SÕNNIKULAOTAMISE TEHNOLOOGIATE VÕRDLEV UURING

Kalvi Tamm, Raivo Vettik, Peeter Viil, Taavi Võsa

Eesti Taimekasvatuse Instituut

Jānis Kažotnieks

Läti Nõuandekeskus

Uuringu tellis Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda

2016

Sisukord

1 Sõnniku käsitlus seadusandluses 6
2 Sõnniku liigid ja nende toitainete sisaldus 15
3 Sõnnikulaotamise tehnoloogiad, masinad ja ökonoomika 23
3.1 Tahesõnniku laotamise tehnoloogiad 23
3.2 Vedelsõnniku laotamise tehnoloogiad 31
3.2.1 Ülevaade tehnoloogiatest 31
3.2.2 Vedelsõnniku laoturid 37
3.2.3 Paisklaoturid 39
3.2.4 Lohislaoturid 42
3.2.5 Lohisdüüslaoturid 44
3.2.6 Segamislaoturid 46
3.2.7 Avalõhe-sisestuslaoturid 48
3.2.8 Survelaoturid 52
3.2.9 Sulglõhe-sisestuslaoturid 53
3.2.10 Ribasselaoturid 54
3.3 Poolvedela sõnniku laotamise tehnoloogiad 57
3.4 Sõnnikulaotamise tehnoloogiate majanduslikkus 60
3.4.1 Arvutusmudel 60
3.4.2 Ettevõtted ja masinad 65
3.4.3 Ammoniaagi lendumise mõju vedelsõnniku laotamiskuludele 80
3.4.4 Vedelsõnniku laotamisseadmete tasuvusiga 82
3.5 Kokkuvõtteks sõnnikulaotamise tehnoloogiatest 87
4 Laotamistehnoloogiate kasutuskogemusi 93
5 Innovatiivseid võtteid maailmast ja nende rakendusvõimalused Eestis ja Lätis . 99
5.1 Vedelsõnniku hapestamine 99
5.1.1 Sõnniku hapestamise tehnoloogiad 100
5.1.2 Laudas hapestamine 100
5.1.3 Hoidlas hapestamine 102
5.1.4 Põllul hapestamine 105
5.2 Torutoitega vedelsõnniku laotamine 106
5.3 Vedelsõnnikus olevate toiteainete sisalduse mõõtmine 107
5.4 Vedelsõnniku separeerimine 108
5.5 Sõnniku kompostimine 109
5.6 Vedelsõnniku jahutamine ja sealt soojuse eraldamine 110
6 Soovitused efektiivseks ja keskkonnasõbralikuks sõnnikukäitluseks 111

Kokkuvõte

Eesti ja Lätis on loomakasvatuseks soodsad tingimused ning põllumehed neis riikides on huvitatud uudsete sõnnikukäitlemise tehnoloogiate rakendamisest oma ettevõtteis, et tagada nii ettevõtete tugev konkurentsivõime kui ka seadusandluses sätestatud keskkonnanõuete täitmine. Eesti ja Läti koostööprojekti GreenAgri pilootprogrammi raames on koostatud aruanne, mille eesmärk on tutvustada keskkonnasõbralikke tehnoloogiaid orgaaniliste väetiste käitlemiseks põllumajandusettevõtetes.

Aruande esimeses peatükis antakse võrdlus sõnnikuga seotud regulatsioonidest Eesti ja Läti seadusandluses, mis võimaldab saada ülevaadet naaberriikides sätestatud reeglite kattuvustest ja erinevustest. Seda on vaja teada erinevate riikide sõnniku käitluskulude analüüsimisel ja ka näiteks ettevõtjatel kes plaanivad piiriülest sõnnikuga seotud majandustegevust. Samuti on seda oluline teada teadlastel ja ametkondadel kes kavandava erinevate seadusandlike meetmete analüüsimist. Eesti ja Läti sarnased looduslikud tingimused võimaldavad uurida, millised on keskkonnanõuete erinevuste mõju keskkonna parameetritele. Näiteks üheks olulisemaks erinevuseks seadusandlustes on, et Eestis on fosfori kasutamine piiratud 25 kg ha^{-1} viie aasta keskmisena. Lätis aga selline piirang puudub. Selline erinevus võimaldab uurida erinevusi nende riikide põllumajandusega seotud fosforiringluses ja selle mõju keskkonnale.

Sõnniku käitlemistehnoloogia valik sõltub oluliselt sõnniku omadustest. Teises peatükis antakse ülevaade sõnniku liigitusest ja omadustest liikide kaupa. Samuti on mineraalväetiste hindade baasil arvutatud hind erinevat tüüpi sõnnikutele. Sõnniku käitlemisel on oluline nii majanduslikkus kui keskkondlikus mõttes, et sõnnikus olevad toitained jõuaksid taimedeni neile vajalikkus määras. Sõnnikus oleva väärtusliku toitaine lämmastiku ühendi ammoniaagi lendumine sõltub oluliselt laotamise viisist, ilmastikust ja muudest tingimusest. Esitatud on nende aspektide mõju ammoniaagi lendumisele sõnnikust.

Kolmandas peatükis antakse ülevaade taheda vedela ja poolvedela sõnniku laotamistehnoloogiatest. Iga tehnoloogia juures on antud ülevaade masinate hinnatasemest ja selle tehnoloogia eelistest ning puudustest. Võrreldud on laotamiskulusid erineva suurusega ettevõtetes, erinevate laotamistehnoloogiate korral. Arvutused näitavad, et enamasti on suurema sõnnikukogusega ettevõtetes laotamiskulud sõnniku ühiku kohta väiksemad kui väikse kogusega ettevõtteis. Enamasti aitab vedelsõnniku põllule ettevedu laotamiskulusid vähendada. Väiksemates ettevõtetes on teenustööde kasutamine teatud tingimustel odavam kui oma masinate rakendamine. Suuremates ettevõtetes on laotamisseadmete tasuvusaeg piisvalt lühike, et masina jõuaks füüsiliselt vananeda ennem kui tehnoloogia on moraalselt iganenud. Peatükis tuuakse välja ka ammoniaagi lendumise mõju laotamisseadmete kasutamise majanduslikkusele. Lohisvoolikseadmete kasutamisel on lendumise mõju suur kui ilmastikutingimused on ammoniaagi lendumiseks soodsad ja laotamise järgne muldaviimine viibib mitmele tunnile pärast laotamist. Sisestus- ja segamislaotamisel on lendumine oluliselt vähem ilmastikutingimustest mõjutatud ja annavad teatud tingimustes parema majandusliku efekti. Samuti on nende tehnoloogiate korral oluliselt väiksem haisuprobleem.

Ettevõtetes kasutatavatest tehnoloogiatest antakse ülevaade neljandas peatükis. Seal on näha et 60% uuringu aluste ettevõtete sõnnikust laotatakse sisestus- või segamisseadmete abil. Sellele järgnevad lohisvooliklaoturite 35%-ga. Paisklaoturite abil laotati veel ainult 5% sõnnikust. Sealjuures 55% sõnnikust laotatakse teenusepakkuja poolt ja 45% oma laoturitega.

Uudsetest sõnnikukäitlemise tehnoloogiatest antakse ülevaade viiendas peatükis. Taanis juba hapestatakse 15% vedelsõnnikust ja seda tehnoloogiat on kasutatud ka mõningates Eesti

ettevõtetes. Tehnoloogia vastu on nii Lätis kui Eestis suur huvi ja selle rakendamisega seotud aspektide uurimiseks on 2016. aastal käivitunud kolmeaastane uurimisprojekt, mis hõlmab Läänemerd ümbritsevaid riike. Seadmed vedelsõnniku toiteainete sisalduse laotamisaegseks mõõtmiseks võimaldavad täpsemalt annustada taimedele toiteaineid nii palju kui need vajavad ja rakendada ka sõnniku asukohapõhist laotamist. Sellega kaasneb ka väiksem risk sõnnikus olevate toiteainete leostumiseks. Sõnniku separeerimine võimaldab tehnoloogiliselt ebasobiva poolvedela sõnniku eraldamist tehnoloogiliselt paremini käideldavateks vedelamaks ja tahedamaks fraktsiooniks. Tahesõnniku kompostimine aitab hävitada sõnnikus olevaid patogeene ja anda seega tahesõnnikule enam rakendusvõimalusi alates loomade allapanuks kasutamisest kuni aiandusmulla tegemiseni. Kindlasti on Eesti ja Läti loomapidajate jaoks huvipakkuv ka tehnoloogia, mis aitab sõnnikus olevat energiat kasutada tootmishoonete soojavajaduse katmiseks.

Kuuendas peatükis on esitatud soovitused erinevat tüüpi sõnnikute käitlemiseks ja millist tüüpi laotamisseadmete kasutamist võiks soodustada seadusandlike regulatsioonide ja toetusmeetmete abil.

Sissejuhatus

Põllumajandusloomade sõnnikut peetakse peamiseks ammoniaaklämmastiku õhkuheidete allikaks Läänemere piirkonnas (HELCOM raport, 2013). Atmosfääri kandudes põhjustab ammoniaak (NH_3) õhust tulenevat eutrofeerumist (looduskeskkonna rikastumist taimetoiteainetega) ning need annavad olulise osa Läänemerre jõudvatest nitraatidest. Ammoniaagiheited ei ole ohuks mitte ainult Läänemere seisundile vaid ka inimeste tervisele, sest need moodustavad sekundaarseid peenosakesi, näiteks ammooniumnitraadi või ammooniumsulfaadi aerosoolide osakesi, mis kuuluvad inimese tervist enim mõjutavate saasteainete hulka.

Sealjuures ei ole arvesse võetud, et ammoniaagi lendumisel sõnnikust haihtub oluline osa ressursist, mida muidu saaks põllumajandustootmises kasutada. HELCOM-i Läänemere tegevuskava 2013. a muudatus on võtnud eesmärgiks vähendada Läänemerre jõudva lämmastiku kogust 118 000 t võrra – see jaguneb Läänemerd ümbritsevate kõikide riikide vahel.

Enamike sõnniku käitlemise operatsioonidega (hoiustamine, segamine, transportimine, laotamine jne) kaasneb sõnniku pinnalt ammoniaagi lendumine. Selle vähendamiseks propageeritakse parimateks võimalikke tehnikaid (PVT-deks) nagu näiteks loomapidamishoonete õhu puhastamine, sõnnikuhoidlate katmine ja vedelsõnniku sisestus- või segamislaotamine.

Eesti ja Läti koostööprojekti GreenAgri pilootprogrammi raames on koostatud aruanne, mille eesmärk on laiemalt tutvustada uudseid ja majanduslikult tõhusaid keskkonna -ja kasutajasõbralikke sõnniku käitlemise tehnoloogiaid Eestis ja Lätis. Selgitatakse, millised on takistused, mis takistavad nende tehnoloogiate kasutusele võtmist.

Käesolevas aruandes antakse ülevaade Eesti ja Läti põllumajandusettevõtetes kasutatavatest sõnnikukäitluse tehnoloogiatest. Lähtuvalt seadusandluse ülevaatest ja tehnoloogiate majanduslikkuse analüüsist antakse soovitusi tulemuste arvestamiseks riikide seadusandluse ja toetussüsteemide täiendamisel. Oodatavateks tulemusteks on põllult pinnaveega ärakandumisest ja õhust tuleneva eutrofeerumise vähenemine ja konkurentsivõimelisemad ning jätkusuutlikumad põllumajandusettevõtted Läänemere piirkonnas.

1 Sõnniku käsitlus seadusandluses

Eestis kehtiva Veeseaduse (Veeseadus, 2016) alusel on sõnnikuga lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta:

a) kuni 170 kg lämmastikku aastas, sealhulgas on ka loomade karjatamisel karjamaale jäävas sõnnikus sisalduv lämmastik;
b) kuni 25 kg fosforit aastas, sealhulgas ka fosfor, mis jääb karjatamisel maale loomade väljaheidetega. Haritavale maale sõnnikuga antava fosfori kogust võib vajaduse korral suurendada või vähendada arvestusega, et jooksva viie aasta keskmisena antud fosfori kogus ei ületa 25 kg hektari kohta aastas.

Sõnniku laotamise aeg

Vedelsõnnikut ei tohi laotada 1. detsembrist kuni 20. märtsini ega muul ajal, kui maapind on kaetud lumega, külmunud või perioodiliselt üle ujutatud või veega küllastunud	Kehtib praegu
Vedelsõnnikut ei tohi laotada 1. novembrist kuni 20. märtsini ega muul ajal, kui maapind on kaetud lumega, külmunud või perioodiliselt üleujutatud või veega küllastunud. Väetiste laotamisaja keelu alguse võib Keskkonnaamet, arvestades ilmastiku- ja vegetatsioonitingimusi, kehtestada alates 15. oktoobrist. (Redaktsiooni jõustumise kuupäev on 1. jaanuar 2023. a)	Hakkab kehtima 01.01.2023
Tahe- ja sügavallapanusõnnikut ning muid orgaanilisi väetisi ei tohi laotada 1. detsembrist kuni 20. märtsini ega muul ajal, kui maapind on kaetud lumega, külmunud või perioodiliselt üle ujutatud või veega küllastunud. Väetise laotamine pinnale on keelatud haritaval maal, mille maapinna kalle on üle 10 protsendi. Kui maapinna kalle on 5–10 protsenti, on pinnale väetise laotamine keelatud 1. oktoobrist kuni 20. märtsini.	Kehtib praegu

Erandina on väetise laotamine pinnale kaldega üle 10 protsenti lubatud kogu põllumassiivil, välja arvatud eelnimetatud keeluajal, kui on täidetud järgmised tingimused (Keskkonnaministri määrus „Maapinna kalde määramise alused ning erandid kaldega alade väetamisel“):

1) üle 10 protsendiliste kalletega alade pindala kokku ei moodusta Maa-ameti kaardirakenduse kallete kaardi järgi üle ühe kolmandiku põllumassiivi pindalast;
2) üle 10 protsendise kaldega ala ei ole laiem kui 100 m;
3) kaldega ala lähim serv jääb reljeefis madalamal paikneva karstilehtri servast vähemalt 50 m kaugusele;
4) kaldega ala lähim serv jääb looduskaitseseaduse alusel kehtestatud ranna ja kalda piiranguvööndist väljapoole ega piirne sellega;
5) kaldega ala lähim serv jääb reljeefis madalamal paiknevast maaparandussüsteemi avatud eesvoolust või kuivenduskraavist vähemalt 50 m kaugusele;
6) veehaarde sanitaarkaitsealast ülalpool paikneva kaldega ala lähim serv ei piirne veehaarde sanitaarkaitsealaga;
7) kaevu hooldusalast ülalpool paikneva kaldega ala lähim serv ei piirne kaevu hooldusalaga;
8) õuealast ülalpool paikneva kaldega ala lähim serv jääb põhikaardil märgitud õuealast vähemalt 100 m kaugusele.

Sõnniku muldaviimise aeg kasvavate kultuurideta põllul

Kasvavate kultuurideta põllul tuleb sõnnik pärast laotamist mulda viia 48 tunni jooksul.	Kehtib praegu
Kasvavate kultuurideta põllul tuleb sõnnik lämmastikuühendite lendumise ja pinnaveega ärakande vältimiseks mulda viia võimalikult kiiresti, kuni 24 tunni jooksul laotamise lõpetamisest arvates. (Redaktsiooni jõustumise kuupäev on 1. jaanuar 2021. a).	Hakkab kehtima 01.01.2021

Sõnniku muldaviimise aeg kasvavate kultuuridega põllul

Kasvavate kultuuridega kaetud haritavale maale tohib 1. novembrist kuni 30. novembrini laotada sõnnikut juhul, kui see 48 tunni jooksul mulda viiakse	Kehtib praegu
Ületalve jäetavale taimikuga pinnale tohib tahe- ja sügavallapanusõnnikut laotada kuni 15.oktoobrini. Pärast 20. septembrit tuleb ületalve jäetavale taimikuga maale laotatavad vedelväetised pinnasesse viia sisestuslaotamisagregaatidega. Redaktsiooni jõustumise kuupäev on 1. jaanuar 2021. a).	Hakkab kehtima 01.01.2021

Sõnnikuhoidla vajadus sõltuvalt loomade arvust

Kõikidel loomapidamishoonetel, kus peetakse üle 10 loomühiku loomi, peab olema lähtuvalt sõnnikuliigist sõnnikuhoidla või sõnniku- ja virtsahoidla.	Kehtib praegu
Loomapidamishoonel, kus peetakse loomi üle 5 loomühiku, peab olema sõnnikuhoidla või sõnniku- ja virtsahoidla.	Hakkab kehtima 01.01.2023

Sõnnikuhoidla või sõnniku- ja virtsahoidla peab mahutama vähemalt kaheksa kuu sõnniku ja virtsa ning vajaduse korral, sõltuvalt loomapidamishoones kasutatavast tehnoloogiast, ka sealt pärit reovee. Sõnnikuhoidla mahutavuse kalkuleerimisel võib välja arvata loomade poolt karjatamisperioodil karjamaale jäetud sõnniku kogused.

Kui loomapidaja suunab sõnniku lepingu alusel hoidmisele või töötlemisele teise isiku hoidlasse või töötlemiskohta, peab loomapidamishoone kasutamisel olema tagatud lekkekindla hoidla olemasolu, mis mahutab vähemalt ühe kuu sõnnikukoguse.

Sõnnikuhoidlad, sõnniku- ja virtsahoidlad ning sügavallapanuga loomapidamishooned peavad olema lekkekindlad ning nende konstruktsioon peab tagama ohutuse ja lekete vältimise hoidla käitamisel, sealhulgas selle täitmisel ja tühjendamisel.

Tahesõnniku ajutine hoiustamine sõltuvalt loomade arvust

Kui loomapidamishoones peetavaid loomi on 10 või vähem loomühikut ja seal tekib tahesõnnik või sügavallapanusõnnik, võib tekkivat sõnnikut ajutiselt enne laotamist või auna viimist hoiustada hoone juures veekindla põhjaga alal ja vihmavee eest kaitstult.	Kehtib praegu
Kui loomapidamishoones peetavaid loomi on 5 või vähem loomühikut ja seal tekib tahesõnnik või sügavallapanusõnnik, võib tekkivat sõnnikut ajutiselt enne laotamist või auna viimist hoiustada hoone juures veekindla põhjaga alal ja vihmavee eest kaitstult.	Hakkab kehtima 01.01.2023

Haritaval maal on aunas enne laotamist lubatud hoida kuni kahe kuu jooksul vaid tahesõnnikut, mille kuivainesisaldus on vähemalt 20 protsenti ning mis ei ületa ühe vegetatsiooniperioodi kasutuskogust.

Sügavallapanusõnnikut, mille kuivainesisaldus on vähemalt 25 protsenti ning mille kogus ei ületa ühe vegetatsiooniperioodi kasutuskogust, on aunas lubatud hoida kuni kaheksa kuu jooksul, teavitades sellest Keskkonnaametit vähemalt 14 päeva enne auna moodustamist.

Tahe- ja sügavallapanusõnniku ladustamine auna on keelatud 1. detsembrist kuni 31. jaanuarini.

Sõnnikuaun peab paiknema tasasel maal, vähemalt 50 meetri kaugusel pinnaveekogust, kaevust ja karstilehtrist. Sõnnikuauna ei tohi rajada maaparandussüsteemi drenaažitoru kohale, kaitsmata põhjaveega, liigniiskele ega üleujutatavale alale.

Määruses „Veekaitsenõuded väetise- ja sõnnikuhoidlatele ning siloladustamise kohtadele ja sõnniku, silomahla ja muude väetiste kasutamise ja hoidmise nõuded“ (Veekaitsenõuded..., 2013) käsitatakse sõnnikuna tahesõnnikut, poolvedelat sõnnikut ja vedelat sõnnikut, sealhulgas kõiki neid ka töödeldud kujul.

Virtsana käsitatakse loomade vedelaid väljaheiteid koos sõnnikust väljanõrgunud vedelikega.

Sügavallapanusõnnikuna käsitatakse loomapidamishoones küllaldase allapanuga tekkinud tahesõnnikut, millest ei eraldu virtsa.

Sõnnikuaun peab olema kaetud vettpidava materjaliga või vähemalt 20 cm paksuse turba-, põhu, mulla-, saepuru- või puitlaastukihiga.

Kui sõnnikut säilitatakse aunas kauem kui kaks nädalat, tuleb ladustamiskoha pinnas enne ladustamist katta lekkekindla või vedelikke imava materjaliga, nagu vähemalt 20 cm paksune turba- või põhukiht. Nõue ei kehti sügavallapanusõnnikule.

Sõnnikuauna ei tohi kahel teineteisele järgneval aastal paigutada samasse kohta.

Üle 300 loomühiku loomi pidav isik (edaspidi loomapidaja), kes kasutab loomapidamishoones vedelsõnnikutehnoloogiat, või isik, kes lepingu alusel laotab 300-le loomühikule vastava koguse loomade vedelsõnnikut, koostab enne vedelsõnniku laotamist vedelsõnniku laotamisplaani, milles näidatakse laotatav vedelsõnniku kogus, laotamisala pindala, laotamisviisid, laotamisala põhjavee kaitstus, laotamisalal asuvad pinnaveekogud ja veehaarded.

Vedelsõnniku laotamisplaani kinnitab enne vedelsõnniku laotamist Keskkonnaamet. Vedelsõnniku laotamisplaan kinnitatakse kolme aasta kohta. Vedelsõnniku koguse suurenemise puhul taotleb loomapidaja laotamisplaani muudatuse tegemist või esitab kinnitamiseks uue plaani. Loomapidaja peab laotamisplaani säilitama üks aasta pärast vedelsõnniku laotamisaega.

Tabel 1.1 Võrdlus, kuidas on sõnniku käitlemine reguleeritud Eesti ja Läti seadusandlustes.

Võtmesõna	Eesti	Läti
N koguse piirangud	Sõnnikuga on lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta kuni 170 kg lämmastikku aastas, sealhulgas loomade karjatamisel maale jäävas sõnnikus sisalduv lämmastik.	Ettevõttes tekkiva N kogus (sõnniku või digestaadina) ei tohi ületada 170 kg haritava maa ha kohta aastas.
P koguse piirangud	Sõnnikuga on lubatud anda haritava maa ühe hektari	Piirangud puuduvad.

	kohta kuni 25 kg fosforit aastas, sealhulgas fosfor, mis jääb karjatamisel maale loomade väljaheidetega. Haritavale maale sõnnikuga antava fosfori kogust võib vajaduse korral suurendada või vähendada arvestusega, et jooksva viie aasta keskmisena antud fosfori kogus ei ületa 25 kg hektari kohta aastas.	
Laotamise aeg	Keelatud on 1.12–20.03 või kui maapind on: • külmunud; • lumega kaetud; • perioodiliselt üleujutatud või • veega küllastunud. Alates 1.1.2023 muudatus: keelatud on 1.11–20.03.	Väljaspool NTA-d laotamise ajale piiranguid ei ole. Nitraaditundliku alal (NTA) on keelatud haritaval maal 20.10–15.03 ja rohumaal 5.11–15.03. Keelatud on laotada • külmunud, • veega küllastunud, • üleujutatud või • lumega kaetud maale.
Veekaitsevööndid, kus on keelatud väetiste kasutamine ning sõnnikuhoidla või -auna paigaldamine	1) Läänemerel, Peipsi, Lämmi- ja Pihkva järvel ning Võrtsjärvel – 20 m; 2) teistel järvedel, veehoidlatel, jõgedel, ojadel, allikatel, peakraavidel ja kanalitel ning maaparandussüsteemide eesvooludel – 10 m; 3) maaparandussüsteemide eesvooludel valgalaga alla 10 km^2 – 1 m.	Keelatud on sõnnikut laotada kaitsetsoonis (10 m kaldajoonest) ja erikaitse tsoonides vastavalt õigusaktidele.
Toiteainete kasutamine	Mineraalväetistega antavate taimetoiteelementide kogus ei tohi ületada kogust, mis on vajalik mullas sisalduvate toitainete tasakaalu säilimiseks, arvestades väetatavate taimede toitainete vajadust, saagikust, külvikordi, mulla omadusi ja muid väetamisel tähtsust omavaid tegureid. Mineraallämmastiku kogused, mis on suuremad kui 100 kg hektarile, tuleb anda jaotatult.	Lubatud kindlad toiteelementide kogused sõltuvalt põllukultuurist ja saagikusest (vt tabel 1.2. ja 1.3., näiteks talinisu 7 t ha^{-1} – 220 kg N ha^{-1}).
Muldaviimine haritaval maal (Kasvavate kultuurideta põllul)	Nii ruttu kui võimalik, 48 h jooksul. Alates 1.1.2021 muudatus: nii ruttu kui võimalik, 24 h jooksul.	Tahesõnnik ja kompost 24 h jooksul, vedelsõnnik 12 tunni jooksul.
Kaldealad	Väetise laotamine maapinnale	NTA-l on lubatud kohese muldaviimisega

	on keelatud haritaval maal, mille maapinna kalle on üle 10 protsendi. Kui maapinna kalle on 5–10 protsenti, on pinnale väetise laotamine keelatud 1.10–20.03. Erandina on väetise laotamine pinnale kaldega üle 10 protsenti lubatud kogu põllumassiivil, välja arvatud eelnimetatud keeluajal, kui on täidetud keskkonna-ministri määruses „Maapinna kalde määramise alused ning erandid kaldega alade väetamisel“ esitatud tingimused.	laotada maale, kui maapinna kalle on 5–7 kraadi ja kaldesuunaline kaugus veekoguni on enam kui 100 m. 7–10 kraadise kaldega nõlvadel ja kaldesuunalise kaugusega veekoguni enam kui 100 m peab mullaharimine toimuma risti nõlvaga ja lubatud on sõnniku laotamine kohese muldaviimisega või kui NTA-l mullal on taimkate. Keelatud on laotada sõnnikut mustale kesale kui kalle on enam kui 7 kraadi. Keelatud on laotada sõnnikut kõigile põldudele, mille kalle on enam kui 10 kraadi ja kaldesuunalise kaugus veekoguni enam kui 100 m. Kui kalde pikkus on enam kui 20 m ja kalle on enam kui 10 kraadi, on soovitatav säilitada kasvavat taimikut või tüüstikku.
Kasvavate kultuuridega maa	Võib laotada 1.11–30.11 ainult juhul, kui 48 h jooksul viiakse mulda.	Lubatud on vedelsõnniku ja digestaadi laotamine muldasegamiseta kui seda tehakse kasvavate taimede täiendavaks väetamiseks.
Talvituvad kultuurid	Tahesõnnikut tohib laotada kuni 15.10. Alates 01.01.2021 muudatus: pärast 20.09 tuleb ületalve jäetavale taimikuga maale laotatavad vedelväetised pinnasesse viia sisestuslaotamis-agregaatidega.	Lubatud on laotada sõnnikut (tahe ja vedel) ja digestaati kuni 20.10, kui põld on kaetud taimejäänustega (põhk, heintaimede juured, tüüstik). See tuleb pinnasesse viia järgmiselt: tahesõnnik ja kompost 24 tunni jooksul, vedelsõnnik 12 tunni jooksul.
Sõnnikuhoidla vajadus	Kõikidel loomapidamishoonetel, kus peetakse üle 10 loomühiku loomi, peab olema lähtuvalt sõnnikuliigist sõnnikuhoidla või sõnniku- ja virtsahoidla. Alates 1.1.2023 muudatus: kõikidel loomapidamishoonetel, kus peetakse üle 5 loomühiku loomi, peab olema lähtuvalt sõnnikuliigist sõnnikuhoidla või sõnniku- ja virtsahoidla.	Loomapidamishoonetel, >10 LÜ või> 5 LÜ NTA-l, peab olema lekkekindel betoonist, plastmassist või metallist sõnnikuhoidla. Tahesõnniku korral tuleks virts hoida eraldi kinnises hoidlas. Sügavallapanu hoidla kasutamine on lubatud.
Sõnnikuhoidla maht	Vähemalt kaheksa kuu sõnnik (vajaduse korral, sõltuvalt loomapidamishoones kasutatavast tehnoloogiast, ka sealt pärit reovesi). Välja võib arvata loomade poolt karjatamisperioodil karjamaale jäetud sõnniku kogused.	Loomapidamisettevõtteis, > 10 LÜ või > 5 LÜ NTA-l, peaks sõnnikuhoidlad mahutama ettevõttes 8 kuu jooksul toodetava sõnnikukoguse. Virts tahesõnniku hoidlatest tuleb hoida eraldi kinnistes mahutites, mis mahutavad 8 kuu koguse.
Sõnniku lepinguline	Kui loomapidaja suunab	Piiranguid ei ole, kuid peab olema leping,

väljastamine ettevõttest	sõnniku lepingu alusel hoidmisele või töötlemisele teise isiku hoidlasse või töötlemiskohta, peab loomapidamishoone kasutamisel olema tagatud lekkekindla hoidla olemasolu, mis mahutab vähemalt ühe kuu sõnnikukoguse.	kus on kirjas kokkulepitud sõnniku kogus.
Lekkekindlus ja ohutus	Sõnnikuhoidla peab olema lekkekindel ning nende konstruktsioon peab tagama ohutuse ja lekete vältimise hoidla käitamisel, sealhulgas selle täitmisel ja tühjendamisel.	Loomapidamishoonetel, >10 LÜ või >5 LÜ NTA-l, peavad olema hoidlad, mille põrand ja seinad on valmistatud lekkekindlast ja masinatele vastupidavast materjalist.
Tahesõnniku lühiajaline hoiustamine	Kui loomapidamishoones LÜ=<10 ja seal tekib tahesõnnik või sügavallapanusõnnik, võib tekkivat sõnnikut ajutiselt enne laotamist või auna viimist hoiustada hoone juures veekindla põhjaga alal ja vihmavee eest kaitstult. Alates 1.1.2023: kui loomapidamishoones LÜ=<5 ja seal tekib tahesõnnik või sügavallapanusõnnik, võib tekkivat sõnnikut ajutiselt enne laotamist või auna viimist hoiustada hoone juures veekindla põhjaga alal ja vihmavee eest kaitstult.	Sügavallapanu sõnnikut (kuivainesisaldus üle 45%) on lubatud hoiustada väljas mitte kauem kui 24 kuud. Kõike muud tahesõnnikut võib erandkorras ladustada põllule mitte kauemaks kui 5 kuud ja juhul, kui rekonstrueeritakse või remonditakse hoidlat.
Tahesõnniku põllul ladustamine	Aunas enne laotamist on lubatud hoida kuni kahe kuu jooksul vaid tahesõnnikut, mille kuivainesisaldus on vähemalt 20 protsenti ning mis ei ületa ühe vegetatsiooniperioodi kasutuskogust. Sügavallapanusõnnikut, mille kuivainesisaldus on vähemalt 25 protsenti ning mille kogus ei ületa ühe vegetatsiooniperioodi kasutuskogust, on aunas lubatud hoida kuni kaheksa kuu jooksul, teavitades sellest Keskkonnaametit vähemalt 14 päeva enne auna moodustamist.	Põllul aunastamine on lubatud ainult juhul kui selleks on Keskkonnaameti luba. Sõnniku KA peab olema üle 30% ja see peab olem virnastatav, et vältida virtsa välja valgumist. Põllule ladustatav sõnniku kogus ei tohi ületada selle põllu aastast väetamisvajadust. Auna põhi peab olema tehtud veekindlast materjalist või 30 cm paksusest imavast materjalist nagu saepuru, hekseldatud põhk või turvas. Imavast materjalist aluse peab olema 2 m laiem kui aun. Auna kaitsmiseks sademete eest ja ärakande ning lendumise minimeerimiseks peab aun olema kaetud veekindla materjaliga või 20 cm paksuse imava materjali kihiga.

	Sõnnikuaun peab olema kaetud vettpidava materjaliga või vähemalt 20 cm paksuse turba-, põhu-, mulla-, saepuru- või puitlaastukihiga. Kui sõnnikut säilitatakse aunas kauem kui kaks nädalat, tuleb ladustamiskoha pinnas enne ladustamist katta lekkekindla või vedelikke imava materjaliga, nagu vähemalt 20 cm paksune turba- või põhukiht. Nõue ei kehti sügavallapanusõnnikule.	
Põllul ladustamise keeld	Tahe- ja sügavallapanusõnniku ladustamine auna on keelatud 1.12–31.01.	Piiranguid puuduvad, kui on väljastatud Keskkonnaameti luba. Kui puudub luba, siis on põllul ladustamine keelatud 30.09–1.5
Auna asukoht	Sõnnikuaun peab paiknema tasasel maal, vähemalt 50 meetri kaugusel pinnaveekogust, kaevust ja karstilehtrist. Sõnnikuauna ei tohi rajada maaparandussüsteemi drenaažitoru kohale, kaitsmata põhjaveega, liigniiskele ega üleujutatavale alale. *Sõnnikuauna ei tohi kahel teineteisele järgneval aastal paigutada samasse kohta*	Tahesõnniku aun peab paiknema tasasel pinnal (mitte rohkem kui 5 kraadi kalle) ja vähemalt 50 m kaugusel avaveekogudest või joogivee kaevudest ja vähemalt 30 m kaugusel avatud kuivenduskraavidest või kuivendussüsteemidest. Hoiustamine samas kohas on lubatud mitte varem kui 3 aasta tagant.
Tahesõnnikuhoidla erand		Loomakasvatusettevõtteis, kus loomi peetakse sügavallapanul ning loomakasvatusettevõtteis kus lihaveiseid, lambaid või metsloomi peetakse tootmise eesmärgil aastaringselt väljaspool lauta tarastatud aladel, ei pea olema täiendavat sõnnikuhoidlat.
Tahesõnniku käitusdokumentatsioon	Üle 300 loomühiku loomi pidav isik (edaspidi loomapidaja), kes kasutab loomapidamishoones vedelsõnnikutehnoloogiat, või isik, kes lepingu alusel laotab 300-le loomühikule vastava koguse loomade vedelsõnnikut, koostab enne vedelsõnniku laotamist vedelsõnniku laotamisplaani, milles näidatakse laotatav vedelsõnniku kogus,	Sõnniku kasutamist ettevõttes tuleb dokumenteerida, registreerides toodetavad kogused ja laotatavad kogused ning laotamisajad.

	laotamisala pindala, laotamisviisid, laotamisala põhjavee kaitstus, laotamisalal asuvad pinnaveekogud ja veehaarded. Vedelsõnniku laotamisplaani kinnitab enne vedelsõnniku laotamist Keskkonnaamet. Vedelsõnniku laotamisplaan kinnitatakse kolme aasta kohta. Vedelsõnniku koguse suurenemise puhul taotleb loomapidaja laotamisplaani muudatuse tegemist või esitab kinnitamiseks uue plaani. Loomapidaja peab laotamisplaani säilitama üks aasta pärast vedelsõnniku laotamisaega.	

Tabel 1.2 Lämmastikutarve sõltuvalt põllukultuuride saagikusest, Lätis. Lämmastikutarbe leidmisel arvestatakse väetises kogulämmastiku sisaldust.

Põllukultuur	Kultuuri saagikus, t ha^{-1}			
	< 3	3 – 5	5 – 7	> 7
Talinisu	80	120	150	220
Rukis	65	95	130	160
Talioder	75	105	140	185
Talitritikale	75	105	140	200
Suvinisu	80	125	160	200
Suvioder	65	100	135	170
Kaer	60	90	120	-

Tabel 1.3. Lämmastikutarve sõltuvalt muude põllukultuuride saagikusest, Lätis

Põllukultuur, tootmissuund	Saagikus, t ha^{-1}	N max lubatud kogus, kg ha^{-1}
Talinisu (seemnekasvatus)	< 2,0	90
	2,0 – 4,0	150
	4,0 – 5,0	190
	>5,0	230
Suvinisu (seemnekasvatus)	< 2,0	90
	2,0 – 3,0	120
	3,0 – 4,0	160
	> 4,0	200
Mais (siloks)	< 40	110
	40 – 60	160
	> 60	200
Kartulid	< 30	90
	30 – 40	140
	> 40	180
Söödapeet, suhkrupeet	< 40	90

	40 – 60	150
	> 60	190
Kultuurrohumaa, karjamaa (hein)	< 4,0	80
	4,0 – 8,0	120
	> 8,0	170
Karjamaa (haljasmass)	< 20	100
	20 – 30	155
	> 30	240
Kapsas	<45	135
	45 – 70	210
	>70	240
Porgand	<30	80
	30 – 50	130
	>50	130
Sibul	<25	95
	25 – 45	170
	>45	200
Peet	<40	110
	40 – 60	170
	>60	200
Lillkapsas	<20	110
	20 – 40	200
	>40	240
Kurk	<25	100
	25 – 40	160
	>40	200
Kabatšokk, kõrvits	<30	90
	30 – 60	185
	>60	215
Õlilina		80
Kiulina		40
Hernes, uba, muud liblikõielised		40
Viljapuud ja –põõsad		130
Maasikad		120
Rohumaa rohkem kui 50% ristikut/liblikõielisi		50

NB: Kui on orgaanilise aine sisaldus 30 cm pindmises kihis on üle 30%, siis kasutada koefitsienti 0,7.

2 Sõnniku liigid ja nende toitainete sisaldus

Põllumajandusministri määrusega (Põllumajandusministri määrus nr 71, 2014) Eestis sõnnik liigitatud selles sisalduva kuivaine (KA) protsendi järgi selliselt:

1) vedelsõnnikuks, milles on kuivainet kuni 7,9 massiprotsenti;
2) poolvedelsõnnikuks, milles on kuivainet 8,0–19,9 massiprotsenti;
3) tahesõnnikuks, milles on kuivainet 20,0–24,9 massiprotsenti;
4) sügavallapanusõnnikuks, milles on kuivainet vähemalt 25,0 massiprotsenti.

Lätis on see jaotus järgmine:

1. virts: KA <3%;
2. vedelsõnnik: KA 3–8 %
3. poolvedel sõnnik: KA 8–15 %
4. tahe sõnnik: KA >15%

Orgaanilised väetised saab hoiustamiseelse tehnoloogia ja hoiustamise tulemusel kujunemise alusel jaotada:

1) vedelsõnnikuks;
2) kääritusjäägiks (digestaadiks) – mis võib olla vedelaks ja kiulisi materjale sisaldavaks tahkeks massiks separeeritud;
3) poolvedelsõnnikuks;
4) tahesõnnikuks;
5) virtsaks, mis kaasneb tahesõnnikuga;
6) sügavallapanusõnnikuks;
7) sõnnikukompostiks.

Sõnniku omadused sõltuvad ka loomaliigist, kelle sõnnikuga on tegemist: veisesõnnik, seasõnnik, kanasõnnik (nt. sea vedelsõnnik kihistub kiiremini kui veise vedelsõnnik ja seda peab vedelsõnniku paakhaagistega veol arvestama). Sõnniku edasisel käitlemisel on tehnoloogiliselt oluline, kas see on pumbatav (kuivainesisaldus alla 12%) või laaditav (kuivainesisaldus üle 12%) ja vastavalt sellele valitakse sobiv tehnoloogia.

Ülevaade Eestis toodetava sõnniku kuivaine ja toiteelementide sisaldusest Põllumajandusuuringute Keskuses aastatel 2009–2015 analüüsitud sõnnikuproovides on esitatud tabelis 2.2. Erinevate sõnnikuliikide võrdlemiseks leiti nende rahalised väärtused neis sisalduvate taimetoiteelementide (NPK) koguse ja hinna alusel. Taimetoiteelementide hinnad leiti mineraalväetiste hindadest lähtuvalt (Tabel 2.1).

Tabel 2.1.Arvutustes kasutatud mineraalväetised ja nende põhjal leitud elementide hinnad

Ele-ment	Väetis	Väetise hind, € km-ta	Elemendi sisaldus, %	Hinna arvutus	Elemendi hind, € kg^{-1}
N	Ammooniumitraat	268	34,5	268 : 34,5 : 10 =	0,78
K	Kaaliumkloriid	340	61x0,83=50,6	340 : 50,6 : 10 =	0,67
S	WIGOR S 90	355	90	301 : 90 : 10 =	0,39
P	NPK15–15–15+11S	338	15x0,44=6,6	(338-(0,78x10x15)-(0,67x10x15x0,83)-(0,39x10x11)) : (6,6x10)=	1,43

Arvutustes kasutati Silva–Agro OÜ (http://www.silvaagro.ee/vaetised) [15.02.2016] hinnakirja. WIGOR S 90 hind on Baltic Agro hinnakirjast [14.04.2016]. Hinnad on ilma käibemaksuta. Sõnniku hinna leidmiseks summeritakse elementide sisalduse ja hinna korrutised. Näiteks veise vedelsõnniku hind NPK järgi on (2,8×0,78)+(0,5×1,43)+(2,2×0,67)=4,37 € t^{-1}.

Tabel 2.2. Sõnniku kuivaine, NPK ja ammooniumlämmastiku (NH_4^+) sisaldused Põllumajandusuuringute Keskuses aastatel 2009–2015 analüüsitud sõnnikuproovides ning nende põhjal arvutatud sõnniku rahaline väärtus (Eesti). Arvutused on tehtud elementide üldsisalduse alusel.

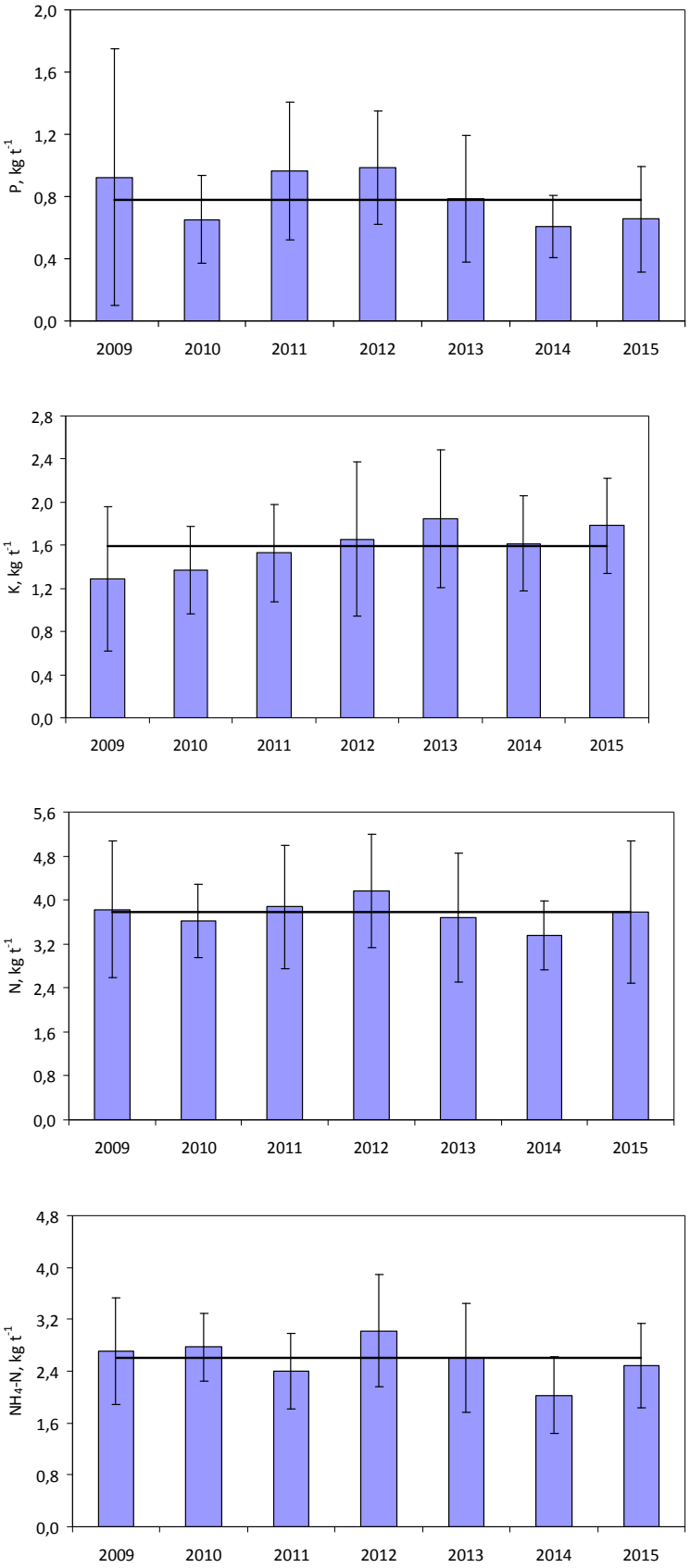
Sõnniku liik	Proovide arv	KA %	N kg t^{-1}	NH_4^+ kg t^{-1}	P kg t^{-1}	K kg t^{-1}	Rahaline väärtus, € t^{-1}
Veise vedelsõnnik	252	5,9	2,8	1,3	0,5	2,2	4,37
Veise poolvedel sõnnik	482	14,8	4,2	1,0	0,9	3,1	6,63
Veise tahesõnnik	140	21,9	5,4	0,7	1,2	4,1	8,67
Veise sügavallapanusõnnik	76	30,2	5,9	0,5	1,4	4,8	9,81
Sea vedelsõnnik	146	4,0	3,8	2,6	0,8	1,6	5,17
Sea poolvedel sõnnik	37	13,4	6,8	3,2	2,3	2,5	10,25
Sea tahesõnnik	8	22,5	7,6	1,8	3,4	4,6	13,86
Sea sügavallapanusõnnik	13	28,9	7,7	2,0	2,8	4,8	13,21
Kana vedelsõnnik	2	5,4	4,5	2,3	1,5	1,8	6,85
Kana poolvedel sõnnik	4	13,0	9,0	4,1	3,3	4,6	14,80
Kana tahesõnnik	2	23,5	10,2	4,9	1,9	2,6	12,39
Kana sügavallapanusõnnik	36	44,3	21,4	5,5	7,4	9,8	33,80
Lamba tahesõnnik	6	21,6	6,8	0,3	1,5	6,3	11,66
Lamba sügavallapanusõnnik	11	38,4	8,2	0,7	1,8	8,7	14,79

Ülevaade Lätis toodetava sõnniku kuivaine ja toiteelementide sisaldusest on esitatud tabelis 2.3 (Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi / Sast. A. Kārkliņš un A. Ruža. Jelgava: LLU, 2013. – 55 lpp.)

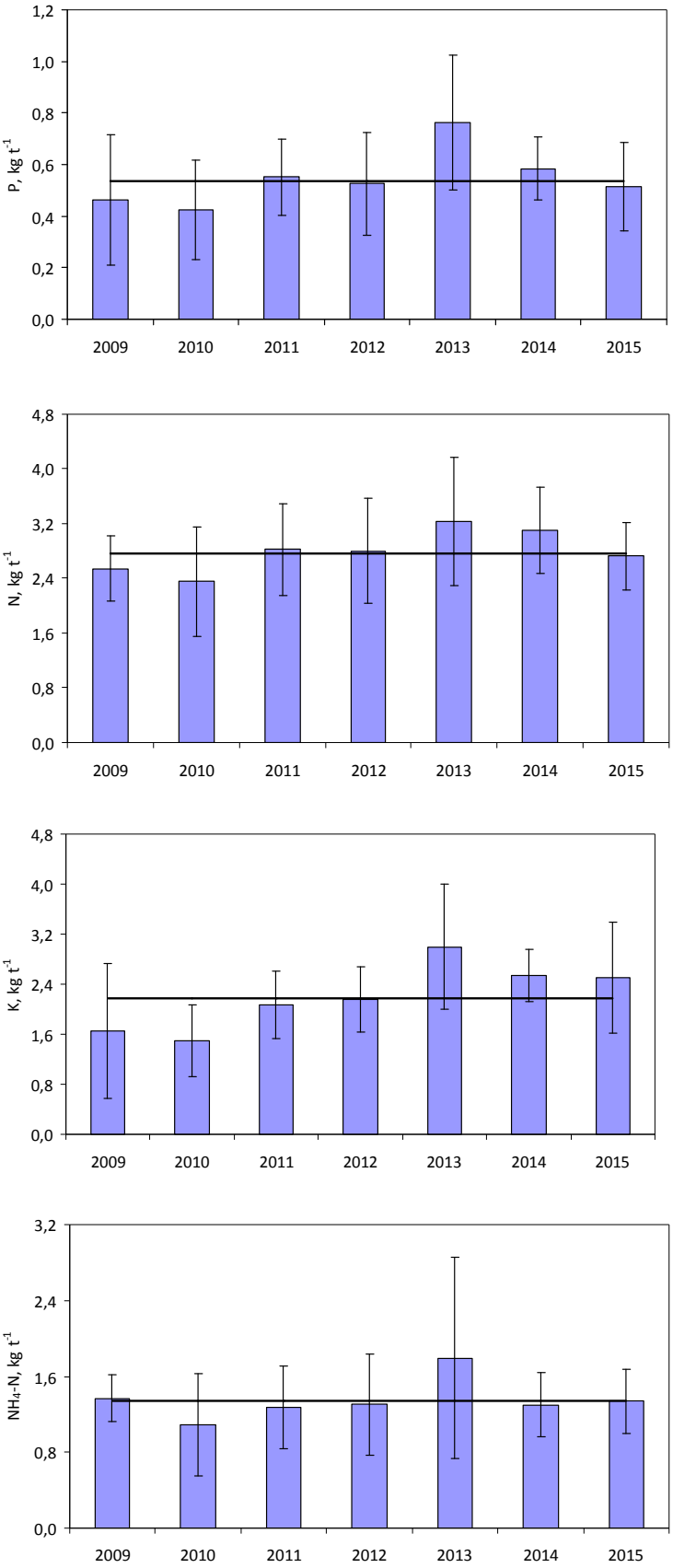
Tabel 2.3. Sõnniku kuivaine ja NPK sisaldused ning rahaline väärtus (Läti)

Sõnniku liik	KA %	N kg t^{-1}	P kg t^{-1}	K kg t^{-1}	Rahaline väärtus, € t^{-1}
Veise vedelsõnnik	10	4,1	0,6	2,3	5,59
Veise tahesõnnik	20	5,4	1,1	3,3	7,99
Sea vedelsõnnik	8	3,4	1,0	1,3	4,95
Lamba sügavallapanusõnnik	25	5,4	1,6	5,8	10,38
Kanasõnnik (broilerid)	55	27,6	5,3	11,5	36,75

Eesti Põllumajandusuuringute keskuses 2009–2015 aastal analüüsitud vedelsõnniku proovide keskmine toiteainete sisaldus aastate võrdluses on esitatud joonistel 2.1. ja 2.2. Mis on aga aastate lõikes erinevuste põhjuseks, see vajab edaspidi selgitamist.



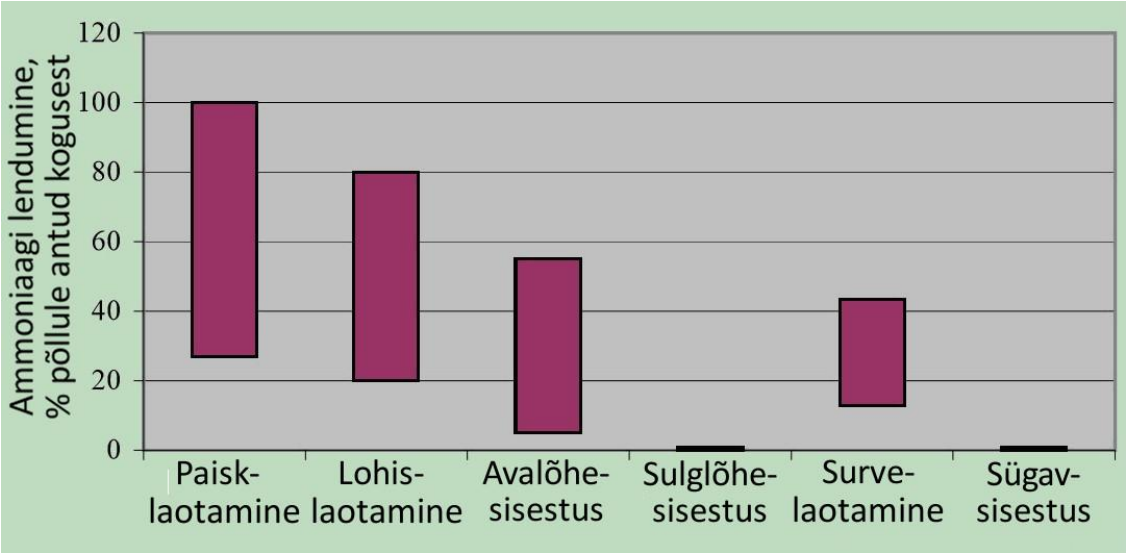
Joonis 2.1. Keskmine toiteainete sisaldus sea vedelsõnniku (KA < 8%) proovides analüüsituna Põllumajandusuuringute keskuse poolt.



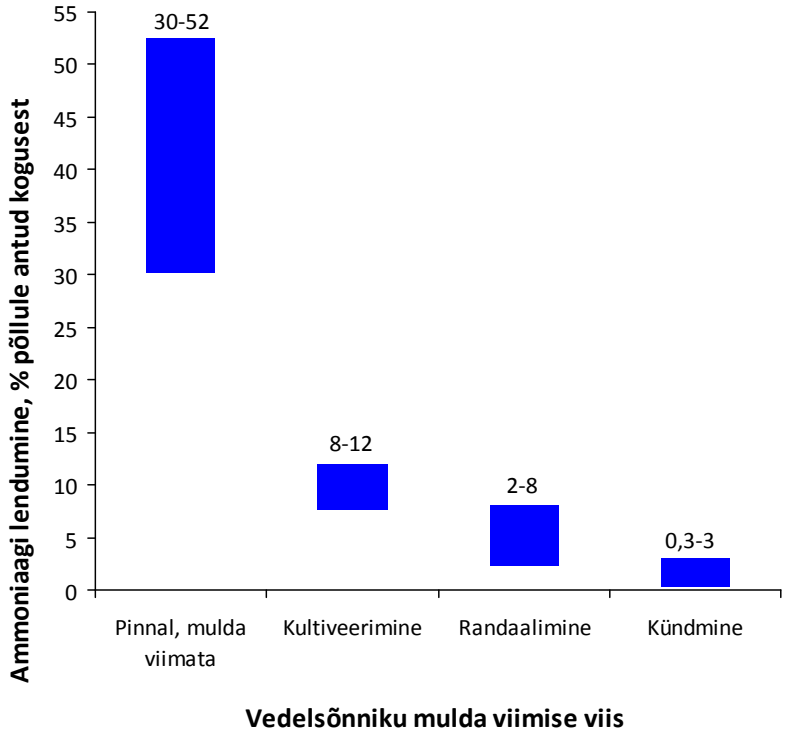
Joonis 2.2. Keskmine toiteainete sisaldus veise vedelsõnniku (KA < 8%) proovides analüüsituna Põllumajandusuuringute keskuse poolt.

Ammoniaagi lendumine sõnnikust

Sõnnikus olev ammooniumlämmastik lendub teatud tingimustel ammoniaagina. Lendunud ammoniaak tekitab ühelt poolt õhust tulenevat eutrofeerumist ja teisalt väheneb sõnniku väetusväärtus. Ammoniaagi lendumine sõltuvalt laotamisviisist on esitatud graafiliselt joonistel 2.3, 2.4 ja 2.5. Tabel 2.4 annab ülevaate ammoniaagi lendumist mõjutavatest teguritest laotamisel.



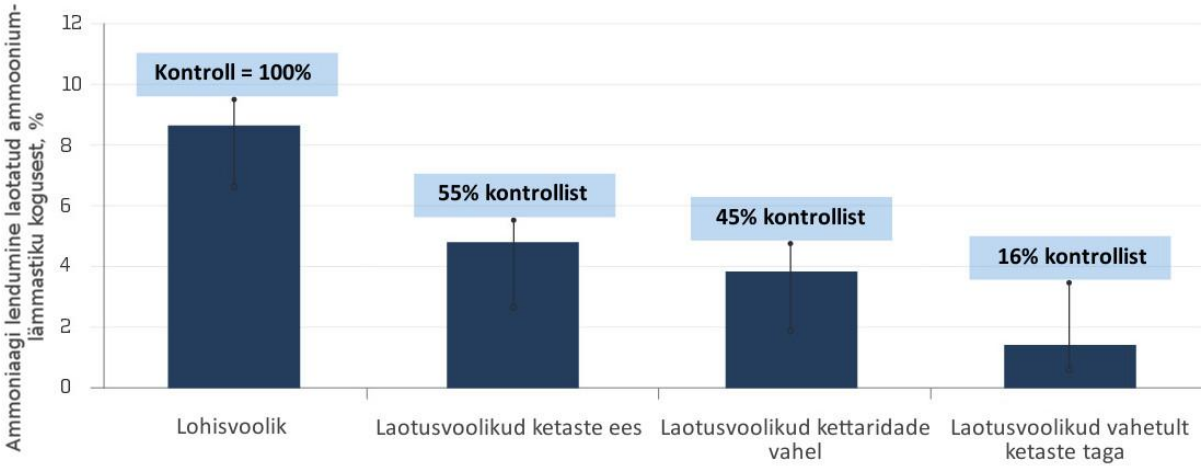
Joonis 2.3. Summaarne ammoniaagi lendumine (% põllule antud kogusest) põllule antud vedelsõnnikust erinevate laotamisviiside korral. [Lohislaotamine = lohisvoolik ja düüsidega lohisvoolik] (ALFAM report, 2001).



Joonis 2.4. Ammoniaagi lendumine (% põllule antud kogusest) erinevate vedelsõnniku muldaviimise viiside korral. Vedelsõnnik viidi mulda kohe laotamise järel. Mõõtmised on tehtud viie päeva vältel pärast mulda viimist (Thompson & Meisinger, 2002).

Tabel 2.4. Sõnniku ammoniaagi lendumist mõjutavad tegurid laotamisel (Best Available Techniques, 2015)

Tegur	Iseloomustav näitaja	Mõju
Muld	pH	Madalama pH korral lendub vähem ammoniaaki.
	Mulla ioonmahutavus (neelamismahutavus)	Kõrge ioonmahutavus vähendab ammoniaagi lendumist.
	Mulla niiskus ja poorsus	Ebaselge
Klimaatilised tegurid	Temperatuur	Kõrge temperatuuri korral lendub rohkem ammoniaaki.
	Sademed	Põhjustab ammoniaagi lahustumist ja parandab infiltreerumist, seetõttu on ammoniaagi emissioon õhku väiksem, kuid suureneb väljaleostumise oht.
	Tuule tugevus	Tugeva tuule korral lendub rohkem ammoniaaki.
Käitlemine	Laotamisviis	Ammoniaagi lendumist mõjutab laotamise meetod.
	Sõnniku kuivainesisaldus	Suurema kuivainesisalduse korral lendub rohkem ammoniaaki.
	Sõnniku pH	Kui pH on alla 5 siis praktiliselt lendumine puudub, mida kõrgem on pH seda enam mittelenduvat ammooniumit (NH_4-N) muutub lenduvaks ammoniaagiks NH_3.
	Sõnniku NH_4-N sisaldus	Mida enam on sõnnikus ammoniumlämmastikku (NH_4-N), seda suurem on oht, et see võib lenduda ammoniaagina.
	Laotamisaeg ja -norm	Vältida laotamist palava, kuiva, päikselise ja tuulise ilmaga.
	Laotamisnorm	Väga suur laotamisnorm pikendab vedelsõnniku mulda imbumise aega ja ammoniaak saab kauem lenduda.
Taimestik	Taimestiku kõrgus	Põllukultuuridega kaetud maale laotamisel väheneb ammoniaagi lendumine võrreldes taimkatteta põlluga.



Joonis 2.5. Ammoniaagi lendumine (% ammoniaagi lendumisest võrreldes lohisvoolikutega laotamisega) segamislaotamisel sõltuvalt laotamisvoolikute asetusest segamisketaste suhtes. (http://www.samson-agro.com/media/1814/sd_uk_20151102_hoej.pdf, 2015).

Ammoniaagi lendumisest tingitud keskmine lämmastikukadu sõltuvalt laotamistehnoloogiast on esitatud tabelis 2.5 (ALFAM raport, 2001 ja Huijsmans 2003) ning temperatuuri ja niiskuse mõju sõnnikus sisalduva ammooniumlämmastiku kaole ammoniaagi lendumisena on esitatud tabelis 2.6 (AGRI-FACTS, 2008).

Tabel 2.5. Keskmine ammooniumlämmastiku kadu erinevate laotamistehnoloogiate korral.

Laotamistehnoloogia	NH_4-N kadu, %
Vedelsõnnik	
Paisklaotamine, muldasegamist ei järgne	70
Paisklaotamine, muldasegamine 12 tunni jooksul	55
Lohislaotamine, mullaga segamist ei järgne	24
Lohislaotamine, muldasegamine 12 tunni jooksul	10
Lohislaotamine kasvavatele taimedele (taimiku kõrgus on 10–30 cm)	20
Düüsiga lohislaotamine kasvavatele taimedele (taimiku kõrgus on üle 8 cm)	18
Avalõhe-sisestuslaotamine rohumaal	10
Segamislaotamine	5
Sulglõhe-sisestuslaotamine rohumaal	1
Sulglõhe-sisestuslaotamine põllumaal	1
Tahesõnnik	
Paisklaotamine, kohe viiakse mulda	15
Paisklaotamine, 4 tunni pärast viiakse mulda	30
Paisklaotamine, 24 tunni pärast viiakse mulda	50
Paisklaotamine, mulda ei viida	60

Tabel 2.6. Ammooniumlämmastiku kadu (%) õhu erinevate temperatuuride ja niiskuste korral

Laotamise ja muldaviimise ajaline vahe	Keskmine	Jahe (< 10 °C)		Palav (>25 °C)	
		Niiske	Kuiv	Niiske	Kuiv
1 päev	25	10	15	25	50
2 päeva	30	13	19	31	57
3 päeva	35	15	22	38	65
4 päeva	40	17	26	44	73
5 päeva	45	20	30	50	80
Ei viida mulda	65	40	50	75	95

Eesti Taimekasvatuse Instituudi teadur Peeter Viil on teinud katseid, et selgitada vedelsõnniku muldaviimise aja mõju teraviljade saagikusele. Tabelis 2.7 on toodud nelja korduse keskmised tulemused.

Tabel 2.7. Lohisvoolikutega pinnale laotatud veise vedelsõnniku ja selle mulda segamise aja mõju suvinisu Hewilla terasaagile 2009. aastal.

Aeg laotamisest mulda viimiseni, h	Saak t ha^{-1}, nelja korduse keskmisena
0	6,13
2	5,17
4	5,04
6	4,29
10	3,71
20	3,49
30	3,33
40	3,31
48	3,31

3 Sõnnikulaotamise tehnoloogiad, masinad ja ökonoomika

3.1 Tahesõnniku laotamise tehnoloogiad

Tahesõnnikut võib laotada peamiselt kahe tehnoloogiavariandi kohaselt: otse- või etteveoga laotamisena. Otseveoga tehnoloogiat kasutatakse juhul, kui põllud ei ole hoidlast väga kaugel. . Arvutuslikult on selleks piiriks 3 km, kuid sõltuvalt konkreetsetest tingimustest võib kauguspiir olla ka teistsugune. Tahesõnniku otseveoga laotamise käitlusetapid on:

1) hoiustamine ettevõtte hoidlas;
2) laadimine hoidlast laoturisse;
3) vedu laoturiga hoidlast põllule;
4) laotamine.

Kui põld asub hoidlast kaugemal ja ettevõttes ei ole piisavalt sõnnikulaotureid, siis on otstarbekas kasutada etteveoga tehnoloogiat. Kuna taheda materjali veokilt laoturisse laadimine on tülikas, siis see kallutatakse põllule auna. Sageli veetakse tahe orgaaniline väetis põllule aunadesse valmis siis, kui on vedamiseks sobivaim aeg ja laotamine toimub teisel, laotamiseks sobivaimal ajal. Tahesõnniku etteveoga laotamise käitlusetapid on:

1) laadimine hoidlast veokisse;
2) vedu veokiga hoidlast põllule;
3) aunastamine (põlluservas);
4) hoidmine aunas;
5) laadimine aunast laoturisse;
6) laotamine.

Tehnoloogia valikul tuleks silmas pidada, et aunas vaheladustamise korral väheneb sõnniku laotamiseks sobival ajal ajakulu vedudele, kuigi sõnnik tuleb põllule vedada nii või teisiti. Samas on otseveoga laotamisel kulud väiksemad kuna põllul ei ole laadimist ja ei vajata laadurit. Arvestada tuleb ka, et aunastamisel on mitmed piirangud ja toiteainete kaod võivad olla märkimisväärsed.
Seadusandlusest tulenevad piirangud nii Eesti kui Läti kohta on eistatud tabelis 1.1.

Tahesõnnikulaotureid on võimalik liigitada mitme tunnuse alusel:

1) haakeviisi järgi – haake, ripp- ja poolripplaoturid;
2) laotamissuuna järgi – taha- ja külglaotamisega;
3) etteandeseadme tüübi järgi – konveier- ja tõukekilp-etteandeseadmega;
4) laotamisseadme tüübi järgi – biiter-, ketas-, koot- ja rootorseade;
5) biitrite asetuse järgi – püst-, rõht- ja pikibiitri(te)ga;
6) biitrite konstruktsiooni järgi – hammas-, tigu-, laba- ja kootbiitriga;
7) biitrite arvu järgi – 1, 2, 3, 4… biitriga;
8) mahuti järgi – kastiga või punkriga;
9) haakelaoturid jagunevad telgede arvu järgi kahe- ja kolmeteljelisteks;
10) poolripplaoturid jagunevad ühe- või tandemteljelisteks.

Enamasti on tahesõnnikulaoturid poolripplaoturid ja koosnevad järgmistest põhiosadest: raam, veermik, kast, etteandeseadis, laotamisseadis, ajam, hüdro- ja elektriseadmed. Mahuti on

laoturitel enamasti risttahuka kujuline kast. Punkermahuti alaosa ristlõige on tagantvaates enamasti trapetsikujuline.
Tahalaotamisega biiterlaoturid on kõige enam levinud ja neid on võimalik liigitada järgmiselt:

1) rõhtbiitritega (joonis 3.1);
2) püstbiitritega (joonis 3.2);
3) püstbiitrite ja ketastega (püstbiitri alaosa on kujundatud laotamiskettana (joonis 3.3);
4) rõhtbiitrite ja laotamisketastega (joonis 3.4);
5) rõhtse kootbiitri ja laotamisketastega (joonis 3.5).

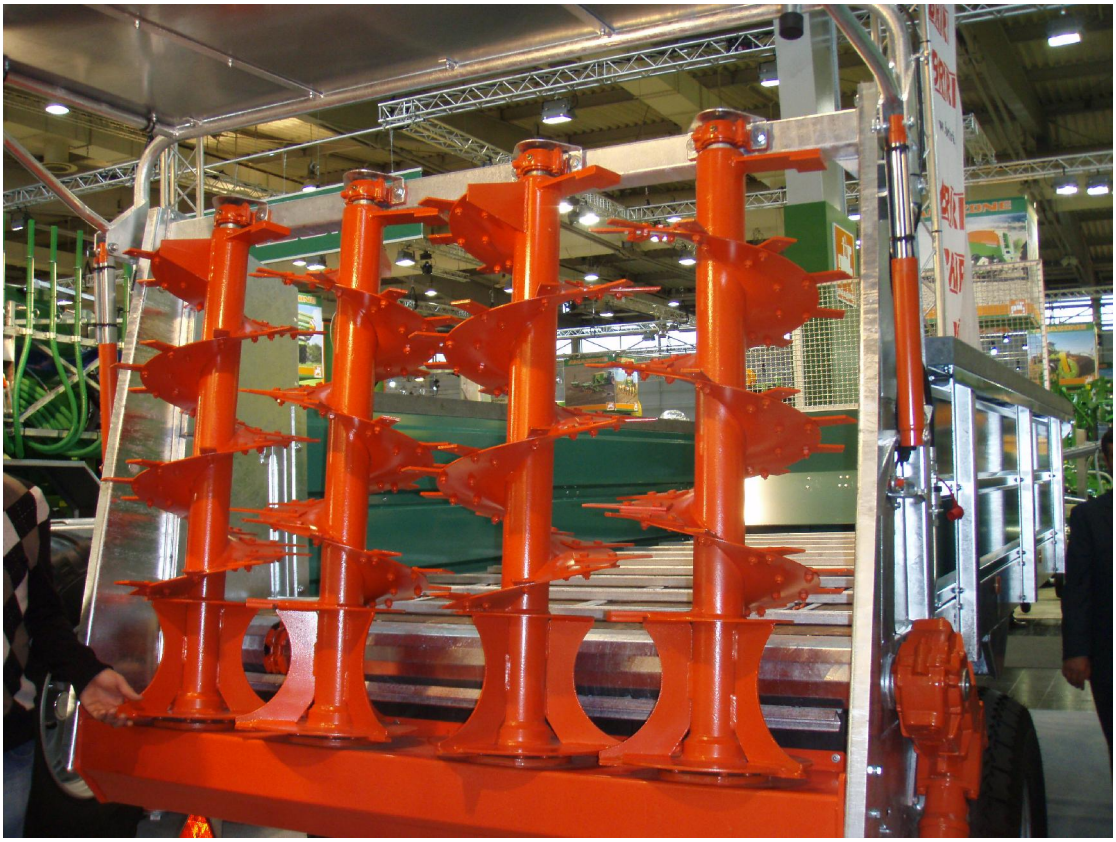
Biitrid pannakse pöörlema enamasti kettülekande abil, mis on ülekoormuse vältimiseks varustatud kaitsesiduriga. Kettülekanne saab ajami kas hüdromootorilt või jõuvõtuvõllilt.

Joonis 3.1. Rõhtbiitritega tahalaotamisseade (Pronar, 2016)

Rõhtbiitritega laoturite hinnad on vahemikus 10 565–38 000 € (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Rõhtbiitritega laoturite hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Kasti mahutavus, l	Laoturite arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
4 100–6 000	3	13 500	10 600	12 300
8 000–10 500	4	20 600	14 000	27 000
12 000	2	36 500	35 000	38 000



Joonis 3.2. Püstbiitritega tahalaotamisseade (Foto: R. Vettik)

Püstbiitritega laoturite hinnad on vahemikus 8 840–68 000 € (tabel 3.2).

Tabel 3.2. Püstbiitritega laoturite hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Kasti mahutavus, l	Laoturite arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
5 600–7 900	9	15 100	8 800	27 200
8 000–10 300	15	22 000	10 000	38 000
10 500–13 000	15	26 800	13 500	41 000
13 200–15 900	11	35 800	13 700	54 000
16 000–19 000	6	40 300	29 300	58 000
23 000–26 000	3	55 800	34 100	68 000

Joonis 3.3. Püstbiitrite ja ketastega tahalaotamisseade (Foto: R. Vettik)

Püstbiitrite ja laotamisketastega laoturite hinnad on vahemikus 14 485–75 300 € (tabel 3.3).

Tabel 3.3. Püstbiitrite ja laotamisketastega laoturite hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Kasti mahutavus, l	Laoturite arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
7 500–9 500	3	21 300	14 500	26 500
10 000–12 800	9	28 100	23 700	31 600
13 000–15 900	10	33 700	15 700	59 000
16 500–19 000	9	34 100	23 100	41 000
20 000–22 000	6	40 500	28 000	47 000
23 000–24 000	5	53 800	37 600	68 900
26 000–35 000	4	54 900	31 600	75 300

Joonis 3.4. Rõhtbiitrite ja ketastega tahalaotamisseade (LMR, 2016)

Rõhtbiitrite ja laotamisketastega laoturite hinnad on vahemikus 25 950–115 000 € (tabel 3.4).

Tabel 3.4. Rõhtbiitrite ja laotamisketastega laoturite hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Kasti mahutavus, l	Laoturite arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
7 000–10 500	6	28 300	26 000	36 000
11 000–13 500	7	33 600	18 000	44 000
14 000–17 500	9	51 200	24 600	80 000
19 000–22 000	8	62 100	29 100	87 000
22 500–28 000	6	73 300	38 700	115 000

Joonis 3.5. Rõhtse kootbiitri ja laotamisketastega tahalaotamisseade (HiSpec, 2016a)

Külglaotamisega laoturitel on sõnniku laotamiseks labadega rootor (joonis 3.6), laotamisketas (joonis 3.7) või kettkootidega pikibiiter (joonis 3.8).

Joonis 3.6. Külglaotamisega rootorlaotur (Kirchner, 2016)

Joonis 3.7. Küljel paikneva laotamiskettaga laotur (Foto: R. Vettik)

Joonis 3.8. Külglaotamisega pikibiitriga kootlaotur (HiSpec, 2016b)

Tahesõnnikulaoturite võimsustarve sõltub enam mulla seisundist kui laotatavast materjalist. Heades oludes, kus rataste veeremine pole oluliselt takistatud, võib laotamisel võimsustarbeks arvestada alates 10 kW kandevõime tonni kohta. Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime.

Tahesõnniku laotamisnormi arvutus

Tahesõnniku laotamisnorm (t ha^{-1}) sõltub laoturi liikumiskiirusest, väljalaadimisjõudlusest ja töölaiusest.

Etteantud laotamisnormile vajaliku liikumiskiiruse saab leida valemiga:

$$v = \frac{36Q}{b\,p},$$

kus *Q* on laoturi väljalaadimisjõudlus (kg s^{-1}), *p* - laotamisnorm (t ha^{-1}) ja *b* - laoturi töölaius (m).

Väljalaadimisjõudluse leidmiseks mõõdetakse laoturi kastist teadaoleva koguse sõnniku väljalaadimiseks kulunud aega.

Lihtsaim viis on kaaluda laotur koos sõnnikuga, seejärel kindla ajavahemiku vältel (nt 60 s) sõnnik laoturist laotamisseadme abil välja laadida ja kaaluda laotur uuesti. Kaalumise tulemuste vahe (kg) jagatud väljalaadimisajaga (s) ongi väljalaadimisjõudlus.

Kui laotamisnorm on näiteks 25 t ha^{-1}, töölaius on 4 m ja väljalaadimisjõudlus on 27 kg s^{-1}, siis vajalik liikumiskiirus on
(36x27):(4x25)=9,7 km h^{-1}.

Kokkuvõte tahesõnniku laoturitest

- Rõhtbiitritega laotur sobib hästi tahesõnniku laotamiseks, kuid sellega saab laotada ka komposti. Seade talub laotatava materjali hulgas olevaid võõrkehi (nt kivid).

- Rõhtbiitrite ja laotamisketastega laotur sobib väga hästi komposti ja hästi tahesõnniku laotamiseks. Kinnise põhja ja piisavalt tiheda vootõkke korral saab sellega laotada ka poolvedelat sõnnikut.

- Püstbiitritega laotur sobib hästi tahesõnniku laotamiseks, kuid sellega saab laotada ka komposti.

- Püstbiitrite ja ketastega laotur sobib väga hästi tahesõnniku laotamiseks ja hästi komposti laotamiseks. Kinnise põhja ja piisavalt tiheda vootõkke korral saab sellega laotada ka poolvedelat sõnnikut.

- Punkermahutiga külglaotamisega laotur suudab laotada kõiki sõnnikutüüpe, kuid laotamiskvaliteet on otseses sõltuvuses sõnniku ühtlikkusest. Koreserikast tahesõnnikut saab laotada kui laoturil on materjali rebiv etteande- või laotamistrummel.

Laotamisaegne ilm (vaata tabel 2.6) ning laotamise ja muldaviimise ajaline vahe mõjutavad oluliselt ammoniaagi emissiooni sõnnikust. Tabelis 2.5 olid esitatud ammoniaagi emissiooni keskmised väärtused tahesõnniku laotamisel. Järelikult on soovitatav laotada sõnnikut sobilike ilmastikutingimuste korral ja sõnnik kohe laotamisjärgselt mullaga segada.

Niiske, tuulevaikne, pilvine ja jahe ilm on soodsaim sõnniku laotamiseks. Kuid maapind ei tohi olla külmunud, kaetud lumega ega veega üle ujutatud. Samuti tuleks vältida sõnniku laotamist tugeva vihma ajal, sest siis on suurem oht sõnniku ära kandumiseks.

3.2 Vedelsõnniku laotamise tehnoloogiad

3.2.1 Ülevaade tehnoloogiatest

Vedelsõnniku vedu, põllule laotamine ja muldaviimine võib toimuda nii otseveo- (sama masin transpordib ja laotab) kui ümberpumpamise tehnoloogiaga (vedelsõnniku transpordiks ja laotamiseks on erinevad masinad).

Lühemate veokauguste korral transporditakse ja laotatakse vedelsõnnikut kas haagis-, poolhaagis- või liikurlaoturitega. Pikema veokauguse korral kasutatakse vedelsõnniku kiireks põllule transportimiseks paakhaagistega veoautosid mahutavusega kuni 30 m^3 (joonis 3.9). Veoki massi (seega ka paagi mahutavust) piirab nii seadusandlus kui kohalike teede kandevõime. Eesti Vabariigis on maksimaalseks lubatud täismassiks 40 t ja teljekoormuseks sõltuvalt veermiku ehitusest kuni 11,5 t. Lisaks võib kohalik omavalitsus kehtestada teljekoormusele lisapiiranguid. Kevadise teedelagunemise ajal piiratakse teljekoormus sageli 6–8 tonnini.

Lätis on piirangud veokite maksimaalsetele massidele ja mõõtudele järgmised:

Sõiduki tüüp	Parameeter ja selle väärtus
	Lubatav täismass, t
2 teljeline haagis	18
3 teljeline haagis	24
2 teljeline veoauto + 2 teljeline haagis	36
2 teljeline veoauto + 3 teljeline haagis	40
Traktor + 2 haagist	40
	Lubatav teljekoormus, t
2 teljeline haagis	20
3 teljeline haagis	24
	Lubatav pikkus, m
Haagis	12
Veoauto + poolhaagis	16,5
Veoauto + haagis	18,75
Tarktor + 2 haagist	18,75
	Lubatav laius, m
Kõik sõidukid	2,55

Nii vedelsõnnikut ettevedavate veokite kui laoturi seisakute vältimiseks kasutatakse põllul teisaldatavaid vahemahuteid (joonised 3.10 ja 3.11). Seisakud on põhjustatud ettevedava veoki ja laoturi paagi mahtude erinevusest ning erinevatest ajakuludest laoturi paagi tühjenemisele ja veoki paagi täitmisele. Vahemahuti mahutavus peaks olema laoturi ja etteveopaagi mahutavustega kordne, sest siis saavad mõlemad masinad töötada teineteisest sõltumatult. Vedelsõnniku ümberpumpamiseks ettevedava paakhaagise paagist või vahemahutist laoturi paaki kasutatakse enamasti laoturi pumpamissüsteemi (joonis 3.12), kuid on võimalik kasutada ka eraldi traktorile paigaldatud pumpa (joonis 3.13).

Joonis 3.9. Paakpoolhaagis vedelsõnniku etteveoks, toimub paakhaagise täitmine hoidla juures (Foto: K. Tamm)

Joonis 3.10. Merekonteinerist valmistatud teisaldatav vahemahuti (Foto: R. Vettik)

Joonis 3.11. Teisaldatav pumbaga vahemahuti. Taustal transpordiasendis lohisvoolikutega laotur pumpab vahemahutist vedelsõnnikut oma paaki. Esiplaanil oleva vooliku kaudu pumbatakse veoki paagist vedelsõnnik vahemahutisse (Foto: R. Vettik)

Joonis 3.12. Ümberpumpamine liikurlaoturi pumpamissüsteemiga (Foto: K. Tamm)

Joonis 3.13. Ümberpumpamine eraldi traktorile paigaldatud pumpamissüsteemiga (Foto: R. Vettik)

Alternatiiviks vedelsõnniku paakhaagistega veole on vooliktehnoloogia, mille korral vedelsõnnik pumbatakse (joonis 3.14) pideva protsessina hoidlast või vahemahutist voolikute kaudu põllul töötavasse laoturisse. Kasutatakse 90 kuni 160 mm läbimõõduga voolikuid. Laotamise ajal lohistab laotur sadade meetrite pikkust voolikut mööda põldu enda järel, laoturil endal paaki ei ole. Vooliksüsteemid on enamasti teisaldatavad ja pumpamise kaugusel üle 4 km rakendatakse vahepumpa. Kasutatakse ka statsionaarsed torustikke kuni 8 km pikkuste vahemaade korral. Sellest suuremate kauguste korral kasutatakse üldiselt paakveokeid, millega vedelsõnnik veetakse põllu servale vahemahutisse, kust see pumbatakse vooliku kaudu laoturisse.

Vooliktehnoloogia eeliseks on mulla väiksem tallamine, puuduseks on vooliku takistamatuks liikumiseks vajalik eelnev pinna planeerimine. Sõnnikuhoidla lähedastel põldudel on võimalik saavutada suur laotamistootlus. Väikeste üksikute põldude jaoks on see meetod vähem sobiv, sest pärast põllu töötlemist tuleb voolik tühjendada ja transpordiks kokku kerida. Vooliktehnoloogia korral kasutatakse kas eraldi haagisel olevaid voolikutrumleid või on laotamisagregaadid varustatud voolikutrumlitega, millel oleva vooliku kaudu pumbatakse vedelsõnnik hoidlast või põllul olevast vahemahutist paagita laoturisse. Vooliktehnoloogia jaoks on olemas nii ripp- (joonis 3.15), poolhaagis- (joonis 3.16) kui ka liikurlaoturid (joonis 3.17). Ripplaoturi traktoril on sageli esirippsüsteemil voolikutrummel, kuhu saab vooliku ühelt põllult teisele liikumiseks kokku kerida. Poolhaagisel ja liikurlaoturil on suurema läbimõõduga voolikutrummel, mille abil põllul edasi-tagasi liikudes ühel juhul keritakse voolik trumlilt maha ja teisel juhul trumlile tagasi.
Ummistuste vältimiseks ei tohiks kasutatava vedelsõnniku kuivainesisaldus ületada 5% (Vacutec, 2011).

Joonis 3.14. Vooliktehnoloogia korral kasutatav pump (Agrometer, 2016a)

Joonis 3.15. Ripp-vooliklaotur (Vacutec, 2016)

Joonis 3.16. Poolhaagis-vooliklaotur (Veenhuis, 2016)

Joonis 3.17. Liikur-vooliklaotur (Agrometer, 2016b)

3.2.2 Vedelsõnniku laoturid

Vedelsõnniku laotamiseks kasutatavate paakhaagiste liigitused on järgmised.
Paagi täitmis- ja tühjendamisviisi järgi:

1) vedelsõnnikut pumbatakse paakhaagisel oleva pumbaga;
2) kompressor, mis tekitab paagis õhu ala- või ülerõhu, mille tulemusel vedelsõnnik imetakse paaki või surutakse paagist välja.

Paakhaagise telgede arvu alusel:

1) üheteljelised haagised;
2) kaheteljelise telikuga haagised;
3) kolmeteljelise telikuga haagised;
4) liikurlaoturid.

Paagi materjali järgi:

1) plastpaagid või
2) teraspaagid.

Vedelsõnniku laoturite põhisõlmed on:

1. raam koos veermikuga, teraspaagiga laoturitel võib raam puududa, mispuhul kandvaks ning teisi sõlmi ja tööseadiseid siduvaks elemendiks on paak;
2. vedelsõnniku paak, selleks võib olla galvaniseeritud, tsingitud või seest korrosioonitõrjeks epoksiidvaiguga kaetud teraspaak, samuti on kasutusel alumiinium- ja plastpaake;
3. pump, kas kompressor-vaakum-, tsentrifugaal-, labarootor-, pöördkolb- või eksentrikkruvi-pump;
4. jagur, kas rõhtrootoriga, püstrootoriga (enamasti varustatud lõikeseadisega) või tigukonveier, mis jaotab vedelsõnniku voolikutesse;
5. laotamisseade: paisklaotamisseade, lohislaotamisseade, avalõhe-laotamisseade, sulglõhe-laotamisseade, ribasselaotamisseade, segamislaotamisseade.

Pumbaga paakhaagiste paagimahud on vahemikus 6 000–30 000 l ning hinnad 8 800–225 800 € (tabel 3.5) ja kompressoriga paakhaagiste paagimahud on vahemikus 3 000–30 000 l ning hinnad 5 700–252 000 € (tabel 3.6).

Tabel 3.5. Pumbaga paakhaagiste (laotamisseadmeta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Paagi mahutavus, l	Paakhaagiste arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
6 000	6	13 000	8 800	15 100
8 000	7	19 500	15 800	31 000
10 000	7	32 800	11 700	83 900
12 000	7	38 500	25 500	75 800
15 000	20	54 400	20 200	139 000
18 000	13	62 200	38 000	132 000
20 000	6	96 800	26 400	144 900
24 000	8	145 400	47 500	171 500
30 000	5	163 500	51 800	225 800

Tabel 3.6. Kompressoriga paakhaagiste (laotamisseadmeta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

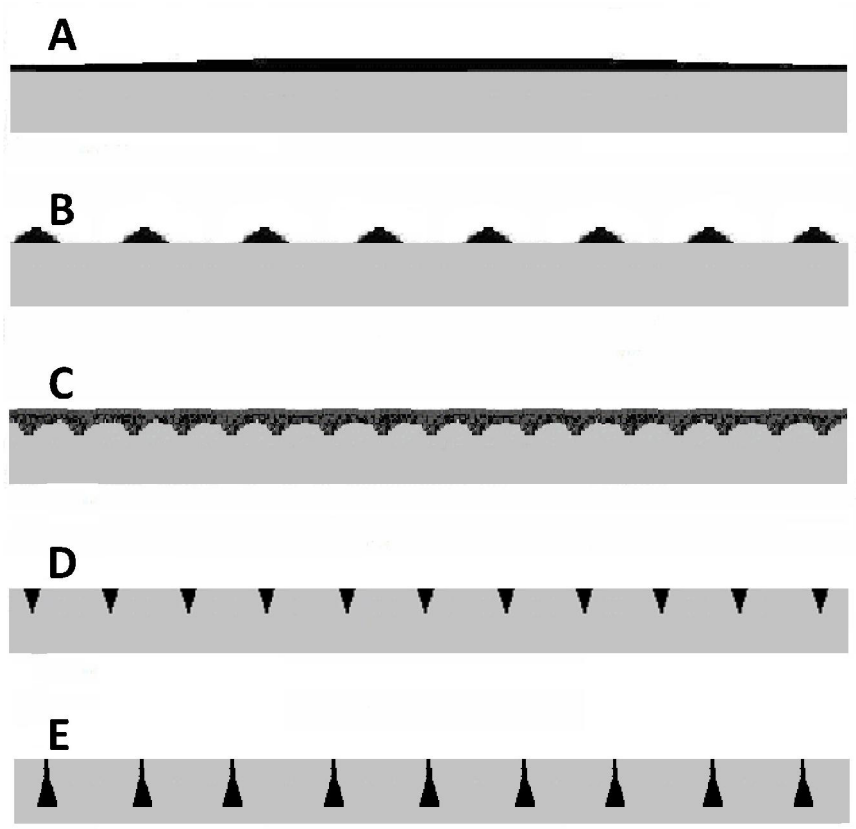
Paagi mahutavus, l	Paakhaagiste arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
3 000	4	5 900	5 700	7 300
5 000	4	9 500	7 600	10 400
7 000	6	13 700	9 400	25 400
8 000	14	19 200	11 900	57 000
10 000	15	30 000	13 600	62 300
12 000	12	37 000	19 500	64 300
16 000	18	50 500	22 700	87 000
18 000	13	58 900	27 500	117 000
20 000	7	61 400	35 200	118 800
24 000	12	99 500	41 400	146 800
30 000	4	124 500	56 800	252 000

Vedelsõnniku laotamisviisid on laus- ja ribaslaotamine. Nende variandid on järgmised:

- laotamine põllu pinnale ehk pindlaotamine;
- laotamine põllu pinnale koos samaaegse mullaga segamisega (sõbastamisega);
- sisestamine mulda või rohukamarasse.

Pindlaotamiseks on kaks põhilist viisi: paisklaotamne, kus vedelsõnnik paisatakse lauslaotamisena õhu kaudu laiali ja lohislaotamine, kus vedelsõnnik jaotatakse lohisvoolikute kaudu ribadena põllule pinna lähedalt haardelaiuse ulatuses (joonis 3.18 B).
Seadised vedelsõnniku sisseviimiseks mulda või kamarasse jagunevad üldjoontes kaheks. Ühel juhul lõigatakse pinnasesse ca 5–20 cm sügavused lõhed, kuhu vedelsõnnik suunatakse voolikute kaudu. Teisel juhul pressitakse vedelsõnnik maa sisse survega.

Vedelsõnniku laotamisjärgne paiknemine künnikihi ristlõikes erinevate laotamistehnoloogiate korral on kujutatud joonisel 3.18. Jooniselt on näha, et paisklaotamise (A) korral on põllu pind kaetud vedelsõnniku kihiga ja pind, millelt ammoniaak lenduda saab, on suurim. Segamislaotamise (C) korral on vedelsõnnik segatud mullaga ja seetõttu on ammoniaagi lendumine raskendatud.

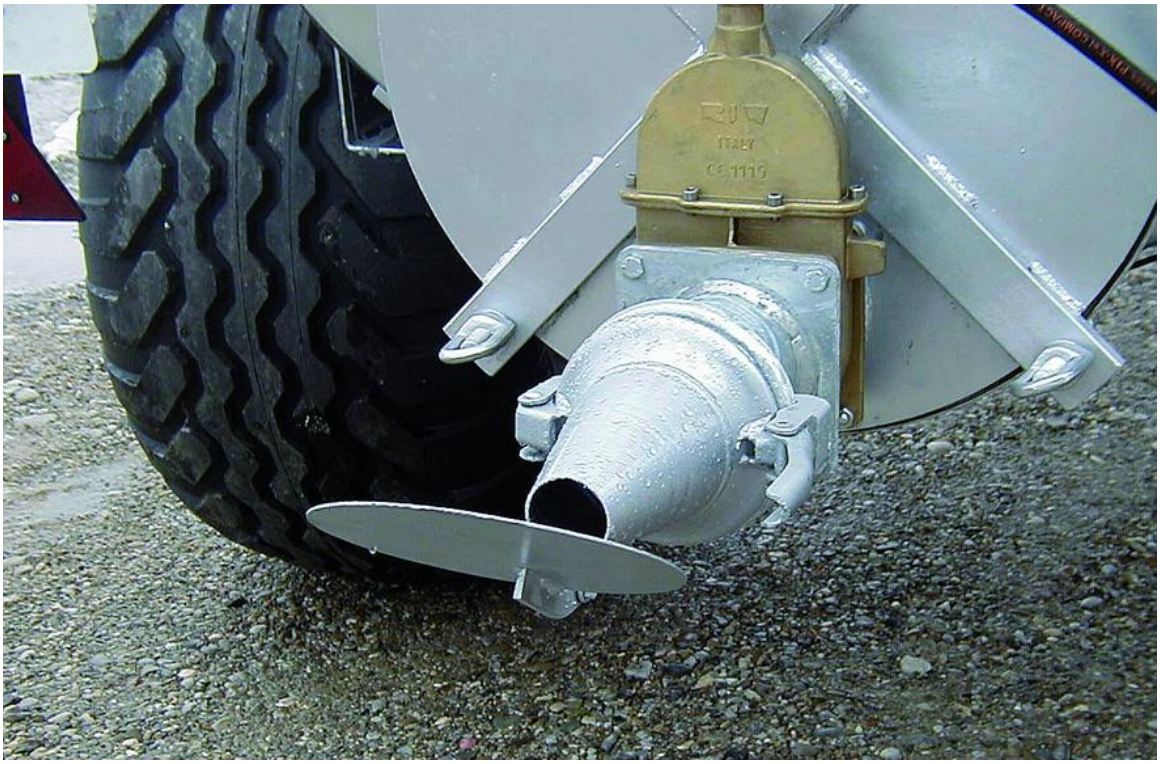


Joonis 3.18. Vedelsõnniku paiknemine künnikihi ristlõikes erinevate laotamistehnoloogiate korral (A–paisklaotamine, B–lohislaotamine, C–segamislaotamine, D–avalõhe–sisestuslaotamine, E–sulglõhe–sisestuslaotamine)

3.2.3 Paisklaoturid

Paisklaoturid koosnevad traktori haakes olevast vedelsõnniku paagist ja paiskeseadisest (paiskurist). Paisklaoturitel kasutatakse mitmesuguseid paiskureid. Lihtsaim neist on kaldplaadiga (joonis 3.19) paiskur (deflektor), mis hajutab vedelsõnniku joa õhku laiali võimendades aga selliselt ammoniaagi emissiooni (joonis 3.20).

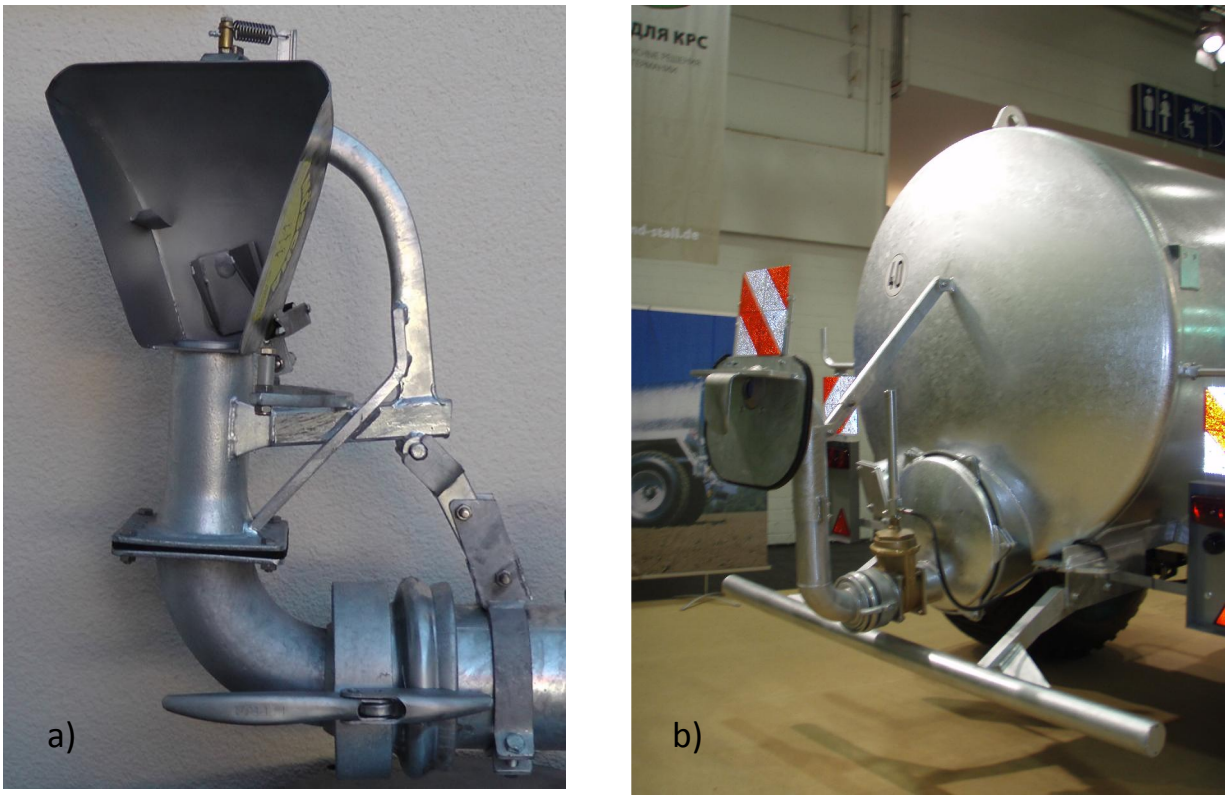
Parema laotamisühtlikkuse tagavad keerulisema ehitusega paiskurid. Paiskesuuna muutmisvõimalusega paiskuriga laotamisel kasutatakse mehaaniliselt või elektriliselt liigutatavaid laotamisdüüse või suunureid (joonis 3.21a), mis võimaldavad vedelsõnniku suunata kahele poole (võnkudes edasi–tagasi). Madalama lehviku tagab pendelkäis, millega on võimalik saavutada ühtlasi laotamisel parem põikühtlikkus. Püstise laotamiselehviku ülalt alla suunamiseks ja lenduvate gaaside õhkupaiskamise vähendamiseks on välja töötatud püstsuunur (joonis 3.21b). Suurema haardelaiuse saavutamiseks kasutatakse kõrgel asetsevaid variante või mitut paiskurit (joonis 3.22). Mitme paiskuri korral on need paigutatud maapinna lähedale poomile, et vähendada vedelsõnniku õhus läbimise teekonda ja seeläbi gaasiliste ühendite lendumist.


Joonis 3.19. Deflektoriga paiskur (Fliegl, 2016a)

Paisklaotamise korral on ammoniaagi lendumine märkimisväärne. Kui muldasegamist ei järgne, võib lendumiskadu ulatuda 70%-ni. Kui sõnnik segatakse mulda 12 h pärast, võib ammoniaagina lenduda siiski veel kuni 55% – seega tuleks muldasegamine teha võimalikult kohe laotamise järel. Lisaks ammoniaagi lendumisele on ka märkimisväärne haisuprobleem mis võib kujuneda takistuseks asulate ja üldkasutatavate teede lähedal laotamisel. Rohumaade pealtväetamisel saab taimik oluliselt saastatud. Lehvikukujulisest jaotusest tingituna on laotamis ebaühtlane nii põiksuunaliselt kui töökäikude otstes pikisuunaliselt, kuid põiksuunaliselt saab ühtlasemalt laotada kui töötada ülekattega. Võrreldes teiste laotamisviisidega on paisklaotamise ühtlus tuule tugevusest kõige enam mõjutatud. Kallakuga põldudel on suur sõnniku ärakandumise risk, eriti juhul kui laotamise ajal või pärast laotamist sajab tugevalt vihma.

Paisklaoturi eelisteks on selle odavus, töö- ja transpordiasendisse seadmine ei võta oluliselt aega, laotur on hästi kasutatav ka vedelsõnniku veoks ning seega otseveotehnoloogiaga laotamiseks kaugematel põldudel. Paisklaotamine sobib teraviljapõldudele tagastatud peenestatud põhule laotamiseks jahedate, tuulevaiksete ning uduste ilmadega. Kindlasti tuleb selliselt laotatud vedelsõnnik ka siis võimalikult kiiresti pinnasesse segada. Paakhaagisele monteeritava paisklaotamisseadme hind (ilma paagita) on suurusjärgus 500–1 000 eurot.

Joonis 3.20. Paisklaotamisel on lämmastiku lendumine suurem kui teiste laotamisviiside korral. (Foto: P. Viil)



Joonis 3.21. Paiskesuuna muutmisvõimalusega paiskur (Möscha, 2016) (a) ja püstsuunuriga paiskur (Foto: R. Vettik) (b)

Joonis 3.22. Mitme poomil paikneva paiskuriga laotur (Foto: R. Vettik)

Vedelsõnniku paisklaoturite võimsustarve sõltub enam mulla seisundist kui laotatavast materjalist. Heades oludes, kus rataste veeremine pole oluliselt takistatud, võib arvestada alates 8 kW paagi mahutavuse kuupmeetri kohta. Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime. Nii seda kui mullasõbralikkust parandavad rehvirõhu alandamist võimaldavad seadesüsteemid ja veermiku küliskäiguvõimalus. Eelistada tasub eest tühjeneva paagiga masinaid.

Eelised. Paisklaoturid on odavamad ja transpordil kergemad kui muude laotamisseadmetega laoturid. Lihtsamate seadmete hind paakhaagiseta on 500–1 000 eurot. Laotamisel on veojõutarve väike ja laotamisjõudlus suur.

Puudused. Ammoniaagi lendumine on niivõrd suur, et see ei ole soovitatav ja ei loeta PVT-ks. Paisklaotamisel peab vedelsõnnik olema mulda viidud võimalikult kiiresti pärast laotamist, et vähendada ammoniaagi lendumist. Jaotus üle põllu on ebaühtlasem võrreldes teiste laotamisviisidega. Paisklaotamise korral on vajalik eraldi tööoperatsioon vedelsõnniku mullaga segamiseks.

3.2.4 Lohislaoturid

Lohislaoturid koosnevad vedelsõnniku paagist, jagurist ning voolikutest. Lohislaoturid saab laotamisseadiste alusel liigitada:

- lohisvooliklaotur – mille laotamisseadisteks on poomile kinnitatud vabalt rippuvad voolikud; voolikute otsad ei lükka taimelehti kõrvale, taimik võib saastuda;
- lohisdüüslaotur – mille laotamisseadisteks on poomile kinnitatud piiratud külgsuunalise liikumisvabadusega jalasekujulised düüsid, mis lükkavad liikumisel ühtlasi taimelehti kõrvale, et laotada sõnnik maapinnale ribadena, vähendades seejuures taimiku saastamist vedelsõnnikuga.

Lohisvooliklaoturi voolikud on kinnitatud ühtlaste vahedega (20–30 cm) poomile (joonis 3.23). Levinumaks lohislaoturi haardelaiuseks on 12 m. Kahe jaguriga lohislaoturi haardelaius võib olla kuni 36 m. Lohislaotur suunab vedelsõnniku vahetult mulla pinnale ja enamasti jäävad taimede kõrgemalasuvad lehed puhtaks. Sõltuvalt taimeridade ja voolikute omavahelisest paiknemisest võivad siiski madalamad taimed jääda voolikutest väljuva sõnnikunire alla. Mõnel juhul võib voolikuots tõusta õhku ja vedelsõnnik sattuda ka kõrgemalasuvatele taimelehtedele. Tänu pinnalähedasemale laotamisele on ammoniaagi lendumine võrreldes paisklaotamisega oluliselt väiksem.

Ammoniaagi lendumine, kui muldasegamist ei järgne, võib ulatuda 24%-ni. Kui muldasegamine toimub 12 h pärast, siis lendub seda tunduvalt vähem – kuni 10%. Nii nagu pasklaotamisel, on ka lohislaotamisel probleemiks märkimisväärne hais ja kallakuga põldudel suur sõnniku ärakandumise risk.

Joonis 3.23. Lohisvooliklaotur tagantvaates (Foto: R. Vettik)

Meetod sobib nii põllu- kui rohumaade ning ka teraviljade ja rapsi kasvuaegseks väetamiseks. Kasvavatele taimedele laotamisel ei tohi taimiku kõrgus ületada 30 cm Ettevaatlik tuleks olla silo valmistamiseks ja karjatamiseks planeeritud rohumaade väetamisel, kuna esineb mõningast taimede saastumist sõnnikuga. Tulenevalt seadme laiusest ei sobi see väikestele, ebakorrapärase kuju ning järskude tõusude ja langustega põldudele. Lohisvoolikseadmete haardelaius on vahemikus 6–36 m ning hinnad 10 500–128 300 € (tabel 3.7).

Tabel 3.7. Lohisvoolikseadmete (paakhaagiseta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Haardelaius, m	Seadmete arv	Hind, €

	kataloogis	keskmine	vähim	suurim
6	3	11 000	10 500	11 500
9	4	18 700	11 400	24 000
12	7	24 100	12 100	36 900
15	7	26 400	15 000	42 000
18	4	30 100	22 200	39 400
21	2	43 600	31 000	56 200
24	2	52 300	40 800	63 700
27	2	56 400	48 000	64 800
30	1	66 200	-	-
33	1	78 400	-	-
36	1	128 300	-	-

Vedelsõnniku lohisvooliklaoturite võimsustarve sõltub enam mulla seisundist kui laotatavast materjalist. Heades oludes, kus rataste veeremine pole oluliselt takistatud, võib arvestada alates 10 kW paagi mahutavuse kuupmeetri kohta. Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime. Nii seda kui mullasõbralikkust parandavad rehvirõhu alandamist võimaldavad seadesüsteemid ja veermiku küliskäiguvõimalus. Eelistada tasub eest tühjeneva paagiga masinaid.

Eelised. Võrreldes paisklaotamisega on vedelsõnniku jaotus töökäigu ulatuses ühtlasem ja ammoniaagi lendumine väiksem. Võrreldes sisestus- ja segamislaotamisega on lohislaotamisseadmed odavamad, suurema haardelaiusega ja tundlikkus kivide suhtes on väiksem. Võimaldavad laotamist kivistel või raske mullastikuga põldudel.

Puudused. Võrreldes muldaviimisega tehnoloogiatega on suurem ammoniaagikadu ja haisuprobleem, eriti muldasegamise viibimisel. Lisaks on lohisvooliklaotamise puhul vajalik täiendav töökäik vedelsõnniku mulda segamiseks.

3.2.5 Lohisdüüslaoturid

Lohisdüüslaoturid on põhimõtteliselt sarnased lohislaoturitega. Põhierinevuseks on, et voolikud on kinnitatud metallribast piidele, mis väldivad voolikute laotamise ajal õhkukerkimise ja hoiavad voolikute otste vahekauguse võrdsena tagades seega parema põikühtlikkuse (joonis 3.24). Voolikud võivad olla kinnitatud ka klaasplastist varrastele, mis võimaldavad külgsuunalist liikumist. Voolikute otstes on spetsiaalsed düüsid, mis suunavad sõnniku vahetult mulla pinnale taimkatte alla, vähendades taimede vegetatiivosade saastumise ohtu. Ammoniaagi lendumine on kuni 18%. Siiski võib rattajälgedes esineda taimede määrdumist vedelsõnnikuga, kuna seal on taimed ratastega pikali vajutatud ja voolikuotsad liiguvad üle taimede, mitte taimede vahelt läbi. Lohisdüüsseadmete haardelaius on vahemikus 6–24 m ning hinnad 28 000–86 900 € (tabel 3.8).

Laotur ei sobi väikestele, ebakorrapärase kujuga ja künklikele põldudele. Kuna düüsid on voolikute otstesse kinnitatud jäigalt, siis tuleb vältida põllu pinnal olevaid kive. Düüs võib olla metallist (joonis 3.24a) või kummist (joonis 3.24b).

Tabel 3.8. Lohisdüüsseadmete (paakhaagiseta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Haardelaius, m	Seadmete arv	Hind, €

	kataloogis	keskmine	vähim	suurim
6	3	29 800	28 000	32 500
9	3	32 100	19 300	41 600
12	4	41 900	20 700	57 000
15	3	44 800	24 300	60 100
18	2	48 600	30 500	66 600
21	1	74 300	-	-
24	1	86 900	-	-

Masin ei sobi väikestele, ebakorrapärase kujuga ja künklikele põldudele. Kuna düüsid on voolikute otstesse kinnitatud jäigalt, siis tuleb vältida põllu pinnal olevaid kive. Düüs võib olla metallist (joonis 3.24a) või kummist (joonis 3.24b).

Lohiskiilseadme korral on düüsi ees eraldi juhtkiil, (joonis 3.24b), mis sõltuvalt maapinna kõvadusest lõikab mulda lõhe, mis soodustab vedelsõnniku imendumist mulda Vedelsõnnik suunatakse kummist düüsi kaudu kiilu taha. Lohiskiilseade jätab ka rattajälgedes taimed vedelsõnnikuga määrimata.

Joonis 3.24. Lohislaoturi voolikud on varustatud düüside (a), düüside ja juhtkiiludega (b) tagamaks vedelsõnniku andmine võimalikult maapinna lähedalt ning kitsa ribana (Fotod: R. Vettik)

Lohiskiilseade sobib nii põllu- kui ka rohumaade (kasvavate taimede) väetamiseks. Kasvavatele taimedele laotamisel peaksid taimed olema vähemalt 8 cm kõrgused, sest siis on maapinna lähedal tuulekiirus väiksem kui madalama taimiku korral. Taimede maksimumkõrgus on sama mis tavalise lohislaotamise korral.

Vedelsõnniku lohisdüüslaoturite võimsustarve sõltub enam mulla seisundist kui laotatavast materjalist. Heades oludes, kus rataste veeremine pole oluliselt takistatud, võib arvestada alates 10 kW paagi mahutavuse kuupmeetri kohta. Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime. Nii seda kui

mullasõbralikkust parandavad rehvirõhu alandamist võimaldavad seadesüsteemid ja veermiku küliskäiguvõimalus. Eelistada tasub eest tühjeneva paagiga masinaid.

Eelised. Võrreldes paisklaotamisega on vedelsõnniku jaotus töökäigu ulatuses ühtlasem ja ammoniaagi lendumine väiksem. Võrreldes sisestus- ja segamislaotamisega on odavamad, suurema haardelaiusega ja on väiksem tundlikkus kivide suhtes. Võimaldavad laotamist kivistel või raske mullastikuga põldudel.

Puudused. Võrreldes muldaviimisega tehnoloogiatega on suurem ammoniaagikadu ja haisuprobleem, eriti muldasegamise viibimisel. Lisaks on lohisdüüslaotamise puhul vajalik täiendav töökäik vedelsõnniku mulda segamiseks.

3.2.6 Segamislaoturid

Segamislaotur koosneb paakhaagisest, millel on pump, jagur, voolikud ja haagise tagaosa külge haagitud tüükultivaator (joonis 3.25) või randaal (joonis 3.26). Laotamisel suunatakse vedelsõnnik voolikute kaudu põllu pinnale ja segatakse sfääriliste ketaste või vedrupiidega 3–10 cm sügavuselt mulla pindmisesse kihti. Sellised lahendused sobivad ka laiarealiselt (45–100 cm) kasvatatavate kultuuride (nt mais) kasvuaegseks väetamiseks kui tööorganid on seatud vastavalt reavahelaiusele.

Sfäärilised kettad võivad olla nii sileda- kui sälkservalised. Randaali kasutamisel laotatakse vedelsõnnik maapinnale kas esimese kettarea ees või siis esimese kettarea ketaste taga. Ketaste vahekaugus on enamasti 25 cm. Ketasseadmete korral on hästi ühildatav kõrrekoorimine ja vedelsõnniku laotamine, mispuhul mõlemad tööd tehakse ühe töökäiguga ja sõnnik segatakse kogu harimissügavuses mulla ja põhuga. Sealjuures on võimalik laotada suuremaid sõnnikunorme kui lõhessesisestamisel.

Ammoniaagi lendumine tänu vahetule muldasegamisele on suhteliselt väike – kuni 5%. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel risk sõnniku ärauhtumiseks on ainult koos harimise käigus kobedaks muutunud mullaga.

Segamislaotamise puudusteks on veojõu suur vajadus ja et seda ei ole võimalik kasutada kitsarealiselt kasvava taimikuga põldudel.

Piidega segamisseadmete haardelaius on vahemikus 3–7,5 m ning hinnad 8 650–15 100 € (tabel 3.9).

Tabel 3.9. Piidega segamisseadmete (paakhaagiseta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Haardelaius, m	Seadmete arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
3	1	8 700	-	-
6	1	13 000	-	-
7,5	1	15 100	-	-

Joonis 3.25. Vedelsõnniku segamislaotur tüükultivaatoriga (Fliegl, 2016b)

Ketastega segamisseadmete haardelaius on vahemikus 3–7,5 m ning hinnad 19 100–51 500 € (tabel 3.10).

Tabel 3.10. Ketastega segamisseadmete (paakhaagiseta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Haardelaius, m	Seadmete arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
3	2	19 800	19 100	20 400
5	4	30 800	22 900	44 200
6	4	34 100	29 400	40 100
7,5	5	39 000	30 500	51 500

Joonis 3.26. Vedelsõnniku segamislaotur ketasseadmega (Foto: K. Tamm)

Vedelsõnniku segamislaoturite võimsustarve sõltub peamiselt mullas töötavast seadisest, selle soovitavast töökiirusest ja töösügavusest. Aeglasemalt töötavad piiseadised vajavad alates 25 kW haardelaiuse meetrile, kiirekäigulised ketasseadised alates 35 kW. Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime. Nii seda kui mullasõbralikkust parandavad rehvirõhu alandamist võimaldavad seadesüsteemid ja veermiku küliskäiguvõimalus. Eelistada tasub eest tühjeneva paagiga masinaid.

Eelised. Segamislaotamisel on ühitatud vedelsõnniku laotamine ja mullaharimine. Ammoniaagi lendumine on tänu vahetule muldasegamisele väiksem kui lohislaotamisel. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel on risk sõnniku ärauhtumiseks ainult koos harimise käigus kobedaks muutunud mullaga. Sügavama segamise korral on võimalik laotada suhteliselt suure vedelsõnniku normiga.

Puudused. Segamislaotamise puudusteks on märkimisväärne veojõu vajadus. Lausharimisseadmega ühitatud laoturid sobivad ainult taimikuta pinna töötlemiseks. Reasviisiliselt paigutatud tööseadistega laoturit on võimalik kasutada kasvava taimikuga põllul ainult juhul, kui mullaharimisseadiste vahe on seatud sobivaks taimeridade vahekaugusega ja töömasina juhtimiseks kasutatakse piisavalt täpseid juhiabisteid.

3.2.7 Avalõhe-sisestuslaoturid

Avalõhe-sisestuslaoturid lõikavad kamarasse või mulda nugade või ketastega 20–60 mm sügavused lõhed, kuhu vedelsõnnik suunatakse kummist düüside kaudu, lõhed jäävad avatuks. Lõhede vahekaugus on tavaliselt 20–40 cm ning laoturi enamlevinud haardelaius 6 m. Düüsidest väljuvate sõnnikujugade voolutugevus tuleb reguleerida tasemele, mis välistab sõnniku jäämise mulla pinnale (lõhe üleujutamise). Soovituslik laotamisnorm on 15–20 m^3 vedelsõnnikut

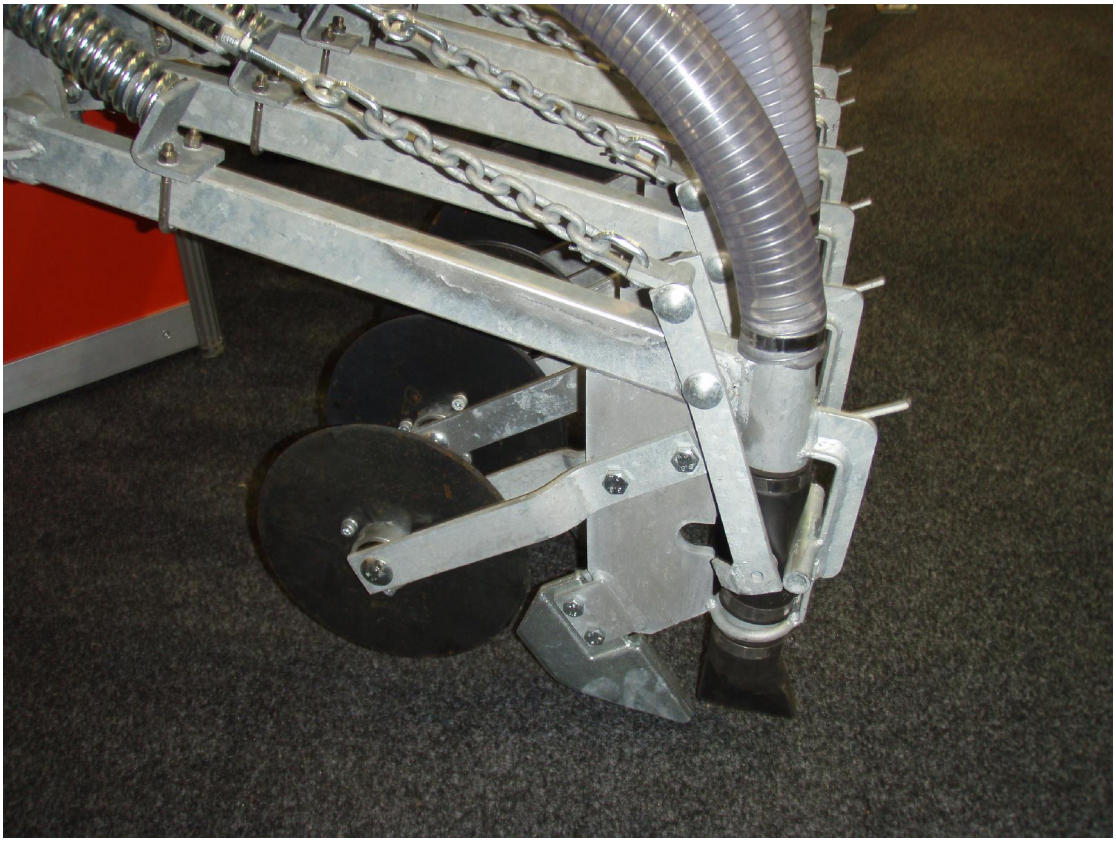
hektarile. Kui kettad on keskelt paksemad või järgneb lõikekettale kiil, siis on maksimaalne laotamisnorm 30 m^3. Suurema normi korral ei mahu vedelsõnnik lõhedesse ja jääb maapinnale. Kamarasse või mulda lõhe lõikamise ketasseadised saab jaotada:

- 1-kettalised, mis võivad olla kas erineva läbimõõduga, kesksuunas paksenevad (joonis 3.27) või kaldsed (joonis 3.28);
- 2-kettalised, mis lõikavad mulda V-kujulise lõhe (joonis 3.29);
- 1-kettalised koos V-kujulist lõhet moodustava kiiluga (joonis 3.30).

Joonis 3.27. 1-kettaline kesksuunas paksenev avalõhe-sisestusseadis (Foto: R. Vettik)

Joonis 3.28. 1-kettaline kaldne avalõhe-sisestusseadis (Foto: R. Vettik)

Joonis 3.29. 2-kettaline avalõhe-sisestusseadis (Foto: R. Vettik)



Joonis 3.30. 1-kettaline kiiluga avalõhe-sisestusseadis (Foto: R. Vettik)

Sisestuslaoturid sobivad nii põllu- kui rohumaade (kasvavate taimede) väetamiseks. Täpse doseerimise korral taimede saastumist sõnnikuga ei esine. Selle laotamisviisi korral on lendub keskmiselt 10% ammoniaagist. Kallakuga põldudel on risk sõnniku ärakandumiseks kui lõhed on langussuunalised. Sisestuslaoturid ei sobi väga kivistele põldudele ning rasketele muldadele, kuhu vajaliku sügavusega lõhe lõikamine on problemaatiline või isegi võimatu. Avalõhe-sisestusseadmete haardelaius on vahemikus 3-8 m ning hinnad 14 500-76 400 € (tabel 3.11).

Tabel 3.11. Avalõhe-sisestusseadmete (paakhaagiseta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Haardelaius, m	Seadmete arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
3	2	15 000	14 500	15 500
4	2	21 300	18 000	24 500
5	5	29 500	21 200	38 000
6	11	32 300	15 500	54 800
7	7	40 500	33 200	68 100
8	5	58 700	35 900	76 400

Vedelsõnniku avalõhe-sisestuslaoturite võimsustarve sõltub peamiselt mulla kõvadusest ja töösügavusest. Ühekettalised vajavad vähem veojõudu ja massi tööseadise muldasurumiseks (alates 15 kW haardelaiuse meetrile) kui kahekettalised (alates 25 kW haardelaiuse meetrile). Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime. Nii seda kui mullasõbralikkust parandavad rehvirõhu alandamist võimaldavad seadesüsteemid kui veermiku küliskäiguvõimalus.

Eelised. Avalõhe sisestuslaotamist kasutatakse põllukultuuride ja rohumaade kasvuaegseks vedelsõnnikuga väetamiseks. Tänu sellele, et vedelsõnnik suunatakse kamarasse lõigatud

lõhedesse on taimiku saastumine ja sõnnikust ammoniaagi lendumine väiksemad kui lohislaotamisel.

Puudused. Selle laotamisviisi puhul jääb kamarasse lõigatud lõhe pealt avatuks ja seetõttu on lendumine suurem kui segamislaotamisel. Soovituslik laotamisnorm on 15–20 m^3 vedelsõnnikut hektarile, et välistada sõnniku jäämise mulla pinnale (lõhe üleujutamine). Kallakuga põldudel on risk sõnniku ärakandumiseks kui lõhed on langussuunalised. Sisestuslaoturid ei sobi väga kivistele põldudele ning rasketele muldadele, kuhu vajaliku sügavusega lõhe lõikamine on problemaatiline või isegi võimatu.

3.2.8 Survelaoturid

Survelaotamisel (joonis 3.31) pressitakse vedelsõnnik kuni 5 cm sügavusele pinnasesse kuni 13 atmosfäärise rõhuga. Tööseadisteks on kõrgsurvet taluvad jaotuskambrid, mis tööasendis libisevad maapinnal, transpordiasendis tõstetakse üles. Kambrite alumistel külgedel on avad, mille kaudu kõrgsurvepumbast tulev vedelsõnnik pihustatakse mulda. Avade juures on pöörlevad noad, mis tekitavad pulseeriva joa ja hoiavad väljalaskeava puhtana Seda moodust saab kasutada madala taimestikuga ja pinnakivideta põldudel.

Eelised. Saab kasutada pinnakivideta põllul.

Puudused. Rohumaa taimed määrduvad vedelsõnnikuga ja osa vedelsõnnikust jääb pinnale, millega kaasneb ammoniaagi lendumine. Kasvava taimestikuga põllul ei ole soovitatav kasutada, kuna paljud taimed saavad vigastatud.

Joonis 3.31. Survelaotur, parempoolne laotamisseadis on tööasendis ja ülejäänud 3 transpordiasendis (Foto: R. Vettik)

3.2.9 Sulglõhe-sisestuslaoturid

Sulglõhe-sisestuslaoturid jaotuvad töösügavuse järgi: madalad – 5–10 cm; sügavad – 15–20 cm. Madalal muldaviimisel suunatakse vedelsõnnik kummidüüside kaudu lõikeketastega kamarasse lõigatud lõhedesse, mis suletakse surverataste või rullikutega (joonis 3.32). Sügaval muldaviimisel suunatakse vedelsõnnik vahetult kobestuskäppade- või hanijalgade taha pinnasesse (joonis 3.33). Laotamiselementide vahekaugus on tavaliselt 25–50 cm. Kobestatud muld variseb ise lõhesse. Vedelsõnniku laotamise seadmetest on sulglõhe-sisestuslaoturid kõige keskkonnasõbralikumad. Ammoniaagi lendumine on umbes 1%. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel risk sõnniku ärakandumiseks on väike.

Vedelsõnniku sügava muldaviimise korral kobestatakse mõningal määral mulda. Sügavat muldaviimist kasutatakse enamasti haritaval maal või laia reavahega kultuuridega põllul, sest oht kasvavate taimede juurestikku vigastada on suur. Laoturite puuduseks on väiksem haardelaius ja vajadus võimsamate traktorite järele. Vedelsõnniku sügavale pinnasesse viimise korral suureneb toiteainete leostumise oht. Kasutamist piiravad eelkõige mulla omadused – ei sobi kivistele ja savistele (rasketele) muldadele. Nii nagu avalõhe-sisestuslaoturitel, tuleb ka sulglõhe korral laotamisnormi määramisel arvestada lõhe mahutavusega, et sõnnikut ei jääks põllu pinnale. Sulglõhe-sisestusseadmete haardelaius on vahemikus 3–8 m ning hinnad 11 000–35 200 € (tabel 3.12).

Tabel 3.12. Sulglõhe-sisestusseadmete (paakhaagiseta) hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Haardelaius, m	Seadmete arv kataloogis	Hind, €		
		keskmine	vähim	suurim
3	3	16 500	11 000	22 000
4	3	23 200	14 600	33 000
6	2	25 900	21 900	30 000
7,5	1	35 200	-	-

Joonis 3.32. Lõhed suletakse surverattaga (Pichon, 2016)

Joonis 3.33. Sügava muldaviimise kobestuskäpad (Foto: R. Vettik)

Vedelsõnniku sulglõhe-sisestuslaoturite võimsustarve sõltub peamiselt mulla kõvadusest ja töösügavusest. Ühekettalised vajavad vähem veojõudu (ja massi tööseadise muldasurumiseks) (alates 20 kW haardelaiuse meetrile) kui kahekettalised (alates 30 kW haardelaiuse meetrile). Kui põllul on märkimisväärseid kallakuid (>5%), siis võib võimsustarbest olulisemaks saada veduki haardevõime. Nii seda kui mullasõbralikkust parandavad rehvirõhu alandamist võimaldavad seadesüsteemid kui veermiku küliskäiguvõimalus.

Eelised. Vedelsõnniku laotamise seadmetest on sulglõhe–sisestuslaoturid kõige väiksema ammoniaagi lendumisega. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel on risk sõnniku ärakandumiseks väike.

Puudused. Sulglõhe laoturite puuduseks on väiksem haardelaius ja vajadus võimsamate traktorite järele. Samuti on keerukam muldaviimise seadis. Vedelsõnniku sügavale pinnasesse viimise korral suureneb toiteainete leostumise oht, kui sõnnikut antakse suures koguses taimede kasvuaja väliselt (sügisel). Kasutamist piiravad eelkõige mulla omadused – ei sobi kivistele ja savistele (rasketele) muldadele. Nii nagu avalõhe–sisestuslaoturitel, tuleb ka sulglõhe korral laotamisnormi määramisel arvestada lõhe mahutavusega, et sõnnikut ei jääks põllu pinnale.

3.2.10 Ribasselaoturid

Ribasselaotamist kasutatakse ribasviljelusel, kus laiarealiste kultuuride kasvatamisel haritakse põld ribadena – nende pindala moodustab kogupindalast 30%. Samaaegselt ribade harimisega viiakse sinna ka vedelsõnnik (joonised 3.34, 3.35). Hiljem külvatakse haritud ja väetatud ribadele saagikultuur ning vahesid jäävad katma eelvilja taimejäänused. Ammoniaagi lendumine tänu vahetule muldasegamisele on väike – kuni 1%. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel on risk sõnniku ära–kandumiseks ainult koos harimise

käigus kobedaks muutunud mullaga. Eelised ja puudused on samad, kui sulglõhe–sisestuslaoturi korral.

Joonis 3.34. Vogelsang Xtill S (Vogelsang, 2016)

Joonis 3.35. Vedelsõnniku laotamine ribasviljelusel. (Kverneland, 2016)

Kokkuvõtteks vedelsõnniku laoturite kohta

Taimejäänuste või haljasväetisega kaetud põllumaa

Koristusjärgsel kõrrepõllu harimisel on soovitatakse anda enne taliviljade külvi lämmastikku 20-30 kg ha^{-1} põhu lagundamiseks (Väetamise ABC) - mida rohkem põhku, seda rohkem tarbivad vajavad organismid lämmastikku. Sõnniku puhul tuleks antud juhul arvestada orgaanilises aines sidumata ammooniumlämmastikuga. Kui veise vedelsõnnik sisaldab kuupmeetris 1,3 kg ammooniumlämmastikku ja segamislaotamisel lendumine on 5%, siis hektarile 20 kg ammooniumlämmastiku andmiseks tuleks laotada 16,2 t vedelsõnnikut (30/1,3/(1-0,05)=16,2 m^3 ha^{-1}). 30 kg lämmastiku andmiseks tuleks laotada siis 24,3 m^3 ha^{-1}, seega orienteeriv laotamisnormi vahemik on 15-25 m^3 ha^{-1}. Ketastega segamislaotamine võimaldab ühe töökäiguga taimejäänuste või haljasväetise muldaviimist ja vedelsõnniku laotamist. Tulemuseks on harimissügavuses ühtlaselt segatud muld, sõnnik ja eelvilja taimejäänused. Vedelsõnnik segatakse mulla ja taimejäänustega, tänu sellele ammoniaagi lendumine on väike ja haisu ei ole praktiliselt tunda. Vedelsõnnik ei satu ka liiga sügavale mulda ja tärkavad taimed saavad mõne nädala pärast hakata kasutama ülemises pinnasekihis olevaid toitaineteid.

Teine võimalus on kasutada lohisvoolikutega laoturit. Hapestamata vedelsõnniku korral on ammoniaagi lendumise oht suur ja seetõttu on laotamisjärgselt nii ruttu kui võimalik vaja teostada eraldi tööna mullaharimine.

Põllumaa suviviljade külvi eel

Piidega sulglõhe sisestuslaotur sobib kevadiseks esimeseks mullaharimiseks, kui enamus eelvilja taimejäänustest on kõdunenud ja soovitakse taimede kasvuperioodiks suuremat toiteainete varu vedelsõnnikuga mulda viia. Sulglõhe-sisestusel on ammoniaagi lendumine väga väike ja seetõttu on see sobivaim laotamisviis ammoniaagi lendumiseks soodsate ilmastikuolude korral.

Kui aga põld on kaetud eelvilja taimejäänustega ja on oht piide ummistumiseks, siis on soovitatav ka kevadel kasutada ketastega segamislaotamist.

Kolmas variant on kasutada lohisvoolikutega laoturit. Hapestamata vedelsõnniku korral on ammoniaagi lendumise oht suur ja seetõttu on laotamisjärgselt nii ruttu kui võimalik vajalik teostada eraldi tööna mullaharimine.

Rohumaa või kasvavate kultuuridega põld

Vedelsõnniku laotamiseks sobivad lohisvooliklaoturid ja avalõhe-sisestusseadmed. Majandusarvutuste alusel oli lohisvoolikutega laotamine odavam ammoniaagi lendumiseks ebasoodsate tingimuste (vt ilm) korral. Kui aga tingimused on ammoniaagi lendumiseks soodsad, nagu on enamasti suvepäevadel, siis on soovitatav avalõhe-sisestuslaotamine. Alternatiiviks on kasutada vedelsõnniku hapestamist.
Avalõhe-sisestuslaotamisel on soovituslik laotamisnorm 15–20 m^3 vedelsõnnikut hektarile. Kui kettad on keskelt paksemad või järgneb lõikekettale kiil, siis on maksimaalne laotamisnorm 30 m^3. Suurema normi korral ei mahu vedelsõnnik lõhedesse ja jääb maapinnale.
Rohumaadele sõnniku laotamisel tuleb silmas pidada, et see peaks saama tehtud vähemalt kuus nädalat enne rohu niitmist.

Transport põllule

Vedelsõnniku laotamisseadmed on kallid ja neid peaks võimalikult palju rakendama vedelsõnniku laotamisel. Vedelsõnniku vedu hoidlast põllule on odavam eraldi paakhaagistega, kuna need ei ole koormatud laotamisseadmega ja liiguvad teedel kiiremini kui laotur.

Arvutuste kohaselt oli vedelsõnniku paakhaagiste kasutamine umbes 0,5-0,6 € m^{-3} odavam kui laoturiga hoidlast põllule vedu ja laotamine.

Sobiva vahemaa ja maastiku (ei ole häirivaid takistusi, sõiduteid või asulaid) korral tasub alternatiivse võimalusena kalkuleerida vedelsõnniku torutranspordi maksumust.

Et vähendada nii laoturi kui paakhaagise ooteaegasid, on soovitatav põllul kasutada vahemahuteid. Vedelsõnniku laoturi ja vahemahuti ühenduseks saab kasutada ka vooliktoidet. Sellisel juhul saab laotur seisakuteta töötada seni kuni vahepaagis on vedelsõnnikut. Põllu servades, kus enamasti laoturi paaki täidetakse, sõidetakse korduvalt ja seal esineb mulla oluliselt suurem tihenemine. Vooliktoite korral ei ole laoturil oma paaki ja maapinda tallatakse kogu põllu ulatuses ühtlasemalt.

Laotamisnorm hektarile

Arvutused näitavad, et veise vedelsõnniku laotamisnormi 50 m^3 ha^{-1} korral on kulud laotamisele väiksemad kui laotamisnormi 30 m^3 ha^{-1} korral. Põhjuseks on see, et suurema keskmise normi korral on laotamiseks vaja vähem põllupinda ja seetõttu on eeldatud, et veokaugus hoidlast põlluni on lühem. Lisaks on tööaja kasutus efektiivsem, sest vähem on pöördeid põllu otstes. Sealjuures tuleb aga laotamisnormi valikul silmas pidada veeseadusega sätestatud piiranguid ja agronoomilist otstarbekust. Samuti on oluline, et võimalikult vähe sõnnikut jääks laotamisjärgselt põllu pinnale et minimeerida ammoniaagi lendumist ja sõnniku ärakandumist.

Ka tahesõnniku ja sügavallapanusõnniku koguste puhul tuleb arvestada sõnniku toiteainete sisaldusega. Toiteainete sisaldus on tahesõnnikus kõrgem kui vedelsõnnikus ja seetõttu on tahesõnnikut võimalik külvikorras vähem kasutada kui vedelsõnnikut. Lamba tahesõnnik sisaldab näiteks tonni kohta 1,5 kg P ja seega võib viie aasta keskmisena aastas kasutada kuni 16,7 t sõnnikut hektarile.

Teenustöö kasutamine

Sõnniku laotamise seadmete tasuvusaeg on seda lühem, mida suurem on vedelsõnniku kogus ettevõttes. 100 lehmaga piimafarmis oli nii lohisvoolik- kui ka avalõhe-sisestusseadme tasuvusaeg üle 50 aasta. 900 lehmaga ettevõttes oli tasuvusaeg aga alla 4 aasta.

Kui põllumees kavandab investeeringuid sõnnikulaotamise seadmete soetamiseks, siis on soovitatav leida sõnniku käitlemise kulud oma seadmete korral ja võrrelda tulemust teenusepakkujate teenustöö hinnaga. Väiksemate ettevõtete korral on teenusepakkuja teenustöö hind sageli odavam oma laotamisseadmetega laotamise hinnast.

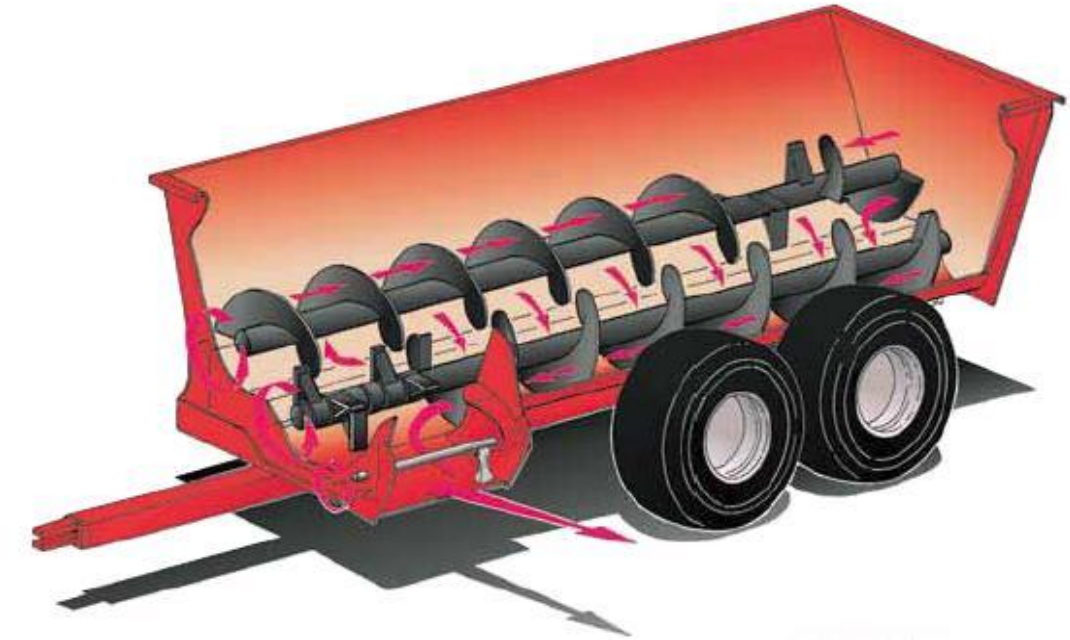
Tehti arvutused 100, 300 ja 900 lüpsilehmaga ettevõtte korral. 300 piimalehmaga ettevõttes olid vedelsõnniku käitluskulud madalaimad kui vedelsõnnik veeti põllule ja laotati oma laoturiga. Kui kasutati paakautodega põllule etteveoteenust, siis olid vedelsõnniku käitluskulud madalaimad suurimas ettevõttes. 100 piimalehmaga ettevõttes olid käitluskulud oma laoturiga nii suured, et odavam oli kasutada vedelsõnniku laotamise täisteenust.

3.3 Poolvedela sõnniku laotamise tehnoloogiad

Kui poolvedel sõnnik on nii voolav, et seda on võimalik pumbata, siis kasutatakse enamasti vedelsõnnikutehnoloogiaid. Silmas tuleb aga pidada, et mida raskemini vedelik voolab, seda suurem on energiakulu pumpamisele. Seega on soovitatav kasutada poolvedela sõnniku käitlemisel otseveotehnoloogiat, mispuhul ümberpumpamise vajadus puudub. Poolvedela sõnniku kuivainesisaldusest sõltub ka see, kui suurt haardelaiust vooliksüsteemidega laotamisseadmel on võimalik kasutada. Mida laiem seade, seda pikemad on laotamisvoolikud ja seda raskem on poolvedelat sõnnikut neist läbi pumbata. Sõnniku kuivainesisalduse suurenedes voolutakistus kasvab veelgi. Kui väiksema haardelaiusega laoturiga on suhteliselt paksu

materjali võimalik veel laotada, siis laiemaga enam mitte. Kuni 9% kuivainesisalduse korral saab kasutada enamikke vooliksüsteemidega laotureid, kuni 12% kuivainesisaldusega korral on võimalik kasutada paisklaoturit. Kui poolvedela sõnniku laotamisel kasutatakse tahesõnnikulaotureid, siis on samuti soovitatav kasutada otseveotehnoloogiat, kuna seda materjali ei ole võimalik põlluservale aunastada ja ümberlaadimine põllul on tülikas. Tahesõnniku laoturiga on laotatav sõnnik, mille kuivainesisaldus on vähemalt 15%. Poolvedela sõnniku laotamiseks sobib näiteks seade, mille punkermahuti põhjas on etteandeseadmeks tigukonveier ja külglaotamiseks rootorseadis (joonised 3.36 ja 3.37).

Joonis 3.36. Külgväljutuse ja punkermahutiga rootorlaotur sobib poolvedela sõnniku laotamiseks. Laoturi ratta ees on näha välimine osa laotamisseadisest (Richard Western, 2012)



Joonis 3.37. Kahe teoga etteandeseadis. Punkri esiosas vasakul on vasarlaotamisseadis, millele on antud pildil joonistatud ainult üks vasar (tegelikult on neid 12–18). Laotamisel tungib vasar

hooga teo poolt etteantavasse materjali, haarab sealt portsjoni ja heidab selle alt üles põllule laiali kuni 20 m kaugusele (Kuhn, 2009)

Poolvedela sõnniku laotamiseks sobib ka tahalaotamisega tahesõnnikulaotur, millel on kastmahuti, vootõke ja laotamiskettad (joonis 3.38). Sel juhul peab kasti põhi olema kinnine ja vootõke piisavalt tihe, et transpordi ajal sealt sõnnik läbi ei pääseks. Laoturi kasti täitmisel poolvedela sõnnikuga tuleb jälgida, et laoturi kandevõimet ei ületataks, kuna see võib olla projekteeritud suurema kuivainesisaldusega ja seega enamasti väiksema mahumassiga tahesõnniku laotamiseks. Teiseks tuleb arvestada kallakutega laoturi liikumisteekonnal, et sõnnik üle laoturi kasti serva ei voolaks.

Joonis 3.38. Ketaslaotamisseadmega kastlaotur. Ülemise biitri kohal on näha vootõkke alumine serv koos kummitihendiga. Tootja väitel sobib laotur nii vedel- kui tahesõnniku laotamiseks (Jeantil, 2016)

3.4 Sõnnikulaotamise tehnoloogiate majanduslikkus

Käesolevas peatükis analüüsitakse sõnnikulaotamise tehnoloogiate majanduslikkust lähtuvalt ettevõtte suurusest, loomakasvatussuunast ja laotamise tehnoloogiast. Selgitatakse, millistes näidisettevõtetes tasub kasutada oma masinaid ja millistes tasub kasutada laotamisteenust.

3.4.1 Arvutusmudel

Iga ettevõtte tüübile ja suurusele sobiva mahuga sõnnikulaoturi leidmiseks kasutatakse optimeerimismudelit. Optimeerimiskriteeriumiks on minimaalne sõnniku laotamiskulu tingimusel, et mudeli piirangud on rahuldatud.

Mudel koosneb mitmest sammust:

1) valitakse laotamisagregaadid erinevate paagimahtudega ja määratakse igaühele sobiv pumba jõudlus, laotamisseadme laius ja traktori võimsus;
2) arvutatakse laotamise tootlikkus iga laoturi korral sõltuvalt keskmisest veokaugusest ja laotamisnormist;
3) arvutatakse sõnniku käitlemise hind igale laoturile sõltuvalt ettevõtte parameetritest (aastane sõnnikukogus, keskmine kaugus, laotamisnorm) kui sõnnikut veetakse laoturi endaga;
4) arvutatakse sõnniku käitlemise hind igale laoturile kui sõnnikut veetakse eraldi paakveokiga;
5) arvutatakse vajalik laoturite arv ettevõttes;
6) valitakse odavaim lahendus.

Odavaim lahendus valitakse nii variandi jaoks kui vedu toimub oma laoturiga kui ka variandile kus vedu tehakse eraldi paakveokiga.
Mudeli lihtsustused on järgmised:

1) esmalt valitakse laotur ja selle järgi valitakse sobiva võimsusega traktor, võimsusvajadus ei ole piiratud;
2) traktori võimsus on piisav, et töötada transpordil maksimum kiirusega;
3) laotamine toimub katkestatud töökäikude meetodil, laotamist tehakse kui paak on tühi ja järgmise paagitäiega jätkatakse samast kohast kus eelmisel töökäigul pooleli jäi;
4) laotamisnorm on kultuuride keskmine norm kaalutuna kultuuride pindalaga;
5) laadimise ja väljalaadimise jõudlused on võrdsed;
6) paakveoki veojõudlus on piisav tagamaks ooteaegadeta laotamistöö.

Kui arvutused näitavad, et üks laotur on ebapiisav ettevõttele, siis kasutatakse mitme laoturi kombinatsiooni, mille korral on tagatud minimaalne kulu ja piisav tootlikkus. Lahenduse tööühiku hind (€ m^{-3}) arvutatakse valemiga:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i Y_i}{Y}$$

kus P_i – laoturi *i* tööühiku hind, € m^{-3} ;

Y_i – laoturi *i* poolt ettevõttes laotatud sõnnikukogus, m^3

Y – ettevõtte aastane sõnnikukogus, m^3;

n – lahenduses kasutatavate sõnnikulaoturite arv.

Laotamisvõimsuse piisavust kontrollitakse valemiga

$$A_{\min} \le \sum_{i=1}^{n} w_i ,$$

kus A_{min} – vähim vajalik laotamisvõimsus mis on vajalik sõnniku laotamiseks etteantud päevade arvu vältel, $m^3\ h^{-1}$;

w_i – laoturi i laotamistootlikkus antud lahenduses, $m^3\ h^{-1}$.

Vähim laotamisvõimsus, mis on vajalik ettevõtte aastase sõnnikukoguse laotamiseks leitakse ASAE Standardi (2003) põhjal kasutades tõenäolist aastast tööpäevade arvu, mille vältel see töö peab tehtud saama:

$$A_{\min} = \frac{Y}{DT\tau}$$

kus

D – päevade arv aastas, mis on võimalik sõnniku laotamiseks kasutada, päeva;

T – oletatav tööpäeva kestus, h $päevas^{-1}$;

τ – hooaja ajakasutustegur, kümnendikes, 0,8.

Laoturi tootlikkus w leitakse valemiga:

$$w = \frac{60Q}{t_c}$$

kus Q – paagi maht, m^3;

t_c – tsükli kestus, mille vältel peaks saama toimetatud üks paagitäis laadimispunktist mulda, min.

Ühe paagitäie käitlemise tsükli kestus leitakse valemiga (Bogun & Jõgeva, 2005):

$$t_c = t_d + t_w + t_t + t_m + t_r ,$$

kus

t_d – sõiduaeg laadimispunktist töökäigu otsale ja tagasi, min;

t_w – laotamise aeg töökäigul, min;

t_t – pöörete aeg töökäigu otstes, min;

t_m – laadimisega seotud manöövrite aeg, min;

t_r – laadimise aeg, min.

Enamik nende elementide väärtustest arvutatakse valemitega, mis on toodud tabelis 3.13.

Tabel 3.13. Valemid, mida kasutatakse laotamise töötsükli elementide arvutamiseks (Bogun & Jõgeva, 2005)

Parameeter	Arvutusvalem	Definitsioon
Transpordi aeg	$t_d = 120\left(\frac{d_{road}}{v_{road}} + \frac{d_p}{v_p}\right)$	b – laoturi efektiivne töölaius, m; b_n – laoturi nomilaane haardelaius, m; d_p – kaugus põllule pääsust kuni töökäiguni, km; d_{road} – kaugus põllu ja hoidla vahel, km; h – vedelsõnniku laotamise norm, $m^3\ ha^{-1}$; l – töökäigu pikkus, km; t_{1t} – ühe pöörde keskmine aeg, h. v_p – keskmine tühisõidu kiirus põllul, $km\ h^{-1}$; v_{road} – keskmine sõidukiirus maanteel, $km\ h^{-1}$ v_t – keskmine kiirus pöördel töökäigu otsal, $km\ h^{-1}$ v_w – keskmine töökiirus, $km\ h^{-1}$ W – laadimise jõudlus, $m^3\ h^{-1}$; W_u – tühjendamise jõudlus, $m^3\ h^{-1}$; φ – haardelaiuse kasutegur, %.
Laotamise aeg töökäigul	$t_w = \frac{600Q}{bhv_w}$	
Efektiivne töölaius	$b = 0.01\, b_n \varphi$	
Töökiirus	$v_w = \frac{10W_u}{bh}$	
Pöörete aeg töökäikude otstes	$t_t = \frac{3.14\,Q}{100hl\,v_t}$	
Laadimise aeg	$t_r = 60\frac{Q}{W}$	

Sõnnikulaoturi tootlikkust mõjutab rida erinevaid tegureid nagu töölaius ja kiirus, transpordikaugus, laadimisega seotud abiajad, laadimisjõudlus ja paagi maht.

Keskmise kiirusena teel on arvestatud 25 $km\ h^{-1}$ ja 6 $km\ h^{-1}$ tühisõitudeks põllul. Laadimise abiaeg on keskmiselt 1,93 min (Sørensen 2003). Haardelaiuse kasutegur φ on 100%.

Tööpäeva pikkuseks on võetud 10 h ja tööpäeva ajakasutustegur on 0,8 st, et 80% tööajast saab tegelikult töö tegemiseks kasutada.

Traktori ja laoturi tööühiku hinnad arvutatakse eraldi kuna traktoril tuleb arvestada ka kütuse ja tööjõu kulu mida laoturil ei arvestata. Esmalt arvutatakse traktori tunnikulu, siis laoturi töö hind kuupmeetri kohta ja selle järel traktori kasutamise kulu kuupmeetri kohta lähtuvalt laotamise tootlikkusest. Lõpuks traktori ja laoturi kulud kuupmeetri kohta liidetakse.

Alltoodu valmid on laialt kasutuses põllumajandusmasinate töö maksumuse analüüsil.

Traktori tunnikulu arvutatakse valemiga :

$$P_t = c_a + c_i + c_k + c_g + c_f + c_m + c_j + c_h,$$

kus c_a – masina kulum ehk amortisatsioon, € h^{-1};

c_i – intressikulu, € h^{-1};

c_k – masina kindlustus, € h^{-1};

c_g – hoiustamiskulu, € h^{-1};

c_f – kütusega seotud kulu, € h^{-1};

c_m – määrdeainetega seotud kulud, € h^{-1};

c_j – tööjõuga seotud kulu, € h^{-1};

c_h – hoolduskulu, € h^{-1}.

Praktikas kasutatakse kulumi arvestamisel peamiselt lineaarset meetodit

$$c_a = \frac{H - H_r}{T_a W},$$

kus H – masina ostuhind, EUR;

H_r – masina jääkväärtus, EUR;

T_a – masina tööressurss või eluiga, aastat;

W – töötundide arv aastas, h $aastas^{-1}$.

Laenuintress arvutatakse kogu masina kasutusea keskmisena:

$$c_i = \frac{a_p i_p H\left(1 - \frac{O_f}{100}\right)}{2 \cdot 100 T_a W},$$

kus a_p – laenuperioodi pikkus, aastat;

i_p – intressi määr, % $aastat^{-1}$;

O_f – omafinantseeringu osa, % laenusummast.

Masina hoiustamiskulu

$$c_g = \frac{H_h A_h}{W}\left[\frac{1}{T_h} + \left(\frac{i_p + i_{hk}}{200}\right)\right],$$

kus H_h – hoiukoha maksumus, € m^{-2};

A_h – masinale vajalik hoiustamisala, m^2;

T_h – hoiustamiskoha eluiga, aastat;

i_{hk} – hoiustamiskoha kindlustuse määr, % hinnast.

Traktori kindlustus

$$c_k = \frac{\frac{i_{vk} H}{200} + I_k}{W},$$

kus i_{vk} – varakindlustuse makse, % $aastas^{-1}$;

I_k – liikluskindlustus ja ülevaatustasu kokku, EUR $aastas^{-1}$.

Kulud kütusele

Kütusekulu arvutatakse valemiga:

$$G = \frac{q\xi N_m}{\rho},$$

Ja kulud kütusele:

$$c_f = r_k G,$$

kus q – kütuse erikulu, kg $(kWh)^{-1}$;

ξ – mootorivõimsuse kasutamise tegur: raskel tööl 0,6…0.7, keskmise raskusega tööl 0,4…0,5, kergel tööl 0,3;

N_m – traktori või liikurmasina mootori nimivõimsus, kW;

ρ – diiselkütuse tihedus, diislikütusel ρ= 0,86 kg l^{-1};

r_k – Kütuse hind, € l^{-1}.

Kulud määrdeainetele

$$c_m = 1{,}2\frac{ur_m G}{100},$$

kus u – määrdeainete kulu, % kütusekulust;

r_m – määrdeainete hind, € l^{-1}.

r_m on mootoriõli hind. Kulud sisaldavad ka teiste määrdeainetega seotud kulusid, mistõttu kasutatakse hinna juures koefitsienti 1,2.

Hoolduskulud

Masina korrahoiukuludena arvestatakse kulutusi masina perioodiliseks tehniliseks hooldamiseks ja remondiks:

$$c_h = \frac{sM_a}{100W},$$

kus s – korrashoiukulu, % masina asendushinnast;

M_a – masina asendushind, €. Uue masina puhul sama, mis soetamishind, €.

Tööjõu kulu

$$c_j = p\left(1+\frac{p_h}{100}\right)\left(1+\frac{m_s+m_h+m_t+m_p}{100}\right),$$

kus p – kulud masinajuhi töötasule, € h^{-1};

p_h – hoolduse lisatasu määr, % tunnitasust;

m_s – sotsiaalmaksu määr, %;

m_h – ravikindlustuse määr, %;

m_t – töötuskindlustuse määr, %;

m_p – puhkusetasu määr, %.

Lisaks laotamiskuludele arvutatakse ka sõnniku segamise kulud. Arvestatud on et kasutatakse elektrilist segurit ja segamise aeg on võrdne laotamise ajaga.

Paisklaotamise ja segamislaotamise võrdlemisel arvutatakse ka randaali tööhind ja lisatakse paisklaotamise hinnale, et saavutada võrreldavaid tingimusi.

Teenustööde puhul arvestatakse transpordi teenuse hinnaks 1,4 € m^3 kuni 7 km-ni. Alates 7 km-st lisandub iga kilomeetriga kuupmeetri hinnale 0,1 €. Segamise ja pumpamise teenus maksab 0,5 € m^{-3} . Avalõhe sisestamine maksab 1,6 € m^{-3} ja segamislaotamise teenus maksab 1,8 € m^{-3}. Kõik hinnad sisaldavad ka kütusekulu. Kõik käesolevas aruandes esitatud hinnad on 2016. aasta esimese poole seisuga.

3.4.2 Ettevõtted ja masinad

Käesolevas jaotises esitatakse eeltoodud valemite abil tehtud arvutuste tulemused sõnnikulaotamistehnoloogiate kasutamise kulude kohta lähtuvalt ettevõtte suurusest, loomakasvatussuunast ja laotamistehnoloogiast. Selgitatakse, millistes näidisettevõtetes tasub kasutada oma masinaid ja millistes tasub kasutada laotamisteenust.

Vaatluse all olid näidisettevõtted kolmes suurusklassis (tabel 3.14): piimakarjakasvatuse ettevõtted, seakasvatuse ettevõtted, lihaveisekasvatuse ettevõtted ja lambakasvatuse ettevõtted.

Tabel 3.14. Ettevõtete suurusklassid, mille kohta arvutused tehti

Piimakarjakasvatus piimalehmade arv	Seakasvatus nuumakohtade arv	Lihaveisekasvatus ammlehmade arv	Lambakasvatus lammaste arv
100	2 000	30	50
300	5 000	50	100
900	10 000	100	300

Vedelsõnniku laotamiseks koostati viiest erineva paagi mahuga paakhaagisest ja selle võimsustarbele sobiva võimsusega traktorist laotamisagregaadid, mis kasutavad sobiliku haardelaiusega laotamisseadmed (lohisvoolik-, avalõhe-sisestus- või segamisseade). Agregaatide parameetrid ja keskmised hinnad (PRIA hinnakataloog, 2016. aasta alguse seisuga) ilma käibemaksuta on esitatud tabelis 3.15. Agregaatide parameetrid ja keskmised hinnad Lätis on tabelis 3.16.

Tabel 3.15. Vedelsõnniku laotamisagregaatide parameetrid ja keskmised km-ta hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Paakhaagis			Traktor		Lohisvoolik-seade		Avalõhe-sisestusseade		Segamisseade	
maht, m^3	pump, l min^{-1}	hind, €	võimsus, kW	hind, €	töö-laius, m	hind, €	töö-laius, m	hind, €	töö-laius, m	hind, €
5	2 500	12 850	75	53 000	9	18 740	3	15 000	3	19 750
10	4 000	32 790	102	72 000	12	24 130	4	21 250	4	26 330
15	5 000	54 420	145	103 000	15	26 350	4,5	25 350	4,5	27 670
20	6 000	96 800	175	120 000	18	30 050	5	29 450	5	30 750
25	8 000	145 500	205	170 000	24	52 250	6	32 300	6	34 130

Tabel 3.16. Vedelsõnniku laotamisagregaatide parameetrid ja keskmised km-ta hinnad Lätis

Paakhaagis			Traktor		Lohisvoolik-seade		Avalõhe-sisestusseade		Segamisseade	
maht, m^3	pump, l min^{-1}	hind, €	võimsus, kW	hind, €	töö-laius, m	hind, €	töö-laius, m	hind, €	töö-laius, m	hind, €
5	2 500	7 000	88	44 800	9	10 000	-	-	-	-
10	4 000	22 000	101	48 400	12	12 000	4	20 000	4	21 000
16	5 000	34 300	150	84 700	15	16 700	4,5	20 700	4,5	21 700
20	6 000	55 300	150	84 700	-	-	5	21 700	5	22 700
20	6 000	55 300	180	102 800	18	17 200	6	24 700	6	25 700

Tahesõnniku laotamiseks koostati kuuest erineva kandevõimega laoturist ja selle võimsustarbele sobiva võimsusega traktorist laotamisagregaadid (tabel 3.17). Tahesõnniku laotamisagregaatide parameetrid ja keskmised hinnad Lätis on tabelis 3.18.

Tabel 3.17. Tahesõnniku laotamisagregaatide parameetrid ja keskmised km-ta hinnad PRIA hinnakataloogi järgi

Laoturi kandevõime, t	Traktor		Püstbiitrid ja kettad	
	võimsus, kW	hind, €	haardelaius, m	hind, €
3,5	50	36 000	3 (2-4)*	15 000*
5	75	53 000	6 (6-10)	18 000
8	102	72 000	7 (6-10)	21 500
10	145	103 000	8 (8-12)	32 700
15	175	120 000	10 (8-12)	34 100
20	205	170 000	12 (12-20)	53 800

* - rõhtbiitritega laotur

Tabel 3.18. Tahesõnniku laotamisagregaatide parameetrid ja keskmised km-ta hinnad Lätis

Laoturi kandevõime, t	Traktor		Püstbiitrid ja kettad	
	võimsus, kW	hind, €	haardelaius, m	hind, €
5	88	44 800	6 (6–10)	9 500
8	101	48 400	7 (6–10)	15 700

Seejärel leitakse teoreetiliste ettevõtete sõnniku laotamiseks laotamisagregaatide töö maksumus (€ t^{-1}) valitud keskmise veokauguse, laotamispäevade arvu, sõnniku aastakoguse ja laotamisnormi korral. Kui ühe algselt valitud paakhaagise paagimahust või tahesõnnikulaoturi kandevõimest ei piisa, siis valitakse automaatselt väikseima mahuga paakhaagis või väikseima kandevõimega tahesõnnikulaotur lisaks ja leitakse summaarne töö maksumus (€ t^{-1}). Seejärel leitakse optimaalseim (väikseim töö maksumus (€ t^{-1}) lahend.

Töötasu arvestati nii Eesti kui Läti ettevõtteis 5 € h^{-1}. Kütuse hinnaks arvestati 0,65 € l^{-1} Lätis ja 0,7 € l^{-1} Eestis.

Piimakarjakasvatusettevõtted

Sõnnikukogused aastaringse laudaspidamise korral Eestis leiti Põllumajandusministri määruse nr 71 lisa 3 (Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 3, 2014) andmete alusel. Sõnnikukogused Lätis on leitud tabelis 3.19 (National standard for manure production and management, http://www.lad.gov.lv/files/l121nacionalais_standarts_kutsmeslu_ieguve_un_apsaimniekosana.pdf) esitatud andmete alusel.

Tabel 3.19. Loomade aastane sõnnikutoodang Lätis

Loomarühm	Tahesõnnik	Vedelsõnnik
Lüpsilehm vabapidamisel (piimatoodang 6000 kg aastas)	15,5	30
Vasikas, alla 6 kuu vanune	2,6	
Mullikad, üle 6 kuu vanune	8	15
Noore pullid, üle 6 kuu vanused	11,1	20,5
Nuumsead	1	2
	Sügavallapanuga sõnnik	
Ammlehm, lihaveis (üle 24 kuu) koos vasikaga	12	
Vasikas, alla 6 kuu vanune	2,6	
Mullikad, üle 6 kuu vanune	11,1	
Tõupullid	14	
Lambad	1,3	

Uuriti kahte tüüpi piimakarja kasvatusega tegelevaid ettevõtteid: A – kus vedelsõnnikut tootvad loomad on vanemad kui kuus kuud ja vasikad toodavad allapanuga tahesõnnikut ning B – kus vedelsõnnikut toodavad piimalehmad ja noorkari toodab tahesõnnikut (tabel 3.20). Uuritavate ettevõtete sõnnikutoodangud Lätis on esitatud tabelis 5.21.

Eesti ettevõtete puhul on kasutatud karja struktuuril Jõudluskontrolli andmeid.

Tabel 3.20. Uuritavate ettevõtete karja suurused ja sõnnikutoodangud Eestis

Piima-lehmade arv	Noor-loomade arv	Vedelsõnniku ja tahesõnniku (vasikad) toodang, t a^{-1} (A)		Vedelsõnniku ja tahesõnniku (noorloomad) toodang, t a^{-1} (B)	
		Vedelsõnnik	Tahesõnnik	Vedelsõnnik	Tahesõnnik
100	92	3 226	67	2 470	857
300	276	9 678	201	7 410	2 570
900	828	29 032	603	22 230	7 710

Tabel 3.21. Uuritavate ettevõtete karja suurused ja sõnnikutoodangud Lätis

Piima-lehmade arv	Noor-loomade arv	Vedelsõnniku ja tahesõnniku (vasikad) toodang, t a^{-1} (A)		Vedelsõnniku ja tahesõnniku (noorloomad) toodang, t a^{-1} (B)	
		Vedelsõnnik	Tahesõnnik	Vedelsõnnik	Tahesõnnik
100	100	4 110	68	3 000	660
300	300	12 330	203	9 000	1 979
900	900	36 990	608	27 000	5 936

Arvutuste alusel leiti ettevõttele vajalik maa-ala sõnniku laotamiseks kui ettevõtte vedelsõnnik laotatakse normiga 30 t ha^{-1} ning tahesõnnik normiga 25 t ha^{-1}. Lähtuvalt sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalast määrati sõnniku keskmine veokaugus põldudele (tabel 3.22) ja Läti andmete korral tabelis 3.23.

Eesti jaoks veise vedelsõnniku normi määramisel on lähtutud sõnniku fosforisisaldusest 10% kuivaine sisalduse korral. Fosforisisaldus on Põllumajandusuuringute Keskuses analüüsitud proovide keskmisena sellises sõnnikus 0,82 kg t^{-1} ja külvikorra keskmisena on lubatud anda sõnnikuga kuni 25 kg ha^{-1} fosforit. Seega on sellist sõnnikut võimalik anda kuni 30 t ha^{-1}.

Kui sõnnik on fosfori poolest lahjem, siis on võimalik anda ka suuremaid koguseid hektari kohta. Näiteks 5,5% kuivainesisaldusega veisesõnnik sisaldab keskmiselt 0,5 kg t^{-1} fosforit ja seega saab seda anda koguses 50 t ha^{-1}. Sealjuures on lämmastikusisaldus 2,7 kg t^{-1} ja kuna maksimaalselt võib sõnnikuga anda 170 kgN ha^{-1}, siis lämmastiku järgi võib anda kuni 63 t ha^{-1}. Samas ei ole 50 t ha^{-1} soovitatav anda põllule avalõhe-sisestusseadmetega, kuna sel juhul ei mahu sõnnik ketaste poolt lõigatud lõhedesse jääb põllu pinnale kus see määrib taimi ja ammoniaagi lendumine on samuti kõrgem.

Lätis ei ole fosfori kasutamine piiratud ja seal on keskmiseks laotamisnormiks 40 t ha^{-1}. Seega võeti Läti ettevõtetele tehtavates arvutustes laotamisnormiks 40 t ha^{-1}.

Tabel 3.22. Uuritavate ettevõtetes maade vajadus Eestis (vedelsõnnik 30 t ha^{-1} ja tahesõnnik 25 t ha^{-1})

Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha				Sõnniku keskmine veokaugus, km
A		B		
Vedelsõnnik	Tahesõnnik	Vedelsõnnik	Tahesõnnik	
108	3	82	34	2
323	8	247	103	4
968	24	741	308	7

Tabel 3.23. Uuritavate ettevõtetes maade vajadus Lätis (vedelsõnnik 40 t ha^{-1} ja tahesõnnik 35 t ha^{-1})

Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha				Sõnniku keskmine veokaugus, km
A		B		
Vedelsõnnik	Tahesõnnik	Vedelsõnnik	Tahesõnnik	
103	2	75	19	2
308	6	225	57	4
925	17	675	170	6

A. Loomapidamises on vedelsõnnik ja vähesel määral tahesõnnikut (vasikad)

EPKK läbiviidud vedelsõnniku laotamisalase küsitluse tulemuste alusel oli veisefarmides, kus ise laotati vedelsõnnik keskmine laotamispäevade arv 62.

Iga ettevõtte jaoks otsiti viie laotamisagregaadi (tabel 3.15) seast odavaim lahendus, tulemused vedelsõnniku lohisvooliklaotamisel on esitatud tabelis 3.24 ja avalõhe-sisestuslaotamisel tabelis 3.27. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.16, tulemused vedelsõnniku lohisvooliklaotamisel on esitatud tabelis 3.26 ja avalõhe-sisestuslaotamisel tabelis 3.28.

Tabel 3.24. Kulud laotamisele Eestis vedelsõnniku **lohisvooliklaotamisel**, laotamisnorm 30 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
3 226	2	62	1 x 10 m^3	5,20
9 678	4	62	1 x 15 m^3	3,71
29 032	7	62	2 x 20 m^3	4,03
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
3 226	2	62	1 x 5 m^3	4,66
9 678	4	62	1 x 10 m^3	3,08
29 032	7	62	1 x 10 m^3	2,62

Selleks, et näha, milline on laotamisnormi mõju laotamiskuludele tehti ka arvutused piimakarja vedelsõnniku lohisvooliklaotamisele normiga 50 t ha^{-1} (tabel 3.25). Arvestati ka seda, et suurima normi korral on vaja vähem maad, kuhu sõnnik laotada, mistõttu on ka maa-ala ja keskmine vahemaa hoidlast põllule väiksem.

Tabel 3.25. Kulud laotamisele Eestis vedelsõnniku **lohisvooliklaotamisel**, laotamisnorm 50 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arv

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
3 226	2	62	1 x 10 m^3	5,19
9 678	3	62	1 x 15 m^3	3,28
29 032	5	62	1 x 20 m^3 ja 1 x 10 m^3	3,30
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
3 226	2	62	1 x 5 m^3	4,65
9 678	3	62	1 x 10 m^3	3,06
29 032	5	62	1 x 10 m^3	2,50

Tabel 3.26. Kulud laotamisele Lätis vedelsõnniku **lohisvooliklaotamisel**, laotamisnorm 40 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arv

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
4 110	2	62	1 x 10 m^3	3,60
12 330	4	62	1 x 16 m^3	2,76
36 990	6	62	2 x 20 m^3 ja 1 x 5 m^3	3,05
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
4 110	2	62	1 x 10 m^3	3,52
12 330	4	62	1 x 10 m^3	2,53
36 990	6	62	1 x 10 m^3	2,20

Tabel 3.27. Kulud laotamisele Eestis vedelsõnniku **avalõhe-sisestuslaotamisel**, laotamisnorm 30 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
3 226	2	62	1 x 10 m^3	5,58
9 678	4	62	1 x 15 m^3	4,02
29 032	7	62	2 x 20 m^3	4,34
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
3 226	2	62	1 x 5 m^3	4,96
9 678	4	62	1 x 10 m^3	3,32
29 032	7	62	1 x 10 m^3	2,82

Eestis, vedelsõnniku laotamise täisteenuse (segamine/pumpamine hoidlas, vedu paakhaagistega kuni 6 km kaugusele ja laoturiga laotamine põllul) maksumus avalõhe-sisestuslaotamisel on 3,5 € t^{-1} ja veokaugusel 7 km lisandub 0,1 € t^{-1}. Järelikult vedelsõnniku aastatoodangu 3 226 t korral on soodsaim lahendus vedelsõnniku laotamise täisteenuse kasutamine. Vedelsõnniku aastatoodangu 9 678 t ja 29 032 t korral osutub soodsaimaks vedelsõnniku etteveoteenuse kasutamine ja oma laoturiga laotamine.

Tabel 3.28. Kulud laotamisele Lätis vedelsõnniku **avalõhe-sisestuslaotamisel**, laotamisnorm 40 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
4 110	2	62	1 x 10 m^3	3,90
12 330	4	62	1 x 16 m^3	2,92
36 990	6	62	2 x 20 m^3 ja 1 x 10 m^3	3,03
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
4 110	2	62	1 x 10 m^3	3,82
12 330	4	62	1 x 10 m^3	2,70
36 990	6	62	1 x 10 m^3	2,33

Vedelsõnniku aastatoodangu 4 110 t korral on soodsaim lahendus vedelsõnniku laotamise täisteenuse kasutamine. Vedelsõnniku aastatoodangu 12 330 t ja 36 990 t korral osutub soodsaimaks vedelsõnniku etteveoteenuse kasutamine ja oma laoturiga laotamine. Lätis on vedelsõnniku laotamise teenuse hind avalõhe sisestuslaoturi korral 3,5 € m^{-3}.

Kui tahesõnnikut ei laotata viimasest külvist kuni esimese koristuseni (ca 10. maist kuni 10. augustini), siis võimalik laotamispäevade arv on 163, võttes arvesse ka puhkepäevad (tööpäevade osakaal 5/7), siis jääb laotamiseks 116 päeva. Iga ettevõtte jaoks otsiti kuue tahesõnniku laotamisaagregaadi (tabel 3.17) seast odavaim lahendus, tulemused on esitatud tabelis 3.29. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.18 ja tulemused on esitatud tabelis 3.30.

Tabel 3.29. Kulud laotamisele Eestis tahesõnniku laotamisel (**otseveoga**), laotamisnorm 25 t ha^{-1}

Tahesõnnik, t	Tahesõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
67	0,5	116	1 x 3,5 t	15,33
201	1	116	1 x 3,5 t	7,55
603	2	116	1 x 8 t	5,32

Tabel 3.30. Kulud laotamisele Lätis tahesõnniku laotamisel (**otseveoga**), laotamisnorm 35 t ha^{-1}

Tahesõnnik, t	Tahesõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
68	0,5	116	1 x 5 t	9,09
203	1	116	1 x 5 t	5,18
608	2	116	1 x 8 t	4,32

B. Loomapidamises on vedelsõnnik (lehmad) ja tahesõnnik (noorloomad)

Vedelsõnniku laotamiseks otsiti viie laotamisagregaadi (tabel 3.15) seast odavaim lahendus, tulemused vedelsõnniku lohisvooliklaotamisel on esitatud tabelis 3.31 ja avalõhe-sisestuslaotamisel tabelis 3.34. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.16 ja tulemused vedelsõnniku lohisvooliklaotamisel on esitatud tabelis 3.33 ja avalõhe-sisestuslaotamisel tabelis 3.35.

Tabel 3.31. Kulud laotamisele Eestis vedelsõnniku **lohisvooliklaotamisel**, laotamisnorm 30 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
2 470	2	62	1 x 10 m^3	6,30
7 410	4	62	1 x 15 m^3	4,19
22 230	7	62	1 x 20 m^3 ja 1 x 10 m^3	4,28
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
2 470	2	62	1 x 5 m^3	5,33

7 410	4	62	1 x 10 m^3	3,34
22 230	7	62	1 x 10 m^3	2,71

Selleks, et näha, milline on laotamisnormi mõju laotamiskuludele tehti ka arvutused piimakarja vedelsõnniku lohisvooliklaotamisele normiga 50 t ha^{-1} (tabel 3.32).

Tabel 3.32. Kulud laotamisele Eestis vedelsõnniku **lohisvooliklaotamisel**, laotamisnorm 50 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
2 470	2	62	1 x 10 m^3	6,28
7 410	3	62	1 x 15 m^3	3,72
22 230	5	62	1 x 25 m^3	3,42
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
2 470	2	62	1 x 5 m^3	5,31
7 410	3	62	1 x 10 m^3	3,32
22 230	5	62	1 x 10 m^3	2,59

Tabel 3.33. Kulud laotamisele Lätis vedelsõnniku **lohisvooliklaotamisel**, laotamisnorm 40 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
3 000	2	62	1 x 10 m^3	4,45
9 000	4	62	1 x 16 m^3	3,10
27 000	6	62	1 x 20 m^3 ja 1 x 10 m^3	3,09
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
3 000	2	62	1 x 10 m^3	4,07
9 000	4	62	1 x 10 m^3	2,71
27 000	6	62	1 x 10 m^3	2,26

Tabel 3.34. Kulud laotamisele Eestis vedelsõnniku **avalõhe-sisestuslaotamisel**, laotamisnorm 30 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
2 470	2	62	1 x 10 m^3	6,74
7 410	4	62	1 x 15 m^3	4,52
22 230	7	62	1 x 20 m^3 ja 1 x 15 m^3	4,61
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
2 470	2	62	1 x 5 m^3	5,68
7 410	4	62	1 x 10 m^3	3,61
22 230	7	62	1 x 10 m^3	2,91

Vedelsõnniku laotamise täisteenuse (segamine/pumpamine hoidlas, vedu paakhaagistega kuni 6 km kaugusele ja laoturiga laotamine põllul) maksumus avalõhe-sisestuslaotamisel on 3,5 € t^{-1} ja veokaugusel 7 km lisandub 0,1 € t^{-1}. Järelikult vedelsõnniku aastatoodangu 2 470 t ja 7 410 t korral on soodsaim lahendus vedelsõnniku laotamise täisteenuse kasutamine. Vedelsõnniku aastatoodangu 22 230 t korral osutub soodsaimaks vedelsõnniku etteveoteenuse kasutamine ja oma laoturiga laotamine.

Tabel 3.35. Kulud laotamisele Lätis vedelsõnniku **avalõhe-sisestuslaotamisel**, laotamisnorm 40 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
3 000	2	62	1 x 10 m^3	4,82
9 000	4	62	1 x 16 m^3	3,28
27 000	6	62	1 x 20 m^3 ja 1 x 16 m^3	3,14
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
3 000	2	62	1 x 10 m^3	4,44
9 000	4	62	1 x 10 m^3	2,91
27 000	6	62	1 x 10 m^3	2,40

Vedelsõnniku aastatoodangu 3 000 t korral on soodsaim lahendus vedelsõnniku laotamise täisteenuse kasutamine. Vedelsõnniku aastatoodangu 9 000 t ja 27 000 t korral osutub soodsaimaks vedelsõnniku etteveoteenuse kasutamine ja oma laoturiga laotamine.

Kui tahesõnnikut ei laotata viimasest külvist kuni esimese koristuseni (ca 10. maist kuni 10. augustini), siis võimalik laotamispäevade arv on 163, võttes arvesse ka puhkepäevad (tööpäevade osakaal 5/7), siis jääb laotamiseks 116 päeva. Iga ettevõtte jaoks otsiti kuue

tahesõnniku laotamisagregaadi (tabel 3.17) seast odavaim lahendus, tulemused on esitatud tabelis 3.36. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.18 ja tulemused on esitatud tabelis 3.37.

Tabel 3.36. Tahesõnniku laotamine (**otseveoga**) Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}

Tahesõnnik, t	Tahesõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
857	2	116	1 x 8 t	4,87
2 570	5	116	1 x 8 t	5,44
7 710	7	116	1 x 8 t	6,07

Tabel 3.37. Tahesõnniku laotamine (**otseveoga**), laotamisnorm Lätis 35 t ha^{-1}

Tahesõnnik, t	Tahesõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
660	2	116	1 x 8 t	4,26
1 979	4	116	1 x 8 t	4,28
5 936	6	116	1 x 8 t	4,77

Seakasvatusettevõtted

Vedelsõnniku kogused leiti Põllumajandusministri määruse nr 71 lisa 3 (Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 3, 2014) andmete alusel. Seakasvatusettevõtte vedelsõnnikuga laotamisnormiga 25 t ha^{-1} väetatav minimaalne ala on esitatud tabelis 3.38, vastavad näitajad Lätis on esitatud tabelis 3.45.

Eesti jaoks sea vedelsõnniku normi määramisel on lähtutud sõnniku fosforisisaldusest 5% kuivaine sisalduse korral. Fosforisisaldus on Põllumajandusuuringute keskuses analüüsitud proovide keskmisena sellises sõnnikus 1 kg t^{-1} ja külvikorra keskmisena on lubatud anda sõnnikuga kuni 25 kg ha^{-1} fosforit. Seega on sellist sõnnikut võimalik anda kuni 25 t ha^{-1}.

Lätis ei ole fosfori kasutamine piiratud ja seal on keskmiseks laotamisnormiks 40 t ha^{-1} . Seega võeti Läti ettevõtetele tehtavates arvutustes laotamisnormiks 40 t ha^{-1}.

Tabel 3.38. Uuritavate ettevõtete karja suurused, sõnnikutoodangud ja sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalad Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}.

Nuumakohtade arv	Vedelsõnniku toodang, t a^{-1}	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha	Sõnniku keskmine veokaugus, km
2 000	3 200	128	2
5 000	8 000	320	4
10 000	16 000	640	6

Tabel 3.39. Uuritavate ettevõtete karja suurused, sõnnikutoodangud ja sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalad Lätis, laotamisnorm 40 t ha^{-1}

Nuumakohtade arv	Vedelsõnniku toodang, t a^{-1}	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha	Sõnniku keskmine veokaugus, km
2 000	4 000	100	2
5 000	10 000	250	3
10 000	20 000	500	5

EPKK läbiviidud vedelsõnniku laotamisalase küsitluse tulemuste alusel oli seafarmides, kus ise laotati vedelsõnnik keskmine laotamispäevade arv 75. Iga ettevõtte jaoks otsiti viie segamislaotamise agregaadi (tabel 3.15) seast odavaim lahendus, tulemused on esitatud tabelis 3.40. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.16 ja tulemused on esitatud tabelis 3.41.

Tabel 3.40. Vedelsõnniku **segamislaotamine** Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}. Number laotamisagregaadi alguses tähistab vajalike agregaatide arvu

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
3 200	2	75	1 x 15 m^3	4,78
8 000	4	75	1 x 15 m^3	4,07
16 000	6	75	1 x 20 m^3	3,99
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
3 200	2	75	1 x 10 m^3	4,66
8 000	4	75	1 x 10 m^3	3,56
16 000	6	75	1 x 10 m^3	3,20

Vedelsõnniku laotamise täisteenuse (segamine/pumpamine hoidlas, vedu paakhaagistega kuni 6 km kaugusele ja laoturiga laotamine põllul) maksumus segamislaotamisel on 3,7 € t^{-1}. Järelikult vedelsõnniku aastatoodangu 3 200 t korral on soodsaim lahendus vedelsõnniku laotamise täisteenuse kasutamine. Vedelsõnniku aastatoodangu 8 000 t ja 16 000 t korral osutub soodsaimaks vedelsõnniku etteveoteenuse kasutamine ja oma laoturiga laotamine.

Tabel 3.41. Vedelsõnniku **segamislaotamine**, laotamisnorm Lätis 40 t ha^{-1}

Vedelsõnnik, t	Vedelsõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamisagregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
vedelsõnnik veetakse põldudele **laotamisagregaadiga**				
4 000	2	75	1 x 16 m^3	3,18
10 000	3	75	1 x 16 m^3	2,57

20 000	5	75	1 x 20 m^3	2,80
vedelsõnnik veetakse põldudele **paakhaagistega**				
4 000	2	75	1 x 16 m^3	3,47
10 000	3	75	1 x 16 m^3	2,80
20 000	5	75	1 x 16 m^3	2,59

Vedelsõnniku aastatoodangu 4 000 t ja 10 000 t korral on soodsaim lahendus vedelsõnniku laotamine oma laoturiga. Vedelsõnniku aastatoodangu 20 000 t korral osutub soodsaimaks vedelsõnniku etteveoteenuse kasutamine ja oma laoturiga laotamine.

Lihaveisekasvatusettevõtted

Tahesõnniku kogused perioodilise karjatamise korral leiti Põllumajandusministri määruse nr 71 lisa 4 (Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 4, 2014) andmete alusel (tabel 3.42). Uuritavate ettevõtete karja suurused ja sõnnikutoodangud Lätis on esitatud tabelis 3.43. Sõnniku normi määramisel on lähtutud selle fosfori sisaldusest 1.4 kg tonni koha ja et sõnnikut pannakse ainult osadele põldudele osadel aastatel nii et ei ületataks maksimaalset kogust keskmiselt 25 kg hektarile aastas viie aasta vältel. Korraga antavaks koguseks arvestatakse 25 t hektarile. Lätis fosfori kasutamisele piirang puudub ja seetõttu kasutatakse seal 35 t ha^{-1}.

Tabel 3.42. Uuritavate ettevõtete karja suurused, sõnnikutoodangud ja sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalad Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}

Ammlehmade arv	Noorloomade arv	Sügavallapanusõnniku toodang, t a^{-1}	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha
30	60	455	18
50	100	758	30
100	200	1 515	61

Tabel 3.43. Uuritavate ettevõtete karja suurused, sõnnikutoodangud ja sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalad Lätis, laotamisnorm 35 t ha^{-1}

Ammlehmade arv	Noorloomade arv	Sügavallapanusõnniku toodang, t a^{-1}	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha
30	60	599	17
50	100	998	29
100	200	1 995	57

Iga ettevõtte jaoks otsiti viie tahesõnniku laotamisaagregaadi (tabel 3.17) seast odavaim lahendus, tulemused on esitatud tabelis 3.44. Sügavallapanusõnniku laotamispäevade arv on võrdne tahesõnniku laotamispäevadega. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.18 ja tulemused on esitatud tabelis 3.51.

Tabel 3.44. Sügavallapanusõnniku laotamine (**otseveoga**) Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}

Sügavallapanu-sõnnik, t	Sügavallapanusõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamis-agregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
455	1	116	1 x 3,5 t	5,17
758	3	116	1 x 8 t	5,44
1 515	5	116	1 x 8 t	5,69

Tabel 3.45. Sügavallapanusõnniku laotamine (otseveoga), laotamisnorm Lätis 35 t ha^{-1}

Sügavallapanu-sõnnik, t	Sügavallapanusõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamis-agregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
599	1	116	1 x 5 t	4,00
998	2	116	1 x 5 t	3,50
1 995	3	116	1 x 8 t	3,78

Kokkuvõte. Tahesõnniku käitlemine oli Eestis odavaim väikseimas ettevõttes, kuna tööd tehti otseveo meetodil ja mida väiksem on veokaugus, seda odavam on sõnniku käitlemine. Samas Lätis on kütus 5 senti liitrile odavam, hektarinorm suurem, laotamisalune pind ning veokaugus väiksem ja seetõttu on seal sõnnikukäitlus odavaim hoopis suurimas ettevõttes.

Lambakasvatusettevõtted

Sõnnikukogused perioodilise karjatamise korral leiti Põllumajandusministri määruse nr 71 lisa 4 (Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 4, 2014) andmete alusel (tabel 3.46). Uuritavate ettevõtete karja suurused ja sõnnikutoodangud Lätis on esitatud tabelis 3.47.

Sõnniku normi määramisel on lähtutud selle fosfori sisaldusest 1.8 kg tonni koha ja et sõnnikut pannakse ainult osadele põldudele osadel aastatel nii et ei ületataks maksimaalset kogust keskmiselt 25 kg hektarile aastas viie aasta vältel. Korraga antavaks koguseks arvestatakse 25 t hektarile. Lätis fosfori kasutamisele piirang puudub ja seetõttu kasutatakse seal 35 t ha^{-1}.

Tabel 3.46. Uuritavate ettevõtete karja suurused, sõnnikutoodangud ja sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalad Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}

Lammaste arv	Sügavallapanusõnniku toodang, t a^{-1}	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha
50	70	3
100	140	6
300	420	17

Tabel 3.47. Uuritavate ettevõtete karja suurused, sõnnikutoodangud ja sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindalad Lätis, laotamisnorm 35 t ha^{-1}

Lammaste arv	Sügavallapanusõnniku toodang, t a^{-1}	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa pindala, ha
50	65	2
100	130	4
300	390	11

Iga ettevõtte jaoks otsiti kuue tahesõnniku laotamisaagregaadi (tabel 3.17) seast odavaim lahendus, tulemused on esitatud tabelis 3.48. Sügavallapanusõnniku laotamispäevade arv on võrdne tahesõnniku laotamispäevadega. Läti arvutuste jaoks valiti laotamisagregaadid tabelist 3.18 ja tulemused on esitatud tabelis 3.49.

Tabel 3.48. Sügavallapanusõnniku laotamine (**otseveoga**) Eestis, laotamisnorm 25 t ha^{-1}

Sügavallapanu-sõnnik, t	Sõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamis-agregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
70	0,5	116	1 x 3,5 t	13,03
140	1	116	1 x 3,5 t	8,50
420	2	116	1 x 3,5 t	5,89

Tabel 3.49. Sügavallapanusõnniku laotamine (**otseveoga**), laotamisnorm Lätis 35 t ha^{-1}

Sügavallapanu-sõnnik, t	Sügavallapanusõnniku veokaugus, km	Laotamispäevi aastas	Laotamis-agregaat	Kulud laotamisele, € t^{-1}
65	0,5	116	1 x 5 t	9,38
130	1	116	1 x 5 t	6,36
390	2	116	1 x 5 t	4,71

Kokkuvõte lambakasvatuse majanduslikkuse kohta. Tahesõnniku käitlemine oli odavaim suurimas lambakasvatuse ettevõttes, kuna sõnniku kogus oli neis suurem aga veokauguste väike erinevus oluliselt ei mõjutanud sõnniku käitluskulusid.

Kokkuvõtteks tahesõnniku otseveomeetodi kohta saab öelda, et kui kogused on ettevõttes väikesed, nagu lambakasvatuse ettevõtetes ja piimaveiste a-variandi ettevõtetes, siis on kulud ühe sõnnikutonni kohta seda suuremad mida väiksem on ettevõte. Hoolimata sellest et veokaugused on väiksemas ettevõttes ka väiksemad.

Kui tahesõnniku kogused on aga ettevõttes piisavalt suured, nagu lihaveiste kasvatuse ettevõtetes ja piimaveiste b-variandi ettevõtetes, siis on kulud ühe sõnnikutonni kohta seda suuremad mida suurem on ettevõte. Seda seetõttu, et suurte koguste laotamiseks on vaja rohkem maad ja veokaugused on juba nii suured, et tõstavad sõnniku käitlemise hinda.

3.4.3 Ammoniaagi lendumise mõju vedelsõnniku laotamiskuludele

Eelmises jaotises võrreldi sõnnikulaotamise tehnoloogiate kulusid erinevates tootmis-tingimustest. Käesolevas jaotises leitakse milline on ammoniaagi lendumise majanduslik efekt erinevate vedelsõnniku laotamistehnoloogiate korral. Selleks liideti vedelsõnniku käitlemiskulud ja ammoniaagiga lendunud lämmastiku maksumus.

Arvutuse lähteandmed: vedelsõnniku keskmine veokaugus hoidlast põllule 3 km, kasutatakse vedelsõnniku põllule etteveo teenust, vedelsõnniku aastakogus 20 000 t, vedelsõnniku paakhaagis 15 m^3, sea vedelsõnniku (NH_4-N 2,6 kg t^{-1}) laotamisnorm 25 t ha^{-1} ja veise vedelsõnniku (NH_4-N 1,3 kg t^{-1}) laotamisnorm 30 t ha^{-1}.

Tulemused on esitatud tabelites 3.50 ja 3.51 ning graafiliselt joonistel 3.39 ja 3.40.

Tabel 3.50. Sea vedelsõnniku käitlemiskulu ja ammoniaagi lendumisest tingitud kulu erinevate laotamisviiside korral

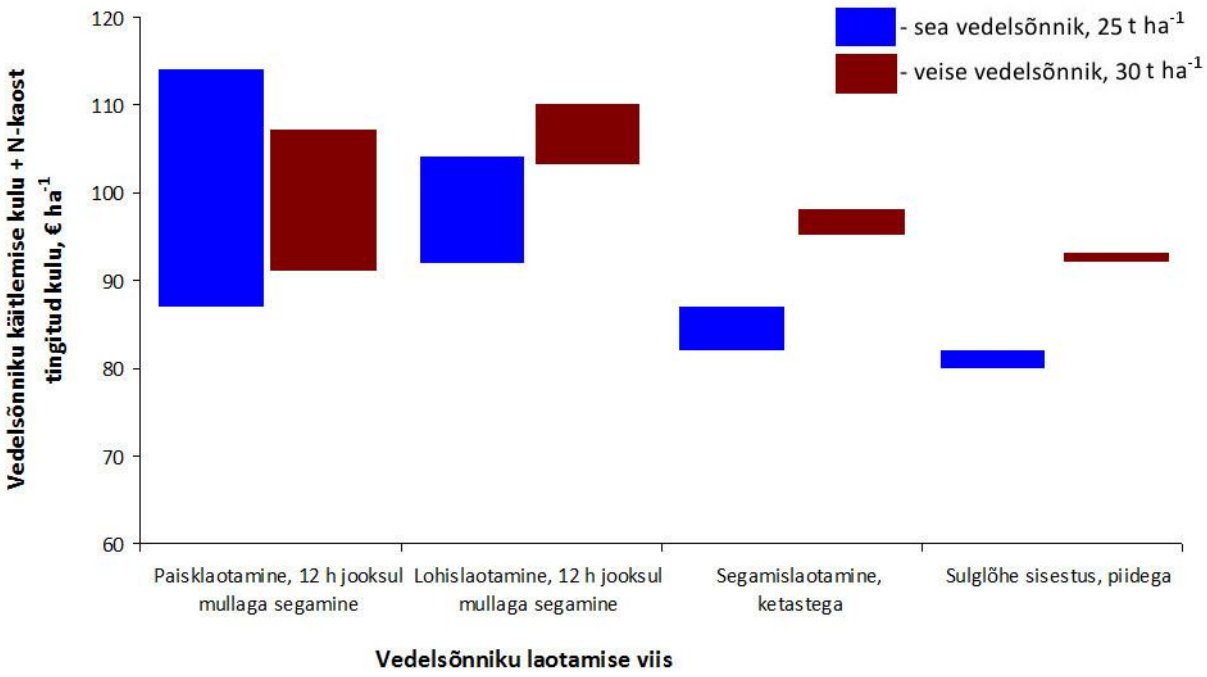
Laotamisviis	Vedelsõnniku käitlemise kulu, € ha^{-1}	Ammoonium-lämmastiku kadu*, %	N kadu, kg ha^{-1}	Täiendava N-väetisega seotud kulu, € ha^{-1}	Käitlemine + N kadu, € ha^{-1}
Paisklaotamine	56	34–100	22–65	17–51	73–107
Paisklaotamine, 12 h jooksul mullaga segamine	56 + 18	26-79	17-51	13-40	87-114
Lohislaotamine	70	20–80	13–52	10–41	80–111
Lohislaotamine, 12 h jooksul mullaga segamine	70 + 18	8-32	5-21	4-16	92-104
Lohislaotamine rohumaal (taimik >10 cm)	70	8-50	5-33	4-26	74-96
Lohisdüüslaotamine rohumaal (taimik >8 cm)	74	5-30	3-20	2-16	76-90
Avalõhe-sisestus-laotamine	78	1–25	1-16	1-13	79–91
Segamislaotamine	81	2–12	1–8	1–6	82–87
Sulglõhe-sisestus-laotamine (põllumaa)	80	0–3	0–2	0–2	80–82
Sulglõhe-sisestus-laotamine (rohumaa)	83	0–3	0–2	0–2	83-85

* Lämmastiku (NH_4-N) kao protsendid ELi uuringu ALFAM lõpparuandest (ALFAM raport, 2001) ja Huijsmans 2003. a dissertatsioonist

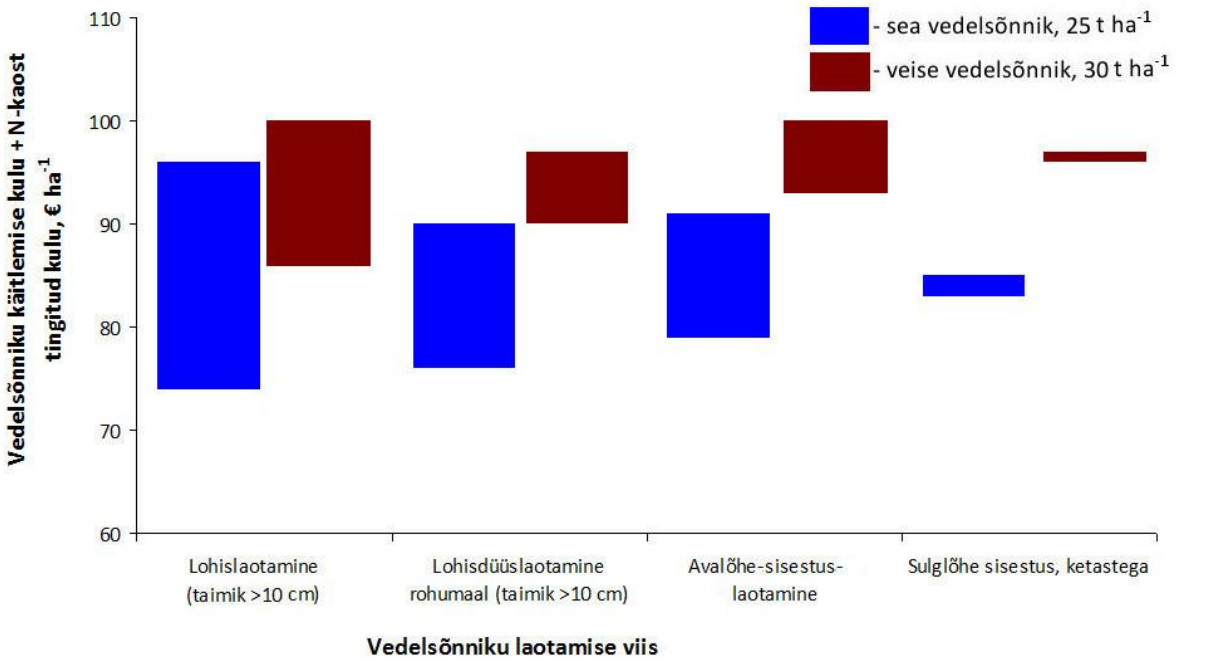
Tabel 3.51. Veise vedelsõnniku käitlemiskulu ja ammoniaagi lendumisest tingitud kulu erinevate laotamisviiside korral

Laotamisviis	Vedelsõnniku käitlemise kulu, € ha^{-1}	Ammoonium-lämmastiku kadu*, %	N kadu, kg ha^{-1}	Täiendava N-väetisega seotud kulu, € ha^{-1}	Käitlemine + N kadu, € ha^{-1}
Paisklaotamine	66	34–100	13–39	10–30	76–96
Paisklaotamine, 12 h jooksul mullaga segamine	66 + 18	26-79	10-31	8-24	92-108
Lohislaotamine	84	20–80	8–31	6–24	90–108
Lohislaotamine, 12 h jooksul mullaga segamine	84 +18	8-32	3-12	2-9	104-111
Lohislaotamine rohumaal (taimik >10 cm)	84	8-50	3-20	2-16	86-100
Lohisdüüslaotamine rohumaal (taimik >8 cm)	88	5-30	2-12	2-9	90-97
Avalõhe-sisestus-laotamine	92	1–25	1-10	1-8	93–100
Segamislaotamine	95	2–12	1–5	1–4	96–99
Sulglõhe-sisestus-laotamine (põllumaa)	93	0–3	0–1	0–1	93–94
Sulglõhe-sisestus-laotamine (rohumaa)	96	0–3	0–1	0–1	96-97

* Lämmastiku (NH_4-N) kao protsendid ELi uuringu ALFAM lõpparuandest (ALFAM raport, 2001) ja Huijsmans 2003. a dissertatsioonist



Joonis 3.39. Vedelsõnniku käitlemise ja N-kaost tingitud kulude summa põllumaale laotamisel



Joonis 3.40. Vedelsõnniku käitlemise ja N-kaost tingitud kulude summa rohumaale laotamisel

3.4.4 Vedelsõnniku laotamisseadmete tasuvusiga

Seadme tasuvusea leidmiseks on vaja arvutada kui palju annab selle kasutamine rahalist võitu ettevõttes kasutatava vedelsõnnikulaotamise tehnoloogiaga.

Eeldus on, et:

- ettevõttes on vedelsõnnik olemas, seda oli vaja varem laotada ja tuleb ka edaspidi laotada. Seega uue tehnoloogia majanduslik eelis võrreldes vana

laotamistehnoloogiaga. Ei ole mõtet võrrelda näiteks puhtalt mineraalväetisel põhineva variandiga, kuna see on taimekasvatusettevõte, kus on alternatiiviks hoopis teenusega sõnniku ostmine;
- plaanitav saagitase ei muutu seoses tehnoloogia muutusega. See tähendab aga, et toiteelemente antakse ühepalju kõikide tehnoloogiate korral. Seega laotamisnorm on kõikidel vedelsõnnikutehnoloogiatel sama. Seda selleks, et tagada võrdne kogus toiteelemente va ammooniumlämmastik, mida tehnoloogia mõjutab.

Seega antud juhul:

1. vana tehnoloogia, millega hakatakse võrdlema, on paisklaotamine;
2. uus, millesse investeerimise tasuvusaega vaadeldakse, on kas lohisvoolik-, sisestuslaotamise või segamislaotamise seade ja sellele sobiv traktor;
3. laotamisnorm on kõikidel juhtudel sama veisesõnniku puhul 30 t ha^{-1} ja seasõnnikul 25 t ha^{-1};
4. paisklaotamise kuludele tuleb lisada mineraalväetise käitluskulu + kulu väetisele. Arvestada tuleb sellise väetisekogusega, mis kompenseerib ammooniumi lendumisest tingitud lämmastiku erinevuse;
5. muldasegamislaotamisega võrdlemise korral lisatakse paisklaotamise kuludele ka vedelsõnniku muldaviimise kulud, kuna muldasegamislaotamise puhul selleks eraldi seadet pole vaja ja eraldi tööd ei tehta.

Arvutatakse:

1) *A* = (paisklaotamise kulu)+(täiendava mineraallämmastikuga seotud kulu), € $aastas^{-1}$;
2) *B* = uuritava uue tehnoloogia kulu, € $aastas^{-1}$;
3) kulude vahe *C* = *A* – *B*. See on uuest tehnoloogiast tingitud kulude vähenemine e kasumi kasv e aastas lisanduv rahavoog, € $aastas^{-1}$;
4) kui *C* on positiivne, siis leitakse investeeringu tasuvuse aeg:

$T = M / C$,

kus
T – tasuvuse aeg, aastates;
M – esialgse investeeringu suurus e masinate hind, €;
C – aastas lisanduv rahavoog, € $aastas^{-1}$.

Kulude arvutamisel ei arvesta paisklaoturi amortisatsiooni – eeldame, et raamatupidamislik on juba ületatud. Ka ei arvestata uuel tehnoloogial seadme amortisatsiooni, kuna seda vaadataksegi, et kui kiiresti saadakse raha kokku järgmise samaväärse soetamiseks.

Arvutus ja tulemused näite piimakarjakasvatusettevõtete variant A korral

Tabel 3.52. Arvutustes kasutatud andmed piimatootmise ettevõtete kohta

Piimalehmi	Noorloomi	Aastane vedelsõnniku toodang, t	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa suurus, ha
100	92	3 226	108
300	276	9 678	323
900	828	29 032	968

Vana paisklaotur müüakse. Uute ja vanade masinate hinnad on tabelis 3.53.

Tabel 3.53. Uute ja vanade masinate hinnad

Masinad	Hind, €
10 aastat vana 10 m^3 laotur	10 000
Uus 10 m^3, 12 m lohisvoolikuga laotur	56 920
Uus 10 m^3, 4 m avalõhe laotur	54 040

Uute masinate ostuhinnast lahutatakse vanadest saadud raha. Seega investeering lohisvooliklaoturisse on 46 920 € ja avalõhe–sisestuslaoturisse on 44 040 €.

Veokauguse 4 ja 7 km korral on lohisvooliklaoturiga ja avalõhe–sisestuslaoturiga laotamisel arvestatud vedelsõnniku põllule etteveo teenusega, vastavalt 1,4 € m^{-3} ja 1,5 € m^{-3}. Paisklaoturi korral on põllule ettevedu arvestatud ainult 7 km veokauguse korral.

Kulud mineraalväetise laotamisele. Kirjandusallikate põhjal on ammooniumlämmastiku kadu vedelsõnnikust keskmiselt järgmine: paisklaotamisel 70%, lohisvooliklaotamisel 24% ja avalõhe-sisestuslaotamisel 10% (peatükk 2). Arvutustes kasutatud laotamisnorm on 30 tonni hektarile ja veise vedelsõnnik sisaldab 1,4 kg ammooniumlämmastiku kuupmeetri kohta.

Kui ammoniaagi lendumine paisklaotamisel on 70%, siis N kadu ammoniaagina on leitav 0,7 * 30 m^3 ha^{-1} * 1,4 kg m^{-3}=29,4 kg ha^{-1}. Kui ammoniaagi lendumine lohisvooliklaotamisel on 24%, siis N kadu ammoniaagina on 0,24 * 30 m^3 ha^{-1} * 1,4 kg m^{-3}=10,1 kg ha^{-1}. Avalõhe-sisestuslaotamise 10% ammoniaagi lendumise korral on kadu ammoniaagina 0,1 * 30 m^3 ha^{-1} * 1,4 kg m^{-3}=4,2 kg ha^{-1} (tabel 3.54). Seega N sääst võrreldes paisklaotamisega on lohisvooliklaotamise korral 19.3 kg ha^{-1} ja avalõhe–sisestuslaotamise korral 25.2 kg ha^{-1}.

Tabel 3.54. Ammoniaagi sääst ja N väetise kulu vähenemine veise vedelsõnniku erinevate laotamistehnoloogiate korral

Vedel-sõnniku laotamise tehnoloogia	Arvutuses kasutatud ammoniaagi lendumine, %	N kadu ammoniaagi lendumisena, kg ha^{-1}	N sääst paisk-laotamisega võrreldes, kg ha^{-1}	Ammoonium-nitraadi sääst paisklaotamisega võrreldes, kg ha^{-1}	N väetise kulu vähenemine paisklaotamise-ga võrreldes, € ha^{-1}
Paisk-laotamine	70	29,4	-	-	-
Lohisvoolik-laotamine	24	10,1	19,3	56	15
Avalõhe-sisestus-laotamine	10	4,2	25,2	73	19,6

Ammooniumnitraadi lämmastikusisaldus on 34,4%, järelikult väetise laotamisnorm lohisvooliklaotamise korral on ca 56 kg ha^{-1} ja avalõhe–sisestuslaotamise korral ca 73 kg ha^{-1}. Ammooniumnitraadi hind oli 268 € t^{-1} käibemaksuta (http://www.silvaagro.ee/vaetised) [15.02.2016]. Kopplaadur laeb väetise haagisele, veab põllule ja laeb laoturisse, laotamine põllul traktori rippsüsteemil paikneva ketaslaoturiga. Arvestatakse ka laoturi põllule sõidu kuluga.

Kulude vahe ja tasuvuse aeg lohisvooliklaotamisele üleminekul on esitatud tabelis 3.55 ja sisestuslaotamisele üleminekul tabelis 3.56.

Tabel 3.55. Kulude vahe ja tasuvuse aeg lohisvooliklaotamisele üleminekul

Vedel-sõnniku kogus, m^3	Keskmine veokaugus, km	Vedelsõnniku põllule vedu	Paisklaotamise+mineraal-väetamise kulud kokku, € $aastas^{-1}$	Lohisvoolik-laotamise kulud, € $aastas^{-1}$	Kulude vähenemine, € $aastas^{-1}$	Tasuvuse aeg, aastates
3 226	2	Laoturiga	6 936	5 897	1 039	52,7
9 678	4	Etteveoga	24 819	20 637	4 182	13,1
29 032	7	Etteveoga	79 554	61 356	18 198	3,0

Tabel 3.56. Kulude vahe ja tasuvuse aeg sisestuslaotamisele üleminekul

Vedel-sõnniku kogus, m^3	Keskmine veokaugus, km	Vedelsõnniku põllule vedu	Paisklaotamise+mineraal-väetamise kulud kokku, € $aastas^{-1}$	Sisestus-laotamise kulud, € $aastas^{-1}$	Kulude vähenemine, € $aastas^{-1}$	Tasuvuse aeg, aastates
3 226	2	Laoturiga	7 442	6 402	1 040	49,8
9 678	4	Etteveoga	26 338	22 323	4 015	12,9
29 032	7	Etteveoga	84 113	66 589	17 524	3,0

Arvutus ja tulemused näite seakasvatusettevõtete korral

Tabel 3.57 Arvutustes kasutatud andmed seatootmise ettevõtete kohta.

Nuumsigade kohtade arv	Aastane vedelsõnniku toodang, t	Sõnniku laotamiseks vajaliku maa suurus, ha
2 000	3 200	128
5 000	8 000	320
10 000	16 000	640

Vana paisklaotur müüakse. Uute ja vanade masinate hinnad on tabelis 3.58.

Tabel 3.58. Uue ja vana masina hind

Masinad	Hind, €
10 aastat vana 10 m^3 laotur	10 000
Uus 10 m^3, 4 m segamislaotur	59 120

Uue masina ostuhinnast võetakse vanast saadud raha maha. Seega investeering sisestuslaoturisse on 49 120 €. Veokauguse 4 ja 6 km korral on segamislaoturiga laotamisel arvestatud põllule etteveo teenusega 1,4 € m^{-3}. Paisklaoturi korral on põllule ettevedu arvestatud ainult 6 km veokauguse korral.

Kulud mineraalväetise laotamisele. Ammooniumlämmastiku kadu vedelsõnniku paisklaotamisel, kui 12 tunni jooksul järgneb muldasegamine, on kirjandusallikate põhjal keskmiselt 55% ja

segamislaotamisel 5%. Laotamisnorm on 25 kuupmeetrit hektarile ja vedelsõnnik sisaldab 2,7 kg ammooniumlämmastiku kuupmeetri kohta.

Kui ammoniaagi lendumine paisklaotamisel on 55% juhul kui 12 h jooksul järgneb muldasegamine, siis N kadu ammoniaagina on leitav 0.55 * 25 m^3 ha^{-1} * 2.7 kg m^{-3}=37.1 kg ha^{-1}. Segamislaotamise korral on ammoniaagi lendumine 5% ja N kadu ammoniaagina on leitav 0,05 * 25 m^3 ha^{-1} * 2,7 kg m^{-3}=3,4 kg ha^{-1} (tabel 3.59). Seega N sääst võrreldes paisklaotamisega on segamislaotamise korral 33,7 kg ha^{-1}.

Tabel 3.59. Ammoniaagi sääst ja N väetise kulu vähenemine sea vedelsõnniku erinevate laotamistehnoloogiate korral

Vedelsõnniku laotamise tehnoloogia	Arvutuses kasutatud ammoniaagi lendumine, %	N kadu ammoniaagi lendumi-sena, kg ha^{-1}	N sääst paisk-laotamisega võrreldes, kg ha^{-1}	Ammoonium-nitraadi sääst paisklaotamise-ga võrreldes, kg ha^{-1}	N väetise kulu vähenemine paisklaotamise-ga võrreldes, € ha^{-1}
Paisklaotamine, 12 tunni jooksul järgneb muldasegamine	55	37,1	-	-	-
Segamis-laotamine	5	3,4	33,7	98	26,3

Ammooniumnitraadi lämmastikusisaldus on 34,5% ja järelikult väetise laotamisnorm on 99 kg ha^{-1}.
Ammooniumnitraadi hind on käibemaksuta 268 € t^{-1} (http://www.silvaagro.ee/vaetised) [15.02.2016].
Väetise laotamise tehnoloogia on sama kui eelmises arvutuses.

Kulud muldaviimisele. Arvutustes on arvestatud, et muldaviimise töö tehakse 12 tunni jooksul pärast vedelsõnniku laotamist 175 kW traktoriga, mis on agregateeritud 4 m haardelaiuse rullrandaaliga.

Tabel 3.60. Kulude vahe ja tasuvuse aeg segamislaotamisele üleminekul

Vedel-sõnniku kogus, m^3	Keskmine veokaugus, km	Vedelsõnniku põllule vedu	Paisklaotamise+mineraal-väetamise+muldasegamise kulud kokku, € $aastas^{-1}$	Segamis-laotamise kulud, € $aastas^{-1}$	Kulude vähenemine, € $aastas^{-1}$	Tasuvuse aeg, aastates
3 200	2	Laoturiga	12 328	6 528	5 800	9,8
8000	4	Etteveoga	34 395	18 905	15 490	3,7
16000	6	Etteveoga	70 586	36 036	34 550	1,6

Järeldus. Uue masina tasuvusaeg sõltub olemasoleva masina või tehnoloogia seisukorrast, mis asendatakse uute masinatega ja sõltub sellest kui palju kulud vähenevad uue tehnoloogia kasutamisel.

Käesoleva uuringu näidisettevõtete korral oli laotamisseadmete tasuvusaeg seda lühem, mida rohkem oli ettevõttes vedelsõnnikut. 100 lüpsilehmaga ettevõttes oli tasuvusaeg nii lohisvoolik-

kui avalõhe-sisestuslaoturi korral ca 50 aastat. 900 lehmaga ettevõtteis oli see periood 3 aastat. Sarnane pilt oli ka seakasvatusettevõtetes, sisestuslaoturi tasuvusaeg oli lühem kui ettevõttes oli rohkem vedelsõnnikut. Sea vedelsõnnikus on ammoniaagi sisaldus suurem kui veise vedelsõnnikus, järelikult on suurem ka ammoniaagi lendumine paisklaotamisel ja seetõttu oli tasuvusaeg seakasvatusettevõtetes lühem kui veisekasvatusettevõtetes.

Olukord tegelikus ettevõttes erineb näidisettevõttest ja seetõttu peab tasuvusaja leidma uuritava ettevõtte oma algandmete alusel.

3.5 Kokkuvõtteks sõnnikulaotamise tehnoloogiatest

Ettevõtete vedelsõnnikust laotatakse küsitluse kohaselt 60% sisestus- või segamislaotamisena (vt tabel 4.3). Kolmandik vedelsõnnikust laotatakse lohisvoolikute ja ainult 5% paisklaotamisega.

Seega on aastate vältel erinevate teavikutega levitatud info (vt näiteks http://www.pikk.ee/upload/files/Parimad%20sonnikulaotamise%20tehnoloogiad%20Eestis.pdf) aidanud suurendada põllumeeste teadlikkust taimetoitaineid ja keskkonda säästvate laotamistehnoloogiate kohta. Tabeli 3.61 põhjal on näha, et enam leiavad kasutamist madalama ammooniumlämmastiku kao protsendiga tehnoloogiad.

Tabel 3.61. Sõnniku laotamise parameetrid ja ammoniaagikadu sõltuvalt laotamistehnoloogiast.

Laotamisviis	Kasutamine	Muldaviimise sügavus, cm	Laotamisnorm, $m^3\ ha^{-1}$	Ammooniumlämmastiku kadu*,%
Paisklaotamine	põllumaa	pinnal	10–80	34–100
Lohislaotamine	põllumaa, oras, rohumaa	pinnal	10–50	20–80
Avalõhe-sisestuslaotamine	rohumaa, oras	2–6	15–20***	1–25
Survelaotamine	rohumaa	3–10	10–40	10–45
Segamislaotamine	kasvava taimikuta põllumaa	3–8	25–50**	2–12
Sulglõhe-sisestuslaotamine	põllumaa, rohumaa	5–10	10–40	0–3

* Lämmastiku (NH_4-N) kao protsendid ELi uuringu ALFAM lõpparuandest (ALFAM raport, 2001) ja Huijsmans 2003. a dissertatsioonist

** Maisi puhul kuni 80 $m^3\ ha^{-1}$

*** Kui kettad on keskelt paksemad või lõikekettale järgneb kiil, siis on maksimaalne laotamisnorm 30 $m^3\ ha^{-1}$.

Paisklaotamise laotamisseadmed on oluliselt odavamad teistest laotamisseadmetest, laotamisel veojõutarve on väiksem ja laotamisjõudlus on suur, kuid toiteainete kadu keskkonda on võrreldes teiste laotamisviisidega niivõrd suur, et see ei ole soovitatav ja ei loeta ka PVT-ks.

Lohislaotamine sobib hästi enne mullaharimist, kuid püsitaimikule see hästi ei sobi, kuna sõnnikut ei ole võimalik mullaga segada. Lohislaotamise plussiks võrreldes paisklaotamisega on ühtlane jaotus ja väiksem ammoniaagi lendumine. Eelised võrreldes sisestus- ja segamislaotamisega on odavamad laotamisseadmed, suurem haardelaius ja väiksem tundlikkus

kivide suhtes. Puuduseks on suurem ammoniaagikadu ja haisuprobleem, eriti muldasegamise viibimisel. Lisaks on lohislaotamise korral vajalik täiendav töökäik sõnniku mulda segamiseks. Düüsideta laotamisseadmete haardelaius on vahemikus 6–36 m ning hinnad 10 500–128 300 € (tabel 3.7). Düüsidega laotamisseadmete haardelaius on vahemikus 6–24 m ning hinnad 28 000–86 900 € (tabel 3.8). Düüsid ja piid aitavad vähendada taimiku saastumist sõnnikuga ja laotada maapinnalähedasemalt ning ühtlasema jaotusega.

Segamislaotamisel on ühitatud vedelsõnniku laotamine ja mullaharimine. Ammoniaagi lendumine on tänu vahetule muldasegamisele väiksem kui lohislaotamisel. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel on risk sõnniku ärauhtumiseks ainult koos harimise käigus kobedaks muutunud mullaga. Sügavama segamise korral võimalik laotada suhteliselt suure vedelsõnniku normiga Segamislaotamise puudusteks on märkimisväärne veojõu vajadus. Lausharimisseadmega ühitatud laoturid sobivad ainult taimikuta pinna töötlemiseks, reasviisiliselt paigutatud tööseadistega laoturit on võimalik kasutada kasvava taimikuga põllul ainult juhul, kui mullaharimisseadiste vahe on seatud sobivaks taimeridade vahekaugusega ja töömasina juhtimiseks kasutatakse piisavalt täpseid juhiabisteid.

- Ketastega segamislaotur võimaldab eelvilja koristamise järel esimese tööna harimissügavuses ühtlaselt segada mulla, sõnniku ja eelvilja taimejäänused ehk ühitada kõrrekoorimise ja väetamise. See aitab kiirendada põhu lagundamist, sõnnikus olevate liikuvate toiteainete sidumist mulda ja umbrohuseemnete ning eelvilja varise idanemist. Samuti on seade sobiv haljasväetise muldaviimise ning vedelsõnniku laotamise ühitamiseks. Ketasseadised ei too pinnale kive ja taluvad ebaühtlaselt laotatud orgaanikat. Nendega töötamisel tuleb jälgida ketaste piisavalt ülekatet ja hoiduda resonantskiirusest. Ketastega segamisseadmete haardelaius on vahemikus 3–7,5 m ning hinnad 19 100–51 500 €.
- Piidega segamislaotamisel suunatakse vedelsõnniku ribad mulla pinnale piide ette, mis seejärel kobestavad mulla. Piidega segamislaotamisel ei ole mulla ja vedelsõnniku segamine harimissügavuses ja -laiuses nii ühtlane kui ketastega seadme korral. Segamisintensiivsus sõltub piidel olevate mulda suunavate pindade kujust. Piiseadised võivad tuua pinnale kive. Samuti on piidega seadmel suurem oht ummistumiseks kui põld on kaetud ebaühtlaselt laotatud taimejäänustega. Eeliseks on hooldust vajavate laagrite puudumine, samuti on need kergemad ja odavamad kui ketastega seadmed. Piidega segamisseadmete haardelaius on vahemikus 3–7,5 m ning hinnad 8 650–15 100 €.

Avalõhe sisestuslaotamist kasutatakse põllukultuuride ja rohumaade kasvuaegseks vedelsõnnikuga väetamiseks. Tänu sellele, et vedelsõnnik suunatakse kamarasse lõigatud piludesse on taimiku saastumine ja sõnnikust ammoniaagi lendumine väiksemad kui lohislaotamisel. Samas pilu jääb pealt avatuks ja seetõttu on lendumine suurem kui segamislaotamisel. Soovituslik laotamisnorm on 15–20 m^3 vedelsõnnikut hektarile, et välistada sõnniku jäämise mulla pinnale (lõhe üleujutamise). Kallakuga põldudel on risk sõnniku ärakandumiseks kui lõhed on langussuunalised. Sisestuslaoturid ei sobi väga kivistele põldudele ning rasketele muldadele, kuhu vajaliku sügavusega lõhe lõikamine on problemaatiline või isegi võimatu. Avalõhe-sisestusseadmete haardelaius on vahemikus 3–8 m ning hinnad 14 500–76 400 €.

Survelaoturid on vähe kasutamist leidnud, sest kuigi vedelsõnnik surutakse kõrgsurvega mulda, siis osa sõnnikust määritakse põllu pinnale ja sealt saab ammoniaak lenduda.

Sulglõhe sisestuslaoturid. Vedelsõnniku laotamise seadmetest on sulglõhe-sisestuslaoturid kõige väiksema ammoniaagi lendumisega. Haisu ei ole laotamise ajal praktiliselt tunda ja kallakuga põldudel risk sõnniku ärakandumiseks on väike. Laoturite puuduseks on väiksem haardelaius ja vajadus võimsamate traktorite järele. Vedelsõnniku sügavale pinnasesse viimise korral suureneb toiteainete leostumise oht. Kasutamist piiravad eelkõige mulla omadused – ei sobi

kivistele ja savistele (rasketele) muldadele. Nii nagu avalõhe-sisestuslaoturitel, tuleb ka sulglõhe korral laotamisnormi määramisel arvestada lõhe mahutavusega, et sõnnikut ei jääks põllu pinnale. Sulglõhe-sisestusseadmete haardelaius on vahemikus 3–8 m ning hinnad 11 000–35 220 €.

- Ketaste ja surverullidega sulglõhelaoturid on kasutatavad ka rohumaadel kui taimik on madal.
- Piide järel olevate sõnnikutorudega sulglõhelaoturiga muldaviimist kasutatakse enamasti haritaval maal või laia reavahega kultuuridega põllul, sest oht kasvavate taimede juurestikku vigastada on suur. Sarnast vedelsõnniku sisestusviisi kasutatakse ribasviljelusel, kus samaaegselt taimeridadele vajalike põlluribade harimisega viiakse sinna ka vedelsõnnik

Majanduslikkuse kokkuvõte

Tabel 3.62. Erinevate tegurite mõju majandustulemustele.

Tegur	Mõju
Ettevõtte suurus ja liik	Vedelsõnnik **Piimakarja kasvatus**. Arvutused tehti 100, 300 ja 900 piimalehmaga ettevõtetele. Kui laoturit ennast kasutati vedelsõnniku transpordiks siis odavaim oli sõnnikukäitluse hind 300 lehmaga ettevõttes. Põhjuseks on küllaltki suur sõnnikukogus veel suhteliselt lühikese sõidumaa kohta. Kui aga veoks kasutatakse paakveoki teenust siis mida suurem oli ettevõte, seda väiksem oli sõnniku kuupmeetri käitlemise hind. 100 piimalehmaga ettevõtte korral on see hind nii kõrge, et soodsam on kasutada täisteenust mis hõlmab segamist, vedu ja laotamist. **Seakasvatus**. Arvutused tehti 2000, 5000 ja 10000 nuumkohaga ettevõtetele. Vedelsõnniku käitlemine oli odavaim nii otseveo kui etteveo korral suurimas ettevõttes. Seakasvatusettevõtteis 10 000 ja 5 000 nuumakohaga oma segamislaoturi ja etteveo teenuse kasutamisel on käitluskulu väiksem kui täisteenuse kasutamine. Muudes variantides oli odavam täisteenuse kasutamine. Laotamisseadmete tasuvusaeg on seda lühem, mida rohkem on ettevõttes vedelsõnnikut. 100 lüpsilehmaga ettevõttes oli tasuvusaeg ca 50 aastat nii lohisvoolikutega laoturi kui avalõhe-sisestuslaoturi korral. 900 lehmaga ettevõtteis oli see periood 3 aastat. Sarnane pilt oli ka seakasvatusettevõtetes, sisestuslaoturi tasuvusaeg oli lühem juhul, kui ettevõttes oli rohkem vedelsõnnikut. Sea vedelsõnnikus on ammoniaagi sisaldus suurem kui veise vedelsõnnikus, järelikult on suurem ka ammoniaagi lendumine paisklaotamisel ja seetõttu oli tasuvusaeg seakasvatusettevõtetes lühem kui veisekasvatusettevõtetes. Tahesõnnik **Lihaveiste kasvatus**. Arvutused tehti 30, 50 ja 100 ammlehmaga ettevõtetele. Tahesõnniku käitlemine oli odavaim väikseimas ettevõttes, kuna tööd tehti otseveo meetodil ja mida väiksem on veokaugus, seda odavam on sõnniku käitlemine. **Lambakasvatus**. Arvutused tehti 50, 100 ja 300 lambaga ettevõtetele.

	Tahesõnniku käitlemine oli odavaim suurimas ettevõttes, kuna sõnniku kogus oli neis suurem aga veokauguste väike erinevus oluliselt ei mõjutanud sõnniku käitluskulusid. Kokkuvõtteks tahesõnniku otseveomeetodi kohta saab öelda, et kui kogused on ettevõttes väikesed, nagu lambakasvatuse ettevõtetes ja piimaveiste a-variandi ettevõtetes, siis on kulud ühe sõnnikutonni kohta seda suuremad mida väiksem on ettevõte. Hoolimata sellest et veokaugused on väiksemas ettevõttes ka väiksemad. Kui tahesõnniku kogused on aga ettevõttes piisavalt suured, nagu lihaveiste kasvatuse ettevõtetes ja piimaveiste b-variandi ettevõtetes, siis on kulud ühe sõnnikutonni kohta seda suuremad mida suurem on ettevõte. Seda seetõttu, et suurte koguste laotamiseks on vaja rohkem maad ja veokaugused on juba nii suured, et tõstavad sõnniku käitlemise hinda.
Laotamisnorm	Arvutused näitavad ka, et Eesti andmeil 50 m^3 ha^{-1} normiga veise vedelsõnniku põllule laotamine oli kuupmeetri kohta odavam kui 30 m^3 normiga laotamine. Põhjuseks väiksem laotamisaluse maa vajadus ja seega eeldatav sõidukaugus hoidlast põllule on ka lühem. Ka tööaja kasutamine on efektiivsem kuna summaarne ajakulu pööretele põlluotstel on väiksem. Läti andmeil 40 m^3 ha^{-1} laotamine oli ikka odavam kui Eestis 50 m^3 ha^{-1} laotamine.
Riikide võrdlus	Läti ja Eesti tulemuste võrdluses olid Eestis kulud kõrgemad kuna Lätis on 1) enamus masinaid odavamad; 2) sõnnikukogused ettevõtetes suuremad ja kulud jagunevad suurema koguse peale; Kuna noorloomade osakaal karjas on mõnevõrra suurem. 3) laotamisnormid suuremad, kuna puudub fosfori piirang, mistõttu maa vajadus ja seega veokaugus on väiksemad.
Laotamisviisid	Lohisvooliklaoturid ja avalõhe-sisestuslaoturid sobivad vedelsõnniku laotamiseks rohumaale ja kasvavate kultuuridega põllule. Majandusarvutused näitasid, et lohisvooliklaotamine on odavam kui ammoniaagi lendumiseks on ebasoodsad tingimused. Muidu, ammoniaagi lendumiseks soodsate tingimuste korral, on soovitatav kasutada sisestus- või segamistehnoloogiat. Alternatiiviks on vedelsõnniku hapestamine.
Etteveo kasutamine	Kui vedelsõnnik veetakse hoidlast põllule teenusepakkuja paakveokiga oli see ca 0,5–0,6 € m^{-3} odavam kui oma laoturi kasutamine vedelsõnniku põllule veoks. Arvutused näitavad, et enamasti ettevedu aitab vähendada sõnnikukäitluskulusid. Põllul oleva vahepaagi kasutamine aitab muuta nii transpordi kui laotamise operatsioonid sujuvamaks ja vähendada ooteaegasid. Veel pidevamaks on laotamistööd võimalik teha kui vahepaagist transportida vedelsõnnik laoturisse mööda voolikut. Sel juhul saab laotur töötada pidevalt niikaua kuni vahepaak ei ole tühi. Vahepaaki täidavad etteveokid või on sellel samuti torutoide hoidlast. Sel juhul ei tallata nii palju ka mulda selles põllu otsas kus vahepaak asub. Kuna torutoitega laoturil puudub paak ja laotamisagregaat on seetõttu kergem, siis tallatakse kogu põllu ulatuses mulda väiksema jõuga kui paagiga laoturi korral.
Sõnniku liik	Tehnoloogilises mõttes on soovitatav vältida poolvedelat sõnnikut (KA 12–20%) kuna seda on keerukas nii pumbata kui kuhjata. Vedelsõnniku käitlemist

	on lihtsam automatiseerida võrreldes tahesõnniku käitlemisega. Seasõnniku korral on tasuvusega kiirem kui veisesõnniku kasutamisel, kuna seasõnnikus on ammooniumlämmastiku sisaldus kõrgem ja selle kohesel muldaviimisel on säästmise võimalus suurem võrreldes paisklaotamise ja mittekohese muldaviimisega.
Paakide suurus ja arv	Suuremates ettevõtetes on majanduslikult otstarbekam kasutada suurema paagimahuga laotureid kui sõnnik veetakse põllule oma laoturiga. Suurimas ettevõttes oli sel juhul enamasti vajalik mitme laoturi kasutamine. Etteveo kasutamisel on vajalikud paagimahud väiksemad kui oma masinaga vedamisel ja ettevõtte suurus paagimahtu oluliselt ei mõjutanud. Eestis jäi suurim laoturi paagimaht etteveo korral 10 m^3 ja Lätis 16 m^3 piiresse.

Soovitused

1. <u>Tee enne investeeringut analüüs.</u> Eeltoodud analüüs ja selle tulemused on koostatud lähtuvalt analüüsi alguses nimetatud eeldustest. Neist erinevates tootmisoludes võivad ka tulemused erineda. Iga ettevõte juht, kes kavandab investeeringuid seoses sõnniku käitlemise süsteemiga, peaks kindlasti analüüsima võimalikke tehnoloogilisi lahendusi lähtuvalt oma ettevõtte tootmistingimustest. Sellegipoolest on käesolevas aruandes näha milliste meetoditega sellist analüüsi saab teha ja teiseks millised on tulemuste trendid sõltuvalt ettevõtte suurusest ja tootmissuunast.
2. <u>Kalkuleeri sõnniku käitlemise teenuse ostmist.</u> Kui põllumees kavandab investeeringuid sõnnikulaotamise seadmete soetamiseks, siis on soovitatav leida sõnniku käitlemise kulud oma seadmete korral ja võrrelda tulemust teenusepakkujate teenustöö hinnaga. Väiksemate ettevõtete korral on teenusepakkuja teenustöö hind sageli odavam oma laotamisseadmetega laotamise hinnast. Aga arvestada tuleks kindlasti ka seda et kas teenus on vajalikkus mahus tagatud ka siis kui ettevõttel on laotamiseks sobivaim aeg. Ja ka seda, et milline on ammoniaagi lendumine ettevõtte oma laotamisseadme kasutamisel ja milline on teenusepakkuja tehnoloogia korral.
3. <u>Kalkuleeri sõnniku etteveo kasutamist</u>. Vedelsõnniku laotamisseadmed on kallid ja neid peaks võimalikult palju rakendama vedelsõnniku laotamisel. Vedelsõnniku vedu hoidlast põllule on odavam eraldi paakhaagistega, kuna need ei ole koormatud laotamisseadmega ja liiguvad teedel kiiremini kui laotur. Arvutuste kohaselt oli vedelsõnniku paakhaagiste kasutamine umbes 0,5-0,6 € m^{-3} odavam kui laoturiga hoidlast põllule vedu ja laotamine. Sobiva vahemaa ja maastiku (ei ole häirivaid takistusi, sõiduteid või asulaid) korral tasub alternatiivse võimalusena kalkuleerida vedelsõnniku torutranspordi maksumust.
4. <u>Kalkuleeri sõnniku vaheladustamist põllul</u>. Et vähendada nii laoturi kui paakhaagise ooteaegasid, on soovitatav põllul kasutada vahemahuteid. Vedelsõnniku laoturi ja vahemahuti ühenduseks saab kasutada ka vooliktoidet. Sellisel juhul saab laotur seisakuteta töötada seni kuni vahepaagis on vedelsõnnikut. Põllu servades, kus enamasti laoturi paaki täidetakse, sõidetakse korduvalt ja seal esineb mulla oluliselt suurem tihenemine. Vooliktoite korral ei ole laoturil oma paaki ja maapinda tallatakse kogu põllu ulatuses ühtlasemalt.

   Tahesõnniku vaheladustamine . Kui põld asub hoidlast kaugemal ja ettevõttes ei ole piisavalt tahesõnnikulaotureid, siis on otstarbekas kasutada etteveoga tehnoloogiat.

Kuna taheda materjali veokilt laoturisse laadimine on tülikas, siis see kallutatakse põllule auna. Sageli veetakse tahe orgaaniline väetis põllule aunadesse valmis siis, kui on vedamiseks sobivaim aeg ja laotamine toimub teisel, laotamiseks sobivaimal ajal. Tehnoloogia valikul tuleks silmas pidada, et tänu vaheladustamisele põllul aunas väheneb väetise laotamiseks sobival ajal ajakulu vedudele. Samas hoitakse otseveol kulusid kokku täiendava laadimise arvelt põllul. Arvestada tuleb ka, et aunastamisel on mitmed piirangud ja toiteainete kaod võivad olla märkimisväärsed.

5. Analüüsi uue tehnoloogia tasuvusaega. Tasuvusaeg üle 10 aasta ei ole soovitatav. Sõnniku laotamise seadmete tasuvusaeg on seda lühem, mida suurem on vedelsõnniku kogus ettevõttes. 100 lehmaga piimafarmis oli nii lohisvoolik- kui ka avalõhe-sisestusseadme tasuvusaeg üle 50 aasta. 900 lehmaga ettevõttes oli tasuvusaeg aga alla 4 aasta. Kui uuritava laotamisseadme tasuvusaeg on oluliselt üle 10 aasta, siis peaks kalkuleerima alternatiivseid võimalusi: reorganiseerida töö korraldust nii, et oleks võimalik soetada odavamaid seadmeid, osta teenustööd või rakendada masinate ühiskasutust. On ettevõtteid, kus on ka üle 20 aasta vanuseid laotureid, ja tekib küsimus, et miks peaks laoturit vahetama ca 10 aasta järel? Põllumees on üha enam huvitatud, et sõnnikus olevad toitained jõuaksid sobivas koguses taimeni. Ka keskkonnanõuded muutuvad üha karmimaks ja masinatootjad teevad pidevalt arendustööd, et põllumehel oleks neid vajadusi võimalik järgida. 10 aasta jooksul jõuab ettevõttes olev tehnika moraalselt piisvalt vananeda, et selle aja järel võiks juba uued, tehnoloogiliselt kaasaegsed masinad soetada, mis suudavad põllumehe vajadusi ja keskkonna nõudeid senisest parmini täita. Kui aga tasuvusaeg kõigest hoolimata on pikem kui 10 aastat, siis vajavad põllumehed toetusi, et oma tootmist kohandada kehtivate või kavandatavate keskkonnanõuetega.

6. Ettevõtte maakasutust ja taimekasvatust kavanda nii, et sõnniku veokaugus oleks võimalikult väike. Sõnniku käitluskuludest moodustab transport hoidlast põllule märkimisväärse osa. Seega peaks hoidla lähedal olema võimalikult palju sõnnikuga väetatavaid põllumajandusmaid. Ja hoidlalähedastel põldudel tuleks taimekasvatust suunata nii, et taimed tarbiksid sõnnikus olevaid toitaineid võimalikult palju.

7. Võimalusel kasuta suuremat laotamisnormi. Arvutused näitavad et vedelsõnniku kuupmeetri laotamise hind on odavam suurema normi korral. Eestis piirab laotamisnormi Veeseaduses sätestatud fosfori kasutamise piirang ja seejärel lämmastiku kasutamise piirang. Lätis saab kasutada suuremaid norme kui Eestis kuna Lätis on ainult lämmastiku kasutamise piirang.

8. Kasuta laotamistehnoloogiat, mis on võimalikult väikse ammoniaagikaoga aga arvestada tuleb kindlasti ka ettevõtte tingimustega. Laotamistehnoloogia valiku analüüsil tuleb ühelt poolt kindlasti arvestada masinate maksumuse ja kasutamiskuludega kuid teisalt ka toiteainete kaoga. Arvestada tuleb ka seda, et paisklaotamis ei ole Parim Võimalik Tehnoloogia.

4 Laotamistehnoloogiate kasutuskogemusi

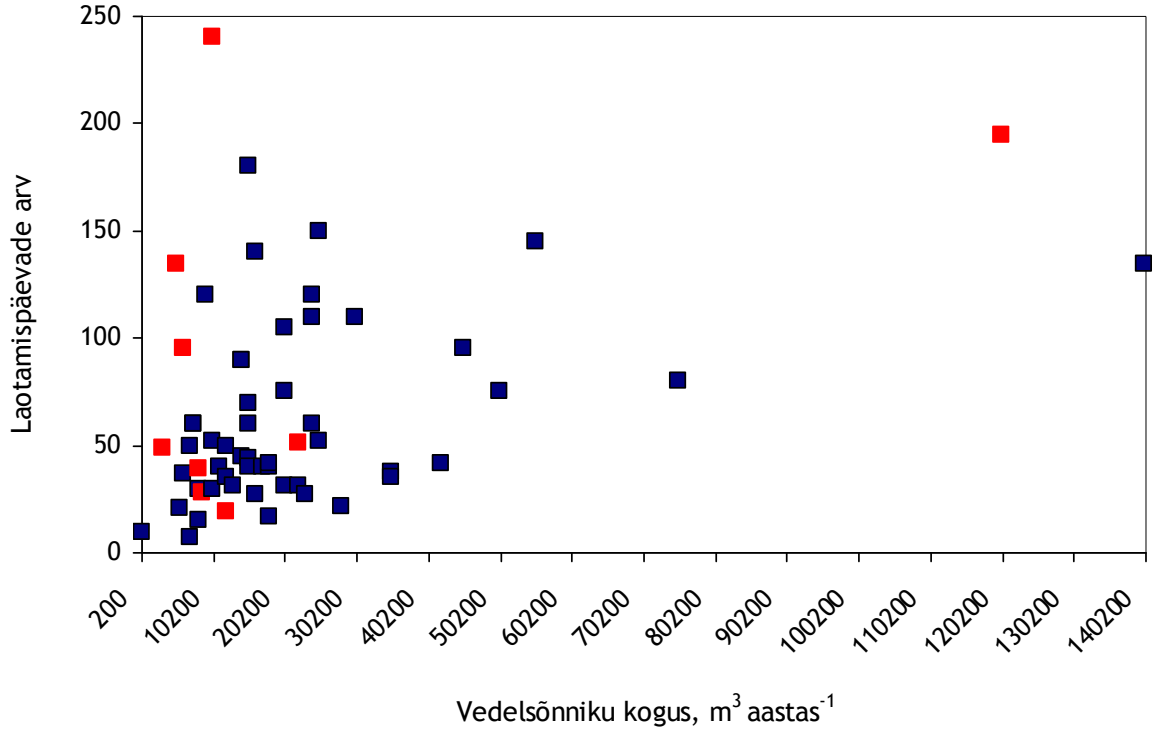
Eesti Põllumajandus-Kaubanduskoda korraldas 2016. aasta algul küsitluse Eesti loomakasvatusettevõtete seas. Küsitluse tulemusena saadi andmeid 51 veisekasvatusega ja 9 seakasvatusega tegeleva ettevõtte kohta. Kõige rohkem oli vastajaid ettevõtetelt, kus peetakse 400–600 lüpsilehma. Küsitluses osalenud ettevõtete laotatava vedelsõnniku kogused ja vedelsõnniku laotamisperioodi kestused on esitatud tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Laotatava vedelsõnniku kogused ja vedelsõnniku laotamisperioodi kestused küsitluses osalenud ettevõtetes

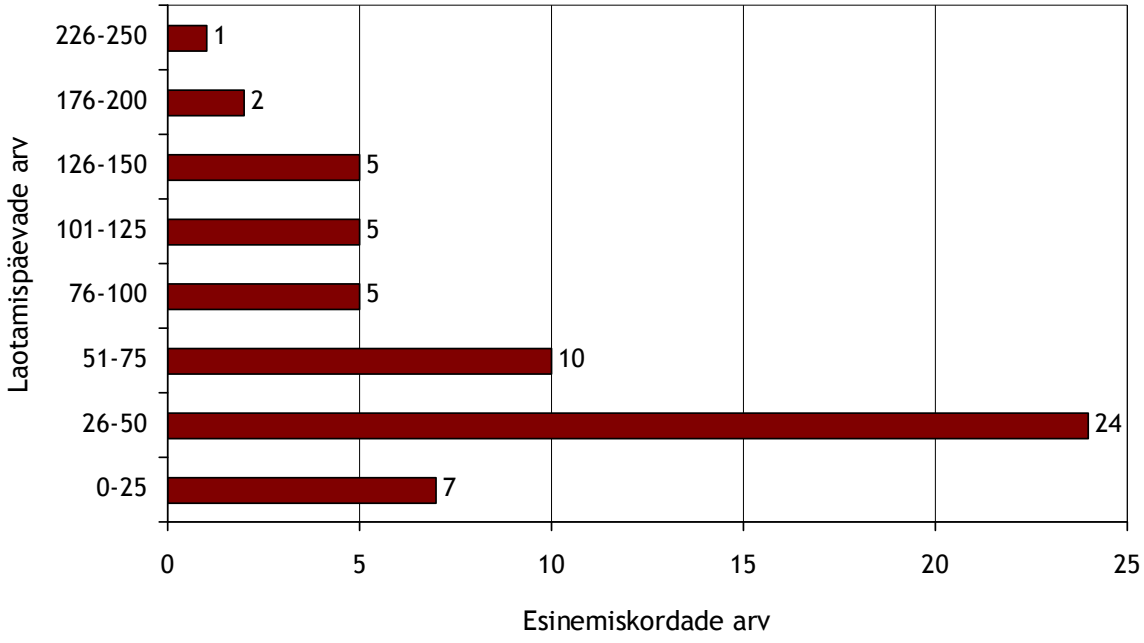
Loomade arv ettevõttes	Ettevõtete arv	Laotatava vedelsõnniku kogus aastas, m^3			Vedelsõnniku laotamisperioodi kestus, päeva		
		min	max	keskmine	min	max	keskmine
kuni 200 lüpsilehma	7	200	8 000	5 957	10	60	36
200–400 lüpsilehma	10	8 000	20 000	13 000	15	125	56
400–600 lüpsilehma	19	12 000	35 000	18 737	27	150	63
600–800 lüpsilehma	6	7 000	35 000	23 333	27	180	87
800–1 000 lüpsilehma	5	17 000	50 000	32 800	22	110	68
üle 1 000 lüpsilehma	4	42 000	140 000	78 000	42	145	101
kuni 750 emist	1	3 000	3 000	3 000	49	49	49
2 000–5 000 nuumikut	4	5 000	12 000	7 900	19	135	69
5 000–8 000 nuumikut	1	8 000	8 000	8 000	39	39	39
üle 8 000 nuumiku	3	10 000	120 000	50 667	51	240	162

Laotamispäevade arv sõltuvalt ettevõtte sõnnikukogusest on esitatud joonisel 4.1. Joonisel olev andmepunktide pilv osutab et laotamispäevade arv on üldiselt seda suurem, mida enam on ettevõttes sõnnikut. Samas on siiski ka väikse sõnnikukogusega ettevõtteid, mis kasutavad samapalju laotamispäevi kui suure kogusega ettevõtted. Arvatavasti on põhjuseks ettevõtte väike laotamisvõimsus. Vajalik laotamisvõimsus sõltuvalt ettevõtte sõnnikukogusest on esitatud joonisele 4.3.

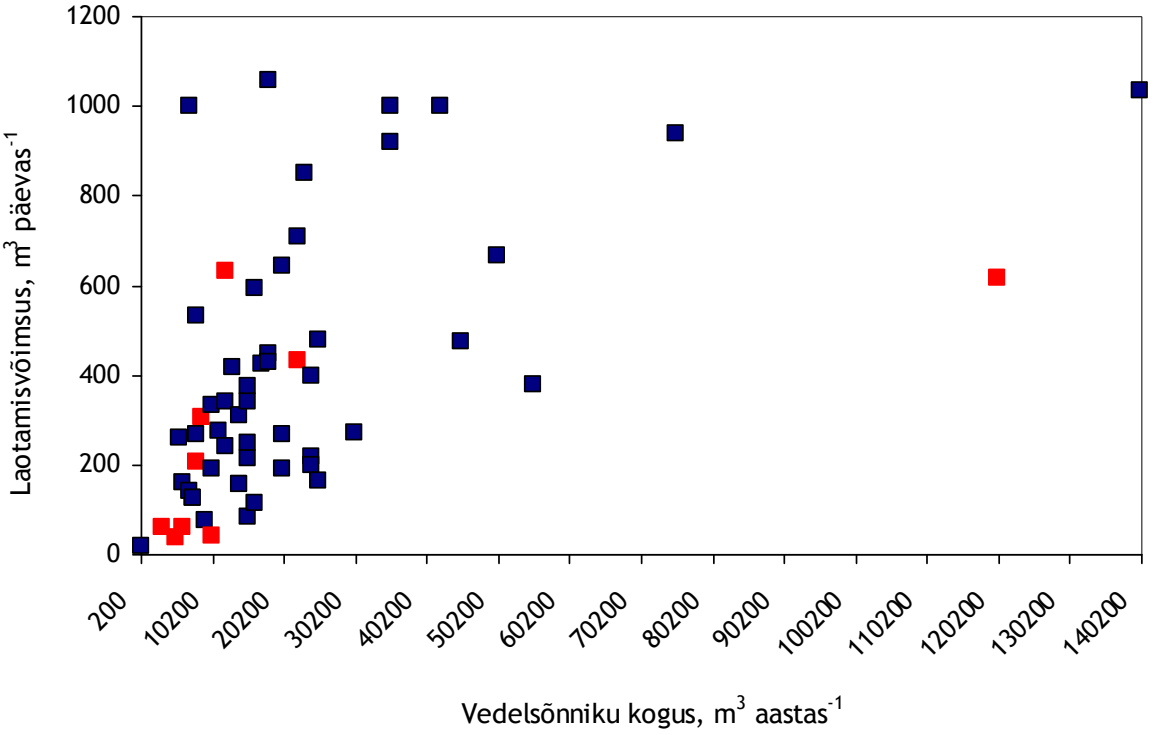
Vajalike laotamispäevade arvu esinemissagedus on esitatud joonisel 4.2. sealt on näha et 56 ettevõtet (95% kõigist) on võimelised sõnnikut laotama 150 päeva jooksul ja 41 (70%) saavad selle tehtud 70 päeva jooksul. 62 päeva on keskmine päevade arv piimakarja kasvatajatel ja 75 päeva seakasvatajatel.



Joonis 4.1. Vedelsõnniku laotamisperioodi kestus sõltuvalt vedelsõnniku aastakogusest (punase värviga on tähistatud seakasvatusettevõtted ja sinise värviga veisekasvatusettevõtted)



Joonis 4.2. Laotamispäevade esinemiskordade arv vastustes



Joonis 4.3. Vedelsõnniku laotamisvõimsus sõltuvalt vedelsõnniku aastakogusest (punase värviga on tähistatud seakasvatusettevõtted ja sinise värviga veisekasvatusettevõtted)

Ülevaade küsitluses osalenud ettevõtetes kasutatavatest vedelsõnniku laotamistehnoloogiatest on esitatud tabelis 4.2.

Tabel 4.2. Kasutatavad vedelsõnniku laotamistehnoloogiad ja laotatavad kogused

Laotamistehnoloogia	Ettevõtete arv	Vedelsõnniku kogus, m^3 $aastas^{-1}$		Laotamisvõimsuse vajadus, m^3 $päevas^{-1}$	
		min	max	min	max
Paisklaotamine	3	200	12 000	20	240
Lohisvooliklaotamine	14	5 000	120 000	37	632
Mulda või kamarasse sisestus	25	3 000	75 000	61	1 273
Paisk- ja lohisvooliklaotamine	2	7 000 7 000	7 500 7 500	214	311
Paisk- ja sisestuslaotamine	2	4 500 7 200	4 800 10 500	341	343
Lohisvoolik- ja sisestuslaotamine	9	1 100 4 000	28 000 112 000	114	1 037
Paisk-, lohisvoolik- ja sisestuslaotamine	5	2 000 2 000 2 800	6 750 18 000 33 000	156	474

Tabelis 4.2 on esitatud ülevaade ettevõtetes kasutatud sõnnikulaotamise tehnoloogiatest. Sealt on näha, et enim kasutatakse sisestus- või segamislaotamist, väiksem osa lohisvoolikutega laotamist ja mõned ettevõtted kasutavad ikka veel paisklaotamist. Viimase meetodiga laotatakse 5% kogu küsitletud ettevõtete vedelsõnnikust, lohisvoolikutega 35% ja ka koguse mõttes olid populaarseimad sisestus- ja segamislaotamine, millega laotati 60% (tabel 4.3). Lätis laotatakse Janis Kazotnieksi andmeil 90% vedelsõnnikut paisklaoturite abil, ülejäänu laotatakse peamiselt lohisvoolikutega ning kasutusel on ka mõned üksikud sisestuslaoturid. Torutoitega laotamissüsteeme on Lätis kasutusel alla kümne. Eesti ei kasuta praegu teadaolevalt ükski ettevõte seda süsteemi.

Tabel 4.3. Erinevate laotamistehnoloogiatega laotatavad kogused

Laotamistehnoloogia	Summaarne laotamiskogus, m^3	Laotamiskogus, %
Paisklaotamine	65 850	5
Lohisvooliklaotamne	461 400	35
Mulda või kamarasse sisestus	811 050	60

Teenusepakkujat kasutab 60% ettevõtetest, nende seas on need 18% ettevõtteist kes ei kasuta üldse oma laoturit (tabel 4.4). Ainult oma laoturit kasutab 40% ettevõtteist. 55% sõnnikust laotatakse teenusepakkuja poolt ja 45% oma laoturitega. Ettevõtteis, kus kasutatakse ainult teenustööd on laotamispäevade keskmine ja maksimum märkimisväärselt väiksemad võrreldes ettevõtetega kus kasutatakse oma laoturit.

Tabel 4.4. Vedelsõnniku laotamisteenuse kasutamine ettevõtetes

Teenustöö kasutamine	Sea-kasvatus-ette-võtted	Veise-kasvatus-ette-võtted	Laotamispäevade arv, keskmine (min–max)	Vedelsõnniku kogus, m^3, keskmine (min–max)	Summaarne sõnniku kogus ettevõtetes, m^3
Kasutatakse ainult teenustööd	1	10	27 (7–75)	21 191 (5 000–50 000)	369 200
Ainult oma laoturid – teenustööd ei kasutata	4	20	64 (10–145)	15 383 (200–55000)	233 100
Teenustööd kasutatakse lisaks oma laoturitele (teenustöö osakaal 10–90%)	4	21	85 (30–240)	29 440 (8 000–140 000)	362 100 teenustöö 373 900 oma laoturid

Tabel 4.5. näitab, et 80% väikseima suurusgrupi ettevõtteist eelistab kasutada oma laoturit teenuse ostmisele. Suuremates ettevõtetes on see eelistus 40% ja veel väiksema osa eelistus.

Tabel 4.5. Vedelsõnniku laotamisteenuse kasutajate arvud ettevõtete suurusklasside kaupa

Loomade arv ettevõttes	Vedelsõnniku laotamisteenuse osakaal				
	0%	10–30%	40–60%	66–90%	100%
kuni 200 lüpsilehma	5				2
200–400 lüpsilehma	4	1	4		1
400–600 lüpsilehma	7	4	3	2	3
600–800 lüpsilehma	1	2		1	2
800–1 000 lüpsilehma	2		1		2
üle 1 000 lüpsilehma	1	1		2	
kuni 750 emist	1				
2 000–5 000 nuumikut	3				1
5 000–8 000 nuumikut				1	
üle 8 000 nuumiku			1	2	

Ülevaade vedelsõnniku käitlustehnoloogiatest kahes Eesti ettevõttes

Eesti ettevõte 1.

Ettevõttes on 4 000 ha põllumajandusmaad, millest 2 500 väetatakse sõnnikuga. 2 200 piimalehma ja 2 000 noorloomaga lautadest tuleb aastas 130 000 m^3 vedelsõnnikut. Alla 6-kuused vasikad on allapanul ja toodavad tahesõnnikut. Vedelsõnnik eemaldatakse lautadest skreeperiga, veega uhtumise teel eemaldatakse sõnnik ainult ootealalt ja juhitakse separaatorisse. Veekulu sõnniku veega uhtumisele on ca 2 200 m^3 kuus, osaliselt kasutatakse vihmavett, mis kogutakse lauda alalt maa-alusesse veehoidlasse. Separeerimise eel on vedelsõnniku KA 5–6%, separeeritud vedelal fraktsioonil 3,7% ja tahedal fraktsioonil 20%. Vedel fraktsioon juhitakse kahte laguuni, kumbki 50 000 m^3. Kuna laguunid on suure pindalaga, siis ei ole võimalik vedelsõnnikut laotamise eel kogu laguuni ulatuses segada. Tänu separeerimisele ei ole selleks ka märkimisväärset vajadust.

Separeeritud vedelfraktsiooni eeliseks võrreldes separeerimata (ja seega suurema kuivainesisaldusega) vedelsõnnikuga on ka parem voolavus ja pumbatavas (väiksem energiavajadus), vedelsõnnikulaoturil sõnnikupeenesti on vähem koormatud, võõrkehade tõenäosus oluliselt väiksem ning ka torude ja voolikute ummistumise oht on väiksem. Vedelam materjal imbub ka kiiremini mulda. Samas on oht ka kiiremaks leostumiseks, kui sõnnik viiakse sügavale.

Lauda juures on kolm separaatorit. Kahest separaatorist tekkiv tahke fraktsioon kasutatakse väetamiseks. Ühe separaatori tahke fraktsioon kompostitakse trummelkompostris. Kompostrisse suunatakse 200 kg tahket fraktsiooni tunnis. Kompostimisel tõuseb temperatuur kuni 65 °C, mis hävitab enamuse haigustekitavaid baktereid. Kompostrist saadud komposti kasutatakse loomadele allapanuks. Täiendavaid allapanumaterjale ei kasutata. Kompostrist eralduva soojusega köetakse ruume, kus asuvad trummelkomposter ja separaator.

Vedelsõnnik laotatakse põllukultuuridele ja rajatavatele rohumaadele normiga 53 m^3 ha^{-1}. Kasvavatest kultuuridest laotatakse läga rohumaadele normiga 25 m^3 ha^{-1}. Veokaugus vedelsõnniku hoidlast põlluni on kuni 13 km. Kaugematele põldudele laotatakse tahesõnnik. Vedelsõnnik veetakse põllu servale ettevõtte kahe paakveokiga – 20 m^3 ja 30 m^3. Sõnnikulaotamiseks kasutatavad laoturid on järgmised:

1. 20 m^3 paak + 4,5 m piidega segamislaotur.
2. 20 m^3 paak + 5 m ketastega sisestuslaotur või 5 m ketastega segamislaotur.

Paakveok veab vedelsõnniku hoidlast põlluservale ja pumpab vedelsõnniku 40 m^3 vahepaaki mis on põllu serval või laoturi paaki. Kui paakveok on sõnnikut toomas, siis laotur pumpab sõnniku vahepaagist oma paaki ja laotab sõnniku põllule.

Eesti ettevõte 2.

Ettevõttes on 1 790 ha põllumajandusmaad, millest 800 väetatakse sõnnikuga. 618 piimalehma ja 413 noorloomaga lautadest tuleb aastas 25 000 m^3 vedelsõnnikut. Alla 6-kuused vasikad on allapanul ja toodavad aasas 600 t tahesõnnikut. Vedelsõnnik juhitakse kolme püstsilindrikujulisse katmata betoonhoidlasse, kogumahutavusega 15 000 m^3. Tahesõnnikut hoitakse 4 000 t mahutavusega betoneeritud põhjaga kolme küljega tahesõnnikuhoidlas (kaks virtsakaevu – 25 ja 10 m^3).

Silohoidlate juures on kokku 6 silomahlade kogumise kaevu, 25 m^3, 15 m^3 ja 4 x 10 m^3. Ühest on pidev silomahla äravool lägapumplasse.

Vedelsõnnik laotatakse teraviljale, rapsile ja rohumaale normiga 30 m^3 ha^{-1} (maisile 40 m^3 ha^{-1}). Veokaugus on kuni 7 km. Tahesõnnik laotatakse ettevõtte oma laoturiga rohumaade rajamise käigus normiga 40 t ha^{-1}. Vedelsõnniku laotamiseks on ettevõttel oma 12 m^3 paagimahuga ja 12 m lohisvoolikutega laotur. Enamus vedelsõnnikut laotatakse teenustööna avalõhe-sisestus- ja segamislaoturiga, põllule veetakse vedelsõnnik paakautodega.

Kevadel laotatakse teenusepakkuja sisestuslaoturiga 10 päeva jooksul 10 000 m^3 sõnnikut 400 hektarile. Suvel laotatakse samal moel 10 päeva jooksul 10 000 m^3 sõnnikut 400 hektarile rapsile ja teraviljadele. Sügisel 14 päeva jooksul 166 ha rohumaadele 5 000 m^3 lohisvoolikutega. Sügisene laotamisperiood lõppeb 15. novembril.

Kontsentreeritud väävelhapet kasutati 2015. aasta märtsis järgmiselt: ühes mahutis 3,2 kg m^{-3} vedelsõnniku kohta ja teises mahutis 3,8 kg m^{-3} vedelsõnniku kohta. Väävelhappe lisamise eesmärk oli soodne väävelväetis ja ammoniaagi lendumise vähendamine. Ammoniaagi hais asendus väävelhappe spetsiifilise haisuga. Sõnniku omadustes ja kasvumõjus taimedele muudatusi ei täheldanud.

5 Innovatiivseid võtteid maailmast ja nende rakendusvõimalused Eestis ja Lätis

5.1 Vedelsõnniku hapestamine

Põllumajandusloomade sõnnikut peetakse peamiseks ammoniaaklämmastiku õhkuheidete allikaks Läänemere piirkonnas (HELCOM raport, 2013). Atmosfääri kandudes põhjustab ammoniaak (NH_3) õhust tulenevat eutrofeerumist (looduskeskkonna rikastumist taimetoiteainetega) ning need annavad olulise osa Läänemerre jõudvatest nitraatidest. Ammoniaagiheited ei ole ohuks mitte ainult Läänemere seisundile vaid ka inimeste tervisele, sest need moodustavad sekundaarseid peenosakesi, näiteks ammooniumnitraadi või ammooniumsulfaadi aerosoolide osakesi, mis kuuluvad inimese tervist enim mõjutavate saasteainete hulka.

Ammoniaagi lendumisest tingitud rahalist koormust keskkonnale ja inimeste tervisele hinnatakse 14 eurole lämmastiku kilogrammi kohta (European Nitrogen Assessment, 2011). Sealjuures ei ole arvesse võetud, et ammoniaagi lendumisel sõnnikust haihtub oluline osa ressursist, mida muidu saaks põllumajandustootmises kasutada. Taanis läbiviidud põldkatsetest selgus, et hapestatud vedelsõnniku mineraalväetise ekvivalent oli 43% suurem kui hapestamata vedelsõnnikul. HELCOM-i Läänemere tegevuskava 2013 a muudatus on võtnud eesmärgiks vähendada Läänemerre jõudva lämmastiku kogust 118 000 t võrra – see jaguneb Läänemerd ümbritsevate kõikide riikide vahel.

Enamike sõnniku käitlemise operatsioonidega (hoiustamine, segamine, transportimine, laotamine jne) kaasneb sõnniku pinnalt ammoniaagi lendumine. Parimateks võimalikeks tehnikateks (PVT-deks) ammoniaagi lendumise vähendamisel on loomapidamishoonete õhu puhastamine, sõnnikuhoidlate katmine ja vedelsõnniku sisestus- või segamislaotamine. Viimasel ajal on sellele lisandunud ka vedelsõnniku hapestamise tehnoloogiad, mis on välja töötatud Taanis ja mille kohta on Taani Keskkonnakaitseamet andnud kinnituse, et need aitavad vähendada ammoniaagi kadu kuni 70%. Vedelsõnniku hapestamise tehnoloogiad on Taanis näidanud, et nende kasutamine annab positiivset majanduslikku efekti, sest väheneb mineraalväetiste ostuvajadus ja tõuseb saagikus. Ka varasemates Läänemere piirkonna programmides *Baltic Manure* ja *Baltic Deal* on viidatud sõnniku hapestamisele kui innovaatilisele tehnoloogiale, millel on potentsiaali vähendada lämmastiku kadu põllumajandusest. Sealjuures ei ole see meetod väljaspool Taanit kuigi levinud.

2016. aasta märtsis käivitus Interreg programmi alamvaldkonna „*Clear waters*“ projekti *Baltic Slurry Acidification* avakoosolek. Projekti täielik pealkiri on „*Reducing nitrogen loss from livestock production by promoting the use of slurry acidification techniques in the Baltic Sea Region*“ ehk „Loomakasvatuses tekkiva lämmastikukao vähendamine edendades vedelsõnniku hapestamisviiside kasutamist Läänemere piirkonnas“.

Projekti eesmärk on laiemalt tutvustada sõnniku hapestamise tehnoloogiaid Läänemere piirkonnas. Kavandatud tegevusteks on esitleda igas osalevas riigis mõnda hapestamise tehnoloogiat ja rajada ka põldkatsed eesmärgiga selgitada selle tehnoloogia tõhusust ning mõju mullale ja taimikule. Projekti raames tehakse tehnoloogiate majandusanalüüs ja koostatakse ülevaade mõjudest keskkonnale, samuti tehakse ülevaade käsitletavate tehnoloogiate turust ning analüüsitakse osalevate riikide seadusandlust ja toetussüsteeme. Oodatavateks tulemusteks on õhust tuleneva eutrofeerumise vähenemine ja konkurentsivõimelisemad ning jätkusuutlikumad põllumajandusettevõtted Läänemere piirkonnas.

5.1.1 Sõnniku hapestamise tehnoloogiad

Sõnnikust eralduva ammoniaagi heitkoguse vähendamiseks on soovitatud mitmesuguseid meetmeid: mõjutada lämmastiku eritumist söödaratsiooni koostise kaudu, eraldada uriin fekaalidest või vähendada lenduva ammoniaagi osa sõnnikus. Ammoniaagi kontsentratsioon sõnnikus sõltub ammooniumi (NH_4^+) ja ammoniaagi (NH_3) vahelisest keemilisest suhtest. Sõnniku pH vähendamine ehk happelisuse suurendamine nihutab mittelenduva ammooniumi ja lenduva ammoniaagi tasakaalu ammooniumi kasuks. Ammoonium kui sool on vedelsõnnikus märksa stabiilsem kui gaasiline ammoniaak, viimase lendumine on suurim siis, kui vedelsõnniku pH on 7–10. Lendumine väheneb kui pH on alla 7 ja pH väärtuse 5,5 korral mõõdetav vaba ammoniaak peaaegu puudub. Näiteks sea või veise vedelsõnniku hapestamisel väävelhappega (H_2SO_4) väheneb ammoniaagi lendumine järk-järgult ja peatub täielikult sea vedelsõnniku pH 5 ja veise vedelsõnniku pH 4 korral.

Hapestamiseks on katsetatud erinevaid happeid ja soolasid: fosforhapet, soolhapet, väävelhapet, propioonhapet, laktaathapet, maarjajääd, magneesiumisoola, kaltsiumisoola jt. Taani ettevõtte Biocover AS andmeil on majanduslikult kõige soodsam väävelhappe kasutamine. Vedelsõnniku hapestamise eeliseks lisaks ammoniaagi lendumise vähendamisele on, et väävelhappe kasutamine hapestamisel lisab mulda väävlit, toimides väetisena. Sageli kasutatakse kultuuride väetamisel muuhulgas väävlit, üldiselt umbes 30 kg ha^{-1}. See vastab laotamisaegse hapestamisega antava väävli kogusele. Samas peab silmas pidama ka, et ei toimuks väävliga üleväetamist. Kui väävelhapet anda 4,5 l m^{-3}, siis vedelsõnniku laotamisnormil 30 m^3 ha^{-1} antakse väävlit üle 70 kg ha^{-1}.

Hapestamist võidakse teha kolmes kohas – laudas, hoidlas või põllul.

Ohutusnõuded väävelhappe käitlemisel

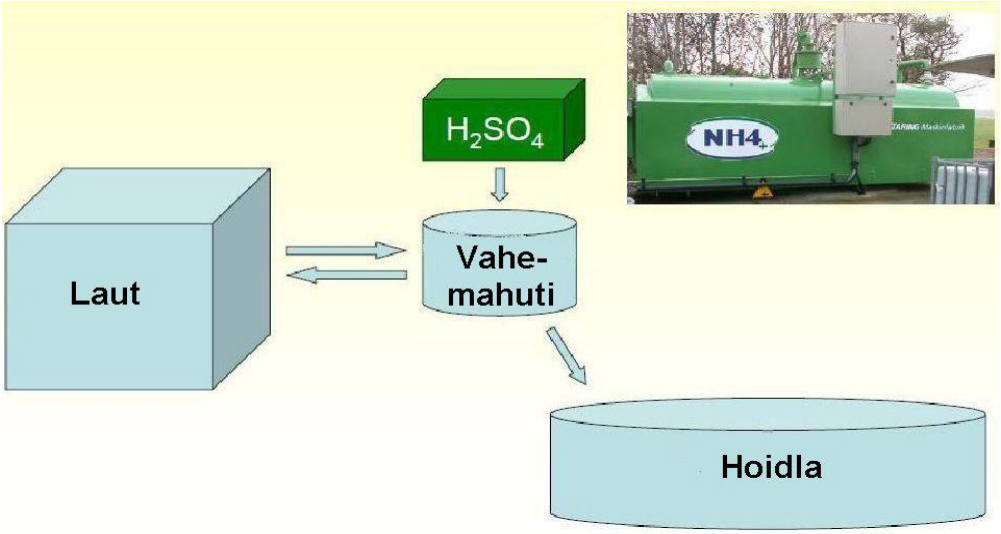
Käitlemisnõuded. Väävelhapet tuleb käidelda piisava ventilatsiooniga ruumis kasutades asjakohaseid kaitsevahendeid. Vältida tuleks aurude sissehingamist, aine sattumist nahale, silma ja riietele. Peale käitlemist tuleb pesta end põhjalikult, eemalda saastunud riided, pesta need enne järgmist kasutamist. Lahjendamisel tuleb valada hapet vette, mitte vastupidi, sest väävelhappe segamisel veega tekkiv soojus põhjustab tormilist pritsimist. Vältida tuleb kemikaali kokkupuudet kaitsmata metallidega, sest söövitades metalle eraldub vesinik. Vajadusel tuleb kasutada happekindla filtriga hingamisteede kaitsevahendeid. Kindlasti tuleb kanda kaitsekindad (lateks, nitriil, neopreel, PVC), silmade kaitseks hermeetilisi kaitseprille või täielikku näokaitset ning keemiliselt vastupidavast materjalist kaitseriietust ja jalanõusid. Käepärast peab olema puhta vee pudel silmade loputamiseks.

Hoiustamisnõuded. Väävelhapet hoiustatakse tihedalt suletud ja nõuetekohaselt märgistatud mahutites jahedas ja hästiventileeritavas ruumis eraldi kokkusobimatutest ainetest ja eemal kergestisüttivatest materjalidest. Aine on tugev oksüdeerija ja reageerib ägedalt kokkupuutel loomsete ja taimsete orgaaniliste ainetega (puit, riie, rasvad, sööt) koos tugeva soojuse eraldumisega kuni orgaanilise aine iseenesliku süttimiseni. Kokkupuutel veega eraldub suurel hulgal soojust. Säilitusruumi põrand peab olema happekindel.
Kindlasti tuleb **enne väävelhappe kasutamist tutvuda selle ohutuskaardiga**, mis on veebis saadav aadressil http://www.ingle.ee/failid/ntmymju4.pdf.

5.1.2 Laudas hapestamine

Laudas hapestamisel lisatakse vedelsõnnikule enne hoiustamist eelkogumismahutis 5 kg t^{-1} 96%-list väävelhapet – see langetab pH 7,5-lt 5,5-le. Seejärel pumbatakse osa vedelsõnnikust tagasi lauda sõnnikukanalitesse ning ülejäänud osa vedelsõnniku hoidlasse (joonis 5.1). Sellisel viisil

väheneb ammoniaagi eraldumine nii laudast kui vedelsõnniku hoidlast. Kuna vedelsõnniku ja happe segamisel tekib palju vahtu ja eraldub märkimisväärses koguses CO_2, siis tuleb hapestamist teha väljaspool lauta hästi ventileeritavas kohas. Happe lisamist kontrollib automaatika, tõrgete korral annab süsteem häiret.



Joonis 5.1. Hoiustamiseelne happega töötlemine (Eriksen and Sørensen, 2006)

Laudas hapestamise eelised.

1. Vedelsõnnikule happe lisamine vähendab edasisel käitlusel – hoiustamisel, segamisel, transpordil ja laotamisel ammoniaagi lendumist. Lauda tüübist sõltuvalt võib ammoniaagi lendumine väheneda 65–70%. Happega töödeldud vedelsõnnik sisaldab töötlemata sõnnikuga võrreldes enam lämmastiku ja vedelsõnnikus säilinud ammoniaagi arvel saab vähendada ostetava mineraalse N-väetise kogust.
2. Happega töödeldud vedelsõnnikust eraldub hoidlas hoiustamise käigus vähem metaani (CH_4), mis on tõenäoliselt tingitud sellest, et madala pH tõttu on bioloogiline aktiivsus pärsitud. Nørregaard Hanseni (2008) uuring näitas, et vedelsõnniku happega töötlemine vähendas CH_4 heitkogust hoidlast 67%.
3. Veise vedelsõnnik muutub homogeensemaks ja seda on lihtsam käidelda (MTK, 2011).
4. Lauda õhus oleva ammoniaagi kogus väheneb.
5. Väheneb väävelväetiste kasutamise vajadus.

Laudas hapestamise puudused.

1. Hapestamist saab teha ainult ühest laudast tulevale sõnnikule.
2. Suured ehitus- ja ekspluatatsioonikulud. Energia tarbimine võib suureneda, seda enamasti seoses vedelsõnniku täiendava pumpamisvajadusega.
3. Võib esineda probleeme loomuliku kooriku hoidmisega happega töödeldud vedelsõnnikul. Seadusega on nõutud, et vedelsõnnikuhoidla oleks ammoniaagi lendumise vähendamiseks kaetud, seetõttu peab kasutama muid katteid. Samas, kui hapestamine vähendab hoidlast lendumist, siis väheneb ka katmisvajadus.
4. Olemasolevas laudas saab kasutada vedelsõnniku happega töötlemist pärast üksikasjalikku ekspertiisi; eelkõige peab hindama, kas ehitusmaterjalid on sellise kvaliteediga, et suudavad taluda vedelsõnniku hulka lisatud hapet; kogu sisseseade maksumus võib olla olemasolevate hoonete korral oluliselt suurem, sest paigaldamise käigus tuleb teha muudatusi olemasolevates konstruktsioonides (MTK, 2011).
5. Vedelsõnniku happega töötlemine võib tekitada töötlemiskoha ümbruses ebameeldivat haisu (MTK, 2011).

6. Ei tohi kasutada lautades, kus vedelsõnnik eemaldatakse mehaaniliselt (MTK, 2011).

5.1.3 Hoidlas hapestamine

Vedelsõnnikut ainult laotamise ajal hapestades on märkimisväärne osa ammoniaagist juba eelnevate käitlusetappide ajal lendunud. Laudas hapestamine annab efekti siis, kui loomi peetakse restpõrandal, mille all on vedelsõnnikuhoidla. Enamus lautades aga sellist hoiustamistehnoloogiat ei kasutata ja hoiustamise alguses hapestamine annab ammoniaagi lendumise vähendamisel suuremat efekti kui ainult laotamisaegne hapestamine. Taanis tehtud uuringud näitavad, et katteta hoidlas hapestamine aitab ammoniaagi lendumist vähendada kuni 80%.

Hoidlas hapestamisel segatakse hoidlas olev sõnnik happega. Vedelsõnniku ja happe segamine on ohtlik tegevus, mille käigus tuleb jälgida kahte asja. Esiteks tuleb vedelsõnniku tase hoida 1 m allpool hoidla ülemist serva. See on vajalik ohjamaks vahtu, mis tekib segamisel vedelsõnnikust bikarbonaatide vabanemisel. Teiseks peab sõnniku pH olema alla 5,5, sest muidu on oht, et sõnnikus oleva kuivaine pH langeb palju aeglasemalt kui vedela osa pH. Sõnnikul on suur puhverdusvõime ja seega peab hoiustamise ajal jälgima, et sõnniku pH oleks piisavalt madal, et vältida ammoniaagi lendumise suurenemist. Kui pH on tõusnud üle kriitilise piiri, siis tuleb täiendavalt hapet hulka segada. Uuringud on näidanud, et hoiustamisel kulub sõnniku hapestamiseks 48,5 l hapet sõnniku kuupmeetri kohta.

Hoidlas hapestamiseks toob hapet transportiv ettevõte vedelsõnnikuhoidla juurde kas 1 m^3 happekonteineritega või paakveokiga (joonis 5.2 ja 5.3) ning pumpab hoidlasse. Sageli toimub happe lisamine siis kui sõnnikut segatakse laotamise eel. Sel juhul aga ei hoita ära hoiustamisaegset ammoniaagi lendumist.

Teise variandina kasutatakse meetodit, kus hape pumbatakse happeveokist osaliselt vedelsõnnikuga täidetud hoidlasse ja seejärel sõnniku lisandumisel hape aja jooksul seguneb sellega.

Hoidlas hapestamise eelisteks on:

1) märkimisväärses koguses ammoniaaklämmastiku säästmine, kui hapestamist tehakse hoiustamise alguses ja piisavas ulatuses
2) ettevõttel ei ole vaja investeerida eriseadmetesse, nii nagu laudas või põllul hapestamise korral.

Puuduseks, on et

1) aegajalt tuleb kontrollida hoidlates sõnniku pH-d ja vajadusel lisada hapet, et happesus püsiks vajalikul tasemel;
2) hapestamist tuleb igas hoidlas eraldi teha.

Joonis 5.2. Harsø Maskiner vedeslõnniku hapestamise ja segamise süsteem (Harsø Maskiner, 2016).

Joonis 5.3. Ørum TF–12 sõnniku hapestamise süsteem (Ørumsmeden A/S, 2016). Ülal vasakul happepihustid monteerituna Ørum GMD vedelsõnniku segurile. Ülal paremal sõnniku segamine ja hapestamine. All on Ørum TF–12 traktori taga rippes, traktori esirippüsteemil on ohutusnõuete tagamiseks puhta vee paak ja dušš. Traktori taustal on väävelhappe paakveok.

Põllumehe kogemus.

Ülo Flaur (Pae Farmer OÜ juhatuse liige): Meie ettevõttes tekib umbes 40 000 m^3 veise vedelsõnnikut aastas ja selle me kõik oleme juba neli aastat väävelhappega hapestanud. Eesmärgiks on säästa sõnnikus olevat ammooniumlämmastikku, rikastada sõnnikut väävliga, soodustada teiste toiteainete omastatavust ja vähendada haisu. Väävelhappega saame me väävlit soodsamalt kui väävelväetistega.

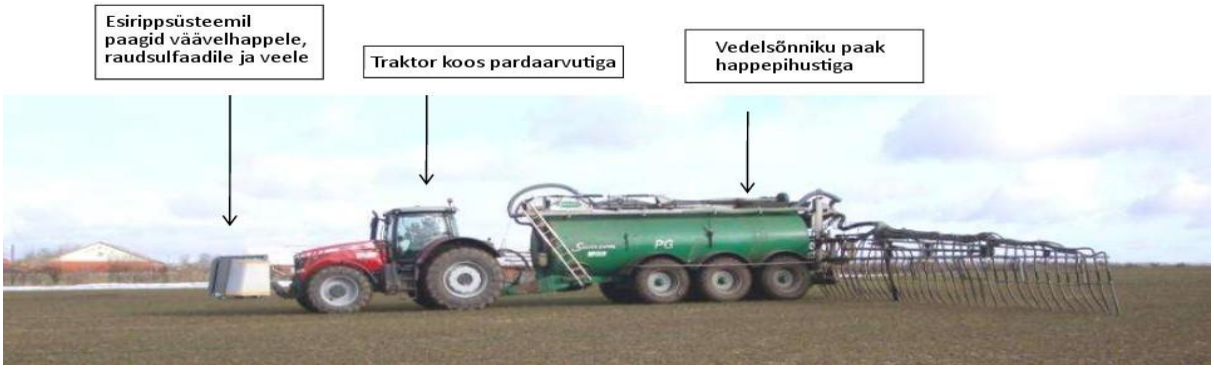
Ka eelmisel sügisel lisasime hoidlatesse 2 kg hapet vedelsõnniku kuupmeetri kohta. Hape toodi kohale 25 t paakveokiga, millel on väävelhappe veoks sobiv roostevabast metallist paak. Paagist pumbati hape pooltäis vedelsõnnikuhoidlasse, kus see aja jooksul hoidla täitumisel ise vedelsõnnikuga segunes. Enne põllule vedamist sõnnik niikuinii segatakse ja siis ühtlustub see kogu hoidla ulatuses.

Meil laotatakse 95% vedelsõnnikust ketas–segamislaoturiga ja 5% lohisvoolikutega, viimasel juhul väetatud maa kohe ka randaalitakse. Harimissügavuseks on keskmiselt 10 cm – maisil sügavamalt ja teraviljadel pindmisemalt. Kogu sõnniku laotame kasvavate kultuurideta maale, nii põllukultuuride külvi kui rohumaade rajamise eel, normiga 2 530 m^3 ha^{-1}. Peame jälgima, et

ei ületa veeseadusega sätestatud lämmastiku ja fosfori piirkoguseid. Fosforitarbe saame enamasti sõnnikuga kaetud ja mineraalväetisena lisaks ei pea eriti ostma. Kas hapestamine on ka saagikust mõjutanud, seda on keerukas öelda, kuna saagikust mõjutavaid tegureid on palju.

5.1.4 Põllul hapestamine

Põllul hapestamisel lisatakse hapet vedelsõnnikusse laotamise ajal (joonis 5.4).



Joonis 5.4. Hapestamise süteem SyreN (BioCover, 2016)

SyreN –süsteem mõõdab vedelsõnniku pH väärtust ja lisab vedelsõnnikusse traktori esiripp-paagist 96%-st väävelhapet ja/või raudsulfaati ($FeSO_4$) (joonis 5.5). Väävelhape muudab vedelsõnniku happelisemaks. Selleks, et vähendada pH umbes 6-ni, on iga kuupmeetri vedelsõnniku kohta vaja keskmiselt 2 liitrit väävelhapet. Ammoniaagi lendumise vähenemine võrreldes töötlemata vedelsõnnikuga on 50%. Raudsulfaadi lisamine vähendab haisu eraldumist vedelsõnniku laotamisel.

Joonis 5.5. Laotamisaegseks happe lisamiseks on traktori esirippsüsteemile kinnitatud kolm paaki. Parempoolsel pildil: paak 1 raudsulfaadi, paak 2 väävelhappe ja paak 3 loputusvee (3) jaoks. (BioCover A/S, 2016)

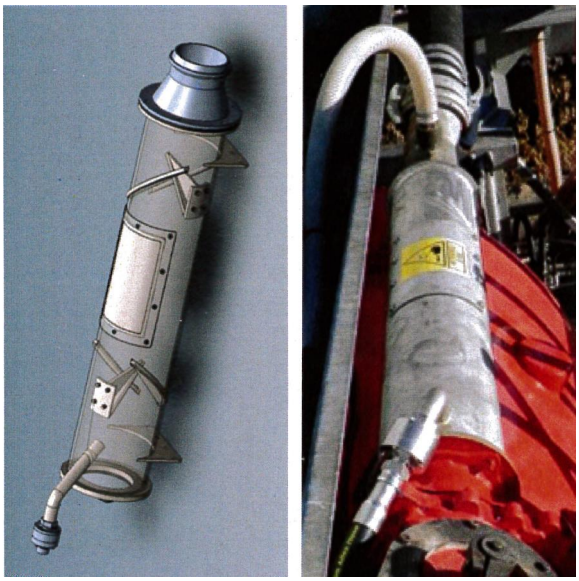
Väävelhappe pihusti on ühendatud seguriga (see segab happe ja sõnniku), mis asub vedelsõnnikulaoturi paagi tagaotsas sõnnukujaoturi juures. Segurist läbi surutava vedelsõnniku ja happe segunemisele aitavad kaasa seguri sisepinnale kinnitatud pööriseid tekitavad ribid (joonis 5.6 vasakul).

Laoturi poomil on pH-andur, mis pidevalt jälgib laotatava materjali pH-d ja reguleerib automaatselt lisatava happe kogust. Süsteem on ehitatud ISOBUS standardite järgi ja kasutab olemasolevat pardaelektroonikat.

Põllul hapestamise eeliseks on

1) võimalus ühte süsteemi kasutada erinevatest lautadest või hoidlatest pärineva vedelsõnniku hapestamiseks ja seega on parem võimalus pakkuda hapestamist teenustöö korras;
2) laotatavat sõnnikut on võimalik hapestada lähtuvalt paagist väljuva sõnniku pH-st;
3) eelnevad sõnnikukäitlussüsteemid ei pea olema happekindlad

Puuduseks on, et kui laotatakse eelnevalt hapestama vedelsõnnikut, siis on hoiustamise ajal lendunud juba märkimisväärne kogus ammoniaaki, eriti katteta sõnnikuhoidlate puhul.



Joonis 5.6. Vasakul happe pihusti ja paremal vedelsõnniku laoturil paagi tagaotsas asetsev segur (Agrotech, 2012)

5.2 Torutoitega vedelsõnniku laotamine

Torutoitega laoturitest on ülevaade antud jaotises 3.2.1. Teadaolevalt täna ei kasuta seda tehnoloogiat Eestis ükski ettevõte.

Lätis on üks ettevõtte, mis pakub vedelsõnniku põllule ja laoturini edastamiseks torutoitega laotamisteenust (joonis 5.7). Laotamist tehakse selleks sobivate, ilma paagita, laotamisagregaatidega. Teenuse hinnad on järgmised:

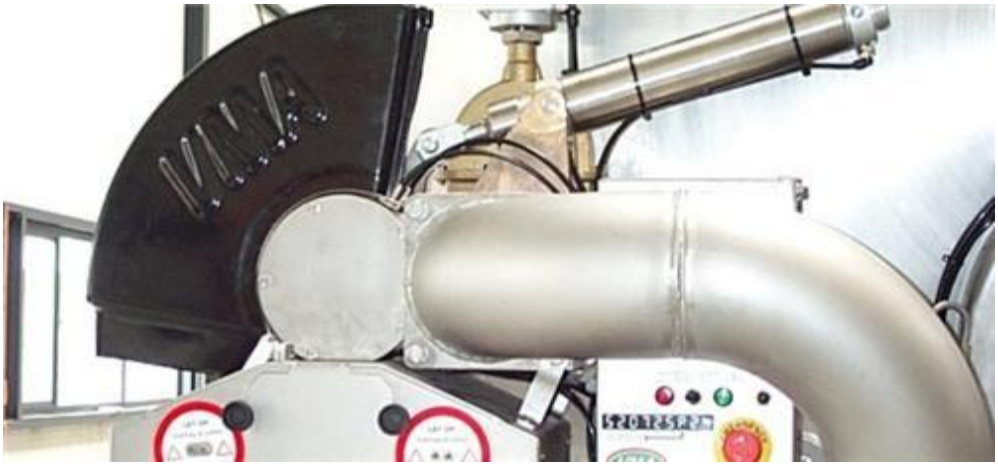
Kuni 3 km (üks süsteem), 1,8 € m^{-3} käibemaksuta pluss diisliküte, mille kulu on 0,36 l m^{-3}.

3–5,5 km (kaks süsteemi)= hind kuni 3 km pluss 1 € m^3.

Joonis 5.7. Läti teenusepakkuja poolt kasutatav torutoitega vedelsõnnikulaotur (Foto: Aragro)

5.3 Vedelsõnnikus olevate toiteainete sisalduse mõõtmine

Hollandis on nõutav igast vedelsõnniku paagitäiest proovi võtmine ja selle analüüsimine. D-TEC on proovivõtmise lihtsustamiseks arendanud seadme MMA- *Slurry Sample Device*, mis on monteeritud vedelsõnniku laoturi külge (joonis 5.8). See seade võtab automaatselt vedelsõnnikust sobivas mahus portsjoni ja pakib tihedalt kinnitatud kotti. Sobivaid pakendeid jaotavad laborid. Tänu sellele on võimalik järgida seadusandluses määratud nõudeid ilma tööjõudluses kaotamata.



Joonis 5.8. Vedelsõnnikust proovi võtmine ja tihedasse kotti pakkimine toimub spetsiaalse automatiseeritud seadme abil (D-Tec, 2016)

MMA seadme puuduseks on, et põllumees saab analüüsiandmed kätte alles mõni päev pärast laotamist. Seetõttu pakuvad enamus vedelsõnnikulaoturite tootjaid lisaseadmena NIR-andureid, mille saab monteerida vedelsõnnikulaoturi külge ja mille abil on võimalik reaalajas registreerida laotamisseadmesse liikuva sõnniku toiteainete sisaldust. Sõltuvalt anduri tootjast on selle anduriga võimalik mõõta sõnnikus oleva üldlämmastiku, ammooniumlämmastiku, fosfori, kaaliumi ja kuivaine sisaldust. Andurit saab kasutada ka laadimispumbal või põllul oleva vahepaagi küljes (joonis 5.9). Kui andur on monteeritud laoturile, siis saab toiteelementide

sisaldusi kasutada sõnnikunormi juhtimiseks, tänu millele on lihtsam rakendada täppisväetamist ja järgida seadusandlusega määratud piiranguid toiteainete kasutamisele. Andurist tulevaid andmeid registreeritakse 1 kord sekundis.

Tänasel hetkel hoiavad andurite tootjad ennast mõõtetäpsusest rääkimisel tagasi. Saksa DLG (*Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft*) töötab praegu välja katsemetoodikat, mille alusel vedelsõnniku toiteainete andureid sertifitseerida. D-Tec – i eksperdid märgivad, et fosfori sisalduse puhul on võimalik jääda 15% ja lämmastiku puhul 10% raamesse.

Joonis 5.9. NIR-andur (Z) monteerituna vedelsõnniku laoturile (vasakul) või pumpamisseadmele (paremal), et teha sõnnikus olevate toiteinete sisalduse mõõtmisi reaalajas (Zunhammer, 2016).

Vedelsõnniku seadmete tootja Veenhuis pakub täiendava võimalusena lisapaaki vedela kunstväetise jaoks (joonis 5.10), mida lisatakse vedelsõnniku laotamise ajal mullale vastavalt vedelsõnniku ja mulla toiteainete sisaldustele ja kultuuri toiteainete tarbele (Veenhuis, 2016b). Vedelsõnniku toiteainete sisaldust mõõdetakse reaalajas nii laoturi paagi täitmise ajal kui laotamise ajal. Lisapaak on monteeritud laotamisagregaadis oleva traktori esirippsüsteemile ja laotamise ajal pumbatakse sealt vedelväetis arvuti poolt määratud koguses otse vedelsõnniku laotamisdüüsidesse.

Joonis 5.10. Vedelväetise paak vedelsõnniku agregaadis oleva traktori esirippsüsteemil (Veenhuis, 2016b).

5.4 Vedelsõnniku separeerimine

Separeerimise eesmärgiks on eraldada vedelsõnnik tahkeks ja vedelaks fraktsiooniks. Ja põhjuseid võib olla palju. Separeerimine vähendab vedelfraktsiooni mahtu 15-30% võrreldes töötlemata vedelsõnnikuga (sõltuvalt separaatori tüübist ja tõhususest). Vedel fraktsioon vajab

üldiselt vähem või üldse mitte segamist enne laotamist. Vedela fraktsiooni laotamisel rohumaadele esineb vähem taimiku saastumist, ja tänu madalamale kuivainesisaldusele imbub see laotamisjärgselt kiiremini mulda ning ammoniaagi lendumine võrreldes töötlemata vedelsõnnikuga on väiksem (Hansen et al., 2005 ; Amon et al., 2006).

Ometi võib summaarne ammoniaagi heitkogus tahke ja vedela fraktsiooni ladustamisel ja laotamisel olla suurem kui töötlemata vedeslõnnikul, see sõltub paljuski tahke fraktsiooni ladustamise tehnoloogiast (Hansen et al., 2005). Seega, kui kasutatakse separeerimist, on oluline, et tahke ja vedela fraktsiooni hoidlad oleksid kaetud. Sõltuvalt separeerimise tehnikast võib vedel osa võib olla madalama P sisaldusega, sest enamik P on seotud orgaanilises aines ja eraldatud tahkesse fraktsiooni. Seetõttu on vedelas fraktsioonis tasakaalustatum N:P suhe ja laotamisnorm on võimalik määrata N vajaduse alusel ületamata P laotamise piiri. Tahke fraktsioon, mis on palju väiksema veesisaldusega, on logistikakuludest lähtuvalt ratsionaalsem kasutada kaugematel põldudel. Lisaks tänu paremale transporditavusele saab tahket fraktsiooni eksportida väetisena või substraadina biogaasi kääritisse.

Sõnniku tahke ja vedela fraktsiooni eraldamiseks on mitmesuguseid tehnoloogiaid. Tavaliselt tehakse küllaltki "jämedat" eraldamist, sest kuivaine separeerimise efektiivsus sõltuvalt fraktsioonide omadustest võib paljude tegurite tõttu suuresti erineda (Hjorth et al., 2009).

Separeerimise viis võib olla passiivne või mehaaniline. Passiivne hõlmab vedelsõnniku setitamist tõkkeseina ees. Mehhaaniline separeerimine võib olla tõhusam, kuid suuremad on ka investeeringud ja kasutuskulud. Mehaaniline separeerimistehnoloogia võidakse kasutada perforeeitud plaati, lintpressi, kruvipressi, tsentrifuug-dekanterit ja ujuv- või kraapidega aeraatorit. Vedelsõnnikus olevate osakeste koagulatsiooniks ja flokulatsiooniks kasutatakse keemilisi lisandeid, et suurendada paljude nende separeerimisviiside efektiivsust.

Allikas : Baltic manure 2013. Examples of Implementing Manure Processing Technology at Farm Level. Knowledge report.

Loe separeerimise kohta ka 4. peatükist "Ülevaade vedelsõnniku käitlustehnoloogiatest kahes Eesti ettevõttes ", ettevõte 1.

5.5 Sõnniku kompostimine

Kompostimine on orgaanilise toormaterjali aeroobne ja termofiilne (40-65 C) lagundamine mikroobide abil, mille tulemusena saadakse stabiilsem orgaaniline materjal, mida nimetatakse kompostiks. Kompostimise protsess sobib paremini tahkele orgaanilisele ainele, kuigi on olemas ka märgkompostimise tehnoloogia. Suuremahuline kompostimine eeldab hapnikuga varustamist, niiskuse reguleerimist, segamist ja materjalis piisava koguse süsiniku ja lämmastiku olemasolu, et tagada tõhus lagundamise protsess ja komposti kvaliteet.
Suure jõudlusega sõnniku kompostimine on üldiselt saavutatud kompostireaktoris (trummelkompostimine) või vaaludes (pikad hunnikud) kompostimisega, sest protsess toimub kontrollitud tingimustes.
Trummelkompostimisel on võimalik kompostimise protsessis tekkinud gaaside (peamiselt NH_3, NOx ja N_2O) eemaldamine enne õhu väljumist keskkonda.
Kompostimist kasutatakse ka vedelsõnniku tahke fraktsiooni töötlemisel. Kompostimise termofiilsele protsess hävitab sõnnikus sisalduvad patogeenid ja umbrohuseemned. Kompostitud sõnnik on lõhnatu väetis elamurajoonide läheduses kasutamiseks. Komposteeritud tahket fraktsiooni saab kasutada ka lehmade allapanuna.

Allikas: Baltic manure 2013. Examples of Implementing Manure Processing Technology at Farm Level. Knowledge report.

Loe kompostimine kohta ka 4. peatükist "Ülevaade vedelsõnniku käitlustehnoloogiatest kahes Eesti ettevõttes", ettevõte 1.

5.6 Vedelsõnniku jahutamine ja sealt soojuse eraldamine

Vedelsõnnikust eraldatud soojusel töötav soojuspump suudab toota märkimisväärse osa kogu sigala vajalikust energiast. Lisaks vedelsõnnikule saab kasutada maapinda, puurauke ja siseõhku soojusallikana.

Eraldatud soojust saab kasutada hoonete kütmiseks, joogivee või pesuvee soojendamiseks.

Peamine eelis on kütteenergia kokkuhoid, tavaliselt kütteõli, kuigi elektri kasutamine kütmisel suureneb. Tavaliselt 1 kW toodetud elektrienergiat kulub 2-4 kW soojusenergia tootmiseks.

Lisaks energiasäästule vähendab vedelsõnniku kanalite jahutamine ammoniaagi, metaani ja süsinikdioksiidi heitkoguseid.

Tänu gaaside eraldumise vähenemisele saab vähendada õhuvahetust, mis tähendab soojuskadude vähenemist ja lõhnaprobleemide vähenemist ümbritsevas keskkonnas.

Põhjamaade klimaatilistes tingimuses saab vaid osa vajalikust küttevõimsusest vedelsõnniku jahutamisest. Külmal talveperioodil vajatakse lisaenergiat soojuspumbale maapinnast, puuraugust või siseõhust. Tavaliselt on tagavaraks ka muude energiaallikate baasil küttesüsteem.

Näiteks ühel Soome seafarmil on soojuse püüdmiseks paigaldatud 600 m pikkune torustik 670 m^2 vedelsõnnikute kanalite üldpinnale, mis tähendab umbes 0,9 m torustiku 1 m^2 läga kanali pinna kohta. Selles laudas (1 000 nuumseakohta), jahutatakse 1 200 m^3 läga 2 000 m^3-st 12 °C ni ja soojuspump toodab sellest vedelsõnnikust 40 kW küttevõimsust. Süsteem sisaldab ka 200 m sügavust puurauku soojusallikana, mida suvel kasutatakse soojussalvestina.

Taluniku hinnangul oleks soojuse taaskasutuse süsteemita aastase kütteõli tarbimine 15 000 liitrit. Soojuse taaskasutusel on aga aastane tarbimine umbes 2 000 liitrit õli.

Vedelsõnniku jahutamine sigalas pikendab läga külmunud olekut talvel hoidlas, kuid vastavalt ettevõtte kogemustele, see ei ole edasi lükanud laotamist.

Source: Baltic manure 2013. Examples of Implementing Manure Processing Technology at Farm Level. Knowledge report.

Innovaatiliste tehnoloogiate kokkuvõtteks.

Põllumajandustootjad on huvitatud, et võimalikult palju sõnnikus sisalduvaid toitaineid jõuaks taimedeni vajalikul määral. Tehnoloogia arendajad pakuvad erinevaid seadmeid, mis aitavad põllumajandustootjal seda aina tõhusamalt teha. See peatükk andis lühikese ülevaate innovaatilistest sõnnikukäitluse tehnoloogiatest, et pakkuda ideid, kuidas täiustada sõnniku kasutamist Eesti ja Läti ettevõtetes.

6 Soovitused efektiivseks ja keskkonnasõbralikuks sõnnikukäitluseks

Vedelsõnnik

Taimejäänuste või haljasväetisega kaetud põllumaa

Koristusjärgsel kõrrepõllu harimisel on soovitatakse anda enne taliviljade külvi lämmastikku 20-30 kg ha põhu lagundamiseks (Väetamise ABC) - mida rohkem põhku, seda rohkem tarbivad vajavad organismid lämmastikku. Sõnniku puhul tuleks antud juhul arvestada orgaanilises aines sidumata ammooniumlämmastikuga. Kui veise vedelsõnnik sisaldab kuupmeetris 1,3 kg ammooniumlämmastikku ja segamislaotamisel lendumine on 5%, siis hektarile 20 kg ammooniumlämmastiku andmiseks tuleks laotada 16,2 t vedelsõnnikut (30/1,3/(1-0,05)=16,2 m^3 ha^{-1}). 30 kg lämmastiku andmiseks tuleks laotada siis 24,3 m^3 ha^{-1}, seega orienteeriv laotamisnormi vahemik on 15-25 m^3 ha^{-1}. Ketastega segamislaotamis võimaldab ühe töökäiguga taimejäänuste või haljasväetise muldaviimist ja vedelsõnniku laotamist. Tulemuseks on harimissügavuses ühtlaselt segatud muld, sõnnik ja eelvilja taimejäänused. Vedelsõnnik segatakse mulla ja taimejäänustega, tänu sellele ammoniaagi lendumine on väike ja haisu ei ole praktiliselt tunda. Vedelsõnnik ei sattu ka liiga sügavale mulda ja tärkavad taimed saavad mõne nädala pärast hakata kasutama ülemises pinnasekihis olevaid toitaineteid.

Teine võimalus on kasutada lohisvoolikutega laoturit. Hapestamata vedelsõnniku korral on ammoniaagi lendumise oht suur ja seetõttu on laotamisjärgselt nii ruttu kui võimalik vaja teostada eraldi tööna mullaharimine.

Põllumaa suviviljade külvi eel

Piidega sulglõhe sisesuslaotur sobib kevadiseks esimeseks mullaharimiseks, kui enamus eelvilja taimejäänustest on kõdunenud ja soovitakse taimede kasvuperioodiks suuremat toiteainete varu vedelsõnnikuga mulda viia. Sulglõhe-sisestusel on ammoniaagi lendumine väga väike ja seetõttu on see sobivaim laotamisviis ammoniaagi lendumiseks soodsate ilmastikuolude korral.

Kui aga põld on kaetud eelvilja taimejäänustega ja on oht piide ummistumiseks, siis on soovitatav ka kevadel kasutada ketastega segamislaotamist.

Kolmas variant on kasutada lohisvoolikutega laoturit. Hapestamata vedelsõnniku korral on ammoniaagi lendumise oht suur ja seetõttu on laotamisjärgselt nii ruttu kui võimalik vajalik teostada eraldi tööna mullaharimine.

Rohumaa või kasvavate kultuuridega põld

Vedelsõnniku laotamiseks sobivad lohisvooliklaoturid ja avalõhe-sisestusseadmed. Majandusarvutuste alusel oli lohisvoolikutega laotamine odavam ammoniaagi lendumiseks ebasoodsate tingimuste (vt ilm) korral. Kui aga tingimused on ammoniaagi lendumiseks soodsad, nagu on enamasti suvepäevadel, siis on soovitatav avalõhe-sisestuslaotamine. Alternatiiviks on kasutada vedelsõnniku hapestamist.
Avalõhe-sisestuslaotamisel on soovituslik laotamisnorm 15–20 m^3 vedelsõnnikut hektarile. Kui kettad on keskelt paksemad või järgneb lõikekettale kiil, siis on maksimaalne laotamisnorm 30 m^3. Suurema normi korral ei mahu vedelsõnnik lõhedesse ja jääb maapinnale.
Rohumaadele sõnniku laotamisel tuleb silmas pidada, et see peaks saama tehtud vähemalt kuus nädalat enne rohu niitmist.

Transport põllule

Vedelsõnniku laotamisseadmed on kallid ja neid peaks võimalikult palju rakendama vedelsõnniku laotamisel. Vedelsõnniku vedu hoidlast põllule on odavam eraldi paakhaagistega, kuna need ei ole koormatud laotamisseadmega ja liiguvad teedel kiiremini kui laotur. Arvutuste kohaselt oli vedelsõnniku paakhaagiste kasutamine umbes 0,5-0,6 € m^{-3} odavam kui laoturiga hoidlast põllule vedu ja laotamine.

Sobiva vahemaa ja maastiku (ei ole häirivaid takistusi, sõiduteid või asulaid) korral tasub alternatiivse võimalusena kalkuleerida vedelsõnniku torutranspordi maksumust.

Et vähendada nii laoturi kui paakhaagise ooteaegasid, on soovitatav põllul kasutada vahemahuteid. Vedelsõnniku laoturi ja vahemahuti ühenduseks saab kasutada ka vooliktoidet. Sellisel juhul saab laotur seisakuteta töötada seni kuni vahepaagis on vedelsõnnikut. Põllu servades, kus enamasti laoturi paaki täidetakse, sõidetakse korduvalt ja seal esineb mulla oluliselt suurem tihenemine. Vooliktoite korral ei ole laoturil oma paaki ja maapinda tallatakse kogu põllu ulatuses ühtlasemalt.

Laotamisnorm hektarile

Arvutused näitavad, et veise vedelsõnniku laotamisnormi 50 m^3 ha^{-1} korral on kulud laotamisele väiksemad kui laotamisnormi 30 m^3 ha^{-1} korral. Põhjuseks on see, et suurema keskmise normi korral on laotamiseks vaja vähem põllupinda ja seetõttu on eeldatud, et veokaugus hoidlast põlluni on lühem. Lisaks on tööaja kasutus efektiivsem, sest vähem on pöördeid põllu otstes. Sealjuures tuleb aga laotamisnormi valikul silmas pidada veeseadusega sätestatud piiranguid ja agronoomilist otstarbekust. Samuti on oluline, et võimalikult vähe sõnnikut jääks laotamisjärgselt põllu pinnale et minimeerida ammoniaagi lendumist ja sõnniku ärakandumist.

Ka tahesõnniku ja sügavallapanusõnniku koguste puhul tuleb arvestada sõnniku toiteainete sisaldusega. Toiteainete sisaldus on tahesõnnikus kõrgem kui vedelsõnnikus ja seetõttu on tahesõnnikut võimalik külvikorras vähem kasutada kui vedelsõnnikut. Lamba tahesõnnik sisaldab näiteks tonni kohta 1,5 kg P ja seega võib viie aasta keskmisena aastas kasutada kuni 16,7 t sõnnikut hektarile.

Teenustöö kasutamine

Sõnniku laotamise seadmete tasuvusaeg on seda lühem, mida suurem on vedelsõnniku kogus ettevõttes. 100 lehmaga piimafarmis oli nii lohisvoolik- kui ka avalõhe-sisestusseadme tasuvusaeg üle 50 aasta. 900 lehmaga ettevõttes oli tasuvusaeg aga alla 4 aasta.

Kui põllumees kavandab investeeringuid sõnnikulaotamise seadmete soetamiseks, siis on soovitatav leida sõnniku käitlemise kulud oma seadmete korral ja võrrelda tulemust teenusepakkujate teenustöö hinnaga. Väiksemate ettevõtete korral on teenusepakkuja teenustöö hind sageli odavam oma laotamisseadmetega laotamise hinnast.

Tehti arvutused 100, 300 ja 900 lüpsilehmaga ettevõtte korral. 300 piimalehmaga ettevõttes olid vedelsõnniku käitluskulud madalaimad kui vedelsõnnik veeti põllule ja laotati oma laoturiga. Kui kasutati paakautodega põllule etteveoteenust, siis olid vedelsõnniku käitluskulud madalaimad suurimas ettevõttes. 100 piimalehmaga ettevõttes olid käitluskulud oma laoturiga nii suured, et odavam oli kasutada vedelsõnniku laotamise täisteenust.

Poolvedel sõnnik

Tehnoloogilisest seisukohast on soovitatav vältida poolvedelat sõnnikut (12-20%), sest see ei ole hästi pumbatav ega ka virnastatav ning on raske laotada nii vedelsõnniku- kui ka tahesõnniku laoturiga. Seetõttu on soovitatav poolvedel sõnnik separeerida tahkeks ja vedelaks fraktsiooniks.

Separeerimata poolvedelat sõnnikut on sobivaim laotada kinnise põhja ja tiheda vootõkkega universaallaoturiga.

Tahesõnnik

Tahesõnniku laotamiseks on soovitatavad püstbiitrite ja laotamisketastega laoturid. Neil on suurem haardelaius ja parem laotamisühtlus kui rõhtbiitritega laotamisketasteta laoturitel. Soovitatav on kasutada laotamisseadme ees oleva vootõkkega või tagaluugiga laotureid, et vältida sõnniku mahapudenemist veol.

Ilmastikutingimused

Soodne ilm sõnnikulaotamiseks on niiske, tuulevaikne, pilvine ja jahe. Samas pinnas ei tohi olla külmunud, lumega kaetud ega üleujutatud. Vältida tuleks ka laotamist tugeva vihma ajal, sest sõnniku ärakandumise oht on suur.

Soovitused sõnnikuproovi võtmise kohta

Sõnnikuproov tuleks võtta sellisest sõnnikust, mis on valmis laotamiseks. Vedelsõnnikust, mis segatakse enne laotamist, peaks proovi võtma pärast sõnniku segamist. Proovi peaks võtma vähemalt viies korduses, mitmest hoidla punktist, erinevatest sügavustest. Proovid segatakse ühes nõus, sealt võetakse keskmine proov, mida hoitakse hermeetilises pakendis jahedas kuni antakse analüüsimisele. Sel juhul on suurem tõenäosus saada andmeid, mis kajastavad laotatava sõnniku omadusi keskmiselt ja millega saab arvestada väetamisplaani tegemisel. Vaata ka Sõnniku proovivõtu juhendit Põllumajandusuuringute keskuse kodulehelt. http://pmk.agri.ee/index.php?valik=166&keel=1&template=template2teenused.html.

Seni ei määrata Põllumajandusuuringute Keskuse sõnniku põhi- ega täisanalüüside raames pH-d. Kuna aga pH mõjutab sõnnikus ammoniaagi osakaalu ja seega lendumist, ning ka hapestamisel happe koguse määramisel on oluline seda teada, siis on soovitatav lasta tellida ka sõnniku pH. **Soovitatav on Põllumajandusuuringute Keskusel lülitada ka pH määramine sõnniku põhi- ja täisanalüüside paketti.**

Tehnoloogiate soodustamine seadustes ja toetussüsteemides

Soovitatav on seadusandlike mehhanismide ja toetussüsteemidega soodustada sõnniku laotamisviiside kasutamist, mille korral sõnnik saaks laotamise ajal või kohe laotamise järel mulda viidud. Põllumajandusettevõtted vajavad masinaparki, mis aitab tagada sõnniku andmine agronoomiliselt kõige sobivamal ajal ja viisil. See aitab tagada, et sõnnikus olevad toitained jõuaksid võimalikult palju kultuurtaimedeni ja võimalikult vähe keskkonda. Segamis- või sisestuslaotamise seadmete kasutamisel on ammoniaagi lendumine väiksem kui teiste tehnoloogiate korral. Seega tuleks soodustada nende tehnoloogiate kasutamist.

Sõnniku veo- ja laotamiseteenuse kättesaadavuse soodustamine aitab ka väiksematel ettevõtetel kasutada tehnoloogiaid, mis on soodne nii põllule kui keskkonnale.

Kasutatud kirjandus

AGRI-FACTS. 2008. Ammonia Volatilization from Manure Application. Alberta Agriculture and Rural Development. Agriculture Stewardship Division. www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex12064 (09.02.2011).

Agrometer. 2016a. Agrometer DP/APV Pumpenwagen für Gülle. http://www.agrometer.dk/de/bereiche/gulleausbringung/pumpenwagen/ [19.02.2016].

Agrometer. 2016b. Agrometer SDS 7000/7200 Schleppschlauch Gülleausbringer. http://www.agrometer.dk/de/bereiche/gulleausbringung/sds-7000-7200-gulle-ausbringer/ [19.02.2016].

ALFAM raport. 2001. ELi uuringu ALFAM (Ammonia Losses from Field Applied Manure) lõpparuanne. http://www.alfam.dk/Results/ALFAM%20final%20report.pdf [04.01.2013].

Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Moitzi, G.; Amon, T. 2006. Greenhouse gas and ammonia emission abatement by slurry treatment. International Congress Series 1293: 295-298.

ASAE Standard. 2003. Agricultural Machinery Management. http://www3.abe.iastate.edu/ae340/2006/ASAE_D497.4.pdf [09.02.2011].

Best Available Techniques... 2015. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs (Final Draft, 2015). http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IRPP_Final_Draft_082015_bw.pdf [03.05.2016].

BioCover A/S. 2016. BioCover SyreN. http://www.biocover.dk/galleri/billeder-af-syren/ [03.05.2016].

Bogun, G. & Jõgeva. V. 2005. Soovitused vedel- ja tahesõnniku kasutamiseks majandis, tagamaks keskkonnakaitsenõuete täitmise. EMVI. 32 lk. http://www.eria.ee/public/files/Soennik_soovitused_2005_1.pdf [21.01.2016].

D-TEC. 2016. D-TEC Slurry Sample Device. https://www.d-tec.nl/monsterapparatuur/itm/62618 [03.05.2016].

European Nitrogen Assessment. 2011. http://www.nine-esf.org/ENA [01.01.2011].

Fliegl. 2016a. Breitverteiler. www.fliegl-agrartechnik.de [21.01.2016].

Fliegl. 2016b. Güllegrubber Rasant. www.fliegl-agrartechnik.de [21.01.2016].

Hansen, M.N.; Birkmose, T.S.; Mortensen, B.; Skaaning, K. 2005. Effects of separation and anaerobic digestion of slurry on odour and ammonia emission during subsequent storage and land application. In: P Bernal, R Moral, R Clemente, C Paredes (Eds.) Sustainable organic waste management for environmental protection and food safety. FAO and CSIC, pp 265-269.

HELCOM raport. 2013. Airborne nitrogen loads to the Baltic Sea. http://www.helcom.fi/Lists/Publications/Airborne%20nitrogen%20loads%20to%20the%20Baltic%20Sea.pdf [14.03.2016].

HiSpec. 2016a Chains, Flails & Spreading Discs. www.hispec.net [28.01.2016].

HiSpec. 2016b. HiSpec Side Spreader. www.hispec.net [22.01.2016].

Hjorth, M.; Christensen; K.V.; Christensen M.L.; Sommer, S.G. 2009. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. Agron. Sustain. Dev. 30: 153-180.

Huijsmans, J.F.M. 2003. Manure application and ammonia volatilization. Doctoral Thesis. Wageningen University. 160 lk.

Jeantil. 2016. The range of Jeantil spreaders. http://www.jeantil.com/Contenus-Jeantil/phototheque.php?f1=6 [29.02.2016].

Kirchner. 2016. KIRCHNER side spreader. www.kirchner-soehne.com [22.01.2016].

Kuhn. 2016. ProTwin Slinger. Side discharge spreaders. Kuhn. http://www.kuhnnorthamerica.com/us/range/manure-spreaders/side-discharge-spreaders/8110.html [29.02.2016].

Kverneland. 2016. Kverneland Kultistrip http://download.kvernelandgroup.com/Media/Brochures/KV_kultistrip-gb.pdf [12.02.2016].

LMR. 2016. LMR AZENE PTU-20D. www.lmr.lv/en/catalog/spreaders [22.01.2016].

MTK. 2011. Udredningsrapport for teknologier – med særligt henblik på miljøeffektive teknologier til husdyrproduktionen. MTK - Forsuring af svinegylle. Landbrugsinfo. www.landbrugsinfo.dk/ledelse/Strategi/Miljoestrategi/Sider/MTK_Forsuringafsvinegylle.aspx [01.01.2011].

Möscha. 2016. MÖSCHA Schwenkverteiler. www.moescha.de [21.01.2016].

Nørregaard Hansen, M. 2008. Effect of slurry acidification on emissions of the greenhouse gases methane and nitrous oxide from slurry storage facilities. AgroTech. www.infarm.dk/documents/00095.pdf [01.01.2012]

Ørumsmeden A/S. 2016. TANK-FORSURING TF-12. http://www.oerum-smeden.dk/default.efact?pid=7577 [02.05.2016].

Pichon. 2016. Universal "Big D" – EL7. Pichon. www.pichonindustries.com [21.01.2016].

Pronar. 2016 Pronar manure spreader N161. www.pronar.pl/en/produkt [22.01.2016].

PVT veisekasvatuses, 2007. SAASTUSE KOMPLEKSNE VÄLTIMINE JA KONTROLL. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasvatuses. http://www.ippc.envir.ee/docs/PVT/PVT_Veised-t2iendatud111007.pdf

Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 3. 2014. Summaarne sõnniku kogus laudas ja selle toiteelementide sisaldus pärast säilitamist sõnnikutüüpide lõikes loomade aastaringse laudaspidamise korral. Riigi Teataja RT I, 16.07.2014, 8. https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1160/7201/4008/PM_m71_lisa3.pdf# [14.03.2016].

Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 4. 2014. Summaarne sõnniku kogus laudas ja selle toiteelementide sisaldus pärast säilitamist sõnnikutüüpide lõikes loomade perioodilise karjatamise korral. Riigi Teataja RT I, 16.07.2014, 8. https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1160/7201/4008/PM_m71_lisa4.pdf# [14.03.2016].

Põllumajandusministri määrus nr 71, lisa 6. 2014. Eri tüüpi sõnnikus sisalduv taimedele omastatav lämmastik, fosfor ja kaalium loomade aastaringse laudaspidamise korral. Riigi Teataja RT I, 16.07.2014, 8. https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1160/7201/4008/PM_m71_lisa6.pdf# [14.03.2016].

Põllumajandusministri määrus nr 71. 2014. Eri tüüpi sõnniku toitainete sisalduse arvestuslikud väärtused, sõnnikuhoidlate mahu arvutamise metoodika ja põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsiendid. Riigi Teataja RT I, 16.07.2014, 8. https://www.riigiteataja.ee/akt/116072014008 [22.01.2016].

Richard Western. 2016. SDS manure spreaders. Richard Western Ltd http://richard-western.co.uk/sds-manure-spreaders/ [29.02.2016].

Sørensen, C. 2003. A Model of field Machinery Capability and Logistics: the Case of Manure Application. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development.

Zunhammer. 2016. Zunhammer Van-control. http://www.zunhammer.de/media/presse-bilder/naehrstoffmessung [02.05.2016].

Thompson, R.B. & Meisinger, J.J. 2002. Management factors affecting ammonia volatilization from land-applied cattle slurry in the Mid-Atlantic USA. J. Environ. Qual. 31:1329-1338.

Vacutec. 2016. Schleppschlauch Vacutec-Gülletechnik. Vakutec Gülletechnik GmbH. www.vakutec.at/rtc-vakutec/1039 [19.02.2016].

Vana ja uue veeseaduse võrdlus. 2016. http://epkk.ee/wp-content/uploads/2016/01/veeseaduse-muudatuste-tabel.pdf [29.01.2016].

Veekaitsenõuded... 2013. Veekaitsenõuded väetise- ja sõnnikuhoidlatele ning siloladustamiskohtadele ja sõnniku, silomahla ja muude väetiste kasutamise ja hoidmise nõuded. Riigi Teataja. RT I, 09.07.2013, 13. https://www.riigiteataja.ee/akt/720428?leiaKehtiv [29.01.2016].

Veenhuis. 2016a. Veenhuis Schlauchzufuhrsystemen. http://www.veenhuis.com/products.asp?pagename=slangtoevoersystemen&pageType=products&categoryID=112 [19.02.2016].

Veenhuis. 2016b. Veenhuis Nutri-Flow-System. http://www.veenhuis.com/product.asp?productID=659&pageType=products&categoryID=110&pagename=Tanks [02.05.2016].

Veeseadus. 2016. Riigi Teataja. RT I, 06.01.2016, 14. https://www.riigiteataja.ee/akt/106012016014?leiaKehtiv [29.01.2016].

Viil, P. ja Kadaja, J.2013. Vedelsõnniku keskkonnasäästlik käitlemine. ETKI. Väljaandja: Eesti põllu- ja maamajanduse nõuandeteenistus.

Vogelsang. 2016. Xtill S. Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH. www.vogelsang.info/xtill/en/download_prospekte/ [21.01.2016].