

# Majandus- ja Sotsiaalnõukogu

7 February 2014

Tõlge: eesti keel

---

## Euroopa Majanduskomisjon

Piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni täitevorgan

### **Põllumajanduslikest allikatest pärineva ammoniaagiheite ennetamise ja vähendamise juhenddokument**

*kokkuvõte*

Piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni täitevorgan võttis oma 31. istungil (11.–13. detsembril 2012 Genfis) vastu juhenddokumendi põllumajanduslikest allikatest pärineva ammoniaagiheite ennetamiseks ja vähendamiseks ning otsustas, et see dokument on juhenddokument, millele viidatakse hapestumist, eutrofeerumist ja troposfääriosooni vähendamist käsitleva 1999. aasta protokoll (Göteborgi protokoll) IX lisa artikli 3 lõike 8 punktis b ning paragrahvis 6 (muudetud dokumendiga ECE/EB.AIR/113/Add.1, otsus 2012/11).

Juhenddokument on koostatud selleks, et vajadusel anda konventsiooni osalistele tuge parimate olemasolevate meetodite rakendamisel ammoniaagiheite ennetamiseks ja vähendamiseks ning eelkõige ammoniaagi heitkoguse vähendamiseks selle olulistest allikatest. Lisaks on dokumendis sätestatud madala heitkoormusega asjakohaselt kasutatavad vedelsõnniku laotamise tehnikad, võttes arvesse kohaliku pinnase omadusi ja teisi geomorfoloogilisi iseärasusi, vedelsõnniku tüüpi ning farmi struktuuri.

## Sisukord

	<i>Paragrahvid</i>	<i>Lk</i>
Lühendite ja akronüümide loetelu .....		4
Kokkuvõte .....	1–14	6
I. Sissejuhatus .....	15–25	13
II. Loomakasvatus ja selle areng .....	26–34	17
III. Lämmastiku käitlemine, arvestades kogu lämmastikuringet .....	35–46	19
IV. Põllumajandusloomade söötmissstrateegiad .....	47–59	24
V. Põllumajandusloomade pidamine .....	60–117	29
A. Piima- ja lihaste pidamissüsteemid .....	60–72	29
B. Sigade pidamissüsteemid .....	73–95	32
C. Põllumajandusloomade pidamissüsteemid .....	96–117	38
VI. Sõnniku ladustamise tehnikad .....	118–129	44
VII. Sõnniku laotamise tehnikad .....	130–177	47
VIII. Väetiste kasutamine .....	178–195	63
A. Karbamiidväetised .....	178–192	63
B. Ammooniumsulfaat-, ammooniumfosfaat- ja ammooniumnitraatväetised .....	193–195	66
IX. Teised põllumajandusliku lämmastikuga seotud meetmed .....	196–200	67
A. Karjatamine .....	196–197	67
B. Sõnniku töötlemine .....	198–199	68
C. Mittepõllumajanduslik sõnniku kasutamine .....	200	68
X. Mittepõllumajanduslikud statsionaarsed ja mobiilsed lämmastikuheite allikad .....	201–220	68
A. Tööstuslikud tehnikad .....	203–207	69
B. Meetmed, mis sobivad loetletud sektoritele .....	208–214	69
C. Anorgaaniliste lämmastikväetiste, karbamiidi ja ammoniaagi tootmine .....	215–220	70
<b>Lisad</b>		
I. Lämmastiku käitlemine, arvestades kogu lämmastikuringet .....		72
II. Põllumajandusloomade söötmissstrateegiad .....		88
Viited .....		99
<b>Tabelid</b>		
S1. Lämmastiku ülejäägi ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) ligikaudsed sihtväärtused sõltuvalt põllumajandussüsteemist, põllukultuuride liigist ja loomade kategooriast .....		7
S2. Laudas peetavate põllumajandusloomade standardse kuivainesisaldusega (88%) kuivsoöda soovituslikud proteiini sihttasemed (%) sõltuvalt loomaliigist ja vanuse (toodangu) rühmast ning vähendamise ambitsioonist .....		9

S3. Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid loomapidamishoonetes, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud .....	10
S4. Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid sõnnikuhoidlates, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud .....	11
S5. Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid sõnniku laotamisel, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud .....	12
S6. Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid karbamiid- ja ammoniumväetiste korral, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud .....	13
1. (a) Kapitalikulud (CAPEX) .....	16
1. (b) Aastane kulu (tegevuskulud (OPEX)): meetme kasutuselevõtuga seotud aastane kulu	16
2. Lämmastiku ülejäägi (N ülejääk) ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) ligikaudsed sihtväärtused sõltuvalt põllumajandussüsteemist, põllukultuuri liigist ja loomakategooriast	23
3. Ligikaudsed toorproteiini sihttasemed veistele (% ratsiooni kuivainest) ja sellest tulenev lämmastiku kasutamise efektiivsus (NUE) toodangus (kg/kg) .....	26
4. Ligikaudsed toorproteiini sihttasemed sigade ratsioonides .....	28
5. Ligikaudsed toorproteiini sihttasemed põllumajanduslindude ratsioonides .....	29
6. Ammoniaagi heitkogused veiste erinevate pidamissüsteemide korral (referentsüsteemid ning 1. ja 2. kategooria tehnikad) .....	32
7. 1. ja 2. kategooria tehnikad: heite vähenemine ja selle maksumus sigade madala heitetasemega pidamissüsteemide korral .....	37
8. Munakanade traditsioonilistes puurides pidamine (referentsmeetod): tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH <sub>3</sub> heitkoguse vähenemise potentsiaal .....	40
9. Munakanade täiustatud puurides pidamine: tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH <sub>3</sub> heitkoguse vähenemise potentsiaal .....	41
10. Munakanade vabapidamise süsteemid: tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH <sub>3</sub> Heitkoguse vähenemise potentsiaal .....	41
11. Broilerite pidamissüsteemid: tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH <sub>3</sub> heitkoguse vähenemise potentsiaal .....	43
12. Ammoniaagiheite vähendamise meetmed veiste ja sigade vedelsõnnikuhoidlate korral ..	46
13. Heitkoguste vähendamise 1. kategooria tehnikad vedelsõnniku laotamisel .....	49
14. Heitkoguste vähendamise 1. kategooria tehnikad tahesõnniku laotamisel .....	51
15. Ammoniaagiheite vähendamise võimalused (1. kategooria) karbamiidväetistest .....	65
<b>Joonis</b>	
Vedelsõnniku ammoniaagina lenduva TAN-i osakaalu ja vedelsõnniku kuivainesisalduse vaheline seos laotamisel, lähtuvalt kuuest määramisest .....	55

**Lühendite ja akronüümide loetelu**

°C	Celsiuse kraad
BREF	parimate võimalike tehnikate võrdlusdokument
C	süsinik
Ca	kaltsium
CaCl <sub>2</sub>	kaltsiumkloriid
CaCO <sub>3</sub>	kaltsiumkarbonaat
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	kaltsiumnitraat
CAPEX	kapitalikulu
CaSO <sub>4</sub>	kaltsiumsulfaat (kips)
CH <sub>4</sub>	metaan
cm	sentimeeter
CO <sub>2</sub>	süsinikdioksiid (süsihappegaas)
DON	lahustunud orgaanilised lämmastikuühendid
ECE	ÜRO Euroopa Majanduskomisjon
EL	Euroopa Liit
FNEV	väetiste lämmastikusisalduse ekvivalentväärtused
g	gramm
ha	hektar
IPPC	saastuse kompleksne vältimine ja kontroll
KA või k.a.	kuivaine
kat	kategooria
kg	kilogramm
LÜ	loomühik
Mg	magneesium
mm	millimeeter
MUN	piima karbamiidlämmastik
N	lämmastik
N <sub>2</sub>	dilämmastik
N <sub>2</sub> O	dilämmastikoksiid (naerugaas)
NH <sub>3</sub>	ammoniaak
NH <sub>3</sub> -N	ammoniaaklämmastik
NH <sub>4</sub>	ammoonium

---

NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	ammooniumnitraat
NO <sub>3</sub>	nitraat
NO <sub>x</sub>	lämmastikoksiidid
NPK	lämmastik-fosfor-kaalium
NSP	struktuursed süsivesikud (mittetärkliselised polüsahhariidid)
NUE	lämmastiku kasutamise efektiivsus
N ülejääk	lämmastiku ülejääk sisend- ja väljundbilansis
OPEX	tegevuskulud
P	fosfor
pH	~ happelisus; negatiivne logaritm prootonite (H <sup>+</sup> ) aktiivsusest
PM <sub>10</sub>	peenosakesed diameetriga < 10 mikromeetrit
PM <sub>2,5</sub>	peenosakesed diameetriga < 2,5 mikromeetrit
PVT	parimad võimalikud tehnikad
ref süsteem	referentssüsteem
S	väävel
TAN	Kogu ammooniumlämmastik
TP	toorproteiin
VFA	lenduvad rasvhapped

## Kokkuvõte

1. See dokument sisaldab juhiseid ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni (ECE) piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni osalistele. Dokumenti eesmärk on määratleda ammoniaagi ( $\text{NH}_3$ ) ohjemeetmed, vähendamaks heitkoguseid põllumajandusest, nagu seda on kirjeldatud hapestumise, eutrofeerumise ja troposfääriosooni vähendamist käsitleva protokoll (Göteborgi protokoll) IX lisas.
2. Dokument annab ülevaate:
  - (a) hetketeadmistest  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamise tehnikate ja strateegiate kohta;
  - (b) tehnikate ja strateegiate teaduslikust ja tehnilisest taustast;
  - (c) tehnikate maksumusest, väljendatuna eurodes kilogrammi (kg)  $\text{NH}_3$  heite vähenemise kohta;
  - (d) piirangutest meetodite rakendamisel.
3. Dokumentis keskendutakse  $\text{NH}_3$  heitkoguste vähendamisele järgmistes valdkondades:
  - (a) lämmastiku (N) käitlemine, arvestades kogu lämmastikuringet;
  - (b) põllumajandusloomade söötmissüsteemid;
  - (c) loomade pidamisega seotud tehnikad;
  - (d) sõnniku ladustamise tehnikad;
  - (e) sõnniku laotamise tehnikad;
  - (f) väetiste laotamise tehnikad;
  - (g) muud põllumajandusliku lämmastikuga seotud meetmed;
  - (h) meetmed, mis on seotud mittepõllumajanduslike ja paiksete allikatega.
4. **Lämmastiku sihipärane käitlemine** on oluline meede lämmastikukadude vähendamiseks. Sihipärase lämmastiku käitlemise aluseks on põhimõte, et lämmastiku ülejäägi (N ülejääk) vähendamise ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) suurendamise tulemusel  $\text{NH}_3$  heitkogus väheneb. Segatüüpi loomakasvatusevõtetes on 10–40% lämmastiku ülejäägist seotud  $\text{NH}_3$  heitega. Lisaks on lämmastiku sihipärase käitlemise eesmärk tuvastada ja ennetada saaste üleminekut eri lämmastikuühendite ja keskkonnakomponentide vahel. Lämmastiku sisend- ja väljundväärtuste bilansi kehtestamine farmi tasandil on lämmastiku käitlemise tervikliku optimeerimise eelduseks.
5. Ettevõtte lämmastikubilansi kalkuleerimisega seotud kulud aastas on vahemikus 200–500 €. Bilanss hõlmab kõiki lämmastiku sisendallikaid, sh sööta, väetiseid jne, ning kõiki toodanguga seotud lämmastiku väljundeid. Siin ei ole arvestatud kuludega, mis on seotud koolituste, tootearenduse ja mingi tegevuse alustamisega. Lämmastiku käitlemise optimeerimise tulemusena saavutatud NUE suurenemise maksumus on vahemikus -1,0–1,0 € säästetud N kg kohta. Võimalik kokkuhoid tuleneb vähenenud kulutustest väetisele ja põllukultuuride (saagi) paremast kvaliteedist. Võimalik kulude suurenemine on seotud nõustamisteenuste ning mulla, põllukultuuride, sööda ja sõnniku analüüsides mahu kasvuga. Võimalikke tehnikatesse tehtud investeeringuid ei ole siin arvestatud, kuid seda käsitletakse teistes punktides. Tabelis S1 on välja toodud erinevate põllumajandussüsteemide NUE ning

sisend- ja väljundväärtuste bilansi (N ülejääk) ligikaudsed vahemikud. Nimetatud vahemikud on soovituslikud, neid on võimalik kohandada vastavalt konkreetsele põllumajandusettevõttele ja riigile. NUE-d tuleks vaadelda kooskõlas üldise toitainete kasutamise tõhususe ning ka teiste teguritega, näiteks kahjuritõrjega.

Tabel S1

**Lämmastiku ülejäägi ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) ligikaudsed sihtväärtused sõltuvalt põllumajandussüsteemist, põllukultuuride liigist ja loomade kategooriast**

<i>Põllumajandus-süsteem</i>	<i>Liik/kategooria</i>	<i>NUE (kg/kg)</i>	<i>N ülejääks (kg/ha/yr)</i>	<i>Kommentaar</i>
Taimekasvatusele spetsialiseerunud süsteemid	Põllukultuurid	0,6–0,9	0–50	Teraviljade NUE on kõrge, juurviljadel madal
	Köögiviljad	0,4–0,8	50–100	Lehtköögiviljade NUE on madal
	Puuviljad	0,6–0,9	0–50	
Mäletsejalistega seotud rohumaaapõhised süsteemid	Piimaveised	0,3–0,5	100–150	Suur piimaand, kõrge NUE; väike loomkoormus, vähene N ülejääk
	Lihaveised	0,2–0,4	50–150	Vasikaliha tootmine, kõrge NUE; 2-aastased ja vanemad lihaveised, madal NUE
	Lambad ja kitsed	0,2–0,3	50–150	
Taime- ja loomakasvatuse segasüsteemid	Piimaveised	0,4–0,6	50–150	Suur piimaand, kõrge NUE; suur jõusöötade osakaal ratsioonis, kõrge NUE
	Lihaveised	0,3–0,5	50–150	
	Sead	0,3–0,6	50–150	
	Linnud	0,3–0,6	50–150	
	Muud loomad	0,3–0,6	50–150	
Maata süsteemid	Piimaveised	0,8–0,9	e.k <sup>a</sup>	Lämmastiku väljund piima, loomade ja sõnnikuga + lämmastiku kadu võrdub ligikaudu sisendite lämmastikusisalduse summaga; N ülejääk on seotud lenduvate lämmastiku kadudega loomapidamishoonetest ja sõnnikuhoidlatest
	Lihaveised	0,8–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Sead	0,7–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Linnud	0,6–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Muud loomad	0,7–0,9	e.k <sup>a</sup>	

<sup>a</sup> Ei ole kohaldatav, kuna ettevõtetel maa puudub. N ülejääki saab siiski väljendada kilogrammides farmi kohta aastas. Juhul kui kõik loomsed saadused, sh sõnnik ning kõik muud jäägid ja jäätmed eksporditakse, võib N ülejääk olla vahemikus 0 kuni 1000 kg ettevõtte kohta aastas sõltuvalt ettevõtte suuruselt ja atmosfääri lendunud lämmastikühendite kogusest.

6. **Põllumajandusloomade söötmissüsteemide** rakendamise abil on võimalik vähendada sõnniku NH<sub>3</sub> heidet nii hoonetes kui hoidlates ja ka laotamisel. Söötmissüsteeme

on keerulisem rakendada karjatavate loomade korral, kuid heitkogused karjamaadelt on väikesed ning karjatamine iseenesest on 1. kategooria meede.<sup>1</sup> Loomade söötmissüsteemide rakendamise meetodid on (a) mitmefaasiline söötmine, (b) madala proteiinisaldusega söötade (ratsioonide), kas koos või ilma spetsiifiliste sünteetiliste aminohapete ja mäletsejaliste vatsas mittelõhustava (mööduva) proteiini allikaga söötmine, (c) mittetähtsusega polüsahhariidide (struktuursete süsivesikute) sisalduse suurendamine söödas, (d) ratsioonides pH taset alandavate ühendite, näiteks bensoehappe, kasutamine. Mitmefaasiline söötmine on tõhus ja majanduslikult atraktiivne meede hoolimata sellest, et sageli vajatakse täiendavat seadmestikku. Noorkari ja kõrge tootlikkusega loomad vajavad söödaratsioonides kõrgemat proteiini kontsentratsiooni kui vanemad ja madalama toodangutasemega loomad. NH<sub>3</sub> heitkogus kõigist põllumajandusettevõttega seotud allikatest kokku väheneb ligikaudu 10%, kui ratsioonide keskmist proteiinisaldust vähendada 10 g võrra kg sööda kohta (1%). Põllumajandusloomade söötmissüsteemide meetodite rakendamise maksumus sõltub ratsiooni komponentide maksumusest ja võimalusest kohandada neid optimaalsetele proportsioonidele vastavaks. Referentsmeetodiks on praegune keskmine kasutusel olev praktika, mis erineb riigiti ja ajas märkimisväärselt. Põllumajandusloomade söötmissüsteemide meetodite rakendamise netomaksumus sõltub söötmissüsteemis tehtavatest muudatustest ning sellega kaasnevast loomade tootlikkuse muutusest. Üldiselt maksavad kõrge proteiinisaldusega ja efektiivsed madala proteiinisaldusega söötmissüsteemid rohkem kui keskmiselt kõrge proteiinisaldusega söötmissüsteemid. Nii liiga kõrgel kui ka madalal sööda proteiinisaldusel on loomade tootlikkusele negatiivne mõju, seejuures viimasel juhul on mõju tootjale ilmsem. Söödaratsioonis tehtavate muudatuste maksumus jääb tavaliselt vahemikku -10–10 € 1000 kg sööda kohta, sõltudes turul valitsevatest söödakomponente puudutavatest tingimustest ja sünteetiliste aminohapete hinnast. Seetõttu võib mõnel aastal ratsioonis tehtavate muudatustega kaasneda kasu ja mõnel aastal kulu. Tabelis S2 on antud ülevaade võimalikest proteiinisalduse vähendamise sihttasemetest, mille juures tootmise efektiivsus loomakategooriate lõikes säilib (vt ka lisa II). Tuleb arvestada, et meetme rakendamise maksumus kasvab proportsionaalselt, suurim on see juhul, kui eesmärgiks võetakse madalaim proteiini sihttase (kõrge eesmärk).

<sup>1</sup> Vt erinevate kategooriate meetmete kirjeldusi lõikudest 18 ja 19.



Tabel S2

**Laudas peetavate põllumajandusloomade standardse kuivainesisaldusega (88%)  
kuivsööda soovituslikud proteiini sihttasemed (%) sõltuvalt loomaliigist ja vanuse  
(toodangu) rühmast ning vähendamise ambitsioonist**

Looma liik / vanuse (toodangu) rühm	Keskmine toorproteiini sisaldus ratsioonis (%) <sup>a</sup>		
	Madal eesmärk	Keskmine eesmärk	Kõrge eesmärk
<b>Veised</b>			
Piimaveised, laktatsiooni esimene pool (> 30 kg/päev)	17–18	16–17	15–16
Piimaveised, laktatsiooni esimene pool (< 30 kg/päev)	16–17	15–16	14–15
Piimaveised, laktatsioon teine pool	15–16	14–15	12–14
Noorkari	14–16	13–14	12–13
Vasikad	20–22	19–20	17–19
Lihaveised < 3 kuud	17–18	16–17	15–16
Lihaveised > 6 kuud	14–15	13–14	12–13
<b>Sead</b>			
Emised, tiined	15–16	14–15	13–14
Emised, imetavad	17–18	16–17	15–16
Imikpõrsad, < 10 kg	21–22	20–21	19–20
Võõrdepõrsad, 10–25 kg	19–20	18–19	17–18
Nuumsead, 25–50 kg	17–18	16–17	15–16
Nuumsead, 50–110 kg	15–16	14–15	13–14
Nuumsead, > 110 kg	13–14	12–13	11–12
<b>Kanad</b>			
Kanabroilerid, noorlinnud	22–23	21–22	20–21
Kanabroilerid, kasvufaas	21–22	20–21	19–20
Kanabroilerid, lõppnuum	20–21	19–20	18–19
Munakanad, 18–40 nädalat	17–18	16–17	15–16
Munakanad, > 40 nädalat	16–17	15–16	14–15
<b>Kalkunid</b>			
Kalkunid, < 4 nädalat	26–27	25–26	24–25
Kalkunid, 5–8 nädalat	24–25	23–24	22–23
Kalkunid, 9–12 nädalat	21–22	20–21	19–20
Kalkunid, 13–16 nädalat	18–19	17–18	16–17
Kalkunid, > 16 nädalat	16–17	15–16	14–15

*Märkus:* Toorproteiini sisalduse alandamine söödas 1% võrra võib summaarset, kõigist sõnnikuga seotud allikatest pärinevat NH<sub>3</sub> heitkogust vähendada ca 10% võrra.

<sup>a</sup> Tasakaalustatud ja optimaalse seeduvusega aminohapete olemasolul.

7. NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise aluseks loomapidamishoones on üks või mitu järgnevatest põhimõtetest:

- (a) sõnnikuga saastunud pinna vähendamine;
- (b) uriini kiire eemaldamine; rooja ja uriini kiire eraldamine;
- (c) õhu liikumiskiiruse ja -temperatuuri alandamine sõnnikukihi kohal;
- (d) sõnniku pH ja temperatuuri alandamine;
- (e) sõnniku kuivatamine (eriti linnukasvatuses);
- (f) NH<sub>3</sub> eemaldamine väljaviidavast laudaõhust (keemilised, bioloogilised filtrid);
- (g) karjatamisperioodi pikendamine.

8. Kõiki nimetatud põhimõtteid (teaduslikult usaldusväärsed ja ka praktikas tõestatud) on rakendatud 1. kategooria meetmete puhul. Eri loomaliikide ja -kategooriate pidamine nõuab erinevaid pidamissüsteeme ning vastavaid keskkonnatingimusi. Sellest tulenevalt on ka vähendamise meetmed erinevad. Kuna vajadused ja pidamistingimused on erinevad, kehtivad loomakategooriate lõikes erinevad sätted. Võrdluseks (referentsiks) kasutatakse kõige traditsioonilisemaid pidamissüsteeme, mille puhul ei ole rakendatud NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise meetmeid. Loomapidamishoonetest pärineva NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise meetmete kulud on seotud (a) investeeringute amortisatsiooniga; (b) investeeringute tootluse; (c) energia; ning (d) seadmete kasutuse ja hooldusega. Lisaks kuludele on ka positiivseid lisaväljundeid, mis on seotud loomade parema tervise ja tootlikkuse suurenemisega. Positiivseid lisaväljundeid on sageli keeruline mõõta ning neid ei ole seepärast kogukulu prognoosis alati kajastatud. Maksumus sõltub rakendatavast tehnikast/variandist ja farmi suurusest; veiste pidamisega seotud tehnikad on endiselt arendamisjärgus. Tabelis S3 on esitatud ülevaade heite vähenemisest ning meetmete rakendamise maksumusest peamiste loomakategooriate lõikes.

Tabel S3

**Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid loomapidamishoonetes, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud**

<i>Kategooria</i>	<i>Heitkoguse vähenemine võrreldes referentstehnikaga (%)<sup>a</sup></i>	<i>Lisakulu (€/kg NH<sub>3</sub>-N vähenemise kohta)</i>
Olemasolevad sigalad ja lindlad ettevõtetes, kus on > 2000 nuumsea, > 750 emise või > 40 000 linnu	20	0–3
Uus või suures osas rekonstrueeritud veiselaut	0–70	1–20
Uus või suures osas rekonstrueeritud sigala	20–90	1–20
Uus või suures osas rekonstrueeritud lindla broileritele	20–90	1–15
Uus või suures osas rekonstrueeritud lindla munakanadele	20–90	1–9
Uus või suures osas rekonstrueeritud loomapidamishoone loomadele, keda tabelis ei ole nimetatud	0–90	1–20

<sup>a</sup> Referentstehnikaid täpsustatakse juhenddokumendi järgnevates osades.

9. **Sõnnikuhoidlatega** seonduva  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamise aluseks on üks või mitu järgnevatest põhimõtetest: (a) heidet eritava (õhuga vahetult kokku puutuva) pindala vähendamine, st hoidla katmine, kooriku moodustumise soodustamine ja hoidla sügavuse suurendamine; (b) sõnniku heite eraldamise intensiivsuse vähendamine, st pH ja ammooniumi ( $\text{NH}_4$ ) kontsentratsiooni alandamine; ja (c) mehaaniliste mõjufaktorite, nt segamise, aeratsiooni jms vähendamine. Kõiki nimetatud põhimõtteid (teaduslikult usaldusväärsed ja ka praktikas tõestatud) rakendatakse 1. kategooria meetmetes. Loetletud põhimõtted on üldjoontes rakendatavad nii vedel- kui ka tahesõnnikuhoidlate puhul. Siiski on praktiline otstarbekus suurem vedelsõnnikuhoidlate korral. Referentstehnikaks on koorikuta vedelsõnnik katmata hoidlas ning katmata tahesõnnik aunas.

10. Hoidlatest pärineva  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamise meetmete kulud on seotud (a) investeeringute amortisatsiooniga; (b) investeeringute tootluse; ja (c) hooldusega. Tabelis S4 on esitatud summaarsed kulud eurodes säästetud ammoniaaklämmastiku ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) kg kohta. Lisaks kuludele on ka positiivseid lisaväljundeid, mis on seotud vähenenud lõhnaheite, sademevee osatähtsuse vähenemise ning suurenenud ohutusega (puuduvad avatud hoidlad). Mõne lisaväljundi mõõtmine on keerukas ja seetõttu ei ole neid siin arvestatud. Maksumus sõltub rakendatavast tehnikast/variandist ning farmi suurusel. Tabelis S4 toodud hinnangulises kulude kalkulatsioonis ei ole arvestatud hoidla enda maksumusega. Mõned katmise variandid on võimalikud vaid juhul, kui rajatakse uus hoidla. Sõnniku töötlemine, näiteks separeerimine, kompostimine ja anaeroobne kääritsemine (biogaasi tootmine), mõjutab kogukadusid nii vastava protsessi kestel kui ka sellele järgneva ladustamise ajal.

Tabel S4

**Ammonia emission reduction techniques for manure storages, their emission reduction levels and associated costs**

<i>Meetodid</i>	<i>Heitkoguse vähenemine (%)</i>	<i>Kulu (€/ m<sup>3</sup> aastas)</i>	<i>Kulu (€ säästetud NH<sub>3</sub>-N kg kohta aastas)</i>
Tihe katus	> 80	2–4	1–2,5
Plastkate	> 60	1,5–3	0,5–1,3
Ujuvkate	> 40	1,5–3 <sup>a</sup> )	0,3–5 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Arvestatud ei ole kooriku teket. Mõne sõnnikutüübi puhul moodustub koorik loomulikult teel, millega kulud ei kaasne. Loomuliku kooriku teket ja efektiivsust on keeruline ennustada.

11. **Madala heitetasemega sõnnikulaotuse** aluseks on üks või mitu järgnevatest põhimõtetest: (a) heidet eritava (õhuga vahetult kokku puutuva) pindala vähendamine, näiteks riba-, sisestus- või segamislaotuse kasutamisega; (b) heite eraldumise aja lühendamine, näiteks sõnniku kiire muldaviimise, kohese kastmise või infiltratsiooni soodustamisega; ja (c) sõnniku heiteeraldamise intensiivsuse vähendamine, näiteks sõnniku pH ja  $\text{NH}_4$  kontsentratsiooni alandamisega (lahjendamine). Kõiki nimetatud põhimõtteid (teaduslikult usaldusväärsed ja praktikas tõestatud) on rakendatud 1. kategooria meetmete puhul. Loetletud põhimõtted on üldjoontes rakendatavad nii vedel- kui ka tahesõnniku laotamisel. Siiski on heitkoguse vähendamise meetmed paremini kohaldatavad ja tõhusamad vedelsõnniku korral. Tahesõnniku puhul on otstarbekaim sõnniku kiire muldaviimine ning sellele järgnev põllumassiivi kastmine. Referentstehnikaks on vedel- ja tahesõnniku paisklaotamine. Neljas, momendi kliimaatilistest tingimustest (madala temperatuuri ja/või tuulekiiruse tingimustes on ammoniaagi lendumise potentsiaal väike) tulenev põhimõte on 2.

kategooria<sup>2</sup> meede, kuna siin on nõutav aktsepteeritav valideerimismeetod. Sõnnikulaotusest tulenevate NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise meetmete kulud on seotud (a) laotustehnika amortisatsiooni kuludega; (b) investeeringute tootlusega; (c) täiendava jõuallika (traktor) soetamise ja lisanduvate tööjõukuludega; ning (d) seadmete käitamise ja hooldusega.

12. Tabelis S5 on esitatud summaarsed kulud meetmete lõikes väljendatuna eurodes kg säästetud NH<sub>3</sub>-N kohta. Kaasuvad positiivsed lisaväljundid on seotud vähenenud lõhnaheite ja bioloogilise mitmekesisuse väiksemate kadudega, samuti haljassööda paremate maitseomaduste ning laotamisviiside ühtlustumisega. Mõne lisaväljundi mõõtmine on keerukas, mistõttu ei ole neist kõiki kogukulu hinnangulises kalkulasioonis kajastatud. Kulude vahemikud on seotud NH<sub>4</sub>-N sisaldusega vedel-/tahesõnnikus; mida kõrgem on NH<sub>4</sub>-N kontsentratsioon, seda väiksemad on heite vähendamiseks tehtavad kulutused. Keskmised kulud jäävad tõenäoliselt toodud vahemike alumisse poolde, eriti juhul, kui laotamist teostavad alltöövõtjad ja tegu on suurte farmide või ühiskasutuses seadmetega.

Tabel S5

**Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid sõnniku laotamisel, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud**

<i>Sõnniku tüüp</i>	<i>Laotamise meetodid</i>	<i>Heitkoguse vähenemine (%)</i>	<i>Kulu (€ säästetud NH<sub>3</sub>-N kg kohta)</i>
Vedelsõnnik	Sisestuslaotamine	> 60	-0,5–1,5
	Pinnalähedane sisestuslaotamine	> 60	-0,5–1,5
	Lohiskinglaotamine	> 30	-0,5–1,5
	Lohisvooliklaotamine	> 30	-0,5–1,5
	Lahjendamine	> 30	-0,5–1,0
	Juhtimissüsteemide rakendamine	> 30	0,0–2,0
	Kohene muldaviimine pärast laotamist	> 30	-0,5–2,0
Tahesõnnik	Kohene muldaviimine	> 30	-0,5–2,0

13. **Karbamiid- ja ammooniumväetiste** puhul on heite vähendamise aluseks üks või mitu järgmistest põhimõtetest: (a) heite eraldumiseks sobiva pindala vähendamine, näiteks riba-/sisestuslaotusega või kiire muldaviimisega (tuleb arvestada asjaoluga, et kiire kontsentreeritud karbamiidi ribalaotusega kaasneb pH tõus, eriti juhul, kui kõlvikul esineb suurtes kogustes põllukultuuride jääke, ning heitkogused võivad seetõttu oluliselt suurened); (b) heite eraldumiseks sobiva aja lühendamine, näiteks väetiste kiire muldaviimise või kastmise teel; (c) heite eritumise intensiivsuse vähendamine, näiteks ureaasi inhibiitorite või muude sõnniku hulka segatavate sh hapestavate ühendite abil; ja (d) vastavate väetiste kasutamise keelustamine (nt ammoonium(bi)karbonaat). Kõiki eeltoodud põhimõtteid (teaduslikult usaldusväärsed ja ka praktikas tõestatud) rakendatakse 1. kategooria meetmetes. Referentstehnikaks on karbamiid- või ammooniumväetiste paisklaotamine.

14. Väetistest pärit NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise meetmetele tehtavad kulutused on seotud (a) laotustehnika amortisatsiooni kuludega; (b) investeeringute tootlusega; (c) täiendava jõuallika (traktor) soetamise ja lisanduvate tööjõukuludega; ja (d) seadmete

<sup>2</sup> Vt erinevate kategooriate meetmete kirjeldusi lõikudest 18 ja 19.

hooldusega. Järgnevalt on esitatud kokkuvõtte kogukuludest eurodes kg säästetud  $\text{NH}_3\text{-N}$  kohta (tabel S6). Võimalikud kaasuvad positiivsed lisaväljundid on seotud vähenenud kulutustega väetistele ja tehnikasse juhul, kui laotamiseks kasutatakse kombineeritud külvi- ja väetustehnoloogiat ning väiksemate bioloogilise mitmekesisuse kadudega. Nimetatud lisaväljundeid on sageli keeruline mõõta ning seepärast ei ole neid kõiki arvestatud. Lisakulutuste vahemik sõltub farmi suuruselt (mastaabisääst), mullastiku omadustest ja kliimast (suurem heitkoguse vähenemine suhteliselt kuivades tingimustes). Keskmised kulutused jäävad tõenäoliselt vahemiku alumisse poolde, kui laotamist teostavad alltöövõtjad või kasutatakse vähem heidet eritavaid väetisi.

Tabel S6

**Ammoniaagi heitkoguse vähendamise meetodid karbamiid- ja ammoniumväetiste korral, kaasnev heitkoguse vähenemise määr ja meetmetega seotud kulud**

<i>Väetise tüüp</i>	<i>Laotamise meetod</i>	<i>Heitkoguse vähenemine (%)</i>	<i>Kulu (€ säästetud <math>\text{NH}_3\text{-N}</math> kg kohta)</i>
Karbamiid	Sisestuslaotamine	> 80	-0,5–1
	Ureaasi inhibiitorid	> 30	-0,5–2
	Kohene muldaviimine pärast laotamist	> 50	-0,5–2
	Laotamine koos kastmisega	> 40	-0,5–1
Ammoonium-karbonaat	Keelustamine	~100	-1–2
Ammoonium-väetised	Sisestuslaotamine	> 80	0–4
	Kohene muldaviimine pärast laotamist	> 50	0–4
	Laotamine koos kastmisega	> 40	0–4

## I. Sissejuhatus

15. See dokument sisaldab juhiseid ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni (ECE) piiriülese õhusaaste kauglevi konventsiooni osalistele. Dokumendi eesmärk on määratleda ammoniaagi ( $\text{NH}_3$ ) ohjemeetmeid, vähendamaks heitkoguseid põllumajanduslikest allikatest kogu lämmastikuringe kontekstis. Juhenddokument hõlbustab nimetatud konventsiooni hapestumist, eutrofeerumist ja troposfääriosooni vähendamist käsitleva protokolliga (Göteborgi protokoll) artiklis 3 esitatud  $\text{NH}_3$  heitega seotavate põhikohustuste rakendamist ning täpsemalt aitab see kaasa IX lisas loetletud meetmete tõhusamale rakendamisele ja protokolliga II lisa tabelis 3 mainitud  $\text{NH}_3$  heitkoguste vähendamise riiklike kohustuste saavutamisele.

16. Dokumendis käsitletakse põllumajanduslikest allikatest pärinevate  $\text{NH}_3$  heitkoguste vähendamist. Põllumajandus on  $\text{NH}_3$  heite peamine allikas.  $\text{NH}_3$  lendub peamiselt põllumajandusloomade väljaheidetest nii loomakasvatushoonetes, sõnniku ladustamisel, töötlemisel ja laotamisel kui ka karjamaal karjatamise ajal. Lisaks tekitavad heidet anorgaanilised lämmastikväetised pärast laotamist, samuti lämmastikurikkad põllukultuurid ja põllukultuuride jäägid, sh rohusilo. Heitkoguseid on võimalik vähendada, kasutades kõikides mainitud valdkondades vastavaid meetmeid. Vastavate meetmete otstarbekus, tõhusus ja kulukus on erinev.

17. Juhenddokumendi esimeses versioonis (vt EB.AIR/1999/2) anti NH<sub>3</sub> heite vähendamiseks üldisi suuniseid. Algset versiooni muudeti 2007. aastal (ECE/EB.AIR/WG.5/2007/13). Praegust versiooni on veelgi täiendatud ning see kajastab 2012. aasta alguse teadusliku ja tehnoloogilise arengu taset.

18. Käesolevas dokumendis on NH<sub>3</sub> heitkoguste ja lämmastikukadude vähendamisega seotud strateegiad ja tehnikad jagatud kolme kategooriasse:

(a) **1. kategooria tehnikad ja strateegiad:** nimetatud kategoorias kajastuvad meetmed, mida on põhjalikult uuritud, loetakse otstarbekateks või potentsiaalselt otstarbekateks ja kättesaadavad on kvantitatiivsed andmed nende tõhususe kohta, vähemalt eksperimentaalsel tasemel;

(b) **2. kategooria tehnikad ja strateegiad:** nimetatud kategooriasse kuuluvad paljulubavad meetmed, mille kohta tehtud uuringud on praegu veel ebapiisavad või nende heitkoguste vähendamise tõhususe määramine on komplitseeritud. See ei tähenda, et vastavaid meetmeid ei saaks rakendada osana NH<sub>3</sub> heite vähendamise strateegiast. See sõltub eeskätt kohalikest tingimustest;

(c) **3. kategooria tehnikad ja strateegiad:** vastavate meetmete tõhusus ei ole veel tõestatud või tõenäoliselt välistatakse need otstarbekuse kaalutlustel.

19. Olemasolevatele teadusuuringutele tuginedes võib 1. kategooria tehnikaid lugeda heite vähendamise otstarbel kasutamiseks heakskiidu saanuteks. Samuti võib heite vähendamiseks kasutada 2. ja 3. kategooria tehnikaid. Viimati nimetatud kategooriate puhul peavad vastavaid meetmeid kasutama konventsiooni osalised läbi viima sõltumatu kontrolli, mis kinnitaks NH<sub>3</sub> heitkoguste vähenemise potentsiaali esitatavas aruandluses. Arvestada tuleb ka seda, et konkreetse tehnikaga seotud kulutusi (maksumust) ei ole klassifitseerimisel arvestatud. Juhendis toodud kulude teave on toodud selleks, et hõlbustada valiku tegemist konkreetse tehnika kasutamiseks.

20. Eraldiseisev juhendmaterjal on koostatud ka Euroopa Liidu (EL) tasandil saastuse kompleksse vältimise ja kontrolli (IPPC)<sup>3</sup> direktiivi raames (praegu asendab seda novembris 2010 välja antud tööstusheite direktiiv)<sup>4</sup>, vähendamaks suurtest sea- ja linnufarmidest pärit heidet. *Parimate võimalike tehnikate viitedokument kodulindude ja sigade intensiivkasvatustes*<sup>5</sup>. EL parimate võimalike tehnikate (PVT) viitedokument (ehk BREF) ja käesolev juhenddokument kattuvad vaid osaliselt, kuna viitedokumendis on parimad võimalikud tehnikad (PVT) määratletud vaid sea- ja linnukasvatuseks, kuid mitte veistele, lammastele või muudele põllumajandusloomadele; samuti ei ole käsitletud sõnniku ega teiste väetiste laotamist. Põllumajandussektori ja -ettevõtete jaoks on käesolev dokument aga laiahaardelisem, kuna siin käsitletakse ka NH<sub>3</sub> heidet, mis eraldub sõnniku ja väetiste laotamisel ning mitmesugustest teistest allikatest.

21. NH<sub>3</sub> heite vähendamise võimalused sõnniku tekke ja käitlemise eri etappides on omavahel seotud. Rakendatavate meetmete kombinatsioonide mõju ei ole heitkoguse vähenemisele kumulatiivne. Eriti oluline on heitkoguse piiramine sõnniku laotamisel, kuna enamasti moodustab see peamise osa põllumajandusloomade poolt tekitatavast heitest,

<sup>3</sup> Euroopa Parlamendi ja nõukogu 15. jaanuari 2008 direktiiv 2008/1/EÜ, saastuse kompleksse vältimise ja kontrolli kohta.

<sup>4</sup> Euroopa Parlamendi ja nõukogu 24. novembri 2010 direktiiv 2010/75/EL, tööstusheidete kohta (saastuse kompleksne vältimine ja kontroll).

<sup>5</sup> Kättesaadav aadressil: <http://eippcb.jrc.es/reference/irpp.html> (viimati vaadatud 24. mai 2013).

samuti on sõnniku laotamine sõnnikukäitluse viimane etapp. Kui selles etapis ei rakendata heidet vähendavaid meetmeid, võib suurem osa loomapidamishoonetes ja sõnniku ladustamisel säästetud lämmastikust kaotsi minna. Sageli on vähendamismeetmed loomapidamishoonetes ja sõnniku ladustamisel ka kulukamad. Sarnaselt eelnevaga on sõnniku laotamise käigus heitkoguse piiramisega kaasnev positiivne mõju farmi koguheitel ja lämmastikukasutuse efektiivsusele väiksem, kui loomapidamishoonetest ja hoidlatest esineb suuri kadusid. Loomade väljaheites sisalduva lämmastiku koguse vähendamine omab otsest mõju heitkogustele ning seepärast on vastavad meetmed lisatud ka käesolevasse dokumenti. Ülaltoodud vastastikuste seoste tõttu peaksid konventsiooni osalised vähendamisstrateegiate optimeerimisel rakendama võimalusel mudeleid, kus on hinnatud lämmastiku kogu massibilanssi. Sellest tulenevalt on käesolevas dokumendis käsitletud kõiki ettevõttega seotud lämmastiku käitlemise etappe, sh loomade söötmist.

22. Paljude meetmetega võivad kaasnedä nii kapitali- kui tegevuskulud (vt tabelid 1 (a) ja (b)). Lisaks kapitali- ja tegevuskuludel põhinevatele teoreetilistele arvutustele tuleks kulude kalkuleerimisel võimalusel kasutada tegelikke andmeid (nt alltöövõtjate poolt esitatud arved). Meetmete rakendamisest tulenevate otseste kulutuste arvutamise kõrval tuleks võimalusel kalkuleerida ka heite vähenemisega kaasnevat positiivset efekti. Sageli võib meetmete rakendamisest saadav kasu ettevõtjale olla tehtavatest kulutustest suurem (nt väiksem mineraalväetiste vajadus, parem agronoomiline paindlikkus, vähenenud heitkogused muudest saasteallikatest, vähem kaebusi lõhna tõttu). Põllumajandusettevõtja netokulude (st kulud miinus tulud) seost teiste keskkonnanäitajate paranemisega (nt parem õhu, vee ja mulla kvaliteet, bioloogilise mitmekesisuse säilitamine, väiksem mõju kliimale) käesolevas dokumendis ei käsitleta.

23. Vähendamismeetmete maksumus võib riigiti erineda. Mastaabisäästust tulenevalt võivad mõned heitkoguste vähendamise meetmed olla suuremates ettevõtetes kulutõhusamad kui väiksemates. Eriti kehtib see juhul, kui heite vähendamise strateegia hõlmab ka seadmete ostu (nt vedelsõnnikulaoturid), mille kasutamisel on heitkogused väiksemad. Sellisel juhul, laotatava vedelsõnniku mahtude suurenemisel, vähenevad kulutused ühiku kohta. Väiksemate ettevõtete suurem kulukoormus nähtub ka sõnniku kohese muldaviimise tehnika kasutamise korral. Väikeettevõtete kulusid nii vedelsõnniku laotamisel kui ka sõnniku kiirel muldaviimisel saaks vähendada, jaotades kulud seadmetele mitme ettevõtte vahel või kasutades alltöövõtjate teenuseid, kellel on sobivad seadmed olemas, mis on vahel ka kohapeal projekteeritud ja kokku pandud. Seega on ka vähendamismeetme rakendamise kulude alanemine seotud eelkõige keskmiste ja suurte ettevõtetega.

Tabel 1 (a)  
**Kapitalikulud (CAPEX)<sup>6</sup>**

<i>Valdkond</i>	<i>Märkused</i>
Statsionaarsete rajatiste või masinatega seotud kulud	Statsionaarsete rajatiste kategooriasse kuuluvad hoonete ja paigaldiste rajamine, hoonete ümberehitused, sööda ladustamiskohtadele või sõnnikuhoidlatele katte rajamine jms. Masinatega seotud kulutuste kategooriasse kuuluvad näiteks söödajaoturite, sõnniku laotus- ja töötlusseadmete jne soetamine.
Ehitamise või uute seadmete installeerimisega seotud tööjõukulud	Sageli sisalduvad need juba vastavas lepingus. Kui ümberehitusteks või seadmete paigaldamiseks kasutatakse tavaliselt oma ettevõtte töötajaid, tuleks neile maksta tavapärasest tunnitasu. Omaniku panust tuleks arvestada alternatiivkuluna.
Toetused	Kuludest tuleb lahutada põllumajandusettevõtjatele kättesaadavate kapitalitoetuste väärtus.

Tabel 1 (b)  
**Aastane kulu (tegevuskulud (OPEX)): meetme kasutuselevõtuga seotud aastane kulu**

<i>Valdkond</i>	<i>Märkused</i>
Aastapõhist kulu tuleks arvutada vastava investeeringu kogu kasutusaja vältel	Kasutatakse standardvalemit. Periood sõltub investeeringu majanduslikust elueast. Teisenduste korral tuleb arvestada algse rajatise allesjäänud eksploatatsiooni ajaga.
Investeeringutega seotud ümberehituste maht tuleks välja arvutada	Konkreetne protsent kapitalikuludest.
Muutused tööjõukuludes	Lisatunnid x maksumusega tunni kohta.
Kütuse- ja energiakulu	Vajadusel tuleb arvestada täiendava võimsuse vajadusega.
Põllumajandusloomade tootlikkuse muutused	Söödaratsioonide või pidamistingimuste muutused võivad mõjutada tootlikkust, mis omakorda kajastub kuludes.
Kulude kokkuhoid ja tootmisega seotud kasu	Meetmete kasutuselevõtt seondub sageli kulude kokkuhoiuga. Seda tuleks võimalusel arvestada.  Eraldi tähelepanu tuleks kulude kokkuhoiu kontekstis pöörata saasteainete keskkonda viimisega seonduvate maksude vähenemisele.

<sup>6</sup> CAPEX (uus) investeerimiskulu uutesse ehitistesse, CAPEX (ümberehitamine) hoonete ümberehitamine või renoveerimine.



24. Käesolevas dokumendis loetletud meetmed on võimalusel selgepiirilisel määratletud ning neid on võrreldud referentsmeetodi või sellise olukorraga, kus heidet ei ole vähendatud. Referentsmeetod, mille suhtes heitkoguse vähenemise määra arvutatakse, on määratletud iga peatüki alguses. Enamikul juhtudel on referentsmeetodiks praktika või lahendus, mis on ECE piirkonna riikide põllumajandusettevõtetes enamlevinud, ja mille alusel koostatakse ka lähteolukorra ülevaateid.

25. Uute meetmete kasutuselevõtuga kaasnevad sageli koolituste ja tegevuse alustamisega seotud kulutused, mida siin pole arvestatud. Sageli kaasnevad rakendatud meetmetega märkimisväärsed positiivsed väljundid, mida ei ole kuluarvestustes käsitletud, kuid mis parandavad põllumajandusliku tegevusega kaasnevat üldist heaolu ja avalikku arvamust. Näiteks heitkoguste vähenemisest tulenev lõhnaprobleemi lahenumine toob üldsusele, ettevõtjatele ja nende peredele otsest kasu (võib soodustada turismi). Dokumendis ei ole arvestatud ka teisest kokkuvõtte: näiteks väiksem saasteainete tootmine ja energiatarbimine väetiste tootmisega seotud ettevõtetes põllumajandusettevõtete efektiivsema  $\text{NH}_3$  säästmise tulemusena. Mõned meetmed (nt vedelsõnniku sisestuslaotamine, sõnnikuhoidlate katmine, sõnniku hapestamine, loomapidamishoonest väljuva õhu puhastamine) vähendavad veekeskkonna saastamise riske lämmastiku ja teiste sõnniku toitainete, patogeenide jms ühenditega.

## II. Loomakasvatus ja selle areng

26. Enamikus ECE piirkonna riikides on  $\text{NH}_3$  heite peamiseks allikateks põllumajandusloomade väljaheidete loomakasvatushoones, sõnniku ladustamine, töötlemine jms käitlemine, laotamine ja karjatamine. Seetõttu on ülimalt oluline anda siinkohal lühike ülevaade loomakasvatusest.

27. Loomakasvatusektor annab globaalsesse toiduainete- ja põllumajandustööstusesse olulise panuse, samuti on sellel oluline roll inimeste toitumises ja kultuuris. Loomakasvatusektor moodustab maailma põllumajanduslikust toodangust 40%, kattes 10–15% toidu kalorsuse koguhulgast ning ühe neljandiku toiduvalgu vajadusest. Arengumaades on see sageli kõige kiiremini kasvav põllumajanduse haru. Eeldatakse, et loomakasvatusektor peaks andma ohutut ja rikkalikku toitu üha suurenevale linnapopulatsioonile ning olema elatusallikaks peaaegu 1 miljardile vaesuses elavale tootjale. Samal ajal on loomakasvatusektoris võimalik kasutada taimekasvatuseks mitteresistentsaid maid, mis tagab toiduga kindlustatuse ka saagi ikalduse korral. Loomakasvatusektoris on võimalik ära kasutada inimtoidu ülejäägid ning taimekasvatusest tekkinud jäätmed, toota kütuseid ja kontsentraate, taaskasutada toitaineid, arvestades samal ajal toiduohutuse, keskkonnanahoiu ja rahvatervisega (Geers ja Madec, 2006; FAO, 2009; Steinfeld jt, 2010).

28. Kuigi põllumajandusloomad täidavad ühiskonna jaoks mitmeid kasulikke funktsioone ja prognoositud ülemaailmne piimatoodete, liha ja munade nõudlus on järgmistel kümnenditel jätkuvalt tõusuteel, tugeneb surve loomakasvatusektori (eeskätt intensiivsed süsteemid) keskkonnasõbralikumaks muutmisele. Loomakasvatusega seotud maakasutus on globaalses maastaabis suurim ning see on tihedalt seotud metsade hävimise ja liigirikkuse vähenemisega (Steinfeld jt., 2006; FAO, 2009; Steinfeld jt, 2010). Samuti kasutatakse loomakasvatusektoris, eeskätt loomasööda tootmiseks, suurtes kogustes magevett. Mõnes piirkonnas on mageveevarud muutumas aga ebapiisavaks. Loomakasvatus on atmosfääris leiduva ammoniaagi ( $\text{NH}_3$ ) ning kasvuhoonegaaside metaani ( $\text{CH}_4$ ) ja dilämmastikoksiidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) peamine allikas.  $\text{NH}_3$  heide pärineb peamiselt loomade sõnnikus leiduvast lämmastikust. Loomakasvatusest pärinevad  $\text{NH}_3$  heitkogused on seotud loomade liigi,

arvukuse ja geneetilise potentsiaaliga, loomade söötmise ja pidamise meetodite ning sõnnikukäitlusega seotud tehnoloogiatega (Bouwman jt, 1997; Steinfeld jt, 2006; O. Oenema jt, 2008). Põllumajandusloomadega seotud lämmastiku vajadus on Euroopas domineeriv. Näiteks hinnangus, mis käsitleb põllumajanduses kasutatava lämmastiku kasutust Euroopas (*European Nitrogen Assessment*) on välja toodud, et ca 85% saagiga kogutud lämmastikust kasutatakse kariloomade söödaks ning vaid 15% toidab inimesi otseselt (Sutton jt, 2011).

29. Üldjoontes võib loomakasvatussüsteemid jagada järgmiselt: (a) karjatamisel põhinevad süsteemid; (b) segasüsteemid; ning (c) maata või tööstuslikud süsteemid (Seré, Steinfeld ja Groenewold, 1996). Karjatamisel põhinevad süsteemid on täielikult seotud maa kasutamisega. Sõltuvalt rohumaa tootlikkusest on loomkoormus väiksem kui üks või kaks loomühikut hektari kohta. Segasüsteemide korral moodustavad loomakasvatuse kõrval olulise osa tootmisest ka muud valdkonnad ning osa loomasöödast on sageli imporditud. Tööstuslikes süsteemides on loomkoormus sageli suurem kui 10 loomühikut hektari kohta. Sellised süsteemid sõltuvad otseselt väljastpoolt tarnitavast söödast, energiast ja muudest sisenditest. Tööstuslikes süsteemides toodetakse ainult 0–10% loomasööda kuivainest ettevõttes kohapeal. Loomakasvatussüsteemide võrdlemisel on sobilikeks näitajateks loomade asustustihedus (loomkoormus) loomühikutes (LÜ) hektari kohta (LÜ/ha) ning piima või liha kogus kilogrammides hektari kohta aastas (kg/ha/aasta). Küllaltki levinud ja kasulik näitaja keskkonnale avaldatava koormuse iseloomustamisel on põllumajandusloomade poolt aastas hektari kohta eritatava lämmastiku või fosfori kogus (Menzi jt, 2010).

30. Igas loomakasvatuse kategoorias on võimalik eristada traditsioonilist ja mahepõllumajanduslikku tootmist. Sageli eristuvad ka intensiivsed ja ekstensiivsed põllumajandussüsteemid. Intensiivseid loomakasvatussüsteeme iseloomustab kõrge liha-, piima- ja munatoodang kasutatava põllumaa ja loomühiku kohta ning tavaliselt samaaegselt suur loomkoormus. See saavutatakse loomasööda efektiivse muundamise kaudu loomseteks saadusteks. Kuna intensiivsed süsteemid on võimelised kiiresti reageerima üha kasvavale odavamate loomsete toodete nõudlusele, katavad need nüüdseks suurema osa globaalsest sea- ja linnuliha, munade (vastavalt 56%, 72% ja 61%) ning piimatootmisest (Steinfeld jt, 2006; FAO, 2009).

31. Traditsiooniliselt toodeti enamik inimeste poolt tarbitavatest loomsetest produktidest kohapeal, kasutades selleks kohalikku loomasööta. Linnapiirkondades elavad inimesed tarbivad üha enam selliseid loomseidprodukte, mille tootmiseks on loomasööt imporditud väljastpoolt loomakasvatuse piirkonda. See kehtib eriti sea- ja linnulihatoodete puhul. Sellest tulenevalt on loomasööda ning sea- ja linnuliha tootmispiirkonnad üha rohkem tarbimiskohast eraldatud. Selline eraldatus on võimalik tõhusa logistika, transpordi infrastruktuuri arengu ja fossiilenergia suhteliselt madala hinna tõttu. Näiteks söödakontsentraatide transport on võrreldes teiste tootmiskuludega odav. Ka liha ja munade transport on muutunud soodsamaks. Söödatootmise lahutamine loomakasvatusest põhjustab aga tõsisid tagajärgi sõnniku nõuetekohase taaskasutamise ja käitlemise aspektist (FAO, 2009; Steinfeld jt, 2010 ja sealsed viited).

32. Vähendamaks tootmisele, töötlemisele ja transpordile tehtavaid kulutusi on tootmisahelad üha enam spetsiifiliselt organiseeritud ja piirkondlikult grupeeritud. Loomakasvatuse peamine kuluallikas on sööt, sellele järgnevad tööjõukulud, energia, vesi ja teenused. Sisendkulud erinevad olulisel määral nii riigisisest kui ka riikide ja mandrite vahel. Tavapärastelt on tehnoloogia kättesaadavus, tööjõud ja oskusteave ebahühtlaselt jaotunud. Samuti on piirkonniti ebahühtlane võime reageerida muutuvale keskkonnale ja turul toimuvatele muudatustele. Lisaks eksisteerivad institutsionaalsed ja kultuurilised muistrid, mis mõjutavad veelgi tootmiskulusid, tehnoloogiliste lahenduste kättesaadavust ja

tehingukulusid. Nende tegurite kombinatsioonist tulenevalt muutuvad loomakasvatussüsteemid suuremaks, rohkem spetsialiseerunuks ja intensiivsemaks (FAO, 2009; Steinfeld jt, 2010).

33. Loomakasvatussüsteemid on dünaamilised süsteemid, kuna tehnoloogias, turgudel ning transpordi ja logistika vallas toimub pidev areng. Üha enam on loomsed saadused muutumas „globaalseks kaubaks“ ja loomakasvatussüsteemid tegutsevad „avatud“ suure konkurentsiga globaalsel turul. Sellise arengu aluseks on üha suurenev soodsa hinnaga loomsete toodete nõudlus, mille põhjuseks aga linnastumise kasv ja suurem loomsete saaduste tarbimine ühe elaniku kohta. Ka siin esineb suuri majanduslikke ja piirkondlikke erinevusi, samuti erinevusi mandrite vahel. Suurenenud nõudlus loomsete saaduste järele on koondunud linnadesse (FAO, 2009; Steinfeld jt, 2010).

34. Loomakasvatussüsteemide kiire areng omab tugevat mõju atmosfääri jõudvale  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ja  $\text{CH}_4$  heitele ning lämmastiku leostumisele ja ärakandele veekogudesse. Heitkoguste vähendamise strateegiates tuleb vastavaid arenguid arvestada ning silmas pidada ka uusi suundumusi, tagamaks strateegiate efektiivsust ja tõhusust ka tulevikus.

### III. Lämmastiku käitlemine, arvestades kogu lämmastikuringet

35. Sageli nimetatakse juhtimistegevust maa, tööjõu ja kapitali (tehnikate) kõrval neljandaks tootmist mõjutavaks teguriks. Selle mõju põllumajanduse majanduslikule ja keskkondlikule tulemuslikkusele on väga suur. Juhtimist on enamasti määratletud kui „sidusat toimingute kogumit eesmärkide saavutamiseks“. Lämmastikukäitlust saab omakorda defineerida kui „sidusat toimingute kogumit, mis on seotud lämmastiku koguste haldamise ja jaotamisega ettevõttes ning millega saavutatakse agronoomilisi ja keskkondlikke/ökoloogilisi eesmärgi“ (O. Oenema ja Pietrzak, 2002). Agronoomilised eesmärgid on seotud põllukultuuride saagikuse ja kvaliteediga ning põllumajandusloomade kontekstis loomade heaoluga. Keskkondlikud/ökoloogilised eesmärgid on seotud lämmastikukadude vähendamisega põllumajandusest. „Kogu lämmastikuringega arvestamine“ tõstab esile vajadust arvestada kõigi lämmastikuringe aspektidega, sh „ $\text{NH}_3$  heite vähendamist“, et vältida „saasteainete üleminekut ühest keskkonnast teise“. Kuigi siin ei ole teisi saasteaineid käsitletud, tuleb vältida ka nendega seotud negatiivseid keskkonnamõjusid. Juhtimistegevust võib lugeda lämmastiku heitkoguste vähendamise kontekstis „tarkvaraks“ ja teostamise organiseerimise aluseks ning selleks rakendatavaid meetmeid (tehnikaid) võib käsitleda riistvarana. Seetõttu tuleb lämmastikukäitluse juhtimise puhul arvesse võtta ka kasutatavaid meetmeid (tehnikaid).

36. Lämmastikukäitluse juhtimine on ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni (ECE) piirkonna riikides väga erinev ja sellele vastavalt erinevad ka summaarsed  $\text{NH}_3$  heitekogused. Üldiselt vähenevad lämmastiku heitkogused siis, kui:

- (a) ettevõtte perspektiivis võetakse täielikult arvesse kõiki lämmastikuallikaid, lähtudes kogu lämmastikutsüklist;
- (b) kõiki lämmastikuallikaid ladustatakse ja käideldakse nõuetekohaselt;
- (c) kasutatavad lämmastiku kogused on rangelt vastavuses taime- ja loomakasvatuse vajadustega;

(d) lämmastikku kasutatakse õigel ajal, õiges koguses ja kohas, rakendades nõuetekohaseid tehnikaid;

(e) kõiki võimalikke lämmastikukadude viise võetakse arvesse tervikuna.

Täiendav informatsioon „Lämmastiku käitlemine, arvestades kogu lämmastikuringet“, on esitatud I lisas.

37. *Referentsmeetod (-olukurd)*: referentsmeetodiks (-olukorraks) on valitud ettevõtte, kus lämmastikukäitlust ei planeerita ja lämmastikubilansi arvutusi ei tehta. Kuna põllumajandussüsteemide lõikes esineb lämmastikuringete vahel sisemisi erinevusi, tuleb eristada järgmisi põllumajandussüsteeme:

(a) ainult taimekasvatusele spetsialiseerunud ettevõtted, kus kasvatatakse järgmisi kultuure:

(i) teraviljad;

(ii) köögiviljad;

(iii) puuviljad;

(b) mäletsejalistega seotud rohumaapõhised ettevõtted, kus kasvatatakse järgmisi loomi:

(i) piimaveised;

(ii) lihaveised;

(iii) lambad ja/või kitsed;

(iv) muud loomad (pühvlid, piisonid, metskitsed jne);

(c) taime- ja loomakasvatusega segasüsteemid, kus domineerib üks järgmistest looma gruppidest:

(i) piimaveised;

(ii) lihaveised;

(iii) sead;

(iv) linnud;

(v) muud loomad.

(d) spetsialiseerunud maata süsteemid, kus kasvatatakse järgmisi loomi:

(i) piimaveised;

(ii) lihaveised;

(iii) sead;

(iv) linnud;

(v) muud loomad.

## 1 kategooria strateegiad

38. Lämmastikukäitluse juhtimise rakendamine farmi tasandil on tõhus strateegia, mille abil suurendada lämmastiku kasutamise efektiivsust ja vähendada lämmastikukadusid. See hõlmab igal aastal läbi viidavaid korduvaid (tsüklilisi) ja ühtseid toiminguid:

- (a) Analüüsimine:
  - (i) põllukultuuride ja loomade lämmastikuvajadus;
  - (ii) olemasolevad lämmastikuallikad;
  - (iii) ladustamistingimused ja võimalikud lekked;
  - (iv) olemasolevad tehnikad, meetodid ja protseduurid lämmastiku efektiivseks kasutamiseks.
- (b) Otsuste tegemine:
  - (i) võimalike valikute väljatöötamine eelnevatele analüüsidele tuginedes;
  - (ii) erinevate valikute tulemuslikkuse hindamine;
  - (iii) parima lahenduse valimine lähtuvalt põllumajanduslikest ja keskkondlikest eesmärkidest.
- (c) Tegevuste planeerimine:
  - (i) tegevuskava üldine piiritlemine, mida tuleb teha ja mõõta: millal, kus, kuidas ja kui palju;
  - (ii) tegelike tegevuste planeerimine, jaotades olemasolevad toitained selliselt, et majanduslik kasu oleks maksimaalne, ent mõju keskkonnale minimaalne. Seeläbi tagatakse ka toitainete kasutamise vastavus keskkondlike piirangutega.
- (d) Teostamine:
  - (i) lämmastiku kasutamise plaani rakendamine praktikas;
  - (ii) keskkonnatingimustega arvestamine;
  - (iii) parima võimaliku tehnikaga (PVT) seotud juhiste ja soovitude arvesse võtmine.
- (e) Seire ja kontroll:
  - (i) andmete kogumine toodangutaseme ja toodangu lämmastikuisalduste kohta;
  - (ii) lämmastiku sisend- ja väljundbilansi koostamine.
- (f) Tulemuste hindamine (tulemuste kontrollimine lähtuvalt seatud eesmärkidest):
  - (i) lämmastiku ülejääk (N ülejääk) sisend- ja väljundbilansis;
  - (ii) lämmastiku kasutamise efektiivsus (NUE).

39. Lämmastiku sisend- ja väljundbilanssi (ettevõtte või taluvärava bilanssi) võib käsitleda kui seirevahendit, mille abil on võimalik parandada lämmastiku kasutamise tõhusust (Jarvis jt, 2011). Ettevõtte tasandil on arvestatud kogu toodangu lõikes kõiki lämmastikuisendeid ja -väljundeid. Kogu lämmastikuisendi ja -väljundi erinevus on N ülejääk. NUE iseloomustamiseks kasutatakse kasuliku toodangu ehk kogu

lämmastikuväljundi ja -sisendi vahelist suhet. N ülejääk on keskkonnale avaldatava koormuse näitaja ning seda väljendatakse lämmastiku kogusena hektari kohta aastas. NUE on ressursside tõhusa kasutamise näitaja (kui palju toiduvalgu lämmastikku toodetakse lämmastikusisendi ühiku kohta) ning seda väljendatakse kilogrammides kilogrammi kohta (Doberman, 2007). Nii N ülejääk kui NUE sõltuvad suurel määral rakendatavast põllumajandussüsteemist ning lämmastiku käitlemise tasemest. Nii N ülejäägi kui NUE puhul on võimalik määratleda ligikaudsed sihtväärtused, mis sõltuvad jällegi põllumajandussüsteemist ja lämmastiku käitlemise tasemest. Mõnes riigis võidakse ettevõtte lämmastikubilansi, N ülejäägi ja NUE teavet käsitleda konfidentsiaalse informatsioonina.

40. Teadusuuringutes on lämmastiku sisend- ja väljundbilanssi kasutatud enam kui 100 aastat, mõnes riigis ettevõtte tasandil nüüdseks enam kui 10 aastat. Samuti on seda meetodit rakendatud riiklikul tasemel regulatiivse vahendina. Lämmastiku sisend- ja väljundbilansi kasutamise kogemusi konkreetselt NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise kontekstis on aga vähem. Lämmastiku sisend- ja väljundbilansi kasutamise tõhusus NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamisel on suurim kõrge loomkoormusega ettevõtetes. Lämmastiku sisend- ja väljundbilansi koostamiseks ettevõtte tasandil on vajalikud üldteadmised raamatupidamisest ning tuleb tunda lämmastiku sisendite ja väljundite omadusi. Senine kogemus näitab, et põllumajandusettevõtjatele on vastavad bilansid kergesti mõistetavad, seega on neid lihtne kasutada omavahelises kommunikatsioonis ning ettevõtete ja nende tootlikkuse võrdlemisel. See on eriti oluline, kuna lämmastikubilansi paranemine võimaldab vähendada kulutusi mineraalväetistele. Sama kehtib ka mahepõllumajanduses, kus mineraalväetisi ei kasutata, kuid lämmastikubilansi parandamine aitab paremini kasutada lämmastikku kui limiteeritud ressursi.

41. N ülejääk ja NUE sõltuvad põllumajandussüsteemist ning agronoomilistest ja keskkondlikest eesmärkidest. Seetõttu on N ülejäägi ja NUE sihttasemed kohandatud vastavalt ettevõtte tüübile ning neid tuleb käsitleda ja hinnata kohalikke olusid arvestades.

42. Lämmastiku käitlemise edukust konkreetses farmis või farmide rühmas saab hinnata aja jooksul toimuvate N ülejäägi ja NUE muutuste alusel. Rakendada tuleks viieaastast perioodi, mis võimaldab arvestada ilmastikutingimustest või muudest ettenägematutest teguritest tulenevaid variatsioone aastate lõikes. Lämmastiku käitlemise edukus kajastub N ülejäägi vähenemises ja NUE suurenemises. Lämmastiku käitlemise parandamist võib jätkata seni, kuni on saavutatud „käitlemise parim praktika“. „Käitlemise parima praktika“ tase seatakse eesmärgiks enamasti eksperimentaalfarmides või praktilist põllumajandust viljelevate ettevõtete ülemise 5 protsentiili seas. Seega võib lämmastiku käitlemise tulemuste parandamisega jätkata seni, kuni ettevõtte saavutab sama taseme, milleni on jõudnud eesrindlikumad 5 protsentiili ettevõtetest. Taani ja Hollandi põllumajandusettevõtetes on saavutatud N ülejäägi vähenemine ja NUE suurenemine ligikaudu 30% võrra 5-aastase perioodi kestel ja 50% võrra 10-aastase perioodi kestel (Mikkelsen jt, 2010; J. Oenema jt, 2011). Kui saavutatud on parima praktika tase, siis edasine N ülejäägi vähenemine ja NUE paranemine aeglustuvad oluliselt.

43. N ülejäägi ja NUE väärtuste ligikaudsed sihttasemed on toodud tabelis 2. Tuleb arvestada, et NUE on pöördvõrdeliselt ja mittelineaarselt seotud N ülejäägi väärtustega.

Tabel 2

**Lämmastiku ülejäägi (N ülejääk) ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) ligikaudsed sihtväärtused sõltuvalt põllumajandussüsteemist, põllukultuuri liigist ja loomakategooriast**

<i>Põllumajandus-süsteemid</i>	<i>Liigid/kategooriad</i>	<i>NUE (kg N/kg N)</i>	<i>N ülejääk, (kg/ha/yr)</i>	<i>Märkused</i>
Taimekasvatusele spetsialiseerunud süsteemid	Teraviljad	0,6–0,9	0–50	Teraviljadel on kõrge NUE. Juurviljadel on madal NUE.
	Köögiviljad	0,4–0,8	50–100	Lehtköögiviljadel on madal NUE.
Mäletsejalistega seotud rohumaapõhised süsteemid	Puuviljad	0,6–0,9	0–50	Suur piimaand, kõrge NUE. Madal loomkoormus, madal N ülejääk. Kaunviljade olemasolu parandab NUE väärtust. Vasikaliha tootmine, kõrge NUE. Kaheaastased lihaved, madal NUE.
	Piimaved	0,3–0,5	100–150	
	Lihaved	0,2–0,4	50–150	
Taime- ja loomakasvatuse segasüsteemid	Lambad ja kitsed	0,2–0,3	50–150	Suur piimaand, kõrge NUE. Suur jõusõõtade osakaal ratsioonis, kõrge NUE.
	Piimaved	0,4–0,6	50–150	
	Lihaved	0,3–0,5	50–150	
	Sead	0,3–0,6	50–150	
	Linnud	0,3–0,6	50–150	
Maata süsteemid	Muud loomad	0,3–0,6	50–150	Lämmastiku väljund piima, loomade ja sõnnikuga võrdub ligikaudu sisendite lämmastikusisalduse summaga; N ülejääk on seotud lenduvate lämmastiku kadudega loomapidamishoonetest ja sõnnikuhoidlatest.
	Piimaved	0,8–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Lihaved	0,8–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Sead	0,7–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Linnud	0,6–0,9	e.k <sup>a</sup>	
	Muud loomad	0,7–0,9	e.k <sup>a</sup>	

<sup>a</sup> Ei ole kohaldatav, kuna ettevõtetel maa puudub. N ülejääki saab siiski väljendada kilogrammides farmi kohta aastas. Juhul kui kõik loomsed saadused, sh sõnnik ning kõik muud jäägid ja jäätmed eksporditakse, võib N ülejääk olla vahemikus 0 kuni 1000 kg ettevõtte kohta aastas, sõltuvalt ettevõtte suuruselt ja atmosfääri lendunud lämmastikühendite kogusest.

44. Lämmastiku sisend- ja väljundbilansi koostamise ligikaudne maksumus on vahemikus 200–500 € farmi kohta aastas, sõltudes põllumajandussüsteemist ning raamatupidamis- ja/või nõustamisteenuste kasutamisest. Siin ei ole arvestatud kuludega, mis on seotud koostatuse, turunduse ja uute tegevuste alustamisega. Tavafarmidele võib riikide

lõikes olla piiravaks teguriks andmete kättesaadavus, kuid see ei kehti harilikult mudel- ja pilootfarmide puhul. On tendents, et kulud vähenevad aja jooksul (kogemuste omandamise mõju tulemusena).

45. Lämmastiku käitlemise parendamise ning seeläbi NUE suurendamise ja N ülejäägi vähendamise netomaksumus on vahemikus -1–1 € kg lämmastiku kohta (Reis, avaldamisel). Netokulud on seotud väetiste säästmise ning suurenenud tootmismahutudega, brutokulud aga proovide ja analüüside tegemise ning koolitus- ja nõustamisteenustega.

46. Riiklikud põllumajanduses kasutatavad lämmastikubilansid annavad ülevaate: (a) toiduainete tootmisega seotud lämmastiku maksumusest; (b) toiduainete tootmisega seotud lämmastikukadudest riiklikul tasandil ja (c) NUE parandamise võimalustest riiklikul tasandil. Kui riiklikud lämmastikubilansid on väljendatud kilogrammides hektari kohta aastas, annavad need võimaluse võrrelda ECE piirkonna riikide põllumajandussektoreid ja edusamme riikide lämmastikuringest tulenevate kogukadude vähendamisel. Riiklike lämmastikubilansside koostamiseks on kehtestatud ühtsed formaadid ja protseduurid (kättesaadavad veebis). Lämmastikubilansi koostamise maksumus riiklikul tasandil on vahemikus 10 000–100 000 € aastas, sõltudes statistiliste andmete kättesaadavusest. Siin ei ole arvestatud kuludega, mis on seotud koolituste, turunduse ja uute tegevuste alustamisega. Riikide lõikes võib piiranguks osutuda andmete kättesaadavus. Reaktsioonivõimelise lämmastiku töörühma (Task Force on Reactive Nitrogen) poolt on koostatud ja rakendusorgani poolt vastu võetud eraldi juhenddokument, kus on sätestatud riikliku lämmastikubilansi koostamise meetodid (ECE/EB.AIR/119).<sup>7</sup>

#### IV. Põllumajandusloomade söötmisstrateegiad

47. Gaasilised lämmastiku kaod loomakasvatuses pärinevad loomade poolt eritatavast roojast ning uriinist. Sööda koostisel ning käitlemisel on loomade tootlikkusele, rooja ja uriini koostisele ning seetõttu ka NH<sub>3</sub> heitele oluline mõju. Käesolevas peatükis keskendutakse söötmisüsteemidele, mille abil on võimalik NH<sub>3</sub> heitkoguseid vähendada. Lisateave söötmisüsteemide kohta on esitatud lisas II.

48. *Referentsmeetodid:* selles peatükis kirjeldatud heitkoguste vähendamise strateegiaid ei ole määratletud ega hinnatud ühtse söötmise referentsmeetodi (vähendamata või lähtestsenaarium) alusel, kuna ECE piirkonna riikide lõikes kasutatakse erinevaid referentsstsenaariume. Samuti eristatakse loomarühmi vanuse ja toodangutaseme alusel, kuna nõuded söödale ning sellest tulenev lämmastiku eritumine on loomarühmade lõikes märkimisväärselt erinev.

49. Madalama proteiinisaldusega sööt on üks kulutõhusamaid ja strateegilisemaid viise NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamiseks. Iga protsendi kohta (absoluutväärtuses), mille võrra sööda proteiinisaldust vähendatakse, väheneb NH<sub>3</sub> heitkogus loomakasvatushoonetest, sõnnikuhoidlatest ja sõnniku laotamisel 5–15% võrra. Vähenemise ulatus sõltub samuti uriini ja rooja pH-st. Madalama proteiinisaldusega sööt aitab vähendada ka N<sub>2</sub>O heitkogust ja suurendab lämmastiku kasutamise efektiivsust loomakasvatuses. Madalama proteiinisaldusega sööda kasutamisega ei kaasne negatiivseid tagajärgi loomade tervisele ja heaolule seni, kuni täidetakse kõiki loomade aminohapete vajadusega seotud nõudeid.

<sup>7</sup> Riikliku lämmastikubilansi koostamise juhenddokument (ECE/EB.AIR/119); kättesaadav aadressil [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE\\_EB.AIR\\_119\\_ENG.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/air/eb/ECE_EB.AIR_119_ENG.pdf)



50. Madalama proteiinisaldusega sööda kasutamine on eelkõige rakendatav aastaringse laudaspidamise korral, rohumaapõhiste (karjatamisega) süsteemidele sobib see vähem. Varajases kasvufaasis karjamaarohi sisaldab rohkesti kergesti lagunevat proteiini, samuti on liblikõieliste rikaste (nt ristik ja lutsern) taimekoosluste proteiinisaldus suhteliselt kõrge. Kuigi eksisteerivad vastavad strateegiad taimiku proteiinisalduse vähendamiseks (lämmastikuga väetamise balansseerimine, karjatamine/taimiku koristamine taimede hilisemas kasvufaasis jne) ning rohumaapõhiste süsteemide söödaratsiooni mahu vähendamiseks (madalama proteiinisaldusega sööda lisasöötmine), ei ole need alati täielikult rakendatavad.

51. Söötmisüsteemide, millega vähendatakse  $\text{NH}_3$  lendumise potentsiaali toorproteiini sisalduse reguleerimise kaudu, maksumus sõltub ratsiooni koostisest ja selle koostisosade hinnast turul. Üldiselt jäävad kulutused vahemikku -2–2 € kg säästetud  $\text{NH}_3$ -N kohta, st tekkida võib nii potentsiaalne netokasum kui ka -kulu. Kui  $\text{NH}_3$  lendumise potentsiaaliga seotud eesmärgid suurendatakse, siis kulud enamasti kasvavad. Näiteks, kui sojaubade proteiini asendamiseks kasutada sünteetilisi aminohappeid, siis on suuremad kulud osaliselt seotud just viimaste maksumusega. Globaalselt näitavad aminohapete lisamanustamisega seotud kulutused langustendentsi. Aminohapete lisamanustamise maksumus suureneb ka juhul, kui eesmärgiks on võetud vähendada proteiini sihttasem ratsioonis (vt ka lisasid I ja II).

## 1. kategooria söötmissstrateegiad piima- ja lihaveistele

52. Toorproteiini koguse vähendamine mäletsejaliste söödas on tõhus 1. kategooria strateegia  $\text{NH}_3$  kadude vähendamiseks. Juhised on toodud tabelis 3.

(a) Keskmine toorproteiini sisaldus piimaveiste ratsioonide kuivaines ei tohiks ületada 15–16% (Broderick, 2003; Swensson, 2003). Vanemate kui 6-kuuste lihaveiste puhul võib seda alandada 12%-ni.

(b) Piimakarja söödaratsioonide toorproteiini sisaldust tuleks vastavalt laktatsioonifaasile järk-järgult alandada. Vahetult enne poegimist ja laktatsiooni esimesel poolel võiks see olla 16% kuivaines ning laktatsiooni teisel poolel ja suuremal osal kinnisperioodist vähem kui 14%.

(c) Sarnast söötmisskeemi saab rakendada ka lihaveiste puhul, alandades ratsiooni toorproteiini sisaldust järk-järgult 16%-lt 12%-ni.

Tabel 3

**Ligikaudsed toorproteiini sihttasemed veistele (% ratsiooni kuivainest) ja sellest tulenev lämmastiku kasutamise efektiivsus (NUE) toodangus (kg/kg)**

Laktatsiooni faas/vanuserühm	Toorproteiin (%) <sup>a</sup>	NUE toodangus (kg/kg)
Piim + elatustarve, laktatsiooni esimene pool	15–16	0,30
Piim + elatustarve, laktatsiooni teine pool	12–14	0,25
Kinnislehmad	13–15	0,10
Vasikad	17–19	0,45
Veised < 3 kuud	15–16	0,30
Veised 3–18 kuud	13–15	0,15
Veised > 18 kuud	12	0,05

<sup>a</sup> Esitatud sihttasemeid võib lugeda „kõrge eesmärgiga seotud“ väärtusteks.

53. Paljudes maailma piirkondades on veisekasvatus rohumaa- või osaliselt rohumaa põhine. Sellistes süsteemides moodustavad proteiinirikas rohi ja sellest valmistatud söödad olulise osa ratsioonist, seega võib tabelis 3 toodud sihttasemete saavutamine olla raske. Sageli on värske rohu toorproteiini sisaldus karjatamisel (2000–2500 kg kuivainet/ha) vahemikus 18–20% (või isegi rohkem, eriti liblikõieliste karjamaasegude korral); rohusilo toorproteiini sisaldus vahemikus 16–18% ja heinal vastavalt 12–15% (Whitehead, 2000). Vastupidiselt on näiteks maisisilo toorproteiini sisalduse vahemik ainult 7–8%. Seetõttu kaasneb rohumaa põhise söötmisega sageli liiges koguses proteiini ning sellest tulenev kõrge lämmastiku eritamise tase sõltub peamiselt ratsioonis sisalduva rohu, rohusilo ja heina osakaalust ning nende söötade proteiinisaldusest. Liigne proteiini kogus ning sellest tulenev lämmastiku eritumine ja NH<sub>3</sub> kaod on suurimad ainult karjamaarohul (nii kõrrelised, liblikõielised kui ka nende segud) baseeruvate suviste ratsioonide puhul, eriti siis, kui karjamaid on tugevasti väetatud. Ent tuleb arvestada sellega, et enamasti infiltreerub karjatavate loomade uriin mulda enne, kui olulistes kogustes ammoniaaki eraldub. Seetõttu on karjatamisel keskmine NH<sub>3</sub> heitkogus looma kohta väiksem võrreldes loomadega, keda peetakse tingimustes, kus väljaheiteid kogutakse, hoiustatakse ning seejärel laotatakse.

54. NH<sub>3</sub> heite vähenemine, mida on võimalik saavutada karjatamisperioodi pikendamise, sõltub lähteolukorrast (mittekarjatavate loomadega seotud heide), karjatamisperioodi pikkusest ja lämmastikväetiste kasutamise tasemest karjamaal. Karjatamise osakaalu suurendamise võimalused on sageli piiratud mulla tüübi, pinnamoe, ettevõtte suuruse ja struktuuri (vahemaad), ilmastikutingimuste ja muu seesugusega. Tuleb arvestada, et loomade karjatamine võib suurendada muu lämmastikuheite osakaalu (nt nitraatlämmastiku leostumine ja N<sub>2</sub>O lendumine). Võttes arvesse kirjeldatud meetodi selget ja hästi mõõdetavat mõju NH<sub>3</sub> heitkogusele, võib **ööpäevaringse karjatamise perioodi pikendamist siiski lugeda heite vähendamise 1. kategooria strateegiaks**. Tulemus sõltub karjatamisperioodi kestusest (vt ka lõike 52, 184 ja 185). Tegelik heite vähendamise potentsiaal riikide lõikes sõltub vastava riigi loomakasvatuse sektori lähteolukorrast. Mõju, mida avaldab osalise laudaspidamise perioodi muutmine (nt karjatatakse vaid päevasel ajal), ei ole nii selgepiirilisel mõõdetav ja liigitub seetõttu 2. kategooria strateegia alla. Üleminek ööpäevaringselt laudaspidamiselt osalisele karjatamisele on NH<sub>3</sub> heite vähendamise kontekstis vähem efektiivne võrreldes ööpäevaringse karjatamisega, kuna esimesel juhul on hoonetes ja hoidlates endiselt loomade väljaheiteid ja NH<sub>3</sub> lendumine jätkub. Karjatamise planeerimine (portsjonkarjatamine, karjamaade vahelduv kasutamine või pidev karjatamine)

ei oma NH<sub>3</sub> kadude vähenemisele olulist täiendavat mõju ja seda loetakse 3. kategooria strateegiaks.

55. Üldiselt on 1. kategooria söötmissüsteemid seotud energia/proteiini suhte suurendamisega ratsioonis. Loomi karjatatakse hilisemas kasvufaasis taimikuga karjamaadel, söödetakse närvutatud karjamaarohu ja/või antakse energiarikkaid lisa söötasid (nt maisisilo). Rohumaapõhiste tootmissüsteemide puhul võib nimetatud strateegiate rakendatavus olla piiratud, kuna hilisemas kasvufaasis rohu kasutamine võib halvendada söödaratsiooni kvaliteeti, eriti juhul, kui tingimused energiarikaste söötade kasvatamiseks on kesised (nt soe kliima) ning vastavat sööta tuleks seega osta. Sellisel juhul poleks ka karjamaarohu täielik kasutamine enam garanteeritud (eriti tootmisele kehtestatud piirangute tingimustes, näiteks piimakvoodid või loomkoormuse piirmäärad). Seega loetakse rohumaapõhistes ettevõtetes energia/proteiini suhte tasakaalustamist 2. kategooria strateegiaks, v.a juhul kui farmis on võimalik kasvatada energiarikkaid söötasid.

### **1. kategooria söötmissüsteemid sigadele**

56. Seakasvatuse rakendatavate söötmissüsteemide hulka kuuluvad faasiline söötmine, söödaratsioonide koostamine lähtuvalt toitainete seeduvusest ja kättesaadavusest looma organismis, madala proteiinisalduse ja sünteetiliste aminohapete lisaga söödaratsioonid ning spetsiifiliste söödalisandite kasutamine. Nimetatud meetodeid loetakse 1. kategooria tehnikateks. Teiste tehnikate tõhusus on uurimisjärgus (nt erineva koostisega söödaratsioonid isastele (kuldid, orikad) ja emastele (emised)). Nende kasutamine on ehk võimalik tulevikus.

57. Sigade söödaratsiooni toorproteiini sisaldust on võimalik vähendada aminohapete sisalduse optimeerimise teel, kasutades selleks sünteetilisi aminohappeid (nt lüsiin, metioniin, treoniin, trüptofaan) või spetsiaalseid söödakomponente. Samuti tuleb lähtuda usaldusväärseimast saadaolevast informatsioonist „ideaalse valgu“ ning söödalisandite kasutamise ja kombineerimise kohta.

58. Sõltuvalt sigade vanuse (tootmise) grupist ja lähtesituatsioonist on söödaratsiooni toorproteiini sisaldust võimalik vähendada 2–3%. Söödaratsiooni toorproteiini sisalduse sihtväärtused on esitatud tabelis 4. Tabelis toodud väärtused on ligikaudsed sihttasemed, vajalikuks võib osutada nende kohandamine kohalike tingimustega. Uuringute tulemustest nähtub, et 1% toorproteiini sisalduse vähendamine nuumikute ratsioonis alandab vedelsõnniku kogu ammooniumlämmastiku (TAN) sisaldust 10% ja NH<sub>3</sub> heitkogust samuti 10% võrra (Canh jt, 1998b).

Tabel 4

**Ligikaudsed toorproteiini sihttasemed sigade ratsioonides**

<i>Tootmisrühm</i>	<i>Faasid</i>	<i>Toorproteiini sisaldus (%)<sup>a</sup></i>
Imikpörsad	< 10 kg	19–21
Võõrdepörsad	< 25 kg	17–19
Nuumsead	25–50 kg	15–17
	50–110 kg	14–15
	> 110 kg	12–13
Emised	Tiinus	13–15
	Laktatsioon	15–17

*Allikas:* Euroopa Komisjon, 2003.

<sup>a</sup> Tasakaalustatud ja optimaalses koguses aminohapete olemasolul. Esitatud sihttasemeid saab lugeda „keskmise kuni kõrge eesmärgiga seotud“ väärtusteks (vt täpsemat teavet toorproteiini sihttasemete kohta lisast II).

## 1. kategooria söötmissstrateegiad kodulindudele

59. Võrreldes sigadega on kodulindude lämmastiku eritamise vähendamise võimalused söötmisega seotud meetmete abil piiratumad. Põhjuseks on asjaolu, et juba praegu on vastav tõhususaste suhteliselt kõrge ja linnurühmade (liikide) lõikes on variatsioon suurem. Sõltuvalt linnuliigist ja lähtesituatsioonist on võimalik söödaratsiooni toorproteiini sisaldust vähendada 1–2% võrra. Söödaratsiooni toorproteiini sisalduse sihtväärtused on esitatud tabelis 5. Tabelis toodud väärtused on ligikaudsed sihttasemed, vajalikuks võib osutuda nende kohandamine kohalike tingimustega. Mõnes EL liikmesriigis ja ka Põhja-Ameerikas jätkatakse rakenduslikke söötmisalaseid uuringuid, mille tulemusena võib tulevikus osutada võimalikuks toorproteiini sisaldust kodulindude ratsioonides veelgi alandada. Toorproteiini sisalduse vähendamine 1–2% võrra noorlindude ja broilerite ratsioonides on 1. kategooria meede.

Tabel 5

**Ligikaudsed toorproteiini sihttasemed põllumajanduslindude ratsioonides**

<i>Liik/tootmisrühm</i>	<i>Faasid</i>	<i>Toorproteiini sisaldus (%)<sup>a</sup></i>
Kanabroilerid	Noorlinnud	20–22
	Kasvufaasis linnud	19–21
	Lõppnuuma faasis linnud	18–20
Munakanad	18–40 nädalat	15,5–6,5
	40+ nädalat	14,5–15,5
Kalkunid	< 4 nädalat	24–27
	5–8 nädalat	22–24
	9–12 nädalat	19–21
	13+ nädalat	16–19
	16+ nädalat	14–17

*Allikas:* Euroopa Komisjon, 2003.

<sup>a</sup> Tasakaalustatud ja optimaalses koguses aminohapete olemasolul. Esitatud sihttasemeid saab lugeda „keskmise kuni kõrge eesmärgiga seotud“ väärtusteks (vt täpsemat teavet toorvalgu sihttasemete kohta lisast II).

## V. Põllumajandusloomade pidamine

### A. Piima- ja lihaste pidamissüsteemid

60. Loomakasvatushoonetes tekkiva NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise meetmete puhul rakendatakse ühte või mitut järgmistest põhimõtetest:

- (a) sõnnikuga saastunud pindala vähendamine;
- (b) vedeliku imendumise (adsorptsiooni) soodustamine allapanu (nt põhk) kasutamise tulemusena;
- (c) uriini kiire eemaldamine; rooja ja uriini kiire eraldamine;
- (d) õhutemperatuuri ja -liikumise kiiruse vähendamine sõnnikukihi kohal, välja arvatud sõnniku kuivatamise korral;
- (e) sõnniku temperatuuri alandamine;
- (f) sõnnikuga saastunud alade vähendamine loomapidamisruumides ja jalutusaladel karjatamise osakaalu suurendamise teel;
- (g) õhu puhastamine, st NH<sub>3</sub> eemaldamine õhust filtritega (skraberitega ehk heitgaasi märgpuhastitega) kombineeritud sundventilatsiooni abil.

61. Kui loomakasvatushoonetes rakendatakse heitkoguse vähendamise meetmeid, tuleks ülemäärased NH<sub>3</sub> kadusid vältida ka edasisel sõnniku käitlemisel, ladustamisel ja laotamisel, et saada vähendamismeetmetele tehtud kulutustest maksimaalset kasu.

62. Veiste pidamissüsteemid on ECE piirkonna riikides varieeruvad. Kuigi levinuim on vabapidamine, on mõnes riigis piimakari endiselt asemetele fikseeritud (lõaspidamine). Vabapidamissüsteemide korral kogutakse kõik väljaheidet või osa neist sageli vedelsõnnikuna. Süsteemides, kus tekib tahesõnnik (allapanul põhinevad süsteemid), võidakse seda hoonest eemaldada igapäevaselt või jääb sõnnik sinna kuni kogu laudaperioodiks (sügavallapanu süsteemid). Piimalehmade puhul on enim uuritud puhkelatritega vabapidamistehnoloogiat, kus  $\text{NH}_3$  heide tekib sõnnikuga saastunud rest- ja/või monoliitpõrandalt ning restide/põranda all asuvatest sõnnikureservuaaridest ja/või -kanalitest.

63. *Referentsmeetod:* veiste pidamise referentsmeetodiks on valitud puhkelatritega vabapidamistehnoloogia (tabel 6). Võrreldes vabapidamisega eritavad asemetele lõastatud loomad vähem ammoniaaki, kuna roe ja uriin saastavad väiksemat põrandapinda. Samas ei ole lõaspidamine loomade heaolu aspektist soovitatav, v.a juhul kui igapäevaselt on võimaldatud pääs jalutusaladele. Lõaspidamine on traditsiooniline võrdlussüsteem saasteainete inventuuride järjepidevuse säilitamise kontekstis.

64. *Rangematest heaolunõuetest tulenevalt* suurenevad nii väljaheidetega saastunud liikumisala kui ventilatsioonimaht looma kohta. Sellega kaasnevad samuti potentsiaalselt külmemad temperatuurid talvel ning üldise heitkoguse suurenemine. Muudatused loomapidamishoonete projekteerimisel, vastamaks mõnes riigis vastu võetud rangematele loomade heaolu käsitlevatele eeskirjadele (nt üleminek lõaspidamiselt vabapidamisele), suurendavad  $\text{NH}_3$  heitkogust, kui paralleelselt ei rakendata heite vähendamise meetmeid. Loomade heaolunõuetest tulenev hoonete renoveerimine või uute ehitiste rajamine annab hea võimaluse rakendada samaaegselt  $\text{NH}_3$  heite vähendamise meetmeid. Sellest tulenevalt on ka vähendamismeetmetega seotud kulutused madalamad.

65. *Tahe- vs vedelsõnnikusüsteemid.* Tõenäoliselt ei lendu allapanul pidamissüsteemiga loomapidamishoonetest (tahesõnnik) vähem ammoniaaki kui vedelsõnnikul baseeruva süsteemi korral. Lisaks võib allapanuga süsteemides dilämmastikoksiidi ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ja dilämmastiku ( $\text{N}_2$ ) kaod olla (de)nitrifikatsiooni tõttu suuremad võrreldes vedelsõnnikupõhiste süsteemidega. Kuigi allapanul põhinevast süsteemist saadav sõnnik võib pärast põllule laotamist eraldada vähem ammoniaaki (Powell jt, 2008), on vedelsõnniku puhul vähendamismeetmete valik laiem. Rooja (sisaldab ensüüm ureaasi) ja uriini füüsiline eraldamine (separeerimine) loomapidamishoones vähendab karbamiidi hüdrolüüsi, mille tulemuseks on väiksemad ammoniaagi heitkogused nii hoonetest kui ka sõnniku laotamisel (Burton, 2007; Fanguero jt, 2008a, 2008b; Møller jt, 2007). Nii tahe- kui ka vedelsõnnikupõhiste pidamissüsteemide, samuti vedelsõnniku separeerimise korral tuleks arvestada kõiki  $\text{NH}_3$  heite eraldumise etappe (loomapidamishoone, ladustamine ja laotamine).

### 1. kategooria tehnikad

66. Usaldusväärne meetod  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamiseks piima- ja lihaveiselautades on nn „soontega põranda“ süsteem, kus väljaheidet eemaldatakse „hammastega“ skreeperte abil. Sooned peaksid olema perforeeritud (varustatud avadega), mis võimaldab uriini kiiret äravoolu. Tulemuseks on puhas madalate heitkogustega põrandapind, millel on ka hea nake, vältimaks loomade libisemist. Ammoniaagiheite vähenemine on 25% kuni 46% võrreldes referentssüsteemiga (Smits, 1998; Swierstra, Bram ja Smits, 2001).

67. Traditsiooniliste respõrandatega (tasapinnaline, 1% kaldega või soontega) hoonetes, kus optimaalse mikrokliima saavutamiseks on kasutatud katuse isolatsiooni ja/või

automaatselt kontrollitavat loomulikku ventilatsiooni, on nimetatud meetmete rakendamise tulemuseks mõõdukas heite vähenemine (ca 20%), tulenevalt madalamast temperatuurist (eriti suvel) ja väiksemast õhu liikumise kiirusest (Braam, Ketelaars ja Smits 1997; Bram jt, 1997; Smits, 1998; Monteny, 2000).

68. Tõhus meetod NH<sub>3</sub> heite alandamiseks on väljaheidete koguse vähendamine loomakasvatushoonetes karjatamisperioodi pikendamise kaudu. Kuigi karjatamisega seotud heide loomade väljaspidamisel suureneb, väheneb loomapidamishoonetega seotud NH<sub>3</sub> heide oluliselt suuremal määral. Nimetatud efekti saavutamiseks peaksid aga hoonetes olevad pinnad loomade karjatamise ajal olema väljaheidetest puhastatud. Piimakarjaga tegelevates ettevõtetes, kus loomi ööpäevaringselt karjatatakse, võib heite koguhulk aastas (hoonetest, hoidlatest ja laotamisel) kahaneda kuni 50% võrra (Bacher jt, avaldamisel) võrreldes aastaringse laudaspidamisega. Kuigi piimalehmade karjatamisperioodi pikendamine on heite vähendamiseks usaldusväärne meetod, sõltub vähenemise määr igapäevase karjatamise kestusest ning laudahoone ja hoidla puhtusest. Karjatamine on 1. kategooria meede juhul, kui loomi karjatatakse ööpäevaringselt või igapäevaselt saastub laudahoones sõnnikuga väga väike põrandapind. Kui loomi karjatatakse vähem kui 18 tundi ööpäevas, tuleb seda lugeda 2. kategooria meetmeks, kuna heitkoguste arvestamine on komplitseeritud. Mõningatel juhtudel võib karjatamine suurendada leostumist või patogeenide ja toitainete sattumist pinnavette (vt lõike 40, 184 ja 185).

## 2. kategooria tehnikad

69. Hollandis on testitud erinevaid restidel või monoliitsetel profileeritud betoonelementidel põhinevaid *täiustatud põrandatüüpe*. Nimetatud lahenduste puhul on kombineeritud heite vähenemine põrandalt (uriini äravoolu kiirenemine) ja hoone all asuvast hoidlast (õhuvahetuse vähendamine põrandapilude kaudu kummist klappide abil). Heite vähendamise tõhusus sõltub süsteemi spetsiifilistest tehnilistest omadustest. Sellest tulenevalt loetakse kirjeldatud tehnoloogiat 2. kategooria meetmeks ning seda ei ole tabelis 6 mainitud.

70. *Allapanumaterjali* kasutamine loomakasvatushoonetes mõjutab NH<sub>3</sub> heitkogust. NH<sub>3</sub> heite ulatus piimafarmide põrandatelt sõltub oluliselt rohkem allapanu füüsikalistest (uriini imamise võime, puistetihedus) kui keemilistest omadustest (pH, katioonide vahetuse võime, süsiniku ja lämmastiku suhe) (Misselbrook ja Powell, 2005; Powell, Misselbrook ja Casler, 2008; Gillespy jt, 2009). Vajalikud on siiski edasised uuringud, et määrata kindlaks allapanu mõju heitele konkreetsetes süsteemides, arvestades kogu sõnnikukäitluse protsessi.

71. *Õhufiltrid (keemilised või bioloogilised skraberid)* on NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamiseks efektiivsed sundventilatsiooniga sigalates. ECE piirkonna riikides enamlevinud loomuliku ventilatsiooniga veiselautades neid aga rakendada ei saa. Samuti on õhufiltrite kasutamise kohta veiselautades vähe andmeid, mistõttu loetakse seda meetet hetkel 2. kategooria tehnikaks (Ellen jt, 2008).

## 3. kategooria tehnikad

72. *Skreeper- ja uhtesüsteemid*. Vedelsõnniku regulaarseks eemaldamiseks loomapidamishoone põrandalt väljaspool asuvasse kaetud hoidlasse on katsetatud mitmeid süsteeme, sh veega uhtmine, hapete kasutamine, vedelsõnniku lahjendamine, mehaaniline separeerimine või skreeperite kasutamine kas vee pihustamisega või ilma. Üldiselt on sellised tehnikad osutunud vähetõhusaks või on nende rakendamine liiga keeruline. Siledade ja/või kaldega põrandate korral, mis parendab küll põrandate skreeperite või uhtmisega

puhastamist, muutuvad põrandad aga libedamaks, ohustades niiviisi lehmade tervist. Selliseid süsteeme loetakse seetõttu 3. kategooria tehnikateks.

Tabel 6

**Ammoniaagi heitkogused veiste erinevate pidamissüsteemide korral (referentsüsteemid ning 1. ja 2. kategooria tehnikad)**

<i>Pidamissüsteem</i>	<i>Vähemine (%)</i> (kg/loomakoha kohta /aastas)	<i>NH<sub>3</sub> heitkogus<sup>a</sup></i>
Vabapidamine puhkelatrites (referentsüsteem)	e.k	12,0 <sup>b</sup>
Lõaspidamine <sup>c</sup> (traditsiooniline referentsüsteem)	e.k	4,8
Soontega põrand (kat 1)	25–46	9,0
Mikrokliima optimeerimine katuse isolatsiooniga (kat 1)	20	9,6
Keemilised õhufiltrid ehk skraberid (ainult sundventilatsiooniga süsteemid) (kat 2)	70–90	1,2
Karjatamine 12 h / 24 h (kat 2) ref süsteem 1 suhtes	10	10,8 <sup>d</sup>
Karjatamine 18 h / 24 h (kat 1) ref süsteem 1 suhtes	30	8,4 <sup>d</sup>
Karjatamine 22 h / 24 h (kat 1) ref süsteem 1 suhtes	50	6,0 <sup>d</sup>

*Lühend:* e.k = ei kohaldu.

<sup>a</sup> Heide loomade aastaringse laudaspidamise korral.

<sup>b</sup> 4–4,5 m<sup>2</sup> liikumisala pind lehma kohta, aastaringne laudaspidamine.

<sup>c</sup> Lõaspidamisega süsteemid ei ole loomade heaolu aspektist aktsepteeritavad. Nimetatud süsteemid on traditsioonilisteks referentsüsteemideks heite andmekogude järjepidevuse tagamise huvides.

<sup>d</sup> Väärtused kehtivad kogu hooaega hõlmava karjatamisperioodi korral (eeldatavalt ligikaudu 200 päeva).

## B. Sigade pidamissüsteemid

73. *Referentsmeetod:* referentsmeetodiks on heide täisrestpõranda ja selle all paikneva sõnnikukeldriga sigalast. Mõnes riigis on sellised süsteemid loomade heaolu aspektist tulenevalt keelatud.

74. NH<sub>3</sub> heitkoguste vähendamise lahendusi sigalatest on üksikasjalikult kirjeldatud Euroopa Komisjoni poolt 2003. aastal. Põhimõtted, mis seakasvatuse valdkonnas kehtivad, on järgmised:

(a) sõnnikuga saastunud pindade vähendamine põrandatel ja kaldseintega sõnnikukanalites. Osaliselt restidega kaetud põrandatelt (~50% pinnast) eritub tavapäraselt vähem ammoniaaki, seda eriti juhul, kui restid ei ole betoonist, vaid on metallist või plastist kattega. Sellest tulenevalt liiguvad väljaheidet kiiremini ja täielikumalt allpool paiknevasse kanalisse. Restidega katmata pindadelt saab heidet vähendada siledade kaldpindade abil, paigutades söötmis- ja jootmisalad nii, et nende saastumine oleks minimaalne ning tagades sigalas optimaalse mikrokliima regulatsiooni;

(b) väljaheidete sage eemaldamine kanalitest (vähemalt 2 korda nädalas) välisesse vedelsõnnikuhoidlasse, kasutades selleks kas vaakum-, gravitatsioonipõhist- või uhtesüsteemi;



- (c) vedelsõnniku töötlemine, näiteks separeerimine;
- (d) põhjavee ringluse tagamine sõnnikukanali pinnal ujuvates soojusvahetites, tagamaks sõnniku pinnakihi jahtumise vähemalt 12 °C temperatuurini. Piiravateks teguriteks on nimetatud meetodi puhul maksumus ja vajadus leida põhjaveeallikas, mida ei kasutata joogiveena;
- (e) sõnniku keemiliste/füüsikaliste omaduste muutmine, näiteks pH alandamine;
- (f) siledade ja kergesti puhastatavate pindade kasutamine (vt eespool alapunkti a);
- (g) väljutatava õhu puhastamine õhufiltritega (keemilised või bioloogilised skraberid);
- (h) sigala sisetemperatuuri ja ventilatsioonimahu alandamine, arvestades loomade heaolu ning tootmisega seotud kulutustega, seda eriti talvel;
- (i) (õhu liikumise kiiruse vähendamine sõnniku pinnakihi kohal.

75. Betoonest restidelt voolab sõnnik ära aeglasemalt kui sama laiusega teras- või plaskattega restidelt. Betoonestide korral on NH<sub>3</sub> heitkogus seega suurem. Tuleb arvestada, et terasest restid ei ole mõnes riigis loomade heaolunõuetest tulenevalt lubatud.

76. PVT kontekstis on eri pidamistehnoloogiate hindamisel arvestatud ka vastavate kõrvalmõjudega. Näiteks vedelsõnniku sage uhtmine (tavapäraselt üks kord hommikul ja õhtul) tekitab ebameeldivat lõhna. Samuti tarbitakse vedelsõnniku uhtmisel rohkem energiat, v.a juhul kui kasutatakse käsitsi juhitavaid passiivsüsteeme.

77. Sigade heaolust tulenevalt kasvab sigalates eeldatavasti põhu kasutamine. Põhk koos (automaatselt juhitava) loomuliku ventilatsiooniga parandab loomade kehatemperatuuri iseregulatsiooni võimet, mis vähendab ventilatsioonimahtu ja lisakütte vajadust ning seetõttu väheneb ka energiatarbimine. Allapanuga süsteemides on teatavatel juhtudel seasulg jaotatud allapanuga kaetud monoliitpõranda ja restiga kaetud sõnniku kogumise aladeks. Sageli ei kasuta sead vastavaid alasid soovitud viisil, roojates ka allapanuga alal ning jahutades end kõrgema temperatuuri korral restidega alal. Vähendamaks monoliitpõranda saastumist, tuleks sulud põhimõtteliselt projekteerida selliselt, et sigade ekskretsiooni eelistused oleksid arvestatud. Keerulisem on see sooja kliimaga piirkondades. Põhu kasutamisest saadava efekti kompleksel hindamisel tuleks arvestada põhu ja sulgudest sõnniku eemaldamisega seotud lisakuludega; võimaliku heitkoguse suurenemisega hoidlast ja põhku sisaldava tahesõnniku laotamisel; samuti orgaanilise aine mulda lisamise positiivse mõjuga.

78. *Referentsmeetod kesikute ja nuumikute pidamisel:* Euroopas on tavapäraseks referentsmeetodiks heide täisrestpõranda ja selle all paikneva sügava sõnnikukeldri ning sundventilatsiooniga sigalast. Heitkogused on vahemikus 2,4 kuni 3,2 kg NH<sub>3</sub> loomakoha kohta aastas. Kuna kesikuid/nuumikuid peetakse alati rühmadena, siis süsteemid, mida kasutatakse emiste rühmiti pidamisel, on sarnased.

79. *Referentsmeetod poegivate (imetavate) emiste pidamisel:* Euroopas paigutatakse poegivad emised üldjuhul sulgudesse, millel on terasest või plastist restpõrand ja selle all sügav sõnnikukelder. Enamikus sigalates on poegivate (imetavate) emiste liikumine piiratud, samas põrsaste liikumist piiratud ei ole. Enamikes poegimissigalates on automaatselt juhitud ventilatsioonisüsteem ning sageli ka köetav ala põrsastele nende esimesteks elupäevadeks. Täielikult või osaliselt restidega kaetud põrandate erinevus ei ole poegivate emiste puhul nii suur võrreldes kesikute/nuumikutega, kuna emise ruum on piiratud ja väljaheidet eritatakse

üldjuhul restidega alas. Seepärast keskenduvad vähendusmeetodid sõnnikukanaliga seotud meetmetele.

80. *Referentsmeetod vabade ja tiinete emiste pidamisel:* referentsmeetodiks emiste pidamisel vaba- ja tiinusperioodil on heide sõnnikukeldri ja täisrestpõrandaga (betoonist restid) sigalast. Käesoleval ajal on vabad ja tiined emised sulgudesse paigutatud kas ühekaupa või rühmadena. Euroopa Liidu nõuetest tulenevalt peavad kõik uued emiste sigalad võimaldama sigade rühmaviisilist pidamist, alates 2013. aastast kehtib nimetatud nõue ka vabade ja tiinete emiste puhul nelja nädala jooksul pärast seemendamist. Rühmasulgudes pidamine eeldab spetsiaalseid söötmissüsteeme (nt elektroonilised emiste sööturid või avatud tallid), samuti peab sulg olema projekteeritud nii, et roojamine ja lamamine toimuks erinevatel aladel. Heitkogused rühma- ja individuaalsulgudega pidamissüsteemidest on samaväärsed (Groenestein jt, 2001), rakendada tuleb sarnaseid heite vähendamise meetmeid.

81. *Referentsmeetod võõrdepõrsaste pidamisel:* võõrdepõrsaid peetakse rühmadena, kas tavapärasest või osaliselt kaetud sulgudes. Kuna sõnniku eemaldamise meetod on mõlemal juhul sarnane, siis kattuvad ka vastavad vähendusmeetmed.

82. Tabelis 7 on esitatud kokkuvõtte heitkoguste vähendamise lahendustest ja meetmetest, sh hinnangulisest efektiivsusest ja kuludest kõigi sigalatüüpide lõikes. Kulude hinnang varieerub märkimisväärselt, kuna tingimused farmides on erinevad, näiteks hoone suurus. Tuleb arvestada, et olemasolevate hoonete puhul osutub mõne meetme rakendamine väga kulukaks. Teave heite vähendamise meetmete ja strateegiate maksumuse kohta on leitav Reisi materjalidest (avaldamisel).

83. 2007. aastal Hollandis läbi viidud uuring näitas, et NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamine sigalatest peamiselt õhufiltritega (skraberitega), maksis keskmiselt 0,016 € kg toodetud searümba kohta (Baltussen jt, 2010). Uuringu toimumise ajal oli ainult suurtes, meie mõistes keskkonna kompleksloa (IPPC) kohustusega, ettevõtetes rakendatud vastavaid meetmeid eesmärgiga vähendada heidet 40–60% võrra (summaarselt loomapidamishoone ja hoidla tasemel). Prognoositi, et heite vähendamise maksumus tõuseb 2013. aastaks 0,04 euroni kg toodetud searümba kohta, kuna selleks ajaks peavad ka väikesed seakasvatustevõtted Hollandis saavutama vastavuse nii heitkoguste piirnormide kui ka loomade heaolu standarditega. Arvestades, et ühe loomakoha kohta toodetakse aastas 200 kg sealiha, on NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise ja loomade heaoluga seotud meetmete maksumus keskmiselt 7,2 € ühe loomakoha või 3 € kg säästetud NH<sub>3</sub>-N kohta (mõlemad prognoosid on ligikaudsed). Prognoosis ei ole arvestatud asjaoluga, et osa säästetud ammoniaaki võib edasise sõnnikukäitluse jooksul siiski lenduda.

84. Kõik lõikudes 80–90 käsitletavat heitkoguste vähendamiseks kasutatavad meetmed tuginevad lõigus 69 esitatud põhimõtetele.

### **1. kategooria tehnikad**

85. Vähendades heidet emiteeriva ala suurust, on võimalik ammoniaagi heitkogust alandada 25% võrra. Selle saavutamiseks tuleks rakendada vedelsõnniku sagedast ja täielikku vaakumi abil sõnnikukanalist eemaldamist. Kui selline võimalus on olemas, ei kaasne sellega kulusid.

86. Osalise restpõrandaga pind (vähemalt 50% sulu kogupinnast) eritab keskmiselt 15–20% võrra vähem NH<sub>3</sub>, eriti juhul, kui restid on metallist või plastkattega, mis on sõnniku jaoks vähem kleepuvad materjalid kui betoon. Monoliitpõrandalt heite tekkimise riski vähendamiseks võib rakendada kaldus (või kumerat) sileda viimistlusega pinda; paigutada

sööturid ja jooturid nii, et monoliitpõranda saastumine oleks minimaalne; tagada optimaalne mikrokliima reguleerimine (Aarnink jt, 1996; Guigand ja Courboulay, 2007; Ye jt, 2008a, 2008b).

87. Heidet eritavat pinda saab veelgi vähendada osalise respõranda ja selle all oleva sõnnikukanali pindala vähendamise kaudu. Kui restidega kaetud ala on väiksem, saab monoliitpõranda suurema saastamise riski vähendada nii, et sulu osasse, kus sead enamasti joomas ja söömas käivad, paigaldatakse teine restidega ala, mille all on veekanal. Kanal täidetakse ligikaudu kahe sentimeetri (cm) ulatuses veega, et lahjendada sinna sattuvat sõnnikut. Restidega alalt eralduvad heitkogused on väiksed, kuna kogu sõnnik, mis sinna satub, lahjendatakse. Kirjeldatud sõnniku- ja veekanaliga segasüsteem, sõltuvalt veekanalimahust, võimaldab  $\text{NH}_3$  heitkogust vähendada 40–50% võrra.

88. Heidet eritava pindala vähendamine sõnnikukanalis ühe või mõlema kaldseina abil kombineerituna osaliste respõrandate ja sagedase sõnniku eemaldamisega võib heitkoguseid vähendada kuni 65% võrra.

89. Heite tekkimise ala vähendamine madalate V-kujuliste rennide abil (maksimaalselt 60 cm lai ja 20 cm sügav) võib sõltuvalt searühmast ja osaliste respõrandate olemasolust vähendada heitkogust 40–65% võrra. Renne tuleks kaks korda päevas uhta vedelsõnniku vedela (madala viskoossusega) fraktsiooni, mitte veega, kuna vee kasutamisel sõnnik lahjeneb ning see suurendab transpordikulu.

90. Imetavate emiste sulgudes saab heidet vähendada 65% võrra heidet tekitava ala vähendamise abil sulu respõranda alla paigaldatava nõrgplaadiga. Nõrgplaat on kaldu (vähemalt  $3^\circ$ ), madalaimast punktist toimub sõnniku äravool. Nõrgplaatide süsteemi on võimalik rajada ka olemasolevatesse sigalatesse, kuid sõnniku äravoolusüsteemi ümberehitamine võib osutada suhteliselt kulukaks.

91.  $\text{NH}_3$  heitkogust on võimalik vähendada vedelsõnniku hapestamisega, muutes  $\text{NH}_3$  ja  $\text{NH}_4^+$  keemilist tasakaalu  $\text{NH}_4^+$  suunas. Sõnnik (eriti selle vedel fraktsioon) kogutakse hapestatud vedelikuga (enamasti väävelhappe lahus, kuid võib kasutada ka orgaaniliste hapete lahuseid) mahutisse, hoides pH väärtust alla kuue. Võõrdepõrsaste sigalates on nimetatud meetmega saavutatud heite vähenemine 60% võrra.

92. Sõnniku pinnakihi jahutamine jahutusribidega (suletud soojusvahetussüsteem) on 1. kategooria tehnika. Sõltuvalt loomarühmast ja jahutusribide pindalast võib saavutada heite vähenemise 45–75% võrra. Tehnika on ökonoomsem, kui kogutud soojust kasutatakse hoonete, näiteks võõrdepõrsaste sigala kütmiseks (Huynh jt, 2004). Vedelsõnnikusüsteemide korral saab tehnoloogiat paigaldada ka olemasolevatesse hoonetesse. Süsteemi ei saa rakendada põhkallapanu korral või juhul, kui söödas on palju toorkiudu, kuna vedelsõnniku pinnale võib tekkida ujukiht.

93. Sigalatest ventilatsiooniga väljutatava õhu töötlemine happe (peamiselt väävelhappe) või biofiltritega (skraberitega) on Taani, Saksamaa, Prantsusmaa ja Hollandi suurtes põllumajandusettevõtetes osutunud praktiliseks ja tõhusaks tehnoloogiaks ning loetakse seetõttu 1. kategooria meetmeks (Melse ja Ogink, 2005; Guingand, 2009). Meede on ökonoomsem, kui tehnoloogia installeeritakse ehitiste rajamise käigus, kuna paigaldamine olemasolevatesse hoonetesse nõuab kulukat ventilatsioonisüsteemide ümberehitamist. Sõltuvalt happefiltrite (skraberite) pH väärtustest on  $\text{NH}_3$  heite eemaldamise tõhususaste vahemikus 70–90%. Happe- ja biofiltrid vähendavad ka lõhna- ja peenosakeste heidet, vastavalt 75 ja 70% võrra (Guingand, 2009). Kirjeldatud süsteemide sobivus Lõuna- ja Kesk-Euroopasse nõuab veel täiendavaid uuringuid. Nii happeskraberite (heitgaasi märgpuhastid,

kus lisatakse pesuks hapet) kui nõrgfiltrite kasutuskulud sõltuvad eelkõige täiendavast veeringluse tagamise ja ventilaatorite käitamisega seotud energiakulust. Kulude vähendamiseks on olemas spetsiifilised optimeerimismeetodid (Melse, Hofschereuder ja Ogink, 2012). Suurtes põllumajandusettevõtetes on kulud väiksemad.

## **2. kategooria tehnikad**

94. Ujuvate pallide kasutamine sõnnikukanalis sõnniku pinnakihil (pallid katavad osaliselt heidet eraldavat ala) võib heitkogust vähendada ca 25% võrra. Kuna pallide materjal on mittekleepuv, siis sõnniku langedes pallidele, pöördub nende puhas pool ülespoole. Kirjeldatud tehnikat saab kasutada ka olemasolevates hoonetes. Tulenevalt asjaolust, et tehnoloogiat ei ole väljaspool Hollandit hinnatud, loetakse seda 2. kategooria meetmeks.

95. Vedelsõnniku pidevaks hoonest eemaldamiseks võib restpõranda alla paigaldada V-kujulise transportöörlindi. Lindi kuju võimaldab uriinil pidevalt ära voolata, eraldades seda roojas sisalduvast ensüüm ureaasist, vähendades seeläbi karbamiidi hüdroolüüsi  $\text{NH}_3$ -ks. Vedelsõnniku kiire eemaldamise ja väiksema  $\text{NH}_3$  heite tõttu, väheneb  $\text{NH}_3$  heitkogus ca 70% (Aarnink jt, 2007). Kirjeldatud tehnoloogia puhul ei ole nõutav spetsiifilise sõnnikukanali olemasolu, mistõttu ehituskulud vähenevad. Vedelsõnniku separeerimine võimaldab optimeerida ka fosfori ja lämmastiku mulda lisamist. Kuna tehnoloogiat on hinnatud ainult Hollandis, siis loetakse seda 2. kategooria meetmeks. Meede on potentsiaalselt sobiv kõigile searühmadele, kuid testitud on seda vaid nuumikute sigalates.

Tabel 7

**1. ja 2. kategooria tehnikad: heite vähenemine ja selle maksumus sigade madala heitetasemega pidamissüsteemide korral**

<i>1. kategooria tehnika (kui ei ole märgitud kat 2)</i>	<i>NH<sub>3</sub> heitkogus, kg (loomakoht/ aasta)</i>	<i>Heite vähenemine (%)</i>	<i>Lisakulu (€/looma koht/aasta)<sup>a</sup></i>	<i>Lisakulu (€/kg NH<sub>3</sub>-N vähenemine)</i>
<b>Vabad ja tiined emised</b>	<b>4,20</b>			
Sage sõnniku eemaldamine vaakumsüsteemiga		25	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Rennide uhtmine		40	33	23
Sõnniku pinnakihi jahutamine		45	19	12
Pidamine söötmiskoha ja kaldseintega sõnnikukanaliga (rühma)sulgudes		45	16	10
Ujuvad pallid sõnniku pinnakihil (kat 2)		25	14	16
Õhu filtreerimise tehnoloogiad		70–90	22–30	8–10
<b>Imetavad emised</b>	<b>8,30</b>			
Vee- ja sõnnikukanalite süsteem		50	2	0,5
Kaldne nõrgplaat respõranda all		65	40–45	9
Sõnniku pinnakihi jahutamine		45	45	15
Ujuvad pallid sõnniku pinnakihil (kat 2)		25	14	8
Õhu filtreerimise tehnoloogiad		70–90	35–50	7–10
<b>Võõrdepõrsad</b>	<b>0,65</b>			
Vähendatud sõnnikukanaliga osaline respõrand		25–35	0	0
Sage sõnniku eemaldamine vaakumsüsteemiga		25	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Osaline respõrand ja rennide uhtmine		65	5	14
Osaline respõrand ja sõnniku kogumine hapestatud vedeliku keskkonda		60	5	15
Osaline respõrand ja sõnniku pinnakihi jahutamine		75	3–4	7–10
Osaline respõrand ja kaldseintega sõnnikukanal		65	2	5–6
Ujuvad pallid sõnniku pinnakihil (kat 2)		25	1	6–7
Õhu filtreerimise tehnoloogiad		70–90	4–5	8–12
<b>Kesikud-nuumikud</b>	<b>3,0</b>			
Vähendatud sõnnikukanaliga osaline respõrand		15–20	0	0
Sage sõnniku eemaldamine vaakumsüsteemiga		25	0 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>
Osaline respõrand vee- ja sõnnikukanalite süsteemiga		40	2	2
Osaline respõrand veekanalite ja kaldseintega sõnnikukanalite süsteemiga		60–65	3–5	2–3
Rennide uhtmine		40	10–15	10–15
Osaline respõrand ja sõnniku pinnakihi jahutamine		45	5–7	4–6
Ujuvad pallid sõnniku pinnakihil (kat 2)		25	2	4
Osaline respõrand ja sõnniku separeerimine ja eemaldamine		70	0–5	0–3
V-kujulise transportöörilindiga (kat 2)				
Õhu filtreerimise tehnoloogiad		70–90	10–15	5–9

*Märkus:* Heite vähendamise meetmete maksumuse teavet vt Reis (avaldamisel).

<sup>a</sup> Hinnakalkulatsiooni aluseks on uued hooned. Olemasolevatesse hoonetesse on võimalik paigaldada ainult sõnniku pinnakihi jahutussüsteeme, ujuvaid palle ja skrabereid, vt selgitust tekstist.

<sup>b</sup> Kui vaakumsüsteem sõnniku eemaldamiseks on juba paigaldatud.

## C. Põllumajanduslindude pidamissüsteemid

96. Lindlates kehtivad NH<sub>3</sub> heitkoguste vähendamise meetmete järgmised põhimõtted:
- sõnnikuga kaetud heidet eritavate pindade vähendamine;
  - sõnniku sage eemaldamine välisesse vedelsõnniku hoidlasse (nt transportöörilindiga süsteem);
  - sõnniku kiire kuivatamine;
  - siledade ja kergesti puhastatavate materjalide kasutamine;
  - heitõhu puhastamine happe- või biofiltritega (skraberitega);
  - arvestades lindude heaolu ja/või tootmist, lindla sisetemperatuuri alandamine ja ventilatsioonimahu vähendamine.

### 1. Munakanade pidamissüsteemid

97. EL-i liikmesriikides tuleb munakanade pidamissüsteemide hindamisel lähtuda 19. juuli 1999 direktiivis 1999/74/EÜ sätestatud munakanade heaolu miinimumnõuetest. Direktiiviga keelustati traditsiooniliste puurisüsteemide kasutamine alates 2012. aastast. Lubatud on ainult täiustatud puurides pidamine või vabapidamisega süsteemid, näiteks allapanul (sügavallapanul) või õrrekanalasüsteemides pidamine.

98. *Referentsmeetod klassikalise (traditsioonilise) puurispidamise korral.* Nimetatud süsteemi korral paikneb puuride all avatud sõnnikuhoidla. Kuigi EL-is on selline tehnoloogia alates 2012. aastast keelatud, peetakse mõnes ECE piirkonna riigis munakanu endisel traditsioonilistes puurides. Samuti on nimetatud pidamisviisi kasutusel referentsmeetodina enamikus NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamise aruannetes. Referentsmeetod on vajalik ka heite kalkulatsioonide järjepidevuse säilitamiseks.

99. *Referentsmeetod täiustatud puurides pidamise korral.* Olemasolevas, klassikaliste puuridega lindlas võimaldab nimetatud tehnoloogia parendusi ilma olulisi tehnilisi muudatusi tegemata. Täiustatud puurides on munakanadel rohkem ruumi, sh on alad munemiseks, küüniste kulutamiseks ja õrrel istumiseks. Linde peetakse 40–60 kaupa rühmades. Sõnniku eemaldamiseks on levinuim meetod (lisaventilatsiooniga) transportöörilint puuride all. Täiustatud puurides pidamisega seotud vähendamise meetmed on esitatud eraldi tabelis, kuna referentsmeetodiks ei ole traditsioonilistes puurides pidamine, vaid täiustatud puuride tehnoloogia ilma sõnniku kuivatamiseta puuri all oleval transportöörilindil. Lindude heaolust lähtuvalt ei ole täiustatud puurid lubatud Hollandis ja Saksamaal, kus kasutatakse nn väikestes rühmades pidamist (Kleingruppenhaltung). Erinevus võrreldes täiustatud puuridega seisneb suuremas pindalas linnu kohta, kõrgemates puurides ning allapanu ja pesadega ala selgemas määretlemises. Ellen ja Ogink (2009) on tõestanud, et rakendada võib täiustatud puuride tehnoloogiale vastavaid NH<sub>3</sub> emissioonifaktoreid.

100. *Referentsmeetod vabapidamissüsteemide korral: osaliselt allapanuga kaetud põranda ja sügava sõnnikuhoidlaga lindla.* Sellises süsteemis on lindla enamasti varustatud 80–90 cm sügavuste sõnnikumahutitega (hoidlaga), mis on kaetud puidust/plastist restide või traatvõrguga. Restpõrandaga ala võtab enda alla kaks kolmandikku põrandapinnast. Ülejäänud kolmandik põrandast on kaetud allapanuga, näiteks liiva, puitlaastude või põhuga, mida linnud kasutavad siblimiseks ja tolmuvannide võtmiseks. Kirjeldatud pidamissüsteemides on loomkoormus kuni üheksa kana ruutmeetri põrandapinna kohta.

101. *Õrrekanalate süsteemid.* Lindla on jagatud erineva funktsiooniga aladeks, mida kasutatakse söötmiseks ja jootmiseks, munemiseks, siblimiseks ja puhkamiseks. Kasutatakse allapanu. Lindla kasulikku pinda on suurendatud sügavallapanuga põranda kombineerimisel mitmetasandiliste restpõrandatega, mis võimaldab loomkoormust tõsta kuni 18 linnuni 1 m<sup>2</sup> põrandapinna kohta. Sarnaselt puurispidamisega kasutatakse sõnniku kogumiseks restpõrandate all paiknevaid transportöörlinte; ventilatsiooniga linnid on võimalik paigaldada ka allapanuga sõnniku kogumiseks, kuivatamiseks ja eemaldamiseks.

102. Mõnes riigis hõlmab termin „vabapidamine“ pidamissüsteeme, kus lindla all paikneb sõnnikuhoidla ja põrand on osaliselt kaetud allapanuga (või sügavallapanuga), samuti õrresüsteeme, mille puhul on lindudele võimaldatud pääs jalutusaladele. Riikides, kus vabapidamisel kanu peetakse monoliit- või osalise restpõrandaga hoonetes, on monoliitpõrand kaetud allapanuga ja kanadel on olemas pääs jalutusaladele. Sõnnik koguneb 14-kuulise munemisperioodi jooksul kas monoliitpõrandale või restidega ala alla sõnnikuhoidlasse.

### 1. kategooria tehnikad

103. Ammoniaagiheidet puurispidamisega lindla sõnnikukeldrist või kanalisüsteemist on võimalik vähendada sõnnikuhoidla ventileerimisega, alandades sellega sõnniku niiskusesisaldust.

104. Sõnniku kogumine transportöörlintidele ja eemaldamine eraldiasuvasse kaetud hoidlasse vähendab samuti NH<sub>3</sub> heitkogust, eriti juhul, kui sõnnikut on sundventilatsiooni abil kuivatatud. NH<sub>3</sub> eraldumise minimeerimiseks tuleks sõnnik kuivatada 60–70% kuivainesisalduseni. Sõnniku, mis kogutakse transportöörlintidelt hoones sees või väljas paiknevatest intensiivse ventilatsiooniga kuivatustunnelitest, kuivainesisaldus võib olla vähem kui 48 tunniga 60–80%. Probleemiks on suurem kokkupuude õhuga, seetõttu ka heite kasv. Võrreldes kahepäevase intervalliga vähendab iganädalane sõnniku eemaldamine transportöörlindilt kaetud hoidlasse heitkogust 50% võrra. Munakanade pidamissüsteemides, kus kasutatakse sõnniku transportöörlinte, sõltuvad heitkogused üldiselt: (a) sõnniku lintidel säilitamise perioodi pikkusest; (b) sõnniku kuivatamise süsteemidest; (c) lindude tõust; (d) ventilatsioonimahust lindi kohal (väike maht = suuremad heitkogused); ja (e) sööda koostisest. Õrrekanalasüsteemides võimaldavad sõnniku sagedaseks kogumiseks ja suletud hoidlatesse eemaldamiseks kasutatavad sõnnikulinnid heite vähendamist enam kui 70% võrra võrreldes sügavallapanul pidamissüsteemidega.

105. Mitmes riigis on edukalt rakendatud heitõhu töötlemist happe- või biofiltritega (skraberitega) (Melse ja Ogink, 2005; Ritz jt, 2006; Patterson ja Adrizal, 2005; Melse, Hofschreuder ja Ogink, 2012). Happeskraberid eemaldavad 70–90%, bioloogilised filtrid kuni 70% ammoniaagist, mõlemad süsteemid leevendavad ka peenosakeste ja lõhnaheite probleemi. Suure tolmu kontsentratsiooni vähendamise eesmärgil on jämedate tolmuosakeste eemaldamiseks välja töötatud mitmeastmelised õhufiltrid, kus esmalt filtreeritakse jämedamad osakesed (Ogink ja Bosma, 2007; Melse, Ogink ja Bosma, 2008). Siiski loevad mõned konventsiooni osalised seda tehnikat vaid 2. kategooria tehnikaks, kuna sellega kaasneb tolmu kogunemise probleem.

106. Heitkoguste vähendamise meetmeid on kokkuvõtlikult kirjeldatud traditsiooniliste puuride (tabel 8), täiustatud puuride (tabel 9) ja puurivabade pidamissüsteemide (tabel 10) kohta.

## 2. kategooria tehnikad

107. Puurivabades süsteemides vähendab alumiiniumsulfaadi (alumiiniumkaaliumsulfaat) regulaarne allapanule lisamine  $\text{NH}_3$  heitkogust kuni 70%, alaneb ka hoonesisene  $\text{NH}_3$  ja peenosakeste ( $\text{PM}_{2.5}$ ) kontsentratsioon, seega toimub tootlikkuse kasv. Samuti vähendab alumiiniumkaaliumsulfaat fosfori leostumise riske sõnniku laotamisel. Ameerika Ühendriikides läbi viidud uuringud näitasid, et alumiiniumkaaliumsulfaadiga töötlemisest saadav kasu on kuludega võrreldes kahekordne. Kuna teiste riikide kogemused nimetatud tehnikaga puuduvad, loetakse see 2. kategooria meetmeks.

Tabel 8

### Munakanade traditsioonilistes puurides pidamine (referentsmeetod): tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv $\text{NH}_3$ heitkoguse vähenemise potentsiaal

1. kategooria	kg $\text{NH}_3$ / aasta/koht	$\text{NH}_3$ vähenemine (%)	Lisakulu (€/koht/aasta)	Kulu (€/kg $\text{NH}_3$ -N vähenemine/aasta)
<b>Traditsioonilised puurid,</b> ventileerimata avatud sõnnikuhoidla puuride all ( <i>referentsmeetod</i> )	0,1–0,2	—	—	—
Traditsioonilised puurid, ventileeritud avatud sõnnikuhoidla puuride all sõnniku kuivatamiseks	—	30	—	0–3
Traditsioonilised puurid, sõnniku kiire eemaldamine suletud sõnnikuhoidlasse transportörlindiga	—	50–80	—	0–5
Heitõhu filtreerimine <sup>a</sup>	—	70–90	—	1–4

*Märkus:* Heite vähendamise meetmete maksumuse teavet vt Reis (avaldamisel).

<sup>a</sup> Happeskraberitega on saavutatav 70–90%, bioloogiliste filtritega kuni 70% heite vähenemine. Mõne eksperdi arvates on tegu 2. kategooria meetmega.



Tabel 9

**Munakanade täiustatud puurides pidamine: tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH<sub>3</sub> heitkoguse vähenemise potentsiaal**

<i>1. kategooria</i>	<i>kg NH<sub>3</sub>/aasta/koht</i>	<i>NH<sub>3</sub> vähenemine (%)</i>	<i>Lisakulut (€/koht/aasta)</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub>-N vähenemine/aasta)</i>
Transportöörliidid, sõnniku eemaldamine kaks korda nädalas (referentsmeetod)	0,05–0,1	—	—	—
Transportöörliidid, lisaventilatsioon, sõnniku eemaldamine kaks korda nädalas <sup>a</sup>	—	30–40	0	0
Transportöörliidid, lisaventilatsioon, sõnniku eemaldamine rohkem kui kaks korda nädalas	—	35–45	—	0–3
Heitõhu filtreerimine <sup>b</sup>	—	70–90	—	2–5

*Märkus:* Heite vähendamise meetmete maksumuse teavet vt Reis (avaldamisel).

<sup>a</sup> Heite vähenemise protsent sõltub ventilatsioonimahust.

<sup>b</sup> Happeskraberitega on saavutatav 70–90%, bioloogiliste filtritega kuni 70% heite vähenemine.

Mõne eksperdi arvates on tegu 2. kategooria meetmega.

Tabel 10

**Munakanade vabapidamise süsteemid: tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH<sub>3</sub> heitkoguse vähenemise potentsiaal**

<i>1. ja 2. kategooria tehnikad</i>	<i>kg NH<sub>3</sub>/aasta/koht</i>	<i>NH<sub>3</sub> vähenemine (%)</i>	<i>Lisakulu (€/koht/aasta)</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub>-N vähenemine/aasta)</i>
Sügavallapanul pidamine või sõnnikukelderiga lindla, respõrandal ja osalisel sügavallapanul pidamine (referentsmeetod)	0,3	—	—	—
Õrrekanala, transportöörliidid, lisaventilatsioonita (kat 1)	—	70–85	—	1–5
Lindlad, transportöörliidid, lisaventilatsioon (sõnniku kuivatamine) (kat 1)	—	80–95	—	1–7
Heitõhu filtreerimine <sup>a</sup>	—	70–90	—	6–9
Allapanul pidamine, osaline respõrand, transportöörliidid (kat 2)	—	75	—	3–5
Allapanul pidamine, sõnniku forsseeritud kuivatamine (kat 2)	—	40–60	—	1–5
Regulaarne alumiiniumsulfaadi lisamine allapanule (kat 2)	—	70	—	?

*Märkus:* Heite vähendamise meetmete maksumuse teavet vt Reis (avaldamisel).

<sup>a</sup> Happeskraberitega on saavutatav 70–90%, bioloogiliste filtritega kuni 70% heite vähenemine.

Mõne eksperdi arvates on tegu 2. kategooria meetmega.

## 2. Broilerite pidamissüsteemid

108. *Referentsmeetod broilerite pidamisel: referentsmeetodiks on heide Euroopas traditsiooniliselt kasutatavast täielikult allapanuga kaetud monoliitpõrandaga lindlast.*

109. Vähendamaks NH<sub>3</sub> heitkogust broilerite pidamissüsteemidest, tuleb allapanu hoida kuivana. Allapanu niiskusesisaldust ja ammoniaagi heitkogust mõjutavad järgmised faktorid:

- (a) jootmissüsteemi tehniline lahendus ja funktsioneerimine (lekked ja veepritsmed allapanu hulka);
- (b) lindude kehamass ja asustustihedus, kasvuperioodi pikkus;
- (c) ventilatsiooni maht, lindlasises õhupuhastussüsteemi kasutamine ja väliskliima tingimused;
- (d) põranda soojusisolatsiooni kasutamine;
- (e) allapanu tüüp ja kogus;
- (f) sööt.

### 1. kategooria tehnikad

110. *Veepritsmete allapanu hulka sattumise vähendamine:* lihtne viis pritsmete vähendamiseks on kaussjooturite asendamine nippeljooturitega.

111. *Õhufiltrite kasutamine* NH<sub>3</sub> heite vähendamiseks on väga tõhus meede, kuid kulukuse tõttu seda laialdaselt ei rakendata. Hollandis ja Saksamaal kasutatavad spetsiifilised kambritega filtrid ja happeskraberid eemaldavad heitõhust 70–90% ammoniaagist. Kuna lindlates on tavaliselt suur tolmucoormus, siis pikemas perspektiivis filtrite efektiivsus väheneb. Seetõttu määratlevad mõned konventsiooni osalised kirjeldatud tehnikat 2. kategooria meetmena. Konstrueeritud on skrabereid, mis eemaldavad heitõhust lisaks ammoniaagile ka lõhnaheite ja peenosakesi (PM<sub>10</sub> ja PM<sub>2,5</sub>) (Zhao jt, 2011; Ritz jt, 2006; Patterson ja Adrizal, 2005).

### 2. kategooria tehnikad

112. *Sõnniku sundkuivatamine:* ammoniaagi heitkogust on võimalik efektiivselt vähendada sõnniku sundkuivatamise abil. Kuid hetkel kasutatavad lahendused tarbivad palju energiat ja võivad suurendada tolmuheidet. Siiski veidi võib säästa küttekuludelt, kuna soojuse jaotumine lindlas on parem.

113. *Combideck-süsteem:* süsteem koosneb betoonpõrandas asuvatest soojusvahetitest. Nuumaperioodi alguses köetakse põrandat allapanu kuivatamise eesmärgil. Nuumaperioodi hilisemas faasis aga jahutatakse põrandat mikrobiaalse aktiivsuse vähendamise eesmärgil, mis omakorda vähendab kusihahe lagunemist. Kuna kirjeldatud tehnika tõhusus sõltub kohalikest tingimustest, loetakse seda 2. kategooria meetmeks.

114. Spetsiifiliste lisandite (alumiiniumsulfaat, mikroobikultuurid) kasutamine võib vähendada NH<sub>3</sub> heitkogust, suurendada sõnniku kuivainesisaldust ja vähendada lindude suremust (Aubert jt, 2011), kuid tulemused on kas vastuolulised (McCrary ja Hobbs, 2001) või on neid testitud ainult ühes riigis (alumiiniumsulfaat).

Tabel 11

**Broilerite pidamissüsteemid: tehnikad ja vastava tehnikaga seonduv NH<sub>3</sub> heitkoguse vähenemise potentsiaal**

<i>1. ja 2. kategooria tehnikad</i>	<i>kg NH<sub>3</sub>/aasta/koht</i>	<i>NH<sub>3</sub> vähenemine (%)</i>	<i>Lisakulu (€/koht/aasta)</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub>-N vähenemine/aasta)</i>
Sügavallapanu; sundventilatsioon (referentsmeetod)	0,080	—	—	—
Loomuliku ventilatsiooniga lindla või soojustatud ja sundventilatsiooniga lindla, kus on täielikult allapanuga kaetud põrand ning lekkevaba jootmissüsteem (kat 1)	—	20–30	—	—
Allapanul pidamine, sõnniku siseõhuga sundkuivatamine (kat 1)	—	40–60	—	2–4
Heitõhu filtreerimine (kat 1) <sup>a</sup>	—	70–90	—	10–15
Mitmel tasapinnal pidamine, sõnniku sundkuivatamine (kat 2)	—	90	—	?
Mitmel tasapinnal pidamine, eemaldatavad (lisatavad) tasapinnad, sõnniku sundkuivatamine (kat 2)	—	90	—	?
<i>Combideck-süsteem</i> (kat 2)	—	40	—	6

*Märkus:* Andmeid madala heitkoguse tasemega pidamissüsteemide majanduskulude kohta on napilt, osaliselt ka seetõttu, et praktikas kasutatakse selliseid süsteeme veel suhteliselt vähe. Heite vähendamise meetmete maksumuse teavet vt Reis (avaldamisel).

<sup>a</sup> Happeskraberitega on saavutatav 70–90%, bioloogiliste filtritega kuni 70% heite vähenemine. Mõne eksperdi arvates on tegu 2. kategooria meetmega.

### 3. Kalkunite ja partide pidamissüsteemid

115. *Referentsmeetod kalkunite pidamisel:* Euroopas on kalkunibroilerite pidamisel referentsmeetodiks traditsiooniline, allapanuga kaetud monoliitpõrandaga lindla. Lindla on kas sundventilatsiooniga soojustatud suletud ja termiliselt isoleeritud hoone või loomuliku ventilatsiooni ning avatud külgedega hoone. Sõnnik eemaldatakse iga nuumaperioodi lõpus. Allapanuga kaetud põranda korral on ammoniaagiheide 0,680 kg NH<sub>3</sub>-N linnukoha kohta aastas. Kalkunikasvatus on enamikus ECE piirkonna riikides väike NH<sub>3</sub> allikas.

116. *Referentsmeetod partide pidamisel:* partide pidamise referentsmeetod on sarnane kanabroilerite referentsmeetodiga, milleks on traditsiooniline allapanuga kaetud monoliitpõrandaga lindla. Tavapäraselt peetakse lihaparte vedelsõnnikutehnoloogiaga ning foie gras' parte tahesõnnikutehnoloogiaga lindlates. Pidamissüsteemid, mida pardibroilerite kasvatuses veel kasutatakse, on osaliselt rest- ja osaliselt allapanuga kaetud põrandal ning täisrestpõrandal pidamine. Sarnaselt kalkunitega ei ole ka pardikasvatus ECE piirkonna riikides märkimisväärne NH<sub>3</sub> allikas.

117. Kanabroilerite kasvatuses kasutatavad ammoniaagiheite vähendamise meetmed rakenduvad ka kalkunite ja partide pidamisel. Kui välja arvata skraberid, on ülalkirjeldatud meetmete tõhusus siiski kanabroileritega võrreldes väiksem, kuna sõnniku kogused on suuremad ja allapanu kuivainesisaldus kõrgem. Hollandis arvestatakse meetmete tõhususeks pool sellest, mis on saavutatav kanabroilerite pidamissüsteemide korral. Kui partidele on

tagatud ujumise võimalus (arvestades veelindude heaolu), võib meetmete tõhusus olla veelgi väiksem. Seetõttu loetakse selliseid tehnikaid 2. kategooria meetmeteks.

## VI. Sõnniku ladustamise tehnikad

118. *Referentsmeetod:* heite vähendamise meetmete tõhususe hindamise aluseks on heitkogus sama tüüpi igasuguse katteta hoidlast. Tuginedes Lääne-Euroopa riikide andmetele, on baasheitkogused hinnanguliselt 1,4 ja 2,7 kg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup> aastas, seejuures kujuneb heide väiksemaks siis, kui ladustatud sõnnik on mitu kuud külmunud, ja suuremaks soojema kliimaga riikides. Kuna baasheitkoguste andmed on piiratud ja baasheitkogused sõltuvad otseselt kliimast, siis on liikmesriikidel soovitatav määrata oma tingimustele vastavad lähtealused. Tabelis 12 on esitatud kokkuvõtte vedelsõnnikuhoidlates kasutatavatest ammoniaagiheite vähendamise meetmetest ja nende tõhususest.

119. Loomapidamishoone eemaldamise järgselt ladustatakse vedelsõnnik enamasti kas betoonist või terasest hoidlas (tankis) või muldvalliga ümbritsetud laguunis. Laguunide pindala on mahuühiku kohta enamasti suurem kui betoonist/terasest hoidlatel (tankidel). Suurtes laguunides on täheldatud intensiivset loomulikku keemilist denitrifikatsiooni, mis on osaliselt tingitud tuule mõjust. Vedelsõnnikuhoidlatest tekkiva heite alandamiseks tuleb vähendada õhuvoolu sõnnikukihi kohal, kasutades selleks monoliitseid või ujuvkatteid. Heitkogust vähendab ka vedelsõnniku pinnale tekkiv loomulik koorik ning hoidla sügavuse suurendamine (hoidla pindala ja mahu suhte vähendamine). Pindala vähendamine tuleb arvesse ainult uute rajatiste puhul. Lisaeelised: monoliitsete katete ja katustega välditakse sademevee sattumist hoidlasse. Seetõttu on hoidla kasulik maht suurem ning väiksema lisanduva veekoguse tõttu transpordikulu madalam. Katted vähendavad lõhnaühendite hajumist, enamik neist aitab vähendada ka kasvuhoonegaaside heidet, kuigi mõnel tingimusel võib näiteks hekselpõhust ujuvkate N<sub>2</sub>O heidet suurendada. Hoidla pindala ja mahu suhte vähendamisega kaasnevad sarnased eelised, mis katete puhul.

120. Kuiva linnusõnniku (nt kanabroilerite) pikaajalises ladustamisel tuleks sõnniku kuivuse ja minimaalse NH<sub>3</sub> kao tagamiseks kasutada lekkekindla põranda ja piisava ventilatsiooniga hoonet (varjualust).

121. Tähelepanu tuleb pöörata võimalikele NH<sub>3</sub> kadudele laotamisel. Juhul kui vastavaid meetmeid ei rakendata, siis vedel- või tahesõnnikuhoidlate katmisega saavutatud säästetud lämmastik võib siiski ammoniaagina lenduda.

### 1. kategooria tehnikad

122. *Tihe kaas, katus või telkstruktuur:* betoonist/terasest hoidlates (tankides) ladustatud vedelsõnnikust tekkiva heite vähendamisel on parimaid tõestatud tulemusi saadud tiheda kaane, katuse või telkkonstruktsiooni rajamise korral. Kuigi õhuvahetuse minimeerimiseks tuleb selline kate paigaldada tihedalt, peab tagama ka mõningase ventilatsiooni, vältimaks tuleohtlike gaaside, eriti metaani, kontsentratsiooni suurenemist. Vastavate konstruktsioonide olemasolevatele hoidlatele paigaldamine sõltub hoidla konstruktsioonilisest terviklikkusest ja sellest, kas neid on võimalik lisakoormuse talumiseks modifitseerida.

123. *Ujuvkate:* ujuvkate võib olla rajatud teatavat tüüpi plastist, presendist, geotekstiilist või mõnest muust sobivast materjalist. Seda loetakse 1. kategooria tehnikaks ainult väikeste muldvalliga laguuntüüpi hoidlate puhul. Ujuvkatteid on keeruline paigaldada kõrgete

seintega hoidlatele (tankidele), kuna nende täitmise ja tühjendamise käigus peab kate vertikaalsuunas märkimisväärselt liikuma.

124. *Hoiukotid* sobivad vedelsõnnikust pärit heite vähendamiseks väikefarmides (nt < 150 nuumikut). Meetme maksumuse hulka on arvestatud nii hoidla konstruktsioon kui ka kate.

125. *Loomuliku kooriku teke*: hoidlasse ladustatud veiste vedelsõnniku ja mõnel juhul sigade vedelsõnniku (sõltub söödaratsioonist ja vedelsõnniku kuivainesisaldusest) segamise minimeerimine ning hoidla täitmine kihi alla võimaldab loomuliku kooriku tekkimist. Kui koorik on piisavalt paks ja katab täielikult vedelsõnniku pinda, väheneb NH<sub>3</sub> heitkogus olulisel määral minimaalsete kulutustega või ka täiesti kuluvabalt. Heitkoguse vähenemise efektiivsus sõltub kooriku omadustest ja sellest, kui kaua see vedelsõnnikut katab (Misselbrook jt, 2005; Smith jt, 2007). Heite vähendamine loomuliku koorikuga on variandiks ettevõtetele, kus sõnnikut sagedase laotamise eesmärgil tihti ei segata, samuti peab tekkima selline vedelsõnnik, millele koorik moodustub.

126. Kergkruusa graanuleid ja Hexa-katteid saab lihtsasti rakendada koorikut mitter moodustava seasõnniku või anaeroobsel kääritamisel tekkiva digestaadi ladustamisel. Ülevaateartiklis, milles käsitleti heite vähendamise meetodeid (van der Zaag jt, 2012), soovitati kirjeldatud katmiste viisi arvestada 1. kategooria meetmena, kuna nende korral ei esine mitmeid teiste ujuvakatte variantidega kaasnevaid probleeme, näiteks sademevee kogunemist ja katematerjali rebenemist. Lisaks on selliseid katteid lihtne rajada.

127. *Laguuntüüpi hoidlate asendamine betoon-/terasmahutite või tankidega*: kui madalad muldvalliga ümbritsetud laguunid asendada sügavamate betoon-/terasmahutite või tankidega, siis heitkogus alaneb proportsionaalselt, kuna hoidla pindala mahuühiku kohta väheneb. See on tõhus (kuigi kallis) NH<sub>3</sub> heite vähendamise võimalus, iseäranis siis, kui hoidla on kaetud kaane, katuse või telkstruktuuriga (1. kategooria meede). Meetme kulutõhusust on raske hinnata, kuna see sõltub otseselt laguuni omadustest ja uuele hoidlale esitatavatest nõuetest. Samuti on keeruline sõnniku segamine kõrge seinaga rajatistes.

Tabel 12

**Ammoniaagiheite vähendamise meetmed veiste ja sigade vedelsõnnikuhoidlate korral**

<i>Vähendamismeede</i>	<i>NH<sub>3</sub> heite vähenemine (%)</i>	<i>Rakendatavus</i>	<i>Kulud (OPEX) (€/m<sup>3</sup>/aasta)<sup>a</sup></i>	<i>Lisakulu (€/kg vähenenud NH<sub>3</sub>-N)<sup>a</sup></i>
Katte või koorikuta hoidla (referentsmeetod)	0		—	—
Tihe kaas, katus või telkkonstruksioon (kat 1)	80	Betoonist või terasest hoidlad/tankid Sageli ei sobi olemasolevatele hoidlatele.	2–4	1,0–2,5
Plastkate <sup>b</sup> (ujukate, kat 1)	60	Väikesed muldvalliga laguunid.	1,5–3	0,6–1,3
Loomulik koorik, segamise vähendamine, kihi alla sisestamine (ujukate, kat 1)	40	Ainult kõrgema kiusisaldusega vedelsõnnik. Ei sobi farmidele, kus sõnnikut sagedasti segatakse ja laotatakse. Seasõnnikule on kooriku teke häiritud külmema kliimaga piirkondades.	0	0
Laguuni asendamine kattega hoidla või kõrge seinaga avatud hoidlaga (sügavus > 3m, kat 1)	30–60	Ainult uued rajatised, peab olema vastavuses kõrgemate rajatiste planeerimispiirangutega.	15 (ca 50% hoidla maksumusest)	—
Hoiukott (kat 1)	100	Koti suurus võib piirata kasutamist suuremates loomakasvatustevõtetes.	2,50 (sh ladustamise hind)	—
Kergkruusa graanulid, Hexa-katted (kat 1)	60	Ei sobi koorikut moodustava sõnniku puhul.	1–4	1–5
Plastkate <sup>b</sup> (ujukate, kat 2)	60	Suured muldvalliga laguunid, betoonist või terasest hoidlad. Tehnika kasutamist võivad piirata eksploatatsiooni keerukus jms tegurid.	1,50–3	0,5–1,3
Ujukatted hekselpõhust, turbast, puukoorest jne (kat 2)	40	Betoonist või terasest hoidlad/tankid. Tõenäoliselt pole otstarbekas suurte laguunide puhul, ja ei sobi juhul, kui katematerjal tekitab vedelsõnniku käitlemisel probleeme.	1,50–2,50	0,3–0,9

*Märkus:* Heite vähendamise meetmete maksumuse teavet vt Reis (avaldamisel).

<sup>a</sup> Arvutused baseeruvad sigade vedelsõnniku ladustamisel 500 kuni 5000 m<sup>3</sup> mahuga hoidlates Kesk-Euroopa parasvöötme kliimaatilistes tingimustes. Referentsmeetodiks on koorikuta vedelsõnnik.

<sup>b</sup> Kate võib olla teatavat tüüpi plastist, presendist või muust sobivast materjalist.

## 2. kategooria tehnikad

128. *Ujuvkatted (välja arvatud väikesed laguuntüüpi hoidlad):* lai valik vett läbilaskvatest või veekindlatest materjalidest ujuvkatteid piirab kontakti vedelsõnniku pinnakihi ja õhu vahel, mille tulemusena  $\text{NH}_3$  heitkogused vähenevad. Suures osas on selliste katete tõhusus ja otstarbekus siiski endiselt ebaselge. Erandiks on plastkatted, mida on põhjalikult testitud väikeste muldvalliga laguunide puhul. Ujuvkatte efektiivsus sõltub ekspluatatsioonist ja muudest teguritest. Näiteks võib tuua plastkatted, hekselpõhu ja turba. Hermeetiliste ujuvkatete puhul on vajalik ventilatsioon ning tuleb leida meetod katte peale koguneva sademevee eemaldamiseks. Vett läbilaskvad ujuvkatted tuleb hoolikalt kinnitada, et kaitsta neid tuule eest. Mõlemat tüüpi katetele peab olema tagatud vertikaalse liikumise võimalus hoidla täitmise ja tühjendamise ajal. Ujuvkatete vastupidavust ei ole põhjalikult testitud. Ujuvkatted võivad takistada vedelsõnniku homogeniseerimist enne selle laotamist või mõjuda takistavalt laotamise protsessile. Nimetatud aspektidele tuleb tähelepanu pöörata ja tehnoloogilised protsessid vastavalt optimeerida.

129. *Tahesõnniku katmine:* võimalusi vähendada  $\text{NH}_3$  heitkogust ladustatud tahesõnnikust on suhteliselt vähe. Katsed on näidanud, et tahesõnnikukihi katmine plastkatetega vähendab  $\text{NH}_3$  heitkogust suurel määral, samuti ei suurene oluliselt metaani või dilämmastikoksiidi heide (Chadwick, 2005; Hansen, Henriksen ja Sommer, 2006). Hetkel loetakse seda 2. kategooria meetmeks, kuna heite vähendamise tõhususe ja otstarbekuse kohta on vaja teostada rohkem üldisi katseid.

## VII. Sõnniku laotamise tehnikad

130. *Referentsmeetod.* Referentsmeetodiks on töötlemata vedel- või tahesõnniku muldaviimiseta paisklaotamine. Samuti ei ole laotamine ammoniaagiheite vähendamise kontekstis optimaalselt ajastatud. Vedelsõnniku laotamisel kasutatakse laotamiseks näiteks väljalaskeotsaku ja pritsmeplaadiga varustatud tsisternautot. Tahesõnniku laotamisel jääks referentsmeetodi puhul sõnnik mullapinnale.

131.  $\text{NH}_3$  heitkogus referentsmeetodi kasutamisel on väljendatud protsendina laotatud TAN kogusest. Enamasti jääb see 40–60% vahemikku (küllaltki tavalised on ka seda vahemikku ületavad heitkogused). Heitkogused sõltuvad vedel- või tahesõnniku keemilisest koostisest ning valitsevatest ilma- ja mullastiku tingimustest.  $\text{NH}_3$  heitkogust, väljendatuna protsendina TAN väärtusest, saab enamasti vähendada, võttes arvesse momendi ilmastiku mõju (õhutemperatuur, tuulekiirus, päikesekiirus) ja alandades vedelsõnniku kuivainesisaldust.  $\text{NH}_3$  heitkogus, väljendatuna protsendina TAN väärtusest, väheneb enamasti ka juhul, kui TAN kontsentratsiooni ja laotamise kiirust suurendatakse. Heide on sõnniku tüüpide lõikes samuti erinev. Heitkogus sõltub mulla omadustest, mis mõjutab infiltratsiooni kiirust. Näiteks drenitud ja jämedateralise tekstuuriga kuivad mullad, mis võimaldavad kiiret infiltratsiooni, tekitavad vähem heidet kui märjad ja kompaktsed mullad, mille infiltratsiooni kiirus on madalam (Søgaard jt, 2002). Ent väga suure kuivuse korral võivad mõned mullad muutuda hüdrofoobseks, mis võib omakorda vähendada infiltratsiooni ja suurendada seeläbi heitkoguseid.

132. *Heitkoguse vähendamise tõhususe määratlemine.* Heitkogus sõltub vedel- või tahesõnniku koostisest ning valitsevatest ilma- ja mullastiku tingimustest. Ka heite vähendamise tõhusus võrreldes referentsmeetodiga sõltub ülalmainitud teguritest. Seetõttu on tabelis 14 toodud keskmised väärtused, mis on saadud paljude uuringute põhjal mitmetes riikides ja väga erinevates tingimustes. Referentsmeetodi  $\text{NH}_3$  heitkoguse absoluutväärtused

varieeruvad ajaliselt ja piirkondlikult tulenevalt keskkonnatingimuste erinevustest. Kuigi nimetatud tegurid mõjutavad NH<sub>3</sub> heitkoguse absoluutväärtust ka väikese heitega tehnoloogiliste lahenduste korral, on heitkoguste suhtelised väärtused võrreldavad. Seetõttu on vastavate tehnoloogiliste lahenduste efektiivsustegurid väljendatud vähenemise protsendina referentsmeetodi suhtes.

133. 1. kategooria meetmete hulka kuuluvad tehnoloogilised lahendused, mis vähendavad märkimisväärselt pindala, millele vedelsõnnik laotatakse või mis soodustavad vedel- või tahesõnniku mulda viimist sisestuslaotamise jms tehnikate abil. Vastavate tehnoloogiliste lahenduste maksumus on vahemikus 0,1–5 € kg säästetud NH<sub>3</sub>-N kohta. Madalaimad on kulud vedel- ja tahesõnniku kohesel muldaviimisel, kus see on otstarbekas (nt kultuurideta põllumaal). Kulude hinnangulised väärtused sõltuvad suurel määral ettevõtte suuruselt. Oluliselt paremast mastaabisäästust saab rääkida suuremate ettevõtete puhul, kus madalate heitkoguste tagamiseks kasutatavaid seadmeid jagatakse mitme ettevõtte vahel või kasutatakse professionaalseid alltöövõtjaid. 1. kategooriasse kuuluvad järgmised meetmed:

- (a) vedelsõnniku ribalaotamine pinnasele lohisvoolik- või lohiskinglaoturiga;
- (b) vedelsõnniku sisestuslaotamine — avatud lõhe;
- (c) vedelsõnniku sisestuslaotamine — suletud lõhe;
- (d) tahe- ja vedelsõnniku muldaviimine;
- (e) vedelsõnniku lahjendamine vähemalt 50% võrra, kui seda kasutatakse madala surveastmega niisutussüsteemides.

134. 1. kategooria meetmetega saavutatav keskmine NH<sub>3</sub> heite vähenemise efektiivsus ja vastava tehnoloogiaga seotud kulud võrreldes referentsmeetodiga on esitatud tabelites 13 (vedelsõnnik) ja 14 (tahesõnnik).



Tabel 13

**Heitkoguste vähendamise 1. kategooria tehnikad vedelsõnniku<sup>8</sup> laotamisel**

<i>Vähendamismeetod</i>	<i>Kõlviku tüüp</i>	<i>Heitkoguse vähenemine (%)<sup>a</sup></i>	<i>Heitkoguse vähenemist mõjutavad tegurid</i>	<i>Rakendatavus võrreldes referentsmeetodiga</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub> vähenemine/aasta)</i>
(a) (i) Vedelsõnniku riba-laotamine lohisvoolik-laoturiga	Põllumaa/rohuma	30–35	Lehestikurikkam taimik suurendab heite vähenemist. See sõltub laotamise täpsusest ja taimede saastumise ulatusest.	Vähem sobilik kaldega (> 15%) kõlvikutele. Sobilik hajuskülvi tehnoloogiaga põllukultuuride puhul ning tehnoradadega suurteil põllumassiividel.	-0,5–1,5 (kulud võivad olla väiksemad, kui seadmed on kohapeal välja töötatud ja valmistatud)
(a) (ii) Riba-laotamine lohisking-laoturiga	Põllumaa/rohuma (külvi-eelne) ja reas-külvatud taimik	30–60	Lehestikurikkam taimik suurendab heite vähenemist. See sõltub laotamise täpsusest ja taimede saastumise ulatusest.	Ei ole sobilik hajuskülvide puhul. Sobilik reaskülvi tehnoloogiaga põllukultuuride ja lehekodarike faasis taimiku korral.	-0,5–1,5
(b) Vedelsõnniku sisestus-laotamine (avatud lõhe)	Rohuma	70	Sisestamise sügavus ≤ 5 cm	Ei ole sobilik kaldega > 15%, kiviste, õhukese mullakihiga ja savirikaste (> 35%) muldade puhul, samuti väga kuivades tingimustes ja turvasmuldadel (org aine sisaldus > 25%). Dreenitud kõlvikutel võib suurenda leostumise risk.	-0,5–1,5
(c) Vedelsõnniku sisestus-laotamine (suletud lõhe)	Põllumaa/rohuma	80 (madal sisestus 5–10 cm) 90 (sügav sisestus > 15 cm)	Lõhe tõhus sulgemine	Ei ole sobilik kaldega > 15%, kiviste, õhukese mullakihiga ja savirikaste (> 35%) muldade puhul, samuti väga kuivades tingimustes ja turvasmuldadel (org aine sisaldus > 25%). Dreenitud kõlvikutel võib suurenda leostumise risk.	-0,5–1,2
(d) Vedelsõnniku mulda-viimine	Põllumaa	Koheselt, sissekünd = 90			-0,5–1,0

<sup>8</sup> Vedelsõnnik on määratletud kui voolav sõnnik, enamasti kuivainesisaldusega alla 12%. Kõrgema kuivainesisalduse või suurtes kogustes kiudaine jääke sisaldava materjali puhul võib olla vajalik eltöötlus (nt peenestamine või vee lisamine), vastasel juhul tuleks seda käidelda tahesõnnikule vastavalt (tabel 15). Kulude kalkulasioonides on lähtutud seadmete keskmisest või intensiivsest kasutuskoormusest. Kui vastavaid seadmeid kasutatakse vähe, võivad kulud säästetud lämmastikuühiku kohta olla kõrgemad.

<i>Vähendamismeetod</i>	<i>Kõlviku tüüp</i>	<i>Heitkoguse vähenemine (%)<sup>a</sup></i>	<i>Heitkoguse vähenemist mõjutavad tegurid</i>	<i>Rakendatavus võrreldes referentsmeetodiga</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub> vähenemine/aasta)</i>	
			Koheselt, kultiveerimine (nt ketas-äkkega) = 70		-0,5–1,0	
			Muldaviimine 4 tunni jooksul = 45–65	Efektiivsus sõltub laotamise meetodist ja ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviimiseni.	Efektiivsus sõltub laotamise meetodist ja ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviimiseni.	-0,5–1,0
			Muldaviimine 24 tunni jooksul = 30	Efektiivsus sõltub laotamise meetodist ja ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviimiseni.	Efektiivsus sõltub laotamise meetodist ja ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviimiseni.	0–2,0
(e) Vedelsõnniku lahjendamine, laotamine niisutussüsteemidega, lahjendamine > 4% k.a sisalduselt < 2% k.a sisalduseni	Põllumaa/Rohumaa	30	Heitkoguse vähenemise määr on koosõlas lahjendamise astmega. Kuivainesisalduse alandamine 50% võrra tagab heite vähenemise 30%.	Rakendatav ainult madala surveastmega niisutussüsteemides. Ei ole kohaldatav piirkondades, kus niisutussüsteeme ei kasutata.	-0,5–1,0	

*Märkus:* Loetletud heitkoguse vähendamise meetmed refereerivad 1. kategooria tehnikaid, mis on välja toodud lõigus 133.

<sup>a</sup> Keskmine heitkoguste vähenemise tase, mis on kokkuleppeliselt ECE piirkonna riikides saavutatav. Suur varieeruvus viitab tehnoloogiliste lahenduste, juhtimise, ilmatingimuste jms erinevustele.

Tabel 14

**Heitkoguste vähendamise 1. kategooria tehnikad tahesõnniku<sup>9</sup> laotamisel**

<i>Vähendamismeetod</i>	<i>Kõlviku tüüp</i>	<i>Heitkoguse vähenemine (%)<sup>a</sup></i>	<i>Heitkoguse vähenemist mõjutavad tegurid</i>	<i>Rakendatavus võrreldes referentsmeetodiga</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub> vähenemine/aasta)</i>	
Muldaviiimine	Põllumaa	Koheselt, sissekünd = 90	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus	—	-0,5–1,0	
		Koheselt, kultiveerimine = 60	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus	—	0–1,5	
		Muldaviiimine 4 tunni jooksul = 45–65	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	0–1,5
		Muldaviiimine 12 tunni jooksul = 50	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	0,5–2,0
		Muldaviiimine 24 tunni jooksul = 30	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	Sõnniku muldaviiimise ulatus ja sügavus. Efektiivsus sõltub laotamise ajast (ööpäeva lõikes) ning ilmastikutingimustest perioodil laotamisest muldaviiimiseni.	0,5–2,0

<sup>a</sup> Heitkoguse vähenemise määr on ECE piirkonna riikides kokku lepitud kui tõenäoliselt saavutatav.

135. Meetmete (a)–(c) efektiivsus on saavutatav selliste mullatüüpide ja -omaduste korral, mis võimaldavad vedeliku infiltratsiooni, samuti kõlvikutel, kus tehnikale on tagatud rahuldavad liikumistingimused.

136. Tabelites 13 ja 14 on kokkuvõtlikult esitatud piirangud, mida tuleb konkreetse meetme kasutuselevõtu kaalumisel arvesse võtta. Need tegurid on mulla tüüp ja omadused (mulla sügavus, kivisus, niiskuse sisaldus, tehnika liikumise võimalused); pinnamood (kalle, põllu suurus, pinnase ühtlikkus) ning sõnniku tüüp ja koostis (vedel- või tahesõnnik). Mõned tehnoloogilised lahendused on laialdasemalt rakendatavad kui teised. Lisakulutused kujunevad minimaalseks ja heite vähenemine maksimaalseks, kui planeeritud kündmine või kultiveerimine teostatakse vahetult pärast vedel- või tahesõnniku laotamist.

<sup>9</sup> Tahesõnnik on määratletud kui mittevoolav sõnnik, tavaliselt kuivainesisaldusega üle 12%.

137. Meetmed (a)–(c) lähtuvad seisukohast, et konkreetsete ilmatingimustega kokkupuutuva vedelsõnniku pindala väheneb vähemalt 75% ja vedelsõnnik laotatakse ribadena, mis paiknevad üksteisest ca 250 (+/- 100) mm kaugusel. Vedelsõnniku doseerimine toimub mitme suhteliselt väikese läbimõõduga toru kaudu (enamasti diameetriga 40–50 mm). Sellistes seadmetes on enamasti olemas süsteemid filtreerimiseks, peenestamiseks ja homogeniseerimiseks, mis vähendavad ummistuste tekke võimalust juhul, kui sõnnik on väga viskoosne, sisaldab suures koguses kiudmaterjali või võõrobjekte, näiteks kive. Tavaliselt paigaldatakse ribalaotamise ja sisestamise süsteemid laoturite tagaossa. Sageli kasutatakse vedelsõnnikulaoturite vedamiseks traktorit, kuid need võivad olla ka iseliikuvad seadmed. Alternatiivse lahendusena võib laotussüsteemi paigaldada otse traktori tagaossa. Vedelsõnnik transporditakse sinna voolikuga, mis on ühenduses statsionaarse mahuti või hoidlaga. Sellised süsteemid võivad vähendada mulla tihenemisest tulenevaid kahjustusi, mida põhjustavad rasked suurte tsisternidega varustatud laoturid.

138. **Vedelsõnniku ribalaotamine vahetult mulla pinnale või pinna kohale.** Vedelsõnniku ribalaotamist vahetult mulla pinnale või pinna kohale teostatakse seadmetega, mida enamasti nimetatakse kas lohisvoolik- või lohiskinglaoturiteks. Lohisking- ja lohisvooliksüsteemid on eristatavad vedelsõnnikut jaotava torustiku väljalaskeavade juures kinga või jalga meenutava seadme olemasolu (lohisking) või selle puudumise (lohisvoolik) järgi. Lohisking või -voolik libiseb maapinnal või selle kohal, tungides pinnasesse minimaalselt või üldse mitte. Vooliku/kinga eesmärk on taimede või põllukultuuride jäänuste eemale suunamine nii, et vedelsõnnikut saaks otse mulla pinnale laotada. Lohiskinglaotamine on üldiselt tõhusam (J. Webb jt, 2010), kuna vedelsõnnik laotatakse kitsamates ribades, sellel on suurem kokkupuude mullaga ja väiksem kontakt elusa või kuivanud taimse materjaliga. Lohisking lükkab taimse materjali paremini kõrvale kui voolik, seda isegi juhul, kui voolik on maapinnale väga lähedal. Lohiskinglaotuse eelised lohisvooliklaotuse ees on suurimad kõrgema lehestikuga taimiku puhul, kuna lehestiku saastumine sõnnikuga on väiksem. Mõlemad tehnoloogilised lahendused on kasutatavad erinevates põllumajandussüsteemides. Lohisvooliklaotusega kaasneb vähem piiranguid, kuna tehnoloogiat on võimalik kasutada kasvavate põllukultuuride puhul ilma taimikule olulist kahju tekitamata, samuti on need kasutatavad hajuskülvide puhul. Mõlema tehnoloogiaga laotatakse sõnnikut ühtlasemalt ning võrreldes referentsmeetodiga on tuule mõju heite tekkele väiksem. Kirjeldatud seadmete kasutamisel suureneb laotamisperioodi pikkus, samuti on võimalik sõnniku täpne laotamine kuni põlluäärteni, kuna külgnevate alade saastumise risk on madal.

139. **Lohisvooliklaotus.** Vedelsõnnik pihustatakse kas otse mulla pinnale või veidi kõrgemale pinnase kohale. Selleks kasutatakse mitut rippuvat (pinnasest kõrgemal, < 150 mm) või lohisevat toru/paindlikku voolikut. Seadme töölaius on enamasti 6–12 meetrit, kuigi saadaval on kuni 24 m töölaieuga seadmeid. Maksimaalne võimalik töölaius (seadme transpordil on vajalik laotusagregaadi, kas manuaalne või mehaaniline transpordiasendisse viimine) on oluliselt suurem võrreldes referentsmeetodiks oleva paisklaotustehnoloogiaga (6–9 m). Selles peitub ka lohisvooliku meetodi selge eelis. Laotusribade vaheline distants (keskmest keskmesse) on enamasti 250–350 mm. Tehnoloogia on rakendatav rohu- ja põllumaadadel ning hajuskülvide puhul. Torustik võib ummistuda vedelsõnniku kõrgema kuivainesisalduse (> 7–10%) või suurte tahkete osiste olemasolu korral. Torustiku ummistusi saab vältida kasutades spetsiifilist peenestamis- ja jaotussüsteemi. Selline süsteem parandab ka laotamise ühtlikkust (paraneb toitainete kasutamine), kuid mõjutab märkimisväärselt maksumust ja tehnilise hoolduse vajadust. Sageli on peenestamis- ja jaotusseadmeid võimalik välja töötada ja ehitada kohapeal, mis vähendab kulusid oluliselt.

140. **Lohiskinglaotus.** Tehnoloogiat saab rakendada peamiselt rohu-, kuid ka põllumaal varajases kasvufaasis taimiku või laiade külviridade korral. Masina töölaius on enamasti 6–8 m, mis on sarnaselt referentsmeetodile ebapiisav suurte põllumassiivide puhul, kus tavaliselt kasutatakse 12- või 24-meetrist tehnoradade süsteemi. Tehnoloogiat ei ole otstarbekas kasutada hajuskülviga kõlvikutel, kus lohisking võib taimikut liigselt vigastada. Taimik lükatakse lohiskinga või -jala abil mullapinna kohal laiali ja vedelsõnnik laotatakse kitsaste ribadena pinnasele. Distantis ribad vahel on enamasti 200–300 mm. Ammoniaagi heitkogus väheneb, kui vedelsõnniku ribad on taimiku lehestikuga osaliselt varjatud. Tehnoloogia kasutamine on piiratud kivise kõlvikupinna korral. Kui kõlvikul esineb palju põllukultuuride jäänuseid, näiteks kündmata põllul, kogunevad need laotusagregaadile ja takistavad normaalset seadme funktsioneerimist.

141. Lohisking- või lohisvoolikmasinate  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamise efekt on suurem, kui vedelsõnnik laotatakse juba hästi arenenud taimikule lehestiku alla, mitte taimkatteta pinnasele. Lehestik takistab tuule tekitatud turbulentsi ning varjab vedelsõnnikut päikesekiirguse eest. On leitud, et  $\text{NH}_3$  heitkogus väheneb lohiskinglaotuse puhul rohkem võrreldes lohisvoolikisüsteemiga. Tõenäoliselt põhjuseks on lehestiku suurem saastumine, mis tuleneb lohisvoolikseadmete konkreetsetest tüüpidest ja kasutamise meetoditest. Lehestiku vedelsõnnikuga saastumist tuleb vältida mõlema tehnoloogia puhul. See on oluline ka taimiku kvaliteedi seisukohalt.

142. **Sisestuslaotamine — avatud lõhe.** Tehnoloogiat kasutatakse enamasti rohumaal või minimaalselt haritud põllumaal enne külvamist. Seade on varustatud erineva kujuga nugade või ketasteradega. Mulda lõigatakse kuni 50 mm sügavused vertikaalsed lõhed, kuhu suunatakse vedelsõnnik. Lõhede vaheline distantis on enamasti 200–400 mm ja masina töölaius  $\leq 6$  m. Tehnoloogia efektiivsuse tagamiseks nii  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamisel, põllukultuuride lämmastiku kättesaadavuse suurendamisel kui ka taimiku vigastamise vähendamisel peab sisestuslaotamise sügavus olema ligikaudu 50 mm ning laoturi piide vaheline kaugus  $\leq 300$  mm. Lisaks tuleb laotamise kiirust reguleerida nii, et liigsed vedelsõnniku kogused ei voolaks avatud lõhedest pinnasele. Tehnoloogia ei ole sobiv kivise, väga õhukese või kompaktse (savise) mullastiku puhul, kus ei ole võimalik saavutada ühtlast nõutavale sügavusele sisestamist. Samuti on meetodi rakendamine komplitseeritud suure kaldega kõlvikutel, kuna suureneb vedelsõnniku äravoolu risk lõhedest. Sisestuslaoturite käitamiseks, võrreldes paisk- ja ribalaoturitega, on vajalik suurema võimsusega traktor.

143. **Sisestamine — suletud lõhe.** Tehnoloogia võimaldab vedelsõnnikut sisestada suhteliselt madalale (50–100 mm) või ka sügavamale (150–200 mm). Vedelsõnnik kaetakse pärast sisestamist täielikult, sulgedes lõhed surverataste või -rullikutega, mis on paigaldatud sisestuslaoturi piidele. Kui sõnnikut sisestatakse suuremas koguses, tuleb vedelsõnnik sisestada sügavamale, et vältida sõnniku kerkimist mulla pinnale. Vedelsõnniku sisestamine madalamal asetsevasse suletud lõhesse on  $\text{NH}_3$  heite vähendamise aspektist efektiivsem kui avatud lõhesse sisestamine. Nimetatud efekti saavutamiseks peavad mulla tüüp ja omadused võimaldama lõhesid reeglipäraselt sulgeda. Seetõttu ei ole kirjeldatud tehnoloogia nii laialdaselt rakendatav kui sisestamine avatud lõhedesse. Mõnel süvasisestusega sisestuslaoturil on piid, millele on paigaldatud külgmised tiivad või spetsiaalsed jalased, et hõlbustada mullast läbitungimist ja vedelsõnniku lateraalset dispersiooni mullas, mis võimaldab suurendada laotatava sõnniku kogust. Piide samm on enamasti 250–500 mm ja seadme töölaius  $\leq 4$  m. Kuigi  $\text{NH}_3$  heitkogus väheneb oluliselt, piirdub tehnoloogia kasutamine enamasti külveelse laotamisega põllumaadele ja laia reavahega külvatud taimedele (nt mais). Rohumaadel ja hajuskülvide puhul võivad mehaanilised kahjustused vähendada taimiku saagikust. Piiravateks teguriteks on ka mullakihi sügavus, savi ja kivide

sisaldus, kõlviku kalle, suurema võimsusega traktori vajadus ning suurenenud leostumise risk, eriti drenitud muldade puhul.

144. **Tahe- ja vedelsõnniku muldaviimine.** Efektiivne meede  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamisel on mulla pinnale laotatud vedel- ja tahesõnniku muldaviimine künni või kultiveerimisega. Efekt on suurim, kui sõnnik kaetakse mullaga täielikult (tabel 14). Sissekünd tagab suurema heitkoguse vähenemise võrreldes kultiveerimisega. Sõnniku muldaviimine on rakendatav ainult põllumaadel. Tehnoloogiat ei saa kasutada püsirohumaal. Rohumaasüsteemides on seda võimalik kasutada juhul, kui toimub üleminek põllumaale (viljavaheldus) või rohumaade taaskülvi korral, kuigi mõlema näite puhul võib taimiku toitainete vajadus olla madal. Samuti ei ole tehnoloogia hästi rakendatav minimeeritud harimise korral võrreldes sügavama harimisega. Sõnnikut saab mulda viia ainult enne põllukultuuride külvamist. Kirjeldatud tehnoloogia on peamine lahendus, mida kasutatakse heitkoguse vähendamiseks tahesõnniku laotamisel. Põhja-Ameerikas on katsetamisel uudne seade tahke linnusõnniku pinnasesse sisestamiseks. Muldaviimine on tõhus meede ka vedelsõnniku puhul, kui ei ole võimalik kasutada või saadaval sisestuslaotamise tehnoloogiat või kaasneb sellega leostumise risk. Mullaharimine vähendab mulla makropoorsust, mis võib soodustada leostumist. Meetme efektiivsust on kirjeldatud paljudes uuringutes, sealhulgas Vene Föderatsioonis (Eskov jt, 2001).

145. Ammoniaak lendub pärast sõnniku pinnasele laotamist kiiresti (tundide ja mõnel juhul päevade jooksul). Seega on heitkoguse vähenemine suurem siis, kui muldaviimine toimub kohe pärast laotamist. Koheseks muldaviimiseks on sageli vaja teist traktorit, mis viiks sõnniku mulda ja peaks järgnema sõnnikulaoturile. Kui töäjõud või seadmete kättesaadavus on piiratud, näiteks väikefarmide puhul, tuleks sõnnik mulda viia hiljemalt nelja tunni jooksul pärast laotamist, kuid heitkoguse vähenemise määr on madalam (tabel 14). Ka muldaviimine 24 tunni jooksul pärast laotamist vähendab heitkogust, kuid veelgi väiksemas ulatuses. Samas suureneb tööde korraldamise paindlikkus, mis võib olla väikefarmidele väga oluline. Kõige tähtsam on viia sõnnik kiiresti mulda juhul, kui seda laotatakse keskpäeval kuumades ilmastikutingimustes. Sõnniku laotamine ja muldaviimine võib toimuda ka ühe seadmega. Selline tehnoloogia annab piisava efekti siis, kui vähem kui 25% sõnnikust jääb mulla pinnale atmosfääriõhuga kontakti.

146. **Vedelsõnniku lahjendamine niisutussüsteemides kasutamise korral.** Ammoniaagiheide madala kuivainesisaldusega lahjendatud vedelsõnnikust on enamasti väiksem võrreldes lahjendamata vedelsõnnikuga, kuna infiltratsioon mulda on kiirem (Stevens ja Laughlin, 1997; Misselbrook jt, 2004). Vedelsõnniku koguseid, mis on kalkuleeritud vastavalt põllukultuuride toitainevajadustele, saab seega lisada rohu- või põllumaa kastmisveele. Vedelsõnnik pumbatakse hoidlatest niisutussüsteemi torustikku ja pihustatakse madalsurve (kõrgsurve süsteem pole soovitatav) vihmuti või liikuva niisutusseadme abil maapinnale. Vee ja vedelsõnniku lahjendamise suhe on kuni 50 : 1. Tehnoloogia on 1. kategooria meede juhul, kui kasutusel on niisutussüsteemid ja vedelsõnnikut lahjendatakse vähemalt 50% (vee ja vedelsõnniku suhe 1:1), mis tagab heitkoguse alanemise vähemalt 30% võrra. Kui vedelsõnniku kuivainesisaldus on 4%, tuleks seda lahjendada  $\leq 2\%$  kuivainesisalduseni (vt järgnevat joonist). Selleks, et tegemist oleks 1. kategooria meetmega, tuleb täita järgnevaid reegleid:

(a) vedelsõnnikut lahjendatakse niisutussüsteemides kasutamiseks, vee ja vedelsõnniku suhe on vähemalt 1 : 1. Vedelsõnniku lahjendus ei tohiks olla kehva (ebapiisava) majandamise tagajärg, näiteks põhjusel, et vedelsõnnikut ladustatakse madalates katmata laguuntüüpi hoidlates, kuhu koguneb palju sademevett. Sellised hoidlad on juba iseenesest potentsiaalselt suure ammoniaagiheite allikaks, kuna neid on raske katta;

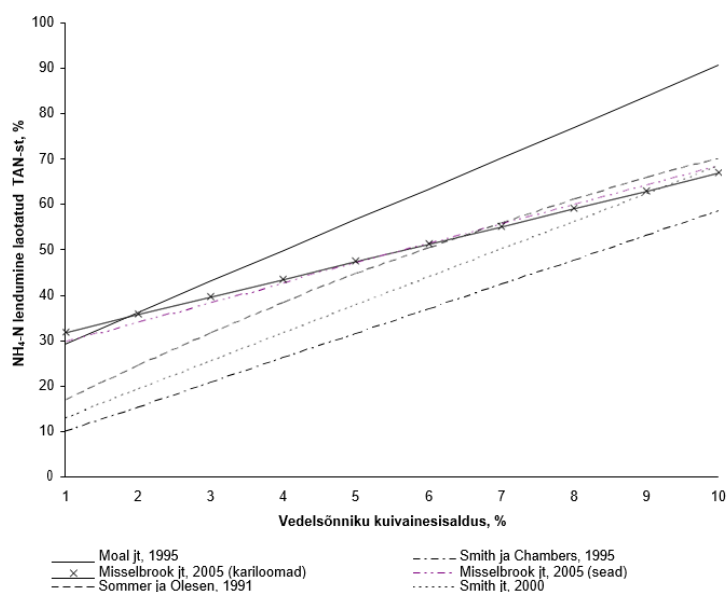
(b) kliimaatilised tingimused eeldavad niisutussüsteemide kasutamist. Kui vedelsõnnikut lahjendatakse ilma taimiku veevajadust arvestamata, suurenevad transpordikulud ja nitraatide leostumise risk;

(c) laotatava vedelsõnniku kogus on kalkuleeritud vastavalt taimiku toitainevajadusele. Kirjeldatud meetet ei tohiks vaadelda kui lihtsat lahendust vedelsõnnikust vabanemiseks, kuna esineb risk taimiku üleväetamiseks, nitraatide leostumiseks või sõnniku ärakandeks, eriti kaldega kõlvikutel;

(d) mulla omadused võimaldavad lahjendatud vedelsõnniku kiiret imendumist. Puuduvad infiltratsiooni takistavad füüsilised tegurid, nagu mulla kõrge veesisaldus, halb struktuur, peen tekstuur või muud omadused, mis vähendaksid vedelike mulda infiltreerumise kiirust. Samuti oleks suurte mahtude korral välditud imendumise kiiruse oluline vähenemine.

147. Lisaks vedelsõnniku lahjendamisele spetsiaalselt niisutussüsteemides kasutamiseks võivad  $\text{NH}_3$  heite alandamise kontekstis olla otstarbekad ka teised meetodid, mille rakendamisel vedelsõnniku kuivainesisaldus väheneb. Selliste meetodite hulka kuuluvad näiteks kuivainesisalduse vähenemine anaeroobsel lagunemisel ning tahke ja vedela osa separeerimine. Kuna nimetatud meetodite kasutamisel suureneb sageli väikese kuivainesisaldusega fraktsiooni pH ja tekib kõrgema kuivainesisaldusega sete, ei ole need 1. kategooria meetmed. Sellegipoolest on need olulised 2. kategooria meetmed, eriti kui heitkoguste vähendamist saab tõendada.

#### Vedelsõnniku ammoniaagina lenduva TAN-i osakaalu ja vedelsõnniku kuivainesisalduse vaheline seos laotamisel, lähtuvalt kuuest määramisest



*Märkus:* Kuigi  $\text{NH}_3$  heitkogus on ka 1% kuivainesisalduse korral märkimisväärne (10–30% TAN-ist), kaasneb 50% kuivainesisalduse alanemisega  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähenemine ca 30% võrra.

148. **Muud efektid, mis kaasnevad vedel- ja tahesõnniku laotamisel  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähendamise meetmete rakendamisega.**  $\text{NH}_3$  heitkoguste vähenemisest tulenev sõnnikulämmastiku efektiivsem kasutamine on eksperimentaalselt andnud erinevaid tulemusi (J. Webb jt, 2010). Seda on võimalik osaliselt selgitada raskustega, mis ilmnevad mistahes katsega tuvastada põllukultuuride reaktsiooni madala lämmastikuisaldusega väetise kasutamise ja samaaegse suhteliselt suure mulla lämmastiku mineralisatsiooni tasemega. Praktikas tähendab  $\text{NH}_3$  heite vähenemine seda, et alaneb täiendava lämmastiku vajadus. Kuigi  $\text{NH}_3\text{-N}$  omastamine on põllukultuuride lõikes erinev, võib mittelendunud TAN osa omadusi lugeda potentsiaalselt võrdseks mineraalsete lämmastikväetisega. Seega võib väita, et  $\text{NH}_3$  kadude vähendamine võimaldab proportsionaalselt (1:1) asendada mineraalväetiste kasutamist.

149. Riba- ja sisestuslaotamise tehnoloogiad ning tahesõnniku kiire muldaviimine vähendavad oluliselt sõnniku laotamisega kaasnevat lõhnaheidet. Vastavate tehnoloogiate rakendamisega kaasnev lõhnaheite vähenemine võimaldab sõnnikut laotada piirkondades või ajal, mis ei oleks kaebuste tõttu muidu võimalik.

150. Võrreldes referentsmeetodiga (paisklaotus) võimaldavad riba- ja sisestuslaotamise tehnoloogiad täpsemat vedelsõnniku doseerimist, kuna sõnnik jaotatakse torustikus proportsionaalselt kogu laotusagregaadi töölaiuse ulatuses. Sõnniku ruumiline jaotus paisklaoturiga (referentsmeetod) laotamise järgselt on sageli oluliselt ebahühtlasem. See sõltub paisklaoturi konstruktsioonist ja seisukorrast. Samuti võib paisklaoturi kasutamisel varieeruda seadme töölaius (nt tuule mõjul), mille tulemuseks on töökäikude ebakorrapärasus ja ebatäpne laotamine põllu äärtel. Vedelsõnniku doseerimise täpsuse paranemine laotamisel suurendab selle efektiivsust toitaineallikana. Laotamistäpsuse paranemine vähendab ka külgnevate (nt veekogudega piirnevate) alade saastumise riski nitraatide, fosfori ja mikroobidega.

151. Vedelsõnniku paisklaotamine (referentsmeetod) on ajaliselt piiratud põllukultuuride kvaliteedi halvenemisest või taimiku saastumisest tulenevate kahjude tõttu. Riba- ja sisestuslaotamisel väheneb taimestiku saastumise risk, mistõttu lehestiku kõrguse suurenedes saab vedelsõnnikut laotada taimiku kvaliteeti ohustamata. See on eriti oluline rohumaal, kus vedelsõnnikuga saastumine vähendab taimiku maitseomadusi karjatamisel või silo kvaliteeti ja võib levitada ettevõtete vahel patogeene (nt Johnne haigus), kui sõnnikut või laotusseadmeid jagatakse ettevõtete vahel. Riba- ja sisestusmeetodid võimaldavad vedelsõnnikut laotada ka kasvavate põllukultuuridega kõlvikutele (eriti teravili), mille puhul paisklaotuse kasutamist ei loeta üldiselt sobivaks. Madala heitkogusega tehnoloogiate kasutamine suurendab seega vedelsõnniku laotamise planeerimise paindlikkust. Seetõttu on sobivate ilmaoludega päevadel ja mullastiku niiskustingimuste sobivuse korral kasutatav suurem maa-ala, ammoniaaki lendub vähem, vedelsõnniku lämmastiku kasutamine on optimaalne ja mulla tihenemine minimaalne.

152. **Heitkoguste vähendamise meetmetega seotud võimalik kulu.** Heitkoguste vähendamise meetmete rakendamisele võivad pidurdavat mõju avaldada kulud, mis on seotud uute laoturite ostu ja hoolduse või alltöövõtjate palkamisega. Sisestuslaotamise tehnoloogiad vajavad ka võimsamaid traktoreid, mis suurendab kulutusi veelgi. Lisakulud kaalub osaliselt või täielikult üles kasu, mis tuleneb paremast saagikusest ja saagi stabiilsusest, vähenenud lämmastikukadudest (vähenenud mineraalväetiste vajadus), sõnniku lämmastiku täpsemast kasutamisest põllukultuuride kasvatamisel, suurenenud agrotehnilisest paindlikkusest ning teistest positiivsetest lisafaktoritest nagu näiteks lõhnaheite ja põllukultuuride saastumise vähenemine ning parem visuaalne pilt sõnniku



laotamise ajal ja järgselt (J. Webb jt, 2010). Üldine kulude ja tulude suhe sõltub eriti seadmete maksumusest ja heite vähenemise määra.

153. **Ammoniaagi kadude vähenemise mõju lämmastikuringele.** Kui kõlvikul ei ole sõnniku laotamise ajal olemas või arenemas põllukultuure, mis omastaksid saadaoleva lämmastiku, suureneb lämmastikukadude risk leostumise või gaasilise  $N_2O$  tekke tõttu. Seetõttu kaasneb sõnniku muldaviimise ja eriti sisestuslaotamise tehnoloogia kasutamisega risk, et õhusaaste asemel kujuneb välja veereostus. Samas väheneb selliste meetodite puhul oht sõnniku vihma tõttu ärakandeks pinnaselt. Sellest tulenevalt peab vedel- ja tahesõnniku laotamise ajastamisel jälgima  $NH_3$  heitkoguse vähenemist tasakaalus teiste võimalike kadudega, arvestades ka põllukultuuride kasvufaasist tulenevaid toitainete vajadusi. Vältimaks üldist lämmastikukadu, ei tohiks sõnnikut laotada siis, kui lämmastikku omastavaid põllukultuure on vähe või puuduvad need üldse. Ammoniaagiheite vähendamine aitab oluliselt kaasa summaarsele lämmastikukadude vähendamisele põllumajandusest, suurendades seeläbi mineraalväetiste kasutamise tõhusust. Lisaks väiksemast mineraalsete lämmastikväetiste vajadusest tulenevale otseselt põllumajandusettevõtjaga seotud kasule on positiivseks efektiks ka kasvuhoonegaaside heite vähenemine piirkondlikul tasandil, kuna mineraalväetiste vajadus ja  $N_2O$  heide mullast väheneb. Samuti vähenevad lämmastikväetiste tootmisega seotud energiakulud.

154. Uuringute tulemused on näidanud, et vedelsõnniku sisestuslaotus võib mõnel juhul  $N_2O$  heitkoguseid suurendada või ei avalda sellele mingit mõju. Mehhanismiks, mis suurendab  $N_2O$  heidet prognoositavast rohkem, on kergesti laguneva süsiniku lisamine vedelsõnnikule ja asjaolu, et  $NH_3$  heite vähendamise meetmete tõttu siseneb mulda täiendavat lämmastikku. Kergesti laguneva süsiniku lisamine vedelsõnnikule ilma mulla märkimisväärse aeratsioonita võib suurendada denitrifikatsiooni aktiivsust. On mitmeid põhjuseid, miks  $NH_3$  heite vähendamise meetmed ei too alati kaasa  $N_2O$  heite suurenemist: (a) sügavamale sisestuslaotamine ( $> 5$  cm) või muldaviimine. Distsantsi suurendamine denitrifikatsiooni kohast mulla pinnale võib viia selleni, et rohkem denitrifitseerunud lämmastikku eraldub  $N_2$ -na; (b) mulla niiskusesisaldus ja õhuga varustus võib olla mittedobilik suurema koguse  $N_2O$  sünteesiks; (c) muldades, kus juba on rohkesti kergesti lagunevat süsinikku ja mineraalset lämmastikku, võib  $N_2O$  heite suurenemine olla nii väike, et sellel ei ole koguheite kasvule märkimisväärset mõju; (d)  $N_2O$  heitkogust mõjutab samuti laotusjärgne ilmastik (sademed) ja sellest sõltuv mullapooride veega küllastatus. Kirjeldatud faktoritest nähtub, et  $NH_3$  heite vähendamine poollooduslikes ökosüsteemides alandab  $N_2O$  heidet, mis on seotud atmosfääri lämmastiku sidumisega ja võimaldab seega säästa väetistelt. Selle tulemuseks on üldine  $N_2O$  heite vähenemine.

155. Tahesõnniku muldaviimine võib  $N_2O$  heitkogust vähendada või ei avalda sellele mingit mõju. Erinevalt vedelsõnnikust laguneb (lendub) ladustamisperioodil osa tahesõnniku kergesti lagunevast süsinikust. Seega on tahesõnniku muldaviimise käigus lisataval süsinikul väiksem mõju mullastiku mikroobsele metabolismile kui vedelsõnnikul.

## 2. kategooria tehnikad

156. **2. kategooria meetmete tulemuslikkuse tõendamine.** 2. kategooria meetmed võivad  $NH_3$  heite vähendamisel osutada otstarbekaks, kuid nende tulemuslikkuse osas puudub samaväärne kindlus või on kaasnevat efekti juba oma olemuselt keerulisem üldistada kui 1. kategooria meetmete puhul. Sellest tulenevalt on siinses juhenddokumendis ette nähtud, et juhul kui heitkoguste vähendamiseks kasutatakse 2. kategooria meetmeid, on konventsiooni osalistel kohustus esitada tõendavaid andmeid, mis kinnitaks meetmetega kaasnevat  $NH_3$  heitkoguste vähenemise potentsiaali esitatavas aruandluses. Sarnane tõendamine on vajalik

3. kategooria meetmete rakendamisel. Tehnoloogiate korral, mis baseeruvad (a) toitainete mulda infiltreerumise kiiruse suurendamisel ja (b) vedelsõnniku survesisestamisel, tuleb dokumentides kirjeldada kasutatavat praktikat ja esitada andmeid põllu või ettevõtte tasandil tehtud mõõtmiste kohta, mis näitavad heitkoguste vähenemist ja meetme otstarbekust. Laotamise ajastamise tulemuslikkuse tõendamise jaoks kehtivad erinõuded, mida on kirjeldatud allpool.

157. **Toitainete mulda infiltreerumise kiiruse suurendamine.** Kui mulla tüüp ja omadused võimaldavad kiiret vedeliku infiltratsiooni, väheneb  $\text{NH}_3$  heitkogus korrelatsioonis vedelsõnniku kuivainesisalduse alanemisega. Vedelsõnniku lahjendamine veega ei alanda mitte ainult ammooniumlämmastiku kontsentratsiooni, vaid suurendab ka mulda infiltreerumise kiirust pärast laotamist. Keskmise vedelsõnniku (k.a 8–10%) lahjendusaste peab olema vähemalt 1 : 1 (üks osa vedelsõnnikut ja üks osa vett), et vähendada heitkogust vähemalt 30%. Nimetatud tehnika peamine miinus on täiendava ladustamis- ja suurema laotatismahu vajadus. Mõne vedelsõnniku käitlemise tehnoloogia puhul on lahjendus tehtud juba eelnevalt (nt lüpsiplatsi või eelooteala jms põranda pesuvesi, hoidlas vedelsõnnikuga segunenud sademevesi) ning edasise lahjendamise kasutegur võib seetõttu olla väike. Lisakulutused täiendavale ladustamisruumile ja peamiselt laotamisega seotud transpordile ei muuda seda tehnikat kuigi atraktiivseks. Samuti võib suureneva põhjaveekihi saastamise ja vee raiskamise risk ja transpordivajaduse suurenemisest tulenevalt ka süsinikujalajalg. Vene Föderatsiooni kogemused on näidanud, et sobilik meetod infiltratsiooni suurendamiseks on eelkultiveerimine, näiteks ketasäkkega. (Eskov jt, 2001).

158. Lahjendatud vedelsõnniku laotamisel võib esineda suurem ärakande ja leostumise risk. Selle vältimiseks tuleb tähelepanu pöörata laotamise kiirusele, mulla omadustele, kõlviku kaldele jne. Seetõttu loetakse kirjeldatud meetet 2. kategooria meetmeks, välja arvatud juhul, kui lahjendatud vedelsõnnikut laotatakse niisutussüsteemide abil (kategooria 1).

159. Teine vedelsõnniku kuivainesisalduse alandamise ja seeläbi pinnasesse infiltreerumise kiiruse suurendamise võimalus on kuivaine osaline mehaaniline eraldamine või anaeroobne lagundamine. 1–3 mm avasuurusega mehaanilise separaatori kasutamisel väheneb  $\text{NH}_3$  kadu vedelast fraktsioonist kuni 50 protsenti. Samuti saastub rohukamar (taimik) vähem. Nimetatud tehnoloogia miinusteks on separaatori ning selle lisaseadmetega seonduvad kapitali- ja tegevuskulud, vajadus käidelda nii vedelat kui ka tahket fraktsiooni ja tahkest osast lenduvad saasteained. Kirjeldatud süsteemide tulemuslikkuse kinnitamiseks vajalik informatsioon peaks sisaldama summaarset  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähenemist, arvestades nii madala kui ka kõrge kuivainesisaldusega fraktsiooni mõju.

160. Kolmas infiltratsiooni kiiruse suurendamise võimalus on pärast laotamist vedelsõnniku taimikult veega maha pesemine. Selleks on vajalik piisava veevarustuse olemasolu, samuti suurendab vee kasutamine kulusid. Kanadas läbiviidud uuringu tulemused näitavad, et 6 mm vett võib mõnel juhul vähendada  $\text{NH}_3$  kadu 50% võrra võrreldes vee mittekasutamisega. Kirjeldatud süsteemide iseloomustamiseks vajalik informatsioon peaks sisaldama teavet vedelsõnniku laotamise ja taimiku veega pesemise vahelise perioodi pikkuse, kasutatud vee hulga ja heitkoguse vähenemise määra kohta. Kui pärast vedelsõnniku laotamist kasutatakse vett, võib suureneva ärakande ja leostumise risk. See sõltub mullastiku omadustest, kõlviku kaldest jne. Seetõttu loetakse kirjeldatud meetet 2. kategooria meetmeks, välja arvatud juhul, kui lahjendatud vedelsõnnikut kasutatakse niisutussüsteemides (kategooria 1).

161. Vedelsõnniku survesisestamine (sisestuslaotamine). Nimetatud tehnoloogia puhul surutakse vedelsõnnik 5–8 baarise rõhu abil mulda. Kuna piid ega kettad ei purusta mullapinda, saab seda tehnikat kasutada kaldega ja kivisel pinnasel, kus teist tüüpi sisestuslaotureid ei ole võimalik kasutada. Läbiviidud uuringutes on heitkoguse vähenemine sarnane avatud lõhega sisestuslaotamise tehnoloogia vastavatele näitajatele, enamasti jääb see 60% piiresse. Vajalik on kirjeldatud tehnoloogia täiendav hindamine.

162. **Sõnniku laotamise ajastamise haldussüsteemid.** Ammoniaagiheide on suurim soojades, kuivades ja tuulistes tingimustes (intensiivne evapotranspiratsioon). Heitkogust on võimalik vähendada, laotades sõnnikut optimaalsel ajal, st jaheda ja niiske ilmaga, õhtul, enne kerget vihma või kerge vihma ajal, samuti vältides laotamist sooja ilmaga, eelkõige keskpäeval, mil päike käib kõige kõrgemalt, mistõttu on päikesekiirgus intensiivsem (juuni/juuli) (Reidy ja Menzi, 2007). Laotamise ajastamine võib osutada kulutõhusaks ka paisklaotamise korral. Laotamise ajastamine võib anda lisaefekti juhul, kui meetet rakendatakse koos madala heitega laotamistehnikatega, näiteks lohisvooliksüsteemiga. Ajastamise meetmete abil saavutatav võimalik heitkoguse vähenemise määr sõltub piirkondlikest ja kohalikest mullastiku omadustest ja kliimatingimustest. Seetõttu peaks vastav meetmete kogum olema piirkondlikele oludele kohandatud.

163. Kuigi sõnniku laotamise ajastamisega kaasnev positiivne efekt on ammu teada, seondub nimetatud meetmega mitmeid piiranguid, millest olulisemad on järgnevad nõuded ja piirangud:

(a) vajadus näidata, et meetme praktilise rakendamise abil on võimalik saavutada nõutav  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähenemine;

(b) vajadus täpselt määratleda, millised on referentsmeetodi tingimused, tagamaks tulemuste adekvaatset raporteerimist;

(c) vajadus võtta kasutusele süsteem, mille abil meetme rakendamist ja selle tõhusust kontrollida;

(d) väiksem paindlikkus sõnniku laotamisega seotud tööde organiseerimisel (pinnase tallamine, tööjõu ja seadmete kasutamine ning muude eeskirjade arvestamine).

164. Kirjeldatud lähenemisviis on küllaltki erinev 1. kategooria tehnoloogilistest meetmetest, nagu näiteks ribalaotamine ja sõnniku muldaviimine, mille puhul tuginevad tabelites 12 ja 13 toodud efektiivsuse näitajad paljudest uuringutest saadud keskmistele tulemustele. Laotamise ajastamisel kasutatakse hindamiseks mitmetel uuringutel baseeruvaid tegelikule ajastamispraktikale tuginevaid mudelarvutusi, kus on arvesse võetud ka vastavaid meteoroloogilisi tingimusi.

165. Selleks, et arvestada sõnniku laotamise ajastamisest tulenevat efekti heite vähendamise meetodina, tuleb leida sobivad lahendused ülaltoodud piirangutele. Seda on võimalik saavutada laotamise ajastamise haldussüsteemi abil, mis on määratletud järgmiselt: kontrollitav haldussüsteem tahe- ja vedelsõnniku eri aegadel laotamise suunamiseks ja sellekohaste andmete fikseerimiseks, mille kasutamisel on täheldatud kvantitatiivset  $\text{NH}_3$  heite vähenemist farmi tasandil. Mistahes haldussüsteemi kasutamisel tuleb näidata eesmärgiks olev  $\text{NH}_3$  heite vähenemise määr referentsmeetodi suhtes, pärast mida saab vastava süsteemi eeliseid lugeda osaks rahvusvahelisest heitmete kontrolli strateegiast.

166. Sõnniku laotamise ajastamise haldussüsteemid saab välja töötada korraga mitut  $\text{NH}_3$  heite vähendamise meetet rakendades, kusjuures heite vähenemise määrad sõltuvad

kohalikust kliimast. Sellest tulenevalt on ka haldussüsteemide rakendamine piirkonniti erinev. Haldussüsteemide rakendamisel tuleb lähtuda järgmistest põhimõtetest:

(a) **ilmastikust tulenev NH<sub>3</sub> heitkoguste erinevus.** Ammoniaagi heitkogused on enamasti väiksemad jahedates ja niisketes tingimustes ning pärast kerget vihma (kuigi mulla veega küllastumine muudab laotustingimused ebasoodsamaks). Ammoniaagi heitkoguseid saab seega prognoosida, sidudes NH<sub>3</sub> heite mudelarvutused ilmaprognoosidega. Mõnes riigis on vastav info juba kättesaadav ja sõnniku laotamine piirdub perioodidega, mil prognoositav NH<sub>3</sub> heide on väike;

(b) **aastaegadest tulenev NH<sub>3</sub> heitkoguste erinevus.** Üldistades konkreetse perioodi ilmastikutingimusi, on ammoniaagi heitkoguseid võimalik prognoosida ka aastaegadest lähtuvalt. Aastaegadest tulenevalt on NH<sub>3</sub> heitkogused suurimad soojadel suvekuudel ning väikseimad jahedatel ja niisketel talvistel kuudel. Võttes arvesse aastaegade seotud piiranguid, näiteks sõnniku laotamist vastavuses taimiku toitainete vajadusega ja vee saastumise vältimist, on tahe- ja vedelsõnniku laotamise ajastamisel NH<sub>3</sub> aastase heitkoguse minimeerimise kontekstis suur potentsiaal;

(c) **NH<sub>3</sub> heitkoguste erinevus ööpäeva lõikes.** Ammoniaagi heitkogused on öösiti enamasti madalamad väiksema tuule kiiruse, madalama temperatuuri ja kõrgema niiskusesisalduse tõttu;

(d) **loomade karjatamise ja loomapidamishoones pidamise perioodi pikkuse mõju NH<sub>3</sub> heitkogusele.** Ammoniaagi heitkogus põllmajandusloomade (nt veiste) puhul, kellel on võimalus liikuda väljas piisava suurusega karjamaal, on enamasti väiksem võrreldes loomapidamishoones peetavate loomadega, kuna välditakse pidamise, sõnniku ladustamise ning vedel- või ja tahesõnniku laotamisega seotud heidet. Sellest tulenevalt, kuid võttes arvesse ka teisi piiranguid, nagu vee ja mulla kvaliteediga seotud probleemid, mis tekivad talvisel karjatamisel, aitab karjatamisperioodi pikendamine (eriti kui see on 24 tundi ööpäevas) vähendada NH<sub>3</sub> heitkogust. Muudatusi karjatamisperioodi pikkuses tasub arvestada sõnniku laotamise ajastamise planeerimisel, kuna see mõjutab laotatava sõnniku koguhulka.

167. **Laotamise ajastamise haldussüsteemide kontrolli mehhanismid.** Üks peamisi väljakutseid mistahes haldussüsteemi puhul on olulised kontrolli mehhanismid, mille abil näidatakse ettenähtud heitkoguste vähendamise määra saavutamist. Sõnniku laotamise ajastamist loetakse asjakohaseimaks ettevõtte tasandil, kuna see tugineb vastavate praktikate kogumi tulemustele. Heitkoguste vähendamise eesmärk tuleks seada aastaseks perioodiks, kuna kirjeldatud meetme puhul sõltub heitkoguste vähenemise potentsiaal ajast.

168. Laotamise ajastamise haldussüsteemi tulemuslikkuse kontrollimine peaks hõlmama:

(a) **enimkasutatava biofüüsikalise modelleerimise tööriista kontrollimist.** Tuleks esitada numbrilise mudeli kirjeldus, mis tugineb kontrollitud mõõtmiste tulemustel;

(b) **konkreetse ajastamise meetme mõju kontrollimist NH<sub>3</sub> heitkogusele.** Iga meetme puhul tuleks näidata, millises ulatuses heitkoguse vähenemise määr saavutatakse võrreldes selles piirkonnas kehtivate referentstingimustega;

(c) **tegeliku praktika vastavuse kontrollimist aruandes esitatuga.** Mistahes haldussüsteemi tuleb rakendada kooskõlas asjakohase andmete salvestamise süsteemiga, mis tagaks ja näitaks, et kirjeldatud meetmeid rakendatakse täies mahus.

169. **Referentstingimuste määratlemine laotamise ajastamise haldussüsteemile.** Enamiku madala heitega sõnniku laotamise tehnoloogiate puhul saab

heite protsentuaalset vähenemist üldistada kogu sarnase kliimaatilise tingimusega piirkonna ulatuses. Seevastu ajastamise meetmete rakendamisel on vajalik üksikasjalikum referentstingimuste määratlemine. Tavaliselt kasutatakse sama referentstehnikat (vedel- ja tahesõnniku paisklaotamine), kuid laotamise ajastamise haldussüsteemi rakendamisel tuleb referentstingimused määratleda ka farmi tasandil, vastavalt kasutatavatele praktikatele. Selleks, et arvestada piirkondlike kliimaatiliste erinevustega ja meteoroloogiliste tingimuste kõikumisega aastate lõikes, laiendatakse referentstingimusi järgmiselt: sõnniku laotamise haldamise praktikad kombineeritakse nende ajastamisega konkreetset võrdlusperioodil farmi tasandil. Referentsmeetodiks on sõnniku paisklaotamine, arvestades kolmeaastast meteoroloogiliste tingimuste varieeruvust.

170. Laotamise ajastamise haldussüsteemi heitkoguse vähendamise potentsiaali peaks kontrollima piirkonnas, kus see kasutusele võetakse. Numbrilisi  $\text{NH}_3$  heitkoguse simulatsioonimudeleid tuleks kasutada osana laotamise ajastamise haldussüsteemi efektiivsuse kontrollimisest.

171. Laotamise ajastamise haldussüsteemi võib kasutada üheaegselt koos teiste  $\text{NH}_3$  heite vähendamise meetmetega, näiteks koos sõnniku laotamise või muldaviimise tehnoloogiate rakendamisega. Täiendav  $\text{NH}_3$  heitkoguse vähenemise määr laotamise ajastamisel varieerub, sõltudes vastava laotamise meetodi heite vähenemise potentsiaalst. Hinnata tuleks nii madala heitega laotamise meetodite kui ajastamise summaarset efekti, tagamaks ettevõtte tasandil seatud  $\text{NH}_3$  heite vähenemise eesmärgi saavutamist.

172. Olenevalt rakendatavast sõnniku laotamise ajastamise haldussüsteemist on peamised lisakulud seotud sõnniku laotamise planeerimise paindlikkuse vähenemise ja kontrollimiseks vajalike halduskulude suurenemisega. Kulusid on võimalik kokku hoida, kombineerides laotamise ajastamise haldussüsteeme ettevõtte lämmastikuarude tõhusama kasutamise, näiteks tõendatud ekspertsüsteemi abil.

173. Sõnniku laotamist tuleks vältida enne või selliste ilmastikutingimuste ajal, mis suurendavad toitainete leostumist vette. Laotamise ajastamise haldussüsteemi väljatöötamisel tuleks arvestada ka aspekte, mis on seotud seadmete töötamise ohutusega konkreetset perioodil, eriti pimedal ajal. Tingimused, mis on soodsad väiksema  $\text{NH}_3$  heitkoguse tekkeks (nt niiske, tuuletu ilm), võivad põhjustada probleeme lõhnaheitega, kuna hajumine on raskendatud.

174. **Vedelsõnniku hapestamine.** Ammooniumlämmastiku ja  $\text{NH}_3$  vaheline tasakaal lahustes sõltub pH-st (happelisusest). Kõrge pH soodustab  $\text{NH}_3$  lendumist, madal pH aga ammooniumlämmastiku püsivust lahuses. Vedelsõnniku pH alandamine 6-ni või madalamale on harilikult piisav, et vähendada  $\text{NH}_3$  heidet 50% või rohkem. Taanis on kasutusele võetud väävelhappe vedelsõnnikule lisamise tehnoloogia, mida on saanud märkimisväärne edu. Vedelsõnnikule hapete lisamisel tuleb arvesse võtta süsinikdioksiidi ( $\text{CO}_2$ ) tekkest tulenevat puhverdusvõimet. Eelistatavalt tuleks hapestamine läbi viia kas vedelsõnniku ladustamise või laotamise ajal, kasutades selleks spetsiaalseid mahuteid. Kuigi kirjeldatud meetod on tõhus, kaasneb sellega oluline miinus, nimelt on tugevate hapete käitlemine farmis ohtlik.

175. Vedelsõnniku hapestamiseks on järgmised võimalused: orgaaniliste- (nt piimhape) või mineraalhapete (nt lämmastik-, väävel-, fosforhape) lisamine, loomasööda koostisosade modifitseerimine (nt bensoehape kasutamine, vt osa IV) või vedelsõnniku pH alanemist soodustavate bioloogiliste lisandite kasutamine (piimhappebakterite kultuurid). Orgaaniliste hapete puuduseks on nende kiire lagunemine (tekib ja eraldub  $\text{CO}_2$ ). Kuna tegemist on enamasti nõrkade hapetega, siis on soovitud pH saavutamiseks vaja suuri hapete koguseid.

Lämmastikhappe kasutamisel suureneb vedelsõnniku lämmastiksisaldus, mille tulemuseks on paremini tasakaalustatud lämmastik-fosfor-kaalium-tüüpi (NPK) väetis. Lämmastikhappe kasutamisega kaasnevat miinuseks on nitrifikatsioon ja sellele järgneva denitrifikatsiooni käigus tekkiv  $N_2O$  ning sellest tulenev pH tõus. Lämmastikhappe kasutamisel peaks vedelsõnniku pH olema vähemalt 4, et vältida nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni tulemusel moodustuvate nitraatide ( $NO_3$ ) teket ja lubamatus koguses  $N_2O$  kadu. Väävel- ja fosforhappe kasutamisel lisatakse vedelsõnnikule toitaineid, mis võivad põhjustada vääveli (S) ja fosforiga (P) üleväetamist. Lisaks võib ülemäärases koguses happe lisamisel tekkida vesiniksulfiid, mille tagajärjel suurenevad lõhna, tervise ja ohutusega seotud probleemid. Vedelsõnniku hapestamine  $NH_3$  heite vähendamise eesmärgil on hetkel kasutusel 125 Taani farmis, kus vedelsõnniku pH alandatakse ~7,5-lt ~6,5-ni. Vedelsõnniku hapestamist rakendatakse nii loomapidamishoones (heite vähenemine ca 70%) kui ka laotamisel (heite vähenemine ca 60%). Looduskaitsealuste piirkondade vahetus läheduses on nõutav sõnniku sisestuslaotamine. Taanis kehtiva uue regulatsiooni kohaselt loetakse ka lohisvoolik- või lohiskinglaotuse kasutamine, kui vedelsõnnik on hapestatud, nõuetele vastavaks.

176. **Superfosfaadi ja fosfokipsi lisamine.** Tuginedes Vene Föderatsioonis mitme aasta vältel kasutusel olnud praktikatele, on vedel- ja tahesõnnikule ladustamise ja laotamise ajal superfosfaadi või fosfokipsi lisamine vähendanud  $NH_3$  kadusid märkimisväärselt. Sõltuvalt säilitamisperioodi pikkusest segatakse tahesõnnikut ja fosfokipsi vahekorras 20 : 1, mis vähendab  $NH_3$  heitkogust ca 60% võrra. Fosfokipsi olemasolu sõnnikupõhises kompostis võib suurendada selle efektiivsust poole võrra, eriti ristõieliste kultuuride puhul (Novikov jt, 1989; Eskov jt, 2001). Peamine faktor, mis piirab fosfokipsi sisaldava komposti kasutamise intensiivsust, on fluoriidide ja strontsiumi ohtlikult kõrge akumulatsioon mullas. Vene Föderatsioonis on see tehnoloogia leidnud rakendamist väävelhappe tootmisel tekkivate tööstuslike fosfokipsi jäätmete põllumajanduslikul ärakasutamisel. Taimele lämmastiku ja fosfori vajadus tuleb planeerida vastavalt soovituslikele normidele, vältimaks fosforiga üleväetamist.

### 3. kategooria tehnikad

177. **Muud lisaained.** Kaltsiumi- (Ca) ja magneesiumi- (Mg) soolad, happelised ühendid (nt  $FeCl_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ ) ja superfosfaat omavad  $NH_3$  heidet vähendavat toimet (vt erandeid lõigus 169). Heite vähenemise saavutamiseks vajalikud ühendite kogused on aga enamasti liiga suured, et nende kasutamine oleks otstarbekas. Heite vähendamiseks on kasutatud ka absorbeerivaid materjale, nagu turvas või tseoliidid. Samuti on kaubandusvõrgus saadaval lai valik erinevaid lisaaineid, kuid enamasti ei ole neid sõltumatult testitud.

## VIII. Väetiste kasutamine

### A. Karbamiidväetised

178. Ammoniaagiheide, mis tekib väetiste kasutamisel, sõltub väetise tüübist, ilmast ja mulla omadustest. Karbamiidväetistest lähtuv heide on oluliselt suurem võrreldes muude lämmastikväetistega, kuna karbamiidi kiire hüdroolüüs tekitab lokaalse pH tõusu. Karbamiidväetiste hüdroolüüs kiireneb sageli muldades, kus on taimejäänuste tõttu palju ensüüm ureaasi. Heide kristalsest karbamiidist võib olla märkimisväärne, kui muldaviimine on ebaühtlane ja väetis ei ole mullaga korralikult kaetud, see sõltub ka mulla tüübist ja mulla niiskusesisaldusest. Heide ammooniumsulfaadist ja diammooniumfosfaadist on suurem lubjarikkale mullale (kõrge pH) laotamisel. Heite vähendamise meetmed karbamiidväetiste kasutamisel on seega seotud kõikide mullatüüpidega ning ammooniumsulfaadi ja diammooniumfosfaadi korral eeskätt lubjarikaste muldadega. Heite vähendamise meetmed baseeruvad kas karbamiidi ammooniumkarbonaadiks hüdroolüüsi aeglustamisel või väetise kiire mullaosakestega sidumise soodustamisel (Sommer, Schjoerring ja Denmead, 2004).

179.  $\text{NH}_3$  heite alandamise meetmete rakendamine karbamiidväetiste kasutamisel annab olulise panuse üldisesse põllumajandusega seotud  $\text{NH}_3$  heite vähendamisse.  $\text{NH}_3$  heitkogused karbamiidväetistest (lämmastikukadu ammoniaagina vahemikus 5–40%) on oluliselt suuremad võrreldes ammooniumnitraatväetistega (lämmastikukadu ammoniaagina vahemikus 0,5–5%). Kuigi ammooniumnitraat on Euroopas kõige sagedamini kasutatav lämmastikväetise vorm, valitseb oht, et selle kasutamist piiratakse või see keelustatakse teatud riikides turvalisuse ja/või ohutuse kaalutlustel. Turvalisusega seotud kaalutlustel ja suuremate kulude tõttu on ammooniumnitraat peaaegu kõikjal Põhja-Ameerikas asendatud karbamiidväetistega. Kuna  $\text{NH}_3$  heite vähendamise meetmed karbamiidväetiste kasutamisel on teatud põllukultuuride (eriti mitmeaastaste) puhul endiselt piiratud, kaasneks sellise muutusega tõenäoliselt märkimisväärne piirkondlike  $\text{NH}_3$  heitkoguste suurenemine.

180. Kui väetisi kasutatakse agrotehniliselt mõistlikul määral ja ajal, on  $\text{NH}_3$  heite vähenemise peamiseks tagajärjeks taimiku efektiivsem lämmastiku omastamine ja muude kadudega seotud riskide minimaalne suurenemine (nitraatide leostumine, denitrifikatsioon). Lisaks  $\text{NH}_3$  heite otsesele langusele kaasneb ka kaudse lämmastiku ärakande vähenemine (nt väiksem leostumine ja denitrifikatsioon metsamullast). Võttes arvesse kogu süsteemi (põllumaa, mittepõllumajanduslik maa ja atmosfääris hajumine), ei kaasne vastavate meetmete rakendamisega üldist nitraatide leostumise või lämmastikoksiidide heite suurenemist. Meetmete rakendamise eesmärgiks on hoida lämmastikku põllumajandussüsteemis, suurendades seejuures tootlikkust (vt ka ptk III).

181. Referentsmeetod: lämmastikväetiste laotamise referentsmeetodiks on mulda viimiseta paisklaotamine. Heite vähendamise meetmete efektiivsust, nendega seotud piiranguid ja kulusid on käsitletud tabelis 15.

#### 1. kategooria tehnikad

182. 1. kategooria meetmed karbamiidväetiste puhul on järgmised: ureaasi inhibiitorid, väetisegraanuli protekteerimine, sisestuslaotamine, kiire muldaviimine ja kastmine kohe pärast laotamist. Nimetatud meetoditest on sisestuslaotamine, kiire muldaviimine ja kohene

kastmine rakendatavad ka ammooniumsulfaadi ja diammooniumfosfaadi laotamisel lubjarikastele muldadele.

183. **Ureaasi inhibiitorid** aeglustavad karbamiidi hüdrolüüsi ammooniumkarbonaadiks, pärssides otseselt ensüüm ureaasi toimet. Selline viivitusega/aeglasem hüdrolüüs põhjustab oluliselt madalamat pH tõusu ureagraanulis, seetõttu ka oluliselt väiksemat  $\text{NH}_3$  heidet (Chadwick jt, 2005; Watson jt, 1994). Viivitus hüdrolüüsi protsessi alustamisel suurendab võimalust, et karbamiid seotakse mullaga ja  $\text{NH}_3$  heite tekkevõimalus väheneb veelgi. Euroopa Liidus lubatud ureaasi inhibiitorid on loetletud vastavas dokumendis.<sup>10</sup>

184. **Polümeerkattega karbamiidigraanulid (protekteerimine)** aeglustavad toimeaine vabanemist väetisest, mille tulemusel võib väheneda  $\text{NH}_3$  heide (Rochette jt, 2009). Vähenemise määr sõltub polümeerkatte iseloomust ja sellest, kas väetis viiakse mulda (sisestuslaotamine) või mitte.

185. **Väetise muldaviimine** kas otsese sisestuslaotamise või kultiveerimisega võib heidet efektiivselt vähendada (Sommer, Schjoerring ja Denmead, 2004). Protekteeritud karbamiidigraanulite ja muldaviimise tehnikate kasutamine võimaldab väetise ühekordset laotamist enne kõlviku rajamist, mistõttu puudub hilisem väetamise vajadus. Heite vähenemise efektiivsust mõjutavad mulda sisestamise sügavus ja mulla tekstuur. Väetiste muldaviimine kultiveerimise abil võib olla vähem efektiivne viis heite vähendamiseks võrreldes samale sügavusele sisestuslaotamisega, kuna osa väetisegraanulitest jääb mullapinna lähedale. Lühikese kasvuperioodiga põllukultuuridele tagab sesoonse lämmastikuväetise karbamiidi sisestuslaotamine külvamise käigus, mis säästab samuti põllumajandusettevõtja aega ja raha. Selline meetod on laialdaselt kasutusel Kanada lääneosa ettevõtetes.

186. **Kastmine vähemalt 5 mm veega** kohe pärast väetise laotamist vähendab  $\text{NH}_3$  heitkogust kuni 70% võrra (O. Oenema ja Velthof, 1993; Sanz-Cobeña, 2010). Vett ei tohiks lisada koguses, mis ületab mulla veemahutavust. Meede kuulub esimesse kategooriasse ainult siis, kui eksisteerib otsene kõlviku kastmise vajadus, vastasel juhul võib suurendada nitraatide leostumise riski.

187. **Üleminek karbamiidväetiselt ammooniumnitraatväetisele** on suhteliselt lihtne viis  $\text{NH}_3$  heite vähendamiseks, selle efektiivsus on ca 90%. Võimalik negatiivne kõrvalmõju on  $\text{N}_2\text{O}$  heite potentsiaalne suurenemine, eriti juhul, kui ammooniumnitraadil ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) baseeruvat väetist kasutatakse niiskel või märjal mullal. Meetme maksumus on seotud vaid väetiste hinnaerinevuse ja väetise kogusega, mis on vajalik optimaalseks taimiku lämmastikuga väetamiseks. Ammooniumnitraatväetiste puhul on brutokulud võrreldes karbamiidväetistega kõrgemad, turutingimustest sõltuvalt vahemikus 10–30%. Netokulu võib osutuda aga tühiseks või esineda isegi netotulu, kuna lämmastikukadu on väiksem.

188. **Potentsiaalsed kulud.** Kirjeldatud meetmete rakendamisega kaasnevad kulud katab osaliselt (või võimaldab isegi netotulu) kokkuvõttes väetiste arvelt, mida on vaja sama saagikuse tagamiseks võrreldes referentsmeetodiga, või juhul, kui sama väetisekasutuse juures saagikus suureneb.

189. **Mõju lämmastikuringele.** Kui väetisi kasutatakse agrotehniliselt õigetes kogustes ja ajal ning laotatakse sobilike tehnoloogiatega, on  $\text{NH}_3$  heite vähenemise peamiseks efektiks

<sup>10</sup> Komisjoni 7. novembri 2008 määrus (EÜ) nr 1107/2008, millega muudetakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrust (EÜ) nr 2003/2003 väetiste kohta selle I ja IV lisa tehnika arenguga kohandamise eesmärgil. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1107/oj>.



põllukultuuride parem lämmastiku omastamine, samal ajal on muude kadude (nt nitraatide leostumine, denitrifikatsioon) suurenemise risk minimaalne. Lisaks otsesele NH<sub>3</sub> heite vähenemisele alanevad eeldatavasti ka kaudsed lämmastiku kaod (nt leostumine ja denitrifikatsioon metsamuldadest). Arvestades kogu süsteemi (põllumaa, mittepõllumajanduslik maa ja atmosfääris hajumine), ei kaasne kirjeldatud meetmetega üldiselt nitraatide leostumise või lämmastikoksiidi heite suurenemist. Meetmete peamine eesmärk on hoida lämmastikku põllumajandussüsteemis, suurendades seeläbi tootlikkust.

## 2. kategooria tehnikad

190. **Väetiste laotamise ajastamise haldussüsteem.** Vastav haldussüsteem kujutab endast kontrollitud süsteemi, mille efekt väljendub NH<sub>3</sub> heite potentsiaali varieerumises sõltuvalt keskkonnamitingimusest. Üldiseks heite vähendamiseks kasutatakse laotamise ajastamist. Väetiste laotamine jahedamates ilmastikutingimustes ja enne vihma (pidades silmas ärakanderiski veekogudesse) seondub väiksema NH<sub>3</sub> heitega. Kui vastavat meetet rakendatakse, tuleb see siduda referentstingimuste ja tegeliku heite vähenemise määra kontrollimisega.

191. **Karbamiidi segamine ammooniumsulfaadiga.** Karbamiidi ja ammooniumsulfaadi koosgranuleerimine võib teatud mullatüüpide puhul vähendada NH<sub>3</sub> heidet rohkem kui ainult granuleeritud karbamiidi kasutamine (O. Oenema ja Velthof, 1993). Täpsemate soovitude jaoks on vajalikud täiendavad uuringud rohkemate mullatüüpide lõikes.

Tabel 15

### Ammoniaagiheite vähendamise võimalused (1. kategooria) karbamiidväetistest

<i>Vähendamismeede</i>	<i>Väetise tüüp</i>	<i>Heite vähenemine (%)</i>	<i>Heite vähenemist mõjutavad tegurid</i>	<i>Rakendatavus</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub> vähenemine, aasta)</i>
Paisklaotamine pinnasele, muldaviimiseta	Karbamiid	Referentsmeetod			
Ureaasi inhibiitor	Karbamiid	70% kristalne karbamiid, 40% karbamiidi-ammoonium-nitraadi lahus		Kõik	-0,5–2,0
Protekteeritud (polümeerkattega) graanulid	Karbamiid	~30	Polümeerkatte tüüp ja terviklikkus; väetise laotamise tehnika (pinnale või sisestuslaotamine)	Kõik	-0,5–2,0
Sisestuslaotamine (suletud lõhe)	Karbamiid, veevabad ammoniaak-väetised	80–90	Sisestamise sügavus; lõhe sulgemine (halvasti suletud lõhed	Klassikalisel või minimeeritud mullaharimisel enne külvi või külvi ajal, samuti	-0,5–1,0

<i>Vähendamismeede</i>	<i>Väetise tüüp</i>	<i>Heite vähenemine (%)</i>	<i>Heite vähenemist mõjutavad tegurid</i>	<i>Rakendatavus</i>	<i>Kulu (€/kg NH<sub>3</sub> vähenemine, aasta)</i>
Muldaviimine	Karbamiid	50–80	suurendavad heidet, kuna karbamiidi kontsentratsioon lõhes on kõrge ja pH tõuseb)	mehaanilise umbrohutõrje käigus	-0,5–2,0
Kastmine	Kõik	40–70	Viiivitus pärast väetise laotamist; muldaviimise sügavus; mulla tekstuur	Haritav maa enne külvi	-0,5–1,0
Asendamine ammonium-nitraadiga	Karbamiid, veevabad ammoniaak-väetised	Kuni 90	Kastmise ajastus ja maht (tõhusaim on kohene kastmine ~10 mm); mulla niiskus; mulla tekstuur	Piirkondades, kus põllukultuuride kastmine (niisutusüsteemid) on tavapärane	-0,5–1,0
			Tingimusel, et heide karbamiidväetistest oleks vähemalt 40%.	Kõik, eriti juhul, kui väetist laotatakse ilma muldaviimiseta ja kastmine ei ole võimalik	

*Märkus:* Kulud ja tulud erinevad piirkonniti. Uuringud on näidanud, et suurenenud saagikusest tulenev rahaline kasu võib heite vähendamiseks rakendatud meetmete maksumust oluliselt ületada.

### 3. kategooria tehnikad

192. *Karbamiidi ribati muldaviimine.* Nimetatud tehnika ei ole soovitatav kõrge ureaasi aktiivsuse (nt suur taimejäänuste kontsentratsioon) ja halva karbamiidi absorbeerimise võimega muldade puhul, kuna see võib suurendada NH<sub>3</sub> heidet võrreldes referentsmeetodiga (Rochette jt, 2009).

## B. Ammooniumsulfaat-, ammooniumfosfaat- ja ammooniumnitraatväetised

193. *Referentsmeetod:* referentsmeetod on vastavate väetiste muldaviimiseta paisklaotamine.

### 1. kategooria tehnikad

194. Mitmeid eespool karbamiidi puhul kirjeldatud meetmeid on võimalik rakendada ka ammooniumsulfaat- ja -fosfaatväetistest pärineva NH<sub>3</sub> heite vähendamiseks. Suurim on risk siis, kui neid kasutatakse lubjarikaste või teiste kõrge pH väärtusega muldade väetamiseks. 1. kategooria meetmed ammooniumsulfaat- ja -fosfaatväetiste kasutamise korral on

muldaviimine, sisestuslaotamine, kohene kastmine ja protekteeritud polümeerkattega väetisegraanulite kasutamine kõrge pH väärtusega muldades (tuginedes vastavate katsete tulemustele).

## 2. kategooria tehnikad

195. Heide karbamiidi mittesisaldavatest väetistest, näiteks ammooniumnitraadist ja kaltsiumammooniumnitraadist, on väike. Samuti on taimiku (rohu) niitmine seotud  $\text{NH}_3$  heite tekkega – heide tekib uuesti kasvavast rohukamarast, kuna niitmise tagajärjel hakkab lämmastik taimestikust intensiivsemalt liikuma. Rohumaa väetamine esimestel päevadel pärast niitmist võib tekitada lämmastiku ülejäägi, mille tagajärjeks on niitmise ja väetamise kombinatsioonist tulenev suurem heite kogus. Hilisem lämmastikuga väetamine niitmise järgselt võimaldab taimikul taastuda, vähendades seeläbi  $\text{NH}_3$  heidet. Mudelanalüüsid on näidanud, et kahenädalane viivitus lämmastikuga väetamisel vähendas niidetud ja väetatud rohumaast pärit  $\text{NH}_3$  koguheidet (aastane netokogus) 15% võrra. Sõltuvalt piirkondlikest kliimaatilistest tingimustest võib vastava tulemuse saavutamiseks olla vajalik erinev ajastamine. Kirjeldatud meede võib aga taimiku saagikust vähendada. Arvestades ilmastikutingimuste mõju ja täiendavate uuringute vajadust, et tuvastada optimaalne ooteaeg erinevate viljelusviiside lõikes, liigitub see meede 2. kategooriasse. Meedet võib integreerida väetiste laotamise ajastamise haldussüsteemiga.

## IX. Teised põllumajandusliku lämmastikuga seotud meetmed

### A. Karjatamine

196. Karjatavate loomade poolt eritav uriin imendub sageli pinnasesse enne, kui  $\text{NH}_3$  jõuab märkimisväärselt lenduda. Seetõttu tekib karjatamisel looma kohta vähem  $\text{NH}_3$  heidet kui laudaspidamisel, kus väljaheiteid kogutakse, hoiustatakse ja laotatakse. Heite koguse vähenemine, mis saavutatakse karjatamisperioodi pikendamise, sõltub baastasemest (mittekarjatavate loomade heide), karjatamisperioodi pikkusest ja karjamaa lämmastikväetistega väetamise tasemest. Võimalikku karjatamisperioodi pikendamist võib piirata rohumaade olemasolu, mulla tüüp, pinnamood, ettevõtte suurus ja struktuur (vahemaad), kliimaatilised tingimused, majanduslikud mõjurid jms. Tuleb arvestada, et loomade täiendav karjatamine võib suurendada teisi lämmastikuheite vorme (nt  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3$ ). Arvestades aga hästi määratletavat mõju  $\text{NH}_3$  heitele, saab karjatamisperioodi pikendamist liigitada 1. kategooria meetmeks (tulenevalt muudatusest ajaperioodis, mil loomad ööpäevas laudas või karjamaal veedavad). Heite vähenemise efektiivsust arvestatakse  $\text{NH}_3$  heitekoguse suhtelise koguhulgaga karjamaalt vs laudasüsteemidest (vt ka lõike 40 ja 52).

197. Osalise laudaspidamise perioodi muutmise mõju (nt karjatatakse vaid päevasel ajal) ammoniaagi heite vähenemisele ei ole nii selgepiiriline ja see liigitub 2. kategooria meetmeks. Üleminek täielikult laudaspidamiselt päevasele karjatamisele ei ole  $\text{NH}_3$  heite vähendamise kontekstis nii efektiivne kui ööpäevaringse karjatamise rakendamine, kuna hooned ja hoidlad jäävad sõnnikuga saastunuks ning  $\text{NH}_3$  emissioon jätkub (vt ka lõike 40 ja 52).

## B. Sõnniku töötlemine

198. Uuritud on paljusid sõnniku töötlemise tehnoloogilisi lahendusi, mille eesmärgiks on NH<sub>3</sub> heite vähendamine. Mõned potentsiaalselt lootustandvad variandid on järgmised:

(a) *tahe- või vedelsõnniku kompostimine kuivainerikaste materjalide lisamise kaasabil*: eksperimentide tulemused on väga erinevad, sageli NH<sub>3</sub> heite suurenes. Seetõttu tuleks sõnniku kompostimise tehnoloogiate rakendamisel kaaluda täiendavate NH<sub>3</sub> heidet vähendavate meetodite kasutamist, näiteks katted ja õhupuhastussüsteemid;

(b) *vedelsõnniku denitrifikatsiooniprotsessi kontrollimine*: eksperimentaalsetes vedelsõnniku ladustamisjaamades on leitud, et NH<sub>3</sub> heidet on võimalik vähendada, muutes ammoonium kontrollitud denitrifikatsiooniprotsessi käigus (keskkonnas vahelduvad aeroobsed ja anaeroobsed tingimused) molekulaarseks lämmastikuks (N<sub>2</sub>). Protsessi läbiviimise jaoks on vajalik spetsiifiline sõnnikuhoidla (reaktor). Tehnoloogia efektiivsus, töökindlus ja mõju teistele vedelsõnnikuga seonduvatele saasteainetele vajab edasist uurimist;

(c) *vedelsõnniku separeerimine fosfori eraldamise või allapanuna kasutamise eesmärgil*: nimetatud tehnoloogiatega seonduvaid saasteainete heiteid tuleb veel põhjalikumalt uurida.

199. Sõnniku töötlemise tehnoloogiate efektiivsust tuleks käsitleda (uurida) konkreetsele riigile või ettevõttele omastes tingimustes. Lisaks NH<sub>3</sub> heitele tuleks hinnata mõju teiste saasteainete heitmetele, toitainete taseme kõikumisi ja vastava tehnoloogia rakendatavust konkreetse ettevõtte tingimustes. Andmete vähesuse tõttu tuleb kirjeldatud meetmeid sageli liigitada teise või kolmandasse kategooriatesse. Erandiks on õhupuhastussüsteemide kasutamine hoonetes, kus sõnnikut kompostitakse (1. kategooria). Nimetatud tehnoloogiat on põhjalikult testitud, kuid see on kulukas.

## C. Mittepõllumajanduslik sõnniku kasutamine

200. Kui sõnnikut kasutatakse väljaspool põllumajandussektorit, võib põllumajandusliku heite koguhulk väheneda. Sellise kasutuse näideteks (mõnes riigis juba levinud) on linnusõnniku põletamine ning hobuse- ja linnusõnniku kasutamine seenekasvatuses. Heite vähenemine sõltub sõnniku ettevõttest eemaldamise kiirusest ja kasutamise viisist. Heite üldine vähenemine saavutatakse vaid siis, kui sõnniku kasutamine väljaspool põllumajandussektorit ei tekita lisaheideid (sh teiste saasteainete lendumist lisaks ammoniaagile). Näiteks sõnniku kasutamine aianduses või sõnniku eksportimine teistesse riikidesse ei vähenda heite koguhulka. Arvestada tuleks ka teisi keskkonnaga seonduvaid aspekte, näiteks lindude sügavallapanusõnniku põletamine on taastuv energiaallikas, kuid kõiki allapanus leiduvaid toitaineid ei saa põllumajanduses taaskasutada.

## X. Mittepõllumajanduslikud statsionaarsed ja mobiilsed lämmastikuheite allikad

201. Mittepõllumajanduslikeks NH<sub>3</sub> allikateks on mootorsõidukid, jäätmekäitlus, tahkete kütuste põletamine kodumajapidamistes ja mitmed tööstusharud, millest Euroopas on tõenäoliselt kõige olulisem väetiste tootmine. Lisaks eksisteerib väike, kuid summaarselt märkimisväärne rühm looduslike allikaid, näiteks inimeste hingeõhk ja higi ning

metsloomade tekitatav heide (Sutton jt, 2000). ÜRO Euroopa Majanduskomisjoni heitmete raporteerimise protokollides ei eristata hetkel looduslikke ja inimtekkelisi allikaid samal viisil nagu seda tehakse lenduvate orgaaniliste ühendite puhul.

202. Paljudele eelnimetatud sektoritele on iseloomulik, et varasemalt on NH<sub>3</sub> heite tekitamist ignoreeritud. Nagu allpool nähtub, on see kõige märkimisväärsem olnud transpordisektori puhul. Esimene soovitus mittepõllumajanduslikest allikatest pärit NH<sub>3</sub> heite vähendamiseks on üldine ammoniaagiheittega arvestamine tööstussektori ja muude allikate hindamisel. Kui leitakse, et NH<sub>3</sub> heide suureneb või mõne tehnilise modifikatsiooni tagajärjel võib tõenäoliselt suureneda, siis tuleks kaaluda viise, kuidas vastavaid süsteeme (tehnoloogiasid) heite vältimiseks või minimeerimiseks optimeerida.

## A. Tööstuslikud tehnikad

203. **Venturi skraberid** sobivad suurtele kõrge NH<sub>3</sub> kontsentratsiooniga gaasi vooluhulkadele. Heite vähendamise kulud on suurusjärgus 3500 € tonni kohta, arvestamata skraberis tekkiva jääkvedeliku töötlemise kulusid. Kõigi käesolevas peatükis kirjeldatud juhtumite kulutõhusus sõltub paigaldise suurusest, NH<sub>3</sub> kontsentratsioonist ja muudest teguritest.

204. **Lahjendatud happe skraberid**, mis koosnevad tornide süsteemist, kus ringleb nõrgalt happeline vesi, sobivad kasutamiseks gaasi vooluhulga korral 50–500 tonni aastas. Tehnoloogia rakendamist piiravad sobimatus suuremahulistele gaasi vooluhulkadele, potentsiaalselt kõrge jääkvedeliku töötlemise kulu ja väävelhappe ladustamisega seotud riskid. Teadaolevad kulud erinevad suurtes piirides, olles 180–26 000 € NH<sub>3</sub> tonni kohta. Erinevused tulenevad jällegi paigaldise suurususest ja gaasi NH<sub>3</sub> kontsentratsioonist.

205. Termilise töötlemise korral kasutatakse gaasis leiduva NH<sub>3</sub> põletamiseks täiendavat kütust (tavaliselt maagaasi). Teadaolevalt jäävad kulutused vahemikku 1900–9100 € NH<sub>3</sub> tonni kohta.

206. Biofiltreerimine sobib väikese mahuga ja madala NH<sub>3</sub> kontsentratsiooniga gaasi vooluhulkadele, vähendades heidet ca 1 tonni võrra aastas. Väikestele saasteallikatele on see madalamaid kulutusi kaasa toov tehnika. Sõltuvalt sektorist on heite vähendamise kulud vahemikus 1400–4300 € tonni kohta.

207. Käesolevas peatükis kirjeldatud tehnikate heite vähendamise efektiivsus on harilikult ca 90%.

## B. Meetmed, mis sobivad loetletud sektoritele

208. **Maanteetranspordist pärinev NH<sub>3</sub> heide** suurenes 1990-ndatel, pärast katalüsaatoriga sõidukite kasutuselevõttu tunduvalt (Suurbritannias ja Põhja-Iirimaal läbiviidud uuringu kohaselt suurenes heide 14 korda). Probleemi lahendatakse peamiselt efektiivsemate kütuse põletamise kontrollsüsteemide kasutuselevõttuga, viies mehhaanilise karburaatori süsteemi üle arvutipõhisele juhtimisele, kus õhu ja kütuse suhet reguleeritakse oluliselt täpsemalt. Kütuste väävlisisalduse vähendamine, mõned meetodid diiselmootoritest pärit lämmastikoksiidide (NO<sub>x</sub>) heite alandamiseks ja mõningate alternatiivkütuste kasutusele võtmine võib NH<sub>3</sub> heidet suurendada. Vaatamata kõikidele tegevustele, mis seonduvad NH<sub>3</sub> heitega antud sektoris, ei ole autotootjad ega seadusandjad ammoniaaki siiani prioriteetseks saasteaineks pidanud. Seega on tehnoloogiliste muudatuste mõju arvestamine

NH<sub>3</sub> heite aspektist oluline nii selles kui ka teistes sektorites. See annab võimaluse heidet vältida või minimeerida juba projekteerimise etapis, kui vastav potentsiaalne probleem on tuvastatud.

209. **Ammoniaagiheide statsionaarsetest katalüütilistest saastetõrjeaamadest.** Mitmes sektoris võib suurimaks NH<sub>3</sub> heite allikaks osutada NH<sub>3</sub> emissioon NO<sub>x</sub> tõrjerajatistes. Kasutatakse kahte tüüpi tehnikaid: NH<sub>3</sub> eemaldamine heitgaasidest skraberitega, mis vähendab heidet ca 40 mg-ni kuupmeetri kohta st kuni ca 90% võrra, ja NO<sub>x</sub> eemaldamise seadmete efektiivsem juhtimine ja kontroll. Kirjeldatud viisil NH<sub>3</sub> heite tekkimise võimalust tuleb hoolikalt analüüsida, kuna NO<sub>x</sub> eemaldamise seadmete kasutamine laieneb kiiresti karmistuvate PVT nõuete tõttu.

210. **Mitteaurustavad jahutussüsteemid** sobivad suhkrupeedil baseeruvatele suhkrutööstustele. Heite vähendamise efektiivsus nimetatud tehnoloogia rakendamisel on enam kui 95%. Kulused hinnatakse 3500 eurole vähenenud NH<sub>3</sub> tonni kohta.

211. **Heitkoguseid kodumajapidamistes kasutatavatest põletusseadmetest** saab vähendada paljude erinevate võtetega, alates energiatõhusamate põletusseadmete kasutuselevõttust kvaliteetsemate kütuste kasutamiseni. Mõne potentsiaalse lahenduse rakendamine osutub sageli problemaatiliseks, näiteks maagaasi taristu puudumise (tehniline) või selle tõttu, et inimestele meeldib avatud kamina välimus (esteetiline).

212. **Prügilate katmine.** Jäätmete ladestamine prügilatesse või nende kompostimine omab suurt NH<sub>3</sub> heite potentsiaali. Prügilate metaaniheite kontrollimine, näiteks katmine ja prügilagaaside põletamine või muul otstarbel kasutamine vähendab samuti NH<sub>3</sub> heidet.

213. **Biofiltreerimist** (vt ülalpool) kasutatakse edukalt paljudes kompostimisega tsentraliseeritult tegelevates ettevõtetes peamiselt lõhnasaaste, mitte konkreetselt NH<sub>3</sub> heite vähendamiseks. Üldine põhimõte nii kodusele kui ka tööstuslikule kompostimisele on süsiniku ja lämmastiku massivahekorra jälgimine, mis peaks optimaalselt olema 30 : 1.

214. **Hobused.** Selgitamist vajab hobustega seotud heite põllumajanduslikes ja mittepõllumajanduslikes inventuurides kajastatuse määr. Oluline osa hobuseid peetakse väljaspool põllumajandusettevõtteid, seega võib vastav osa heitest põllumajanduslikest inventuuridest välja jääda. Hobuste pidamisega seotud heite vähendamise tõhusaimad lahendused on tallide hea korrashoid, piisava koguse uriini absorbeeriva allapanu tagamine ja igapäevane sõnnikueemaldus. On vähetõenäoline, et väiketallides võetakse kasutusele keerukamaid heite kontrolli meetmeid heitmete kontrollimiseks, näiteks vedel- ja tahesõnnikuhoidlate rajamine (kirjeldatud dokumendi teistes peatükkides).

### C. Anorgaaniliste lämmastikväetiste, karbamiidi ja ammoniaagi tootmine

215. Suurimad tööstuslikud NH<sub>3</sub> heite allikad on segaväetiste tehased, kus toodetakse ammooniumfosfaati, nitrofosfaate, kaaliumkarbonaati (potast), liitväetisi, karbamiidi ja ammoniaaki. Kõige enam ammoniaagiheidet tekitab nimetatud sektoris ammooniumfosfaadi tootmine. Teadaolevate andmete kohaselt lendub ammooniumfosfaadi tootmisel 0,1–7,8 kg ammoniaaklämmastikku tonni toodetud väetise kohta.

216. Lämmastikväetiste tootmine hõlmab tehaseid, kus toodetakse ammoniaaki, karbamiidi, ammooniumsulfaati, ammooniumnitraati ja/või ammooniumsulfaatnitraati. Harilikult toodetakse nimetatud tehastes kohapeal ka protsessis kasutatavat lämmastikhapet. Ammoniaagiheide tekib eriti suure tõenäosusega siis, kui lämmastikhapet neutraliseeritakse kristalse ammoniaagiga. Skraberitega on heidet võimalik vähendada 35 mg/m<sup>3</sup> või isegi

madalamale. Ammoniaagi emissioonifaktorid nõuetekohaselt toimivates tehastes on aruannete järgi 0,25–0,5 kg NH<sub>3</sub> ühe tonni toodangu kohta.

217. Täiendavate saaste vähendamise meetmete rakendamist, skraberite, tsüklonite ja kottfiltrite kõrval, mis on tehaste projekteerimise ja tootmisprotsessi lahutamatu osa, ei ole väetiste tootmises tavaliselt nõutud. Tavapäraselt on võimalik saavutada NH<sub>3</sub> heite piirväärtuseks 50 mg NH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup> maksimeerides toodete taaskasutust ja minimeerides atmosfääriheidet puhastusseadmete efektiivsuse suurendamisega.

218. Hästi toimivas NPK väetiste tootmisega tegelevas tehases on NH<sub>3</sub>-N heide nitrofosfaadi kasutamise korral 0,3 ning erinevate hapete kasutamisel vastavalt 0,01 kg tonni toodetud väetise kohta. Emissioonifaktorid erinevad siiski suurel määral sõltuvalt toodetud väetise klassist.

219. Karbamiidi tootmise ammoniaagiheidet sõltub tehnoloogiast. Eriheidet on järgmised: tagastatava reaktsioonisegu absorptsiooniprotsessist 0,1–0,5 kg NH<sub>3</sub>/t karbamiidi, absorptsiooniprotsessist karbamiidi kontsentreerimisel 0,1–0,2 kg NH<sub>3</sub>/t karbamiidi, karbamiidi pihustuskristallisatsioonist 0,5–2,2 kg NH<sub>3</sub>/t karbamiidi ja granuleerimisest 0,2–0,7 kg NH<sub>3</sub>/t karbamiidi. Pihustuskristallisatsiooni torn on karbamiiditolmu allikas (0,5–2,2 kg NH<sub>3</sub>/t karbamiidi), nagu ka granulaator (0,1–0,5 kg/t karbamiiditolmu).

220. Karbamiiditehastes kasutatakse tolmuheidet vähendamiseks pihustuskristallisatsiooni tornides ja toote pakkimisel skrabereid või kangasfiltreid. Vastavad tehnoloogiad on sarnased mineraalväetiste tootmise tehastes kasutatavatele ning need on tootmisprotsessi lahutamatuks osaks. Nõuetekohasel käitamisel jäävad tahkete peenosakeste heite piirväärtused nii kristalse karbamiidi kui ka ammoniaagi tootmisel väiksemaks kui 0,5 kg ühe tonni produkti kohta.

## Lisa I

### Lämmastiku käitlemine, arvestades kogu lämmastikuringet

1. Käitlemist võib defineerida kui sidusat toimingute kogumit mingite eesmärkide saavutamiseks. Definiitsioon kehtib kõigile majandussektoritele, sh põllumajandusele. Lämmastikukäitlust saab defineerida kui „lämmastiku kasutamisega seotud sidusat toimingute kogumit põllumajanduses, mille eesmärk on paremate agronoomiliste ja keskkondlike/ökoloogiliste tulemuste saavutamine“ (O. Oenema ja Pietrzak, 2002). Agronoomilised eesmärgid on seotud saagikuse ja toodangu kvaliteediga ning loomakasvatuse kontekstis vastavalt tootlikkuse ja loomade heaoluga. Keskkondlike/ökoloogilised eesmärgid seonduvad põllumajanduslike lämmastikukadudega. Kogu lämmastikuringe käsitlemisel tuleb arvestada selle kõikide tahkudega, sh  $\text{NH}_3$  heite vähendamise meetmete rakendamisel, vältimaks saasteinete ülekannet ühest keskkonnast või vormist teise.

2. Lämmastik on kõigi taimsete ja loomsete valkude (ja ensüümide) koostisosa ning osaleb fotosünteesis, eutrofeerumises, hapestumises ja erinevates oksüdatsiooni-reduktsiooni (redoks) protsessides. Nimetatud protsesside käigus muutub lämmastiku vorm (ühendid), reaktiivsus ja mobiilsus. Peamised mobiilsed vormid on gaasilised ühendid, nagu  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , lämmastikoksiidid ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  ja  $\text{N}_2\text{O}$ ), vees lahustuvad ühendid: nitraadid ( $\text{NO}_3^-$ ), ammoonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ja lahustunud orgaanilised lämmastikuühendid (DON).

Orgaanilises aines on enamik lämmastikust amiidide kujul, mis on seotud orgaanilise süsinikuga ( $\text{R-NH}_2$ ). Kuna reaktiivne lämmastik on mobiilne nii õhus kui ka vees, nimetatakse seda ka „topeltmobiilseks“ lämmastikuks.

3. Lämmastikuringe on tihedalt seotud süsiniku ja teiste toitainete ringetega. Seega võib lämmastiku käitlemine mõjutada süsinikuringet,  $\text{CO}_2$  netoheidet atmosfääri ja süsiniku sidumist muldadesse. Tavapäraselt esineb lämmastikuheite puhul ka süsinikuheidet ja vastupidi. Sellest nähtub lämmastikukäitluse olulisus ettevõtte kui terviku aspektist.

4. Sõltuvalt põllumajandussüsteemist hõlmab lämmastiku käitlemine ettevõtte tasemel eri toimingute integreerimist, nendeks on:

- (a) põllukultuuride väetamine;
- (b) põllukultuuride kasvatamine, koristamine ja jääkide käitlemine;
- (c) vahekultuuride või kattevilja kasvatamine;
- (d) rohumaade haldamine;
- (e) mullaharimine, kuivendamine ja niisutamine;
- (f) põllumajandusloomade söötmine;
- (g) põllumajandusloomade pidamine (sh arvestades heaolu), sh loomapidamishooned;
- (h) sõnnikukäitlus, sh sõnniku ladustamine ja laotamine;
- (i) ammoniaagiheite vähendamise meetmed;
- (j) nitraatide leostumise ja ärakande vähendamise meetmed;
- (k)  $\text{N}_2\text{O}$  heite vähendamise meetmed;



## (l) denitrifikatsiooni vähendamise meetmed.

Maksimaalse taimsete ja loomsete saaduste tootlikkuse saavutamiseks minimaalse lämmastikukao ja muude soovimatute keskkondlike tagajärgedega peavad kõik tegevused olema integreeritud ja omavahel tasakaalus.

5. Lämmastik on taimekasvuks hädavajalik. Taimekasvatases on see sageli limiteerivaim toitaine. Seega peab optimaalse saagikuse saavutamiseks pinnases olema piisaval hulgal taimedele kättesaadavat lämmastikku. Liigne ja/või valel ajal laotatud lämmastik on keskkonnas peamine lämmastikukao allikas, sh  $\text{NH}_3$  heide õhku. Liigse või valesti ajastatud lämmastiku laotamise vältimine on üks tõhusamaid viise lämmastikukao (ja muude negatiivsete keskkonnamõjude) minimeerimiseks, mõjutamata seejuures taime- ja loomakasvatustoodangut. Kinni tuleks pidada piirkondlikest toitainete käitluse parimate praktikate juhistest, milleks on:

- (a) kõigi möödapääsamatult vajalike toitainete käitluse kavandamine ja arvestus;
- (b) lämmastiku koguvajaduse kalkuleerimine põllukultuuride lõikes, tuginedes realistlikele saagikuse prognoosidele, taimiku lämmastikusisaldusele ning põllukultuuride lämmastiku omastamise efektiivsusele;
- (c) mullas sisalduva lämmastiku koguhulga hinnang üldtunnustatud meetodite abil:
  - (i) mineraalne lämmastik ülemistes mullakihtides külvi ajal ja taimekasvu eri etappidel (mulla ja/või taimiku keemilise analüüsi alusel);
  - (ii) eelmiste külvide taimejäänuste mineralisatsioon;
  - (iii) mulla orgaanilise aine netomineralisatsioon, sh sõnniku mitmeaastane jääkmõju ning karjamaadele jäävad loomade väljaheidet;
  - (iv) reaktiivse lämmastiku sadestumine atmosfäärist;
  - (v) liblikõieliste bioloogiline atmosfäärilämmastiku sidumine;
- (d) lämmastiku laotusnormi kalkulatsioon, lähtudes põllukultuuri lämmastikuvajadusest ja selle olemasolust mullas;
- (e) põllumajandusloomade sõnnikus sisalduvate toitainete koguse kalkulatsioon (sõnniku laotusnorm) lähtuvalt taimiku toitainete omastamise võimest. Sõnniku laotusnorm sõltub:
  - (i) põllukultuuri lämmastiku, fosfori ja kaaliumi vajadustest;
  - (ii) mullas leiduvatest lämmastiku, fosfori ja kaaliumi varudest, (vastavalt mulla keemilisele analüüsile);
  - (iii) põllumajandusloomade sõnniku kättesaadavusest;
  - (iv) kiiresti omastatava lämmastiku, fosfori ja kaaliumi sisaldusest sõnnikus;
  - (v) aeglaselt kättesaadavate toitainete vabanemise kiirusest sõnnikus, sh sõnniku mitmeaastastest jääkmõjudest;
- (f) mineraalsete lämmastikväetiste ja muude toitainete vajaduse hinnangust, arvestades põllukultuuride lämmastikuvajaduse ja mullas olemasoleva ning põllumajandusloomade sõnnikust saadava lämmastikuga;

(g) põllumajandusloomade sõnniku ja/või lämmastikväetiste laotamisest vahetult enne kiire taimekasvu algust, kasutades  $\text{NH}_3$  heidet ennetavaid meetodeid ja tehnikaid;

(h) lämmastikväetiste laotamisest mitmes osas, vajadusel lähtuvalt põllukultuuri keemilise analüüsi tulemustest.

6.  $\text{NH}_3$  koguheitte vähendamiseks on eelistatud meetmed, mis vähendavad ühtlasi ka teisi soovimatuid lämmastikuga seotud heitmeid, samal ajal säilitades või parandades tootlikkust (sünergilised mõjud).  $\text{NH}_3$  heidet vähendavad meetmed, mis suurendavad teisi soovimatuid heitmeid (vastandlik mõju) tuleks aga modifitseerida nii, et vastandlikud mõjud väheneksid. Vastandlikuks mõjuks võib olla näiteks mäletsejaliste seedeprotsessist lähtuva  $\text{CH}_4$  heite suurenemine. Vähendamismeetmete rakendamine peaks vältima muud tüüpi saaste suurenemist (nt fosfori kaod, haigustekitajate levik, mulla erosioon) või suuremat ressursikasutust (nt kütus), toidukvaliteedi langust (nt antibiootikumide, hormoonide ja pestitsiidide kasutamise suurenemine) ning negatiivset mõju põllumajandusloomade tervisele ja heaolule (nt liikumisala vähenemine või loomade asustustiheduse suurenemine loomapidamishoones) (Jarvis jt, 2011).

7. Lämmastiku käitlemise tõhusust saab hinnata (a) lämmastiku ülejäägi (N ülejääk) vähenemise ja (b) lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) suurenemise alusel. Efektiivsuse näitajad iseloomustavad toodangus sisalduva ja laotatud või summaarselt kasutatud lämmastiku koguste suhet. N ülejääk viitab ettevõtte keskkonnasurvele. See sõltub kanalist, kuidas üleliigne lämmastik kaob, kas  $\text{NH}_3$  lendumise, lämmastiku leostumise ja/või nitrifikatsiooni/denitrifikatsiooni kaudu. Lämmastiku sihipärane kasutamine avaldab suurt mõju nii NUE-le (Tamminga 1996; Mosier, Syers ja Freney, 2004) kui ka N ülejäägile.

8. Ettevõtte tasandil iseloomustab NUE-d lämmastiku koguväljundi (ettevõttest välja viidavad tooted) ja lämmastiku kogusisendi (ettevõttesse sisse toodav lämmastik, sh  $\text{N}_2$  bioloogiline fikseerimine) massibilanss (suhe). Lämmastiku kogusisend miinus lämmastiku koguväljund (kogus pindalaühiku kohta) iseloomustab ettevõtte tasandil aga lämmastiku üle- või puudujääki.

9. Tavapärast eristatakse lämmastiku sisendite ja väljundite bilanssi ning sisendite ja väljundite kogusuhet. Bilanss ja kogusuhtes kasutatakse sarnast sisendinformatsiooni, peamiseks erinevuseks on asjaolu, et bilanss kajastatakse lämmastikuväljundit ainult koristatud/müüdava toodangu baasil, samas kui kogusuhtes arvestatakse lämmastiku väljundit koristatud/müüdava toodangu ja vastava tootmissüsteemiga seonduvate kadude summaga. Seega sisaldab kogusuhe andmeid kõigist lämmastikuvoogudest.

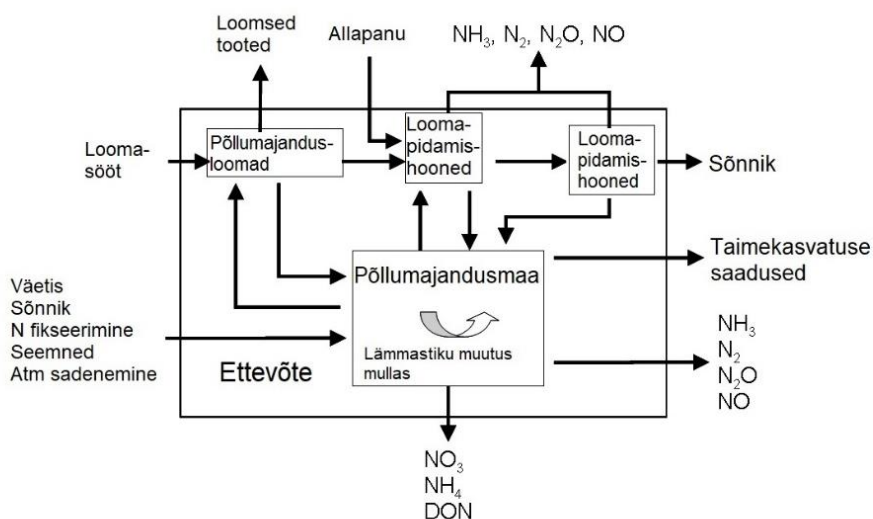
10. Lämmastiku sisendite ja väljundite bilansi koostamiseks on mitmeid võimalusi, sh lämmastiku brutobilanss, mullapinna bilanss, taluvärrava bilanss ja ettevõttebilanss (Watson ja Atkinson, 1999; Schroder jt, 2003; O. Oenema, Kros ja de Vries, 2003; OECD, 2008). Põhimõtteliselt arvestatakse lämmastiku bruto- ja mullapinna bilanss kõiki lämmastiku sisendeid haritavale maale ja kõiki lämmastiku väljundeid haritavalt maalt koristatud saagis. Bilansid erinevad selle poolest, kuidas neis on arvestatud sõnniku lämmastikku. Brutobilanss arvestatakse sisendüksusena loomade poolt eritatava lämmastiku koguhulka, seevastu mullapinna bilanss korrigeeritakse loomade poolt eritatud lämmastiku kogust vastavalt pidamis- ja sõnniku ladustamistehnoloogiaga seonduva  $\text{NH}_3$  heite võrra. Taluvärrava- ja ettevõttebilanss arvestatakse kõiki talu/ettevõtte lämmastikusisendeid ja -väljundeid. Ettevõttebilanssi on kaasatud ka atmosfäärisadestusest pärinev lämmastik (nii redutseerunud kui ka oksüdeerunud lämmastikuühendid) ja  $\text{N}_2$  bioloogiline fikseerimine. Kõlviku, ettevõtte, piirkondlikul ja riiklikul tasemel on võimalik rakendada erinevaid

meetodeid. Bilansside koostamisel tuleb kasutada standardseid meetodeid ning võrreldavuse parandamiseks rakendatud metoodikat raporteerida.

11. Kõige keerulisem on lämmastiku kogusuhte arvestus segatüüpi (taime- ja loomakasvatus) ettevõttes (joonis AI.1). Peamisteks sisenditeks on mineraalväetised, imporditud sõnnik, atmosfäärilämmastiku fikseerimine mõnedes (peamiselt liblikõielistes) põllukultuurides, sadenemine atmosfäärist ja kastmisveest ning põllumajandusloomade söödast pärinev lämmastik. Seemneviljast ja allapanust pärinev sisend on üldiselt väike, mõnes traditsioonilises loomakasvatussüsteemis võib viimane olla siiski märkimisväärne. Peamised väljundid seonduvad taimse ja loomse toodangu ning eksporditud sõnnikuga. Gaasilised kaod tekivad sõnnikust loomapidamishoonetes, sõnnikuhoidlates ja laotamisel. Muud gaasilised kaod on seotud kõlvikutega: laotatud väetised, kultuur, mulla omadused ja taimejäänused mullas. Heide põhja- ja pinnavette tekib nitraatide, ammooniumi ja lahustunud orgaaniliste lämmastikuühendite (DON) leostumisest või ärakandest. Esineda võib ka lahustumatu orgaanilise lämmastiku ärakannet.

Joonis AI.1

### Segatüüpi ettevõtte lämmastiku kogusuhe

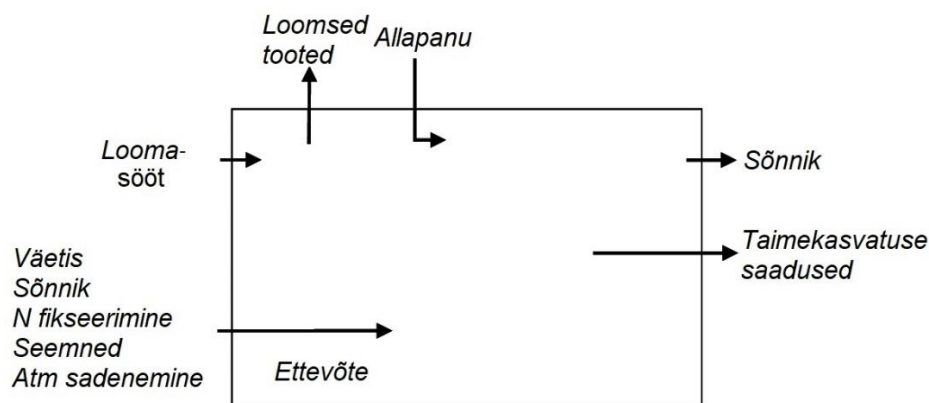


Allikas: Jarvis jt, 2011.

12. Segatüüpi ettevõtte lämmastikubilansi komponendid on toodud joonisel AI.2. Ettevõtte lämmastikubilansi kalkuleerimine on oluliselt lihtsam kui ettevõtte lämmastiku kogusuhte arvutamine, kuna lämmastikubilansis ei kajastu lämmastikuheide õhku, pinna- ja põhjavette. Samuti on oluliselt lihtsam ainult taime- või loomakasvatusega tegeleva ettevõtte lämmastikubilanss võrreldes segatüüpi ettevõtte taluvärava bilansiga, kuna lämmastikusisendeid ja -väljundeid on vähem.

Joonis AI.2

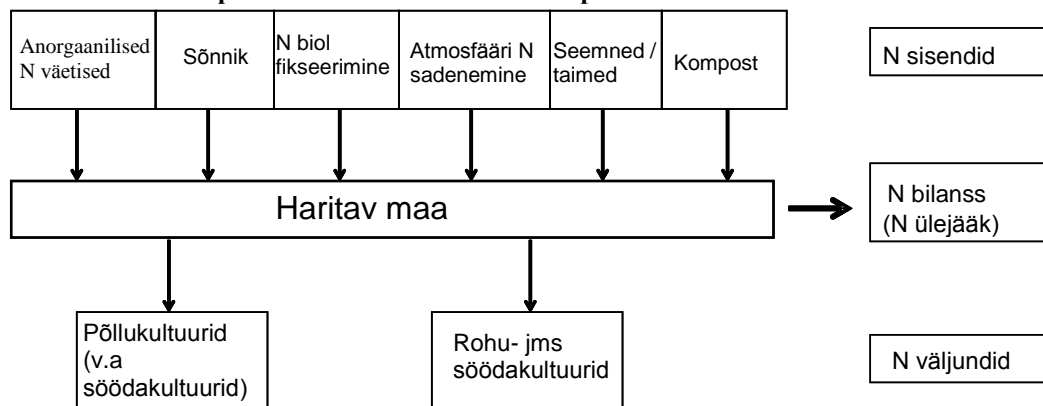
## Segatüüpi ettevõtte lämmastikubilansi komponendid



13. Taimikasvatusele spetsialiseerunud ettevõtte mullapinna lämmastikubilanss on toodud joonisel AI.3. Peamised lämmastikuisendid on mineraalväetised, sõnnik, atmosfäärlämmastiku fikseerimine mõnedes (peamiselt liblikõielistes) põllukultuurides ja sadenemine atmosfäärist. Lämmastikuisendite hulgas võivad kajastuda ka muud tahked bioloogilised ning orgaanilised lisandid nagu kompost ja multš. Sisendite kogus seemneviljas ja kompostis on harilikult väheoluline. Peamine väljund on toodang, kas teravilja või kogu taimse materjalina. Tuleb arvestada, et peale sõnniku, muid loomseid saadusi mullapinna bilansis ei kajastata, kuna neid kõlvikutele ei laotata.

Joonis AI.3

## Taimikasvatusele spetsialiseerunud ettevõtte mullapinna lämmastikubilanss



Allikas: OECD, 2008.

14. Lämmastikubilansi ja NUE kui indikaatorite rakendamisel ettevõtte tasandil tuleb eristada järgmisi ettevõtteid:

- (a) taimekasvatusele spetsialiseerunud ettevõtteid;
- (b) segatüüpi (taime- ja loomakasvatus) ettevõtteid;
- (c) loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõtteid.

15. Taimakasvatusele spetsialiseerunud ettevõtetes on  $\text{NH}_3$  heite allikaid võrdlemisi vähe. Nendeks võivad olla imporditud sõnnik, karbamiid- või ammooniumväetised, põllukultuurid ja taimejäänused mullas. Nimetatud ettevõtteid saab jagada alamkategoriasse põllukultuuride viljavahelduse põhjal (vastavalt tera-, kaun-, juur- ja kõögiviljade osatähtsus). Loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõtted toodavad ainult loomseid saadusi (piim, liha, munad, loomsed kõrvalsaadused ja sõnnik) ning kõik loetletud tooted viiakse ettevõtetest välja. Orgaanilise süsiniku anaeroobse käärimisega (biogaas) võidakse toota ka energiat. Vastavaid ettevõtteid saab jagada alamliikidesse loomaliikide lõikes (nt sead, linnud ja veised). Segatüüpi ettevõtetes on esindatud nii taime- kui ka loomakasvatussaaduste tootmine. Taimakasvatuse toodang söödetakse harilikult loomadele ja sõnnik laotatakse põldudele. Nimetatud ettevõtteid saab jagada alamliikidesse, kas loomaliikide või tootmissuuna alusel (piimaveised, lihaveised, sead jms) või loomade asustustiheduse (söödaga isevarustatuse) alusel.

16. Praktikas on ettevõtete vahelised erinevused NUE (sisendite/väljundite suhe) ja N ülejäägi (sisendid miinus väljundid) lõikes suured, kuna nii ettevõtete majandamine kui ka rakendatavad tootmissüsteemid on erinevad (vastavalt põllukultuuridele ja loomaliikidele, loomade asustustihedusele ja tootmissüsteemi intensiivsusele). Põllumajandussüsteemide laiematele kategooriatele on antud orienteeruvad vahemikud (vt tabelit AI.2).

17. Lämmastikubilansi ja lämmastiku sisendite-väljundite suhet saab kalkuleerida ka ettevõttesiseselt tootmisüksuste lõikes, eriti segatüüpi tootmise korral. NUE määramiseks võib rakendada kolme näitajat või taset:

- (a) söödalämmastiku konverteerumine loomseteks saadusteks (söödalämmastiku loomseks valguks konverteerumise efektiivsus või looma söödalämmastiku kasutamise efektiivsus);
- (b) sõnnikus ja mineraalväetistes sisalduva lämmastiku konverteerumine taimseks valguks (sõnniku/väetiste lämmastiku konverteerumise efektiivsus);
- (c) NUE kogu ettevõttes.

18. Vastavaid efektiivsuse näitajaid arvutatakse lämmastikuväljundi ja -sisendi massi suhtena:

(a) Sööda NUE =  $[(N \text{ piimas, loomade kehamassi juurdekasvus ja munades}) / (N \text{ põhi- ja jõusöödas})] \times x$ ;

(b) Sõnniku/väetise NUE =  $[\text{põllukultuuride lämmastiku omastamine} / \text{sõnniku või muu väetisega laotatud lämmastik}] \times 100\%$ ;

(c) Kogu ettevõtte NUE =  $[\Sigma(\text{ettevõtetest välja viidud N}) / \Sigma(\text{ettevõttesse sisse toodud N})] \times 100\%$ .

Soovituslikud lämmastiku kasutamise efektiivsuse vahemikud piimatootmisettevõtetele on toodud tabelis AI.1.

Tabel AI.1

**Lämmastiku sisendite ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) soovituslikud väärtused piimatootmisettevõtetele**

<i>Sisendi väljundiks muutumise parameetrid</i>	<i>Lämmastikusisendi vahemik</i>	<i>NUE vahemik (%)</i>	<i>Allikas</i>
Toidu konverteerumine piimatoodanguks (sööda NUE)	512–666 g veis <sup>-1</sup> päevas <sup>-1</sup>	26–33	Powell jt (2006a)
	289–628 g veis <sup>-1</sup> päevas <sup>-1</sup>	22–29	Kebreab jt (2001)
	200–750 g veis <sup>-1</sup> päevas <sup>-1</sup>	21–32	Castillo jt (2000)
	496–897 g veis <sup>-1</sup> päevas <sup>-1</sup>	21–36	Chase (2004)
	838–1360 g veis <sup>-1</sup> päevas <sup>-1</sup>	16–24	Aarts jt (2000)
Sõnnik ja väetis põllu- ja karjamaale (sõnniku/väetise NUE)	359–749 kg ha <sup>-1</sup>	53–77	Aarts jt (2000)
	–	16–57	Beegle jt (2008)
Ettevõtte sisendid ettevõtte väljundiks (kogu ettevõtte NUE)	215–568 kg ha <sup>-1</sup>	14–55	Rotz jt (2006)
	150–370 kg ha <sup>-1</sup>	39–47	Rotz jt (2006)
	260–380 kg ha <sup>-1</sup>	23–36	Rotz jt (2005)
	240–423 kg ha <sup>-1</sup>	34–46	Rotz jt (1999)
	63–840 kg ha <sup>-1</sup>	8–55	Ovens jt (2008)
	–	25–64	Histov jt (2006)

Allikas: Powell, Rotz ja Weaver, 2009.

19. Söödalämmastiku kasutamise efektiivsuse (sööda NUE) või loomade söödalämmastiku kasutamise võime (looma NUE) hindamiseks tuleb teada tarbitud põhi- ja jõusöötade koguseid ning söötade ja loomsete saaduste (piim, liha, munad jms) lämmastikusisaldust. Põllumajandusloomade ja -lindude puhul võib piimas, munades, lihas ning ka elus- ja lihakeha kilogrammis sisalduva lämmastiku arvestamisel kasutada keskmisi, vastavatest tabelitest leitavaid väärtusi.

Tabel AI.2

**Lämmastiku ülejäägi (N ülejääk) ja lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) tüüpvaartused taime- või loomakasvatusele spetsialiseerunud ning segatüüpi ettevõtetele**

<i>Indeks</i>	<i>Arvutamine</i>	<i>Tõlgendamine</i>	<i>Tüüpasemed</i>
N ülejääk = kõigi lämmastikusisendite summa miinus ettevõttest väljaviidavad lämmastikuväljundid, väljendatuna kg/ha/a	N ülejääk = kõigi lämmastiku-sisendite summa miinus ettevõttest väljaviidavad lämmastiku-väljundid, väljendatuna kg/ha/a	N ülejääk sõltub tootmise tüübist, kasvatatavatest põllukultuuridest ja loomadest ning lämmastiku olemasolust mullas, välistest sisenditest (väetised ja sööt), majandamisest ja keskkonnaningimustest  N ülejääk väljendab lämmastiku kogukadu keskkonda  N puudujääk [ $\Sigma$ (sisendid <sub>N</sub> ) < $\Sigma$ (väljundid <sub>N</sub> )] viitab lämmastikuarude ammendumisele mullas  Loomakasvatusele spetsialiseerunud süsteemides (ilma maata) võib N ülejääk olla väga suur. See sõltub võimalikust lämmastikuväljundist sõnniku töötlemise ja ekspordi kaudu.	Sõltuvad tootmistüübist, põllukultuuridest ja loomadest:  Taimekasvatus: 0–50 kg/ha  Segatüüp: 0–200 kg/ha  Loomakasvatus: 0–1000 kg/ha
NUE = lämmastiku kasutamise efektiivsus, st lämmastikuväljund kasulikes saadustes jagatud lämmastiku kogusisendiga	NUE = $\frac{\Sigma (\text{väljundid}_N)}{\Sigma (\text{sisendid}_N)}$	NUE sõltub tootmise tüübist, kasvatatavatest põllukultuuridest ja loomadest ning lämmastiku olemasolust mullas, välistest sisenditest (väetised ja sööt), majandamisest ja keskkonnaningimustest  Loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõtetes (ilma maata) võib lämmastikuväljund tekkida sõnniku töötlemise ja ekspordi tulemusena	Sõltuvad tootmistüübist, põllukultuuridest ja loomadest:  Taimekasvatus: 0,6–1,0  Segatüüp: 0,5–0,6  Loomakasvatus: 0,2–0,6 <sup>a</sup>  Loomakasvatus: 0,8–0,95 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Sõnniku eksport puudub.

<sup>b</sup> Ilma maata ettevõtted; kogu sõnnik eksporditakse farmist välja.

20. Sõnniku/väetiste NUE hindamisel tuleb kasuks erinevate lämmastiku sisendallikate eristamine. „Väetise lämmastiku ekvivalentvärtus“ näitab seda, kui hästi sõnniku, komposti ja taimejäänuste lämmastikku kasutatakse võrreldes referentsväetise lämmastikuga (tavaliselt mõni NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> põhine väetis). Referentsväetise vastav väärtus on 100%. Kõrge ekvivalentvärtus on hea lämmastiku kasutamise efektiivsuse indikaator. Sõnniku lämmastiku ekvivalentvärtus sõltub sõnniku tüübist (tahke või vedel) ja loomaliigist (veised, sead, kodulinnud) ning ajaraamistikust (mõju laotamise aastal vs pikaajaline mõju). Samuti sõltub see põllukultuuri liigist ja keskkonnaningimustest (mulla tüüp, temperatuur, sademed).

Kõrge lämmastiku ekvivalentväärtuse korral on määravaim tegur käitlus, st laotamise aeg ja meetod. Tabelis AI.3 on toodud veiste, sigade ja lindude tahe- ja vedelsõnniku vastavad ekvivalentväärtuste vahemikud kirjanduses leiduvate andmete põhjal. Orgaanilistes lämmastikuallikates on märkimisväärne osa lämmastikust orgaaniliselt seotud. Taimedele muutub see kättesaadavaks alles pärast mineraliseerumist. Seetõttu eristatakse lühiajalisi (st kasvuaastal, vahetult pärast orgaanilise lämmastikuallika laotamist) ja pikaajalisi ekvivalentväärtusi, millest teine on suurem kui esimene. Mõnes orgaanilises lämmastikuallikas leidub ainult mineraallämmastikku ja kergesti mineraliseeruvat orgaanilist lämmastikku, mistõttu lühi- ja pikaajaliste ekvivalentväärtuste erinevused praktiliselt puuduvad.

Tabel AI.3

**Sõnniku ja mullas leiduvate taimejäänuste lämmastiku lühi- ja pikaajalise mõju ekvivalentväärtused (FNEV) võrreldes referentsväetisega (ammooniumnitraat), %**

Lämmastikuallikad	Väetise lämmastiku ekvivalentväärtused (%)	
	Lühiajaline	Pikaajaline
Separeeritud veiste ja sigade vedelsõnnik	70–100	70–100
Anaeroobselt töödeldud veiste ja sigade vedelsõnnik (digestaat ehk kääritusjääk)	40–60	50–80
Veiste vedelsõnnik	30–50	50–80
Sigade vedelsõnnik	30–65	50–80
Kodulindude vedelsõnnik	30–65	50–80
Veiste, sigade ja lindude tahesõnnik	20–40	40–60
Veiste, sigade ja lindude kompostitud tahesõnnik	20–40	40–60
Karjatatavate loomade uriin ja roe	10–20	20–40
Rohkem kui 2,5% N-sisaldusega taimejäänused	10–40	30–50
1,5–2,5% N-sisaldusega taimejäänused	0–30	20–40
Vähem kui 1,5% N-sisaldusega taimejäänused	0	0–20

*Allikad:* Berntsen jt, 2007; Bittman jt, 2007; Burton ja Turner, 2003; Chadwick jt, 2000; Gutser jt, 2005; Hadas jt, 2002; Hart jt, 1993; Hatch jt, 2004; Janssen, 1984; Jenkinson ja Smith, 1988; Kolenbrander ja De La Lande Cremer, 1967; Langmeier jt, 2002; MacDonald jt, 1997; Mosier, Syers ja Freney, 2004; Nevens ja Reheul, 2005; Rufino jt, 2006; Rufino jt, 2007; Schils ja Kok, 2003; Schröder jt, 2000; Schröder ja Stevens, 2004; Schröder 2005; Schröder, Jansen ja Hilhorst, 2005; Schröder, Uenk ja Hilhorst, 2007; Sommerfeldt, Chang ja Entz, 1988; Sørensen, 2004; Sørensen ja Amato, 2002; Sørensen, Weisbjerg ja Lund, 2003; Sørensen ja Thomsen, 2005; Van der Meer jt, 1987; Velthof jt, 1998.

*Märkus:* Sõnnikut laotatakse madala heitetasemega laotustehnikatega. Lühiajalised lämmastiku ekvivalentväärtused kehtivad õigeaegse laotamise korral laotamise aastal. Pikaajalised lämmastiku ekvivalentväärtused hõlmavad jääkmõjusid ja eeldavad laotamist igal aastal.



21. Kogu lämmastiku ülejääk (N ülejääk) ja selle kasutamise efektiivsus (NUE) taimekasvatusele spetsialiseerunud ettevõttes arvutatakse järgmiselt:

$$N \text{ ülejääk} = [\text{väetiste } N + \text{sõnniku } N + \text{komposti } N + \text{bioloogiline lämmastiku sidumine} + \text{atmosfäärilämmastiku sadenemine} + \text{seemnevilja } N] - [\text{põllukultuuride } N] \text{ [1]}$$

$$NUE \text{ põllukultuurid} = [\text{põllukultuuride } N] / [\text{väetiste } N + \text{sõnniku } N + \text{komposti } N + \text{bioloogiline lämmastiku sidumine} + \text{atmosfäärilämmastiku sadenemine} + \text{seemnevilja } N] \text{ [2],}$$

kus

N ülejääk = N ülejääk ettevõtte tasemel, kg/ha

NUE põllukultuurid = lämmastiku kasutamise efektiivsus ettevõtte tasemel, (massisuhe, ühikuta suurus)

Väetiste N = ettevõttesse sisse toodud lämmastikväetiste kogus, kg/ha

Sõnniku N = farmi sisse toodud sõnniku lämmastiku kogus, kg/ha

Komposti N = farmi sisse toodud komposti lämmastiku kogus, kg/ha

Bioloogiline lämmastiku sidumine = liblikõielistesse bioloogiliselt seotud N<sub>2</sub> kogus, kg/ha

Atmosfäärilämmastiku sadenemine = atmosfäärist sadenenud lämmastiku kogus, kg/ha

Seemnevilja N = seemnevilja ja taimedega sisse toodud lämmastik, kg/ha

Põllukultuuride N = ettevõttest põllukultuuridega välja viidud lämmastiku netokogus, sh jäägid, kg/ha

22. Ettevõttes võib esineda ka täiendavaid lämmastikusisendeid, näiteks N<sub>2</sub> autotroofiline sidumine, taimekaitsevahendid, kastmisvesi, reoveesete või multš. Nimetatud sisendite kogused on võrreldes ülalmainitutega harilikult väikesed ja raskesti hallatavad, mistõttu jäävad need sageli arvestamata. Kui loetletud lisisendid moodustavad aga kogusisendist märkimisväärse osa (> 10%), tuleks need bilansiarvutustesse kaasata. See võib olla oluline ettevõttele, kus mullad on kõrge orgaanilise aine sisaldusega (turvasmullad) ning sõltuvalt turba troofilisest olekust ja kuivendustingimustest võib orgaanilise lämmastiku netomineralisatsioon vallandada 20–200 kg/ha lämmastikku aastas.

23. Täpsemates taimekasvatusele spetsialiseerunud ettevõtte N ülejäägi ja NUE kalkulatsioonides arvestatakse ka lämmastiku bioloogilise fiktsiooni, sõnniku ja kompostide lämmastiku ekvivalentväärtuste erinevustega ning seda arvutatakse järgmiselt:

$$NUE \text{ põllukultuurid} = [\text{põllukultuuride } N] / [\text{väetiste } N + (\text{sõnniku } N \times F_{\text{nev sõnnik}}) + (\text{komposti } N \times F_{\text{nev kompost}}) + (\text{bioloogiline lämmastiku sidumine}) + \text{atmosfäärilämmastiku sadenemine} + \text{seemnevilja } N] \text{ [7],}$$

kus

F<sub>nev sõnnik</sub> = sõnniku lämmastiku ekvivalentväärtus, kg/kg

F<sub>nev kompost</sub> = komposti lämmastiku ekvivalentväärtus, kg/kg

24. Loomakasvatusele spetsialiseerunud maad mitteomavas ettevõttes arvutatakse lämmastiku ülejääki (N ülejääk) ja selle kasutamise efektiivsust (NUE) järgmiselt:

$$N \text{ ülejääk} = [\text{sööda } N] - [\text{loomadega seotud } N + \text{sõnniku } N] \text{ [3]}$$

$$NUE_{\text{loom}} = [\text{loomadega seotud } N + \text{sõnniku } N] / [\text{sööda } N] \text{ [4],}$$

kus

N ülejääk = N ülejääk ettevõtte tasemel, kg

NUE<sub>loom</sub> = N kasutamise efektiivsus ettevõtte tasemel, (massisuhe, ühikuta suurus)

Sööda N = ettevõttesse sisse toodud söödalämmastiku netokogus, kg

Loomadega seotud N = ettevõttest välja viidud loomse lämmastiku netokogus (sh surnud loomad). Näitaja on korrigeeritud ettevõttesse arvestusperioodil sisse toodud loomse lämmastiku kogusega (loomade arv), kg

Sõnniku N = ettevõttest välja viidud sõnniku lämmastiku netokogus (sh söödajäägid), kg

Ettevõttes on sageli väiksemaid täiendavaid N sisendeid, näiteks joogi- ja tehnoloogiline vesi (inventari ja seadmete pesuvesi), allapanu ja ravimid. Võrreldes ülalnimetatutega on need sisendid aga harilikult väikesed (< 5%) ja võib seetõttu kalkulatsioonist välja jätta.

25. Segatüüpi ettevõttes arvutatakse lämmastiku ülejääki (N ülejääk) ja selle kasutamise efektiivsust (NUE) järgmiselt:

$$N \text{ ülejääk} = [\text{väetiste } N + \text{sööda } N + \text{sõnniku } N_i + \text{komposti } N + \text{bioloogiline lämmastiku sidumine} + \text{atmosfäärilämmastiku sadenemine} + \text{seemnevilja } N] - [\text{loomadega seotud } N + \text{põllukultuuride } N + \text{sõnniku } N_e] \text{ [5]}$$

$$NUE_{\text{segatüüp}} = [\text{loomadega seotud } N + \text{põllukultuuride } N + \text{sõnniku } N_e] / [\text{väetiste } N + \text{sööda } N + \text{sõnniku } N_i + \text{komposti } N + \text{bioloogiline lämmastiku sidumine} + \text{atmosfäärilämmastiku sadenemine} + \text{seemnevilja } N] \text{ [6],}$$

kus

N ülejääk = N ülejääk ettevõtte tasemel, kg/ha

Väetiste N = ettevõttesse lämmastikväetistega sisse toodud lämmastiku kogus, kg/ha

Sööda N = ettevõttesse söötadega sisse toodud lämmastiku kogus, kg/ha

Sõnniku  $N_i$  = ettevõttesse sisse toodud sõnniku lämmastiku kogus, kg/ha

Komposti N = ettevõttesse sisse toodud komposti lämmastiku kogus, kg/ha

Lämmastiku bioloogiline fikseerimine = liblikõielistesse bioloogiliselt seotud  $N_2$  kogus, kg/ha

Atmosfäärilämmastiku sadenemine = atmosfäärist sadenenud lämmastiku kogus, kg/ha

Seemnevilja N = seemnevilja ja taimedega sisse toodud lämmastiku kogus, kg/ha

Põllukultuuride N = ettevõttest põllukultuuridega välja viidud lämmastiku kogus, sh jäägid, kg/ha

Loomadega seotud N = ettevõttest välja viidud loomse lämmastiku kogus (sh surnud loomad). Näitaja on korrigeeritud ettevõttesse arvestusperioodil sisse toodud loomse lämmastiku kogusega (loomade arv), kg

Sõnniku  $N_e$  = ettevõttest välja viidud sõnniku lämmastiku kogus, kg/ha

26. Lämmastiku käitlemise arenguga (mis tähendab ka väiksemaid lämmastikukadusid) kaasneb aja jooksul N ülejäägi vähenemine ja NUE paranemine. Seega nimetatud parameetrite iga-aastase jälgimisega on ettevõtte tasemel võimalik hinnata lämmastikukäitluse progressi. Arvestamiseks ilmastikutingimuste ja muude juhuslike sündmuste variatsiooni, tuleks N ülejäägi ja NUE efektiivsuse näitajaid kalkuleerida viie aasta keskmisena.

27. Lämmastiku käitlemise suhtelist edukust ettevõttes hinnatakse võrdluses teiste ettevõtete, mudel- või katseettevõtetega. Taimikasvatusele spetsialiseerunud ettevõtte N ülejäägi ja NUE sihtväärtuse aluseks võib võtta praktikas parimaid tulemusi näidanud tootmissüsteemide (sh eksperimentaalsed- või mudelsüsteemid) tulemused, arvestades seejuures ka mullastiku faktoritega.

28. Põllukultuuride võime mullast lämmastikku omastada on tulenevalt juurestiku suurusest ja jaotusest ning vegetatsiooniperioodi pikkusest erinev. Kõrrelised (teraviljad ja kõrrelised heintaimed) on suure, lehtköögiljad (salat, spinat) seevastu aga väikese lämmastiku omastamise võimega. Soovituslikud N ülejäägi ja NUE sihttasemed tuleks seetõttu määratleda vastavalt teraviljade ja kõrreliste heintaimede pindalalise jaotusega ettevõttes (nt viies klassis: < 25%, 25–50%, 50–75%, 75–90% ja > 90%) (tabel AI.4).

29. Kasutades ettevõtte, mis on spetsialiseerunud teraviljakasvatusele (>90% pindalast), arvutustes võrrandis [7] toodud sisendandmeid ja tabelis AI.3 esitatud väetiste lämmastiku ekvivalentväärtusi, on kogusaagi lämmastikuisaldus ligikaudselt võrdne efektiivse lämmastikuisendiga ja NUE põllukultuurid võib olla kuni 100%. NUE põllukultuurid väheneb aga lämmastikuisendi suurenemise, kahjurite toime või muude toitainete piiratud kättesaadavuse korral. Tuleb leida optimaalne lämmastikväetiste tase, mille puhul nii saagikus, saagi kvaliteet kui ka NUE on kõrged ja N ülejääk väike. Kui teraviljade suhteline pindala külvikorras väheneb, siis NUE sihttase alaneb ja N ülejääk suureneb. See sõltub efektiivse lämmastiku osakaalust lämmastikuisendites (tabel AI.4). N ülejääk ja NUE sõltuvad ka taimse materjali koristamise terviklikkusest. Saagikoristuse käigus suurendab saagijääkide (põhk) eemaldamine NUE-d ja vähendab N ülejääki, eriti lühiajaliselt. Pikemas perspektiivis võib taimse materjali pidev eemaldamine vähendada mulla orgaanilise aine varusid ja lämmastikuisaldust. NUE ja N ülejääk on harilikult pöördvõrdelised (tabel AI.4), võimalik on ka olukord, kus NUE suurenemine seostub kergelt suureneva lämmastiku ülejäägiga.

Tabel AI.4

**Taimikasvatusele spetsialiseerunud ettevõtte lämmastiku ülejäägi (N ülejääk) ja selle kasutamise efektiivsuse (NUE) soovituslikud sihttasemed mõõduka või suure lämmastikusisendi korral, sõltuvalt teraviljade osatähtsusest külvikorras**

Teravili (%)	Mõõdukas lämmastikusisend			Suur lämmastikusisend		
	NUE (%)	N ülejääk		NUE (%)	N ülejääk	
		50 kg/ha/a	100 kg/ha/a		150 kg/ha/a	200 kg/ha/a
90–100	100	0	0	80	30	40
75–90	95	2,5	5	75	37,5	50
50–75	90	5	10	70	45	60
25–50	80	10	20	60	60	80
< 25	70	15	30	50	75	100

30. Loomakasvatusele spetsialiseerunud ja segatüüpi ettevõtete NUE sõltub osaliselt gaasilise lämmastiku vältimatust kaost, mis tuleneb loomapidamishoonetes ja sõnnikuhoidlates oleva loomasõnniku  $\text{NH}_3$  heite ja nitrifikatsiooni-denitrifikatsiooni protsessidest. Vältimatud lämmastiku kaod esinevad ka parima võimaliku tehnoloogia (PVT) kasutamisel. Loomadega seotud lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUEloom) sihttasemed peaksid põhinema järgmisel valemil:

NUEloom sihttase =  $[\text{Nloom} + (\text{väljaheidetega eritatud N} - \text{sõnniku N kaod})] / [\text{söödaN}]$  [8], kus

NUEloom sihttase = N kasutamise efektiivsus ettevõtte tasandil, (massisuhe, tühikuta suurus)

Nloom = ettevõttest välja viidud loomse lämmastiku netokogus (sh surnud loomad). Näitaja on korrigeeritud ettevõttesse arvestusperioodil sisse toodud loomse lämmastiku kogusega (loomade arv), kg

Sööda N = ettevõttesse sisse toodud söödalämmastiku netokogus, kg

Väljaheidetega eritatud N = väljaheidete lämmastik laudaperioodil, kg

Sõnniku N kaod = lämmastiku vältimatu kadu, mis tuleneb loomapidamishoonetes ja sõnnikuhoidlates oleva sõnniku  $\text{NH}_3$  heite ja nitrifikatsiooni-denitrifikatsiooni protsessidest, kg

Väljaheidetega eritatud N – sõnniku N kaod = ettevõttest välja viidud sõnniku lämmastiku kogus

31. Sõnniku lämmastikukadu sõltub pidamissüsteemist ja -tehnoloogiast, sõnniku käitlemise viisist ja ettevõtte tavadest. Aastaringiselt vedelsõnnikutehnoloogiaga loomapidamishoonetes peetavate veiste ja sigade puhul ja kaetud sõnnikuhoidlate korral jääb sõnniku lämmastikukadu vahemikku 5–20% väljaheidetega eritatud lämmastiku kogusest. Madalam väärtus seostub vähese heitega tehnoloogiatega (ja lõaspidamise) ning kõrgem vastavalt osalise respõrandaga loomapidamishoonetega. Kadude määr sõltub ka piirkondlikest kliimatingimustest (Amon jt, 2001; Monteny ja Erisman, 1998; O. Oenema jt, 2008). Kui loomad on laudas vaid talveperioodil, on aastakeskmise väljaheidetega seotud lämmastikukadu looma kohta väiksem. Tahesõnnikul baseeruvate tehnoloogiatega korral on

sõnniku lämmastiku kaod tavaliselt suuremad (20–40% aastaringisel laudaspidamisel), kuna nitrifikatsiooni-denitrifikatsiooni tõttu lendub rohkem lämmastikku.

32. Linnukasvatases jääb sõnniku lämmastikukadu vahemikku 10–50% väljaheidetega eritatud lämmastiku kogusest. Madalam väärtus seostub vähese heitega pidamistehnoloogiate ning kõrgem vastavalt lindla all paiknevate sõnnikukeldrite ja sügavallapanul põrandalpidamisega, kus skrabereid ei kasutata ning lindlast väljuvas õhus sisalduvat ammoniaaki ei eemaldata (Groot Koerkamp ja Groenestein, 2008).

33. Loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõtte NUE suureneb söödalämmastiku konversiooni kasvades toodangusse ja „gaasilise lämmastiku vältimatu kao vähenedes“ (tabel AI.5, joonis AI.4). Söödalämmastiku konversioon sõltub loomaliigist, toodangutasemest ja söödast. Gaasilise lämmastiku vältimatu kadu sõltub pidamis- ja sõnnikukäitlustehnoloogiast (vähese heitega käitlussüsteemid). Lämmastiku kasutamise efektiivsuse näitaja loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõttes on seega suurel määral sõltuv gaasilistest lämmastiku, sh  $\text{NH}_3$ , kadudest. Seetõttu on nimetatud näitaja lämmastiku integreeritud käitlemise üheks indikaatoriks.

Tabel AI.5

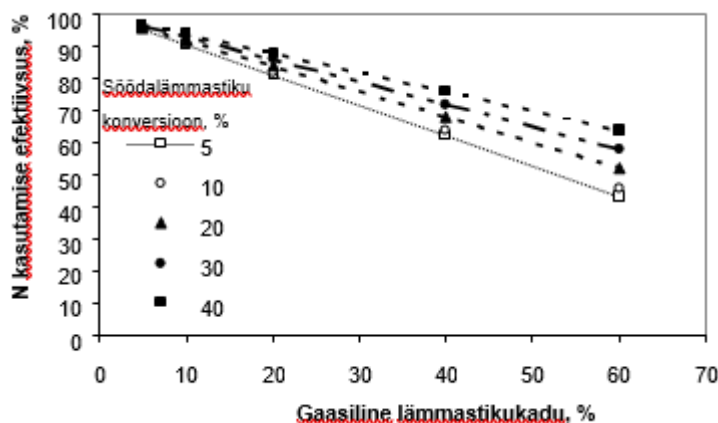
**Võrrandi [8] alusel loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõttele arvatud lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) näitajad söödalämmastiku konversiooni ja lämmastiku vältimatu kao (loomapidamishoone ja sõnniku ladustamine) funktsioonina**

<i>“Lämmastiku vältimatu kadu“, % väljaheidetega eritatud lämmastikust</i>					
<i>Söödalämmastiku konversioon (%)</i>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	95	91	81	62	43
<b>10</b>	96	91	82	64	46
<b>20</b>	96	92	84	68	52
<b>30</b>	97	93	86	72	58
<b>40</b>	97	94	88	76	64

*Märkus:* Eeldusel, et kõik loomsed saadused, sh sõnnik, viiakse ettevõttest välja.

Joonis AI.4

**Võrrandi [8] alusel loomakasvatusele spetsialiseerunud ettevõttele arvatud lämmastiku kasutamise efektiivsuse (NUE) näitajad söödalämmastiku konversiooni ja lämmastiku vältimatu kao (sõnniku ladustamine) funktsioonina**



Märkus: Eeldusel, et kõik loomsed saak, sh sõnnik, viiakse ettevõttest välja.

34. Kogu ettevõtte lämmastikubilanss ja NUE on indikaatorid, mille abil prognoositakse vastavalt keskkonna lämmastikusurve ja lämmastiku kui ressursi kasutamise tõhusust. Mõnes riigis (nt Taani ja Holland) on lämmastikubilansse ja N ülejäägi näitajaid kasutatud ja kasutatakse integreeritud reguleerimisvahenditena keskkonda jõudvate lämmastikukadude vähendamiseks, ehkki siiani puuduvad täpsemad kogemused N ülejäägi ja NUE näitajate kui konkreetsete indikaatorite kasutamiseks NH<sub>3</sub> heite vähendamisel. On aga kindlaid teoreetilisi ja empiirilisi tõendeid, et NUE suurenemine seostub lämmastikukao vähenemisega toodanguühiku kohta. Sarnaselt seostatakse NUE suurenemist loomakasvatusele spetsialiseerunud ja segatüüpi tootmissüsteemides harilikult NH<sub>3</sub> heite vähenemisega toodanguühiku kohta. Heaks näiteks on siin Taani kogemus (Mikkelsen jt, 2010; Nørregaard Hansen jt, 2008; anonüümne, 2008).

35. Taani ja Hollandi kogemused näitavad, et enamik ettevõtjaid on võimelised lämmastikubilanssi ja NUE indikaatoreid kergesti mõistma. Nad suudavad määrata lämmastikubilanssi ja NUE indikaatoreid raamatupidamise andmete ja erinevate toodete keskmise lämmastikuisalduse näitajate (tabeliandmete) põhjal. Sama võivad teha ka ettevõtte raamatupidajad. Vaatamata sellele, tulevad kasuks erinevad koolitused ja ettevõtjate võrgustikes osalemine. Lämmastikubilanssi ja NUE indikaatorite väljaselgitamise kulud on ca 200–500 € ettevõtte kohta aastas.

36. Põhimõtteliselt võib NUE suurendamiseks ja N ülejäägi vähendamiseks kasutada kolme erinevat strateegiat/tehnoloogiat: (a) lämmastikuväljundite kasv taime- ja loomakasvatuse produktiivsuse suurendamise kaudu, hoides lämmastikuisendeid enam-vähem ühtlasel tasemel; (b) lämmastikväetistest ja ostusõttadest tuleneva sisendi vähendamine, hoides taime- ja loomakasvatuse produktiivsust enam-vähem ühtlasel tasemel; (c) lämmastikukadude vähendamine lämmastikku säästvate tehnoloogiate abil (vähese heitega tehnikad, vahetekuurid, lämmastiku laotamise täpsem ajastamine vms), mille kaudu

lämmastikuisendeid säästetakse, hoides lämmastikuväljundeid enam-vähem stabiilsena. Viimasena mainitud strateegia on osaliselt seotud teiste Göteborgi protokollis IX lisas kirjeldatud meetmetega. Nimetatud lisa meetmetes on rõhk säästetud lämmastiku ärakasutamisel ja sellest tuleneval lämmastikuisendite vähenemisel. Parimad tulemused saavutatakse siis, kui kadude vähenemine seostatakse sisendite vähenemisega, mis omakorda alandab tööjõukulu ja suurendab tootlikkuse tõusust tulenevat kasumlikkust. N ülejäägi vähendamise ja NUE suurendamise strateegia valik sõltub konkreetsest ettevõttest; universaalset, kõikidele tootmissüsteemidele üheselt sobivat strateegiat ei eksisteeri.

37. Taimekasvatuse erinevate tootmissüsteemide jaoks on saadaval ohtralt teavet, kuidas NUE-d suurendada ja N ülejääki vähendada. Paljud institutsioonid ja väetiste tootmisega tegelevad ettevõtted on koostanud selleks selgeid juhendmaterjale. International Plant Nutrition Institute veebilehel (<http://www.ipni.net/4r>) on saadaval lihtsad ja kergesti ligipääsetavad juhised ning vastavad videomaterjalid mineraalväetiste efektiivsuseks ja ökonoomseks kasutamiseks. Väetiste parim käitlustava on tuntud nime „4R toitainete käitlemise kontseptsioon“ („4R nutrient stewardship concept“) all, st õige allikas, õige määr, õige aeg ja õige koht. Nimetatud kontseptsiooni võib rakendada üldiselt põllukultuuride toitainete (sh orgaanilistest allikatest) või konkreetselt mineraalväetiste vajaduse kalkulatsioonides. Kontseptsioon aitab põllumajandusettevõtjatel ja avalikkusel mõista, kuidas väetiste õiged käitluspraktikad panustavad põllumajanduse jätkusuutlikkusse. Kokkuvõtvalt peaks 4R toitainete käitlemise kontseptsioon tähendama seda, et põllukultuuride tootjad ja konsulendid valivad õige allika-määr-aja-koha kombinatsiooni praktikate seast, mis on teadusuuringutega tõestatud. Majandusliku, keskkondliku ja sotsiaalse progressi eesmärkidega määratletakse taimekasvatussüsteemide siduselemendid. Nimetatud eesmärkide saavutamine kajastub ka efektiivsuse näitajates. Vastavaid tehnikaid loetakse I. kategooria meetmeteks. Peamine takistus põllukultuuride NUE parandamisel on endiselt suutmatus prognoosida täpsemalt ilmastikku, aga ka kahjurid, kehv mullastik jms.

38. Segatüüpi tootmissüsteemides on NUE suurendamiseks ja lämmastiku ülejäägi vähendamiseks tarvilik rakendada nii taimekasvatusega seonduvaid (nt ülaltoodud 4R kontseptsioon) kui ka loomakasvatusele sobilikke meetmeid ja tegevusi (loomade söötmine ja pidamine, sõnniku ladustamine ja käitlemine).

39. NUE suurendamise ja N ülejäägi vähendamise otsese maksumuse kohta ei ole palju empiirilist teavet. Otsese maksumuse prognoosimine on keerukas, selleks tuleb määratleda tegevused, mis seostuvad terviklikult kogu lämmastikuringega. Samuti tuleks eristada otseseid ja kaudseid kulusid. Otsesed kulud on seotud tegevustega, mis on vajalikud NUE suurendamiseks ja N ülejäägi vähendamiseks, näiteks suure saagikusega taimsortide ja kõrge tootlikkusega loomatõugude valimine ning lämmastikuga varustamise ja lämmastiku vajaduse suhte parandamine. Nimetatud kulud jäävad vahemikku -1-1 € säästetud lämmastiku kg kohta. Kaudsed kulud on seotud koolituste, andmete ja teabe parema kättesaadavuse, proovivõttude ja nende analüüsi ning põhjalikuma dokumentatsiooni pidamisega. Kaudsed kulud on otsesest võrreldes suuremad, kuid osa neist saadakse hiljem kõrgema produktiivsuse ja toodangu parema kvaliteedi kaudu tagasi.

## Lisa II

### Põllumajandusloomade söötmisstrateegiad

#### A. Üldised põhimõtted

1. Söötade proteiinisaldus on sageli suurem kui loomade söötmiseks tegelikult vajatakse. Vajadusest kõrgema proteiinisaldusega söödaratsiooni söötmise põhjused on: (a) mitteoptimaalne aminohapete suhe; (b) genotüüpidest tulenev loomade vajaduste erinevus; (c) vanusest või tootmise etapist tulenev loomade vajaduste erinevus; ja (d) ratsioonis sisalduvate asendamatute aminohapete tegeliku sisalduse ja nende seeduvuse variatsioon. Söödaratsiooni proteiinisaldust ja sellest tulenevat lämmastiku eritamist väljaheidetega on võimalik vähendada proteiini/aminohapete sisalduse võimalikult täpse looma vajadustega vastavusse viimise kaudu.

2. Sööda seedumatud komponendid eritatakse rooja ja uriini koostises. Söödas leiduv liigne lämmastik eritatakse orgaaniliselt seotud lämmastiku, karbamiidi, kusihaape ja ammooniumi kujul. Lämmastiku jaotumine nimetatud ühendite vahel ning rooja ja uriini pH mõjutab potentsiaalset  $\text{NH}_3$  kadu.

3. Tulenevalt söödaratsioonist erineb piimalehmade, nuumsigade ja kanade rooja ja uriini koostis suurel määral. Tabelis AII.1 on esitatud vastavad vahemikud ja väärtused kirjandusallikate põhjal (Canh jt, 1998a, 1998b; Bussink ja O. Oenema, 1998; Whitehead, 2000).

Tabel AII.1

#### Mõne loomaliigi rooja ja uriini lämmastikusisalduse vahemikud

Loomakategooria	Kuivaine (g/kg)	Kogu N (g/kg roe/uriin)	Karbamiid-N (% kogu N-ist)	Kusihaape-N (% kogu N-ist)	Valguline-N (% kogu N-ist)	Ammoonium- N (% kogu N-ist)
<b>Piimaveised</b>						
Roe	100–175	10–17	0	0	90–95	1–4
Uriin	30–40	4–10	60–95	0–2	0	1
<b>Nuumsead</b>						
Roe	200–340	8–10	0	—	86–92	8–14
Uriin	30–36	4–7	70–90	—	10–20	2–10
<b>Kanad</b>	200–300	10–20	5–8	35–50	30–50	6–8

4. Kuna  $\text{NH}_3$  kaod on seotud uriini ja rooja ammooniumi, karbamiidi ja kusihaape sisaldusega, võib  $\text{NH}_3$  heitepotentsiaali mõjutamiseks kasutada järgmisi manipulatsioone (joonis AII.1):

- (a) uriini ja rooja ammooniumi, karbamiidi ja kusihaape sisalduse vähendamine:
- (i) toorproteiini söömise alandamisega;



- (ii) struktuursete süsivesikute söömise suurendamisega (uriinis karbamiidi/kusihappena erituvat lämmastiku kogus väheneb, rooja valgulise komponendi osatähtsus suureneb);
- (b) väljaheidete pH alandamine:
- (i) rooja pH alandamisega;
- (ii) uriini pH alandamisega;
- (c) ensüüm ureaasi aktiivsuse pärssimine, selle kaudu väljaheidete ammooniumisisalduse vähendamine.

5. Väljaheidete ammooniumisisaldust (roe pluss uriin), mis on karbamiidi hüdroolüüsi ja rooja valgulise komponendi anaeroobse lagunemise tulemus, saab arvutada järgnevalt (Aarnink, van Ouwerkerk ja Verstegen, 1992):

$$[\text{NH}_4^+] = (\text{dc} \cdot \text{P}_f - \text{P}_r + \text{adc} \cdot (1 - \text{dc}) \cdot \text{P}_f) / (\text{M}_m),$$

kus

dc = proteiini (näiv) seedekoeffitsient

$\text{P}_f$  = sööda proteiinisaldus

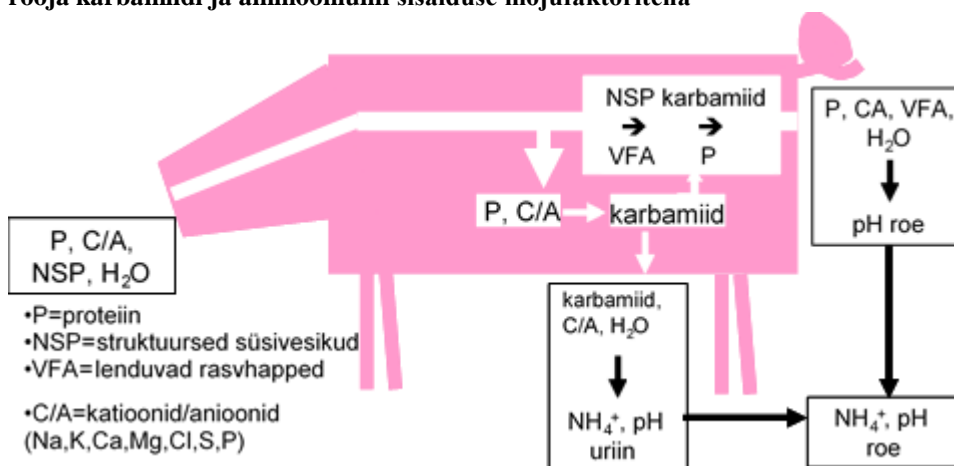
$\text{P}_r$  = proteiini konversiooni arv

adc = väljaheidete valgulise komponendi anaeroobse lagunemise koeffitsient

$\text{M}_m$  = väljaheidete kogus.

Joonis AII.1

**Skemaatiline ülevaade looma söödaratsiooni koostisest (proteiini ja struktuursete süsivesikute sisaldus, kationide-anioonide bilanss) uriini ja rooja karbamiidi ja ammooniumi sisalduse mõjufaktoritena**



Allikas: Aarnink ja Verstegen, 2007.

6. Uriini ja rooja pH-d on võimalik määrata kationide-anioonide bilansi arvutamise abil. Kalkulatsioonides tuleb arvestada ka ammooniumi ( $\text{NH}_4^+$ ) ja karbonaadi ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ühendite kontsentratsiooniga.

7. Loomade söötmissüsteeme mõjutavad rooja ja uriini pH-d. Rooja pH alandamiseks tuleb suurendada sööda fermentatsiooni soolestikus. See suurendab rooja lenduvate rasvhapete sisaldust ja alandab pH-d. Uriini pH langetamiseks tuleb muuta ratsiooni elektrolüütide (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) tasakaalu (Patience, Austic ja Boyd, 1987). Lisaks saab uriini pH-d alandada ratsiooni happeliste komponentide, näiteks kaltsiumsulfaadi (CaSO<sub>4</sub>), kaltsiumbensoaadi või bensoehappe lisamisega. Rooja ja uriini madalama pH-ga kaasneb vedel-/tahesõnniku madalam pH ladustamise ajal ja isegi pärast teatud ladustamisperioodi. Madalamast pH-st tulenevalt väheneb hoiustamise ajal ja laotamisel vedelsõnnikust tulenev NH<sub>3</sub> heide märkimisväärselt. Vastavat seost on põhjalikult tõestatud seakasvatustes (Aarnink ja Versteegen, 2007; Canh jt, 1998a, 1998c, 1998d ja 1998e).

8. Sõltuvalt ensümaatilise aktiivsusest hüdrolüüsitakse karbamiid ja kusihape tavaliselt ammooniumiks mõne tunni kuni päeva jooksul. Rooja orgaanilise lämmastiku (näiliselt seedumata proteiin) mineraliseerumine on aeglane protsess. Temperatuuril 18 oC kulub 43% seasõnniku orgaanilise lämmastiku ammoniaagini mineraliseerumiseks 70 päeva (Spoelstra, 1979). Seega, kui veistel ja sigadel viia lämmastiku ekskretsioon uriinilt roojale, suureneb eritumine orgaaniliselt seotud lämmastikuna, ja eritumine karbamiidi, kusihaape ja ammooniumina väheneb. Selle tulemusena väheneb uriinist pärit NH<sub>3</sub> heide, roojaga seondud NH<sub>3</sub> heide aga ei suurene.

9. Söötade loomseteks saadusteks konversiooni efektiivsuse aspektist on olulised kaks indikaatorit:

(a) toorproteiini sisaldus (sageli arvutatakse järgnevalt: sööda lämmastikuisaldus x 6,25) ratsiooni (sööda) kuivaines. See sõltub loomaliigist, tootmistüübist, sööda kuivaine seeduvusest ja toorproteiini kvaliteedist (aminohapete suhe). Segajõusöötade (söödakontsentraatide) korral on vastav teave harilikult tootjaettevõtte poolt saadaval. Koresöötade, eriti karjamaarohu, puhul on vastava teabe hankimine keerukam. Siin on abiks taimiku kasvufaasi määramine; mida hilisem kasvufaas, seda madalam on proteiinisaldus. Hilisemas kasvufaasis rohttaimede seeduvus aga väheneb;

(b) lämmastiku kasutamise efektiivsus (NUE = AYN/FN), kus AYN on lämmastiku kogus loomsetes saadustes (kg) ja FN on lämmastiku kogus kasutatud söötades (kg). Indikaatori kasutamine eeldab teavet loomsete saaduste ja söötade lämmastikuisalduse kohta. Vastav info on kättesaadav viimastel aastatel koostatud põhjalikest tabelitest.

10. Loomsete saaduste (piim, liha, munad) tootmine on võimalik alles siis, kui on kaetud loomade elatuseks vajalik toitainete tarve. Elatuseks vajalik proteiini tarve (kontsentratsioonimäär ratsiooni kuivaines) on oluliselt madalam võrreldes loomsete saaduste sünteesiks vajatavaga. Elatuseks vajalik TP/KA (toorproteiini/kuivaines) optimaalsed tasemed on loomaliikide ja vanuse (toodangu) rühmade lõikes erinevad. Elatuseks vajalike toitainete osakaal on suurim aeglase juurdekasvuga loomade (loomad karja täienduseks) ning madalaim kiire juurdekasvuga loomade (nuumloomad, broilerid) puhul.

## **B. Mäletsejaliste (eriti piima- ja lihaveiste) söötmissstrateegiad**

11. Piimatootmissüsteemides on NUE piiratud lehmade geneetilise potentsiaaliga konverteerida söödalämmastikku piimavalguks ning taimekasvatussüsteemides vastavalt põllukultuuride potentsiaaliga muuta sõnniku ja väetise lämmastikku teraviljade, loomasööda jms põllumajandussaaduste valguks. Erinevus tegeliku, tootjate poolt saavutatud ja teoreetilise NUE vahel viitab sellele, et paljudes piimatootmisele spetsialiseerunud

ettevõtetes on siin arenguruumi (Van Vuuren ja Meijjs, 1987). Ehkki piimatootmises sõltub lämmastiku kasutamise efektiivsus suurel määral loomade geneetilisest potentsiaalst, võivad sellised praktikad nagu sobiv loomkoormus, sõnniku lämmastiku ekskretsiooni vähendamine söötmise optimeerimise kaudu ja jäätmete tekke vältimist puudutavate soovitude järgimine märkimisväärselt suurendada NUE-d, ettevõtte kasumit ja vähendada piimatootmise keskkonnamõju (Powell, Rotz ja Weaver, 2009).

12. Efektiivne 1. kategooria meede  $\text{NH}_3$  kadude vähendamiseks on toorproteiini koguse vähendamine mäletsejaliste söödas. Juhised on järgmised (tabel AII.2):

(a) keskmine toorproteiini sisaldus piimakarja ratsioonides ei tohiks ületada 150–160 g/kg kuivaines (Broderick, 2003; Swensson, 2003). Vanemate kui 6-kuuste lihaveiste ratsioonides võib seda alandada kuni 120 g/kg kuivaines;

(b) söödaratsiooni toorproteiini sisaldus peab olema korrelatsioonis lehma laktatsioonifaasiga. Enne poegimist ja laktatsiooni esimesel poolel peaks see olema 160 g/kg kuivaines ning laktatsiooni teisel ja suuremal osal kinnisperioodil väiksem kui 140 g/kg kuivaines;

(c) faasilist söötmist on võimalik rakendada ka lihaveiste puhul, alandades sööda toorproteiini sisaldust looma vanuse kasvades järk-järgult 160 grammist 120 grammi kilogrammis kuivaines.

Tabel AII.2

**Soovituslikud toorproteiini sihttasemed (g/kg kuivaines) ning sellega seonduv lämmastiku kasutamise efektiivsus massisuhtena (kg/kg) veiste puhul**

<i>Veiste vanuse (toodangu) rühm</i>	<i>Toorproteiin (g/kg)</i>	<i>NUE (kg/kg)</i>
Piima süntees + elatustarve, laktatsiooni esimene pool	150–160	0,30
Piima süntees + elatustarve, laktatsiooni teine pool	120–140	0,25
Noorkari	130–150	0,10
Vasikad	170–190	0,45
Lihaveised < 3 kuud	150–160	0,30
Lihaveised 3–18 kuud	130–150	0,15
Lihaveised > 18 kuud	120	0,05

13. Paljudes maailma piirkondades on veisekasvatus rohumaa- või osaliselt rohumaa põhine. Nimetatud süsteemides moodustavad olulise osa ratsioonist proteiinirikas rohi ja koresöödad. Tabelis AII.2 toodud sihttasemete saavutamine võib olla raskendatud kultuurrohumaade taimiku kõrge toorproteiini sisalduse tõttu. Värske rohu toorproteiini sisaldus karjatamisel (2000–2500 kg kuivainet/ha) on sageli vahemikus 180–200 g/kg; rohusilo toorproteiini sisaldus vahemikus 160–180 g/kg ning heinal vastavalt 120–150 g/kg kuivaines (Whitehead, 2000). Vastupidiselt on näiteks maisisilo toorproteiini sisaldus ainult ca 70–80 g/kg kuivaines. Seetõttu kaasneb rohumaa põhise söötmisega sageli liiges koguses proteiini. Sellest tuleneva väljaheidetega lämmastiku eritamise taseme suurenemise ulatus sõltub ratsioonis sisalduva rohu, rohusilo ja heina osakaalust ning vastavate söötade proteiinisisaldusest. Liigne proteiini kogus ning sellega seonduv lämmastiku eritamine ja  $\text{NH}_3$  kadu on suurim ainult rohu põhise suvise söödaratsiooni korral, mis koosneb noorest

tugevalt väetatud rohust või kõrreliste ja liblikõieliste segust. Karjatavate loomade poolt eritatud uriin infiltreerub enamasti mulda enne, kui olulistes kogustes  $\text{NH}_3$  heidet eralduda jõuab ning üldine  $\text{NH}_3$  heitkogus looma kohta on seetõttu väiksem kui laudaspeetavatel loomadel, kelle väljaheited kogutakse, ladustatakse ja laotatakse.

14.  $\text{NH}_3$  heite vähenemine, mis saavutatakse karjatamisperioodi pikendamisega, sõltub lähteolukorrast (mittekarjatavate loomade heide), karjatamisperioodi pikkusest ja karjamaa lämmastikväetistega väetamise tasemest. Karjatamise osakaalu suurendamine on sageli piiratud mulla tüübist, pinnamoest, ettevõtte suurusest ja struktuurist (vahemaad), ilmastikutingimustest jms tulenevalt. Loomade täiendav karjatamine võib suurendada teisi lämmastikuheite vorme ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3$ ). Võttes arvesse kirjeldatud meetodi selget ja hästi mõõdetavat mõju  $\text{NH}_3$  heitkogusele, võib ööpäevaringse karjatamise perioodi pikendamist lugeda heite vähendamise 1. kategooria meetmeks. Tegelik heite vähendamise potentsiaal riikide lõikes sõltub vastava loomakasvatuse sektori lähteolukorrast. Mõju, mida avaldab osalise laudaspidamise perioodi muutmine (karjatatakse vaid päevasel ajal), ei ole nii selgepiirilisel mõõdetav ja liigitub seetõttu 2. kategooria meetmete alla. Üleminek ööpäevaringselt laudaspidamiselt osalisele karjatamisele on  $\text{NH}_3$  heite vähendamise kontekstis vähem efektiivne võrreldes ööpäevaringse karjatamisega, kuna esimesel juhul on hoonetes ja hoidlates endiselt loomade väljaheiteid ning  $\text{NH}_3$  lendumine jätkub. Karjatamise planeerimine (portsjonkarjatamine, karjamaade vahelduv kasutamine või pidev karjatamine) ei oma  $\text{NH}_3$  kadude vähenemisele olulist täiendavat mõju ning seda loetakse 3. kategooria strateegiaks.

15. Üldiselt on 1. kategooria söötmissüsteemid seotud energia/proteiini suhte balansseerimisega ratsioonis. Loomi karjatatakse hilisemas kasvufaasis taimikuga karjamaadel, söödetakse närvutatud karjamaarohu ja/või antakse energiarikkaid lisa söötasid (nt maisisilo). Rohumaapõhiste tootmissüsteemide puhul võib nimetatud strateegiate rakendatavus olla piiratud, kuna hilisemas kasvufaasis rohu kasutamine võib halvendada söödaratsiooni kvaliteeti, eriti juhul, kui tingimused energiarikaste söötade kasvatamiseks on kesised ja vastavat sööta tuleks seega osta. Sellisel juhul poleks ka karjamaarohu täielik kasutamine enam garanteeritud (eriti tootmisele kehtestatud piirangute tingimustes, näiteks piimakvoodid või loomkoormuse piirmäärad). Seega loetakse rohumaapõhistes ettevõtetes energia/proteiini suhte tasakaalustamist 2. kategooria strateegiaks, v.a juhul, kui farmis on võimalik kasvatada energiarikkaid söötasid.

16. Ratsioonide koostamisel on soovitatav kasutada nüüdisaegseid süsteeme (nt PDI Prantsusmaal, MP Ühendkuningriigis, DVE/OEB Hollandis ja AAT/PBV Skandinaaviamaades) (Van Duinkerken jt, 2011a). Piimaveiste söötisel võib osutada otstarbekaks vatsast mööduvate asendamatute aminohapete (lüsiini ja metioniini) kasutamine, et tasakaalustada peensooles seeduva proteiini aminohappelist koostist. Kuna nimetatud meetodi rakendamine eeldab detailset lisateavet söödaga toimuvate protsesside kohta seedekulglas, loetakse seda 2. kategooria meetmeks.

17. Uriini karbamiidisisalduse vähendamine ja rooja valgulise komponendi suurendamine on samuti tõhus meede  $\text{NH}_3$  kadude vähendamiseks. Söödaratsiooni koostis peaks olema selline, et soolestiku fermentatsiooni stimuleeritakse ilma vatsaseedet häirimata. Nimetatud manipulatsioon vähendab uriini karbamiidisisaldust ning rooja valguline osa suureneb. Sooleseedet saab stimuleerida vatsast mööduva tärklise või vatsas seedumatute, kuid soolestikus seduvate kiudainete kaasamisega (Van Vuuren jt, 1993). Kuna nimetatud protsessis osalevad eelkõige soolestiku atsetogeensed, mitte metanogeensed bakterid, siis  $\text{CH}_4$  heite suurenemise risk on väike. Kuna teadmisi vastavate mõjufaktorite toime kohta on siiski ebapiisavalt, loetakse kirjeldatud meetodit 3. kategooria meetmeks.

18. Looma organismist eritunud uriini pH on vahemikus 5,5 kuni 8,5. See sõltub peamiselt söödaratsiooni elektrolüütide sisaldusest. Sõltumata sellest, et eritunud uriini pH hakkab karbamiidi hüdrolyüüsi tõttu tõusma, määrab esialgne pH ja puhverduvõime uriinist pärineva  $\text{NH}_3$  lendumise kiiruse. Mäletsejaliste uriini pH alandamine on teoreetiliselt võimalik. Kuna siin esineb aga negatiivseid koostoimeid uriini koguse, mäletsejaliste tootlikkuse ja loomade heaolu vahel, loetakse seda 3. kategooria meetmeks. Teoreetiliselt on võimalik alandada ka rooja pH-d, kuid see võib kergesti kaasa tuua vatsaseede häirimise ja pole seetõttu soovitatav. Võimalike kõrvalmõjude tõttu loetakse ka seda meetodit 3. kategooria meetmeks. Rooja konsistents võib olla üheks normaalse vatsaseede indikaatoriks.

19. Söödaproteiini kasutamise efektiivsust eesmaos on võimalik jälgida vatsa proteiini bilansi arvestamise (PBV Skandinaaviamaades, OEB Madalmaades) ja/või piima karbamiidämmastiku sisalduse määramise abil (Van Duinkerken jt, 2011b). Karbamiidämmastiku sisaldus ei tohiks ületada 10 milligrammi detsiliitri kohta (mg/dl) (st piima karbamiidisaldus alla 22 mg/dl). Teadmised faktorite kohta, mis mõjutavad piima karbamiidämmastiku sisaldust, ei ole endiselt piisavad, mistõttu loetakse kirjeldatud meetodit 2. kategooria meetmeks.

20.  $\text{NH}_3$  heidet on võimalik vähendada ka karja haldamise meetmete kaudu. 1) Lehmade geneetilise potentsiaali suurendamine (rohkem piima lehma kohta). Lämmastiku kasutamise efektiivsus karja tasandil paraneb, kuna elatuseks vajalike toitainete osatähtsus väheneb. Sama piima kogutoodangu korral aastas väheneb seega piimalehmade ja asendusloomade arv. 2) Laktatsioonide arvu suurendamine lehma kohta (karjaspüsimumise pikendamine), mis vähendab asendusloomade arvu. 3) Karja täienduseks vajalike loomade arvu optimeerimine piimalehmade arvust tulenevalt. Kõik kolm varianti on pikaajalise mõjuga, kuid kuuluvad siiski  $\text{NH}_3$  heite vähendamise 1. kategooria meetmete hulka. Kirjeldatud strateegiad võivad parandada loomade heaolu ja panustavad tõenäoliselt  $\text{CH}_4$  heite vähenemisse. Viimane väljendub eriti siis, kui metaaniheidet väljendatakse toodetud piima ühiku kohta (Tamminga, 1996; Kebreab jt, 2001; Powell, Rotz ja Weaver, 2009).

21. Mäletsejaliste rotatsiooniline karjatamine (karjatamisring) põllumaal võib vähendada  $\text{NH}_3$  heidet ja suurendada sõnniku lämmastiku kasutamise efektiivsust võrreldes tavapärase praktikatega, kus sõnnikut kogutakse loomapidamishoonetest ja laotatakse maale (Powell ja Russelle, 2009). Uuringu tulemused näitasid, et piimaveiste karjatamine põllumaal parandas uriinilämmastiku sidumist, vähendas  $\text{NH}_3$  kadu ja suurendas sõnnikulämmastiku kasutamist põllukultuuride poolt. Hetkel loetakse seda 2. kategooria meetmeks.

22. Laudaspeetavate piimaveiste uriinilämmastiku eritamist on võimalik vähendada erinevate söötmissüsteemidega. Söödaratsiooni täpne sobitamine looma toitainete vajadusega, lehmadele minimaalse ainevahetuse jaoks vajaliku proteiinikoguse söötmine ja söödaosakeste suuruse vähendamine suurendavad tärglise seedumist ning mikroobse proteiini sünteesi vatsas (vatsa pH ei tohiks seejuures oluliselt alaneda). Nimetatud meetodite rakendamine maksimeerib söödalämmastiku konversiooni piimaks ja minimeerib lämmastiku eritamist uriiniga. Vastavad meetodeid loetakse 2. kategooria meetmeteks.

### C. Sigade söötmissstrateegiad

23. Seakasvatases rakendatavate söötmismetodite hulka kuuluvad faasiline söötmine, söödaratsioonide koostamine lähtuvalt toitainete seeduvusest ja kättesaadavusest looma organismis, madala proteiinisalduse ja sünteetiliste aminohapete lisaga söödaratsioonid ja spetsiifiliste söödalisandite kasutamine. Nimetatud meetodeid loetakse 1. kategooria tehnikateks. Muude tehnikate tõhusus on uurimisjärgus (nt erineva koostisega söödaratsioonid kultidele, orikatele ja emistele). Nende kasutamine on võimalik tulevikus.

24. Faasiline söötmine (erinev sööda koostis vanuse- või toodangurühmade lõikes) on kulutõhus ja kiire viis väljaheidetega eritatava lämmastiku koguse vähendamiseks. Mitmefaasiline söötmine sõltub vastavate arvutipõhiste automaatseadmete olemasolust.

25. Sigade söödaratsiooni toorproteiini sisaldust on võimalik vähendada aminohapete sisalduse optimeerimise teel, kasutades selleks sünteetilisi aminohappeid (nt lüsiin, metioniin, treoniin, trüptofaan) või spetsiaalseid söödakomponente. Samuti tuleb lähtuda usaldusväärseimast saadaolevast informatsioonist „ideaalse valgu“ ning söödalisandite kasutamise ja kombineerimise kohta.

26. Sõltuvalt sigade vanuse (tootmise) grupist ja lähtesituatsioonist on söödaratsiooni toorproteiini sisaldust võimalik vähendada 2–3%. Söödaratsiooni toorproteiini sisalduse sihtväärtused on esitatud tabelis AII.3. Tabelis toodud väärtused on ligikaudsed sihttasemed, vajalikuks võib osutada nende kohandamine kohalike tingimustega.

Tabel AII.3

**Soovituslikud toorproteiini sihttasemed sigade söödaratsioonides**

<i>Vanuse- või toodangurühm</i>	<i>Faas</i>	<i>Toorproteiini sisaldus (%)<sup>a</sup></i>
Imikpõrsad	< 10 kg	19–21
Võõrdepõrsad	< 25 kg	17–19
Nuumsead	25–50 kg	15–17
	50–110 kg	14–15
	> 110 kg	12–13
Emised	Vaba ja tiinusperiood	13–15
	Laktatsiooniperiood	15–17

*Allikas:* Euroopa Komisjon, 2003.

<sup>a</sup> Tasakaalustatud ja optimaalses koguses aminohapete olemasolul.

27. Iga 10 grammi toorproteiini sisalduse vähendamine nuumsigade sööda kilogrammis vahendab vedelsõnniku TAN sisaldust 10% ja NH<sub>3</sub> heidet samuti 10% võrra (Canh jt, 1998b). Hetkel on levinuim nuumsigade söödaratsiooni toorproteiini sisaldus ca 170 g/kg. Eksperimentides on leitud, et söödaratsiooni proteiinisalduse alandamine 120 grammis kilogrammis ei mõjuta sigade kasvukiirust ega söödaväärindust juhul, kui kasutatakse piisavas koguses asendamatuid aminohappeid. Sellega kaasneb NH<sub>3</sub> heite vähenemine kuni 50%. Praktikas on majanduslikult otstarbekas tase 140 g proteiini sööda kg kohta. NH<sub>3</sub> heide väheneb siis ca 30% võrreldes baastasemega (proteiini ratsioonis 170 g/kg). Seda on võimalik saavutada faasilise söötmise ja kõige limiteerivate aminohapete ratsioonile lisamisega (Canh jt, 1998b; Dourmad jt, 1993; Lenis ja Schutte, 1990). Majanduslik otstarbekus tähendab seda, et proteiinisalduse alandamisega tasemeni 140 g/kg ja sünteetiliste aminohapete kasutamisega seotud kulud on loomade paranenud tootlikkusega enam-vähem tasakaalus. Ehkki selle meetme praktiline rakendamine vajab endiselt mõningast uurimist, on see nuumsigade korral 1. kategooria meede. Emiste ja võõrdepõrsaste puhul on vajalikud täiendavad uuringud, nimetatud kategooriates on see 2. kategooria meede.

28. Struktuursete süsivesikute rikaste söötade (nt suhkrupeedipulp, sojaubade kestad) lisamine ratsioonile võib alandada sigade väljaheidete pH-d ja seega ka NH<sub>3</sub> heidet. Struktuursete süsivesikute koguse suurendamine ratsioonis intensiivistab mikrobiaalset fermentatsiooni jämesooles, mille tulemuseks on karbamiidlämmastiku ülekannet verest

mikroobsesse proteiini. Ammoniaagiheide väheneb ca 16% võrra, kui ratsiooni struktuursete süsivesikute sisaldust suurendatakse 200 grammilt 300 grammi/kg ja vastavalt 25% võrra, kui 300-lt 400 grammi/kg. Mõju  $\text{NH}_3$  heitele sõltub teatud määral ka struktuursete süsivesikute allikast. Struktuursete süsivesikute koguse suurendamisega ratsioonis võib kaasnedagi ka negatiivseid mõjusid. Kõrge struktuursete süsivesikute sisalduse korral väheneb toitainete seaduvus ja suureneb väljaheidete kogus, mis ei ole kõrge loomakasvatuse kontsentratsiooniga piirkondades soovitatav. Lisaks suurendab struktuursete süsivesikute sisalduse tõstmine ratsioonis väljaheidete lenduvate rasvhapete kontsentratsiooni. Kuigi lenduvad rasvhapped ei ole peamised lõhnaheite komponendid, võib nende koguse suurenemine põhjustada lõhnaheite kasvu. Ratsiooni struktuursete süsivesikute sisalduse tõstmine võib suurendada ka looma organismist ja sönniku käitlemisest pärineva metaani kogust (Kirchgessner jt, 1991; Jarret, Martinez ja Dourmad, 2011). Kõigist loetletud põhjustest tulenevalt loetakse struktuursete süsivesikute sisalduse tõstmist  $\text{NH}_3$  heite vähendamise eesmärgil kõrge loomakasvatuse kontsentratsiooniga piirkondades 3. kategooria ja muudes piirkondades 2. kategooria meetmeks. Lisaks võib söödaratsiooni liigne struktuursete süsivesikute kontsentratsioon mõjutada negatiivselt sigade juurdekasvu ja vähendada söödavääridust.

29. Kaltsiumkarbonaadi ( $\text{CaCO}_3$ ) asendamine ratsioonis kaltsiumsulfaadi ( $\text{CaSO}_4$ ), kaltsiumkloriidi ( $\text{CaCl}_2$ ) või kaltsiumbensoaadiga alandab uriini ja vedelsõnniku pH-d ja vastavat  $\text{NH}_3$  heidet. Kui ratsioonis  $\text{CaCO}_3$  kujul olev kaltsium (6 g/kg) asendatakse kaltsiumbensoaadiga, alaneb uriini ja vedelsõnniku pH enam kui 2 ühiku võrra. Nimetatud asendusega väheneb  $\text{NH}_3$  heide kuni 60% võrra. Bensoehape lagundatakse sea organismis hipuurhappeks, mis langetab uriini pH-d, seega ka ladustatava vedelsõnniku pH-d. Bensoehape on EL-is ametlikult lubatud happelisust reguleeriv ühend (E210). See on tunnustatud ka nuumsigade (1% ratsiooni kuivainest) ja põrsaste (0,5% ratsiooni kuivainest) söödalisandina (registreeritud kaubamärk: Vevovitall). 1% bensoehappe lisamine nuumsigade söödaratsioonile vähendab  $\text{NH}_3$  heidet ca 20% võrra (Aarnink jt, 2008; Guingand, Demerson ja Broz, 2005).  $\text{CaCO}_3$  asendamine  $\text{CaSO}_4$  või  $\text{CaCl}_2$ -ga vähendab vedelsõnniku pH-d 1,2 ühiku ja  $\text{NH}_3$  heidet ca 35% võrra (Canh jt, 1998a; Mroz jt, 1996). Bensoehappe kasutamist loetakse nuumsigade puhul 1. kategooria meetmeks, teiste searühmade puhul aga 2. kategooria meetmeks.  $\text{CaCO}_3$  asendamist  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  või kaltsiumbensoaadiga loetakse kõigi searühmade puhul 2. kategooria tehnikaks.

30. Erinevatel söötmissmeetoditel on  $\text{NH}_3$  heitele sõltumatu mõju, st mõjud kumuleeruvad (Bakker ja Smits, 2002). Kombineeritud söötmissmeetodeid loetakse kõigi searühmade puhul 2. kategooria meetmeks.

#### **D. Põllumajanduslindude söötmissstrateegiad**

31. Võrreldes sigadega on kodulindude lämmastiku eritamise vähendamise võimalused söötmisega seotud meetmete abil piiratumad. Põhjuseks on asjaolu, et juba praegu on vastav tõhususaste suhteliselt kõrge ja linnurühmade (liikide) lõikes on variatsioon suurem. Sõltuvalt linnuliigist ja lähtesituatsioonist on võimalik söödaratsiooni toorproteiini sisalduse vähendamine 1–2% võrra. Söödaratsiooni toorproteiini sisalduse sihtväärtused on esitatud tabelis AII.4. Tabelis toodud väärtused on ligikaudsed sihttasemed, vajalikuks võib osutada nende kohandamine kohalike tingimustega. Mõnes EL liikmesriigis ja ka Põhja-Ameerikas jätkatakse rakenduslikke söötmissalaseid uuringuid, mille tulemusena võib tulevikus osutada võimalikuks toorproteiini sisaldust kodulindude ratsioonides veelgi alandada. Toorproteiini

sisalduse vähendamine 1–2% võrra noorlindude ja broilerite ratsioonides on 1. kategooria meede.

Tabel AII.4

**Indicative target CP levels in feed for poultry**

<i>Liik/tootmisrühm</i>	<i>Faasid</i>	<i>Toorproteiini sisaldus (%)<sup>a</sup></i>
Kanabroilerid	Noorlinnud	20–22
	Kasvufaasis linnud	19–21
	Lõppnuuma faasis linnud	18–20
Munakanad	18–40 nädalat	15,5–16,5
	40+ nädalat	14,5–15,5
Kalkunid	< 4 nädalat	24–27
	5–8 nädalat	22–24
	9–12 nädalat	19–21
	13+ nädalat	16–19
	16+ nädalat	14–17

<sup>a</sup> Tasakaalustatud ja optimaalses koguses aminohapete olemasolul.

**E. Söötmisstrateegiate kokkuvõte ja järeldused**

32. Madala proteiinisaldusega sööt on üks kulutõhusamaid ja strateegilisemaid viise NH<sub>3</sub> heitkoguse vähendamiseks. Iga protsendi kohta (absoluutväärtuses), mille võrra sööda proteiinisaldust alandatakse, väheneb NH<sub>3</sub> heitkogus loomakasvatushoonetest, sõnnikuhoidlatest ja sõnniku laotamisel 5–15% võrra. Vähenemise määr sõltub uriini ja rooja pH-st. Madala proteiinisaldusega sööt alandab ka N<sub>2</sub>O heitkogust ja suurendab lämmastiku kasutamise efektiivsust loomakasvatuses. Selliste söötade kasutamisel puudub negatiivne mõju loomade tervisele ja heaolule seni, kuni loomade aminohapete vajadus on rahuldatud.

33. Madala proteiinisaldusega ratsioonide kasutamine on paremini rakendatav laudaspeetavate loomade puhul. Vähem sobilik on see rohumaapõhistele süsteemidele, kuna varajases füsioloogilise kasvu faasis kõrrelistel ja liblikõielistel (nt ristik ja lutsern) on kogu kasvuperioodi vältel suhteliselt kõrge proteiinisaldus. Siiski on võimalik rakendada võtteid taimede proteiinisalduse vähendamiseks (lämmastikuga väetamise optimeerimine, karjatamine / rohusöötade valmistamine taimiku hilisemas füsioloogilise kasvu faasis jne), samuti karjamaarohu osatähtsuse vähendamine ratsioonis (madala proteiinisaldusega sööda lisasöötmise). Kirjeldatud meetodid ei ole alati täielikult rakendatavad.

34. Tabelis AII.5 on toodud toorproteiini sihtväärtuste vahemikud erinevate loomaliikide ja -rühmade ning kolme NH<sub>3</sub> heite vähendamise eesmärgi lõikes. Kõrge eesmärk seostub madalaimate toorproteiini sisalduse vahemike ning parimate söötmispraktikatega. Vastavaid tulemusi on teadusuuringutes korduvalt testitud ja kehtivust praktikas tõestatud. Keskmise ja madal toorproteiini sihtväärtus on tuletatud kõrgest eesmärgist ja neis on toorproteiini sisaldust ratsioonis suurendatud ühe protsendipunkti võrra. Laudaspeetavate loomade puhul sõltub eesmärkide saavutamine põllumajandusettevõtja majandamisostkustest ja madala proteiinisaldusega söötade, sh sünteetiliste aminohapete kättesaadavusest.



35. Tabelis AII.5 toodud kõrgete eesmärkide saavutamise võib ebakvaliteetsete söötade (suur kiudainete sisaldus ja halb seeduvus) korral olla küsitav. Sellisel juhul võib seeduvuse parandamiseks kasutada spetsiaalseid söödalisandeid. Mäletsejaliste (vatsaseede) ja ka sigade (eriti emiste) ratsioon peab kiudaineid sisaldama vähemalt minimaalses nõutavas koguses.

36. Spetsiifiliste liha- ja piimasaaduste tootmiseks võib konkreetse loomagrupi sööda proteiinisaldus olla veidi kõrgem tabelis AII.5 toodud vahemike ülemisest väärtusest.

Tabel AII.5

**Toorproteiini sihttasemed (%) laudaspeetavate loomade standardses kuivsöödas (k.a 88%) loomaliikide ja -rühmade ning eesmärkide lõikes**

Looma liik/rühm	Keskmine toorproteiini sisaldus söödaratsioonis (%)		
	Madal eesmärk	Keskmine eesmärk	Kõrge eesmärk <sup>a</sup>
Piimaveised, laktatsiooni esimene pool (> 30 kg/päev)	17–18	16–17	15–16
Piimaveised, laktatsiooni esimene pool (< 30 kg/päev)	16–17	15–16	14–15
Piimaveised, laktatsiooni teine pool	15–16	14–15	12–14
Noorkari	14–16	13–14	12–13
Vasikad	20–22	19–20	17–19
Lihaveised < 3 kuud	17–18	16–17	15–16
Lihaveised > 6 kuud	14–15	13–14	12–13
Emised, vaba- ja tiinusperiood	15–16	14–15	13–14
Emised, laktatsiooniperiood	17–18	16–17	15–16
Imikpõrsad < 10 kg	21–22	20–21	19–20
Võõrdepõrsad, 10–25 kg	19–20	18–19	17–18
Nuumsead 25–50 kg	17–18	16–17	15–16
Nuumsead, 50–110 kg	15–16	14–15	13–14
Nuumsead >110	13–14	12–13	11–12
Kanabroilerid, noorkanad	22–23	21–22	20–21
Kanabroilerid, kasvufaas	21–22	20–21	19–20
Kanabroilerid, lõppnuum	20–21	19–20	18–19
Munakanad, 18–40 nädalat	17–18	16–17	15–16
Munakanad, >40 nädalat	16–17	15–16	14–15
Kalkunid, < 4 nädalat	26–27	25–26	24–25
Kalkunid, 5–8 nädalat	24–25	23–24	22–23
Kalkunid, 9–12 nädalat	21–22	20–21	19–20
Kalkunid, 13–16 nädalat	18–19	17–18	16–17
Kalkunid, >16 nädalat	16–17	15–16	14–15

*Märkus:* Tabelis esitatud toorproteiini sisalduse vahemikke on võimalik rakendada aasta keskmise sihttasemena madala proteiinisaldusega söötmissüsteemide kasutamise korral.

<sup>a</sup> Tasakaalustatud ja optimaalses koguses aminohapete olemasolul.

37. Toorproteiini- ja struktuursete süsivesikute (nt suhkrupediipul, sojaubade kestad) sisalduse ja kationide-anioonide bilansi reguleerimise teel NH<sub>3</sub> lendumise potentsiaali vähendamiseks kasutatavate meetmete maksumus sõltub algsest ratsiooni koostisest ja ratsiooni koostisosade hinnast turul. Tavapäraselt jääb maksumus vahemikku -2–2 € kg säästetud lämmastiku kohta, võib tekkida nii netokasum kui ka -kulu. Kulud enamasti suurenevad, kui tõstetakse NH<sub>3</sub> lendumise vähendamise seotud eesmärgi. Sünteetiliste aminohapete lisamine ratsiooni on kulukam võrreldes näiteks sojaubade kasutamisega. Kulutused sõltuvad vastavate aminohapete ja sojaubade maailmaturu hindadest; sünteetiliste aminohapete hinnad on pigem langustrendis. Aminohapete lisaõõtmise maksumus suureneb, kui proteiini sihtaset ratsioonis alandatakse. Vastav seos nuumsigade ratsioonides on toodud tabelis AII.6 (dr Andre Aarnink, isiklik suhtlus, oktoober 2009). Täiendav teave on saadaval Reisi uurimuses (avaldamisel), mis põhineb töötoa „Economic Cost of Ammonia Emission Abatement“ (ammoniaagiheite vähendamise majanduslik maksumus, Pariis, 25. ja 26. oktoober 2010) andmetel.

Tabel AII.6

**Nuumsigade söödaratsiooni proteiinisisalduse sihtväärtuse alandamisega seotud kulud**

<i>Proteiinisisalduse sihtväärtus (%)</i>	<i>Täiendav kulu, eurot 100 kg sööda kohta</i>
15,0	0,00
13,5	0,90
12,7	3,10

## Viited<sup>a</sup>

- Aaes, O., jt (2008). Evaluering af det generelle ammoniakkrav. April 2008 Report from the Ministry of the Environment in Denmark. Aarhus, Denmark: Aarhus University. Kättesaadav aadressil <http://www.mim.dk/NR/rdonlyres/00287B6C-9C67-49CF-9394-73F2739051F0/0/Ammoniakevalueringrapport.pdf>.
- Aarnink, A. J. A., ja A. Elzing (1998). Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science*, kd 53, nr. 2 (veebbruar), lk 153–169.
- Aarnink, A. J. A., J. M. G. Hol ja G. M. Nijboer (2008). Het effect van toevoeging van benzoëzuur (1% VevoVital®) aan vleesvarkensvoer op de ammoniakemissiereductie is bepaald en bedroeg gemiddeld 15,8% ten opzichte van voer zonder VevoVital® (Ammonia emission factor for using benzoic acid (1% vevoital) in the diet of growing-finishing pigs). Animal Sciences Group report 133. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/107952>.
- Aarnink, A. J. A., E. N. J. van Ouwerkerk, ja M. W. A. Verstegen (1992). A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. *Livestock Production Science*, kd 31, lk 133–147.
- Aarnink, A. J. A., ja M. W. A. Verstegen (2007). Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livestock Science*, kd 109, lk 194–203.
- Aarnink, A. J. A., jt. (1996). Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agriculture Engineering Research*, kd 64, lk 299–310.
- \_\_\_\_\_ (2007). Kempfarm vleesvarkensstal: milieu emissies en investeringskosten. Kempfarm vleesvarkensstal: milieu-emissies en investeringskosten (Kempfarm housing system for growing-finishing pigs: environmental emissions and investment costs) Animal Sciences Group Report 67. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/16883>.
- Aarts, H. F. M., B. Habekotté ja H. van Keulen (2000). Nitrogen (N) management in the 'De Marke' dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 56, lk 231–240.
- Amon, B. Th., jt (2001). Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 60, lk 103–113.
- Atapattu, N. S. B. M., D. Senaratna ja U. D. Belpagodagamage (2008). Comparison of Ammonia Emission Rates from Three Types of Broiler Litters. *Poultry Science*, kd 87, nr. 12 (detsember), lk 2436–2440.
- Aubert, C., jt (2011). Utilisation d'un complexe de microorganismes pour réduire les émissions d'ammoniac en élevage de poulets (Using a complex of microorganisms to

<sup>a</sup> Kõigi siin toodud artiklite ja muude allikate veebiaadresse külastati viimati 2013. aasta septembris.

- reduce the ammonia emissions from poultry farming). Conference paper for *les 9èmes Journées de la Recherche Avicole*, Tours, France, 29-30 märts 2011, lk 116–120.
- Bakker, G. C. M., jt M. C. J. Smits (2002). Dietary factors are additive in reducing in vitro ammonia emission from pig manure. *Journal of Animal Science*, kd 79, Lisa 1, Kokkuvõte 757.
- Baltussen, W. H. M., jt (2010). Economische gevolgen van bestaande regelgeving voor de Nederlandse varkenshouderij (Economic impacts of governmental policy measures for the pig industry in the Netherlands). Landbouw-Economisch Instituut (LEI) Rapport 2010–010. The Hague, the Netherlands.
- Bannink, A., H. Valk ja A. M. Van Vuuren (1999). Intake and Excretion of Sodium, Potassium, and Nitrogen and the Effects on Urine Production by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, kd 82, nr. 5 (mai), lk 1008–1018.
- Berntsen, J., jt (2007). Simulating residual effects of animal manures using <sup>15</sup>N isotopes. *Plant and Soil*, kd 290 (jaanuar), nr. 1–2, lk 173–187.
- Bittman, S., jt (2007). Agronomic effects of multi-year surface-banding of dairy slurry on grass. *Bioresource Technology*, kd 98, nr. 17 (detsember), lk 3249–3258.
- Bouwman, A. F., jt (1997). A global high-resolution emission inventory for ammonia. *Global Biogeochemical Cycles*, kd 11, nr. 4 (detsember), lk 561–587.
- Braam, C. R., J. Ketelaars ja M. C. J. Smits (1997). Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, kd 45, lk 49–64.
- Braam, C. R., jt (1997). Ammonia Emission from a Double-Sloped Solid Floor in a Cubicle House for Dairy Cows. *Journal of Agricultural Engineering Research*, kd 68, nr. 4 (detsember), lk 375–386.
- Bracher, A., jt (ilmumas). Feeding measures to reduce ammonia emissions. *Procedures of the International Symposium on Emissions of Gas and Dust from Livestock, Saint-Malo, Prantsusmaa, 10–13 juuni 2012*, M. Hassouna jt.
- Broderick, G. A. (2003). Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, kd 86, lk 1370–1381.
- Burton, C. H., ja C. Turner (2003). *Manure management — treatment strategies for sustainable agriculture*, 2nd ed. Silsoe, United Kingdom: Silsoe Research Institute.
- Burton, C. H. (2007). The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure, *Livestock Science*, kd 112, lk 208–216.
- Bussink, D. W., ja O. Oenema (1998). Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas; a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 51, lk 19–33.
- Canh, T. T., jt (1998a). Influence of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry pH and ammonia volatilisation from slurry. *Livestock Production Science*, kd 56, nr. 1 (oktoober), lk 1–13.
- \_\_\_\_\_ (1998b). Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livestock Production Science*, kd 56, nr. 5 (detsember), lk 181–191.

- \_\_\_\_\_ (1998c). Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, kd 76, nr. 4 (aprill), lk 1123–1130.
- \_\_\_\_\_ (1998d). Effect of dietary fermentable fibre from pressed sugar-beet pulp silage on ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Animal Science*, kd 67, nr. 3 (detsember), lk 583–590.
- \_\_\_\_\_ (1998e). Dietary carbohydrates alter the fecal composition and pH and ammonia emission from slurry of growing pigs. *Journal of Animal Science*, kd 76, nr. 7 (juuli), lk 1887–1895.
- Castillo, A. R., jt (2000). A review of efficiency of nitrogen utilisation in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Sciences*, kd 9, lk 1–32.
- Chadwick, D. R. (2005). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment*, kd 39, nr. 4 (veebbruar): lk 787–799.
- Chadwick, D. R., jt (2000). Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: A laboratory experiment. *Journal of Agricultural Science*, kd 134, nr. 2 (märts), lk 159–168.
- \_\_\_\_\_ (2005) Ammonia emissions from nitrogen fertiliser applications to grassland and tillage land. In WP1B Ammonia emissions and crop N use efficiency. United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), component report for Defra Project NT2605 (CSA 6579), november 2005. Available from <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=11983>.
- Chambers, B. J., ja K. A. Smith (1995). Management of farm manures: economic and environmental considerations. *Soil Use and Management*, kd 11, nr. 3 (september) lk 150–151.
- Doberman, A. (2007). Nutrient use efficiency — measurement and management. In *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs. Regulations*. Paris: International Fertilizer Industry Association.
- Dourmad, J. Y., jt (1993). Effect of growth potential and dietary protein input on growth performance, carcass characteristics and nitrogen output in growing-finishing pigs. In *Proceedings of the Congress on Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences*, Wageningen, the Netherlands, 8–11 juuni, lk 206–211.
- Ellen, H. H., ja N. W. M. Ogink (2009). Emissie-afleiding Kleinvoliere. Animal Sciences Group Report 234. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/14940>.
- Ellen, H. H., jt (2008). Ammoniakemissie en kosten van chemische luchtwasser met bypassventilatoren bij vleesvarkens (Ammonia emission and costs of a chemical air scrubber with bypass ventilation at a pig house). Animal Sciences Group Report 151. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre. Available from <http://edepot.wur.nl/35138>.
- Eskov, A. I., jt (2001). *Spravochnaya kniga po proizvodstvu i primeneniju organicheskikh udobrenij* (Handbook for the production and use of organic fertilizers). Vladimir, Russian

- Federation: VNIPTIOU "All-Russia Scientific Research Institute of Organic Fertilizers and Peat".
- Nõukogu direktiiv 1999/74/EÜ, 19. juuli 1999, millega sätestatakse munakanade kaitse miinimumnõuded. Euroopa liidu teataja L 203 of 3 august 1999, lk 53–57.
- \_\_\_\_\_, 2003. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Juuli 2003. Available from <http://eippcb.jrc.es/reference/irpp.html>.
- Fangueiro, D., jt (2008a). Effect of cattle slurry separation on greenhouse gas and ammonia emissions during storage. *Journal of Environmental Quality*, kd 37, nr. 6 (november) lk 2322–2331.
- \_\_\_\_\_, (2008b). Laboratory assessment of the effect of cattle slurry pre-treatment on organic N degradation after soil application and N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> emissions, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 80, lk 107–120.
- Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon (FAO) (2009). *The State of Food and Agriculture 2009: Livestock in the balance*. Rome.
- Galloway, J. N., jt (2003). The Nitrogen Cascade. *BioScience*, kd 53, lk 341–356.
- Geers, R., ja F. Madec, eds. (2006). *Livestock production and society*. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Gilhespy, S. L., jt (2009). Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *Biosystems Engineering*, kd 102, lk 180–189.
- Groenestein, C. M., ja H. G. van Faassen (1996). Volatilization of ammonia, nitrous oxide and nitric oxide in deep-litter systems for fattening pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research*, kd 65, nr. 4 (detsember), lk 269–274.
- Groenestein, C. M., jt (2001). Ammonia emission from individual- and group-housing systems for sows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, kd 49, lk 313–322.
- Groot Koerkamp, P. W. G., ja C. M. Groenestein (2008). Ammonia and odour emission from a broiler house with a litter drying ventilation system. In *AgEng2008: Agricultural and Biosystems Engineering for a Sustainable World*. Report of the International Conference on Agricultural Engineering and Industry Exhibition, Crete, Greece, 23–25 juuni 2008.
- Guinand N. (2009). Wet scrubber: one way to reduce ammonia and odours emitted by pig units. Paper presented at the sixtieth meeting of the European Association for Animal Production, Barcelona, Spain, 24–27 august 2009.
- Guinand, N., ja V. Courboulay (2007). Reduction of the number of slots for concrete slatted floor in fattening buildings: consequences for pigs and environment. In G. J. Monteny and E. Hartung, eds., *Proceedings of the International Conference on Ammonia in Agriculture: Policy, Science, Control and Implementation, 19–21 märts 2007, Ede, Netherlands*, lk 147–148. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Guinand, N., L. Demerson ja J. Broz (2005). Incidence de l'incorporation d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs charcutiers sur les performances zootechniques et l'émission d'ammoniac. *Journées Recherche Porcine*, kd 37, lk 1–6.

- Gutser, R., jt (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, kd 168, lk 439–446.
- Hadas, A., jt (2002). Modelling the turnover of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer and cover crop in soil and its recovery by maize. *European Journal of Soil Science*, kd 53, nr. 4 (detsember), lk 541–552.
- Hart, P. B. S., jt (1993). The availability of the nitrogen in the crop residues of winter wheat to subsequent crops. *The Journal of Agricultural Science*, kd 121, nr. 3 (detsember), lk 355–362.
- Hansen, M. N., K. Henriksen ja S. G. Sommer (2006). Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering. *Atmospheric Environment*, kd 40, lk 4172–4181.
- Hatch, D. J., ja others, eds. (2004). *Controlling nitrogen flows and Losses*. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Histov, A. N., W. Hazen ja J. W. Ellsworth (2006). Efficiency of use of imported nitrogen, phosphorus and potassium and potential for reducing phosphorus imports on Idaho dairy farms. *Journal of Dairy Science*, kd 89, nr. 9 (september), lk 3702–3712.
- Huynh, T. T. T., ja others (2004). Effects of floor cooling during high ambient temperatures on the lying behavior and productivity of growing finishing pigs. *Transactions of the ASAE*,<sup>b</sup> kd 47, nr. 5, lk 1773–1782.
- International Fertilizer Industry Association (2007). *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations*. Paris, France.
- Janssen, B. H. (1984). A simple method for calculating decomposition and accumulation of 'young' soil organic matter. *Plant and Soil*, kd 76, lk 297–304.
- Jarret G., J. Martinez ja J.-Y. Dourmad (2011). Effect of biofuel co-products in pig diets on the excretory patterns of N and C and on the subsequent ammonia and methane emissions from pig effluent. *Animal*, kd 5, nr. 4 (veebuar), lk 622–631.
- Jarvis, S. C., ja B. F. Pain, eds. (1997). *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*. Wallingford, United Kingdom: CAB International.
- Jarvis, S., jt (2011). Nitrogen flows in farming systems across Europe. In *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*, M. A. Sutton jt, eds. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, lk 211–228.
- Jenkinson, D. S., ja K. A. Smith, eds. (1988). *Nitrogen Efficiency in Agricultural Soils*. London: Elsevier Applied Science.
- Kebreab, E., jt (2001). Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 60, Nos. 1–3 juuli, lk 275–285.
- Kirchgessner, M., ja others (1991). Bestimmungsfaktoren der Güllecharakteristik beim Schwein. 2. Einfluss von Fütterungsintensität und den Anteilen an unverdaulichen sowie

<sup>b</sup> The American Society of Agricultural Engineers, later, the American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE).

- an bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS) im Futter. *Agribiological Research*, kd 44, lk 325–344.
- Kolenbrander, G. J., ja L. C. N. De La Lande Cremer (1967). *Stalmest en gier: Waarde en mogelijkheden* (Manure and slurry: Value and opportunities). Wageningen, the Netherlands: H. Veenman & Zonen NV.
- Langmeier M., jt (2002). Nitrogen fertilizer value of cattle manure applied on soils originating from organic and conventional farming systems. *Agronomie*, kd 22, lk 789–800.
- Lenis, N. P., ja J. B. Schutte (1990). Aminozuurvoorziening van biggen en vleesvarkens in relatie tot de stikstofuitscheiding (Amino acid supply of piglets and fattening pigs in relation to nitrogen excretion). In A. W. Jongbloed ja J. Coppoolse, eds., *Mestproblematiek: aanpak via de voeding van varkens en pluimvee. Onderzoek inzake de mest en ammoniakproblematiek in de veehouderij 4* (Manure Issues: Approach via the diet of pigs and poultry. Research on manure and ammonia in livestock nr. 4), Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research Centre.
- MacDonald, A., jt (1997). Effects of season, soil type and cropping on recoveries, residues and losses of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to arable crops in spring. *Journal of Agricultural Science*, kd 129, nr. 2 (september), lk 125–154.
- McCrary, D. F., ja P. J. Hobbs (2001). Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *Journal of Environmental Quality*, kd 30, nr. 2 (märts-aprill), lk 345–355.
- Melse, R. W., P. Hofschreuder ja N. W. M. Ogink (2012). Removal of Particulate Matter (PM<sub>10</sub>) by Air Scrubbers at Livestock Facilities: Results of an On-Farm Monitoring Program. *Transactions of the ASABE*,<sup>c</sup> kd 55, lk 689–698.
- Melse, R. W., ja N. W. M. Ogink (2005). Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE*, kd 48, lk 2303–2313.
- Melse, R. W., N. W. M. Ogink ja B. J. J. Bosma (2008). Multi-pollutant scrubbers for removal of ammonia, odor, and particulate matter from animal house exhaust air. In Proceedings of the Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations Conference, 19–21 mai 2008, Des Moines, Iowa, United States of America.
- Menzi, H., jt (2010). Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment. In *Livestock in a changing landscape*, kd 1, *Drivers, Consequences and Responses*, H. Steinfeld, jt, eds. Washington, D.C.: Island Press.
- Mikkelsen, S. A., jt (2010). Denmark-EU: the regulation of nutrient losses from intensive livestock operations. In *Livestock in a changing landscape*, kd 2, *Experiences and regional perspectives*, P. Gerber jt, eds. Washington, D.C.: Island Press.
- Misselbrook, T. H., F. A. Nicholson ja B. J. Chambers (2005). Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Bioresource Technology*, kd 96, lk 159–168.

---

<sup>c</sup> American Society of Agricultural and Biological Engineers.



- Misselbrook, T. H., ja J. M. Powell (2005). Influence of Bedding Material on Ammonia Emissions from Cattle Excreta. *Journal of Dairy Science*, kd 88, lk 4304–4312.
- Misselbrook, T. H., jt (2004). Ammonia Emissions from Irrigation of Dilute Pig Slurries. *Biosystems Engineering*, kd 89, nr. 4 (August), lk 473–484.
- \_\_\_\_\_ (2005a). Crusting of Stored Dairy Slurry to Abate Ammonia Emissions: Pilot-scale studies. *Journal of Environmental Quality*, kd 34, nr. 2 (juuni) lk 411–419.
- \_\_\_\_\_ (2005b). Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *Journal of Dairy Science*, kd 88, lk 1765–1777.
- Moal, J. F., jt (1995). Ammonia volatilization following surface-applied pig and cattle slurry in France. *Journal of Agricultural Science*, kd 125, nr. 2 (oktoober) lk 245–252.
- Møller, H. B., J. D. Hansen ja C. A. G. Sørensen (2007). Nutrient recovery by solid–liquid separation and methane productivity of solids. *Transactions of the ASABE*, kd 50, lk 193–200.
- Monteny, G. J. (2000). Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands (kokkuvõtted inglise ja hollandi keeles).
- Monteny, G. J., ja J. W. Erisman (1998). Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors, and possibilities for reduction. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, kd 46, lk 225–247.
- Mosier, A. R., J. K. Syers ja J. R. Freney, eds. (2004). *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) series, kd 65. Washington, D.C.: Island Press.
- Mroz, Z., jt (1996). Lowering ammonia volatilization from pig excreta by manipulating dietary acid-base difference. Proceedings of the 8th Animal Science Congress of AAAP, Tokyo, 13–18 oktoober 1996, kd 2, lk 762–763. Tokyo: Japanese Society of Zootechnical Science.
- Nevens, F., D. Reheul (2005). Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Journal of Agronomy*, kd 22, lk 349–361.
- Nicholson, F. A., B. J. Chambers, A. W. Walker (2004). Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosystems Engineering*, kd 89, nr. 2 (oktoober), lk 175–185.
- Nørregaard Hansen, M., jt (2008). *Emissionsfaktorer til beregning af ammoniakfordampning ved lagring og udbringning af husdyrgødning* (Emission factors for calculation of ammonia volatilization by storage and application of animal manure). *DJF<sup>d</sup> Husdyrbrug* series, nr. 84 (detsemberr). Aarhus: Denmark, Aarhus University.
- Novikov, M. N., jt (1989). *Pometnie komposty s fosfogipsom. Rekomenzii* (Treating compost with phosphogypsum). Moskva: VO “Agropromizdat”.

<sup>d</sup> Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet (Faculty of Agricultural Sciences) (DJF).

- Oenema, J., jt (2011). Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot dairy farms in the Netherlands. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, kd 58, lk 39–48.
- Oenema, O., H. Kros ja W. de Vries (2003). Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy*, kd 20, Nos. 1–2 (detsember), lk 3–16.
- Oenema, O., ja S. Pietrzak (2002). Nutrient Management in Food Production: Achieving Agronomic and Environmental Targets. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, kd 31, nr. 2 (märts), lk 159–168.
- Oenema, O., ja G. L. Velthof (1993) Ammonia volatilization from compound nitrogen-sulfur fertilizers. In *Optimization of Plant Nutrition*, M. A. C. Fragaso ja M. L. van Beusichem, eds., lk 341–349. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Oenema, O., jt (2008). Gaseous Nitrogen Emissions from Livestock Farming Systems. In *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*, 2. väljaanne, J. L. Hatfield ja R. F. Follett, eds., lk 395–441. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- \_\_\_\_\_ (2009). Integrated assessment of promising measures to decrease nitrogen losses from agriculture in EU-27. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, kd 133, Nos. 3–4 (oktoober), lk 280–288.
- Ogink, Nico W. M., ja Bert J. J. Bosma (2007). Multi-phase air scrubbers for the combined abatement of ammonia, odor and particulate matter emissions. In *Proceedings of the International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, Broomfield, Colorado, 16–19 september 2007*. ASABE. Available from <http://elibrary.asabe.org/conference.asp?confid=aqwm2007>.
- Organization for Economic Cooperation and Development (2008). Environmental Performance of Agriculture in OECD Countries Since 1990. Paris: France.
- Pain, B., ja H. Menzi, eds. (2003). Glossary of terms on livestock manure management 2003. Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture Network (RAMIRAN). Available from [www.ramiran.net](http://www.ramiran.net).
- Patterson, P. H., ja Adrizal (2005). Management Strategies to Reduce Air Emissions: Emphasis — Dust and Ammonia. *Journal of Applied Poultry Research*, kd 14, nr. 3 (Fall), lk 638–650.
- Patience, J. F., R. E. Austic ja R. D. Boyd (1987). Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. *Journal of Animal Science*, kd 64, nr. 2 (veebbruar), lk 457–466.
- Paul, J. W., jt (1998). Protein content in dairy cattle diets affects ammonia losses and fertilizer nitrogen value. *Journal of Environmental Quality*, kd 27, nr. 3 (mai) lk 528–534.
- Portejoie, S., jt (2004). Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livestock Production Science*, kd 91, nr. 1 (detsember), lk 45–55.
- Powell, J. M., ja G. A. Broderick (2009). Ammonia emissions from dairy barns: What have we learned? *2009 Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed*

- Manufacturers, 20–22 oktoober 2009, East Syracuse, New York*. Ithaca, New York: Cornell University.
- Powell, J. M., G. A. Broderick ja T. H. Misselbrook (2008). Seasonal diet affects ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of Dairy Science*, kd 91, nr. 2 (veebbruar), lk 857–869.
- Powell, J. M., T. H. Misselbrook ja M. D. Casler (2008). Season and bedding impacts on ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *Journal of Environmental Quality*, kd 37, lk 7–15.
- Powell, J. M., C. A. Rotz ja D. M. Weaver (2009). Nitrogen use efficiency in dairy production. In C. Grignani jt, eds., *Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop — Connecting different scales of nitrogen use in agriculture, 28 juuni–1 juuli 2009, Turin, Italy*, lk 241–242.
- Powell, J. M., ja M. P. Russelle (2009). Dairy heifer management impacts manure N collection and cycling through crops in Wisconsin, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, kd 131, lk 170–177.
- Powell, J. M., jt (2006). Dairy diet impacts on fecal properties and nitrogen cycling in soils. *Science Society of America Journal*, kd 70, nr. 3 (mai), lk 786–794.
- Reidy, B., ja H. Menzi (2007). Assessment of the ammonia abatement potential of different geographical regions and altitudinal zones based on a large-scale farm and manure management survey. *Biosystems Engineering*, kd 97, nr. 4 (august), lk 520–531.
- Reis, S., ed. (eelseisev). *Overview of the economic cost of ammonia abatement techniques in the UNECE region*. Dordrecht, the Netherlands: Springer Verlag.
- Ritz, C. W., jt (2006). Improving In-House Air Quality in Broiler Production Facilities Using an Electrostatic Space Charge System. *Journal of Applied Poultry Research*, kd 15, nr. 2 (suvi), lk 333–340.
- Rochette P., jt (2009). Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality*, kd 38, nr. 4 (juuli), lk 1383–1390.
- Rotz, C. A. (2004). Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science*, kd 82, nr. 13 (jaanuar) (lisa): lk E119–E137.
- Rotz, C. A., J. Oenema ja H. van Keulen (2006). Whole farm management to reduce nutrient losses from dairy farms: a simulation study. *Applied Engineering in Agriculture*, kd 22, lk 773–784.
- Rotz, C. A., jt (2005). Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Science*, kd 45, nr. 6 (november): lk 2139–2159.
- Rufino, M. C., jt (2006). Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, kd 116, lk 261–282.
- \_\_\_\_\_ (2007). Manure as a key resource within smallholder farming systems: analysing farm-scale nutrient cycling efficiencies with the NUANCES framework. *Livestock Science*, kd 112, nr. 3 (detsember), lk 273–287.
- Sanz-Cobeña, A. (2010). Ammonia emissions from fertiliser application: Quantification techniques and mitigation strategies. PhD väitekiri, Universidad Politécnica de Madrid.

- Schils, R. L. M., ja I. Kok (2003). Effects of cattle slurry manure management on grass yield. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, kd 51, lk 41–65.
- Schlegel, P., S. Durosoy ja A. W. Jongbloed, eds. (2008). *Trace elements in animal production systems*. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Schröder, J. J. (2005). Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology*, kd 96, nr. 2 (jaanuar), lk 253–261.
- Schröder J. J., A. G. Jansen ja G. J. Hilhorst (2005). Long-term nitrogen supply from cattle slurry. *Soil Use and Management*, kd 21, lk 196–204.
- Schröder, J. J., ja R. J. Stevens (2004). Optimizing N additions: can we integrate fertilizer and manure use? In *Controlling nitrogen flows and losses: 12th Nitrogen Workshop, University of Exeter, United Kingdom, 21–24 september 2003*, D. J. Hatch, jt, eds., lk 586–593. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Schröder J. J., D. Uenk ja G. J. Hilhorst (2007). Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. *Plant Soil*, kd 299, lk 83–99.
- Schröder J. J., jt (2000). Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? — Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, kd 66, nr. 2 (mai), lk 151–164.
- \_\_\_\_\_ (2003). An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, kd 20, nr. 1 (detsember) lk 33–44.
- Seré, C., H. Steinfeld ja J. Groenewold, (1996). World livestock production systems: current status, issues and trends. In FAO Animal Production and Health Paper nr. 127, Rooma: Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon (FAO).
- Smil, V. (2001). *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch and the Transformation of World Food Production*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- \_\_\_\_\_ (2002). Eating Meat: Evolution, Patterns, and Consequences. *Population and Development Review*, kd 28, nr. 4 (detsember): lk 599–639.
- Smith, K. A., jt (2000). PA — Precision Agriculture: Reduction of Ammonia Emission by Slurry Application Techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research*, kd 77, nr. 3 (november), lk 277–287.
- Smith, K., jt (2007). Natural crusting of slurry storage as an abatement measure for ammonia emissions on dairy farms. *Biosystems Engineering*, kd 97, lk 464–471.
- Smits, M. C. J. (1998). Groeven maken in een dichte V-vormige vloer: enkele observaties naar loopgedrag en ammoniakemissies (Grooving a solid V-shaped floor: some observations on walking behaviour and ammonia emission). DLO<sup>e</sup>-IMAG<sup>f</sup> Report P 98–60. Wageningen, the Netherlands.
- Søgaard, H. T., jt (2002). Ammonia volatilization from field-applied animal slurry — the ALFAM model. *Atmospheric Environment*, kd 36, lk 3309–3319.

<sup>e</sup> Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) or Agricultural Research Service.

<sup>f</sup> Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG) or Institute of Environmental and Agricultural Engineering.

- Sommer, S. G., ja J. E. Olesen (1991). Effects of dry matter content and temperature on ammonia loss from surface-applied cattle slurry. *Journal of Environmental Quality*, kd 20, nr. 3 (juuli), lk 679–683.
- Sommer S. G., J. K. Schjoerring and O. T. Denmead (2004). Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. *Advances in Agronomy*, kd 82, lk 557–622.
- Sommer, S. G., jt (2003). Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy*, kd 19, nr. 4 (august) lk 465–486.
- \_\_\_\_\_ (2006). Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy*, kd 89, lk 261–335.
- Sommerfeldt, T. G., C. Chang ja T. Entz (1988). Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Science Society of America Journal*, kd 52, nr. 6 (november), lk 1668–1672.
- Sørensen, P. (2004). Immobilisation, remineralisation and residual effects in subsequent crops of dairy cattle slurry nitrogen compared to mineral fertiliser nitrogen. *Plant and Soil*, kd 267, lk 285–296.
- Sørensen, P., ja M. Amato (2002). Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*, kd 16, nr. 2 (märts), lk 81–95.
- Sørensen, P., ja I. K. Thomsen (2005). Separation of Pig Slurry and Plant Utilization and Loss of Nitrogen-15-labeled Slurry Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal*, kd 69, nr. 5 (september), lk 1644–1651.
- Sørensen, P., M. R. Weisbjerg ja P. Lund (2003). Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. *Journal of Agricultural Science*, kd 141, nr. 1 (august), lk 79–91.
- Spoelstra, S. F. (1979). Volatile fatty acids in anaerobically stored piggery wastes. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, kd 27, lk 60–66.
- Steinfeld, H., jt (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- \_\_\_\_\_, eds. (2010). In *Livestock in a changing landscape*, kd 1, *Drivers, Consequences and Responses*. Washington, D.C.: Island Press.
- Stevens, R. J. ja R. J. Laughlin (1997). The impact of cattle slurries and their management on ammonia and nitrous oxide emissions from grassland. In *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands*, S. C. Jarvis ja B. F. Pain, eds. Wallingford, United Kingdom: CAB International.
- Sutton, M. A. jt (2000). Ammonia emissions from non-agricultural sources in the United Kingdom. *Atmospheric Environment*, kd 34, nr. 6 (jaanuar), lk 855–869.
- \_\_\_\_\_, eds. (2011). *The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives*. Cambridge: United Kingdom, Cambridge University Press.
- Swensson, C. (2003). Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livestock Production Science*, kd 84, nr. 2 (detsember), lk 125–133.

- Swierstra, D., C. R. Braam ja M. C. J. Smits (2001). Grooved floor systems for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. *Applied Engineering in Agriculture*, kd 17, lk 85–90.
- Tamminga, S. (1996). A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *Journal of Animal Science*, kd 74, nr. 12 (detsember), lk 3112–3124.
- Van der Meer, H. G., jt, eds. (1987). *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops: Fertilizer Or Waste?* Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Van der Zaag A., jt (forthcoming). Manure storage techniques and costs for abating ammonia. In *Overview of the economic cost of ammonia abatement techniques in the UNECE region*, S. Reis, ed. Dordrecht, Netherlands: Springer Verlag.
- Van Duinkerken, G. M. C. jt (2011a). Update of the Dutch protein evaluation systems for ruminants: the DVE/OEB<sub>2010</sub> system. *Journal of Agricultural Science*, kd 149, nr. 3 (juuni), lk 351–367.
- \_\_\_\_\_ (2011b). Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of Dairy Science*, kd 94, nr. 1 (jaanuar), lk 321–335.
- Van Vuuren, A. M. ja J. A. C. Meijs (1987). Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing cows. In *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops: Fertilizer Or Waste?*, Van der Meer, H. G., jt, eds., lk 17–25. Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Van Vuuren, A. M. ja others (1993). Effect of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, kd 76, nr. 10 (oktoober), lk 2982–2993.
- Velthof, G. L., jt (1998). Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and Soil*, kd 200, nr. 2 (märts), lk 215–226.
- Watson, C. A., ja D. Atkinson (1999). Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 53, nr. 3 (märts), lk 259–267.
- Watson, C. J., jt (1994). Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-BUTYL) thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Biology and Biochemistry*, kd 26, nr. 9 (september), lk 1165–1171.
- Webb, J., S. Anthony ja S. Yamulki (2006). Validating the MAVIS Model for Optimizing Incorporation of Litter-Based Manures to Reduce Ammonia Emissions. *Transactions of the ASABE*, kd 49, lk 1905–1913.
- Webb, J., D. Chadwick ja S. Ellis (2004). Emissions of ammonia and nitrous oxide following rapid incorporation of farmyard manures stored at different densities. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, kd 70, nr. 1 (september), lk 67–76.
- Webb, J. ja T. H. Misselbrook (2004). A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production. *Atmospheric Environment*, kd 38, nr. 14 (mai), lk 2163–2176.
- Webb, J., jt (2005a). Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environmental Pollution*, kd 135, nr. 3 (juuni), lk 399–406.

- \_\_\_\_\_ (2005b). The impact of increasing the length of the cattle grazing season on emissions of ammonia and nitrous oxide and on nitrate leaching in England and Wales. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, kd 105, Nos. 1–2 (jaanuar) lk 307–321.
- \_\_\_\_\_ (2010). The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response — A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, kd 137, Nos. 1–2 (aprill), lk 39–46.
- Webb, M., jt (2006). Cost-effective means of reducing ammonia emissions from UK agriculture using the NARSES model. *Atmospheric Environment*, kd 40, lk 7222–7233.
- Whitehead, D. C. (2000). *Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships*. Wallingford, United Kingdom: CABI Publishing.
- Ye, Z. Y., jt (2008a). Influence of airflow and liquid properties on the mass transfer coefficient of ammonia in aqueous solutions. *Biosystems Engineering*, kd 100, nr. 3 (juuli), lk 422–434.
- Ye, Z. Y., jt (2008b). Ammonia emissions affected by airflow in a model pig house: effects of ventilation rate, floor slat opening and headspace height in a manure storage pit. *Transactions of the ASABE*, kd 51, lk 2113–2122.
- Zhao, Y., jt (2011). Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Transactions of the ASABE*, kd 54, lk 285–293.
-