

Riikliku programmi “Põllumajanduslikud
rakendusuringud ja arendustegevus
aastatel 2009–2014” lisa 4

Eesti Maaülikool
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut
Taimikasvatuse ja rohumaaviljeluse osakond

Vedelsõnniku (läga) kasutamine rohumaade ja põllukultuuride väetisena ning mõju keskkonnale ja saagi kvaliteedile

Projekti juht: Rein Viiralt

Projekti põhitäitjad: Karin Kauer
Argaadi Parol
Henn Raave

Katseagronoomid: Niina Kabanen
Merike Kissa

Tartu 2011

Sisukord

1. Projekti taust.....	3
2. Projekti eesmärk, katsete kirjeldus ja metoodika.....	4
3. Uurimistöö tulemused.....	6
3.1. Vedelsõnniku mõju rohumaa saagile.....	6
3.2. Väetamise mõju toitainete leostumisele rohumaa mullast.....	15
4. Põhilised järeldused uurimistööst ja ettepanekud tulemuste kasutamiseks praktikas.....	20
5. Kasutatud kirjandus.....	20
6. Lõpparuande lisad.....	22
6.1. Lühikokkuvõte (eesti ja inglise keeles).....	22
6.2. Teema raames ilmunud publikatsioonid.....	23

1. Projekti taust

Viimasel kümnel aastal on Eestis lüpsikarjale ehitatud rohkesti vabapidamisega külmlautu, kus loomade väljaheited kogutakse vedelsõnnikuna samas asuvasse spetsiaalsesse lägahoidlasse, mida saab tühjendada ainult soojal aastaajal. Samal ajal muutub järjest teravamaks küsimus, kuidas seda vedelsõnnikut põllumajanduses optimaalselt kasutada – ilma mullaviljakust, keskkonda ja kasvatatavate kultuuride kvaliteeti oluliselt kahjustamata. Veise- ja sealäga võib ebaõigel kasutamisel reostada keskkonda, sattudes põhjavele või veekogudesse. Rohumaadel mõjutab vedelsõnnik rohu keemilist koostist, taimede püsivust ja taimiku liigilist koosseisu, aga ka karjamaarohu söödavust. Sileeritavasse massi võivad sattuda roiskbakterid ja rida teisi mikroorganisme, mis rikuvad silo kvaliteeti. Suhteliselt lühikese taimede kasvuperioodi tõttu on meil Eestis raske tugineda Lääne-Euroopa kirjandusandmetele (Frame, 1994) vedelsõnniku sobivate kasutusnormide ja andmisaegade valikul.

Saakide tootmiseks keskkonnasõbralikul moel on välja pakutud orgaaniline e. maheviljelus, mille puhul eeldatakse, et see aitab võrreldes tavaviljelusega paremini säilitada mullas olulisi toitaineid ja vähendab põllumajanduse kõrvalmõju vee kvaliteedile. Orgaanilise viljeluse keskkonnasõbralikkus tuleneb asjaolust, et siin ei ole lubatud kasutada tööstuslikult toodetud vees lahustuvaid anorgaanilisi väetisi. Kasutatavad toidained peavad pärinema kas orgaanilistest allikatest (nt. loomasõnnik ja haljasväetis) või looduslikult esinevatest väga madala lahustuvusega mineraalidest (Torstensson *et al.*, 2006). Lubatud on ka liblikõieliste poolt sümbioosselt seotud lämmastik. Täna ei ole siiski veel päris selge, kas orgaanilisele viljelusele üleminek tagab puhtama keskkonna või mitte. Maheviljeluse ja tavaviljeluse võrdlus on näidanud, et maheviljeluse korral on lämmastiku leostumise potentsiaal väiksem kui tavaviljeluse korral (Hansen *et al.*, 2000; Haas *et al.*, 2002), kui ka seda, et lämmastiku leostumise potentsiaalid mahe- ja tavaviljeluse korral ei erine (Kristensen *et al.*, 1994). A. Granstedt (1992) väidab, et orgaanilised väetised on keskkonnasõbralikumad kui mineraalväetised. L. Bergström, K. Goulding (2005), G. Torstensson *et al.* (2006) uurimistööd seda ei kinnita. Nad märgivad, et taimede vajadus ja toitainete vabanemine orgaanilisest ainest on nõrgalt sünkroniseeritud. Osa toitaineid vabaneb mulda ka ajal, kui taim neid ei vaja ning seetõttu võivad need kergesti leostuda. Et orgaaniliste väetiste kasutamisel võib leostumine olla mineraalväetistega võrreldes suurem, näitavad kaudselt ka mitmed teised uurimistööd. L. Engström *et al.* (2005) uurimistööst selgus, et ammoniumlämmastik, mida on orgaanilistes väetistes umbes 50% üldlämmastikust, nitritiseerub mullas veel ka $-0,6^{\circ}\text{C}$ juures. Teadaolevalt lõpetavad taimed sügisel kasvu temperatuuri langedes $+5^{\circ}\text{C}$ allapoole. Hilissügisel ja varakevadel sõltub leostuv nitraatide kogus peamiselt vabade nitraatide kogusest mullas (Mengel, Kirkby, 2001). Selge ei ole samuti liblikõieliste mõju nitraatide leostumisele. Märgitakse, et maheviljeluse korral, kus lämmastik seotakse bioloogiliselt, on nitraatide leostumine väiksem kui intensiivselt viljeldavalt rohumaalt, kus aastast antav lämmastikunorm on üle 200 kg ha^{-1} (Pain, 2000). Inglismaal toimunud katse näitas seevastu, et liblikõieliste taimikust oli leostumine suurem kui kõrreliste omast. Eriti kasvas see ajal, kui liblikõieliste osakaal hakkas taimiku vanuse tõttu langema (Low, Armitage, 1970).

Senistes uurimistöödes on peamine tähelepanu olnud pööratud N leostumisele. Vähem on uuritud teiste taimede oluliste elementide leostumist. Heintaimede kasvuks oluline kaalium on mullas liikuv ioon ja võib seetõttu samuti kergesti leostuda. Seni on selle elemendi leostumisele pööratud vähe tähelepanu, kuna K leostumine ei põhjusta otseselt eutrofeerumist (Alfaro *et al.*, 2004). Vähesed sellekohased uurimistööd on näidanud, et K leostumine

rohumaadel on tavaliselt väike, kuid kõrge kättesaadava K tase mullas ja suured väetistega antavad K kogused võivad seda kadu oluliselt suurendada (Kayser, Isselstein, 2010).

Kokkuvõtvalt on vedelsõnniku käitlemise põhiaspektid järgmised:

1. Agronoomiline

- Vedelsõnnik (VS) leevendab kohaliku orgaanilise väetisena mineraalväetiste hinnatõusu
- VS koostis (väetisväärtus) ja efektiivsus võrreldes mineraalväetistega

2. Ökoloogiline, keskkonnakaitse

- Vedelsõnnikuga väetamise mõju keskkonnale: mullale, veele, õhule

3. Tehnoloogilis-ökonoomiline

- Vedelsõnniku kasutamise majanduslik väljund, mõju toodangu omahinnale sõltuvalt VS hoiustamis-, transpordi- ja laotamistehnoloogiast.

*Käesolevas aruandes käsitletakse 2008.-2010. aastal korraldatud nõu- (lüsimeeter-) ja põldkatsete andmete ning kirjanduse põhjal vedelsõnniku kasutamise **agronoomilisi ja keskkonnakaitse** aspekte rohumaal võrdlevalt mineraalväetisega, eeskätt vedelsõnniku koostist, mõju saagile ja toitainete kadusid (väljauhe mullast, lämmastiku lendumine).*

2. Projekti eesmärgid, katsete kirjeldus ja metoodika

Projekti alustamisel püstitati järgmised põhilised eesmärgid:

1. Tootmis- ning lapp- ja nõukatsetega selgitada välja eeskätt rohumaale antavad optimaalsed läganormid hektarile (aastas ja üksikute annustena) ja andmise ajad, lähtuvalt agronoomilisest, keskkonnakaitse ja ka ökonoomilisest aspektist.
2. Uurida erineva suurusega läganormide toimet mullale ning kasvatatava kultuuri saagile ja kvaliteedile, rohumaataimiku koosseisule, püsivusele, talvekindlusele ja sileeruvusele.
3. Võrrelda rohumaal läga- ja mineraalväetise efektiivsust ja mõju keskkonnale (eeskätt toitainete leostumine).
4. Võrrelda läga laotamise ja muldaviimise erinevaid tehnoloogiaid (lohisvooliklaotus, muldaviimine) eeskätt keskkonnohoidu ja majandusliku efektiivsuse seisukohalt.

Projekti eesmärkide täitmiseks tehti 2008-2010 järgmised tööd ja uuringud.

Vedelsõnniku (läga) optimaalse normi, andmisviisi ja –aja väljaselgitamiseks rohumaal oli EMÜ Eerika katsejaamas alates 2008. aastast käigus 2-osaline uurimus (*katsed 1 ja 2*), 2010 aastal lisandus neile tootmiskatse Tartu Agro AS silorohumaal (*katse 3*).

Katses 1 võrreldi: 1) vedelsõnniku erinevate aastanormide ja korruga antavate annuste mõju rohusaagile ja toiteelementide väljaleostumisele mullast; 2) vedelsõnnikus olevate toiteelementide mõju saagile võrreldes mineraalväetistega; 3) vedelsõnniku andmisviisi (mulda või mullapinnale) ja andmisaja mõju erinevate rohukamarate saagile ja toitainete väljaleostumisele.

Ülaltoodud küsimuste uurimiseks rajati 2007.a. juulis EMÜ Eerika katsejaama lüsimeetrikatse 3 erineva seemneseguga, kus määrati plastnõudes (kokku 186 nõud, igaühe pindala 0,0706m²) olevate taimikute saak ja liigilis-kaaluline koosseis ning mullakihist (30 cm) läbi nõrgunud vee kogus ja keemiline koostis. Nõrgvee kogumise võimaldamiseks on mullamonoliidiga ämber paigutatud samasuure ämbri sisse nii, et alla jääb ruum vee kogunemiseks. Et vesi saaks välimisse ämbriisse nõrguda, on mullaga ämbri põhjas augud.

Vesi võeti välja imipumbaga. Lõimiselt on nõukatse muld liivakas saviliiv (liivafraktsiooni osakaal 64%) eripinnaga 31 m²/g, mis sisaldas katse algul orgaanilist ainet 1,7-1,9% ja üld-N 0,11% ning liikuvat P 94-102 ja K 165-180 mg/kg.

Katsefaktorid olid järgmised:

- 1) kolm rohukamarat
 - kõrreliste segu (timut 'Tika', karjamaa raihein 'Raidi', aasnurmikas 'Esto')
 - samad kõrrelised ja valge ristik 'Jõgeva 4'
 - samad kõrrelised ja lutsern 'Juurlu' (2008. ja 2009.a.)
- 2) 2 väetisfooni
 - mineraalväetis (NPK – ammoniumsalpeeter, KCl, superfosfaat)
 - orgaaniline väetis (vedelsõnnik või reoveesete)

Kõigil kolmel rohukamaral testiti järgmisi erineval kujul ja viisil antud toiteelementide koguseid:

- 1) *väetamata*, N0 P0 K0 (kontrollvariant)
- 2) *mineraalväetis* P30 K60 kuni N180 P60 K120 kg/ha (5 eri normi)
- 3) *vedelsõnnik*:
 - N60, N120, N180 kg/ha vastavalt ühes, kahes või kolmes osas taimiku pinnale või sisse
- 4) *reoveesete* (võrdluseks lägale): N60, N120, N180 kg/ha vastavalt ühes, kahes ja kolmes osas taimiku pinnale

Lutsern 'Juurlu' talvitus 2009/2010.a. külmal talvel katsenõudes halvasti (enamik taimi hukkus), mistõttu 2010. aastal jätkati *katset 1* kahe rohukamaraga: 1) kõrrelised 2) kõrreliste ja valge ristiku segu).

Igal aastal koristati katses 5 rohusaaki, anti väetised vastavalt katseskeemile ning mõõdeti mullast läbinõrgunud veekogused ja võeti veeproovid keemilisteks analüüsideks. Katses kasutatud vedelsõnnik toodi AS Tartu Agro Vorbuse farmi lägahoidlast (pärast segamist) ja värsked reoveesete AS Tartu veevärk Ropka reoveepuhastist. Läga ja reoveesete sisaldasid kuivainet vastavalt keskmiselt 6,8-8,3% ja 17,1-19,9% ning üldlämmastikku (kuivaines) 4,4-4,9% ja 5,2-6,8%, milliste andmete põhjal arvutati välja katsenõudele antud läga ja reoveesete normid.

Orgaanilise väetiste norm arvutati neis sisaldunud ammoniumlämmastiku alusel. Katses võrreldavad väetised anti jaotatult kuni kolmes osas. Esimene väetamine tehti kevadel 1 nädal pärast rohukasvu algust. Teist korda väetati üks nädal pärast teist niidet ja kolmas kord üks nädal pärast kolmandat niidet. Väetamiste arv sõltus lämmastiku normist. Korraga anti väetist koguses, mis vastas lämmastiku normile N₆₀ kg ha⁻¹. Variante, milles väetamiseks ettenähtud norm (kg ha⁻¹) oli N₆₀, N₁₂₀, N₁₈₀ väetati vastavalt 1, 2 ja 3 korda vegetatsiooniperioodi jooksul. PK väetis anti kõigile nõudele korraga kevadel koos lämmastikväetisega.

Saagi määramise ajad:

- 1) kõrreliste kõrsumisfaasis
- 2) 25 päeva pärast esimest saagikoristust
- 3) 25 päeva pärast teist saagikoristust
- 4) 30 päeva pärast kolmandat saagikoristust
- 5) 30 päeva pärast neljandat saagikoristust

Nõukatses määrati rohu ja õhukuiva massi saak eraldi kõrrelistel, liblikõielistel ja rohunditel. Selleks sorteeriti iga nõu rohi eelnimetatud gruppidesse, kaaluti, kuivatati kalorifeerkuivatis õhukuivaks, kaaluti uuesti ning arvutati õhukuiva massi saak (värsked rohu saak x õhukuiva massi sisaldus rohus).

Vett koguti vegetatsiooniperioodil 1 kord kuus, suuremate sadude korral ka 2 korda kuus. Väljaspool vegetatsiooniperioodi võeti veeproove vastavalt võimalusele. Nii 2007/2008 kui 2008/2009 aasta talv oli väga külm, mistõttu oli võimalik veeproove koguda ainult novembris

ja aprillis. Vahepeelsel ajal oli muld külmunud. Katses määrati igast nõust läbinõrgunud vee kogus (mõõdeti mensuuriga) ning üld-N ja K sisaldus nõrgvees.

Nõrgvee keemiline koostis (üld-N ja K) määrati EMÜ mullateaduse ja agrokeemia osakonna laboris vastavalt elementanalüsaatoriga VarioMax ja leekfotomeetriga. Vedelsõnnik analüüsiti EMÜ taimebiokeemia laboris.

Katses 2 uuritakse põhiküsimusena eesti ja hollandi (firma Barenbrug) seemnesegude sobivust ja produktiivsust rohumaade rajamisel, kuid kahel rohukamaral testiti alates 2009.a. ka vedelsõnniku efektiivsust (pinnale laotamisel). Selles põldkatses (lapid 2,2x7 m) külvati heinaseemned 12. mail 2008.a. Saak määrati katsekombainiga Haldrup, 2008.a. saadi 2, 2009.a. 3 ja 2010.a. samuti 3 niidet. Vedelsõnniku mõju uuriti 2009 ja 2010.a.: 1) aru-raiheina *e. festuloliumi* (sort 'Barfest', tetraploidne) puhaskülvil; 2) aru-raiheina 'Barfest' ja punase ristiku 'Mars' (tetraploidne) segul.

Mõlemal rohukamaral on 2 väetusvarianti: 1) aru-raiheina taimikul N 180 kg/ha kolmes võrdses osas (korraga N 60 kg/ha) ammooniumnitraadina või lägana; 2) aru-raiheina ja punase ristiku segul vastavalt N-mineraalväetiseta (N 0) ja lägana N 85-95 kg/ha varakevadel enne rohukasvu algust. Põldkatses määrati taimiku liigiline koosseis, haljasmassi- ja kuivainesaak vastavalt Eestis üldkasutatavale meetodikale.

Katse 3 (tootmiskatse Tartu Agro AS põldheinapõllul 2010.a. variandid olid järgmised:

- 1) väetamata
- 2) läga lohisvoolikuga (30 +25 t/ha)
- 3) läga taimikusse (30 + 25 t/ha)
- 4) ammooniumnitraat (45 +57 kg/ha N)

Katsete andmed töödeldi Statistica 9.0 programmis (ANOVA, Fisher LSD). Statistilised usaldusväärsed erinevused ($p < 0,05$) saakides väetusvariantide vahel on tabelleis märgitud erinevate numbrite või tähtedega (ülaindeksid).

3. Uurimistöö tulemused

3.1. Vedelsõnniku mõju rohuma saagile

Katsetes kasutatud vedelsõnnikus oli toiteelementidest kõige rohkem N ja K, kusjuures suhe üld-N: P.K kõikus piirides 1:0,18-0,22:0,52-0,75 (tabel 1). Kirjanduses soovitatav vastav suhe mineraalväetiste kasutamisel on kõrreliste niidu jaoks 1:0,22:0,62 (Viiralt, 2007). Vedelsõnniku puhul tuleb aga arvesse võtta, et väetamise aastal mõjutab saaki eeskätt sõnnikus sisalduv ammooniumlämmastik, mille osakaal üldlämmastikust oli 39,5-58,2%.

Tabel 1. EMÜ katses kasutatud lüpsikarja vedelsõnniku keemiline koostis 2008-2010.a.

Faktor	Ühik	Proovivõtu aeg		
		2008	2009	2010 (keskm.)
pH		x	6,6-6,7	6,6-6,7
Kuivaine	%	8,3	7,8-8,5	6,8-9,5 (8,7)
üld-N	kg/tonn	3,65	3,78-3,95	3,0-4,2 (3,7)
NH ₄ -N	kg/tonn	1,6	1,5-2,3	1,25-2,55 (2,0)
NO ₃ -N	kg/tonn	0	0,002	0,001
üld-P	kg/tonn	0,73	0,81	0,53-1,07 (0,66)
üld-K	kg/tonn	2,3	2,7-2,9	1,3-2,15 (1,9)
üld-Ca	kg/tonn	x	1,0-1,3	0,8-1,6 (1,3)
üld-Mg	kg/tonn	x	0,7-0,8	0,5-0,8 (0,65)
NH ₄ -N osakaal üld-N-st	%	44	40-58	41-63 (54)

Tabel 2. Erinevate väetiste mõju rohukamarate saagile Eerika nõukatses 2008.a.

Variant			Taimiku aastasaak (õhukiiv)					
nr.	väetise liik ja andmisviis	toiteelement kg/ha	kõrrelised		kõrrelised ja valge ristik		kõrrelised ja lutsern	
			g/m ²	%	g/m ²	%	g/m ²	%
1.	Väetiseta	0	253 ¹	100	941 ¹	100	670 ¹	100
2.	Mineraalväetis (MV)	P30 K60	358 ^{2;3}	142	1114 ²⁻⁴	118	828 ¹⁻⁵	124
3.	MV	P60 K120	324 ^{1;2}	128	1124 ²⁻⁴	119	821 ¹⁻⁴	123
4.	MV	N60 P30 K60	720 ⁷	285	1197 ^{4;5}	127	998 ⁴⁻⁶	149
5.	MV	N120 P60 K120	829 ⁸	328	1252 ⁵	133	1089 ⁶⁻⁸	163
6.	MV	N180 P60 K120	986 ⁹	390	1388 ⁶	148	1232 ⁸	184
7.	Läga pinnale	N60	463 ^{4;5}	183	1113 ²⁻⁴	118	803 ¹⁻³	120
8.	Läga pinnale	N120	633 ⁶	250	1104 ²⁻⁴	117	1183 ^{7;8}	176
9.	Läga pinnale	N180	688 ^{6;7}	272	1139 ³⁻⁵	121	992 ^{5;6}	148
10.	Läga sisse	N60	493 ⁵	195	1043 ¹⁻³	111	798 ¹⁻³	119
11.	Läga sisse	N120	702 ⁷	277	1144 ³⁻⁵	122	965 ⁴⁻⁶	144
12.	Läga sisse	N180	865 ⁸	342	1201 ^{4;5}	128	1039 ^{6;7}	155
13.	Reoveesete pinnale (RVS)	N60	416 ^{3;4}	164	993 ^{1;2}	106	732 ^{1;2}	109
14.	RVS pinnale	N120	517 ⁵	204	1118 ²⁻⁴	119	873 ²⁻⁵	130
15.	RVS pinnale	N180	532 ⁵	210	1155 ³⁻⁵	123	940 ³⁻⁶	140
Keskmine var. 2-3		P45 K90	341	135	1119	119	824	123
Keskmine var. 4-15		N120 PK	654	258	1248	133	1039	155

Vedelsõnniku mõju rohukamarate saagile nõukatses eri aastail võrdlevalt teiste väetistega on näha tabelitest 2-8.

Tabel 3. Erinevate väetiste mõju rohukamarate saagile Eerika nõukatses 2009.a.

Variant			Taimiku aastasaak (õhukuiv)					
nr.	väetise liik ja andmisviis	toiteelement kg/ha	kõrrelised		kõrrelised ja valge ristik		kõrrelised ja lutsern	
			g/m ²	%	g/m ²	%	g/m ²	%
1.	Väetiseta	0	168 ¹	100	496 ¹	100	352 ^{1; 2; 3}	100
2.	Mineraalväetis (MV)	P30 K60	203 ^{1; 2}	121	698 ¹⁻⁵	141	292 ^{1; 2}	83
3.	MV	P60 K120	212 ^{1; 2}	126	777 ²⁻⁵	157	390 ^{2; 3; 4}	111
4.	MV	N60 P30 K60	460 ^{6; 7}	274	752 ¹⁻⁵	152	483 ^{4; 5}	137
5.	MV	N120 P60 K120	624 ⁸	371	837 ^{3; 4; 5}	169	682 ⁷	194
6.	MV	N180 P60 K120	726 ⁹	432	906 ⁵	183	772 ⁸	219
7.	Läga pinnale	N60	330 ^{3; 4}	196	871 ^{4; 5}	176	410 ^{3; 4}	116
8.	Läga pinnale	N120	405 ^{4; 7}	241	637 ^{1; 2; 3}	128	512 ^{5; 6}	145
9.	Läga pinnale	N180	480 ⁷	286	628 ^{1; 2; 3}	127	585 ⁶	166
10.	Läga sisse	N60	390 ^{4; 5; 6}	232	587 ^{1; 2}	118	445 ^{3; 4; 5}	126
11.	Läga sisse	N120	476 ^{6; 7}	283	670 ¹⁻⁴	135	588 ⁶	167
12.	Läga sisse	N180	609 ⁸	362	769 ²⁻⁵	155	705 ^{7; 8}	200
13.	Reoveesete pinnale (RVS)	N60	282 ^{2; 3}	168	574 ^{1; 2}	116	270 ¹	77
14.	RVS pinnale	N120	339 ^{3; 4; 5}	202	628 ^{1; 2; 3}	127	371 ^{2; 3}	105
15.	RVS pinnale	N180	422 ^{5; 6; 7}	251	660 ¹⁻⁴	133	400 ^{3; 4}	114
Keskmine var. 2-3		P45 K90	208	124	738	149	341	97
Keskmine var. 4-15		N120 PK	462	275	710	143	518	147

Tabel 4. Erinevate väetiste mõju rohukamarate saagile Eerika nõukatses 2010.a.

Variant			Taimiku aastasaak (õhukuiv)			
nr.	väetise liik ja andmisviis	toiteelement kg/ha	kõrrelised		kõrrelised ja valge ristik	
			g/m ²	%	g/m ²	%
1.	Väetiseta	0	194 ¹	100	481 ¹	100
2.	Mineraalväetis (MV)	P30 K60	224 ^{1;2}	115	478 ¹	99
3.	MV	P60 K120	277 ¹⁻³	143	615 ^{1,2}	128
4.	MV	N60 P30 K60	428 ^{4;5}	221	761 ^{2,3}	158
5.	MV	N120 P60 K120	543 ^{5;6}	280	890 ³	185
6.	MV	N180 P60 K120	635 ⁶	327	908 ³	189
7.	Läga pinnale	N60	222 ^{1;2}	114	555 ^{1,2}	115
8.	Läga pinnale	N120	399 ^{3;4}	206	584 ^{1,2}	121
9.	Läga pinnale	N180	396 ^{3;4}	204	579 ^{1,2}	120
10.	Läga sisse	N60	278 ^{1;2}	143	545 ^{1,2}	113
11.	Läga sisse	N120	322 ²⁻⁴	166	611 ^{1,2}	127
12.	Läga sisse	N180	401 ⁴	207	655 ^{1;2}	136
13.	Reoveesete pinnale (RVS)	N60	246 ^{1;2}	127	496 ¹	103
14.	RVS pinnale	N120	215 ^{1;2}	111	537 ^{1,2}	112
15.	RVS pinnale	N180	392 ^{3;4}	202	608 ^{1,2}	126
Keskmine var. 2-3		P45 K90	251	129	547	114
Keskmine var. 4-15		N120 PK	373	192	644	134

Tabel 5. Väetiseliikide võrdlev toime eri rohukamaratel testitud väetisnormide keskmisena 2008-2010.a. (Eerika nõukatse)

väetise liik	väetusvari -antide (vt. tabel 1) grupid	Aastasaak (õhukuiv)					
		Kõrreliste segu		Kõrrelised ja valge ristik		Kõrrelised ja lutsern	
		g/m ²	%*	g/m ²	%*	g/m ²	%*
2008							
Väetiseta	1	253	100/74	941	100/84	670	100/81
Mineraalväetis PK	2-3	341	135/100	1119	119/100	824	123/100
Mineraalväetis NPK	4-6	845	334/248	1279	136/114	1106	165/134
Läga pinnale	7-9	595	235/174	1119	119/100	993	148/121
Läga sisse	10-12	687	272/201	1129	120/101	934	139/113
Reoveesete pinnale	13-15	488	193/143	1089	116/97	848	127/103
2009							
Väetiseta	1	168	100/81	496	100/67	352	100/103
Mineraalväetis PK	2-3	208	124/100	738	149/100	341	97/100
Mineraalväetis NPK	4-6	603	359/290	832	168/113	646	184/189
Läga pinnale	7-9	405	241/195	712	144/96	502	143/147
Läga sisse	10-12	492	293/293	675	136/91	579	164/170
Reoveesete pinnale	13-15	348	207/167	621	125/84	347	99/102
2010							
Väetiseta	1	194	100/77	481	100/88		
Mineraalväetis PK	2-3	251	129/100	546	114/100		
Mineraalväetis NPK	4-6	535	276/213	853	177/156		
Läga pinnale	7-9	339	175/135	573	119/105		
Läga sisse	10-12	334	172/133	604	126/111		
Reoveesete pinnale	13-15	284	146/113	547	114/100		

* Suhteline saak võrrelduna vastavalt väetiseta/PK-mineraalväetis vastu.

Tabel 6. Erinevate väetistega saadud enamsaak toimeaine ühiku kohta 2008.a. (Eerika nõukatse)

Väetamine			Enamsaak toimeaine(te) 1 kg kohta, kg/ha õhukuiva massi		
väetise liik	toimeainete (TA) norm, kg/ha	võrdlusfoon, TA kg/ha	kõrreliste segu	kõrreliised ja valge ristik	kõrreliised ja lutsern
Mineraalväetis	P30 K60	0	11,7	19,2	17,6
Mineraalväetis	P60 K120	0	3,9	10,2	8,4
Mineraalväetis	N60 P30 K60	P30 K60	60,3	13,8	28,3
Mineraalväetis	N120 P60 K120	P60 K120	42,1	10,7	22,3
Mineraalväetis	N180 P60 K120	P60 K120	36,8	14,7	22,8
Läga pinnale	N60	P30 K60	17,5	-0,2	-4,2
Läga pinnale	N120	P60 K120	25,8	-1,7	30,2
Läga pinnale	N180	P60 K120	20,2	0,8	9,5
Läga sisse	N60	P30 K60	22,5	-11,8	-5,0
Läga sisse	N120	P60 K120	31,5	1,7	12,0
Läga sisse	N180	P60 K120	30,1	4,3	12,1
Reoveesete pinnale	N60	P30 K60	9,7	-20,2	-16,0
Reoveesete pinnale	N120	P60 K120	16,1	-0,5	4,3
Reoveesete pinnale	N180	P60 K120	11,6	1,7	6,6

Tabel 7. Erinevate väetistega saadud enamsaak toimeaine ühiku kohta 2009.a. (Eerika nõukatse)

Väetamine			Enamsaak toimeaine(te) 1 kg kohta, kg/ha õhukuiva massi		
väetise liik	toimeainete (TA) norm, kg/ha	võrdlusfoon, TA kg/ha	kõrreliste segu	kõrreliised ja valge ristik	kõrreliised ja lutsern
Mineraalväetis	P30 K60	0	3,9	22,4	-6,7
Mineraalväetis	P60 K120	0	2,4	15,6	2,1
Mineraalväetis	N60 P30 K60	P30 K60	42,8	9,0	31,8
Mineraalväetis	N120 P60 K120	P60 K120	34,3	5,0	24,3
Mineraalväetis	N180 P60 K120	P60 K120	28,6	7,2	21,2
Läga pinnale	N60	P30 K60	21,2	28,8	19,7
Läga pinnale	N120	P60 K120	16,1	11,7	10,2
Läga pinnale	N180	P60 K120	14,9	-8,3	10,8
Läga sisse	N60	P30 K60	31,2	-18,5	25,5
Läga sisse	N120	P60 K120	22,0	-8,9	16,5
Läga sisse	N180	P60 K120	22,0	-0,4	17,5
Reoveesete pinnale	N60	P30 K60	13,2	-20,7	-3,6
Reoveesete pinnale	N120	P60 K120	10,6	-12,4	-1,6
Reoveesete pinnale	N180	P60 K120	11,7	-6,5	0,6

Tabel 8. Erinevate väetistega saadud enamsaak toimeaine ühiku kohta 2010.a. (Eerika nõukatse)

Väetamine		Enamsaak toimeaine(te) 1 kg kohta kg/ha õhukuiva massi		
väetise liik	toimeainete (TA) norm, kg/ha	võrdlusfoon, TA kg/ha	kõrreliste segu	kõrrelistes ja valge ristiku
Mineraalväetis	P30 K60	0	3,3	-0,3
Mineraalväetis	P60 K120	0	4,6	7,4
Mineraalväetis	N60 P30 K60	P30 K60	34,0	47,2
Mineraalväetis	N120 P60 K120	P60 K120	22,2	22,9
Mineraalväetis	N180 P60 K120	P60 K120	19,9	16,3
Läga pinnale	N60	P30 K60	-0,3	12,8
Läga pinnale	N120	P60 K120	10,2	2,6
Läga pinnale	N180	P60 K120	6,6	2,0
Läga sisse	N60	P30 K60	9,0	11,2
Läga sisse	N120	P60 K120	3,8	-0,3
Läga sisse	N180	P60 K120	6,9	2,2
Reoveesete pinnale	N60	P30 K60	3,7	3,0
Reoveesete pinnale	N120	P60 K120	-5,2	-6,5
Reoveesete pinnale	N180	P60 K120	6,4	-0,4

Esitatud katseandmete (tabelid 2-8) põhjal saab välja tuua alljärgnevad seosed ja tendentsid.

1. Kõik testitud rohukamarad andsid suurema kuivainesaagi esimesel katseaastal (2008), mis oli taimiku teine eluaasta. Saagilangus oli suurim 2009. aastal võrreldes 2008. aastaga. Rohukamarate keskmine saagitase vähenes ka 2010. aastal, kuid seda mitte kõikidel väetisvariantidel ning saagilangus oli seejuures rohukamarate lõikes erinev (tabelid 2-4). Suhteliselt lähedase suurusega olid 2009. ja 2010.a. saagid väetamata taimikutel. Erandina saadi PK-mineraalväetise mõjul kõrreliste rohukamaral 2010.a keskmiselt 21% suurem kuivsaak kui 2009.a. Siiski oli väetisvariantide keskmisena kuivsaagi langus kõrreliste taimikul 16% ning kõrreliste ja valge ristiku segul 14%. Saagilanguse peamine põhjus oli selles, et nõukatsetes, kus talvitumistingimused on märksa karmimad kui põllul, toimub rohukamarate saagivõime ammendumine ja taimikute hõrenemine aastatega kiiremini kui sarnase mullaga suurematel aladel. Eeskätt väheneb katsenõudes liblikõieliste osakaal.
2. Vaatamata valge ristiku osakaalu vähenemisele oli väetamata mullal võrreldud kahe rohukamara saak ka 2010. aastal väga erinev, sest kõrreliste segu valge ristikuga sai kasutada lisaks mullavarudest omandatud lämmastikule veel mügarbakterite (*Rhizobium*) poolt sümbiootiliselt seotud õhulämmastikku. Seetõttu ületas kõrreliste ja valge ristiku segu aastasaak (õhukuiv mass) kõrreliste oma 2,5 korda.
3. Erinevalt 2009. aastast oli PK-mineraalväetise efektiivsus toimeaine ühiku kohta 2010. a. mõlemal rohukamaral suhteliselt tagasihoidlik ja lähedase suurusega. Valge ristiku ja kõrreliste segul saadi enamsaagina 1 kg P+K kohta (keskmine norm P45, K90 kg/ha) 4,8 kg/ha õhukuiva massi, kõrrelistest koosneval taimikul oli vastav näitaja 4,2 kg/ha. Seevastu suhteline enamsaak PK-väetiste mõjul oli 2010. aastal märksa suurem kõrreliste segul – 29% (tabel 5).

4. Saagiandmed (tabelid 2-8) võimaldavad võrrelda eri väetisega antud samasuurte omastatavate lämmastikukoguste mõju erinevatel rohukamaratel. Suhtelise enamsaagi põhjal oli 2010.a. kõige efektiivsem NPK-mineraalväetisega antud lämmastik (keskmine norm N120 kg/ha), mis suurendas kõrreliste rohukamara saaki (võrreldes PK-fooniga) 113% ning kõrreliste ja valge ristiku segul 56%. Ühe kg mineraal-N kohta oli õhukuiva massi keskmine enamsaak eelnimetatud rohukamaratel vastavalt 23,7 ja 25,6 kg/ha. Mineraalväetise lämmastiku suhteliselt hea efektiivsus kõrreliste ja valge ristiku segu puhul on seletatav valge ristiku osakaalu ja õhu-N sidumise vähenemisega taimikus, mistõttu kõrrelised vajasid rohkem mineraalset lämmastikku. Vedelsõnniku ja reoveesetega antud N efektiivsus osutus seevastu eeltoodust tunduvalt väiksemaks (keskmine enamsaak 1kg N kohta, kg/ha):

	<u>kõrrelised</u>	<u>kõrrelised ja valge ristik</u>
läga taimiku pinnale	7,3	2,3
läga mulda sisse	6,9	4,8
reoveesete pinnale	2,8	0,1

Seega kõrreliste ja valge ristiku rohukamaratel reoveesete 3. katseaastal võrreldes PK-fooniga saaki ei tõstnud. Võrreldes väetamata taimikuga oli saagitõus orgaaniliste väetistega antud NPK- toiteelementide mõjul siiski 14% (reoveesete pinnale kõrreliste ja valge ristiku segul) kuni 75% (läga pinnale kõrrelistel). Samasuunaline tulemus saadi ka 2008. ja 2009.a. Vedelsõnniku ja reoveesete madala efektiivsuse põhjus kõrreliste ja valge ristiku rohukamaral on selles, et väetiste N ja liblikõieliste poolt seotav nn. bioloogiline N toimivad teatud määral antagonistidena. Nimelt õhu-N sidumise intensiivsus mügarbakterite poolt väheneb, kui mineraalse N kontsentratsioon (s.o. NH₄ ja NO₃ ionid) mullalahuses tõuseb N-mineraalväetise või orgaanilise väetise mõjul. Tulemusena aeglustus valge ristiku kasv ja taimiku saak kokkuvõttes vähenes.

Järeldused väetiste efektiivsuse kohta nõukatses 2008.- 2010.a.

1. Esimesel ja teisel väetamise aastal (2008 ja 2009) andsid kõrreliste rohukamaral statistiliselt usutava saagitõusu nii väetamata (N0 P0 K0) taimikuga kui PK-fooniga võrreldes mõlemad testitud orgaanilised väetised (s.o. nii vedelsõnnik kui reoveesete) ning kõrreliste-lutserni taimikul läga ja 2009.a. ka reoveesete suurem norm (N 180 kg/ha). Kõrreliste ja valge ristiku segu korral oli orgaaniliste väetiste mõju kõikuv ning usutav saagitõus saadi ainult osal variantidel võrdluses väetamata taimikuga.

Kolmandal saagiaastal (2010 ;vt. tabel 4) saadi kõrreliste rohukamaral oluline saagitõus orgaaniliste väetiste mõjul võrreldes väetamata taimikuga ja PK-fooniga ainult kahe suurema N-normi (N120 ja N180 kg/ha) kasutamisel. Kõrreliste ja valge ristiku segul vedelsõnnik ja reoveesete 2010. aastal usutavat saagitõusu ei andnud, võrreldes nii väetamata kui ka PK-fooniga.

2. Läga muldaviimine oli võrreldes selle mullapinnale andmisega 2009. aastal märkimisväärselt efektiivsem kui 2008.a. Seejuures ilmnes 2009.a. kõigil kolmel rohukamaral loogiline seos: läga muldaviimise aastasaaki tõstev mõju (%) suurenes vastavuses lágaga antud N-normile. Koos N-normiga tõusis taimikutes ka kõrreliste osakaal. Lämmastikunormide keskmisena suurendas vedelsõnniku muldaviimine (võrreldes selle pinnale andmisega) aasta kuivsaaki 2009.a. kõrreliste rohukamaral 21% ning kõrreliste-lutserni segul 15%. Seevastu 2010. aastal läga mulda viimine nõukatses end ei õigustanud kummalgi rohukamaral.

3. Vedelsõnnikuga on otstarbekas väetada eelkõige kõrreliste rohumaid. Katses osutus 2010. aastal keskmiseks korruga antavaks hektarinormiks lágal 39,7 tonni, mis sisaldas keskmiselt üld-N 120 kg, üld-P 26 ja üld-K 77 kg. Reoveesete norm 10,4 tonni/ha sisaldas keskmiselt üld-N 120 kg, üld-P 19 ja üld-K 10,5 kg.

* * *

Põldkatse 2 saagiandmetest (tabel 9) selgub, et seal jäi vedelsõnniku mõju 2009.-2010.a. mõlemal rohukamaral väikeseks. Üllatav oli vedelsõnniku tagasihoidlik mõju 1. ja 2. kasutusaasta aru-raiheina (festulolium) puhaskülvil, kuhu anti kolme võrdse annusena neil aastail (vastavalt 8.05.ja 23.04.; 8.06 ning 30. 07 ja 20.07) kokku ca 285 kg/ha üld-N, millest ammooniumlämmastikku (N-NH₄) oli 156 kg (55%). Võrdlustaimik sai N 180 kg/ha aastas ammooniumsalpeetrina. Kuna vedelsõnnikuga väetamisel tõstabki väetusaasta saaki põhiliselt sõnnikus olev N-NH₄, pidanuks aru-raiheina kuivsaak ulatuma ca 9 t/ha, kuid jäi sellest ca 20% väiksemaks, sest osa sõnnikus olnud lämmastikust lendus ammoniaagina mulda jõudmata. Arvestades teiste Eerikal korraldatud rohumaakatsete põhjal mineraallämmastikuta kõrreliste taimiku (N 0 foon) aastasaagiks ca 3,5 t/ha kuivainet, selgus enamsaagi arvutustest, et vedelsõnniku laotamisel rohumaa pinnale lendus ammoniaagina (NH₃) tõenäoliselt 30-35% sõnnikus olnud ammooniumlämmastikust (N-NH₄). Sarnase tulemuse andsid ka P. Mattila (2006) poolt Soomes eriseadmega tehtud mõõtmised, kus vedelsõnniku pindlaotamisel rohumaaale lendus keskmiselt 40% ammooniumlämmastikust. Aru-raiheina ja punase ristiku segule kevadel kasvu algul antud vedelsõnnik 28 t/ha (sisaldas 44 kg N-NH₄) selle rohukamara kuivsaaki usutavalt ei mõjutanud, kuna lämmastikuvajaduse kattis punase ristiku poolt sümbiootiliselt seotud õhu-N.

Tabel 9. Piimakarja vedelsõnniku mõju rohumaa saagile Eerikal põldkatses 2009.- 2010.a. keskmisena

Väetisnormid ja saak	Ühik	Aru-raiheina puhaskylv		Aru-raiheina ja punase ristiku segu	
		NPK mineraalväetis	vedel-sõnnik pinnale	PK mineraalväetis	vedel-sõnnik pinnale
Väetisi kokku	t ha ⁻¹	1,14	84	0,61	28
Toiteelemente (üld-N, P, K) kokku	kg ha ⁻¹	315	539	135	176
sealhulgas:					
üld-N	kg ha ⁻¹	180	285	0	92
sellest: N-NH ₄	kg ha ⁻¹	90	156	0	44
N-NO ₃	kg ha ⁻¹	90	<1	0	<1
üld-P	kg ha ⁻¹	35	62	35	20
üld-K	kg ha ⁻¹	100	192	100	63
Kuivaine saak kokku	t ha ⁻¹	10,3 ^a	7,2 ^b	10,6 ^a	10,9 ^a
sealhulgas:					
1. niide	kg ha ⁻¹	2720	2100	2915	2805
2. niide	kg ha ⁻¹	5265	3210	4220	4260
3. niide	kg ha ⁻¹	2320	1825	3415	3860

Tootmiskatse 3 (tabel 10) korraldati 2010.a. Tartu Agro AS siloks niidetaval rohumaa eesmärgiga võrrelda veiseläga andmisviisi (lohisvoolikuga taimiku pinnale, spetsiaallaoturiga mulda) mõju punase ristiku rohkel põldheina rohukamaral (2. kasutusaasta) kõrvutatuna sama taimiku väetamata (N0 P0 K0) ning ainult ammooniumnitraati saanud alaga. Mineraalväetise N norm oli võrdne lägas sisaldunud ammooniumlämmastiku (NH₄NO₃) kogusega. Taimik oli rajatud odra allakülvinä 24. aprillil 2008.a., seemnesegus oli punane ristik 'Varte', timut 'Tika', harilik aruhein 'Arni' ja karjamaa raihein 'Raite'. Punase ristiku osakaal saagis oli 2010.a. 50-55%. Saagiandmeist on näha, et mõlemad lägaga väetusviisid andsid lähedase

Tabel 10. Vedelsõnniku mõju põldheinapõllul 2010.a. (Tartu Agro AS)

Põld, väetamine	Antud toiteelemente 1. ja 2. niite kasvuks, kokku kg/ha				Kuivaine saak t/ha		
	üld-N	sealh.: $\text{NH}_4\text{-N}$ $\text{NO}_3\text{-N}$	üld-P	üld-K	1.niide 3.06.2010	2.niide 12.07.201 0	kokku
<u>Soomeküla</u> 1.Läga lohisvoolikuga 30+25 t/ha	193	<u>102</u> <1	38	109	3,40	2,40	5,8
2. Väetamata	0	0	0	0	2,80	1,70	4,5
3. Ammooniumnitraat 45+57 kg/ha N	102	<u>51</u> 51	0	0	3,85	2,45	6,3
<u>Joosepi</u> 4.Läga taimikusse 30+23 t/ha	223	<u>128</u> <1	46	89	3,40	2,10	5,5

tulemuse, kusjuures saagitõus võrreldes väetamata alaga oli 22-29%. Pärast 2. niidet künti kõnealused taimikud üles ja läksid taliteravilja alla.

3.2 Väetamise mõju toitainete leostumisele rohumaal mullast

Rohukamara liigilise koosseisu mõju N ja K leostumisel

N ja K leostumine oli katses võrreldud taimikute puhul erinev ($P < 0,05$).

Vegetatsiooniperioodil (tabel 11, joonis 1) leostus kõige vähem kõrreliste + valge ristiku ja kõige rohkem kõrreliste taimikust. Väljaspool vegetatsiooniperioodi (tabel 12) oli liigilise koosseisu mõju N ja K leostumisele väiksem. Kõrreliste ja kõrreliste + valge ristiku taimikust leostunud N kogused omavahel ei erinenud ($P > 0,05$), kuid nendega võrreldes usutavalt rohkem ($P < 0,05$) leostus N välja kõrreliste + lutserni taimikust. K leostus kõige vähem ($P < 0,05$) kõrreliste + valge ristiku taimikust. Kõrreliste ja kõrreliste + lutserni taimikust K leostumine ei erinenud ($P > 0,05$).

Katseaastal tervikuna (s.o. 2008 ja 2009 keskmisena) oli N ja K leostumine kõige väiksem ($P < 0,05$) kõrreliste + valge ristiku (N 2193 ja K 694 mg m⁻²) ning suurim (N 2937 ja K 3069 mg m⁻²) kõrreliste taimikust. Kõrreliste + lutserni taimikust leostus katseaastal N ja K vastavalt 2765 ja 2323 mg m⁻².

Nii meie (Viiralt *et al.*, 2009) kui ka varasemad uurimistööd (Saarman, Viiralt, 1982; Kalmet *et al.*, 1996; Decau, *et al.*, 2004) näitavad, et vegetatsiooniperioodil sõltub toitainete leostumine peamiselt taimikust läbinõrguvast veekogusest, mis on seda väiksem, mida suurem on taimiku saak. Kõrreliste + valge ristiku taimiku saak oli teiste katses olnud taimikutega võrreldes usutavalt suurem mõlemal katseaastal, mis selgitab, miks just sellest taimikust leostus N ja K välja kõige vähem. Valge ristiku puhul avaldas ilmselt mõju ka tema kõrreliste ja lutserniga võrreldes suurem veetarve. Visuaalselt võis seda märgata kuumadel suvepäevadel, millal valge ristiku taimed kippusid närbuma, kõrreliste ja lutserni puhul aga selliseid märke näha ei olnud.

K leostumist mõjutava tegurina on märgitud ka mulla N varu, mille kasvades suureneb taimede vajadus K järele, mistõttu seda leostub vähem (Taube *et al.*, 1995). Selle teooria kohaselt peaks kõrreliste + liblikõieline taimikust, kus N varu tänu sümbioosile N on mullas suurem, olema K leostumine kõrreliste taimikuga võrreldes väiksem. Meie katses leidis see kinnitust ainult kõrreliste + valge ristiku taimiku puhul, kust K leostumine oli kõrreliste

Tabel 11. Lämmastiku ja kaaliumi leostumine rohumaa taimikutest 2008. ja 2009. a. vegetatsiooniperioodil

Taimik	Kontroll N ₀ P ₀ K ₀	Väetis				Keskmine leostumine 5
		Mineraalväetis		Orgaaniline väetis		
		P K ¹	NPK ²	Läga ³	Reoveesete ³	
Lämmastik mg m⁻²						
Kõrrelised	2589 ^{ab} 4	2689 ^{aA}	2303 ^{aC}	2567 ^{aC}	2468 ^{aB}	2489 ^C
Kõrrelised + valge ristik	1848 ^{acA}	1399 ^{bB}	1517 ^{bcA}	1901 ^{aA}	1832 ^{aA}	1740 ^A
Kõrrelised + lutsern	2343 ^{abAB}	2466 ^{aA}	1978 ^{bB}	2300 ^{aB}	2231 ^{abAB}	2229 ^B
Kaalium mg m⁻²						
Kõrrelised	3032 ^{abA}	3834 ^{abC}	2320 ^{aA}	2632 ^{aC}	2597 ^{aC}	2733 ^C
Kõrrelised + valge ristik	718 ^{abB}	635 ^{abA}	520 ^{abB}	745 ^{bA}	454 ^{aA}	625 ^A
Kõrrelised + lutsern	2351 ^{abA}	3005 ^{bB}	1922 ^{aA}	1890 ^{aB}	1812 ^{aB}	2061 ^B

¹Väetiskoguste N₀P₃₀K₆₀, N₀P₆₀K₁₂₀ kg ha⁻¹ keskmine

²Väetiskoguste N₆₀ P₃₀K₆₀, N₁₂₀P₆₀K₁₂₀, N₁₈₀P₆₀K₁₂₀ kg ha⁻¹ keskmine

³Väetiskoguste N₆₀₋₁₈₀ kg ha⁻¹ keskmine

⁴Erinevad väiketähed samas reas ja suured tähed samas veerus näitavad usutavat erinevust ($P < 0.05$)

⁵Ühelt taimikult keskmiselt leostunud N ja K kogus leiti kõigi katses olnud väetusvariantide keskmisena

taimikuga võrreldes väiksem. Kõrreliste ja kõrreliste + lutserni taimiku vahel usutavat erinevust ei olnud.

N leostumine liblikõieliste taimikust kasvab, kui liblikõieliste osakaal hakkab taimikus langema (Low, Armitage, 1970). Lutsernile ei sobinud meie katses kasvutingimused ja selle osakaal hakkas juba pärast esimest aastat märgatavalt vähenema. Me arvame, et suurem leostumine oli selle taimiku puhul põhjustatud lutserni surnud juurtes ja neil resideerunud mügarbakterites sisaldunud N mineraliseerumisest. Tänapäeval on laialt levinud arvamus, et liblikõieliste võtmine seemenesegusse vähendab N leostumist (Jensen, Hauggaard-Nielsen, 2003; Drinkwater *et al.*, 1998; Askegaard, Eriksen, 2008, 2008a). Meie katse tulemused üldjoontes kinnitavad seda. Samas näitavad meie andmed, et liblikõieliste mõju avaldub peamiselt vegetatsiooniperioodil ning see on seotud mullast läbinõrguva veekoguse vähenemisega. Väljaspool vegetatsiooniperioodi võib liblikõielist sisaldavast taimikust leostuda N välja kõrrelistega võrreldes ka rohkem.

Väetustaseme ja väetise liigi mõju N ja K leostumisele

Vegetatsiooniperioodil N leostumine kõrreliste taimikust ei sõltunud väetamise tasemest ja kasutatud väetisest ($P > 0,05$). Seevastu kõrreliste + valge ristiku taimikust leostus N usutavalt vähem ($P < 0,05$) välja mineraalväetise (PK ja NPK) kasutamisel. Nendega võrreldes oli N leostumine suurem ($P < 0,05$) orgaanilise väetisega (vedelsõnnik ja

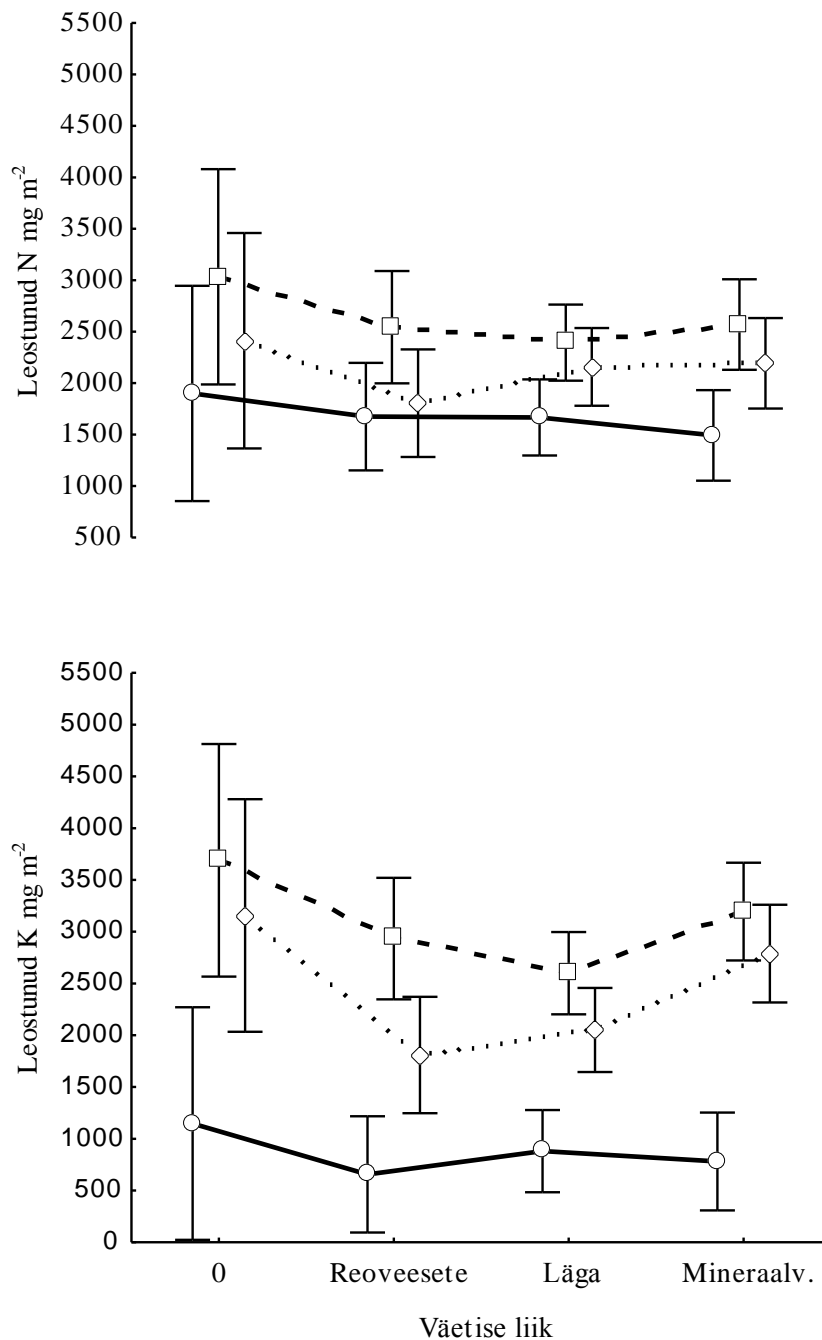
reoveesete) väetatud taimikust ja kontrollvariandist. Ka kõrreliste + lutserni taimikust oli N leostumine kõige väiksem ($P < 0,05$) mineraalväetise (NPK) ja suurem ($P < 0,05$) vedelsõnniku ja mineraalse PK väetisega väetatud variandis. Kontrollvariandi ja väetist saanud variantide vahel N leostumises olulist erinevust ($P > 0,05$) ei olnud. K leostumine sõltus kasutatud väetisest ainult kõrreliste + valge ristiku taimikus, kus see oli suurem ($P < 0,05$) vedelsõnnikuga väetatud variandis. Väljaspool vegetatsiooniperioodi N leostumine kõrreliste ja kõrreliste + lutserni taimikust ei olenenud väetustasemest ja kasutatud väetisest ($P > 0,05$). Kõrreliste + valge ristiku taimikust leostus N teistega võrreldes vähem ($P < 0,05$) välja PK väetise ning rohkem ($P < 0,05$) vedelsõnniku variandist. Lämmastikuga võrreldes mõjutas kasutatud väetise liik kaaliumi leostumist rohkem. Kõrreliste ja kõrreliste + lutserni taimikust leostus K teistega võrreldes rohkem välja PK väetise ja vedelsõnniku kasutamisel ning kõrreliste + valge ristiku taimikust vedelsõnniku korral. Kõigi kolme taimiku puhul oli sarnane, et K leostus kontrollvariandist välja ligikaudu sama palju kui väetist saanud katsenõudest. Erandiks olid kõrreliste ja kõrreliste + lutserni taimiku PK väetise variandid, kust K leostus kontrollvariandiga võrreldes rohkem ($P < 0,05$). Katseperioodil tervikuna (s.o. aastas kokku) oli N leostumine kõige väiksem mineraalväetise kasutamisel. Kõrreliste ja kõrreliste + lutserni taimikust leostus N kõige vähem välja NPK ja kõrreliste + valge ristiku taimikust PK väetise variandist. Kõigi kolme taimiku korral leostus kontrollvariandist N ligikaudu sama palju, kui väetist saanud variantidest. K leostus katseaastal kõrreliste taimikust kõige vähem välja mineraalse NPK väetise korral, kus see oli väiksem ($P < 0,05$) ka võrreldes kontrollvariandiga. Kõige suurem K leostumine esines PK väetise ($P < 0,05$) variandis. Kõrreliste + valge ristiku taimikust leostus K teistega võrreldes rohkem välja vedelsõnnikuga väetatud variandis. Teistes variantides (s.h. kontrollvariandis) leostunud K kogus ei erinenud usutavalt ($P > 0,05$). Kõrreliste + lutserni taimikul eristus teistest PK variant, kust oli K leostumine teistega võrreldes suurem ($P < 0,05$).

Kõigi taimikute kokkuvõttes oli N leostumine keskmiselt aastas kõige suurem ($P < 0,05$) vedelsõnniku (2764 mg m^{-2}) ja väikseim ($P < 0,05$) mineraalse NPK (2387 mg m^{-2}) väetise kasutamisel. Kontrollvariandist leostus aastas 2686 mg N m^{-2} , mida oli rohkem ($P < 0,05$) kui mineraalset NPK väetist saanud taimikul. K leostumine oli teiste variantidega võrreldes suurem (2796 mg m^{-2}) PK- väetise korral ($P < 0,05$). Nii N kui K leostumisele kontrollvariandist oli iseloomulik, et tulemuse varieeruvus oli seal võrreldes väetist saanud variantidega oluliselt suurem. Tulemused ei varieerunud üksnes sõltuvalt taimikust vaid erinevus oli suur ka ühe variandi korduste vahel.

Tabel 12. Lämmastiku ja kaaliumi leostumine rohumaa taimikutest väljaspool vegetatsiooniperioodi 2008. ja 2009.a.

Taimik	Kontroll N ₀ P ₀ K ₀	Väetis				Keskmise leostumine ⁵
		Mineraalväetis		Orgaaniline väetis		
		P K ¹	NPK ²	Läga ³	Reoveesete ³	
Lämmastik mg m⁻²						
Kõrrelised	378 ^{aA} ⁴	389 ^{aAB}	376 ^{aA}	454 ^{aA}	451 ^{aA}	427 ^A
Kõrrelised + valge ristik	422 ^{abcA}	281 ^{aA}	462 ^{bcA}	531 ^{ca}	411 ^{abA}	453 ^A
Kõrrelised + lutsern	475 ^{aA}	499 ^{aB}	524 ^{aA}	539 ^{aA}	494 ^{aA}	521 ^B
Kaalium mg m⁻²						
Kõrrelised	314 ^{abA}	434 ^{ca}	257 ^{aA}	324 ^{ba}	294 ^{abA}	315 ^B
Kõrrelised + valge ristik	90 ^{abB}	84 ^{abB}	111 ^{abB}	125 ^{bb}	65 ^{ab}	103 ^A
Kõrrelised + lutsern	252 ^{abA}	393 ^{ca}	235 ^{aA}	322 ^{bcA}	292 ^{abA}	304 ^B

¹⁻⁵Selgitus vt. tabel 11



Kõrrelised + valge ristik
 Kõrrelised
 Kõrrelised + lutsern

Joonis 1. Üldlämmastiku (N) ja kaaliumi (K) leostumine 30 cm mullakihist sõltuvalt taimikust ja väetamisest 2008.a. (21.aprillist - 31.oktoobrini)

Järeldused

Meie uurimistöö näitas, et rohumaade väetamine ei suurenda leostumist, kui kasutatavad väetisnormid on kooskõlas taimede toitainete vajadusega. Toitainete leostumine kergest mullast oli väetamata rohumaalt sama suur kui väetatud rohumaalt või sellest isegi suurem. Vegetatsiooniperioodil sõltus leostumine peamiselt taimikust läbinõrgunud vee kogusest, mis oli negatiivses korrelatsioonis saagi suurusega. Väetamine suurendas saaki, mille tulemusena nõrgvee kogus vähenes. Orgaaniliste väetiste kasutamine rohumaal ei vähendanud N ja K leostumist vaid võrreldes mineraalväetisega pigem suurendas seda. Leostumise vähendamiseks rohumaadelt peavad seal olema hea saagivõimega rohukamarad, mida tuleb

tasakaalustatult väetada. Seejuures sõltub saagitase eeskätt taimiku varustatusest lämmastkuga.

4. Põhilised järeldused uurimistööst ja ettepanekud projekti tulemuste kasutamiseks praktikas

1. Vedelsõnnikuga on otstarbekas väetada eelkõige kõrreliste rohumaid, et vähendada kulutusi kallitele NPK-mineraalväetistele. Vedelsõnniku andmine on siiski kasulik ka ristikurohketele taimikutele, sest sel juhul kaetakse sõnnikuga vähemalt fosfori ja kaaliumi vajadus ning PK-mineraalväetist pole vaja anda, tõuseb ka üldine saagitase.
2. Vedelsõnniku hektarinormi arvutamisel tuleks lähtuda eeskätt ammooniumlämmastiku (NH₄-N) sisaldusest sõnnikus, mida taimed kiiresti omastavad. Ülejäänud lämmastik (orgaaniline N) mineraliseerub aeglaselt ning väetamise aastal mõjutab rohumaa saaki vähe. Vedelsõnniku hektarinormide määramisel tuleb arvesse võtta väetisainete kasutamist reguleerivates õigusaktides (eeskätt *Veeseadus*, *Väetiseseadus*, põllumajandustoetuste rakendusmäärused) esitatud toiteelementide ökoloogiliselt lubatavaid piirnorme.
3. Vedelsõnniku *muldaviimine* oli kahel aastal kolmest võrreldes selle maapinnale andmisega märkimisväärselt efektiivsem ainult *kõrreliste* rohukamaral, kuid see küsimus vajab edaspidi põhjalikumalt uurimist.
4. Tootmiskatses 2010. aastal põldheinapõllul (punast ristikut 50-55% saagist) selgus, et mõlemad läga andmisviisid (lohisvoolikuga taimiku pinnale, spetsiaallaoturiga mulda) andsid lähedase tulemuse, kusjuures saagitõus võrreldes väetamata alaga oli 22-29%.
5. Üldlämmastiku ja kaaliumi leostumine sademetega 30 cm mullakihist olenes rohkem rohukamarast kui väetamisest, olles suurim kõrreliste taimiku ja väikseim valge ristiku ja kõrreliste segu korral.

Kasutatud kirjandus

- Alfaro, M. A., Jarvis, S. C., Greory, P. J. 2004. Factors affecting potassium leaching in different soils. *Soil use and management* 20, 182-189
- Askegaard, M., Eriksen, J. 2008. Legume catch crops for reducing N leaching and substituting animal manure. *16th IFOAM Organic World Congress*, Modena, Italy, June 16-20, 2008
- Askegaard, M., Eriksen, J. 2008a. Residual effect and leaching of N and K in cropping systems with clover and ryegrass catch crops on a coarse sand. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 123, Issues 1-3, p. 99-108.
- Bergström, L., Goulding, K. 2005. Perspectives and challenges in the future use of plant nutrients in tilled and mixed agricultural systems. *Ambio*. Vol.34., 283-287.
- Decau, M.L., Simon J. C., Jacquet, A. 2004 Nitrate Leaching under Grassland as Affected by Mineral Nitrogen Fertilization and Cattle Urine. *Journal of Environmental Quality*, 33, 637-644.
- Drinkwater, L., E., Wagoner, P. & Sarrantonio M. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*. Vol. 396. 262-265.
- Engström, L., Lindén, B., Ericsson, L. 2005 Nitrification during autumn and winter of ammonium nitrogen in cattle slurry applied to soil at different times during the autumn. In the proceedings from the seminar *Manure – an agronomic and environmental Challenge*, NJF – seminar no.372, 17-21
- Frame, J. 1994. Improved Grassland Management. Farming Press, UK, pp. 136-145.

- Granstedt, A., 1992. Case studies on the flow and supply of nitrogen in alternative farming in Sweden. 1. Skilleby- Farm 1981–1987. *Biolog. Agric. and Hortic.* 9, 15–63.
- Haas, G., Berg, M., Köpke, U. 2002 Nitrate leaching: comparing conventional, integrated and organic agricultural production systems. Agricultural effects on ground and surface waters. Haas, G., Berg, M., Köpke, U. 2002. *IAHS Publ. no. 273*, 131-136.
- Hansen, B., Kristensen, E.S., Grant, R., Høgh-Jensen, H., Simmelsgaard, S.E., Olesen, J. 2000 Nitrogen leaching from conventional versus organic farming – a systems modelling approach. *European Journal of Agronomy*, 13, 65-82.
- Jensen, E., S. & Hauggaard-Nielsen, H. 2003. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil* 252: 177–186.
- Kalmet, R., Kanger, J., Kevvai, T., Kuldkepp, P., Kärblane, H. (koostaja), Raudväli, E. ja Turbas, E. 1996. Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. Tallinn, - 285 lk.
- Kayser, M., Isselstein, J. 2010. Potassium cycling and losses in grassland system: a review. Blackwell Publishing Ltd. *Grass and Forage Science*, 60, 213–224.
- Kristensen, S.P., Mathiasen, J., Lassen, J., Madsen, H.B., Reenberg, A., 1994. A comparison of the leachable inorganic nitrogen content in organic and conventional farming systems. *Acta Agric. Scand. B. Soil Plant Sci.* 44, 19-27.
- Low, A.J. Armitage, E.R. 1970. The composition of the leachate through cropped and uncropped soils in lysimeters compared with that of rain. *Plant and Soil*, 33, 393-411.
- Mattila, P. 2006. Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production. – Doctoral dissertation. Agrifood Research Reports 187, Jokioinen, - 136 p.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 2001. *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, - 849p.
- Pain, B.F. 2000. Control and utilization of livestock manure. Hopkins, A. (ed). *Grass its production and utilization*, Blackwell Science, 343-360.
- Saarman, T., Viiralt, R. 1982. Taimetoitainete väljauhtmisest liivmullast heintaimede intensiivsel väetamisel ja niisutamisel. - Rohumaaviljelus, 18, lk. 29-36.
- Taube F., Wulfes R. and Südekum K.-H. 1995. Impact of nitrogen fertilization and growing period on the concentration of mineral element during growth of permanent grass swards (in German). *Das Wirtschaftseigene Futter*, 41, 219–237.
- Torstensson, G., Aronsson, H., Bergström, L. 2006. Nutrient use efficiencies and leaching of organic and conventional cropping systems in Sweden. *Agronomy Journal*, vol.98, 603-615.
- Viiralt, R. 2007. Heintaimede toitumine. – Rmt: Rohumaaviljeluse, karjakasvatuse ja haljastuse integratsioon, Saku, lk. 61-83.
- Viiralt, R. Raave, H., Kauer, K., Selge, A., Parol, A. 2009. Vedelsõnniku kasutamine rohumaade väetamisel. *Agronomia* 2009, lk 146-155.

Vedelsõnniku hektarinormide määramisel tuleb arvesse võtta väetisainete kasutamist reguleerivates õigusaktides (eeskätt *Veeseadus*, *Väetise seadus*, põllumajandustoetuste rakendusmäärused) esitatud tootelementide ökoloogiliselt lubatavaid piirnorme.

3. Vedelsõnniku *muldaviimine* oli kahel aastal kolmest võrreldes selle maapinnale andmisega märkimisväärselt efektiivsem ainult *kõrreliste* rohukamaral, kuid see küsimus vajab edaspidi põhjalikumat uurimist.

4. Tootmiskatsest 2010. aastal põldheinapõllul (punast ristikut 50-55% saagist) selgus, et mõlemad läga andmisviisid (lohisvoolikuga taimiku pinnale, spetsiaallaoturiga mulda) andsid lähedase tulemuse, kusjuures saagitõus võrreldes väetamata alaga oli 22-29%.

5. Üldlämmastiku ja kaaliumi leostumine sademetega 30 cm mullakihist olenes rohkem rohukamarast kui väetamisest, olles suurim kõrreliste taimiku ja väiksem ristiku ja kõrreliste segu korral.

5. LÜHIKOKKUVÕTE INGLISE KEELES : The objectives of current applied project in 2008-2010 are:

1. to find out optimal rates of slurry application (single, for season) for different crops (mainly for grassland)
2. to study the impact of different slurry rates on the soil and yield quality of crops
3. to compare the efficiency of various technologies of slurry application

As the result of the current project ecologically friendly technology for cattle slurry use in agriculture will be found out.

To achieve abovementioned aims of the project the lysimeter trial (topic: *Comparison of different rates and application technics of liquid slurry and wastewater sludge to grassland*) at EULS Eerika Experimental Station was carried out in 2008-2010. The trial includes 186 plastic vessels (depth of soil layer 30 cm, area 0,0706 sq.m.).

In 2009 and 2010 at Eerika also the field trial (plots 2.2x7 m) for testing the comparative effect from application of dairy cattle slurry and mineral NPK-fertilizer on the second year ley (festulolium 'Barfest' and its mixture with red clover 'Mars') dry matter yield was performed. In 2010 the on-farm field trial was established to compare the effect of two application techniques of cattle slurry (band spreading, injection) to the silage ley rich red clover (50-55% of DM yield).

Preliminary conclusions and recommendations for practice on the basis of results in 2008-2010:

1. The effect of available for plants nitrogen (NH₄-N mainly) applied to pure-grass sward by cattle slurry in vessel lysimeter experiment formed 50-75% of the dry yield increase obtained by the same rate of mineral fertilizer N and 60-70% of that in the field plot trial.

2. In pure-grass sward the injection of slurry into the soil to the depth of 5-7 cm resulted (in 2 years of 3) in markedly higher (by 15-27%) dry yield increase in comparison with the surface application of slurry. The favourable effect from slurry injection into soil increased by the raising of annual application rate of slurry N.

3. To save costs for expensive mineral fertilizers it is expedient to apply slurry above all to grass-only swards. The rate of slurry 30 tonnes/ha contains on the average 95-120 kg of total-N, 18-25 kg total-P, 65-85 kg total-K, 30-40 kg total-Ca and 20-23 kg total-Mg.

4. To calculate single and annual application rates of livestock slurry it is expedient to take into account first of all the content of ammonium (NH₄) in the slurry (its proportion is mostly 40-55% of total N) because NH₄-N is readily available to the plants. Other part of N in slurry (mostly organic N) becomes available through long-lasting (over one year) process of organic matter mineralization and therefore in the year of slurry application it has only slight effect on the grass yield.

5. Leaching of nitrogen (total-N) and potassium (total-K) from 30 cm layer of sandy soil caused by heavy rainfall depended mostly on the sward type (grass-only, mixtures of legumes and grasses), the influence of fertilizer application was surprisingly quite low. The losses of N and K from sandy soil were the less the higher dry matter yields were obtained.

6. TEEMA RAAMES ILMUNUD PUBLIKATSIOONID: Projekti tulemusi käsitlevad või nendega haakuvad järgmised publikatsioonid, mis on avaldatud projekti täitjate poolt või osalusel 2008.-2010.a.:

1. Põllumajandustootjatele suunatud publikatsioonid (eelretsenseeritud)

Tampere, M., Kauer, K., Noormets, M., Parol, A., Raave, H., Selge, A., Viiralt, R., Väetamise mõju lämmastiku ja kaaliumi leostumisele rohumaal. – *Agronoomia* 2010/2011, Saku, 2011, lk. 139-146.

Viiralt, R., Raave, H., Kauer, K., Selge, A., Parol, A. Vedelsõnniku kasutamine rohumaade väetamisel. – *Agronoomia* 2009, Jõgeva 2009, lk. 146-155.

Raave, H., Espenberg, E., Laidna, T., Muga, A., Noormets, M., Selge, A., Viiralt, R. Heintaimede sobivusest ja agrotehnikast energiaheina tootmiseks. – *Agronoomia*, 2009, Jõgeva, 2009, lk. 248-253.

Parol, A. Veiseliha tootmine sõltub karjamaast. – *Agronoomia*, 2008, Tartu, 2008, lk. 106-110.

Raave, H., Noormets, M., Selge, A., Viiralt, R. Energiaheina tootmise võimalikkusest Eestis. – *Agronoomia* 2008, Tartu, 2008, lk. 174-177.

Viiralt, R., Kabanen, N., Parol, A., Selge, A. Rohumaa seemnesegude võrdlus. - Agronoomia 2008, Tartu, 2008, lk. 115-119.

Projekti eeltööna ilmus 2007.a. novembris rohumaade käsiraamatus artikkel, kus käsitletakse eraldi küsimusena vedelsõnniku keskkonnasäästlikku kasutamist väetisena:

Viiralt, R. Heintaimede toitumine. – Rmt: Rohumaaviljeluse, karjakasvatuse ja haljastuse integratsioon, 2007, lk. 61-83.

2. Projekti tulemusi tutvustati suulise ettekandega järgmistel põhiliselt tootjatele suunatud foorumitel:

Viiralt, R. (ettekandja), **Tampere, M., Kauer, K., Noormets, M., Parol, A., Raave, H., Selge, A.** Väetamise mõju lämmastiku ja kaaliumi leostumisele rohumaal. – Vabariiklik konverents „Agronoomia 2010/2011”, 10. märts 2011, Saku.

Viiralt, R. (ettekandja), **Raave, H., Kauer, K., Parol, A., Selge, A.** Vedelsõnniku efektiivsus rohumaal. –Eesti Rohumaade Ühingu üleriigiline infopäev 23.11.2010.a. Paide Kultuurikeskuses.

Viiralt, R. Vedelsõnnik rohumaade väetisena. – *Eesti Rohumaade Ühingu infopäev: Söödatootmine rohumaadelt*, 8. juuli 2009, AS Väätsa Agro.

Viiralt, R. (ettekandja), **Raave, H., Kauer, K., Selge, A., Parol, A.** Vedelsõnniku kasutamine rohumaade väetamisel. – Vabariiklik konverents “Agronoomia 2009”, 19. november 2009, Jõgeva.

3. Rahvusvahelise levikuga eelretsenseeritud publikatsioonid

Raave, H., Kauer, K., Noormets, M., Selge, A., Viiralt, R. 2010. Nitrogen and potassium leaching from grassland soil depending on applied fertilizer type and rate and sward botanical composition. In: Grassland in a changing world (editors H. Schnyder et al.). Grassland Science in Europe, Vol.15, pp. 1058-1060.

Kauer, K., Raave, H., Viiralt, R., Köster, T., Noormets-Shansky, M., Laidna, T., Keres, I., Parol, A., Selge, A. 2009. Effect of clippings management on turfgrass sward productivity and nitrogen content in the clippings and soil. Agronomy Research, 7, 311 - 316.

Kauer, K., Laidna, T., Keres, I., Köster, T., Noormets, M., Parol, A., Raave, H., Selge, A., Viiralt, R. 2009. The effect of returning turfgrass clippings on turfgrass sward yield. In: *Proceedings of the 15th of the European Grassland Federation Symposium : Alternative Functions of Grassland. Brno, Czech Republic, 7-9 September 2009.* (Toim.) B. Cagaš, R. Machac, J. Nedelnik. JPM TISK, Ltd., 332 - 335.

Alaru, M., Noormets, M., Raave, H., Lauk, R., Selge, A., Viiralt, R. Farming systems and environmental impacts. – Agronomy Research, Vol. 7, 2009, 1, p. 3-10.

Kauer, K., Köster, T., Raave, H., Viiralt, R., Selge, A. Nitrogen release from turfgrass clippings with different fertilization rates. – Proceedings of XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress “Multifunctional Grasslands in a Changing World”, 2008, Hohhot, China, Vol. II, p. 302.

Noormets, M., Raave, H., Viiralt, R., Parol, A. Rohtsete taimede kasutamine bioenergia tootmiseks. – Agraarteadus, 2007, nr. 2, lk. 89-92 (inglise ja eesti k.). Ajakirja number ilmus trükist 2008.a. algul.

Projekti juht (ees- ja perekonnanimi): Rein Viiralt	Allkiri:	Kuupäev: 28.2.2011
Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (ees- ja perekonnanimi): Aret Vooremäe	Allkiri:	Kuupäev: 28.2.2011

Projekti lõpparuande täitmise juhend on kättesaadav Põllumajandusministeeriumi koduleheküljel

<http://www.agri.ee>