- Brez neželenih učinkov na rodovitnost tal
- V tleh se ne smejo razgraditi v toksične produkte
- Ne smejo biti strupeni za rastline, živali in ljudi
- Stabilnost med proizvodnjo, skladiščenjem, transportom in uporabo ter prilagojeni kompleksnim proizvodnim procesom proizvajalcev gnojil
- Ekonomsko in okoljsko sprejemljivi
- V primeru zaviralcev ureaze, morajo biti združljive s sečnino in gnojili, ki vsebujejo sečnino
- Pred uporabo v kmetijstvu morajo skozi postopke registracije, ki lahko trajajo več let

Kljub vsem zahtevam in omejitvam, je bilo testiranih več tisoč kemičnih snovi z lastnostmi zaviranja procesov nitrifikacije in ureaze, vendar se jih je za agronomsko in okoljsko ustrezne izkazala le peščica (Trenkel, 2010).

3.1.1 Inhibitorji (zaviralci) nitrifikacije

V iskanju ustreznih zaviralcev nitrifikacije so bile izvedene obsežne raziskave, kjer se je izkazalo, da ima lastnosti zaviranja nitrifikacije veliko število kemikalij, med katerimi je tudi nekaj proizvodov za varstvo rastlin (Winley in San Clemente, 1971) in naravnih snovi v rastlinskih ostankih (Bremner in McCarty, 1993). Kasneje se je izkazalo, da večina teh snovi ne dosega agronomskih, ekonomskih in okoljskih zahtev. Večina ima prekratek čas delovanja, so fitotoksični ali povzročajo neželene učinke na okolje (Trenkel 2010). Obstaja veliko dušikovih spojin, ki imajo zelo zadovoljive lastnosti inhibicije nitrifikacije, pa niso nikoli zaživele v praktični in komercialni uporabi (McCarty, 1999; McCarty and Bremner, 1989). Enako velja tudi za določene žveplove spojine in derivate ureaze (Jung in Dressel, 1978).

3.1.2 Inhibitorji (zaviralci) ureaze

Kot talne zaviralce ureaze so testirali tisoče različnih snovi (KISS in Simihaian, 2002). Od mnogih testiranih spojin jih le nekaj izpolnjuje potrebne zahteve, da so nestrupene, učinkoviti pri nizkih koncentracijah, stabilni in združljivi z sečnino (trdna in v raztopini), razgradljivi v tleh in poceni. (Watson, 2000, 2005)

4 ZNAČILNOSTI GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM

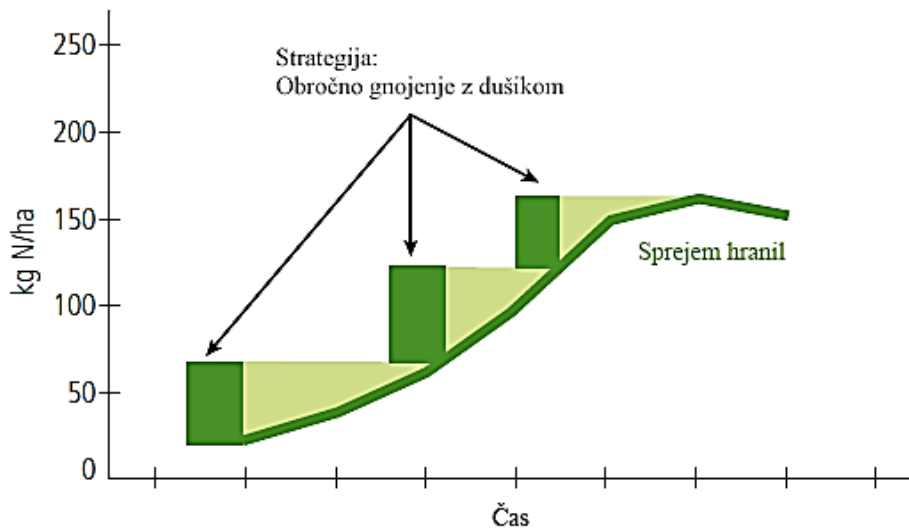
Med koreninami rastlin, mikroorganizmi v tleh, kemičnimi reakcijami in potmi za izgubo potekajo kompleksne interakcije oz. kompeticija, ki vpliva na razpoložljivost hranil v sistemu tal-rastlin. Večina pretvorbe hranil, ki poteka v tleh, je odvisna od njihove koncentracije. To pomeni, da vsaka oskrba s hranili, ki presega sposobnost rastlin za njihov privzem, lahko sproži procese, ki zmanjšajo koncentracijo dostopnih hranil v tleh. Takšni procesi vključujejo pretvorbe, ki jih povzročajo mikrobi (npr. nitrifikacija, denitrifikacija, imobilizacija), kemijske reakcije (npr. izmenjava, fiksacija, obarjanje, hidroliza) in fizikalne procese (npr. izpiranje, odtekanje, izhlapevanje) (Shaviv, 2000). Ju X. T. in sod. (2009) so potrdili, da se emisije dušika v okolje povečajo, ko vnosi gnojil presežejo optimalno stopnjo. Pri gojenju koruze, je največje izgube N povzročilo izpiranje nitratov.

Dobra praksa pri gnojenju bi morala tako časovno kot prostorsko zmanjšati presežno dobavo hranil, še posebej N. To bi povečalo učinkovitost uporabe hranil in zmanjšalo neugodne učinke na okolje. Vendar je treba opozoriti, da koreninski sistem večine poljščin v enem letu preraste samo 20-25 % razpoložljivega volumna tal. Posledično količina rastlinskih razpoložljivih hranil v tleh ni odvisna le od dinamike rasti in potrebe rastline po hranilih, ampak tudi od hitrosti dovajanja rastlinskih hranil v območje korenin (rizosfero) z masnim pretokom in difuzijo (Trenkel, 2010).

Uporaba konvencionalnih N gnojil, zlasti kadar se gnoji v samo enem obroku, vodi v prevelike količine hranil v zgodnjih fazah rasti in premalo v poznejših fazah. Pri sezonskih

pridelkih je krivulja privzema makro hranil na splošno sigmoidalna (v obliki črke S) (Bender, 2013). Za optimalno prehrano rastlin in zmanjšanje izgub hranil, bi moralo tudi gnojilo sproščati hranila v sigmoidalnem vzorcu (Slika 2).

Lammel (2005) trdi, da lahko sigmoidalni vzorec oskrbe s hranili dosežemo s tako imenovanim konceptom gnojenja z izboljšano učinkovitostjo, tj. uporabo N gnojila med razvojem rastlin v več deljenih aplikacijah oz. obrokih.



Slika 2: Koncept izboljšane učinkovitosti gnojenja: uporaba dušičnih gnojil v več obrokih (Prirejeno po: Zerulla 2005)

Nobenega dvoma ni, da lahko v sistemih intenzivnega kmetovanja (npr. v evropskih državah), z uporabo koncepta gnojenja z večjo učinkovitostjo, dosežemo zelo visoko učinkovitost uporabe hranil/dušika, s čimer se zmanjša tudi negativen vpliv na okolje. Stroški uporabe N na tak način, vključno z analizo rastlin za natančno odmerjanje gnojilnih obrokov, so lahko primerljivi ali celo nižji, kot pri uporabi gnojila s počasnim ali nadzorovanim sproščanjem ali gnojila stabilizirana z inhibitorji ureaze ali nitrifikacije. Vendar pa obstajajo nekatere pomanjkljivosti pri uporabi sistema obročnega gnojenja. Je delovno bolj intenziven, zahteva dodatne aplikacije in dodatne stroške energije, zmanjšuje prožnost delovne sile na kmetiji, je pretežno odvisen od vremenskih in terenskih pogojev in obstaja tveganje, da se zamudi okno priložnost za gnojenje (Grant, 2005).

Sinhronizacijo med oskrbo in rastlinskim privzemom hranil se lahko v praksi doseže z uporabo počasnih ali kontroliranih gnojil. Da bi našli optimalno gnojilo s počasnim ali nadzorovanim sproščanjem, je potrebno predvideti samo hitrost sproščanja hranil. Vzorec časovnega sproščanja iz prevlečenih gnojil sega od paraboličnega sproščanja (z ali brez "razpočenja") do linearnega sproščanja in sigmoidalnega sproščanja. Linearni in sigmoidalni vzorci sproščanja se bolje usklajujejo s potrebami rastlin po hranilih kot parabolično sproščanje (Shaviv, 2000).

5 VRSTE GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM

Glede na proizvodni proces sta najpomembnejši sledeči dve skupini gnojil s počasnim in nadzorovanim sproščanjem:

- kondenzacijski produkti sečnine in aldehydov (gnojila s počasnim sproščanjem),
- prevlečena ali kapsulirana gnojila (gnojila z nadzorovanim sproščanjem)

Super granule in druga gnojila so manj pomembna oz. se uporabljaj zgolj v določenih kmetijskih panogah in regijah.

5.1 KONDENZACIJSKI PRODUKTI SEČNINE IN ALDEHIDOV / PRODUKTI REAKCIJE Z DUŠIKOM

Med produkti dušikovih reakcij, ki so namenjeni predvsem za uporabo na profesionalnih travnatih površinah, v vrtcih, rastlinjaki, na travnikih in vrtovih ter pri urejanju krajine, so v praksi pridobile praktični pomen tri spojine (Shaviv, 2005):

- urea-formaldehid (UF),
- urea-izobutiraldehid / izobutiliden diurea (IBDU®) in
- urea-alcetaldehid / ciklo diurea (CDU®).

5.1.1 Urea-formaldehid (UF) – 38 % N

Prva skupina gnojil s počasnim sproščanjem hranil so bili izdelki razviti na osnovi UF. Že leta 1924 je Badische Anilin- & Soda-Fabrik (zdaj BASF) v Nemčiji, za izdelavo tovrstnih gnojil pridobilo prvi patent (BASF, 1965). V Združenih državah je bil leta 1947 UF patentiran kot gnojilo, njegova komercialna proizvodnja pa se je začela leta 1955. Trenutno se proizvaja več vrst UF gnojil proizvedenih v obliki trdnih snovi in tekočin, slednje pa so tako raztopine kot suspenzije v vodi (Goertz, 1993).

Urea-formaldehid nastane z reakcijo formaldehida s sečnino, pod nadzorovanimi pogoji, pH, temperaturo, molskim deležem, reakcijskim časom itd. Produkti reakcije so metilirani polimeri različnih dolžin, ki jih lahko razdelimo v 3 frakcije.

- Frakcija I: topna v hladni vodi (25 °C), ki vsebuje ostanke sečnine, metilen diureo (MDU), dimetilen triureo (DMTU) in druge topne reakcijske produkte.
- Frakcija II: topna v vroči vodi (HWS, 100 °C), ki vsebuje metilen ureo s srednje dolgimi verigami.
- Frakcija III: netopna v vroči vodi. Vsebuje metilen ureo z daljšimi verigami.

Sproščanje dušika iz UF gnojil poteka v več fazah (raztapljanje in razgradnja). Najprej se počasi sprosti določen delež N iz frakcije I. Temu sledi postopno sproščanje N v obdobju več (3-4) mesecev (frakcija II), ki je odvisno predvsem od sestave gnojila. Na hitrost sproščanja vplivajo tudi temperatura in vlažnost tal ter aktivnost talnih mikroorganizmov.

Na splošno sproščajo UF gnojila dušik počasi in so dobro združljiva s pridelavo večine rastlinskih kultur. Zaradi nizke topnosti ne povzročajo ožigov in ne poškodujejo kalečih rastlin. Ker so UF gnojila pri višjih temperaturah bolj učinkovita, se pogosteje uporablja v toplejših podnebjih.

5.1.2 Izobutiliden diurea (IBDU®) – 32 % N

Izobutiliden diure je kondenzacijski produkt reakcije izobutilaldehida s sečnino. V nasprotju s kondenzacijo sečnine s formaldehidom, kjer nastajajo polimeri različnih dolžin, je produkt reakcije sečnine z izobutilaldehidom en sam oligomer.

Mehanizem sproščanja deluje s postopno hidrolizo zmerno netopnega IBDU v sečnino, ki jo prvotno bakterije v tleh pretvorijo v amonijeve ione in nato v nitrat. Hitrost sproščanja dušika je odvisna od velikosti delcev (hitreje se sproščajo manjši delci), vlage, temperature in pH.

Pri rastlinah gojenih v rastlinjakih je bila ponekod ugotovljena fitotoksičnost. Glede na odziv stroke in z upoštevanjem varnostnih meril (z rezervo) se IBDU priporoča za gnojenje trate. Prednostno se uporablja pri nižjih temperaturah (Trenkel, 2010).

5.1.3 Ciklo diurea (CDU®) – 32.5 % N (Krotonildien diurea)

Ciklo diurea je bila prvič patentirana kot gnojilo s počasnim sproščanjem leta 1959. Podjetje Chisso je leta 1962 razvilo ekonomičen, neprekinjen industrijski postopek za proizvodnjo CDU iz acetaldehida in sečnine. V Nemčiji BASF uporablja krotonaldehid + sečnino. Molekula ima ciklično strukturo in nastane s kislinsko katalizirano reakcijo sečnine in acetaldehida. CDU se razgradi s hidrolizo in mikrobiološkimi procesi, v tleh na hitrost sproščanja vplivajo temperatura, vlaga in biološka aktivnost. Razgradnja je počasnejša od razgradnje IBDU, tudi v kisljih tleh. Tako kot pri IBDU, velikost delcev CDU-ja močno vpliva na hitrost sproščanja N. Običajno je formulirana v obliki granuliranih gnojil NPK. V Evropi se gnojila, ki vsebujejo CDU, uporabljajo izključno za lončnice (Trenkel, 2010).

5.2 GNOJILA S KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM HRANIL – (Membranska gnojila)

To so konvencionalna, hitro topna mineralna gnojila. Po granulaciji ali kristalizaciji se jih obda še z zaščitno, v vodi netopno prevleko (membrano) za nadzor prodiranja vode in s tem hitrosti raztapljanja in sproščanja hranil ter trajanja sproščanja. AAPFCO (1995) jih je opredelil kot “proizvode, ki vsebujejo vire vodotopnih hranil, katerih sproščanje v tla se nadzoruje s premazom, ki se nanaša na gnojilo“. Obstajajo tri glavne skupine membranskih gnojil, ki temeljijo na naslednjih premaznih materialih:

- žveplo
- žveplo s polimeri, vključno s polimernimi materiali iz voska
- polimerni/poliolefini materiali.

5.2.1 Urea obložena z žveplom (SCU)

Osnovni proizvodni proces za SCU so leta 1961 razvili v Tennessee Valley Authority, v Alabami. V skupini prevlečenih, počasi delujočih gnojil je SCU trenutno najpomembnejša. Žveplov premaz lahko prištevamo med neprepustne membrane, ki se počasi razgrajujejo z

mikrobnimi, kemičnimi in fizikalnimi procesi. Hitrost sproščanja in s tem koncentracija dušika se spreminja glede na debelino prevleke in glede na velikost granule, je pa odvisna tudi od čistosti uporabljene sečnine (El Sheltawi, 1982).

Trenkel (2010) omenja 4 pozitivne lastnosti kombinacije uree in žvepla:

- Urea vsebuje 46 % N in po nanosu žvepla delež N še vedno znaša 30-40 %;
- Dušik iz uree se izgublja z izpiranjem nitrata in izhlapevanjem amonijaka; s prekrivanjem sečninskih granul z neprepustno žvepleno membrano se takšne izgube znatno zmanjšajo;
- Žveplo se tali pri približno 156 °C;
- Žveplo je rastlinsko hranilo in gnojenje z njim postaja vse pomembnejša, ker okoljski predpisi zmanjšujejo emisije žvepla v ozračje in s tem depozicijo v tla.

Raztapljanje sečnine v tleh je posledica mikrobiološke in hidrolitične razgradnje zaščitne žveplove prevleke ter prisotnosti mikro por in pomanjkljivosti (razpok) v žveplenem ovoju. Znotraj ene serije navadno najdemo tri tipe premazov: poškodovane premaze z razpokami, poškodovane premaze z razpokami, zadelanimi z voskom, in popolne premaze. SCU gnojila lahko vsebujejo več kot eno tretjino zrn s poškodovano prevleko in približno tretjino popolnoma obloženih zrn, zato se lahko ena tretjina ali celo več sečnine spusti takoj po stiku z vodo, ena tretjina pa se lahko sprosti dolgo po tem, ko jo rastlina potrebuje (Shaviv, 2005).

5.2.2 Urea obložena s polimerno žvepleno prevleko (PSCU)

Nepravilnosti pri sproščanju hranil iz SCU so vodile v razvoj t.i. hibridnih ovojev z žveplom in tankim polimernim ovojem (termo-plastika ali smola). Taka gnojila vsebujejo približno 38,5 – 42 % N, 11 – 15 % S in manj kot 2 % polimernega ovoja. Kakovost gnojila, prevlečenega s polimeri, je tako združena z nižjimi stroški žveplovih premazov (Zhang in sod., 1994). Čeprav so izdelki s hibridnim premazom pokazali boljše karakteristike sproščanja kot SCU, se pri uporabi pojavljajo enake težave pri sproščanju hranil, kot pri uporabi SCU (Shaviv, 2005).

5.2.3 Polimerna in membranska gnojila in s kontroliranim sproščanjem hranil (Polymer-coated/encapsulated controlled-release fertilizers)

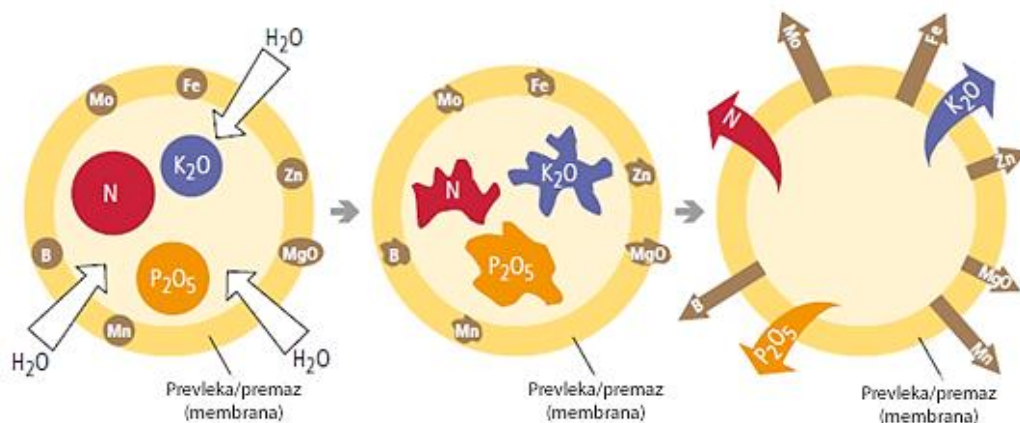
Standardna SCU in PSCU gnojila so imela na trgu več let popolno prevlado. Šele zaradi potreb hortikulture in vrtnarske proizvodnje, ki zahteva bolj natančno dinamiko sproščanja dušika, je bilo razvitih veliko novih gnojil z nadzorovanim sproščanjem z modificiranimi premazi (Fujita in Shoji, 1999; Fujita in sod., 1983; Shaviv, 2001, 2005; Thompson in Kelch, 1992).

Polimerni premazi so lahko polprepustne ali neprepustne membrane z drobnimi porami (Slika 3). Glavni težavi pri proizvodnji polimernih gnojil predstavljata izbira premaznega materiala in proizvodnega postopka (Fujita and Shoji, 1999; Goertz, 1993).

Sproščanje hranil skozi polimerno membrano ni bistveno odvisno od lastnosti tal, kot so pH, slanost, tekstura, mikroba aktivnost, redoks-potencial, ionska jakost raztopine v tleh, temveč

od temperature in prepustnosti vlage skozi prevleko. Tako je mogoče iz SCU in podobnih gnojil v določenem časovnem obdobju veliko bolj zanesljivo predvideti sproščanje hranil iz gnojil, prevlečenih s polimeri (Fujita in Shoji, 1999; Shaviv, 2005; Shoji in Gandeza, 1992).

Daljša kot je potreba po oskrbi s hranili, manjša je količina, ki se sprosti na časovno enoto. Proizvajalci navajajo obdobje sproščanja hranil, npr. 70, 140, do 400 dni sproščanja pri konstantnih 25 °C. Če pa membranska gnojila niso zgolj enostavna dušična, ampak sestavljena (zlasti kadar vsebujejo sekundarna hranila in mikrohranila), v splošnem hitrost sproščanja različnih hranil, N, P, K, S, Ca, Mg in mikrohranil, ni navedena. Zlasti za sekundarna in mikrohranila je namreč zelo težko natančno določiti mehanizem sproščanja (Trenkel, 2010).



Slika 3: Način delovanja membranskih gnojil s kontroliranim sproščanjem (Prirejeno po: Händel, 1997)

Pri zagotavljanju ustrezno dolge življenjske dobe sproščanja hranil iz membranskih gnojil ne sme priti do mehanskega uničenja kakor tudi ne kemične ali biološke razgradnje ovoja. Mikrobnost razgradnja ali mehansko uničenje prevleke oz. membrane se lahko zgodi šele po izčrpanju hranil v ovoju. Pri določenih gnojilih predstavlja težavo tudi dejstvo, da ima uporabljen sintetičnega material za premaz v tleh predolgo obstojnost (Trenkel, 2010).

5.2.4 Mešanice membranskih gnojil in neobdelanih N, NP ali NPK gnojil

Možnost kombiniranja prednosti nadzorovanega sproščanja hranil membranskih gnojil z nizkimi cenami konvencionalnih gnojil, se ponuja v mešanju obeh tipov (membranskega in neobdelanega) enakega gnojila v različnih razmerjih. Take mešanice se že pojavljajo na trgu, npr. v Nemčiji so leta 1996 registrirali NPK gnojilo (3 % N, 5 % P₂O₅, 5 % K₂O) v katerem je z membrano prevlečenih 50 % granul. Naslednje leto je bila registrirana tudi mešanica z 25 % membranskega tipa gnojila. Podobna gnojila se prodajajo tudi na Japonskem (Trenkel, 2010).

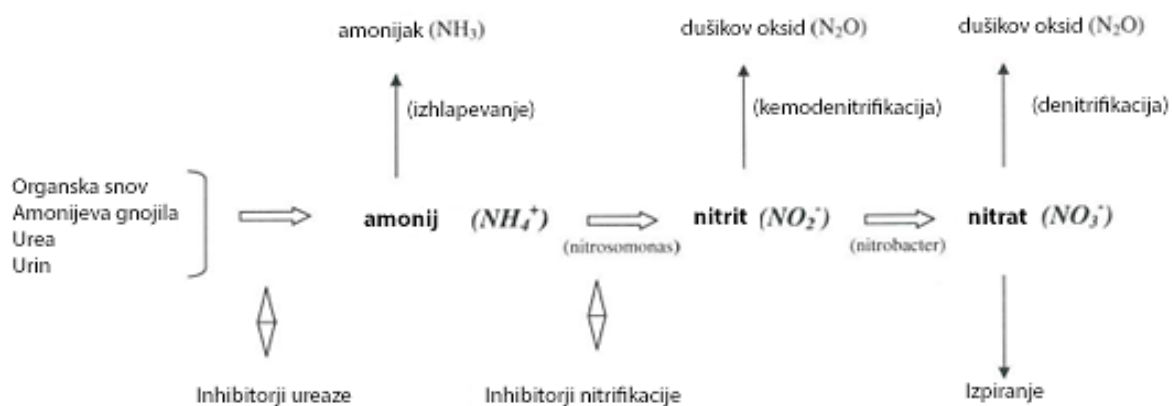
5.3 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) NITRIFIKACIJE

Dušik je eno izmed najpomembnejših hranil za rast rastlin in se ga v intenzivnem kmetijstvu dodaja z gnojenjem. Večina dušika v tleh (več kot 90 %) je vezanega v organski obliki, ki rastlinam ni neposredno dostopen. Samo majhen del je v anorganskih oblikah, kot je amonij (NH₄⁺) ali nitrat (NO₃⁻). Amonijev ion je pozitivno nabit in se dobro adsorbira na površini

delcev tal. Nitrat, ki ima negativen naboj je dobro topen in se na talne delce ne adsorbira, zato je nitrat zelo mobilen in nagnjen k izpiranju (Trenkel, 2010).

Amonij v tleh nastaja iz več virov: neposredno iz mineralizacije organskih snovi, dodajanja amonijevih gnojil in posredno s hidrolizo sečnine (Slika 4). Hidroliza sečnine v amonijak je običajno hitra (nekaj dni), vrši jo encim ureaza, ki je prisoten v talni mikrofavni. Hlapenje amonijaka v ozračje nastopi le pri visokem pH ($\text{pH} > 7,0$). Tako se lahko pojavi na alkalnih in drugih tleh, kjer se uporablja sečnina ali urin, saj proces hidrolize proizvaja alkalne razmere v neposredni bližini stika s tlemi (Edmeades, 2004).

Nitrifikacija je pretvorba amonijevega nitrata preko nitrita v nitrat s pomočjo mikroorganizmov v tleh. V tipičnih pogojih bakterije *Nitrosomonas* amonij oksidirajo najprej v nitrit (NO_2^-), ki ga bakterije *Nitrobacter* pretvorijo v nitrat (NO_3^-). (Edmeades, 2004; Amberger, 2006). Ob prekomernih količinah nitrata v tleh, ki močno presega potrebe rastlin, lahko prihaja do izpiranja le-tega. Dodatne izgube nastajajo pri procesu denitrifikacije oziroma tvorbe plina - dušikovega oksida. Zaradi denitrifikacije lahko znotraj sistema izgubimo tudi do 50 % rastlinam razpoložljivega dušika (Beeckman in sod. 2018).



Slika 4: Ključne biokemijske reakcije v povezavi z delovanjem inhibitorjev nitrifikacije in ureaze (prirejeno po Emeades, 2004)

Če so N gnojilom dodani inhibitorji nitrifikacije, le-ti zavirajo preoblikovanje amonija v nitrit z zadrževanjem ali z zaviranjem delovanja bakterij *Nitrosomonas* spp. (Sturm et al., 1994; Zacherl in Amberger, 1990). Amonijevi ioni bodo ostali adsorbirani na delce tal in zaščiteni pred izpiranjem, vendar so na voljo le za rastline, ki so sposobni prevzeti tudi amonijski N (Trenkel, 2010). Amonij, zadržan na glinenih mineralih z ionsko izmenjavo, je zmerno mobilen, mobilni nitrat pa se veliko lažje izpira iz tal (Amberger, 1993). Ker je izpiranje nitratov odvisno od njihove koncentracije v talni raztopini (Shaviv, 2005), dodajanje inhibitorja nitrifikacije N gnojilom zmanjša koncentracijo nitratov v talni raztopini in posledično zmanjša izpiranje nitratov in denitrifikacijske izgube.

Več raziskav je pokazalo, da uporaba inhibitorjev nitrifikacije ne zmanjšuje samo izpiranja nitratov in emisij dušikovega oksida, temveč zavira tudi emisije metana (CH_4) (Bronson in Moiser, 1994). Zmanjšane izgube N ne samo da varujejo okolje, temveč tudi povečujejo učinkovitost uporabe N, kar ima za posledico večje in stabilnejše pridelke pri manjših vnosih N.

Čeprav je bilo preizkušenih veliko število kemikalij, je zelo malo takih, ki se v praksi uporabljajo kot inhibitorji nitrifikacije (Kiss in Simihaian, 2002). Nitrapirin; dicianamid (DCD); 3,4-dimetil-1H-pirazol fosfat (DMPP); 1H-1,2,4-triazol (TZ); 3-metil pirazol (3-MP) in 2-amino-4-kloro-6-metil-pirimidin (AM) so glavne spojine, ki se trenutno uporabljajo v kmetijstvu. Nekatere druge spojine imajo omejeno uporabo izključno v določenih regijah (Trenkel 2010).

5.3.1 Dicianamid (približno 67 % N)

Dicianamid (DCD- $H_4C_2N_4$) ponuja več proizvajalcev iz Kitajske, Nemčije, Japonske in Norveške in se pridobiva iz kalcijevega cianamida (Trenkel 2010). Možnost njegove uporabe v kmetijstvu je bila testirana že leta 1917, vendar ne kot inhibitorja nitrifikacije, ampak kot dušično gnojilo, ki so ga primerjali z uporabo kalcijevega cianamida (Linter, 1917).

DCD se proizvaja v obliki belih ali brezbarvnih kristalov in ni hlapljiv. Je dobro topen v vodi in vsebuje vsaj 65 % dušika. Vključujejo ga lahko v trdna in tekoča gnojila kot tudi gnojila v suspenziji, ki bazirajo na amonijskem dušiku (Rajbanshi in sod., 1992).

Oralni letalni odmerek (LD₆₀) DCD pri podganah je > 10000 mg/kg, kar pomeni, da je praktično netoksičen. Dolgoročne študije so pokazale, da ni kancerogen, tudi Amesov test ni pokazal mutagenih lastnosti. Uradni inštitut za javno zdravje Zvezne republike Nemčije je potrdil, da DCD in njegovi ostanki za zdravje ne predstavljajo nobenih tveganj (Zerulla in sod. 2001). V tleh se DCD s pomočjo specifičnih encimov delno razgradi v sečnino pri tako abiotičnih in delno biotičnih kakor tudi pogojih (Amberger, 1989). Na bakterije *Nitrosomonas* ima DCD bakteriostatičen učinek. Tudi po večkratnih aplikacijah bakterij ne uniči, ampak samo zavira njihovo delovanje. Stabilizacija amonijevega-N v gnojilu lahko traja od 4-10 tednov, čas je odvisen od količine uporabljenega mineralnega N ter vlage in temperature tal. Slabost uporabe DCD predstavljajo velike količine, 5-10 % DCD-N od skupnega dušika, ki jih je potrebno dodati gnojilu (Wozniak, 1999). Za zmanjšanje potrebne količine DCD in ohranitev polne aktivnosti so razvili kombinacije DCD z drugimi inhibitorji nitrifikacije npr. 3-metil pirazol ali 1H-1,2,4-triazol (Weber in sod., 2004). Za nekatere se je izkazalo, da imajo sinergistični učinek (Michel et al., 2004).

Vrste gnojil, dopolnjene z DCD (Didin®) in novimi inhibitorji nitrifikacije, ki jih v Zahodni Evropi distribuira SKW Piesteritz so:

- Alzon® 46: 46 % skupnega N, urea z dodanima DCD in TZ;
- Alzon® liquid: Rastopina sečnine amonijevega nitrata z 28 % skupnega N, in dodatkom mešanice TZ in 3-MP;
- Alzon® liquid S: 24 % skupnega N in 3 % vodotopnega žvepla (S) ter dodatkom mešanice TZ in 3-MP;
- Piadin®: N stabilizator organskih gnojil, tekoča mešanica TZ in 3-MP. Lahko se neposredno primeša gnojilki pred raztrosom ali pa se lahko aplicira (tudi v kombinaciji s fitofarmaceutskimi sredstvi) tik pred raztrosom gnojilke ali na rastlinske ostanke (Trenkel 2010).

5.3.2 DMPP – 3,4-dimetil-1H-pirazol fosfat

DMPP je inhibitor nitrifikacije, ki ga je leta 1995 razvil BASF in ga od leta 1999 trži Compo pod blagovno znamko Entec®. V skladu z evropsko zakonodajo je DMPP razvrščen kot nova kemična snov in je bil predmet obsežnih toksikoloških in ekotoksikoloških preskusov (Zerulla et al., 2001a). Nobena od teh raziskav ni pokazala toksičnih in ekotoksičnih stranskih učinkov (Andreae, 1999; Roll, 1999).

DMPP se proizvaja kot bel do sivkast prah. Lahko se uporablja s trdnimi in tekočimi gnojili ali gnojevko. Za doseganje optimalne inhibicije nitrifikacije se uporablja v odmerkih od 0,5 do 1,5 kg/ha (Zerulla in sod., 2001a).

DMPP je bil preizkušen v kar 136 različnih poskusih v kmetijstvu in vrtnarstvu po vsej Evropi (Pasda in sod., 2001). Dušična gnojila z dodanim DMPP so znatno izboljšala izkoristek dušika. V številnih primerih je bil pridelek večji za 7 – 16 %, odvisno od preučevane poljščine oz. vrtnine (Zerulla in sod., 2001b). Pri enakih odmerkih gnojenja z dušikom, je dodatek DMPP povečal količino pridelka in izboljšal njihovo kakovost (Zerulla in sod., 2001a). Uporaba DMPP je pokazala tudi znatne prihranke pri vloženem delu, saj so dosegli enake pridelke z manjšim številom dognojevanj. Veliki odmerki dušika z dodatkom DMPP v začetni fazi rasti, ne spodbujajo prekomerne rasti, ki lahko negativno vplivajo na oskrbo rastline z vodo in hranili (Pasda in sod., 2001).

DMPP, ki ga distribuirajo pod tržnim imenom Entec® je vsebovan v mnogih gnojilih, kjer je dodano 0,8 % DMPP v razmerju s skupnim dušikom v gnojilu. Lahko se ga dodaja tudi gnojevki in sicer v količini 10 L/ha. Gnojila, ki vsebujejo Entec® vsebujejo manjši odstotek nitratnega dušika in večji odstotek amonijskega. Hitro dostopen nitratni dušik je na voljo na začetku rasti, medtem ko DMPP zavira prehitro nitrifikacijo in s tem prevelike izgube dušika po gnojenju (Trenkel, 2010).

5.3.3 Nitrapirin - 2-kloro-6-(triklorometil) piridin in sorodni klorirani piridini

Nitrapirin spada v skupino organskih klorovih spojin. Prvič je bil registriran leta 1974 in je bil prvi inhibitor nitrifikacije, ki ga je odobrila Agencija za varstvo okolja (EPA) (Harrell, 1995 cit. po Trenkel, 2010). Za Nitrapirin je značilno zelo selektivno delovanje na bakterije Nitrosomonas, vendar ima v nasprotju z DCD in CMP tudi bakteriocidni učinek. Nitrapirin namreč ne deluje samo zaviralno na aktivnost bakterij Nitrosomonas, ampak je del populacije teh bakterij v tleh ob uporabi tega pripravka uničen (Sturm in sod., 1994).

Podjetje Dow Agro trži Nitrapirin pod imenom N-serve® in se večinoma uporablja v koruzi, njegova uporaba pa je dovoljena tudi v sirku in ozimni pšenici (Franzen, 2017). Peroralna toksičnost (LD50) z N-Serve 24® je pri podganjih samicah 2140 mg/kg.

V tleh in rastlinah se nitrapirin hitro razgradi. V toplih tleh je razkroj običajno končan v 30 dneh ali manj, v hladnih tleh pa je nitrapirin zelo obstojen, kar zagotavlja učinkovito delovanje pri jesenskem oz. zimskem gnojenju. Kadar se doda v topla tla je zaviralni učinek nitrifikacije merljiv 6 do 8 tednov, v hladnih tleh pa se aktivnost podaljša in traja tudi do 30 tednov (Trenkel 2010).

Nitrapirin se lahko doda kateremu koli amonijevemu gnojilu, kot so amonijev sulfat, raztopine amonijevega nitrata, urea, UAN, brezvodni amoniak in tudi živalska gnojila (gnojevka). Zaradi visokega parnega tlaka je tehnično vključevanje nitrapirina v običajna N gnojila precej težavno.

Ne glede na vrsto gnojila, ki vsebuje amonij v kombinaciji z N-Serve®, je treba gnojilni material zadelati v pasu ali območju v tleh na globini vsaj 5-10 cm, med oz. takoj po nanosu dušikovih gnojil. Priporočen odmerek je 1,4 do 5,6 L/ha (Frye in sod. 1981).

Na trgu se pojavljajo tudi novi izdelki, ki vsebujejo nitrapirin kot aktivno sestavino. Npr. Instinct™ je označen za spomladansko in jesensko uporabo z UAN in gnojevko. Proizvaja se v kapsulirani formulaciji, ki preprečuje izgube zaradi izhlapevanja nitrapirina do 10 dni po nanosu na tla. V tem času se lahko inkorporira mehansko ali z 10-15 mm dežja. (Schwab in Murdoch, 2010).

5.3.4 Amonijev tiosulfat (ATS)

Amonijev tiosulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ kot trdna snov vsebuje približno 19 % N in 43 % S. Običajno se kot gnojilo uporablja v vodni raztopini (60 %), ki vsebuje 12 % N in 26 % S. Je odličen vir žvepla za rastline. ATS tudi zavira nitrifikacijo in je bil leta 2000 uvrščen kot zaviralec nitrifikacije s strani AAPFCO. V glavnem se uporablja v kombinaciji z DCD, za zmanjševanje potrebne količine DCD (Trenkel, 2010).

5.3.5 1H-1,2,4-triazol

Glavna prednost triazola je pomemben sinergijski učinek z drugimi inhibitorji (Michel in sod., 2004). V praksi se triazol zato uporablja samo v kombinaciji z drugimi zaviralci nitrifikacije, kot sta DCD ali 3-MP. Z dodajanjem triazola, se lahko potrebna količina DCD bistveno zmanjša, nevarni stranski učinki 3-MP se lahko zmanjšajo, toleranca rastlin na triazol pa se lahko izboljša, če se uporablja z DCD.

5.3.6 3-methylpyrazole (3-MP)

Od poznih šestdesetih let 20. stoletja so CMP in njegov glavni metabolit 3-MP široko testirali v vzhodni Evropi in nekdanji Sovjetski zvezi, kjer se imenuje KMP. Kot pri nitrapirinu je bilo treba CMP vključiti v zemljo med ali takoj po nanosu. Očitno ta proizvod ni bil nikoli tržen in uporabljen v kmetijstvu. Izjema je zaviralec 3-MP, ki se uporablja v kombinaciji z drugimi inhibitorji nitrifikacije (npr. triazolom), dodanimi UAN (Wozniak in sod., 1999).

5.3.7 2-amino-4-kloro-6-metil-pirimidin (AM)

AM je zelo hlapna snov, topna tako v vodi kot tudi v brezvodnem amonijaku. Žal so bili opravljeni le omejeni terenski poskusi, da bi preverili njeno učinkovitost pri inhibiciji nitrifikacije (Trenkel, 2010).

5.4 INHIBITORJI (ZAVIRALCI) UREAZE

Urea je v svetovnem merilu najbolj uporabljano dušikovo gnojilo (Nutrien, 2019). Urea ni "optimalno gnojilo" v smislu prehrane rastlin z dušikom, v primerjavi s kalcijevim

amonijevim nitratom (KAN), amonijevim nitratom in drugimi, kot je amonijev sulfonitrat. Vendar pa ima številne prednosti pri stroških, rokovanju in uporabi. Vodilni položaj uree na svetovnem trgu N gnojil je predvsem posledica nizkih proizvodnih stroškov, visoke vsebnosti N (46 % N) in relativno nizkih stroškov povezanih s prevozom in skladiščenjem. Poleg tega ne povzroča nevarnosti požara in eksplozij. Primerna je za proizvodnjo sestavljenih gnojil in tudi za nanašanje v obliki granul, zrn, raztopin ali membranskih in stabiliziranih gnojil (Trenkel 2010).

Glavna pomanjkljivost uree kot N gnojila so velike izgube v obliki amonijaka (NH_3). Te v povprečju znašajo okrog 20 %, lahko pa dosežejo tudi do 44 % (Engel in sod. 2011). Na povečanje izgub najbolj vplivajo naslednji dejavniki (Bundy, 2001):

- Urea ni vdelana v tla v prvih 72 urah po na nanosu, z dežjem ali obdelavo
- Ostanek posevka na površini tal
- Visoke temperature
- Visok pH tal
- Nizka vsebnost gline in organskih snovi
- Nanos na vlažna tla, ki se nato posušijo

Čeprav lahko rastline ureo asimilirajo neposredno (Watson in Miller, 1996), se kmalu po nanosu večji del raztopi v talni vodi in se nato s pomočjo aktivnega bakterijskega encima ureaze hidrolizira. Aktivnost encima ureaze se poveča pri višjih temperaturah. Hidroliza je običajno končana v desetih dneh pri temperaturi 5 °C in v dveh dneh pri temperaturi 30 °C. (Amberger, 2006).

Uporaba inhibitorja ureaze z ureo oz. gnojilom, ki vsebuje ureo, za 7 do 14 dni prepreči ali upočasni pretvorbo amidnega v amonijski N. To je še posebej je koristno tam, kjer so izgube amoniaka zaradi uporabljene sečnine velike, kjer je ureo težko ali nemogoče vdelati v tla, kjer se urea ne izpere v tla zaradi suše in kjer se kmetuje z minimalno oz. ohranitveno obdelavo tal (no-till) z visoko vsebnostjo organske snovi (Watson, 2005). Inhibitorji ureaze delujejo tudi pri uporabi z gnojevko, urinom in gnojem (Varel in sod. 1999).

N- (n-butil) tiofosforjev triamid (NBPT), fenilfosforodiamidat (PPD / PPDA) in hidrokinon so verjetno najbolj temeljito preučevani inhibitorji ureaze (Kiss in Simihaian, 2002). Raziskave in praktična testiranja so bila izvedena tudi z N-(2-nitrofenil) triamidom fosforne kisline (2-NPT) in amonijevim tiosulfatom (ATS). Organofosforjeve spojine so strukturni analogi sečnine in so nekateri izmed najučinkovitejših zaviralcev aktivnosti ureaze, ki blokirajo aktivno mesto encima (Watson, 2005).

5.4.1 N- (n-butil) tiofosforjev triamid (NBPT)

NBPT je derivat tiofosfornih triamidov in je trenutno edini komercialni in praktično pomemben inhibitor ureaze v kmetijstvu. Podjetje IMB-Agrico je prvo, ki je tržilo NBPT in sicer v Združenih državah leta 1996, pod blagovno znamko Agrotain®. Agrotain je nevodna, tekoča formulacija NBPT. Lahko se vbrizga v staljeno ureo pred granulacijo, nanese na površino zrn, ali doda raztopini UAN (Trenkel, 2010).

Izkazalo se je, da uporaba NBPT ne povzroča okoljskih tveganj in ni nevaren za osebe, ki z njim rokujejo. Za končne uporabnike niso potrebni posebni previdnostni ukrepi ali opozorila,

čepprav je treba vedno upoštevati osnovne varnostne postopke za ravnanje z gnojili in njihovo uporabo. NBPT cilja na encim, ki obstaja neodvisno od organizmov v tleh in ni strupen za mikroorganizme (interni registracijski dokumenti Agrotain International).

NBPT se razgradi v osnovne elemente (N, P, S, C in H) in ni dokazov o nobenih dolgoročnih škodljivih vplivih na pridelavo trave s ponavljajočo uporabo uree, obdelane z NBPT, niti ni znakov, da bi se njegova učinkovitost zmanjšala, kadar bi se večkrat uporabljala na istih tleh (Watson in sod., 1998).

Rezultati 50 terenskih poskusov na terenu od leta 2002 do 2004 v Franciji, Nemčiji, Italiji, Španiji in Združenem kraljestvu na ozimni pšenici in koruzi so potrdili večjo učinkovitost uporabe N z dodanim NBPT. Optimalne koncentracije NBPT za največjo učinkovitost pri večini rastnih pogojev na različnih tleh in pridelkih v Evropi so med 0,04 % in 0,1 % NBPT (Basten in sod., 2005).

5.4.2 Hidrokinon

Hidrokinon (1,4 dihidroksibenzol) je znan kot inhibitor ureaze od leta 1933 (Quastel, 1933) in to je potrdil Conrad (1940). Pomanjkljivost hidrokinona je njegova očitna toksičnost, LD50 znaša 300 do 1.300 mg/kg telesne teže in njegova razvrstitev med mutagene in rakotvorne snovi. Druga pomanjkljivost je njegov negativen vpliv na kalivost semen. Hidrokinon je tudi občutljiv na svetlobo, kar je potrebno upoštevati pri tretiranju uree. Raziskave z ureo tretirano s hidrokinonom so dali mešane rezultate o pozitivnih vplivih na pridelek (Trenkel, 2010).

5.4.3 Fenilfosfordiamidat (PPD / PPDA)

S PPD je bilo opravljeno omejeno število raziskav in na trgu ni izdelkov, ki bi ga vsebovale (Trenkel, 2010).

6 PREGLED RAZISKAV Z UPORABO MEMBRANSKIH GNOJIL

V Sloveniji so raziskave opravljene z membranskimi in stabiliziranimi gnojili zelo redke, v povezavi z izpiranjem nitratov pa jih ni. Čeh in Čremožnik (2009, 2010) sta v poskusih dognojevanja hmelja z dušikom ugotovila, da se lahko z enkratnim polnim obrokom stabiliziranega dušikovega gnojila (Entec 26) z zaviralcem nitrifikacije DMPP, doseže enake pridelke kot pri treh obročnih gnojenjih z gnojilom KAN, s čimer se prihrani strošek in čas, ki ga je potrebno vložiti v večkratno obročno gnojenje. Čeh in sod. (2010) so v enak namen preizkusili tudi gnojili Siflor (PDG – urea formaldehid) in NovaTec premium (DMPP) in dobili enake rezultate kot z gnojilom Entec 26.

V tujini je bilo z membranskimi in stabiliziranimi gnojili oz. z zaviralci nitrifikacije in ureaze, opravljenih več raziskav. Primere informacije iz tujih raziskav smo zbrali in uredili v naslednji preglednici (Preglednica 1).

Preglednica 1: Primeri tujih raziskav z membranskimi in stabiliziranimi gnojili

Produkt	Način aplikacije	Kultura, tla, okolje,...	Povzetek rezultatov	Vir	Država
N-Lock (Nitrapirin)	Aplikacija 2,5 L/ha z gnojevko - jeseni ali spomladi	koruza, oljna ogrščica, ozimna pšenica in ozimni ječmen	5-20 % povečanje pridelkov. Boljše delovanje ob spomladanski aplikaciji	Papp, 2014	Nemčija
Nitrapirin	7 - letna študija, dodajanje nitrapirina pri jesenskem založnem gnojenju ali spomladanski aplikaciji dušika	koruza in soja	Dodatek nitrapirina pri jesenskem gnojenju z dušikom zmanjša izgube dušika zaradi izpiranja nitratov za 10 %.	Randall in Vetsch, 2003	Minesota (ZDA)
Nitrapirin	3 - letna študija – primerjava jesenskih in spomladanskih aplikacij dušika z in brez dodatka nitrapirina	koruza	Dodatki nitrapirina pri spomladanski aplikaciji nimajo vpliva, pri jesenski aplikaciji pomagajo pri zadrževanju dušika v tleh. V primeru obilnih padavin pozitivno vplivajo na pridelek v primerjavi z gnojenjem brez dodatka nitrapirina.	Randall in sod. 2013	Minesota (ZDA)
DMPP	Gnojenje z ureo ali urea + DMPP	koruza, mediteransko podnebje, peščena ilovica	Ni vpliva na pridelek. Na globini 1,4 m manj izpiranja nitratov pri dodatku DMPP.	Díez-López in sod. 2008	Španija
DMPP	urea, urea + DMPP, ASN, ASN + DMPP	PVC stolpci z zemljo - peščena ilovica in glinasta ilovica	Statistično značilno zmanjšanje izpiranja pri gnojilo + DMPP in boljše delovanje pri peščeni ilovici.	Shao-fu in sod., 2007	Kitajska
DCD	Granule DCD	pašnik	Zmanjšanje izpiranja nitrata za 21-56 % (odvisno od leta proučevanja), brez vpliva na produkcijo travinja.	Monaghan, 2009	Nova Zelandija

7 PREGLED DOSTOPNIH GNOJIL S POČASNIM IN KONTROLIRANIM SPROŠČANJEM NA DOMAČEM TRGU

Na slovenskem trgu so v ponudbi številna gnojila različnih proizvajalcev, ki se med seboj razlikujejo po obliki posameznih hranil in njihovi dostopnosti, pa tudi po kakovosti.

Gnojila, ki so dostopna na slovenskem trgu so:

- N GOOO gnojila, ki so sinonim za specializirano kmetovanje, kakovostno pridelavo in skrb za kmetijsko okolje. Nekatera izmed N GOOO gnojil vsebujejo tudi inhibitor nitrifikacije dicianamid (DCD) – npr. N GOOO NP 20-10 + 32SO₃. Glede na sestavo hranil pri nas ponujajo naslednje teh gnojil: N GOOO 26N + 44 SO₃, N GOOO 32N + 30SO₃, N GOOO 40N + 2M_GO + 0,1ZN + 5SO₃, NPK N-GOOO 15-5-25 + 9SO₃, NPK N-GOOO 14-6-16 + 3 % M_GO + 30 % SO₃ + 0,1 % B, N GOO NP 12-28-0, N GOO NK 18-0-24 + 20SO₃ in N GOOO NP 20-10 + 32SO₃
- Metilen urea – počasi delujoče gnojilo (Time life N)
- DMPP – inhibitor nitrifikacije, v NPK gnojilu 12+8+16 (+ 3Mg + 10S)
- ENTEC 26 – (DMPP, 3,4 – dimetilpirazol fosfat) - 26 % dušika v amonijski obliki, 13 % dodanega žvepla
- ENERGIKO 33,5N + 28SO₃ – počasi delujoče dušično gnojilo
- NEXUR® 46 – gnojilo z inhibitorjem ureaze N- (n-butil) tiofosforjev triamid (NBPT)
- ATS vsebuje amonijev tiosulfat, ki je uvrščen med zaviralce nitrifikacije.
- Gnojilo za trato Substral vsebuje ureo-formaldehid (UF), gnojilo s počasnim sproščanjem
- COMPO gnojilo za trato FLORANID® vsebuje izobutiliden diureo (3,5 % N), gnojilo s počasnim sproščanjem

8 INTEGRIRAN PRISTOP URAVNAVANJA PLEVELNE VEGETACIJE IN ZMANJŠEVANJE PORABE HERBICIDOV

Ustrezno uravnavanje plevelne vegetacije je eden najpomembnejših tehnoloških ukrepov varstva rastlin za ohranjanje visokih in kakovostnih pridelkov v kmetijstvu. V konvencionalni pridelavi zatiranje plevela večinoma temelji na uporabi sintetičnih kemičnih sredstev. Slovenija se je v okviru obvladovanja rastlinskih bolezni, škodljivcev in plevela v skladu z evropsko direktivo o trajnostni rabi fitofarmaceutskih sredstev (2009/128/ES) zavezala, da bo skrbela za racionalno rabo in zmanjševanje tveganj in vplivov rabe FFS na zdravje ljudi in okolje (površinske in podtalne vodne vire, zemljo, zrak, neciljne organizme). Direktiva o trajnostni rabi FFS je prenesena v slovensko zakonodajo z Zakonom o fitofarmaceutskih sredstvih (UL RS, št 83/12), splošni principi integriranega varstva rastlin pa bolj podrobno s Pravilnikom o integriranem varstvu rastlin (UL RS, št. 43/14).

Za razvoj bolj trajnostnih pridelovalnih sistemov je eden izmed pomembnih ukrepov nacionalnega akcijskega programa (NAP) v obdobju 2012-2022 spodbujanje kmetijskih praks z zmanjšano porabo FFS. Skladno s cilji NAP in doseganja bolj trajnostne rabe FFS se v zadnjem obdobju uporaba herbicidov vse bolj nadomešča z nekemijski načini zatiranja plevelov, med herbicidi pa uporabljamo manj obstojne, okolju prijaznejše pripravke, ki jih uporabljamo usmerjeno, glede na plevelno stanje na posamezni njivi. Takšen pristop k uravnavanju plevelne vegetacije imenujemo integrirano varstvo pred pleveli (angleško-IWM in slovensko-IVP), to je uporabo različnih ukrepov, ki se medsebojno dopolnjujejo z namenom varstva pred pleveli, Cilj pri tem naj ne bi bil popolna eradikacija plevela, temveč uravnavanje plevelne vegetacije z namenom preprečitve gospodarske škode. Pri tem IVP ne pomeni izključitve herbicidov iz varstva pred pleveli, temveč prizadevanje za njihovo manjšo ter varnejšo uporabo, vendar brez vpliva na zmanjšanje pridelka. Integriran pristop uravnavanja plevelne vegetacije je multidisciplinarni pristop, ki ni odvisen od posameznega ukrepa za zatiranje plevela, vendar združuje različne pristope in strategije v usklajenem prizadevanju za omejitev vpliva plevela na rastlinsko pridelavo. Glavni postopki vključujejo poznavanje populacije plevela na polju, sajenje konkurenčnih posevkov, uporabo izboljšanih tehnoloških in gojitvenih ukrepov, spremljanje populacij enoletnih in trajnih plevelov v rednih časovnih intervalih, izbira ustreznih ukrepov uravnavanja plevelne populacije, ki vključujejo tako nekemične kot kemične postopke z izbiro ustreznih herbicidov ter njihovih odmerkov (Schweizer, 1988). Za splošno sprejetje tega pristopa je potrebno prakso zatiranja plevela v prihodnosti prilagoditi tako, da bodo v celoti izpolnjene ustrezne potrebe okolja, družbe in gospodarstva.

8.1 UPORABA ZMANJŠANIH ODMERKOV HERBICIDOV

V praksi se zmanjševanje uporabe FFS lahko doseže z nadomeščanjem FFS z mehanskimi ukrepi, z opuščanjem aplikacij FFS, kadar niso preseženi pragovi škodljivosti ali z zmanjševanjem odmerkov uporabljenega FFS ter kombiniranjem zmanjšanih odmerkov z mehanskimi ukrepi zatiranja plevelov ali drugimi organskimi dodatki, kot so npr. vodni izvlečki alelopatičnih rastlin.

Uporaba zmanjšanih odmerkov herbicidov je upravičena predvsem kadar:

- so prevladujoče vrste plevela v populaciji zelo občutljive na herbicid, kar pomeni, da bodo že zmanjšani odmerki zadoščali za doseganje maksimalne učinkovitosti,
- so pogoji v času aplikacije herbicida, kot so npr. faza rasti plevela, vigor posevka in okoljske razmere (temperatura, vlaga), spodbujajo optimalno delovanje herbicida in s tem omogočajo uporabo zmanjšanih odmerkov herbicidov,
- je zmanjšana učinkovitost delovanja na plevelno floro, ki je nižja od maksimalne, sprejemljiva in le-ta nima pomembnega vpliva na pridelek (Kudsk, 2014).

Pri uporabi zmanjšanih odmerkov je kljub temu potrebna previdnost, saj obstajajo dokazi, da se lahko pri nezadostni učinkovitosti herbicida in posledično preživetju plevelov skozi več generacij postopoma razvijejo populacije plevelnih vrst odpornih na uporabljen herbicid. Temeljna hipoteza pravi, da najmanj dovzetni posamezniki v populaciji preživijo uporabo zmanjšane odmerka, kar ob rekombinaciji povzroči postopno povečevanje odpornosti na herbicid znotraj populacije.

Do povečanega tveganja in s tem verjetnosti pojava odpornih posameznikov znotraj populacije pri uporabi zmanjšanih odmerkov prihaja le, kadar so te odločitve povezane s sprejemljivostjo že vnaprej predvidene manjše učinkovitosti delovanja takšnih pristopov. V primeru, da so prevladujoče plevelne vrste v populaciji zelo občutljive na herbicid in ga uporabimo v optimalnih razmerah, do povečanega tveganja nastanka odpornih vrst ne prihaja. Ta vidik v razpravah o povzročanju odpornosti plevelov zaradi uporabe zmanjšanih odmerkov, pogosto ostane spregledan. Velike populacije plevela povečujejo tveganje za pojav odpornih biotipov plevelov, ker se verjetnost, da so v populaciji prisotne odporne rastline, povečuje z velikostjo populacije. Preprečevanje velikih populacij plevela je prav tako eden izmed ključnih ciljev integriranega varstva pred pleveli. Tveganje za pojav odpornosti se dodatno zmanjša, kadar uporabo herbicida kombiniramo z nekemičnimi metodami zatiranja plevela (Buhler in sod., 1995).

Zmanjšani odmerki herbicidov se v Evropi uporabljajo že nekaj desetletij. Na Danskem je bila uporaba zmanjšanih odmerkov herbicidov v osemdesetih letih 20. stoletja prej pravilo kot izjema. Leta 1986 so kot prva EU država sprejeli državni akcijski načrt za 50 % zmanjšanje uporabe herbicidov. Temu zgledu so kmalu sledile še Nizozemska in Švedska. Akcijski načrti so spodbudili zanimanje za uporabo zmanjšanih odmerkov herbicidov, dejansko pa zanimanje danskih kmetov za uporabo manjših odmerkov herbicidov sega že v sedemdeseta leta prejšnjega stoletja (Kudsk, 2014).

Raziskave z zmanjšanimi odmerki herbicidov so večinoma usmerjene v oceno učinkovitosti takšnega pristopa z uporabo odmerkov, ki so nižji od priporočil proizvajalcev. Zmanjšani odmerki herbicidov so pogosto dovolj, da se plevelna populacija uravna pod pragom škodljivosti in so se v kombinaciji z mehanskim zatiranjem plevela že izkazali za učinkovit način zmanjšanja vnosa herbicidov v kmetijske sisteme (Hamill in Zhang, 1995a).

8.1.1 PREGLED RAZISKAV Z UPORABO ZMANJŠANIH ODMERKOV V KORUZI

Koruza je rastlina toplejših pridelovalnih območji, v zadnjem času pa se predvsem zaradi izkoriščanja v energetske namene, njena pridelava širi tudi v hladnejša področja. Veliko enoletnih plevelnih vrst je prilagojeno hladnejšim podnebnim razmeram in se v obdobju po setvi razvijejo precej hitreje od koruze. V kolikor želimo preprečiti večje izgube pridelka je v tem obdobju ključno ustrezno zatiranje plevela. Kritično obdobje za uravnavanje plevelne vegetacije pri koruzi traja do fenofaze razgrnjene štirinajstega lista oz. približno 45 dni po setvi (Hall in sod., 1992). V tem času koruza ustvari primeren sklop in zasenči večino površine tal. Talni herbicidi v polnih odmerkih v večini primerov dobro zatirajo vznik plevela skozi celotno kritično obdobje trajanja zapleveljenosti in v ugodnih razmerah še nekoliko dlje. Kadar se za varstvo pred pleveli uporabi zmanjšane odmerke talnega herbicida, se to obdobje ustrezno skrajša. Pleveli, ki kalijo po prenehanju rezidualnega delovanja herbicida se lahko ustrezno uravna z mehansko obdelavo in izbiro primernega posevka z visoko kompeticijsko sposobnostjo. Kadar talni herbicid ne zagotovi ustrezne stopnje učinkovitosti varstva pred enoletnimi pleveli (npr. zaradi pomanjkanja padavin), lahko pravočasna plitva obdelava z vrtavkasto brano poskrbi za zatiranje plevela v zgodnjem obdobju, dokler razrast koruze ne omogoči učinkovite medvrstne obdelave (Rabaey in Harvey, 1994).

Rezultati raziskave ki so jo izvedli Dogan in sod. (2005) so pokazali, da je mogoče strategijo zatiranja plevela z zmanjšanimi odmerki herbicidov uspešno uporabiti v koruzi, z upoštevanjem fenofaze in občutljivosti različnih vrst plevela na določeni lokaciji. Občutljivost plevela v fenofazi 2 do 4 listov je bila večja kot pri 5 do 8 listih. Pri plevelu v fazi 2 do 4 listov so s 30-40 % manjšimi odmerki herbicida dosegli do 90 % učinkovitost delovanja.

Polni odmerek herbicida (S-metolaklor), ki mu je sledil polovični odmerek, se je v raziskavi, ki so jo izvedli Hassan in sod. (2010) izkazal kot najboljši način za zatiranje plevela in doseganje optimalnih pridelkov v pridelavi koruze v Pakistanu.

Raziskave, izvedene na več lokacijah v Wisconsinu (ZDA) v obdobju 8 let niso pokazale zmanjšanja pridelka koruze ob uporabi zmanjšanih odmerkov herbicida v kombinaciji z mehansko medvrstno obdelavo (Buchholtz in Doersch, 1968). Enako so potrdili Buhler in sod. (1995), ki so s kombinacijo zmanjšanih odmerkov herbicida in medvrstne mehanske obdelave, v primerjavi s polnimi odmerki, uspešno uravnali plevelno vegetacijo in dosegli primerljive pridelke.

Mulder in Doll (1993) sta poročala o minimalnem tveganju izgube pridelka koruze zaradi nekoliko večje stopnje zapleveljenosti, ob uporabi 50-75 % manjših odmerkov herbicida skupaj z mehansko obdelavo.

Primerjava postopkov v raziskavi Zidariča in Leskovška (2015) z različnimi odmerki uporabe herbicida zgodaj po vzniku je pokazala, da ni bilo večjih razlik v učinkovitosti pri 100 in 75 % odmerku, so pa ugotovili nekoliko slabše delovanje pri uporabi le polovičnega odmerka. Na podlagi rezultatov, pridobljenih s poljskimi poskusi sklepajo, da lahko v razmerah zmerne zapleveljenosti učinkovito uravnavamo plevelno vegetacijo tudi z manjšimi odmerki preučevanega herbicida.

8.1.2 PREGLED RAZISKAV Z UPORABO ZMANJŠANIH ODMERKOV HERBICIDOV V PŠENICI

Pridelki pšenice pri uporabi znižanih odmerkov herbicidov (50 in 75 %) se v raziskavi Kaliqua in sod. (2011) niso razlikovali od tistih, ki so bili doseženi z uporabo priporočenih odmerkov. Ekonomska analiza je pokazala, da je bila najvišja mejna stopnja donosa zabeležena pri 50 % odmerku izbranega herbicida, kateremu je sledil 25 % odmerek. Zmanjšani odmerki herbicida so lahko učinkovito orodje za zmanjšanje vnosa herbicidov in znižanje proizvodnih stroškov v proizvodnji pšenice brez bistvenega vpliva na pridelek. Reza in sod. (2012) so v raziskavi ugotovili, da je v primerjavi s priporočenimi odmerki sulfonil sečninskih herbicidov, uporaba 80 % zmanjšanih odmerkov ni pokazala značilnih vplivov na pridelek pšenice.

Pri večini preučevanih kultivarjev pšenice uporaba 25 do 50 % zmanjšanih odmerkih herbicidov ni bistveno zmanjšala pridelka zrnja v primerjavi s priporočenimi odmerki (Travlos, 2011). Študija je pokazala, da lahko določene sorte pšenice z večjo konkurenčno sposobnostjo, izboljšajo učinkovitost delovanja manjših odmerkov herbicidov.

Rezultati preizkušanj zmanjšanih odmerkov herbicida v različnih koncentracijah škropilnih brozg so pokazali, da je rezultat zmanjšanih odmerkov herbicida, ki se preučuje, odvisen predvsem od prisotne plevelne vrste, pa tudi od zgodnosti uporabe, saj so pleveli v zgodnjem razvojnih fazah občutljivejši. Znotraj posameznih terminov aplikacije ni bilo ugotovljenih nobenih pomembnih razlik med vsemi kombinacijami odmerka/volumen brozge, kar kaže na možnost zmanjšanja odmerka. Ob kasnejšem terminu aplikacije, ko so pleveli bolj razviti, je bilo ugotovljeno, da je potrebno manjše odmerke herbicidov za uspešno delovanje uporabiti z manjšo količino vode oz. bolj koncentrirani škropilni brozgi (Barros in sod., 2007).

Nekatere študije nakazujejo, da direktna setev prispeva k zmanjšanju porabe herbicidov potrebnih za zadovoljiv učinka uravnavanja plevela v posevkih ozimnih žit v mediteranskih pogojih na dva načina. Prvi, o katerem je poročal Boström (1999), izhaja iz večje nosilnosti tal za mehanizacijo na neobdelanih tleh, kar omogoča zgodnjo uporabo herbicidov v obdobju obilnih padavin in je plevel v začetnih razvojnih stopnjah ter tako občutljivejši na herbicid. Drugi vidik pa se nanaša na vznik plevela na neobdelanih tleh. Stopnja naknadnega vznika plevela po prenehanju delovanja herbicida, je na neobdelanih tleh nižja, zaradi odsotnosti obračanja tal in s tem izpostavljanja plevelnega semena pogojem za kalitev (Barros in sod., 2007).

V prihodnosti bi se lahko uporaba zmanjšanih odmerkov herbicidov dopolnjevala tudi z uporabo alelopatskih sredstev. Afridi in Khan (2014) so v poljskih poskusih ugotovili, da so v primerjavi s priporočenimi odmerki, vodni izvlečki alelopatskih rastlin v kombinaciji z zmanjšanim odmerkom herbicidov, prav tako učinkoviti pri uravnavanju plevelne vegetacije. Dodatno so se v postopkih z manjšo rabo herbicidov izboljšali parametri, povezani z višino pridelka pšenice (število klaskov, dolžina klasa, masa 1000 zrn). Do podobnih zaključkov so prišli Khaliq in sod. (2012), ki so ob uporabi zmanjšane odmerka herbicida v kombinaciji z vodnimi izvlečki alelopatskih rastlin, dosegli enako učinkovitost in količino pridelkov, kot pri uporabi polnega odmerka herbicida. Ekonomska analiza Farooqa in sod. (2018) je pokazala

da lahko z 1/3 odmerka herbicida v kombinaciji z vodnimi izvlečki alelopatskih rastlin, v pridelavi pšenice, dosežemo ekonomsko učinkovitejšo pridelavo v primerjavi z uporabo priporočenih odmerkov herbicidov.

8.2 RAZVOJ IN IMPLEMENTACIJA TRAJNOSTNIH PRIDELOVALNIH SISTEMOV

Eden od najbolj izzivov sodobne kmetijske pridelave je na kakšen način doseči bolj trajnostno uravnavanje plevelne vegetacije, da se zagotovi varna in stabilna oskrba s hrano, krmo in biomateriali ob hkratnem zmanjševanju vpliva kmetijske pridelave na okolje. V sodobnih trajnostnih pridelovalnih sistemih cilj ni več popolna odstranitev plevela iz posevka ampak ustrezno uravnavanje plevelne vegetacije, da ostane le-ta na sprejemljivi ravni in ne povzroča izpada pridelka.

Zadovoljive rezultate uravnavanja plevelne vegetacije in s tem visokih pridelkov, je tako pogosto mogoče doseči z uporabo zmanjšanih odmerkov herbicidov. Pri tem je glavni cilj znižanje stroškov pridelave in zmanjšanje negativnih vplivov kemičnega zatiranja plevela na okolje, saj manjša poraba sintetičnih herbicidov zmanjšuje tveganja zaradi rabe herbicidov tako za okolje, kakor tudi neciljne organizme in ljudi.

Rezultati raziskav nakazujejo, da je mogoče v okviru integriranega pristopa uravnavanja plevelne vegetacije količino uporabljenih herbicidov v proizvodnji koruze in ozimne pšenice precej zmanjšati. Pri tem je potrebno pri posamezni gojeni rastlini upoštevati kritično obdobje zatiranja plevela in v poskusih ustrezno določiti potrebno višino odmerka posameznih herbicidov ali mešanic, ki bodo v različnih rastnih in okoljskih pogojih zagotavljali dovolj učinkovito raven uravnavanja plevelne vegetacije (Dogan in sod., 2005). V zadnjem obdobju je bil pri razvoju mehanizacije za mehansko zatiranje plevela opazen velik napredek tako v njihovi zmogljivosti, kakor tudi agronomski in stroškovni učinkovitosti. Uporabo zmanjšanih odmerkov je možno uspešno dopolnjevati z ustreznimi mehanskimi ukrepi in na ta način zmanjšati tveganja pri uporabi takšnih strategij, ki so povezana z zanesljivostjo v različnih okoljskih razmerah in morebitno izgubo pridelka. V prihodnosti bo potrebno več pozornosti usmeriti v razvoj in preizkušanje strategij manjše rabe herbicidov in mehanskih ukrepov zatiranja plevela. Dvig trajnostnega učinka pridelave ter ohranjanje biotske raznovrstnosti bo možno doseči le z spodbujanjem in uvajanjem ustreznih rešitev, ki jih bodo končni uporabniki v prihodnosti lahko uporabili na svojih kmetijskih gospodarstvih.

9 VIRI

- Afridi R. A., Khan M. A. 2014. Reduced herbicide doses in combination with allelopathic plant extracts suppress weeds in wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 46: 2077-2082
- Amberger A. 1989. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 20: 1933-1955.
- Amberger A. 1993. Efficient management of nitrogen fertilization in modern cropping systems. V: *Optimization of Plant Nutrition*. Fragoso M.A.C., van Beusichem M.L. (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands: 619-622
- Amberger A. 2006. *Soil Fertility and Plant Nutrition in the Tropics and Subtropics*. International Fertilizer Industry Association, Paris, France; International Potash Institute, Horgen, Switzerland.
- Barros F. C., Basch G., de Carvalho M. 2007. Effect of reduced doses of a post emergence herbicide to control grass and broad-leaved weeds in no-till wheat under Mediterranean conditions. *Crop Protection*, 26, 10: 1538-1545
- BASF 1965. *Die Landwirtschaftliche Versuchsstation Limburgerhof 1914-1964. 50 Jahre landwirtschaftliche Forschung in der BASF. (The Agricultural Research Station Limburgerhof 1914-1964. 50 Years of Agricultural Research in BASF)*. BASF Aktiengesellschaft, Limburgerhof, Nemčija
- Basten M., Brynildsen P., v. Belzen R. 2005. Stabilized urea for enhanced nitrogen use efficiency. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, Francija
- Beeckman F., Motte H., Beeckman T. 2018. Nitrification in agricultural soils: impact, actors and mitigation. *Current Opinion in Biotechnology*. Vol 50: 166-173
- Bender R. R., Haegerle J. W., Ruffo M. L., Below F. E. 2013. Modern corn hybrids' nutrient uptake patterns. *Better Crops*. 97,1: 7-10
- Boström U., Fogelfors H. 2002. Response of weeds and crop yield to herbicide dose decision-support guidelines. *Weed science*, 50: 186-195
- Bremner J.M, McCarty G.W. 1993. Inhibition of nitrification in soil by allelochemicals derived from plants and plant residues. *Soil Biochemistry*. Vol 8: 181-218,
- Bronson K.F. and Mosier A.R. 1994. Suppression of methane oxidation in aerobic soil by nitrogen fertilizers, nitrification inhibitors, and urease inhibitors. *Biology and Fertility of Soils* 17,4: 263-268
- Buchholtz K. P., Doersch R. E. 1968. Cultivation and herbicides for weed control in corn. *Weed Science*, 16: 232 -234
- Buhler D. D., Doll J. D., Proost R. T., Visocky M. R. 1995. Integrating Mechanical Weeding with Reduced Herbicide Use in Conservation Tillage Corn Production Systems. *Agronomy Journal*, 87: 507-512
- Bundy L.G. 2001. *Managing Urea-Containing Fertilizers*. 2001 Area Fertilizer Dealer Meetings, University of Wisconsin-Madison
- Conrad J.P. 1940. The nature of the catalyst causing the hydrolysis of urea in soils. *Soil Science* 50: 119-134
- Čeh B., Čremožnik B. 2009 Predstavitev poskusov na področju dognojevanja hmelja z dušikom v letu 2008. Zbornik 46. seminarja o hmeljarstvu z mednarodno udeležbo: 61-70

- Čeh B., Čremožnik B. 2010 Dognovanje hmelja z dušikom: izkušnje iz poskusov v letu 2009.
- Čeh B., Čremožnik B., Knapič M. 2010. Dinamika količine rastlinam dostopnega dušika v tleh glede na obliko dušikovega gnojila in vključevanje podsevkov pri hmelju (*Humulus lupulus* L.). *Novi izzivi v poljedelstvu* 2010: 56-63
- Díez-López J. A., Hernaiz-Algarra P., Arauzo-Sánchez M., Carrasco-Martín I. 2008. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2008 6,2: 294-303
- Dogan M. N., Boz O., Unay A. 2005. Efficacies of reduced herbicide rates for weed control in maize (*Zea mays* L.) during critical period. *Journal of Agronomy*, 4: 44-48
- Edmeades D.C. 2004. Nitrification and Urease Inhibitors – A Review of the National and International Literature on their Effects on Nitrate Leaching, Greenhouse Gas Emissions and Ammonia Volatilisation from Temperate Legume-Based Pastoral Systems. Hamilton, Nova Zelandija, Environment Waikato Technical Report 2004/22.
- El Sheltawi Sh.T. 1982. Recent trends in the production of sulfur-coated urea. Review. Proc. Arab Reg. Conf. Sulphur: Its Usages Arab World. Kuwait Inst. Sci. Res., Safat, Kuwait
- Engel R., Jones C. Wallander, R. 2011. Ammonia volatilization from urea and mitigation by NBPT following surface application to cold soils. *Soil Science Society of America Journal* 75, 6: 2348–2357
- Farooq O., Atique-ur-Rehman, Sarwar N., Hussain M. A., Wasaya A., Naeem M. S., Iqbal M., Khaliq A. 2018. Herbicidal potential of sorghum and brassica against the weeds of cotton. *Planta Daninha*, 36
- Franzen D.W. 2017. Nitrogen Extenders and Additives for Field Crops. SF-1581. North Dakota State University.
- Frye W.W., Blevins R.L., Murdock L.W., Wells K.L., Ellis J.H. 1981. Effectiveness of nitrapyrin with surface-applied fertilizer nitrogen in no-tillage corn. *Agronomy Journal* 73: 287-289.
- Fujita T., Shoji S. 1999. Kinds and properties of Meister fertilizers. In: Meister controlled release fertilizer – Properties and Utilization. Shoji, S. (ed). Konno Printing Company Ltd. Sendai, Japan: 13-34.
- Fujita T., Takahashi C., Ushioda T., Shimizu H. 1983. Coated granular fertilizer capable of controlling the effects of temperature upon dissolution-out rate. United States Patent, No. 4, 881,963
- Goertz H.M. 1993. Controlled Release Technology. V: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.7 Controlled Release Technology (Agricultural): 251-274
- Grant C. 2005. Policy aspects related to the use of enhanced-efficiency fertilizers: Viewpoint of the scientific community. IFA International Workshop on Enhanced- Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, Francija
- Hall, M. R., Swanton C. J., Anderson G. W. 1992. The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). *Weed Science*, 40: 441-447
- Harrell R.D. (Terra Nitrogen) 1995. Reply to the request nitrification/urease inhibitors. cit. po Trenkel, 2010. osebna komunikacija.
- Hassan G., Tanveer S., Khan N. U., Munir M. 2010. Integrating cultivars with reduced herbicide rates for weed management in maize. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 3: 1923-1929

- Ju X.T., Xing G.X., Chen X.P., Zhang S.L., Zhang L.J., Liu X.J., Cui Z.L., Yin B., Zhu Z.L., Zhang F.S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 106: 3041–3046.
- Jung J., Dressel J. 1978. Umsetzungsvorgänge und Inhibierungsmöglichkeiten bei Boden- und Düngerstickstoff. *Landwirtsch Forsch Sonderheft*.
- Khaliq A., Matloob A., Tanveer A., Areeb A., Aslam F., Abbas N. 2011. Reduced doses of a sulfonylurea herbicide for weed management in wheat fields of Punjab, Pakistan. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71: 424-429
- Khaliq A., Matloob A., Tanveer A., Khan M. B. 2012. Naturally occurring phytotoxins in allelopathic plants help reduce herbicide dose in wheat, *Natural Product Research*, 26, 12: 1156-1160
- Kiss S., Simihaian M. 2002. *Improving Efficiency of Urea Fertilizers by Inhibition of Soil Urease Activity*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nizozemska. 417 str.
- Kudsk P. 2014. Reduced herbicide rates: present and future. *Julius-Kühn-Archiv*, 443: 37-44
- Lammel J. 2005. Cost of the different options available to the farmers: Current situation and prospects. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, Francija
- Linter E. 1917. Calciumcyanamid und Dicyandiamid als Vegetationsfaktoren. *Albertus-Universität, Königsberg, Nemčija*. 64 str.
- McCarty G.W. 1999. Modes of action of nitrification inhibitors. *Biology and Fertility of Soils* 29: 1-9
- McCarty G.W., Bremner M.B. 1989. Inhibition of nitrification in soil by heterocyclic nitrogen compounds. *Fertiliser Research* 8: 204-211
- Michel H.J., Grabarse M, Niclas H.J. 2004. Nitrification inhibitor compositions – their synergistic effect and mode of action. 12th World Fertilizer Congress of CIEC, August 2001, Peking, Kitajska; Vol II: 1080-1087
- Monaghan R. M., Smith L. C., Ledgard S. F. 2009. The effectiveness of a granular formulation of dicyandiamide (DCD) in limiting nitrate leaching from a grazed dairy pasture, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 52:2, 145-159
- Mulder T., Doll J. 1993. Integrating reduced herbicide use with mechanical weeding in corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 7, 2: 382-389
- Nutrien. 2019. *Nutrien fact book*. Nutrien, Saskatoon, Kanada: 48 str.
- Papp Z. 2014. The role and impact of N-Lock (N-stabilizer) to the utilization of N in the main arable crops. *Acta Agraria Debreceniensis*. 62: 51-55.
- Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. 2001. The new nitrification inhibitor DMPP (ENTEC) – Effects on yield and quality of agricultural crops. V: *Plant Nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems*. W.J. Horst in sod. (eds.): 758-759
- Pike D. R., McGlamery M. D., Knake E. L. 1991. A case study of herbicide use. *Weed Technology*, 5: 639-646
- Podgoršek, J. 2011. Vpliv izbora gnojil na varovanje okolja. *Gospodarjenje z okoljem*. Ljubljana, 20, 79. 17-20.

- Pravilnik o integriranem varstvu rastlin pred škodljivimi organizmi, 2014. Uradni list RS, št. 43/14.
- Quastel J.H. 1933. The action of polyhydric phenols on urease; the influence of thiol compounds. *Biochemical Journal* 27: 1116-1122
- Rabaey T., Harvey R. 1994. Efficacy of corn (*Zea mays*) herbicides applied at reduced rates impregnated ind fertilizer. *Weed Technology*, 8, 4: 830-835
- Rajbanshi S.S., Benckiser G., Ottow J.C.G. 1992. Effects of concentration, incubation temperature and repeated applications on degradation kinetics of dicyandiamide (DCD). *Biology and Fertility of Soils* 13: 61-64
- Randall G. W., Schmitt M. A, Schmidt J. P. 1999. Corn Production as Affected by Time and Rate of Manure Application and Nitrapyrin. *J. Prod. Agric.* 12: 317-323
- Randall G. W., Vetsch J. A. 2005. Nitrate Losses in Subsurface Drainage from a Corn–Soybean Rotation as Affected by Fall and Spring Application of Nitrogen and Nitrapyrin. *J. Environ. Qual.* 34: 590-597
- Reza M., Sheikhhasan V., Mirshekari B., Farahvash F. 2012. Weed control in wheat fields by limited dose of post-emergence herbicides. *World Applied Sciences Journal*, 16 , 9: 1243-1246
- Robertson G. P., Vitousek P. M. 2009. Nitrogen in agriculture: Balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources* 34: 97–125
- Schwab G.J., Murdock L.W. 2010. Enhanced-Efficiency Nitrogen Fertilizer for Corn and Wheat Production. IFA International Conference on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Miami, International Fertilizer Industry Association, Paris, Francija.
- Schweizer, E. E. 1988. New technological developments to reduce groundwater contamination by herbicides. *Weed Technology*, 2: 223-227
- Shao-fu W., Liang-huan W., Qi-wei S., Zhong-qiang W., Xian-you C., Yong-shan L. 2007. Effects of a new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on nitrate and potassium leaching in two soils. *Journal of Environmental Sciences* 19,7: 841-847
- Shaviv A. 2001. Improvement of fertilizer efficiency – Product Processing, Positioning and Application Methods. *Proceedings 469*, International Fertiliser Society, York, UK. 23 str.
- Shaviv A. 2005. Environmental friendly nitrogen fertilization. *Science in China Series C Life Sciences* 48,2: 937-947
- Shaviv A., 2000. Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy* 71: 1-49
- Shaviv A., Smadar R., Zaidel E. 2003. Model of diffusion release from polymer coated granular fertilizers. *Environmental Science and Technology* 37: 2251-2256
- Shoji S., Gandeza A.T. 1992. Controlled release fertilizers with polyolefin resin coating. Kanno Printing Co. Ltd. Sendai, Japonska: 91 str.
- Sturm H., Buchner A., Zerulla W. 1994. Gezielter düngen. Integriert – wirtschaftlich – umweltgerecht. (Directed Fertilizer Use – Integrated – Economically – Environmentally sound). Verlags Union Agrar, DLG-Verlags- GmbH, Frankfurt am Main, Nemčija.
- Thompson H.E., Kelch, R.A. 1992. Encapsulated slow release fertilizers. United States Patent, No. US 5,089,041
- Travlos I. S. 2012. Reduced herbicide rates for an effective weed control in competitive wheat cultivars. *International Journal of Plant Production*, 6, 1: 1-13

- Trenkel M. E., 2010. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. 2. izdaja, Paris, Francija, IFA: 160 str.
- Varel V.H., Nienaber J.A., Freetly, H.C. 1999: Conservation in cattle feedlot waste with urease inhibitors. *Journal of Animal Science* 77, 5: 1162-1168
- Watson C.J. 2000. Urease activity and inhibition – principles and practice. *Proceedings* 454, International Fertiliser Society, York, UK. 40 str.
- Watson C.J. 2005. Urease inhibitors. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, Francija
- Watson C.J., Miller, H. 1996. Short-term effects of urea amended with the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide on perennial ryegrass. *Plant and Soil* 184: 33-45
- Watson C.J., Poland P., Allen M.D.B. 1998. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide for improving the efficiency of urea fertiliser utilisations on temperate grassland. *Grass and Forage Science* 53: 137-145
- Weber A., Gutser R., Michel H.J., Wozniak H., Chen G.X., Xu H., Niclas H.J. 2004. Dicyandiamide and 1H-1,2,4-Triazole – a new effective nitrification inhibitor for reducing nitrous oxide emissions from cultivated land. V: *Greenhouse Gas emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies*. A. Weiske (ed.), *Proceedings, International Conference*, 10-12 feb. 2004, Leipzig, Nemčija: 273-275
- Winley C.L, San Clemente C.L. 1971. The effect of two herbicides (CIPC and eptam) on oxidative phosphorylation by *Nitrobacter agilis*. *Canadian Microbiology* 17: 47-51
- Wozniak H., Michel H.J., Fuchs M. 1999. Nitrification inhibitors for economically efficient and environmentally friendly nitrogen fertilization. In: *Proceedings of the IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition*, Barcelona. International Fertilizer Industry Association, Paris, Francija: 182-194
- Xu G., Fan X., Miller AJ. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology* 63: 153-182
- Zacherl B., Amberger A. 1990. Effect of the nitrification inhibitors dicyandiamide, nitrapyrin and thiourea on *Nitrosomonas europea*. *Fertilizer Research* 22: 37-44
- Zakon o fitofarmacevtskih sredstvih, 2012. Uradni list RS, št. 83/12.
- Zbornik 47. seminarja o hmeljarstvu z mednarodno udeležbo: 38-47
- Zerulla W., Barth Th., Dressel J., Erhardt K., Horchler von, Locquenghien K., Pasda G., Rädle M., Wissemeier A.H. 2001a. 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils* 34: 79-84
- Zerulla W., Pasda G., Hähndel R., Wissemeier A.H. 2001b. The new nitrification inhibitor DMPP (Entec®) for use in agricultural and horticultural crops – an overview. V: *Plant Nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems*. W.J. Horst in sod. (eds.): 754-755
- Zhang M., Nyborg M., Ryan J.T 1994. Determining permeability of coatings of polymer-coated urea sulphur/plastic coated fertilizers. *Fertilizer Research* 38,1: 47-51
- Zidarič I., Leskovšek R., 2015. Vpliv termina aplikacije in znižanih odmerkov na učinkovitost izbranega herbicida v koruzi. V: *Zbornik predavanj in referatov 12. Slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo*. Ptuj, 3.-4. marec 2015. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 191-196