



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022

Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja

Synteesiraportti

Eeva Vainio (toim.)

Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja

Synteesiraportti

Eeva Vainio (toim.)

Kirjoittajat:

Kirsi Järvenranta, Petri Kapuinen, Marjo Keskitalo, Sanna Kykkänen, Hannu Känkänen,
Sari Luostarinen, Pasi Mattila, Olli Niskanen, Ansa Palojärvi, Taina Pennanen, Liisa
Pesonen, Katariina Pussi, Ville Pyykkönen, Kimmo Rasa, Tapio Salo, Alan Schulman,
Ari-Matti Seppänen, Antti Suokannas, Elina Tampio, Pirjo Tanhuanpää, Maarit
Termonen, Sirja Viitala, Perttu Virkajärvi, Erika Winquist ja Jani Lehto

Viittausohje:

Vainio, E. (toim.). 2022. Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Järvenranta, K., Kykkänen, S., Mattila, P., Salo, T., Termonen, M. & Virkajärvi, P. 2022. Typpi maatalouden tuotantopanoksena Suomessa. Julkaisussa: Vainio, E. (toim.). 2022. Maatalouden typpihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 7–19.

Eeva Vainio ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-6739-7968>



ISBN 978-952-380-457-9 (Painettu)

ISBN 978-952-380-458-6 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-458-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Eeva Vainio (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisuvuosi: 2022

Kannen kuva: Hannu Känkänen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.omapumu.com/fi/>

Tiivistelmä

Eeva Vainio (toim.), Kirsi Järvenranta, Petri Kapuinen, Marjo Keskitalo, Sanna Kykkänen, Hannu Känkänen, Sari Luostarinen, Pasi Mattila, Olli Niskanen, Ansa Palojärvi, Taina Pennanen, Liisa Pesonen, Katariina Pussi, Ville Pyykkönen, Kimmo Rasa, Tapio Salo, Alan Schulman, Ari-Matti Seppänen, Antti Suokannas, Elina Tampio, Pirjo Tanhuanpää, Maarit Termonen, Sirja Viitala, Perttu Virkajärvi, Erika Winqvist ja Jani Lehto.

Typpi on tärkein lannoitteista saatava kasvinravinne kivennäismaiden, erityisesti savimaiden, viljelyssä. Mineraalilannoitteiden (eli väkilannoitteiden) typpi on peräisin ilmakehän typpikaasusta, joka nykyisin sidotaan ammoniakiksi käyttäen fossiilisista lähteistä, pääasiassa maakaasusta, saatavaa vetyä. Lisäksi ammoniumnitraattilannoitteiden valmistuksessa tarvittava typpihappo valmistetaan ammoniakista. Suomessa ei ole omaa ammoniakkituotantoa, mutta maasamme jalostetaan typpihappoa sekä siitä edelleen typpilannoitteita ja muita lannoitetuotteita, kuten seoslannoitteita merkittävä määrä myös vientiin.

Ammoniakkia ja valmiita typpilannoitteita on tähän saakka tuotu pääosin Venäjältä, jossa niiden tuotanto perustuu laajalti maakaasun käyttöön vedyn lähteenä. Typpilannoitteiden ja niiden raaka-aineiden, eli ammoniakkin ja maakaasun tuontiin on löydettävä vaihtoehtoisia lähteitä. Omavaraisuuden lisäämiseksi olisi tärkeää sekä kasvattaa biokaasun tuotantomäärää että jalostaa siitä biometaania, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää myös ammoniakkin valmistuksessa. Vetyä on mahdollisuus tuottaa biometaanin lisäksi tuotekaasusta tai elektrolyysin avulla.

Suomen pelloille on viime vuosina tullut kokonaistyyppä yhteensä noin 230 000 tonnia vuodessa, josta epäorgaanisissa lannoitevalmisteissa (mineraalilannoitteet) 140 000–150 000 tonnia ja tuotantoeläinten lannassa noin 70 000 tonnia. Loppuosa tyyppistä tulee kierrätyslannoitevalmisteista, biologisesta typensidonnasta, kylvösiemenestä ja typpilaskeumana.

Suomessa viljeltyä peltoalaa on yhteensä n. kaksi miljoonaa hehtaaria, josta suurimmalla osalla viljellään viljoja (50 %) ja nurmia (40 %). Teollisia typpilannoitteita (mineraalilannoitteet) käytetään kaikille viljelykasveille tavanomaisessa viljelyssä. Vaikka viljat ovat yleisin peltojen käyttömuoto, nurmien typpilannoitustarve on suurempi ja siten suhteellisesti suurempi osa typpilannoitteista levitetään nurmille. Mineraalityppilannoite pyritään levittämään pelloille kasvin kannalta optimaaliseen aikaan, jolloin hyväksikäyttö on maksimaalinen ja hävikit mahdollisimman pieniä. Typen käyttömääriä lannoitteena rajoitetaan sen epätoivottujen ympäristövaikutusten vuoksi nitraattiasetuksella.

Viljelykiertoja ja -menetelmiä on kehitettävä ruoantuotannon kestävyuden ja kilpailukyvyyn varmistamiseksi vähentämällä typpilannoitustarvetta ja parantamalla typen hyväksikäyttöä. Metsätaloudessa lannoituksen tarve on huomattavasti vähäisempää, ja aihetta käsitelläänkin tässä raportissa vain lyhyesti.

Palkokasvien viljelyn lisäämisellä voidaan vähentää viljelyn riippuvuutta väkilannoitetyypen käytöstä. On osoitettu, että jos palkokasvien viljelyn kaikki mahdollisuudet käytettäisiin täysimääräisesti tavanomaisten tilojen kivennäismailla, vähenisi teollisesti valmistetun typen tarve Suomessa noin 60 prosentilla. Ennen teollisen ammoniakkin tuotannon keksimistä kaikki kasvien tarvitsema typpi oli – suoraan tai epäsuorasti – peräisin mikrobien biologisesta typensidonnasta. Maaperän mikrobistolla on keskeinen rooli myös typen kierron muissa vaiheissa kasvien typen käyttöönoton tehostamisesta typen peltoympäristöstä karkaamisen estämiseen. Palkokasvien typensidontaa voidaan tehostaa tehokkaiden typensitojabakteerien valinnalla ja niiden siirrostamisella siemeniin.

Maaperän ominaisuuksien ja sääolosuhteiden tiedetään vaikuttavan maaperän typen saatavuuteen ja kasvien kykyyn hyödyntää tarjolla oleva typpi. Maaperän ominaisuudet ja kasvukunto määrittävät pitkälti myös pellolle soveltuvat viljelytekniikat ja käytettävät viljelypanokset. Siten lannoitustarpeen määrittely paikkakohtaisesti on lähtökohta tuotantopanosten käytön tarkentamiseen. Täsmäviljelyssä selvitetään kasvuolosuhteiden vaihtelun laatu, suuruus ja tarkka sijainti ja määritellään peltoon vyöhykkeet siten että vaihtelua voidaan hallita tekniikan avulla. Täsmälannoituksella on raportoitu typen säästön vaihtelevan välillä 0–40 %.

Mineraalilannoitteille vaihtoehtoisena typen lähteenä voidaan käyttää lantaa ja orgaanisperäisiä kierrätyslannoitteita. Myös maatalouden kasvibiomassoista ja yhdyskuntien ja teollisuuden sivuvirroista on mahdollista saada lisäravinteita kiertoon. Kotieläinten lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoinen typpi toimii hyvin nurmen ja viljan lannoitteena, etenkin kun typpihävikki saadaan minimoitua. Lietemäisten biomassojen kuljetuksessa keskeisenä haasteena on korkea vesipitoisuus ja typen haihtuminen varastoinnin, siirtojen ja levityksen aikana.

Tähän synteesiraporttiin on koottu uusin tutkimustieto biologisen typensidonnan hyödyntämisestä, kierrätyslannoitteiden käytöstä sekä täsmäviljelystä ja -lannoituksesta lannoitetypen tarpeen vähentämiseksi. Siinä myös kuvataan globaalin typen kaupan nykytilanne sekä typen tuotantomahdollisuudet Suomessa, ja esitetään tiekartta typpilannoiteteollisuutemme Venäjäriippuvuuden purkamiseksi. Viimeisessä luvussa pohditaan typpilannoitteiden saatavuudessa esiintyvien haasteiden vaikutuksia huoltovarmuuteen ja nostetaan esiin keskeisiä tulevaisuuden tutkimustarpeita.

Asiasanat: mineraalilannoitteet, ammoniakki, lanta, kierrätyslannoitevalmisteet, biologinen typensidonta, palkokasvit, viherlannoitus, sekaviljely, täsmäviljely, biomassat

Sisällys

1. Typpi maatalouden tuotantopanoksena Suomessa	7
1.1. Viljelysmaan käyttö Suomessa.....	9
1.2. Typpilannoituksen käyttömäärät	9
1.3. Orgaaninen typpi maassa ja lannoitteissa.....	10
1.4. Nurmien typpilannoitus.....	11
1.5. Viljojen typpilannoitus	12
1.6. Typpihävikit.....	15
1.7. Typpilannoituksen vähentäminen	16
1.8. Typpilannoituksen tarve metsänviljelyssä ja taimitarhoilla.....	17
2. Typen globaali kauppa ja Venäjän tuonnin tyrehtymisen vaikutukset hintoihin, saatavuuteen ja Suomen lannoitehuoltovarmuuteen	20
2.1. Typen globaali tuotanto ja kysyntä.....	20
2.2. Ammoniakin maailmanmarkkinatilanne	22
2.3. Ammoniakin tuotanto Euroopassa	24
2.4. Typpilannoitteiden markkinat	25
2.5. Vaikutukset hintoihin, saatavuuteen ja Suomen lannoitehuoltovarmuuteen	26
3. Typpilannoitteiden tuotantomahdollisuudet Suomessa.....	29
3.1. Ammoniakin tuotantomahdollisuudet Suomessa.....	29
3.2. Vetytuotannon mahdollisuudet ammoniakin valmistukseen Suomessa.....	29
3.3. Ammoniumsulfaatti.....	31
3.4. Ammoniakki biokaasulaitoksen mädätteestä	31
3.5. NO _x -N plasmateknologialla	32
4. Biologiset prosessit kasvin typensaannin turvaajana.....	34
4.1. Maaperämikrobiston mahdollisuudet edistää peltokasvien typen saatavuutta.....	34
4.1.1. Biologinen typensidonta.....	34
4.1.2. Muut kasvin kasvua edistävät mikrobit	36
4.1.3. Symbionttiset sienet; typen tehostettu ja oikea-aikainen vapauttaminen kasvin käyttöön orgaanisista lannoitevalmisteista	37
4.2. Typpikasvien viljely osana viljelykiertoja.....	38
4.2.1. Palkokasvien lisäämisen vaihtoehdot	39
4.2.2. Typpihyötyä kumppanikasveille.....	40
4.2.3. Reunaehtoja palkokasvien lisäämiselle	41
4.2.4. Jalostuksella parempia lajikkeita ja tehostettua typen käyttöä.....	42

5. Maatalouden, yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden biomassojen kierrätyspotentiaali, prosessointi lannoitevalmisteiksi, logistiikka ja käyttö maataloudessa.....	46
5.1. Biomassojen potentiaali Suomessa.....	46
5.2. Prosessointitekniikat ja niiden mahdollisuudet.....	48
5.3. Lannan ja kierrätyslannoitevalmisteiden logistiikka	50
5.4. Vaatimukset ja rajoitteet kierrätyslannoitevalmisteiden valmistukselle ja käytölle.....	53
5.5. Orgaanisten typpilannoitteiden satovaste.....	54
6. Täsmäviljelyn ja -lannoituksen potentiaali ja optimointi – tuotantopanoksen tarkka kohdennus	59
6.1. Täsmäviljelyn vaatima tekniikka	60
6.2. Nykyaikaiset menetelmät maaperän ominaisuuksien mittaamiseen.....	61
6.3. Talousvaikutukset	62
7. Mahdolliset vaikutukset huoltovarmuuteen sekä ratkaisuehdotuksia ja tutkimustarpeita	65

1. Typpi maatalouden tuotantopanoksena Suomessa

Kirsi Järvenranta, Sanna Kykkänen, Pasi Mattila, Tapio Salo, Maarit Termonen, Perttu Virkajärvi

Suomen pelloille on viime vuosina tullut kokonaistyppeä yhteensä noin 230 000 tonnia vuodessa, josta epäorgaanisissa lannoitevalmisteissa (mineraalilannoitteet) 140 000–150 000 tonnia ja tuotantoeläinten lannassa noin 70 000 tonnia (Taulukko 1). Loppuosa tyypestä tulee kierrätyslannoitevalmisteista, biologisesta typensidonnasta, kylvösiemenestä ja typpilaskeumana. Mineraalilannoitteiden typpi on käytännössä suoraan kasvien käytettävissä, mutta lannan ja muiden typen lähteiden lannoitusvaikutus riippuu niissä olevasta tai niistä vapautuvasta liukoisesta typen määrästä. Lannoitusvaikutuksen nopeus ja teho riippuu lannan ja kierrätyslannoitevalmisteiden liukoisesta ja orgaanisesta typen suhteista, lantatyypistä sekä levitystekniikasta ja ajoituksesta. Lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden tyypestä pääsääntöisesti vain liukoisesta typen osuus on mineraalilannoitteiden typen veroista kasvinravitsemuksessa.

Peltoviljelyn sadon sisältämä typpimäärä on viime vuosina ollut kasvukauden sääoloista riippuen 120 000–170 000 tonnia (Taulukko 1). Suotuisat kasvuolosuhteet lisäävät satoa ja sadon sisältämän typen määrää. Iso osa sadon tyypestä kiertää takaisin pelloille lannassa ja kierrätyslannoitteissa. Uutta tyypeä maatalouden kansalliseen ravinnekiertoon tuovat mineraalilannoitteet ja jotkin kierrätyslannoitevalmisteet, biologinen typensidonta, typpilaskeuma ja maatalouden ulkopuolelta tuleva tuotantoeläinten rehu (esim. rehun tuonti ulkomailta ja kalan käyttö turkiseläinten rehuna). Myös tuontielintarvikkeiden tyypeä päätyy maatalouteen jätevesilietteen lannoituskäytön kautta.

Taulukko 1. Peltoviljelyn tyypitase Suomessa 2017–2019.

	2017	2018	2019
Pellolle tullut typpi, N 1 000 kg	232 614	231 119	238 534
Epäorgaaniset lannoitevalmisteet	138 948	138 385	146 798
Lanta: eläinten erittämä N – lannasta haihtunut N	71 488	70 614	69 198
<i>eläinten erittämä N</i>	<i>100 396</i>	<i>99 198</i>	<i>97 765</i>
<i>ammoniakkina (NH₃) haihtunut N</i>	<i>23 854</i>	<i>23 583</i>	<i>23 394</i>
<i>typen oksideina (NO₂ ja N₂O) haihtunut N</i>	<i>5 054</i>	<i>5 001</i>	<i>5 173</i>
Kierrätyslannoitteet (jätevesiliete, perunan soluneste ym.)	4 000	4 000	4 000
Muut lähteet: biologinen typensidonta, kylvösiemen, typpilaskeuma	18 179	18 119	18 538
Pelloilta poistettu typpi, N 1 000 kg	136 256	126 377	165 913
Viljelykasvien siemen- ja juuressato	70 662	56 505	79 664
Kokonaisena korjatun kasvuston sato (esim. rehunurmet ja kokoviljarehu)	57 376	61 789	78 385
Laiduntaminen	7 552	7 552	7 085
Pelloilta poistetut kasvinjätteet (esim. olki)	667	531	779
Tyypitase (pellolle tullut N - pelloilta poistettu N)	96 358	104 741	72 620
Tyypitase hehtaaria kohti, N kg/ha			
Käytössä oleva maatalousmaa, 1000 ha	2 272	2 272	2 274
Pellolle tullut N, kg/ha	102	102	105
Pelloilta poistettu N, kg/ha	60	56	73
Tyypitase, N kg/ha	42	46	32
Metsälannoitteiden typpi, N 1 000 kg	6 103	7 047	7 483

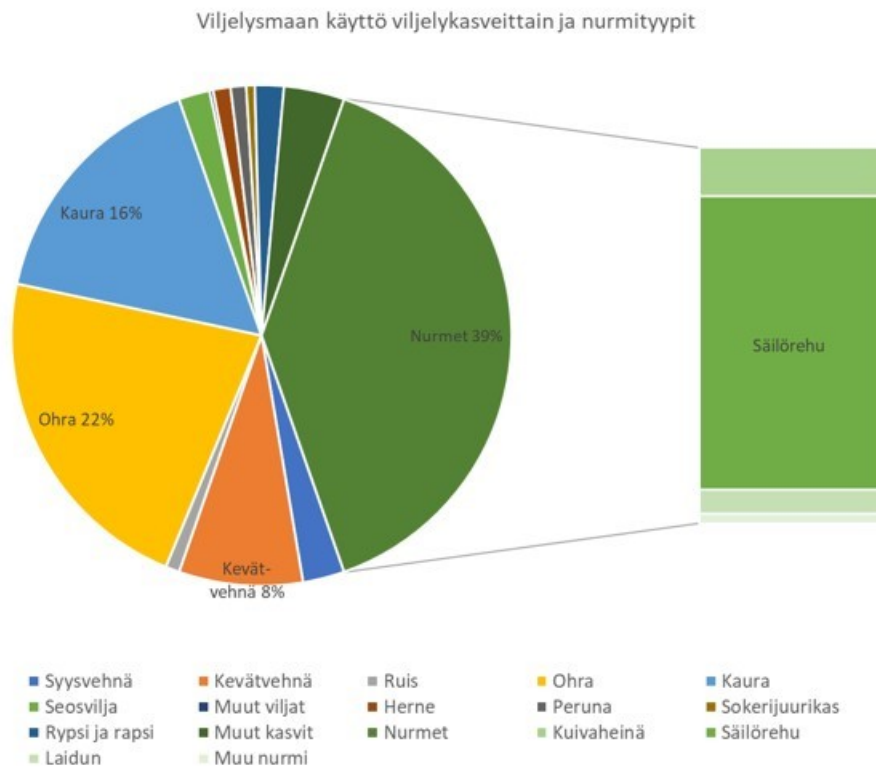
Lähteet: Eurostat Eurobase-tietokantataulu Gross nutrient balance (aei_pr_gnb).

Kierrätyslannoitteet: Marttinen et al. 2018. Towards a breakthrough in nutrient recycling. Natural resources and bioeconomy studies 26/2018. Natural Resources Institute Finland, Helsinki.

Metsälannoitteet: Evira/Ruokavirasto, lannoiteyritykset.

1.1. Viljelysmaan käyttö Suomessa

Suomessa viljeltyä peltoalaa on yhteensä n. kaksi miljoonaa hehtaaria, josta suurimmalla osalla viljellään viljoja (50 %) ja nurmia (40 %) (Luke 2022a, Kuva 1). Viljoilla valtaosa alasta on ohran ja kauran viljelyssä, vehnän ja rukiin osuuden jäädessä alle kymmeneen prosenttiin. Nurmista suurin osa on säilörehunurmia, ja loput nurmialasta on kuivaheinää, laidunta, nurmikasvien siementuotantoalaa sekä tuorerehualaa. Teollisia typpilannoitteita (mineraalilannoitteet) käytetään kaikille viljelykasveille tavanomaisessa viljelyssä. Vaikka viljat ovat yleisin peltojen käyttömuoto, nurmien typpilannoitustarve on suurempi ja siten suhteellisesti suurempi osa typpilannoitteista levitetään nurmille. Nurmentuotannossa lannoitteiden käyttö painottuu säilörehualalle. Typpi on tärkein sadon tuottoon vaikuttava ravinne, joka tuottaa yleisesti korkean sato-vasteen. Typpilannoituksen lisääminen tai typen hyväksikäytön tehostamistoimenpiteet eivät kuitenkaan nosta satoa, jos jokin muu tekijä rajoittaa sitä aiemmin. Tällaisia tekijöitä ovat mm. peltojen peruskunto (ojitus ja maan rakenne), muiden ravinteiden saatavuus sekä riittävä kosteus. Typpilannoituksen lisääminen yleensä nostaa sadon valkuaispitoisuutta senkin jälkeen, kun sato ei enää juuri kasva.



Kuva 1. Viljelysmaan käytön jakautuminen Suomessa viljelykasvien suhteen v. 2021. Palkkikaa-vio havainnollistaa eri nurmityyppien osuuden nurmialasta. (Luke 2022a).

1.2. Typpilannoituksen käyttömäärät

Typen käyttömääriä lannoitteena rajoitetaan sen epätoivottujen ympäristövaikutusten vuoksi. Nitraattiasetus (VN 1250/2014) koskee koko Suomea ja rajaa vuosittaisen typpilannoituksen maksimissaan 250 kg liukoista typpeä hehtaarille ja josta lannan osuus voi olla maksimissaan 170 kg kokonaistyppeä hehtaarille vuodessa. Taulukkoon 2 on koottu ympäristökorvausjärjestelmän (2014–2022) ehtojen mukaiset korkeimmat sallitut typpilannoituksen käyttömäärät

nurmilla ja viljoilla. Valtaosa suomalaisista maatiloista kuuluu ympäristökorvausjärjestelmään. Vuonna 2018 sen ulkopuolella oli 13,6 % perustukea saaneista tiloista ja 5,7 % peltopinta-alasta. Pinta-alallisesti eniten ympäristökorvausjärjestelmän ulkopuolelle on jäänyt viljanviljelyä, lypsykarjataloutta ja muuta kasvintuotantoa päätuotantosuuntanaan harjoittavia tiloja. Kotieläintiloista kananmunien tuotantoa, siipikarjataloutta ja siipikarjan lihan tuotantoa harjoittavista 28–36 % oli ympäristökorvauksen ulkopuolella (Hyvönen ym. 2020).

Suomen lannoitelainsäädäntöä päivitetään parhaillaan. Lannoitusrajat ovat siirtymässä osaksi lainsäädäntöä, jolloin typen lannoitusta jatkossa sääntelee nitraattiasetus (VN 1250/2014).

Taulukko 2. Ympäristökorvauksen (MMM 2015) mukaiset säilörehunurmien ja viljojen (sato-tavoite 4000 kg/ha) typpilannoitusrajoitukset (kg/ha/v). vm=vähämultainen, m=multava, rm=runsasmultainen, erm=erittäin runsasmultainen, org= orgaaniset maat.

Kasvi	Tarkennus	Typpilannoitusrajat multavuuden mukaan			
		vm + m	rm	erm	org
Yksi ja monivuotiset nurmet, vihantavilja, laidun	Korjattaessa vähintään kaksi satoa, laidunnurmi	200	190	180	160
	Korjattaessa vähintään kolme satoa	240	230	220	190
Nurmen perustaminen suojakasvin kanssa keväällä	Korkeintaan kasvilajikohtaisen taulukon typpimäärä suojakasville				
Ohra		100	90	80	60
Kaura		100	90	80	60
Kevätvehnä		120	110	100	70
Syysruis		130	120	100	60
Syysvehnä		150	140	130	90

1.3. Orgaaninen typpi maassa ja lannoitteissa

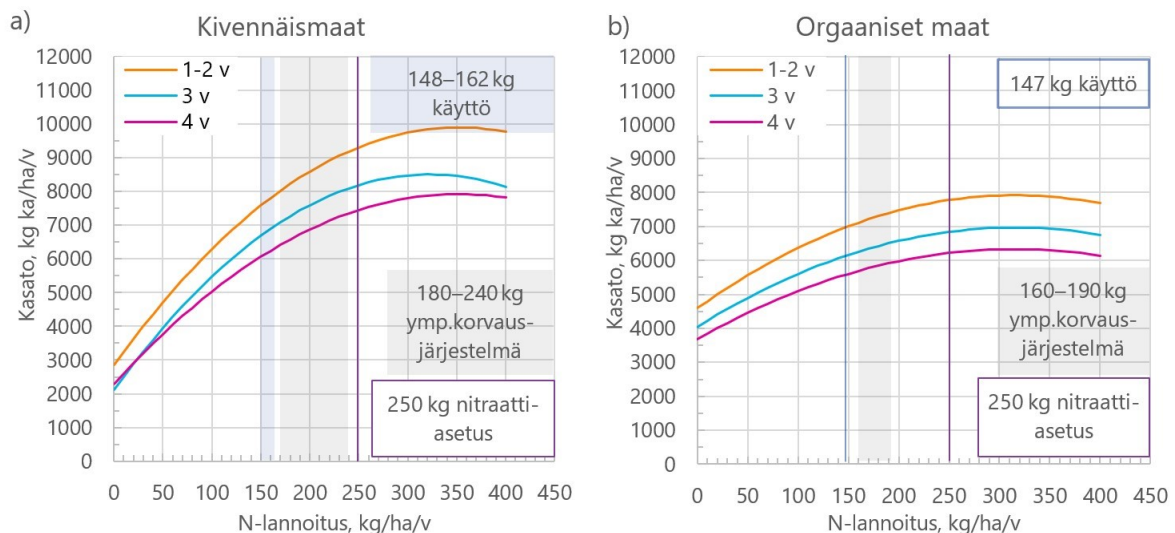
Viljelymaa sisältää orgaanista typpeä, joka on sitoutunut orgaanisen ainekseen. Kasvit eivät voi suoraan hyödyntää orgaanisessa muodossa olevaa typpeä, mutta sitä mineralisoituu mikrobi-toiminnan kautta kasveille käyttökelpoiseen epäorgaaniseen eli liukoiseen (ammoniumtyppi $\text{NH}_4^+\text{-N}$, nitraattityppi $\text{NO}_3^-\text{-N}$) muotoon. Mineralisoituminen on runsaampaa lämpimissä ja riittävän kosteissa olosuhteissa. Mitä matalampi orgaanisen aineksen pitoisuus maassa on, sitä tärkeämpi rooli typpilannoituksella on sadontuotolle (Kuvat 2a ja 2b). Kivennäismailla orgaanisen aineksen pitoisuus vaihtelee alle 3 %:sta (vähämultainen) 19,9 %:iin (erittäin runsasmultainen) ja siten myös maasta potentiaalisesti vapautuvassa typen määrässä on suurta vaihtelua. Suurin osa kivennäismaista kuuluu multavuusluokkiin "runsasmultainen" (56 %) ja "multava" (36 %) (Lemola ym. 2018). Orgaanisia viljelymaita (multa- ja turvemaita), joissa typen vapautuminen on voimakkainta, on noin 13 %. Orgaanisia maita on eniten Keski- ja Pohjois-Suomessa.

Mineraalilannoitteiden typen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$) katsotaan olevan kasveille täysin käyttökelpoista. Kotieläintiloilla merkittävä osa typpilannoituksesta tulee lannasta, jossa osa tpeestä on orgaanisessa muodossa ja vapautuu pidemmällä aikavälillä, osittain kasvukauden ulkopuolella.

Läheskään kaikki vapautuva typpi ei siten ole kasvien hyödynnettävissä. Lannan, kuten myös muiden tyyppipitoisten orgaanisten lannoitevalmisteiden, typpilannoitusvaikutus poikkeaa siis mineraalilannoitteista. Orgaanisia lannoitevalmisteita käsitellään tarkemmin Luvussa 5.

1.4. Nurmien typpilannoitus

Typpi on tärkein nurmen sadontuottoon vaikuttava tekijä, ja sen lannoitusvaste on selkeä (Kuva 2). Kuva perustuu suomalaisiin, mineraalilannoitteilla toteutettuihin typpilannoituskokeisiin aikaväliltä 1971–2021. Kivennäismailla 4 v -käyrä sekä orgaanisilla mailla 3 v ja 4 v -käyrät on muodostettu tasokorjauksella 1–2 v -käyrästä perustuen nurmen iän vaikutukseen satotasoon. Nurmen suuri typen tarve johtuu runsaasta biomassan tuotosta ja 2–3 kertaa kasvukaudessa toistuvista sadonkorjuista. Typen lannoitusvaste eroaa merkittävästi kivennäismailla ja orgaanisilla mailla. Kivennäismailla tehdyillä lannoituskokeilla ilman typpilannoitusta on päästy keskimäärin satotasoon 2000 kg ka/ha/v, kun orgaanisilla mailla (orgaaninen aines $\geq 20\%$) sato on ollut noin 4000 kg ka/ha (Kuva 2; Luke 2021 julkaisematon), mikä vastaa kivennäismailla noin 30 kg ja orgaanisilla mailla n. 90 kg sadon mukana poistunutta typpeä.



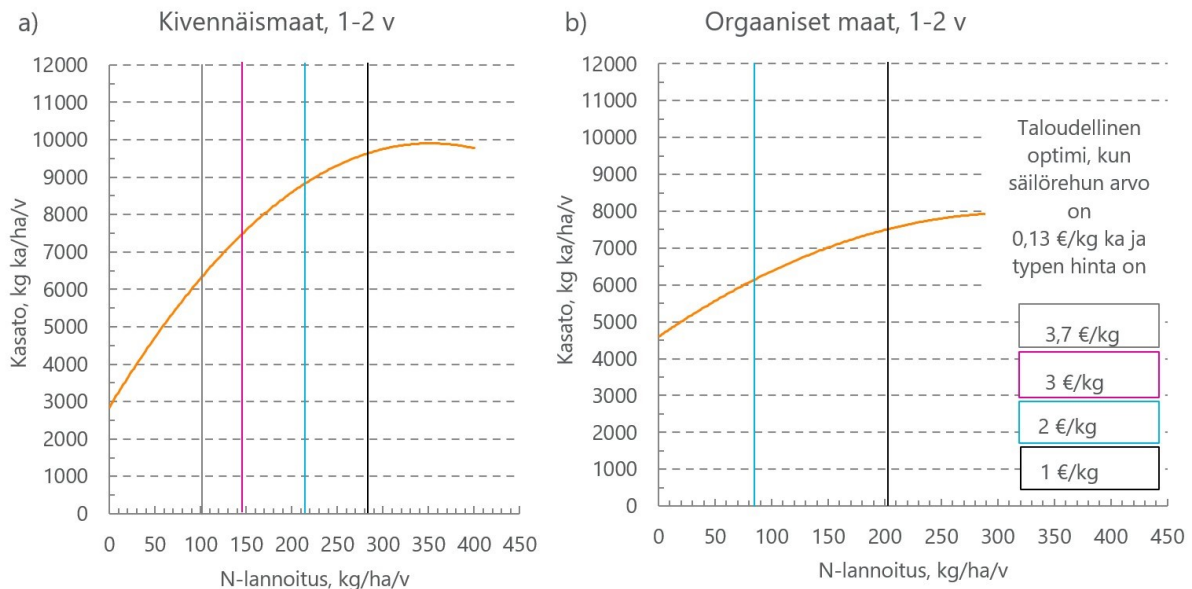
Kuva 2. Typpilannoituksen satovaste a) kivennäismailla ja b) orgaanisilla mailla eri-ikäisillä nurmilla (Luke 2021, julkaisematon, yhteistyössä Atria Suomi Oy ja Valio Oy). Nitraattiasetuksen sallima maksimimäärä (MMM 2000), ympäristökorvausehtojen mukaiset maksimimäärät (MMM 2015; Taulukko 2), ja liukoisen typen keskimääräinen käyttö karjanlantaa käytettäessä (Turtola ym. 2017) on merkitty kuvaan eri värein.

Keskimääräinen liukoisen typen lannoitusmäärä nurmilla, joiden lannoitus perustuu osin lantaan, on kivennäismailla 148–162 kg N/ha/v ja orgaanisilla mailla 147 kg N/ha/v (Turtola ym. 2017). Tästä lannan liukoisen typen osuus lienee n. 20 % (Kotietu-hankkeen Dremfia-mallinnus). Lannan käyttömäärä vaihtelee. Myös typensitojakasveja hyödynnetään, tärkeimpänä niistä puna-apila. Luonnonmukaisessa tuotannossa typensitojakasvit ovat kiinteä osa viljelyä, ja lannan lisäksi ainoa typen lähde. Orgaanisia lannoitevalmisteita hyödynnetään vain vähän ja niiden käyttöä rajoitetaan lannoitevalmisteen sisältämiin ainesosiin liittyvillä säädöksillä (ks. Luku 5.4).

Keskimääräinen typpilannoitustaso kivennäismailla on suhteellisen alhainen satovasteodotukseen sekä ympäristökorvauksen (Kuva 2; Taulukko 2) että nitraattiasetuksen (250 kg liukoista N/ha/v)

maksimikäyttömääriin nähden. Alhainen käyttömäärä johtuu ensisijaisesti siitä, että keskimäärin tiloilla on enemmän peltoalaa kuin eläinten rehuntarve vaatii. Tilanne ei kuitenkaan ole sama kaikilla tiloilla, vaan etenkin laajentavilla tiloilla pelloista saattaa olla pulaa. Laajaperäiseen tai matalampiin satotasoihin tähtäävään viljelyyn kannustavat myös tuet, joita myönnetään hehtaariperusteisesti sadonkorjuuvelvoitteella. Nurmipalkokasvien viljely vähentää osaltaan typpilannoitustarvetta (ks. Luku 5.3).

Rehuntarve, lannoituksen satovaste ja lannoitteiden hinta vaikuttavat siihen, mihin nurmen typpilannoituksen taloudellinen optimi asettuu. Mitä korkeampi on lannoitukselle odotettava satovaste tai saatavan sadonlisän arvo ja mitä alhaisempi on lannoitteiden hinta, sitä kannattavammasi typpilannoituksen nostaminen muodostuu. Kuvat 3a ja 3b havainnollistavat typen hinnan ja heinänurmen satovasteen vaikutusta taloudellisesti kannattavaan lannoitusmäärään. Taloudellisen optimin on arvioitu olevan kohdassa, jossa saadun sadonlisän arvo (0,13 €/kg ka) ylittää lannoitustypen hinnan (€/kg N). Säilörehun arvon määrittäminen on hankalaa, koska sitä ei tavallisesti myydä eikä sillä ole markkinahintaa. Arvo voidaan määrittää esimerkiksi suhteessa ohran hintaan ja sen energia-arvoon tai suhteessa keskimääräiseen tuettuun tuotantokustannukseen. Kuvan laskelmassa säilörehun arvon nostaminen 0,20 €/kg ka muuttaa tulosta merkittävästi: kivennäismailla typpikilon maksaessa 2 €/kg kannattaa vielä lannoittaa suurimpien sallittujen määrien mukaan ja vielä 3,7 € kilohinnalla 188 kg N/ha. Tämä edellyttää, ettei mikään muu tekijä, kuten kuivuus, rajoita sadontuottoa tyyppiä aiemmin. Apilapitoisessa nurmessa kannattava lannoitus riippuu typensidonninan tehokkuudesta, mihin vaikuttaa apilan osuus seoksessa.



Kuva 3. Esimerkki mineraalityppilannoituksen taloudellisesta optimista eri mineraalilannoitteiden hinnoilla. Kun Suomensalpietarin (N 27 %) hinta on 1000 €/tn, typpikilon hinta on 3,7 €/kg. Sadon arvona on käytetty 0,13 €/kg ka (kuten Turtola ym. 2017). Säilörehun arvo vaikuttaa oleellisesti laskelman tuloksiin.

1.5. Viljojen typpilannoitus

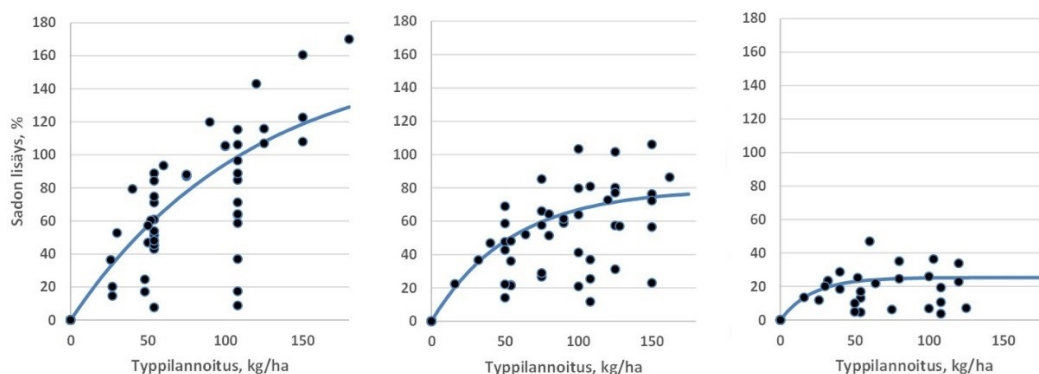
Viljojen typpilannoitussuositukset muuttuivat Euroopan unioniin liittymisen jälkeen maatalouden ympäristöohjelmien typen käytön rajoituksiksi. Viimeisimmän päätymässä olevan ohjelman typpilannoituksen rajoitukset vaihtelevat kasvien ja maalajien mukaan eloperäisten

maiden 50:sta kg/ha vähämultaisten ja multavien maiden 120:een kg/ha (Taulukko 2). Lohkoilla, joilla satopotentiaali on korkea, typpilannoitusta voidaan lisätä 45–50 kg/ha. Viljan normisatoina pidetään 3000–4000 kg/ha, ja parhaiden lohkojen sato voi typpilannoituksen suunnittelussa lisääntyä 1250–1500 kg/ha (MMM 2015). Lohkokirjanpitoaineistosta kerätyn aineiston perusteella eloperäisillä multa- ja turvemaidella käytetään näiden rajoitusten mukaisia typpilannoituksia. Kivennäismaiden typpilannoituksen keskiarvot ovat hieman pienempiä kuin mitä ympäristökorvauksen ehdot sallivat. Multamailla saavutetaan samoja satotasoja kuin kivennäismailla, mutta turvemaiden kauran ja ohran satotasot 300–600 kg/ha alhaisempia (Taulukko 3). Ympäristökorvauksen päättyessä typpilannoitusta rajoittaa vain nitraattiasetus, joten typpilannoitusta ohjaa jatkossa taloudellinen tulos.

Taulukko 3. Hyötyä taseista -hankkeen lohkokirjanpitoaineiston mukaiset viljojen typpilannoituksen ja satojen keskiarvot kivennäis-, multa- ja turvemaidella vuosina 2010–2018. Turvemaidella viljeltiin luotettavaa laskentaa varten riittävästi ainoastaan ohraa ja kauraa. Jos typpilannoituksen tai satotason yliviitteen kirjain eroaa viljalajin rivillä, keskiarvot eroavat tilastollisesti merkitsevästi.

Viljat	Typpilannoitus maalajeittain, kg/ha			Satotasot maalajeittain, kg/ha		
	Kivennäismaa	Multamaa	Turve	Kivennäismaa	Multamaa	Turve
Ohra	83 ^a	63 ^b	58 ^c	3 708 ^a	3577 ^a	3134 ^b
Kaura	76 ^a	61 ^b	59 ^b	3 553 ^a	3537 ^a	3221 ^b
Kevätvehnä	103 ^a	81 ^b		4 051	4209	
Syysruis	95	71		3 432	3511	
Syysvehnä	134 ^a	83 ^b		4 568	4220	

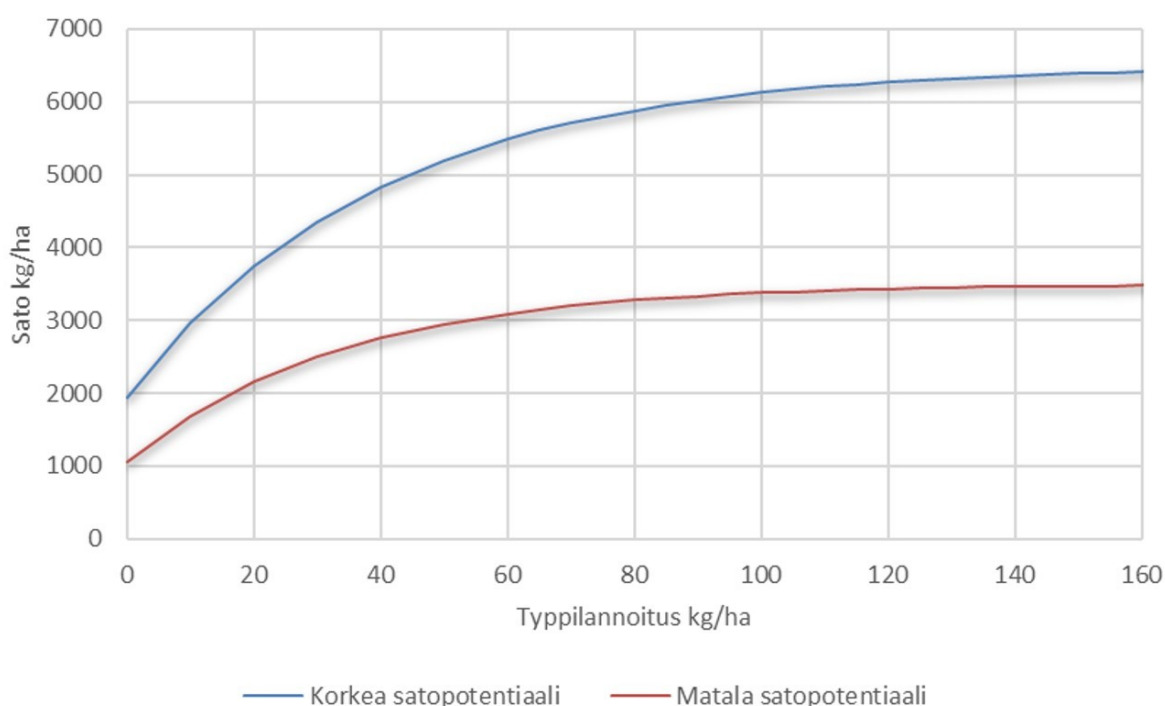
Viljojen typpilannoituksen optimointiin vaikuttavat etenkin maasta vapautuva typpi ja kasvukauden satopotentiaali. Multavuuden ja satotason mukaisten Ympäristökorvauksen typpilannoitusrajoitusten voidaan arvioida vastaavan keskimääräistä typpilannoituksen optimia. Peltolohkoaineiston kivennäismaissa havaitut hieman alhaisemmat typpilannoitustasot aiheutuvat luultavasti viljelijän tiedostamasta alentuneesta satopotentiaalista tai käytettävien panosten tarkoituksellisesta vähentämisestä. Mikäli viljelijä joutuu alentamaan typpilannoitusta arvioidusta optimista, satovasteen muutoksen voidaan olettaa seuraavan Valkaman ym. (2013a) kenttäkoeaineistojen perusteella kehittämiä yhtälöitä.



Kuva 4. Ohran sadon lisääntyminen (% typpilannoittamattomasta) typpilannoituksen vaikutuksesta. Vasemmalla jyväsat < 2300 kg/ha, keskellä 2300–3000 kg/ha ja oikealla > 3000 kg/ha ilman typpilannoitusta (Turtola ym. 2020).

Valkama ym. (2013a) jakoivat kenttäkoeaineiston kahteen tai kolmeen ryhmään sen perusteella, miten kokeessa saatiin jyväsatoa ilman typpilannoitusta. Jos lannoittamattomien ruutujen sato oli heikko, typpilannoitus tuotti hyvän vasteen ja tavanomainen N 80–100 kg/ha kaksinkertaisti sadon. Jos pelto tuotti kohtuullisen 2000–3000 kg/ha sadon ilman typpeä, tavanomainen typpilannoitus nosti satoa 60–75 % (Kuva 4). Typpilannoitus korreloi selvästi jyvän valkuaispitoisuuteen (esim. Valkama ym. 2013b), ja kevätvehnän riittävä typpilannoitus elintarvikekäyttöä varten on tärkeää.

Viljojen typpilannoituksen taloudellisen kannattavuuden muutosta voidaan tarkastella kahden satovasteeltaan erilaisen lohkon kautta. Korkean satopotentialin lohkolla 95 % potentiaalisesta sadosta (6175 kg/ha) saavutetaan 105 kg/ha typpilannoituksella. Matalan satopotentialin lohkolla 95 % satopotentialista (3325 kg/ha) saavutetaan 85 kg/ha typpilannoituksella (Kuva 5).



Kuva 5. Typpilannoituksen satovaste korkean ja matalan satopotentialin lohkolla. Esimerkit laskettu Valkaman (2013a) ja Turtola ym. (2020) aineistojen pohjalta.

Lannoitetyypin hinta on noussut heinäkuusta 2021 alkaen, ja viljan hinta on noussut keväästä 2021 ja erityisen voimakkaasti vuoden 2022 alkupuolella. Seuraavassa tarkastelussa on laskettu typen ja viljan hintojen suhteiden muutoksen vaikutusta kannattavaan typpilannoitukseen kuvassa 5 esitetyille kahdelle satovastefunktiolla. Kustannuksissa on otettu huomioon ainoastaan typen ja viljan hinnat. Tuotetun viljasadon muutosta on verrattu tilanteeseen, jossa sekä viljan (150 €/tn) että lannoitetyypin (1 €/kg) hinnat ovat alhaisimmat.

Taulukko 4. Viljan ja typpilannoitteen hintojen vaihtelun vaikutus kannattavaan typpilannoitukseen sekä sadon määrään huonosti ja hyvin tuottavalla lohkolla.

	Alhainen satopotentiaali, 3500 kg/ha			Korkea satopotentiaali, 6500 kg/ha		
	Typpilannoitteen hinta €/kg			Typpilannoitteen hinta €/kg		
	1	2	3	1	2	3
Viljan hinta €/tn	Typpilannoitus, kg/ha			Typpilannoitus, kg/ha		
150	80	55	45	115	85	70
300	115	80	65	140	115	95
450	115	95	80	155	130	115
	Sadon muutos, kg/ha			Sadon muutos, kg/ha		
150	0	-248	-413	0	-287	-534
300	144	0	-126	119	0	-167
450	144	81	0	162	80	0

Jos viljan hinta (150 €/tn) ei nouse suhteessa typpilannoitteeseen (1→3 €/kg), lannoitus vähenee 25–40 % ja tuotettu sato 5–13 % (Taulukko 4). Jos typpikilon hinta on 3 € ja viljan hinta 300 €/tn, typpilannoitus alenee noin 20 %, mutta sadon alentuminen olisi vain 3–4 %.

1.6. Typpihävikit

Mineraalilannoituksesta ja lannanlevityksestä aiheutuvat typpihävikit riippuvat sekä hetkellisistä olosuhteista että pidempiaikaisesta typen hyväksikäytöstä ja taseesta. Mineraalityppilannoite pyritään levittämään pelloille kasvin kannalta optimaaliseen aikaan, jolloin hyväksikäyttö on maksimaalinen ja hävikit mahdollisimman pieniä.

Nurmen pintaan levitetyn lannan liukoisesta typestä voi haihtumista suosivissa olosuhteissa haihtua jopa 40 % ammoniakkinä (Mattila & Joki-Tokola 2003). Tämä vastaa määränä n. 20–25 kg N/ha tavanomaisen kertalevityksen (n. 30 t/ha) sisältämästä liukoisesta typestä. Sijoitettuna – n. 40 % levitetystä lietelannasta (Luke 2022b) – ammoniakin haihtuminen on hyvin vähäistä. Viljanviljelyssä lanta yleensä muokataan maahan ja ammoniakkihävikki riippuu sääolosuhteiden lisäksi levityksen ja muokkauksen välisestä ajasta. Typpilannoituksesta ja lannanlevityksestä aiheutuvat N₂O -päästöt ovat ainemäärältään melko vähäisiä, muutamia kiloja hehtaarialta vuodessa. Niiden merkitys ilmastonmuutoksen kannalta on kuitenkin merkittävä, koska N₂O on n. 300 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu.

Mineraalitypellä lannoitetun viljan typpihuuhtouma karkeilla kivennäismailla on vaihdellut välillä 2–7 kg N/ha/v (Syväsalu ym. 2006; Jaakkola 1984) ja nurmen 1–15 kg/ha/v (Salo ja Turtola 2006). Karjanlantaa käytettäessä N-huuhtoumien riski kasvaa, erityisesti nurmen uusimisen yhteydessä. Laitumen typpihuuhtoumat ovat korkeampia kuin säilörehunurmen. Orgaanisilla mailla mineralisaatio on jatkuvaa ja huuhtoumat suurempia kuin mineraalimailla. Turvemailla nurmilta mitattu huuhtoutuminen oli n. 20 kg N ja viljoilta 40 kg N/ha/v (Myllys 2020). Pelto-lohkojen keskimääräinen valtakunnallinen typpitase on noin 50 kg/ha ja alueelliset typpitaseet vaihtelevat välillä 10–80 kg/ha (Luke 2022c). Suora typpitase ennustaa kuitenkin huonosti typen

huuhtoutumista vuositasolla. Huuhtoutuminen riippuu suuresti pellon kasvukunnosta, viljelytekniikasta, olosuhteista sekä orgaanisten lannoitteiden typen kumuloitumisesta ja mineralisaatiosta.

Lannankäsittelyssä tulee suosia typen haihtumista vähentäviä menetelmiä, kuten sijoittavat ja multaavat levitysmenetelmät, lannan nopea siirto eläinsuojasta varastoon, pintojen puhtaanapito ja lantavarastojen kattaminen tai peittäminen. Myös lannan prosessointi vaikuttaa typpihävikkiin sekä lannasta aiheutuviin KHK-päästöihin valitusta tekniikasta ja lopputuotteiden varastointi- ja levitysmenetelmistä riippuen (ks. Luku 5).

1.7. Typpilannoituksen vähentäminen

Heinänurmen korkean satovasteen vuoksi typpilannoituksen vähentäminen vähentää sadon määrää merkittävästi. Vaikutukset korostuvat kivennäismailla, joissa maasta vapautuvan typen määrä on orgaanisia maita huomattavasti vähäisempi. Maidon- ja lihantuotannon kannalta lannoituksen vähentämisellä voi myös olla vaikutusta rehun ravitsemukselliseen laatuun ja siten tuotokseen. Keskimääräinen typpilannoitustaso on jo nyt huomattavasti suosituksia matalampi, minkä vuoksi vähentämismahdollisuudet ovat rajalliset.

Toimenpiteet ostotyypen vähentämiseksi ovat tilakohtaisia ja riippuvat mm. rehutarpeesta, eläinmäärän ja viljelyalan suhteesta, väkirehun hinnasta, lohkojen peruskunnosta ja käytössä olevasta kalustosta. Toimenpiteet voivat kohdistua viljelyn rakenteen uudelleen järjestämiseen ja/tai suoriin viljelytekniisiin toimenpiteisiin. Viljelyä voidaan esimerkiksi laajaperäistää, jolloin sato hankitaan suuremmalta pinta-alalta pienemmällä tuotantopanoksilla. Jos peltoa on niukasti saatavilla, typen käyttöä voi tehostaa viljelytekniisin toimenpitein. Lannan osalta toimenpiteet kohdistuvat eri vaiheissa tapahtuvaan hävikin vähentämiseen (mm. varastointi, levitysmenetelmä, levitysolosuhteet, levitysjankohta, lannankäsittely; separointi, typpi-inhibiittorit, kts. Luku 5). Tavanomaisessa tuotannossa palkokasvien, etenkin puna-apilan, viljelyä voidaan lisätä (ks. Luku 4).

Kotieläintaloudessa väkirehun, eli rypsin ja viljojen ostohinta vaikuttaa siihen, miten pellonkäyttö kannattaa tiloilla järjestää. Kun ostovilja on halpaa, ei tilan kannata viljellä rehuviljaa itse. Markkinatilanteeseen perustuva korkea viljanhinta kannustaa tiloja omavaraiseen väkirehuun, joka voi johtaa siihen, että nurmirehu viljellään pienemmällä alalla, mikä nostaa hehtaarisatotavoitetta ja edelleen kannattavaa typpilannoitusmäärää. Jos typpilannoitteiden saatavuus heikkenee oleellisesti, joutuvat tilat todennäköisesti lisäämään viljelypinta-alaa rehun tarpeen täyttämiseksi. Toisena vaihtoehtona on eläinmäärän vähentäminen. Orgaanisten peltojen viljelyintensiteetin lisäämisellä voidaan vähentää lannoitustypen tarvetta jossain määrin. Toisaalta orgaanisten maiden viljelyn korkeat kasvihuonekaasupäästöt luovat paineita niiden viljelyn vähentämiseen.

Kuivien jaksojen yleistyessä esimerkiksi kastelun kannattavuutta tulisi tutkia. Riittävä kosteus on merkittävä sadontuottoon ja typen hyväksikäyttöön vaikuttava tekijä, joka parhaimmillaan jopa kaksinkertaistaa tuotetun sadon määrän. Muista pitkän aikavälin toimenpiteistä mm. kasvinalostuksella ja sienikumppaneilla voidaan tehostaa nurmen typenkäyttöä (kts. Luku 4).

Ehdotettujen toimenpiteiden käytännön toteuttamisessa on esteitä ja hidasteita. Esimerkiksi lannan levityskaluston hinta, urakoinnin saatavuus tai peltojen kivisyys voivat rajoittaa tai estää siirtymistä sijoittavaan lannan levitykseen. Myös lohkojen sijainti tilakeskukseen nähdessä vaikuttaa toimenpiteiden kannattavuuteen.

Suomessa ympäristökorvausjärjestelmän aikana käytettyjen viljojen typpilannoitustasojen (Taulukko 2 ja 3) voidaan arvioida vastanneen melko hyvin viljelijöiden arvioimaa taloudellista optimia. Typpilannoitusrajojen sallima typen käyttö on korkeampi kuin mitä typpeä keskimäärin käytetään (Luostarinen ym. 2021). Typpilannoituksen tehostamista on mahdollista saavuttaa lähinnä alentamalla korkeita lohkokohtaisia typpitaseita, joita esiintyy pääosin alhaisten sato-
tasojen takia. Jaettu typpilannoitus antaa viljelijälle mahdollisuuden tarkentaa typpilannoitusta kasvukauden satopotentiaalin mukaan. Täsmäviljelyn keinoja typpilannoituksen tarkentamiseen käsitellään tämän raportin Luvussa 6 ja biologista typensidontaa typpilannoituksen korvaamiseksi Luvussa 4. Alus- ja kerääjäkasvien käytön avulla voidaan myös vähentää typen hävikkiä. Mikäli typen hinta nousee nykyistäkin korkeammalle ja typpilannoitteiden saatavuus heikkenee, alhaisten satopotentiaalin lohkoja jätettäneen pois intensiivisestä viljelystä. Peltojen tuotantokyvyn arviointiin on kehitetty mm. PeltoOptimi-työkalu (<https://www.opal.fi/peltoop-timi/>, Peltonen-Sainio ym. 2018).

1.8. Typpilannoituksen tarve metsänviljelyssä ja taimitarhoilla

Tietolaatikossa 1 annetaan lyhyt katsaus lannoitetyypen käyttöön metsätaloudessa, jossa vain kivennäislannoitteiden käyttö on sallittua, ja jossa lannoituksen tarve on huomattavasti vähäisempää kuin maatalouden puolella.

Tietolaatikko 1: Lannoitetyppi metsätaloudessa. Metsätaloudessa lannoitetyyppeä käytetään etupäässä metsälannoitteena sekä metsätaimtarhoilla taimien kasvatuksessa. Metsälannoitusten vuosittainen määrä on viime vuosikymmeninä vaihdellut suuresti ja siten myös lannoitetyypen käyttö on vaihdellut vuosittain arviolta 750–22 000 tonnin välillä. Viime vuosina typen metsälannoituskäyttö on ollut runsaat 8000 tonnia N vuodessa. Metsätaimtarhoilla taimien kasvatuksessa mineraalityypen tarve on akuutimpi kuin metsälannoituksissa. Lannoitusmäärät vaihtelevat tarhoilla (Flykt ym 2008), mutta 160 miljoonan vuosittaisen myytäväksi toimitetun taimimäärän pohjalta voidaan arvioida, että lannoitetyypen kokonaiskäyttömäärä on metsälannoituksia selvästi pienempi, noin 9–15 tonnia vuodessa. Näiden arvioiden perusteella metsänkasvatuksen riippuvuus lannoitteista on pientä, 5–6 % siitä typpivalmisteen määrästä mitä maataloudessa käytetään vuosittain. Lisäksi on havaintoja siitä, että taimitarhakasvatuksessa lannoitetyypen käyttöä vähentämällä parannetaan symbionttisten pintasienijuurisienien määrää taimien juurissa (Flykt ym 2008), mikä kompensoi lannoitteen vähenemisen vaikutusta taimien kasvussa istutuksen jälkeen (Vaario ym. 2009). Metsäpuiden pintasienijuurisienet pystyvät ottamaan puille myös orgaanisessa muodossa olevaa typpeä. Metsälannoituksissa lainsäädäntö estää mädätysjätteiden ja muiden kierrätystypen muotojen käytön metsissä.

Viitteet

- Flykt, E., Timonen, S. & Pennanen, T. 2008. Variation of ectomycorrhizal colonization of spruce seedlings in Finnish forest nurseries. *Silva Fennica* 42(4): 571–585.
- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K. & Turtola, E. 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO) Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2020. Saatavilla internetissä: https://mmm.fi/documents/1410837/3476612/MYT-TEHO_Loppuraportti_Luke-luobio_12-2020.pdf.

- Jaakkola, A. 1984. Leaching losses of nitrogen from a clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 76: 59–66.
- Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M. & Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. *Luonnonvara- ja biotaloustutkimus* 17/2018.
- Luke. 2022a. Tutkimustietokannat. Käytössä oleva maatalousmaa. [verkkojulkaisu]. <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/Luonnonvarakeskus>. Viitattu 27.4.2022.
- Luke 2022b. Tutkimustietokannat. Lannanlevitysmenetelmät. [verkkojulkaisu]. <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/Luonnonvarakeskus>. Viitattu 5.5.2022.
- Luke 2022c. Tutkimustietokannat. Typpi- ja fosforitaseen (kg/ha) kehitys ELY-keskuksittain. [verkkojulkaisu]. <https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/Luonnonvarakeskus>. Viitattu 2.5.2022.
- Luostarinen, S., Lemola, R., Miettinen, A., Rautio, P., Salo, T., Turtola, E., Uusitalo, R., Viitala, E.-J. & Ylivainio, K. 2021. Tavoite 10: Lannoitteiden käyttö ja lannoitteiden aiheuttama ravinhävikki.
- Kärkkäinen, L. & Koljonen, S. (toim.). 2021. Arvio EU:n biodiversiteettistrategian vaikutuksista Suomessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 75/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 211–232.
- Mattila, P.K. & Joki-Tokola, E. 2003. Effect of treatment and application technique of cattle slurry on its utilization by ley: I. Slurry properties and ammonia volatilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 221–230.
- MMM 2000. VnA 931/2000. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000931>.
- MMM 2015. VnA 235/2015. Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150235>.
- Myllys, M., Huhta, H., Partala, A., Virkajärvi, P. & Turtola, E. 2020. Nurmen viljely vähentää turvepeltojen ravinnehuuhtoumia. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote* Nro 38. *Maataloustieteen Päivät 2020*. <https://journal.fi/smst/issue/view/6119/647>.
- Peltonen-Sainio, P., Lehtonen, H., Regina, K. & Tiainen, J. 2018. Pellon käytön optimointi tuotannon kestäväksi tehostamiseksi. Loppuraportti. 18 s. <https://www.opal.fi/wp-content/uploads/sites/3/2018/09/PeltoOptimi-loppuraportti-FINAL.pdf>.
- Salo, T., Turtola, E., Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Kuisma, P., Tuomisto, J., Muurinen, S. & Turakainen, M. 2013. Nitrogen fertilizer rates, N balances, and related risk of N leaching in Finnish agriculture. *MTT Raportti* 102: 37 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-462-5>.
- Syväsalo, E., Regina, K., Turtola, E. & Esala, M. 2006. Fluxes of nitrous oxide and methane, and nitrogen leaching from organically and conventionally cultivated sandy soil in western Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113: 342–348.
- Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Iho, A., Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Tuomisto, J., Sipilä, A., Muurinen, S., Turakainen, M., Lemola, R., Jauhainen, L., Uusitalo, R., Grönroos, J., Myllys, M., Heikkinen, J., Merilaita, S., Bernal, J.C., Savela, P., Kartio, M., Salopelto, J., Finer, A. & Jaakkola, M. 2017. Hyötyä taseista: Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja

- viljelyn hyödyksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2017: 70 s. <https://julkuri.luke.fi/handle/10024/538541>.
- Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Jauhiainen, L., Kaseva, J., Ketoja, E., Valkama, E., Savela, P., Peltonen, S., Heikkinen, J., Isolahti, M., Rajala, A., Alhainen, V. & Heinimäki, T.J. 2020. Typpitaselaskurin käyttöohje. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 67/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 37 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-051-9>.
- Vaario, L.-M., Tervonen, A., Haukioja, K., Haukioja, M., Pennanen, T. & Timonen, S. 2009. The effect of nursery substrates and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of *Picea abies*. Canadian Journal of Forest Research 39: 1–12. <https://doi.org/10.1139/X08-156>.
- Valkama, E., Salo, T., Esala, M. & Turtola, E. 2013a. Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis. Agriculture, ecosystems & environment 164: 1–13. <https://doi:10.1016/j.agee.2012.09.010>.
- Valkama, E., Salo, T., Esala, M. & Turtola, E. 2013b. Grain quality and N uptake of spring cereals as affected by nitrogen fertilization under Nordic conditions: a meta-analysis. Agricultural and Food Science 22(2): 208–222. <https://doi.org/10.23986/afsci.7448>.

2. Typen globaali kauppa ja Venäjän tuonnin tyrehtymisen vaikutukset hintoihin, saatavuuteen ja Suomen lannoitehuoltovarmuuteen

Olli Niskanen

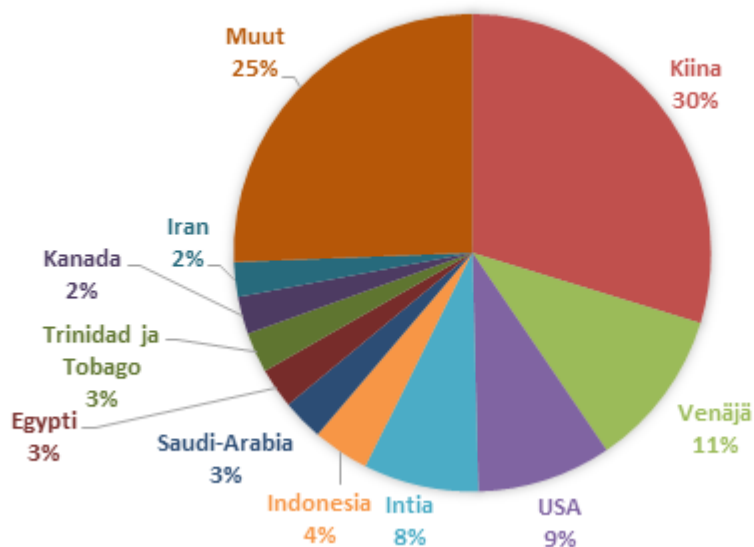
2.1. Typen globaali tuotanto ja kysyntä

Globaali typen kysyntä, joka vastaa yli 50 % lannoitteissa annettavista kasvinravinteista maailmassa, on pitkällä aikavälillä kasvanut vuosittain. Perimmäisenä ajurina on maailman väestömäärän ja perusravitsemustarpeiden kasvaminen. Samaan aikaan lannoitteiden kysyntää lisää globaali väestön vaurastuminen, joka kasvattaa kotieläintuotteiden kysyntää ja rehujen tuotantoon vaadittavan sadon lannoitustarvetta. Lannoitetyypin valmistuksen raaka-aine on ammoniakki, joka valmistetaan maakaasusta saatavasta vedystä ja ilmakehän tpeestä. Ammoniakki on kaikkien epäorgaanisten typpilannoitteiden, kuten urean, ammoniumnitraatin, sekä NPK-yhdisteiden typen raaka-aine. Ammoniakin globaali valmistusmäärä vuosina 2016–2022 on esitetty Taulukossa 5.

Taulukko 5. Maailman ammoniakin teoreettinen tuotantokapasiteetti, toteutunut tuotanto, muun teollisuuden käyttö sekä lannoitekäyttöön käytettävissä oleva tuotanto, milj. tonnia (Lähde: FAO 2019)

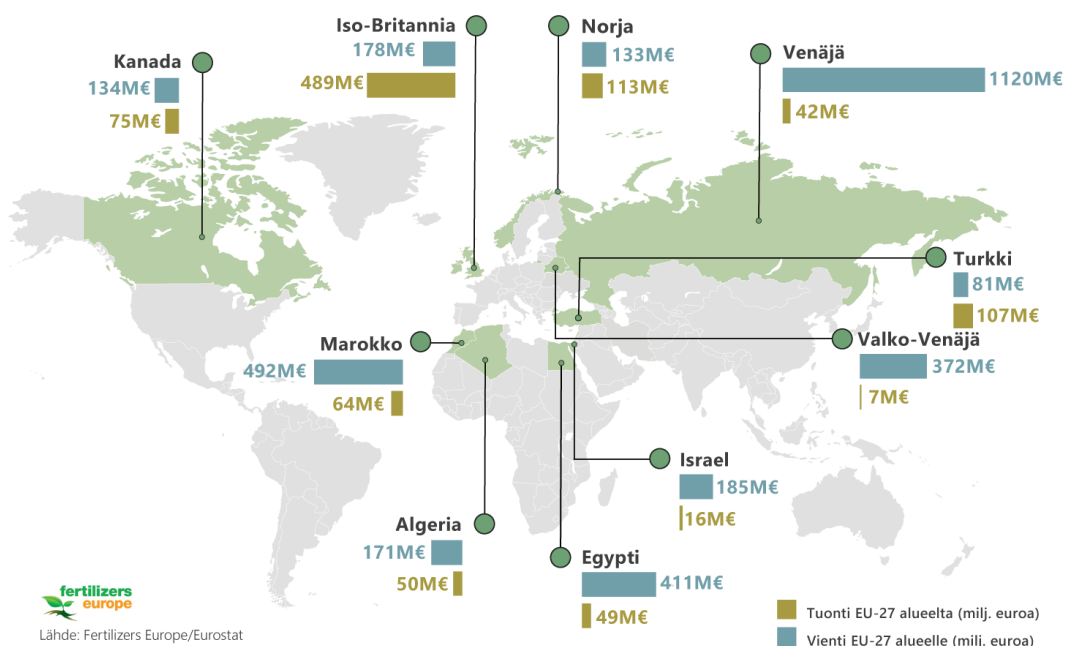
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Teoreettinen tuotantokapasiteetti	180	185	187	190	187	189	190
Toteutunut tuotanto	154	155	158	162	160	162	163
Muu teollisuuskäyttö	37	38	38	39	40	40	41
Lannoitekäyttöön käytettävissä	117	118	119	123	121	121	123

Ammoniakin teoreettisesta tuotantokapasiteetista on FAO:n (2019) mukaan viime vuosina realisoitunut tuotantoon noin 85 %. Typen muu teollisuuskäyttö on hieman kasvanut ja kuluttaa noin neljänneksen globaalista ammoniakin tuotannosta. Globaalisti ammoniakkia valmistetaan usein siellä, missä fossiilisia energianlähteitä, lähinnä maakaasua, on saatavilla. Suurin ammoniakin tuottajamaa on kuitenkin Kiina, joka turvaa omalla mittavalla ammoniakintuotannolla ruokaturvaansa ja käyttää tuotannossaan fossiilisen energian lähteenä mm. kivihiililtä. Seuraavaksi suurimpia tuottajia ovat Venäjä, Yhdysvallat ja Intia, joiden keskinäinen järjestys vaihtelee hieman vuodesta riippuen (Kuva 6).



Kuva 6. Kymmenen suurinta ammoniakkin valmistajamaata (Statista 2022, FAO 2019).

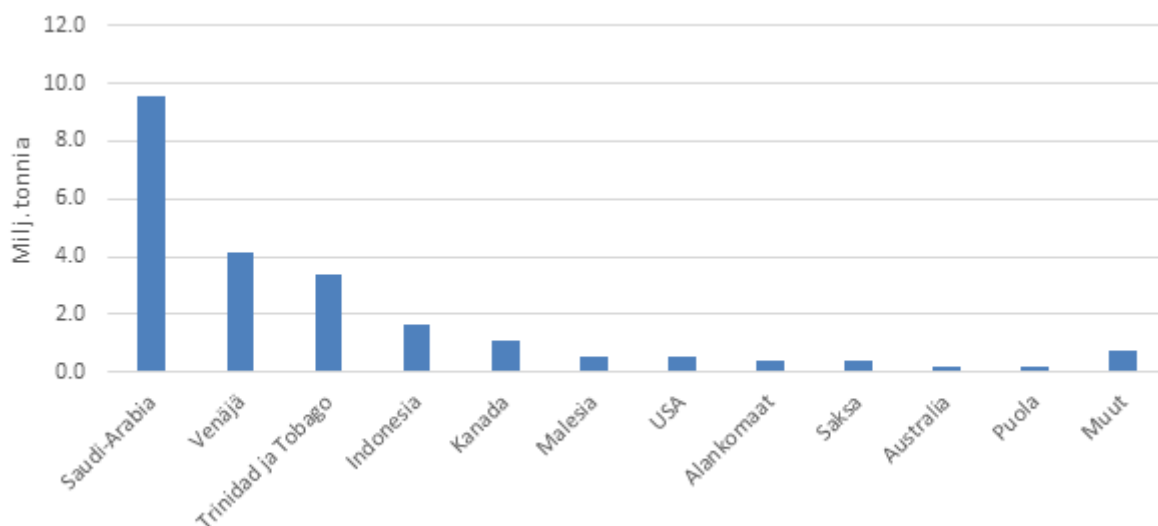
Venäjä on mahdollisesti suurin typen vientimaa, kun huomioidaan sekä ammoniakki että erilaiset valmiit typpilannoitteet (FAO, 2022). Euroopan maatalousravinteiden ja lannoiteteollisuuden raaka-aineiden toimittajana Venäjän merkitys on ollut erityisen suuri sekä typen, fosforin että kaliumin osalta. Venäjän ja Valko-Venäjän yhteenlaskettu valmiiden lannoitteiden viennin arvo Eurooppaan (sisältäen kaikki lannoitteet) on lähes 1,5 miljardia euroa vuodessa, joka on lähes 50 % koko Euroopan valmiiden lannoitteiden tuonnin arvosta (Kuva 7). Ammoniakin tuonnin arvo on ollut noin 0,6 miljardia euroa vuodessa.



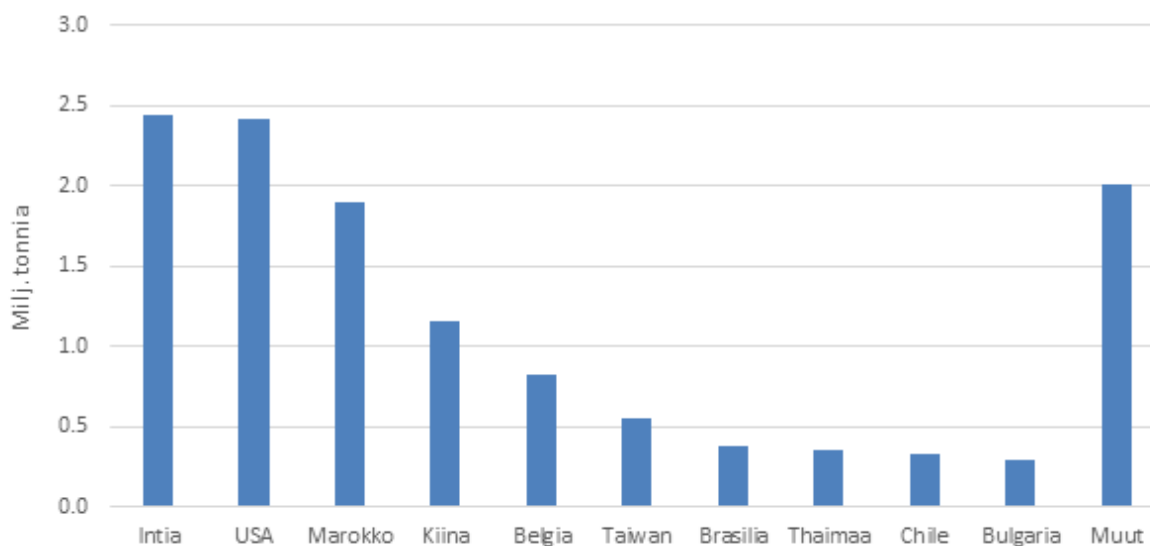
Kuva 7. EU:n keskeiset lannoitekaupan kumppanit vuonna 2020. Lähde: Fertilizers Europe 2021 <https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2021/07/Industry-Facts-and-Figures-2021-1.pdf>.

2.2. Ammoniakin maailmanmarkkinatilanne

Hieman yli 20 miljoonaa tonnia valmistettua ammoniakkia päätyy maailmanmarkkinoille (Comtrade 2022). Noin 25 % ammoniakista käytetään muuhun kuin lannoitteiden valmistukseen (FAO 2019). Vuonna 2020 suurimmat ammoniakin vientimaat olivat Saudi-Arabia, Venäjä, Trinidad ja Tobago, Indonesia ja Kanada (Kuva 8). Ammoniakin tuontimaista suurimpia ovat Intia, Yhdysvallat, Etelä-Korea, Marokko ja Brasilia (Kuva 9).



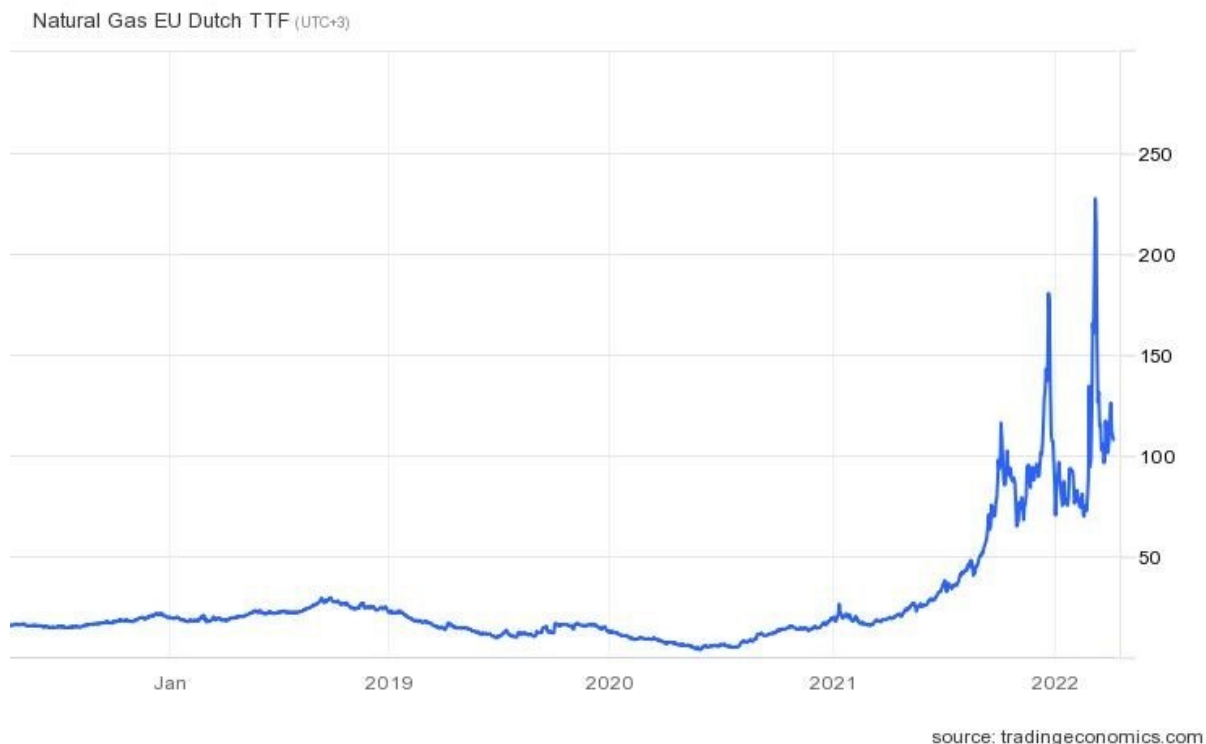
Kuva 8. Suurimmat ammoniakin (CN 2814) vientimaat vuonna 2020, miljoonaa tonnia (Lähde: Comtrade).



Kuva 9. Suurimmat ammoniakin (CN 2814) tuontimaat vuonna 2020, miljoonaa tonnia (Lähde: Comtrade).

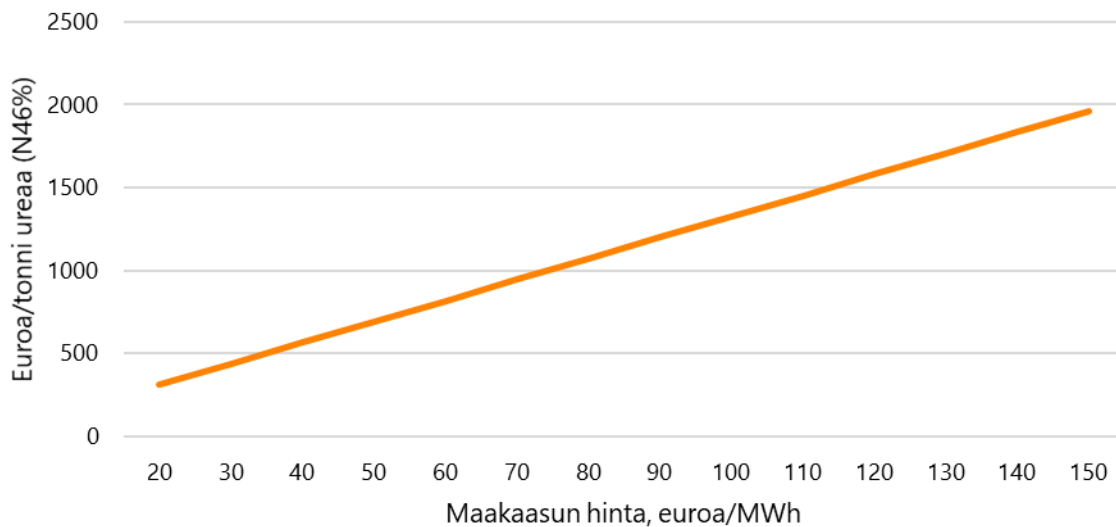
Ammoniakin valmistus nykyisin laajimmin käytössä olevan prosessin, eli maakaasusta otettavan vedyn ja ilmakehän typen kautta Haber-Bosch -menetelmällä on suoraviivainen. Ammoniakin tuotantokustannuksesta energiakomponentin osuus on yli 95 % ja näin ollen lopputuotteen hinta määräytyy melko suoraan suhteessa maakaasun hintaan (European Commission 2014). Maakaasua kuluu yleensä noin 10–11 MWh per ammoniakkitonni (jossa tyyppiä noin 82 %)

(Yara 2022). Kaupan rajoitteiden lisäksi eurooppalainen typpilannoitekriisi onkin suoraan seurausta nimenomaan maakaasun hintojen räjähdysmäisestä noususta. Hintojen nousuun vaikuttivat kuitenkin myös muut tekijät, kuten Kiinan asettamat rajoitukset lannoitteiden viennille. Energian hinnalla on keskeinen merkitys myös muiden lannoiteravinteiden kustannuksiin kasvihuonekaasun ja -jalostuksen kustannusten kautta. Maakaasua on tuotu EU-alueelle sekä kaasuna että nestemäisessä muodossa eli LNG:nä (Liquified Natural Gas). Putkilla tuodun kaasun osuus tuonnista on kaksi kolmannesta, josta yli puolet on tullut Venäjältä. Algerian ja Norjan osuus on kummankin 18 %. LNG:n tuonnista Venäjän osuus on 18 %, USA:n 26 %, Qatarin 23 % ja Nigerian 14 %. Muita tuontimaita ovat Algeria ja Trinidad. Vain pieni osa Eurooppaan tulevasta maakaasusta käytetään lannoitteiden valmistukseen. Maakaasusta ovat riippuvaisia monet muutkin EU:n toimialat, kuten liikenne, lämmitys ja energiatuotanto.



Kuva 10. Euroopan maakaasun benchmark-hinnan kehitys 2018–2022, euroa/MWh (Lähde: Tradingeconomics.com).

Ammoniakin ja edelleen typpilannoitteiden hintojen määräytymiseen pitkällä aikavälillä vaikuttaa se, mihin maakaasun hinta tulee normalisoitumaan pitkällä aikavälillä. Eurooppalainen lannoiteteollisuus on toiminut pitkään edullisen (noin 10–25 euroa/MWh) maakaasun vakaassa toimintaympäristössä. Vuoden 2021 loppupuolella nähty hintojen nousu noin 80–100 euroa/MWh tasolle (Kuva 10) on tehnyt ammoniakin tuotannosta Euroopassa heikosti kannattavaa. Käytännössä hintojen jatkuminen korkealla tasolla johtaa siihen, että Euroopan heikosti kannattavaa ja pahimmillaan maakaasun saatavuusongelmista kärsivää tuotantoa korvataan jossain määrin Lähi-idän, Pohjois-Afrikan, Pohjois-Amerikan tai Karibian markkinoilta, jossa energian (maakaasun) hinta on pysynyt kohtuullisena. Korvattava määrä riippuu siitä, paljonko EU kapasiteetistä toteutuu. Maakaasun hinnalla on suoraviivainen yhteys typpilannoitteiden tuotantokustannuksiin, joka on laskettavissa tyypilliselle laitokselle kaavamaisesti (mm. Yara, 2022, Kuva 11).

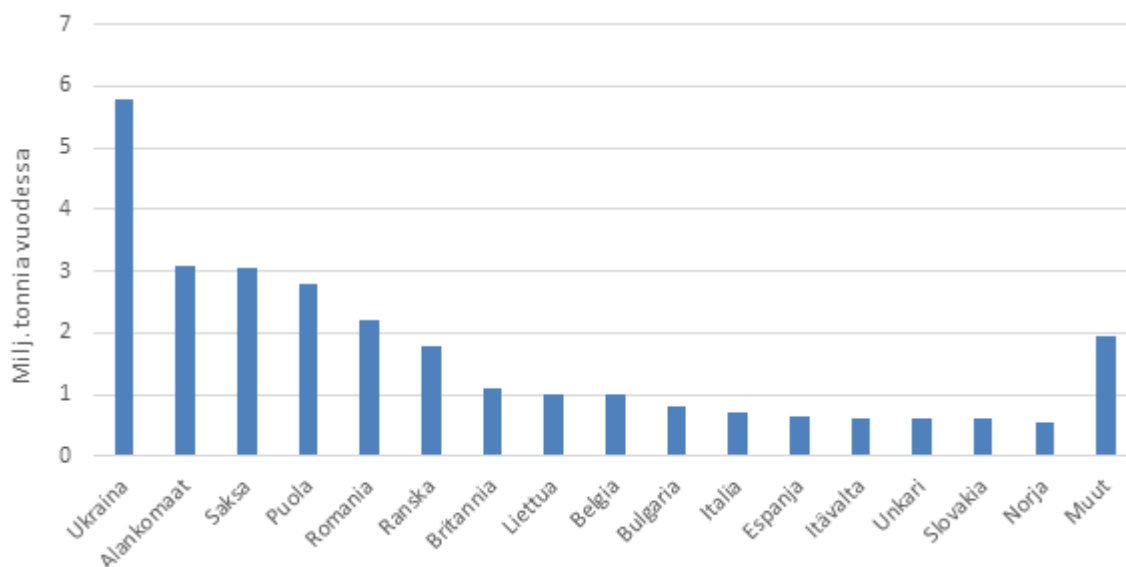


Kuva 11. Esimerkki urealannoitteen (N 46 %) valmistuskustannuksesta suhteessa maakaasun hintaan. Lähde: Yara 2022, omat laskelmat.

Maakaasun lisäksi ammoniakkiprosessiin tarvittava vety voidaan tuottaa myös muilla menetelmillä, kuten elektrolyysin avulla vedestä. Elektrolyysillä valmistettuun vetyyn perustuvan, niin kutsutun ”vihreän ammoniakin” osuus markkinoista oli vuonna 2021 vielä vaatimaton, noin 15 miljoonaa euroa, kun koko ammoniakkimarkkinan koko oli yli 70 000 miljoonaa euroa. Vihreään vetyyn perustuvia ammoniakin tuotantolaitosinvestointeja on kuitenkin valmisteilla ja suunnittelussa eri puolilla maailmaa ja markkinan arvioidaan kasvavan vuoteen 2030 mennessä yli 5000 miljoonaan euroon. Vuonna 2021 julkaistun review-artikkelin (Salmon & Bañares-Alcántara 2021) mukaan tiedossa oli noin 6 miljoonan tonnin vuotuisen tuotantokapasiteetin verran investointeja, joka vastaisi noin 3,5 % osuutta tämän hetken vuotuisesta ammoniakin valmistuksesta. Kirjoittajat kuitenkin huomauttavat, että lista täydentyy jatkuvasti uusien päätösten myötä ja se edustaa vain kirjoitushetken tilannetta. Vihreän ammoniakin valmistuksen edellyttämä huomattava sähköntarve on hankkeissa yleisimmin tuuli- tai aurinkovoimaan perustuvaa. Yksi esimerkki laitosisinvestoinnista on FertiBerian suunnittelema investointi Pohjois-Ruotsiin, joka toteutuessaan tuottaisi 0,5 milj. tonnia ammoniakkia vuodessa alkaen 2026 (Fertiberia 2021). Laitoksen tuotantovolyymi vastaisi likimain Suomen vuotuista ammoniakin käyttöä. Globaalisti ammoniakin kulutus kasvaa jatkuvasti ja vihreän ammoniakin lisäksi investointeja myös tavanomaiseen ammoniakin valmistukseen on rakenteilla eri puolilla maailmaa.

2.3. Ammoniakin tuotanto Euroopassa

EU:ssa valmistetusta ammoniakista yli 80 % käytetään lannoitetuotantoon. Euroopan ammoniakitehtaat ovat pyörineet maakaasun hintapaineessa enemmän tai vähemmän vajaalla kapasiteetilla syksystä 2021 alkaen. Myös Ukrainassa on hyvin merkittävä määrä ammoniakin tuotantolaitoksia, jotka ovat täysin riippuvaisia Venäläisestä maakaasusta ja joutuneet rajoittamaan tuotantoa jo ennen Venäjän hyökkäystä. EU-maiden ammoniakin tuotantokapasiteetti on noin 22 miljoonaa tonnia vuodessa (Kuva 12).

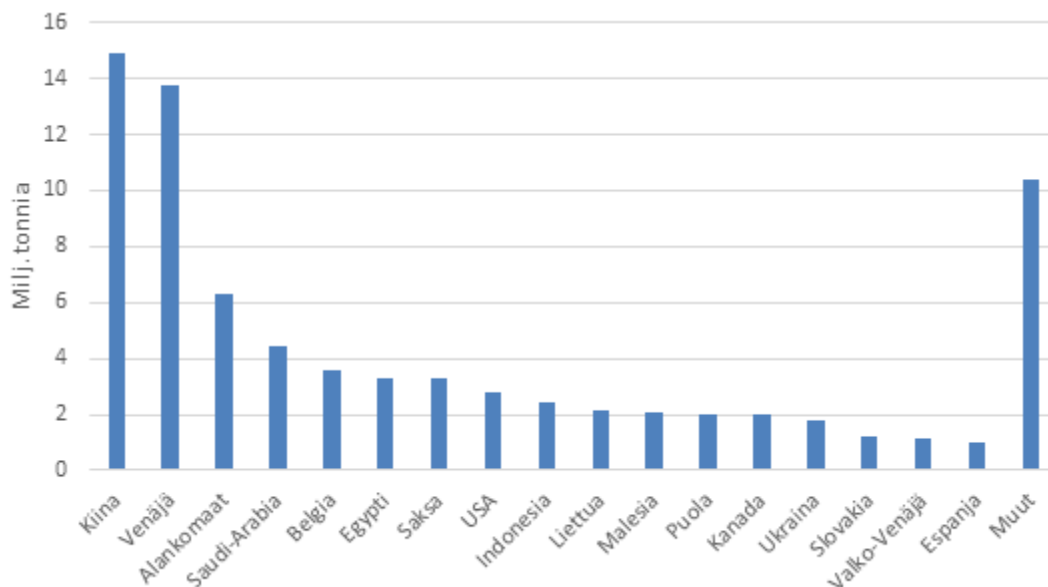


Kuva 12. Ammoniakin tuotantokapasiteetti eräissä Euroopan maissa (miljoonaa tonnia vuodessa) vuonna 2021. Lähde: CRU.

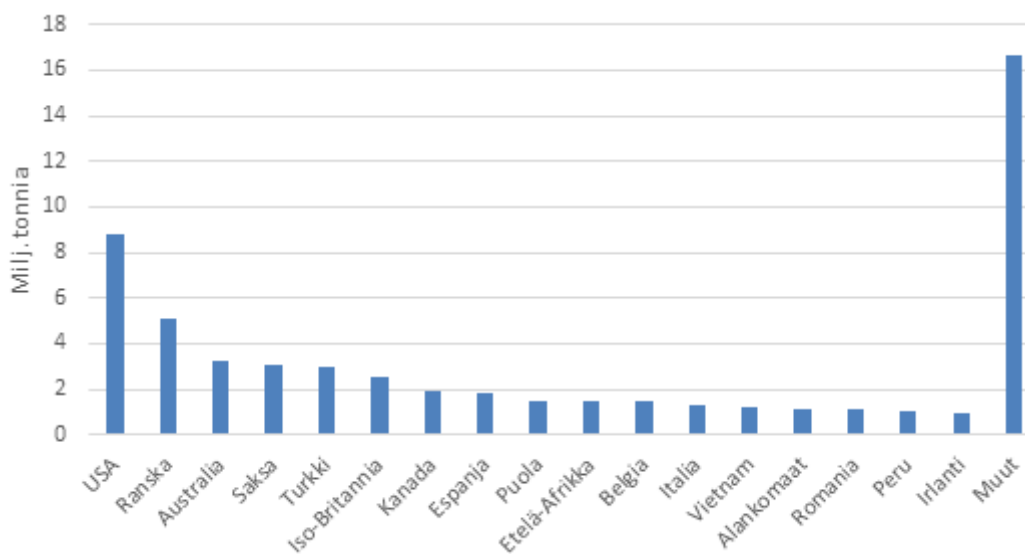
Euroopan oman tuotannon lisäksi ammoniakkia on tuotu valmiina vain 2–3 miljoonaa tonnia vuodessa. Tämä kertoo siitä, että Euroopan typpilannoitehuolto on kehittynyt nojaamaan erityisesti omaan ammoniakkituotantoon, 72 % Euroopassa käytetyistä epäorgaanisista typpilannoitteista on myös valmistettu Euroopassa (Fertilizers Europe, 2021). Valmiista ammoniakista Venäjältä on tullut noin 1 miljoonaa tonnia, Algeriasta 0,5 ja Trinidadista 0,4 miljoonaa tonnia. Myös Ukrainasta on tuotu EU:n ammoniakkia 0,3 miljoonaa tonnia. Suomeen ammoniakkia on tuotu viime vuosina noin 0,5 miljoonaa tonnia vuodessa, josta 80 % Venäjältä.

2.4. Typpilannoitteiden markkinat

Valmiissa typpilannoitteissa on tuotu EU-alueelle typpeä (N) noin 3,9 milj. tonnia, joka on noin 28 % vuotuisesta kulutuksesta. Vastaavasti fosforia (P_2O_5) on tuotu lannoitteissa 1,9 milj. tonnia ja kaliumia (K_2O) 2,2 milj. tonnia vuodessa. Valmiita typpilannoitteita on tuotu Pohjois-Afrikasta (Egypti, Algeria), Valko-Venäjältä ja Venäjältä. Valmiiden typpilannoitteiden kauppa (kts. Kuvat 13 ja 14) on monipuolisempaa kuin ammoniakin ja erilaisten typpilannoitteiden tullikoodin (CN 3102) alle kirjattavien lannoitetuotteiden typpipitoisuus vaihtelee eri tuotteiden välillä. Yleisin maailmanmarkkinoille myytävä typpilannoite on kuitenkin urea (CN 310210), joka sisältää 46 % typpeä. EU-maissa urean osuus on kuitenkin vain 20 % lannoitetyypen käytöstä, kun suurin osa lannoitteista annetaan ammoniumnitraatti tai muussa nitraattimuodossa (Fertilizers Europe 2021).



Kuva 13. Typpilannoitteiden (CN 3102) suurimmat vientimaat vuonna 2020 (Lähde: Comtrade).



Kuva 14. Typpilannoitteiden (CN 3102) suurimmat tuontimaat vuonna 2020 (Lähde: Comtrade).

2.5. Vaikutukset hintoihin, saatavuuteen ja Suomen lannoitehuoltovarmuuteen

Lannoitteiden markkinat ovat globaalit. Jos hintasuhteet ovat otolliset, ammoniakkin valmistusmäärä voi kasvaa ilman uusia investointeja vajaakäytössä olevan kapasiteetin korkeammalla hyödyntämistäasteella. Normaalitilanteessa vajaa kapasiteetti tarkoittaa yleensä heikoimman hyötysuhteen laitosten käytön vähentämistä tiukassa markkinatilanteessa, mutta kapasiteettia voi olla pois käytöstä arkisistakin syistä kuten huoltojen takia tai jopa sääolosuhteiden vuoksi.

Energian hinnan nousu voi kuitenkin johtaa kapasiteetin poistumiseen toisaalla ja markkinoilla tulee olemaan vaihteluita lähitulevaisuudessa.

Venäjä on todennäköisesti maailman merkittävin typpilannoitteiden vientimaa, kun huomioidaan sekä ammoniakkin että valmiiden lannoitteiden vienti. Lisäksi ammoniakkin valmistus monissa muissa maissa nojaa venäläiseen maakaasuun, mikä entisestään lisää riippuvuutta Venäjästä. Venäjän tuonnin tyrehtymisellä on jo ollut ja tulee olemaan keskipitkällä aikavälillä merkittäviä vaikutuksia typpilannoitteiden hintoihin. Suoraa tuontia merkityksellisempää Euroopan kannalta on maakaasun hinta ja saatavuus EU:n ammoniakkitehtaiden käyttökapasiteetin näkökulmasta. Kaupan rajoittuessa kaikkien ravinteiden, kuten myös typen ja typen raaka-ainesten kauppa tulee järjestymään globaalisti uudella tavalla, aiheuttaen pitkäkestoisen markkinahäiriön ja korkean hintatason.

Ammoniakin globaali tarjonta niukkenee, mutta saatavuutta on todennäköisesti olemassa. Hintojen nousu lisää tuotantoa alueilla, joilla käyttämätöntä kapasiteettia on otettavissa käyttöön kannattavasti. Ammoniakin tuonti Eurooppaan tulee lisääntymään merkittävästi. Energia-, ammoniakki- ja lannoitemarkkinoilla tullaan näkemään uudelleenjärjestymistä, jossa osa valtioista hyödyntää Venäjältä Euroopan viennin vähentymisestä vapautuvan vientikapasiteetin osuillaan, joka puolestaan vapauttaa toisaalla tuonnin mahdollisuuksia. Yksittäisenä toimijana Saudi-Arabian merkitys on jo noussut merkittäväksi ammoniakkin viennin osalta. Lähi-idän maiden merkitys Euroopalle korostuu paitsi Venäjän energian korvaajana mutta myös typpilannoitustuotannon osalta.

Suomessa ei ole omaa ammoniakkituotantoa, mutta Suomessa jalostetaan typpihappoa sekä siitä edelleen typpilannoitteita ja muita lannoitustuotteita, kuten seoslannoitteita merkittävä määrä myös vientiin. Lannoiteraaka-aineiden ja valmiiden lannoitteiden osalta Venäjän tuonti rautateitse on ollut normaaliaikana logistiikkaedun sekä pienen hintaedun vuoksi edullinen toimintatapa, joka on johtanut korkeaan, noin 80 % Venäjän tuonnin osuuteen ammoniakista. Mikäli ammoniakkin tuonti Venäjältä ei ole mahdollista, täytyy tuontilogistiikka järjestää uudelleen globaaleilta markkinoilta. Ammoniakkia voidaan tuoda maahan laivalla Uudenkaupungin satamaan sekä Kokkolan satamaan, jonka kautta voidaan myös järjestää ammoniakkihuolto sisämaahan.

Suomen huoltovarmuus typpilannoitteiden osalta on mahdollista järjestää globaaleilta ammoniakkimarkkinoilta, mutta myös huoltovarmuuteen kohdistuvat riskit kasvavat sodan jatkumisen myötä. Lannoitteiden hintatason jatkuminen korkealla tasolla myös pidemmällä aikavälillä sen sijaan voi johtaa tilatasolla vaikeaan taloudelliseen yhtälöön tuottaa peltokasveja. Vaihtoehtoisia lannoitustuotteita voivat tarjota orgaanisten lannoitevalmisteiden tarjoajat, joiden suhteellinen kilpailukyky markkinoilla paranee, mutta on volyymitaan rajallista.

Viitteet

CRU 2022. Nitrogen production analysis. <https://www.crugroup.com/analysis/nitrogen/>.

European Commission 2014. Final report for a study on composition and drivers of energy prices and costs in energy intensive industries: the case of the chemical industry – ammonia. Centre of European Policy Studies. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/4165/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>.

FAO 2019. World fertilizer trends and outlook to 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2019 <https://www.fao.org/3/ca6746en/ca6746en.pdf>.

- FAO 2022. Impact of the Ukraine-Russia conflict on global food security and related matters under the mandate of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Council session notes. <https://www.fao.org/3/ni734en/ni734en.pdf>.
- Fertiberia 2021. Lehdistötiedote investointisuunnitelmasta. https://www.ammoniaenergy.org/wp-content/uploads/2021/10/20211019-np_green_wolverine_grupo_fertiberia.pdf.
- Fertilizers Europe 2021. Fertilizer industry facts and figures. <https://www.fertilizerseurope.com/wp-content/uploads/2021/07/Industry-Facts-and-Figures-2021-1.pdf>.
- Salmon, N. & Bañares-Alcántara, R. 2021. Green ammonia as a spatial energy vector: a review. Sustainable Energy Fuels 5: 2814–2839. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1SE00345C>.
- Statista 2022. Global ammonia production by country. <https://www.statista.com/statistics/1266244/global-ammonia-production-by-country/>.
- Trading economics 2022. EU natural gas benchmark price. <https://tradingeconomics.com/commodity/eu-natural-gas>.
- Yara 2022. Ammonia and urea cash cost. <https://www.yara.com/investor-relations/analyst-information/calculators/ammonia-and-urea-cash-cost/>.

3. Typpilannoitteiden tuotantomahdollisuudet Suomessa

Petri Kapuinen, Erika Winqvist, Jani Lehto

3.1. Ammoniakin tuotantomahdollisuudet Suomessa

Lannoitusvuonna 2018/2019 lannoitetyypen myynti Suomessa oli 147 miljoonaa kiloa. Kotieläinten lannan sisältämä liukoinen typpi oli määrältään alle neljäsosa siitä, ja muun kierrätystypen määrä marginaalinen (ks. Luku 5). Jos ammoniakin tuonti Venäjältä loppuu, typpilannoitteiden valmistus Suomessa nykYTEknologialla tulee haasteelliseksi, koska Suomessa ei nykyisin ole ammoniakkituotantoa ja sen tuottamiseksi tarvittavan infrastruktuurin uudelleenrakentaminen veisi vuosia. Ammoniakin tuontivaihtoehtoja on tarkasteltu Luvussa 2. Tuotannon uudelleen aloittamista pitäisi vakavasti harkita, mutta siitä ei saada merkittävää etua, jos vedylle ei ole kotimaista lähdettä. Ammoniakki voitaisiin tuoda myös esimerkiksi Saksasta, Hollannista tai Iso-Britannianasta, mutta tämäkin ammoniakki valmistetaan pitkälti venäläisestä maakaasusta. Lyhyellä aikavälillä ammoniakin tuonti jostain muualta on paras vaihtoehto, koska ammoniakista lähtien typpilannoitteiden valmistusinfrastruktuuri on olemassa.

3.2. Vetytuotannon mahdollisuudet ammoniakin valmistukseen Suomessa

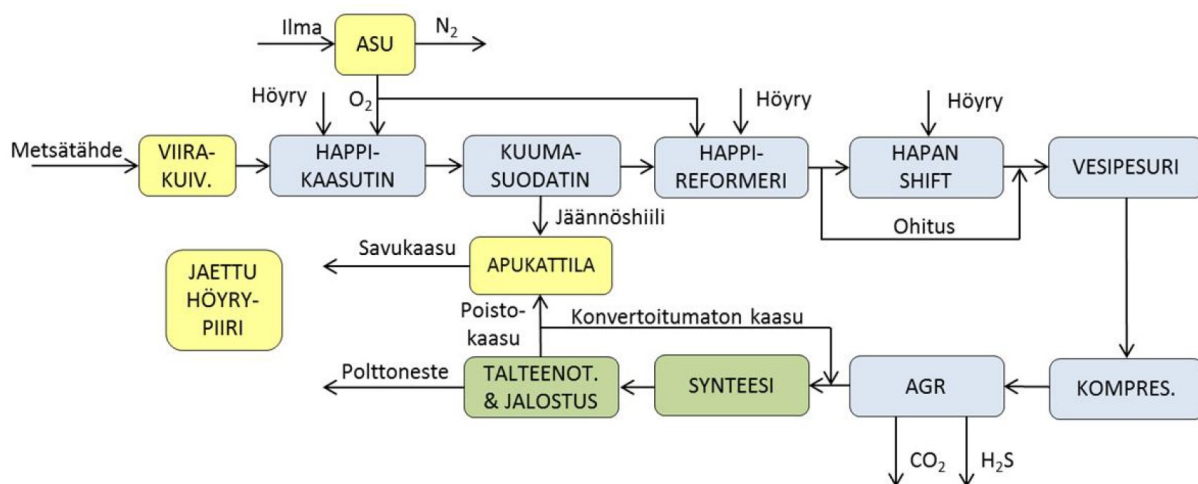
Biometaanista

Mineraalityppilannoitteiden tuotannossa käytetyn ammoniakin valmistukselle välttämätön vety voidaan tuottaa esimerkiksi maakaasusta, joka on kemialliselta koostumukseltaan lähes puhdasta **metaania**. Koska riippuvuudesta Venäjältä tuotavaan maakaasuun on päästävä irti, metaania voidaan jalostaa nykyistä enemmän kotimaisesta biokaasusta. Biokaasutuotannon energiapotentialin, ilman kilpailua ruuantuotannon kanssa, on arvioitu olevan luokkaa 10,2 TWh (TEM 2020). Nykyinen energiatuotanto biokaasuna on n. 0,9 TWh, josta siitäkin vain n. 13 % jalostetaan biometaaniksi ja käytetään lähinnä liikenteen polttoaineena (Rasi 2022). Loppu biokaasu poltetaan sähköksi ja lämmöksi tai soihdutetaan päästöjen estämiseksi. Kaikkiaan nykyinen 0,9 TWh:n tuotanto biometaaniksi jalostettuna vastaisi n. 65 milj. kg biometaanina, josta olisi edelleen teoriassa mahdollista valmistaa 104 milj. kg ammoniakkia höyryreformoinnilla (Hajjaji et al. 2012). Suomen pyrkiessä riippumattomaksi sekä Venäjältä tuodusta maakaasusta että ammoniakista, olisi tärkeää sekä kasvattaa biokaasun tuotantomäärää että jalostaa siitä biometaanina, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää myös ammoniakin valmistuksessa.

Tuotekaasusta

Seuraavaksi helpoin tie olisi vedyn tuottaminen jostain muusta raaka-ainelähteestä ammoniakin valmistamiseksi. **Palaturvetta** vedyn raaka-aineena käyttävä, ammoniakkia tuottava kaasutusprosessi, demonstroitiin jo 1990-luvun taitteessa Oulussa Kemiran tehtailla. Prosessi oli teknisesti toimiva, mutta taloudellisesti kannattamaton alhaisen fossiilienergian hinnan vuoksi.

Vety voidaan valmistaa pääosin puupohjaisista **biomassatähteistä** tai turpeesta Suomessa kehitettyä kaasutusteknologiaa käyttäen. Biomassan kaasutukseen perustuvan kaasutusprosessin periaatekuva on esitetty Kuvassa 15.



Kuva 15. Kaasutukseen perustuvan biojalostamon periaatekuva (VTT). Lyhenne ASU (air separation unit) viittaa hapen tuotantoon ilmasta ja AGR tarkoittaa hapanten kaasujen pesuria (acid gas removal).

Vaihtoehtoisesti voidaan suunnitella myös PSA-erotukseen perustuva laitos, joka voi olla kilpailukykyinen etenkin pienessä laitoskoossa ja jos sivutuote-energiaa pystytään hyödyntämään esim. kaukolämmitykseen. Prosessi perustuu happi-höyrykaasutukseen, joka on valmis teolliseen toteutukseen. Alempiin pääoma- ja tuotantokustannuksiin voitaisiin päästä epäsuoralla höyrykaasutuksella, jota ei kuitenkaan ole vielä demonstroitu.

Tarvittava kaasutus- ja kaasunpuhdistusteknologia on kehitetty Sumitomo SHI FW:n (SFW) ja VTT:n yhteistyönä ja sen oleelliset osat demonstroitiin Varkaudessa Nesteen ja Stora Enson BtL-hankkeessa vuosina 2010–2011. Sen jälkeen VTT on edelleen kehittänyt prosessia ja osallistunut useisiin suunnittelu- ja arviointihankkeisiin, jotka tähtäävät teknologian totutukseen Euroopassa ja muualla maailmassa. SFW on myös tehnyt alustavia laitosuunnitelmia ja budjettiarvioita teollisille laitoksille.

Elektrolyysillä

Vetyä voidaan tuottaa myös **sähköllä vedestä**. Ylhäisen (2021) mukaan EU:n komission laskelmissa maakaasusta valmistetun vedyn hinta oli vuonna 2020 1,5 €/kg ja elektrolyysillä valmistettuna 2,5–5,5 €/kg. Maakaasun hinnan noustua elektrolyysillä valmistetun vedyn hintakin alkaa olla kilpailukykyinen maakaasusta valmistetun kanssa. Teknologia on olemassa, mutta infrastruktuurin rakentamisessa menisi tässäkin kohdassa vuosia. 100 MW elektrolyysilaitoksella voitaisiin tuottaa vuodessa tarvittava vety 75 000 tonnia ammoniakkia varten (Ylhäinen 2021). Tästä saataisiin vuodessa 61 500 tonnia eli 61,5 miljoonaa kg lannoitetyypä. Kun lannoitetyypen myynti Suomessa oli kaudella 2018/2019 149 milj. kg, tarvittaisiin noin 245 MW:n elektrolyysilaitos ja ammoniakkitehdas. Sähkökulutus Suomessa on noin 9000–10000 MW¹. Elektrolyysilaitoksen osuus tästä olisi noin 2,5 %, joten sähkönkulutuksen suhteen toteutus ei välttämättä olisi mahdoton. Teknologian pitäisi olla varsin valmis, jos Alankomaihin valmistuu 2025 mennessä 100 MW:n laitos (Ylhäinen 2021). Artikkelin (Ylhäinen 2021) laadinnan aikaan suurin laitos oli ollut 10 MW. Uusia laitosprojekteja oli 2020 julkaistu 50 GW:n edestä. Suunnittelussa

¹ <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkojarjestelman-tila/>

olevat laitokset ovat kokoluokkaa 10 GW, pääosa Australiaan (Yara 2021a). Norjaan tulossa 24 MW:n demonstraatiolaitos (Yara 2021b). Siellä sähköä kului 12,2 kWh/kg N.

3.3. Ammoniumsulfaatti

Ammoniumsulfaattia voi käyttää sellaisenaankin lannoitteena, mutta siinä on liikaa rikkiä suhteessa typeen. Se sopii kiteisenä hyvin rikin lähteeksi ammoniumnitraattilannoitteisiin, jotka ovat mekaanisia seoksia. Nornickel² käyttää Harjavallassa vetyä nikkelin pelkistämiseen ammoniakin läsnä ollessa³, joten ammoniumsulfaatin tuottamisessa tarvitaan samat raaka-aineet kuin muidenkin ammoniumtyyppä sisältävien lannoitteiden tuottamisessa. Kiteisen ammoniumsulfaatin (NS 21-24) tuotannon määrä on noin 100 000 tonnia vuodessa, jossa on 21 % ammoniumtyyppä. Tuotanto menee pääosin vientiin.

Sotkamon Talvivaarassa Terrafamen⁴ kaivoksella tuotetaan vastaava määrä ammoniumsulfaattia. Tämäkin teknologia on ammoniakkiriippuvainen. Markkinoille tämä ammoniumsulfaatti on tullut nestemäisenä tuotteena, jonka pitoisuus on 10 p-%. Sekä kiteisen että nestemäisen ammoniumsulfaatin käyttöä on tutkittu Lukessa Nesteravinne-hankkeessa⁵.

Ammoniumsulfaattia tuotetaan myös Envor Group Oy:n laitoksella Forssassa strippaamalla mädätysjäännöksestä linkoamalla erotettua nestejätettä (rejektiä). Määrä on noin 3 m³/vrk. 1 m³:ssä on noin 90 kg ammoniumtyyppä. Suurin kapasiteetti on noin 5 m³/vrk, mutta se edellyttää, että laitoksen kaikkien kolmen biokaasureaktorin mädätysjäännöksen tuotanto lingotaan ja neste-fraktio stripataan. Vastaava laitos on Gasum Oy:llä Riihimäellä, mutta laitoksen ympäristöluvassa ammoniumsulfaatin tuotantoa on rajoitettu. Ammoniumsulfaatin tuottaminen tällä tavalla ei ole ollut taloudellisesti kannattavaa, vaan se on tehty typenpoistovaatimuksen täyttämiseksi.

3.4. Ammoniikki biokaasulaitoksen mädätteestä

Kierrätysammoniakkiliuosta (NH₃-pitoisuus on noin 15 %) tuotetaan Turussa noin 5 000 m³ vuodessa. Tämän on arvioitu olevan taloudellisempaa kuin ammoniumsulfaatin tuottaminen biolaitoksessa, mutta tämäkin prosessi on toteutettu vain laitoksen jätevesien typenpoistovaatimuksen takia. Tonnissa, joka on noin 1 m³, tyyppä on noin 120 kg, mikä vastaa noin hehtaarin lannoitusta. Laitoksen tuottama typpiliuos riittäisi siis noin 5 000 hehtaarille, joten kyse on varsin marginaalisesta määrästä. Raaka-ainepohja koostuu Turun seudun puhdistamon jätevesilietteistä. Tämän kokoisia laitoksia mahtunee Suomeen toistakymmentä ja raaka-ainepohja voi koostua myös teollisuuden ja maatalouden biomassoista. Biomassojen prosessoinnin mahdollisuuksia on käsitelty laajemmin luvussa 5.2.

Ammoniakkiliuoksen käyttöä lannoitteena tutkitaan Lukessa osana PlasmaN-hanketta⁶. Suomessa ammoniakkiliuos on tällä hetkellä laiton saatettavaksi markkinoille lannoitteena, koska sillä ei ole tyyppinimeä. Viljelijälle ei kuitenkaan ole seuraamuksia ammoniakkiliuoksen käytöstä. Ammoniakkiliuosta on käytetty laajassa mittakaavassa lannoitteena Neuvostoliitossa ja

² <https://www.nornickel.fi/>

³ <https://www.luke.fi/sites/default/files/2022-05/Nesteravinne-Ammoniumsulfaatin-tuotanto-nikkelin-valmistuksen-yhteydessa.pdf>

⁴ <https://www.terrafame.fi/>

⁵ <https://www.luke.fi/fi/projektit/nesteravinne>

⁶ <https://www.luke.fi/fi/projektit/plasman>

nykyisin Venäjällä ja Ukrainassa. Oikeista käyttötavoista vaikuttaisi olevan varsin selvä näkemys venäjänkielisissä lähteissä^{7 8 9 10}. Niiden mukaan ammoniakkiliuos pitää sijoittaa vähintään 12–18 cm syvälle maalajista riippuen pari viikkoa ennen kylvöä ammoniakkitappioiden välttämiseksi ja koska ammoniakkiliuos haittaa itämistä ja orastumista. Sijoitus pitää tehdä sitä syvemmälle, mitä keveämmästä (so. karkeammasta) maalajista on kysymys. Yhdysvalloissa ammoniakki käytetään lannoitteena pääasiassa vedettömänä. Ammoniakkiliuoksesta saa hapotetamalla rikki- ja typpihapolla varsin tasapainoisen nestemäisen lannoitevalmisteeseen, jonka lannoitusominaisuudet ja käsiteltävyys ovat selvästi paremmat kuin ammoniakkiliuoksen. Typpihapon valmistamiseen tarvitaan ammoniakkia.

3.5. NO_x-N plasmateknologialla

Teknologia, jossa ei tarvita vetyä ja jossa sitä itseasiassa tuotetaan, on plasmateknologia¹¹. Siinä sähköllä tuotettavalla valokaarella saadaan ilman typpi ja happi reagoimaan nitraatiksi ja nitriitiksi. Asiallisesti tuotetaan typpihappoa ja -hapoketta. Norjalaisen N2 Applied SA:n konseptissa nitraatti ja nitriitti integroidaan lantaan tai nestemäiseen lannoitevalmisteeseen. Sähkön voi tuottaa erilaisin keinoin, joten teknologia ei ole riippuvainen maakaasusta. Sähkökulutuksesta on kirjallisuudessa vaihtelevia tietoja, mutta se on keskimäärin luokkaa 200 GJ/tN eli 55,56 kWh/kg N. Tuotetun typen hinta riippuu siten saatavissa olevan sähkön hinnasta.

Lukessa on tutkittu plasmakäsitellyn lannan, mädätysjäännöksen ja rejektiveden typen satovasteita^{12 13}. Itse plasmakäsittelyt on tehnyt norjalainen N2 Applied SA¹⁴. Käytetyt laitteet ovat olleet pilottimittakaavan koelaitteita. Periaatteessa plasmareaktorissa syntyneitä nitraattia ja nitriittiä voidaan lisätä näihin materiaaleihin niiden ammoniumtypen määrä vastaava määrä. Tällöin liukoisen typen pitoisuus kasvaa noin kaksinkertaiseksi. Periaatteessa lannan osuus typpilannoituksesta voitaisiin kaksinkertaistaa. Samalla pH laskee, jolloin ammoniakkitappiot vähenevät. Liukoisen typen käyttökelpoisuus kasveille paranee, koska osa liukoisesta tuestä on helposti saatavaa nitraatti- ja nitriittityppeä. Tämän takia lannan osuus typpilannoituksesta voisi kasvaa jopa selvästi yli kaksinkertaiseksi. Lannan lisäksi käsiteltävä materiaali voi olla ainakin mikä hyvänsä nestemäinen kierrätyslannoitevalmiste, kuten mädätysjäännös tai rejektivesi. Käsiteltyjen materiaalin säilyvyys on ollut huono. pH lähtee nousemaan ainakin korkeammassa lämpötiloissa, ja käsitelystä materiaalista häviää siihen tyyppiä. Teollisen mittakaavan tuotannon rakentaminen ei tapahdu hetkessä tämänkään teknologian osalta. N2 Applied esittelee sivustollaan¹⁵ useita maatiloja, joille käsitelylaitteisto on jo asennettu.

Plasmateknologialla voidaan tuottaa myös mineraalilannoitteita. Norjassa Rjukanissa ja Notoddenissa tällä Birkeland-Eyde -prosessilla¹⁶ tuotettiin viime vuosisadan alussa Norja Salpietaria, joka on kalsiumnitraattia (Norsk hydro-elektrisk kvaestofaktieselskab 1919). Rjukanissa 295 000 hevosvoiman eli kW:n teholla tuotettiin vuodessa 19 500 tonnia lannoitetyppiä. Plasmateknologialla on siis jo sata vuotta sitten pystytty teollisen mittakaavan lannoitetuotantoon,

⁷ <https://www-agronom-co-ua.translate.goog/ammiachnaya-voda-udobrenie-kak-primenyat-formula-i-sos-tav/? x tr sl=ru& x tr tl=fi& x tr hl=fi& x tr pto=op.sc>

⁸ [Аммиачная вода применение как удобрения, свойства аммиачной воды — Пропозиция \(propozitsiya-com.translate.goog\)](https://www-ammiachnaya-voda.translate.goog/)

⁹ [Как применять аммиачную воду в сельском хозяйстве \(agropravda-com.translate.goog\)](https://www-agropravda-com.translate.goog/)

¹⁰ [Аммиачная вода \(1-zm--ukraine-com-ua.translate.goog\)](https://www-ammiachnaya-voda.translate.goog/)

¹¹ <https://n2applied.com/>

¹² <https://www.luke.fi/projektit/n2-app-in-org/>

¹³ www.luke.fi/projektit/plasman

¹⁴ <https://n2applied.com/>

¹⁵ <https://n2applied.com/casestudies/>

¹⁶ [Birkeland-Eyde process - Wikipedia](#)

joten miksi ei nyt. Energiankulutus oli 97,5 kWh/kg N, josta suurin osa lienee ollut hukkalämpöä, jota silloin ei ole pystytty hyödyntämään. Energiankulutus on kirjallisuudessa esiintyviin lukuihin nähden lähes kaksinkertainen, mutta lienee realistisin, koska se on saatu teollisen mitataavan tuotantolaitoksesta. Plasmateknologiaa on kuitenkin sittemmin kehitetty alkuperäisestä Birkeland-Eyde-prosessilla ja energiakulutusta saatu pienennettyä. Kun alkuperäinen Birkeland-Eyde-prosessi kulutti energiaa 2,41 MJ/mol NO niin mikroaaltopurkaustekniikalla magneettikentässä energiankulutus on vain 0,30 MJ/mol NO (Bogaerts & Neyts 2018). Tämä tarkoittaisi 12,1 kWh/kg N ollen samaa tasoa elektrolyysin kanssa.

Viitteet

- Bogaerts, A. & Neyts, E.C. 2018. Plasma Technology: An Emerging Technology for Energy Storage. ACS Energy Lett. 3: 1013–1027. Saatavissa: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.8b00184>.
- Hajjaji, N., Pons, M.-N., Houas, A. & Renaudin, V. 2012. Exergy analysis: An efficient tool for understanding and improving hydrogen production via the steam methane reforming process. Energy Policy 42 (2012): 392–399. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.003>. Norsk hydro-elektrisk kvaestofaktieselskab. 1919. Norja Salpietari. 16 s. Turun Kirjapaino ja Sanomalehti Osakeyhtiö. Saatavissa: <https://digi.kansalliskirjasto.fi/pienpainate/binding/348263?page=1>.
- Rasi, S. Finland 2020. In: Gustafsson, M. & Ammenberg, J. (eds.). IEA Bioenergy Task 37 – A perspective on the state of the biogas industry from selected member countries, IEA Bioenergy 2022. Saatavissa: https://task37.ieabioenergy.com/country-reports.html?file=files/daten-redaktion/download/publications/country-reports/Summary/IEA_T37_CountryReportSummary_2021.pdf. TEM 2020. Biokaasuohjelmaa valmistelevalle työryhmän loppuraportti, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia 2020:3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-482-2>VTT. kuva 15. <https://docplayer.fi/45396519-Synteetikaasuun-pohjautuvat-2g-tuotantovaihtoehdot-ja-niiden-aiheuttamat-paastovahenemat.html>
- Yara 2021a. Renewable hydrogen and ammonia production – YARA and ENGIE welcome a A\$42.5 million ARENA grant. Saatavissa: [https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/2020/renewable-hydrogen-and-ammonia-production-yara-and-engie-welcome-a-a\\$42.5-million-arena-grant/](https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/2020/renewable-hydrogen-and-ammonia-production-yara-and-engie-welcome-a-a$42.5-million-arena-grant/).
- Yara 2021b. Yara begins electrifying the factory at Herøya. Saatavissa: <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-begins-electrifying-the-factory-at-heroya/>.
- Ylhäinen, A. 2021. Hiilineutraalit lannoitteet tulevat. Käytännön Maamies 1: 46–47.

4. Biologiset prosessit kasvin typensaannin turvaajana

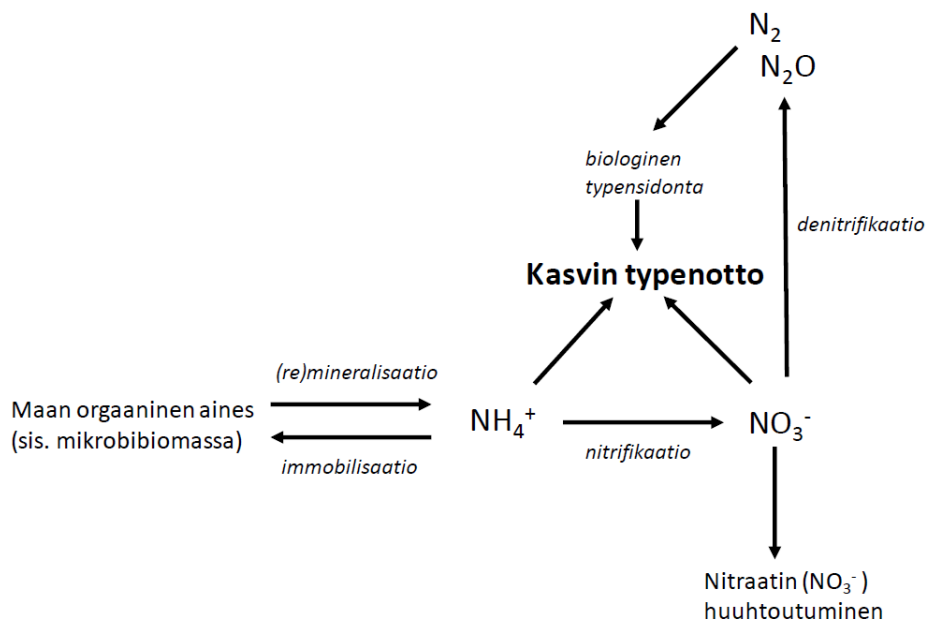
Marjo Keskitalo, Hannu Känkänen, Ansa Palojärvi, Taina Pennanen, Alan Schulman, Pirjo Tanhuanpää, Sirja Viitala

4.1. Maaperämikrobiston mahdollisuudet edistää peltokasvien typen saatavuutta

4.1.1. Biologinen typensidonta

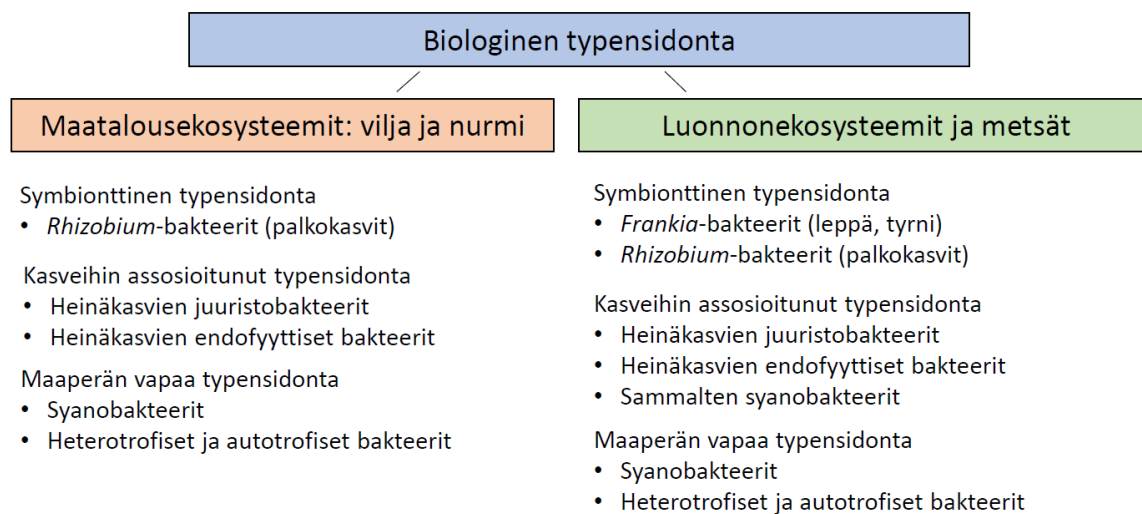
Kaikki maapallon typpi on peräisin ilmakehän typpikaasusta, jota ilmakehässämme on n. 78 %. Typpiä ei siis löydy maaperän kiviaineksesta, toisin kun muita kasvinravinteita. Ennen viime vuosisadalla kehitettyä teollista Haber-Boch -menetelmää typpikaasun sitomiseksi ammoniakki -muotoon mineraalilannoitteiden raaka-aineeksi (ks. Luku 3), kaikki kasvien tarvitsema typpi oli – suoraan tai epäsuorasti - peräisin mikrobien biologisesta typensidonnasta. Maataloussystemien biologisen typensidonnan on arvioitu olevan 50–70 TgN vuodessa, mikä on noin 50 % globaalista typpilannoitteiden tuotannosta (Herridge ym. 2008; Goyal ym. 2021). Suomessa biologisen typensidonnan osuus maataloudessa käytetystä epäorgaanisesta tyypestä on ollut selvästi pienempi (Taulukko 1).

Typensidonta (N-sidonta) on energiantensiivinen reaktio sekä teollisuudessa että mikrobeille. Typpimolekyylien pelkistymistä ammoniakiksi katalysoi nitrogenaasi-entsyymikompleksi. Sen toiminta on keskeinen osa typensidontaa ja sitä esiintyy kaikista eliöistä ainoastaan mikrobeilla, joillakin bakteereilla ja arkeoneilla. Maaperän mikrobistolla on keskeinen rooli myös typen kieron muissa vaiheissa kasvien typen käyttöönoton tehostamisesta typen peltoympäristöstä karkaimisen estämiseen (kuva 16).



Kuva 16. Kaaviokuva typen kierrosta (mikrobiologiset prosessit kursivoituina).

Kasvintuotannon kannalta mikrobien typensidonnin tärkein muoto on **symbionttinen N-sidonta** tyypibakteerien ja symbioosiin kykenevien kasvien kanssa, esim. palkokasvit ja *Rhizobium*-suvun bakteerit tai leppä ja sen *Frankia*-bakteerit (Kuva 17). Mikrobi saa kasvilta energiaa yhteyttämistuotteiden muodossa juuristoon muodostuvissa juurinyströissä. Kasvit voivat hyötyä myös ns. **assosiatiivisesta N-sidonnasta** eli tyypeä sitovat bakteerit kasvavat kasvin juuristoalueella eikä kasvi-mikrobi-yhteistyö ole tiukasti kasvi- tai mikrobilajeihin kytkeytyvää. Assosiatiivisia typensitojia ovat esim. heinämaisillä kasveilla *Klebsiella*-, *Azospirillum* ym. -suvun bakteerit. Maaperässä on myös vapaita eli ilman kasvikytköstä eläviä typensitojabakteereita, ja meillä suuri osa näistä kuuluu syanobakteereihin. Myös *Azotobacter*, *Beijerinckia* ja *Clostridium* -sukujen vapaita typensitojabakteereita tavataan yleisesti maaperästä.



Kuva 17. Biologinen typensidonta (Herridge ym. 2008; muokattu).

Biologisen typensidonnin tapojen tehokkuudessa on suuria eroja, globaalisti tarkasteltuna juurinyströissä tapahtuvan symbionttisen typensidonnin teho on 50–465 kg N ha⁻¹ vuodessa, kun assosiatiivinen tai vapaa typensidonta tuottaa 1–170 kg N ha⁻¹ vuodessa (Pankievicz ym. 2019). Suomen viileässä ilmastossa, missä maaperä on varsin hapan ja kasvien biomassatuotto lämpimiä alueita vähäisempi, typensidonnin määrät ovat alhaisempia, noin 100 kg N ja 1–20 kg N ha⁻¹ vuodessa (Herridge ym. 2008; ks. Luku 4.2). Toisin sanoen symbionttinen typensidonta kattaa kokonaan palkokasvin tarvitseman typen ja viljelykierrossa palkokasvia seuraavana vuonna typpilannoitusta voidaan merkittävästi alentaa. Typensidontaa voidaan hyödyntää satokasvien typensaannissa myös käyttämällä palkokasveja aluskasveina (esim. valkoapila) tai satokasvien seoksina (esim. kaura-herne-seos; ks. Luku 4.2).

Symbionttisen typensidonnin tehostaminen

Palkokasvien typensidontaa voidaan tehostaa tehokkaiden typensitojabakteerikantojen valinnalla ja niiden siirrostamisella siemeniin. Eri *Rhizobium*-lajit muodostavat juurinyströitä vain tiettyjen palkokasvilajien tai läheisten palkokasvisukujen kanssa (ks. Taulukko 6). Suomessa toimii Elomestari (www.elomestari.fi), joka myy kotimaisia tutkittuja ”typpiympejä” useille eri palkokasveille. Molekyylibiologian työkalujen kehittymisen myötä on pystytty myös parantamaan *Rhizobium*-bakteerikannan symbionttisia ominaisuuksia (Goyal ym. 2021), mutta ainakin Euroopassa GMO-lainsäädäntö asettaa tälle rajoituksia.

Taulukko 6. Tärkeimpien maatalouden palkokasvien kanssa juurinystyröitä muodostavat typpensitojabakteerit.

Tuotantokasvi	Bakteerikanta
Palkovilja	
Herne, härkäpapu	<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar. <i>viciae</i>
Makealupiini	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Linssi	<i>R. leguminosarum</i> biovar. <i>viciae</i>
Soija	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , <i>Bradyrhizobium elkanii</i> , <i>Rhizobium fredii</i>
Rehunurmet, viherlannoituskasvustot, aluskasvit	
Puna-apila, valkoapila, alsikeapila	<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar. <i>trifolii</i>
Sinimailanen, mesikkä	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
Rehu- ja ruisvirna	<i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar. <i>viciae</i>

Symbionttisten typpibakteerien ympäätämisen teho riippuu ratkaisevasti pellon luontaisesta typpibakteeripopulaatiosta; jos peltomaassa on runsaasti tehokkaita typpibakteereja, ympäyksellä ei saavuteta sadonlisäystä (ks. www.elomestari.fi). Mikäli typpibakteereita on peltomaassa vähän tai niiden N-sidontateho on heikko, ympäys voi moninkertaistaa sadon. Luonnonmukaisessa viljelyssä palkokasveja viljellään säännöllisesti, mutta tavanomaista viljelyä on saatettu harjoittaa vuosikymmeniä ilman palkokasveja. Runsas typpilannoitus vähentää typensidontaa ja pitkään jatkuessaan myös typpibakteerien esiintymistä maassa (Xie et al. 2022).

Assosiativisen typensidonnan tehostaminen

Kansainvälisesti tarjolla on kaupallisia kasvien typen saatavuutta edistäviä mikrobituotteita ns. kasvibiostimulantteja (biofertilizers), jotka sisältävät assosiativiseen typensidontaan pystyviä mikrobeja. Näiden mikrobien ja kaupallisten tuotteiden tehoa suomalaisessa kasvintuotannossa on tutkittu hyvin vähän. Eräs tällainen tuote on TwinN (<https://www.mabio-tec.com/twinn.php>), joka oli kymmenisen vuotta sitten hetken Suomen markkinoilla. Makeran rahoittamassa Lavitesti-hankkeessa (2010–2013; hankevetäjä Tapio Salo/ Luke) tehtiin HY:n toimesta pro gradu -työ, missä TwinN-tuotteen mikrobit tunnistettiin ja kasvutehoa testattiin vehnällä. Työn painopiste oli testata erilaisia analyysimenetelmiä, joten kasvatuskoe jäi vähemmälle painotukselle. Tehdyssä koejärjestelyssä ainoastaan yksi tuotteesta eristetyistä typpeä sitovista bakteerikannoista edisti vehnänoraan kasvua, samanlaista vaikutusta ei ollut varsinaisella tuotteella (Orasmaa 2012). Meta-analyysin mukaan (Schütz ym. 2018) biostimulanttien tehokkuuteen vaikuttavat suuresti maaperän ominaisuudet (mm. pH, P-luku) ja maantieteellinen sijainti sekä kasviryhmä (viljat yksi eniten hyötyvistä). Borealiselta alueelta ei meta-analyysissä ollut mukana tutkimuksia, sillä kasvibiostimulanteiksi soveltuvista mikrobeista ei olosuhteissamme ole käytännössä tietoa.

4.1.2. Muut kasvin kasvua edistävät mikrobit

Ritsosfäärissä elävien kasvien endofyyttien ja bakteerien on raportoitu lisäävän typpeä sitovien juurinystyröiden muodostumista ja bioottisen ja abioottisen stressin sietokykyä kontrolloiduissa olosuhteissa (Lindström & Mousavi 2020). Nämä kasvien kasvua edistävät

juuristobakteerit (Plant Growth Promoting Rhizobacteria; PGPR) edustavat erilaisia taksoneja, ja niitä on joskus käytetty menestyksekkäästi biostimulantteina; juurisyntyröistä lähtöisin oleva vety ilmeisesti edesauttaa PGPR-mikrobeja. Käytännössä huolella valitut ja testatut korkealatuiset kasvien kasvua edistävät mikrobipohjaiset kasvibiostimulantti-yhdistelmät voisivat korvata palkokasveille käytettävät synteettiset N-lannoitteet. Paikallisesti sopeuttamalla viljelykiertoa ja sekaviljelyä voitaisiin lähitulevaisuudessa saavuttaa kestävämpää elintarviketuotantoa.

Kasvibiostimulanteissa käytetään tyypillisesti useiden kasvin kasvua edistävien mikrobikantojen seoksia ja mikrobit ovat lajeja, jotka luontaisestikin esiintyvät peltomaissa. Siksi yksi tapa tehostaa kasvien luontaista ravinteidensaantia on maan hyvän kunnon jatkuva ylläpitäminen ja parantaminen. Hyväkuntoinen maa tuottaa parhaan sadon pienimmillä ulkoisilla tuotantopanosilla muutosjoustavasti.

Tietolaatikko 2: Typen kiertoon liittyvien prosessien säätely inhibiittoreiden ja biostimulanttien avulla. EU lannoitevalmisteasetus (2019/1009) on tullut voimaan 14.7.2019 ja sen soveltaminen CE-merkittyjen lannoitevalmisteiden valmistuksessa ja markkinoinnissa alkaa 16.7.2022. Mukana on kaksi lannoitevalmisteryhmää, jotka liittyvät mikrobiologisiin typenkierron prosesseihin: inhibiittorit ja kasvistiimulantit. **Inhibiittorit** parantavat lannoitteen sisältämien ravinteiden vapautumista siten, että ne hidastavat tai estävät tiettyjen mikro-organismi- tai entsyymiryhmien toimintaa. **Nitrifikaatioinhibiittori** estää ammoniumtypen (NH₃-N) biologisen hapettumisen nitriittitypeksi (NO₂-) ja näin hidastaa nitraattitypen (NO₃-) muodostumista. **Denitrifikaatioinhibiittori** estää typpioksiduulin (N₂O) muodostuminen hidastamalla nitraatin (NO₃-) muuttumista ditypeksi (N₂). **Ureaasi-inhibiittori** estää ureaasientsyymin hydrolyyttistä toimintaa urean (CH₄N₂O) suhteen pääasiallisena tarkoituksena vähentää ammoniakkin haihtumista. Kaupallisesti markkinoilla on ollut jo pitkään esim. nitrifikaation ja ureaasi-inhibiittori -tuote DIDIN (Dicyandiamide; <https://www.omex.com/products/didin>). Tuotteet ovat osoittautuneet tehokkaiksi Skotlannin olosuhteissa (Freeman et al. 2020). **Mikrobipohjaiset kasvibiostimulantit** taas kiihdyttävät kasvien luontaista ravinteidenottoa sisältämättä itse merkittäviä ravinnemääriä. Ne parantavat kasvien ravinteidenkäytön tehokkuutta, abioottisen stressin kestävyyttä, sadon laatuominaisuuksia tai lisäävät maaperään tai ritsosfääriin sitoutuneiden ravinteiden saatavuutta. Mikrobipohjaisen kasvibiostimulantin on koostuttava asetuksen liitteessä listatuista mikro-organismista tai mikro-organismien ryhmästä. Lista on täydentyvä, toistaiseksi mukana on vain neljä toimiviksi osoitettua mikrobiryhmää: palkokasvien typensitojabakteerit *Rhizobium* spp., keräsienijuurisienet (Mycorrhizal fungi), assosiativinen typensitoja *Azospirillum* spp. ja vapaa typensitoja *Azotobacter* spp. EBIC (The European Biostimulants Industry Council) otti hiljattain (31. maaliskuuta 2022) kantaa asiaan toteamalla, että laajasta kasvin kasvua edistävien mikrobien valikoimasta tulisi ripeästi siirtää mikrobituotteita EU:n lannoitevalmisteasetuksen hyväksytyjen mikrobituotteiden listalle.

4.1.3. Symbionttiset sienet; typen tehostettu ja oikea-aikainen vapauttaminen kasvin käyttöön orgaanisista lannoitevalmisteista

Sienijuurisympioosissa sieniosakas lisää sekä kasvin juurten ravinteita ottavaa pinta-alaa että laajentaa omalla rihmastollaan alaa edelleen. Sienirihman hyvin pieni, mikrometriluokkaa oleva läpimitta mahdollistaa veden oton myös pienemmistä maahuokosista ja nopeasti ravinteiden vapautumisen jälkeen, mikä vähentää huuhtoutumia. Lähes kaikilla ruohovartisilla kasveilla esiintyvien symbionttisten keräsienijuurien merkitys on suurinta kasvin fosforin otossa, jopa 80 % kaikesta fosforista (Kahiluoto ym. 2018), mutta myös typen ottaminen tehostuu symbioosin avulla, joissakin tapauksissa jopa 30–40 % kasvin ottamasta tyypestä on peräisin keräsieneltä (Smith & Read 2008). Symbioosin teho vaihtelee kuitenkin suuresti, ja riippuu kasvi- ja

sienilajin lisäksi myös ympäristön olosuhteista. Kasvit eivät välttämättä muodosta sienijuuria lainkaan, mikäli mineraaliravinteita on maassa runsaasti, koska symbioosi on kasville aina kustannus; keräsieni kuluttaa keskimäärin 5–20 % isännän yhteyttämistuotteista. Sienisymbioosin merkitys korostuu silloin kun ravinnelähteitä on niukalti tai ne ovat vaikealiukoisia, tai esim. orgaanisia sivuvirtoja (Kahiluoto ym. 2018).

Viljelytoimenpiteet vaikuttavat keräsienijuurisymbioosin tehokkuuteen sekä sienien määrään peltomaassa, esimerkiksi typpilannoituksen on osoitettu vähentävän keräsienijuurien määrää pelloilla n. 15 % ja fosforilannoituksen 32 %. Keräsienijuurien määrää alentaa etenkin jatkuva ja korkea lannoitus, runsas sienitautitorjunta-aineiden käyttö, voimakas muokkaus tai maaperän eroosio, näistä on havaintoja myös Suomessa (Vestberg & Kahiluoto 2018). Myös viljelykasveilla voi olla merkitystä; ristikkukaskasvit (kaalit, rypsi, nauris, lanttu ym.) sekä tattarikasvit, kvinoa ja pinaatti ovat tuotantokasvejamme, jotka eivät muodosta lainkaan sienijuurta, joten niiden intensiivinen viljely voi vähentää pellon keräsienien määrää. Pakarinen ym. 2021 havaitsivat kuitenkin, että yksi vuosi keräsienijuuressa typensitojakasvin (valkolupiini) viljelyä ei vähennä seuraavan vuoden satokasvin (keltasipuli) keräsienijuuria. On huomattava, että tutkimuksen pelto oli luomuviljelyssä, ja luomumenetelmien on havaittu vaikuttavan positiivisesti pellon keräsieniyhteisöön (Peltoniemi ym. 2021). Orgaaniset lannoitteet kuten lanta sekä monimuotoiset kasvustot lisäävät yleisesti keräsienijuurien määrää maassa. Luomupeltojen lisäksi myös muilla suomalaisilla pelloilla arvioidaan olevan keskimäärin kohtalaisen hyvän tilanteen keräsienijuurien suhteen, ja siksi keräsienijuurisienien laajamittaisesta siirrostuksesta peltokasveille ei ole nähty tarpeellisuutta (Vestberg & Kahiluoto 2018). Kaupallisten siirrostusten hyödyntämistä vaikeuttaa myös se, että keräsienijuurisiirroksen tehokkuus on vahvasti sidoksissa pellon ravinnetasoon; peltojen keskimääräisellä fosforitasolla siirroksesta ei välttämättä ole hyötyä. Kaupallisten keräsienijuurien lisääminen voi kuitenkin olla paikallaan erityisen hankalissa kohteissa, mutta usein pellon kasvukunnosta huolehtiminen edesauttaa myös luontaisten keräsienijuurien pysymistä maassa, samalla tavoin kuin muidenkin mikrobien. Tämän lähestymistavan merkitystä korostaa se, että tuoreen selvityksen mukaan ylivoimaisesti suurin osa maailmalla myytävistä kaupallisista keräsienijuurituotteista oli tehottomia (Salomon ym. 2022). Käytännössä sienijuurisiirrostusta suositellaan meillä esikasvatetuille puutarhakasveille, ja esimerkiksi mansikalla on kotimaisten keräsienijuurivalmisteiden todettu lisäävän kasvua yli 50 % (Vestberg & Kahiluoto 2018). Pohjoismaisiin olosuhteisiin sopeutuneiden keräsienijuurituotteiden tuotanto lopetettiin Lukessa vuonna 2016.

4.2. Typpikasvien viljely osana viljelykiertoja

Palkokasvien viljelyn lisäämisellä voidaan vähentää viljelyn riippuvuutta väkilannoitetyypin käytöstä. Biologisen typensidonnan lisäämistä selvittänyt raportti (Känkänen ym. 2013) osoitti, että jos palkokasvien viljelyn kaikki mahdollisuudet käytettäisiin täysimääräisesti tavanomaisten tilojen kivennäismailla, vähenisi teollisesti valmistetun typen tarve Suomessa noin 60 prosentilla. Vaikka palkoviljojen ja kerääjäkasvien viljely on sen jälkeen lisääntynyt, on väkilannoitetyypin käytön puolittaminen palkokasvien avulla edelleen mahdollista.

Selvityksessä otettiin huomioon silloinen biologinen typensidonta, karjanlannan käyttö ja mineraalilannoituksena annetun typen keskimääräinen taso viljatilojen kasveilla ja rehunurmen viljelyssä. Riittävä viljelyväli viljelykierrossa kasvitautien välttämiseksi otettiin huomioon palkokasvien lisäämisen rajoitteena. Lisäksi laskelmissa oletettiin, että viherkesantovuosia sisällytettiin pitkän aikavälin viljelykiertoon pellon kasvukunnon kohentamiseksi.

Ilmakehästä typpeä sitovien mikrobien kanssa symbioosin muodostavien kasvien viljelyä voidaan lisätä niin puhdaskasvustoina kuin seoksina sellaisten kasvien kanssa, jotka ottavat typensä vain maasta. Jälkimmäisessä tapauksessa palkokasvien juuristosta erittyvää typpeä voi tulla jo seoksessa kasvavan toisen kasvin käyttöön.

Fossiilisella energialla valmistetun typen säästöä syntyy palkokasvien viljelyvuonna biologisen typensidonnan ansiosta ja seuraavana tai jopa useampana seuraavana vuonna typen vapautuessa typpipitoisesta kasvimateriaalista ja typpeä väliaikaisesti käyttöönsä ottaneista maan mikrobeista.

Palkokasvien lisäksi väkilannoitetypen tarvetta voi vähentää viljelemällä kasveja, joiden typen tarve on viljoja vähäisempi. Viljelykierron monipuolistaminen tällaisten kasvien avulla parantaa samalla muiden kasvien edellytyksiä tuottaa suuria satoja, esimerkiksi tautipaineen vähenemisestä johtuen.

4.2.1. Palkokasvien lisäämisen vaihtoehdot

Rehunurmille levitetyn väkilannoitetypen määrä oli kymmenen vuoden takaisten tilastojen mukaan yllättävän alhainen, kivennäismaillakin keskimäärin vain 110 kg/ha. Tuolloin nurmipalkokasveja kasvoi noin kymmenesosalla nurmista. Edellä mainitussa selvityksessä arvioitiin, että vaihtamalla pelkästään heinäkasveja sisältävät nurmet apiloita tai sinimailasta sisältäviin seosnurmiin, voitaisiin typpilannoitusta vähentää 80 prosentilla nurmialasta keskimäärin noin 100 kg/ha. Hieman myöhemmin Lehtonen ja Niskanen (2016) kuitenkin totesivat apilan ja heinän seosten osuuden nostamisen yli kolmasosaan nurmialasta olevan kannattavuusnäkökulmasta vaikeaa. Tilakohtaisesti apilanurmien hyödyntämisen mahdollisuudet vaihtelevat suuresti, mm. lannan levitystarpeesta johtuen. Karjanlannan sijoittaminen apilanurmeen voi vaurioittaa apilaa heiniä herkemmin, mikä voi osaltaan heikentää apilan menestymistä nurmissa. Tehokkaan lannan käytön ja apilanviljelyn yhdistämistä tulisi tutkia tulevaisuudessa.

Siirtyminen pelkistä heinälajeista nurmipalkokasveja sisältäviin seoksiin muuttaa korjuustrategioita ja rehun tuotosvaikutuksia, mutta apilanurmien kyky korvata väkilannoitetyppeä puolustaa niiden käyttöä (Kuoppala ym. 2009). Hyvin kalliiksi muuttunut väkilannoitetyppi voi lisätä ainakin väliaikaisesti paljonkin nurmipalkokasvien mahdollisuuksia.

Palkokasveja seuraavien kasvien typpilannoitusta voidaan vähentää oleellisesti verrattuna tilanteeseen, jossa biologiseen typensidontaan kykenemättömät kasvit seuraavat toisiaan. Apilapitoisen nurmen jälkeen typpilannoitusta voi vähentää 30 kg/ha verrattuna vain heinälajeja sisältävään nurmeen.

Apilapitoisten säilörehujen raakavalkuaispitoisuus on korkeampi kuin pelkkien heinänurmien. Lypsylehmien ruokinnassa tämä lisää virtsaan erittyvän typen määrää. Kun satotaso on 8 tn ka/ha, on lisätypen erityis lantaan n. 15 kg N/ha/vuosi. Kun otetaan huomioon ammoniakkin haihtuminen lietelannasta, toisi apilanurmien maksimaalinen käyttö kivennäismailla typpilannoitetta korvaavaa typpeä lannan myötä lisää noin 1100–1400 tn N/vuosi.

Viherlannoituskasvustoja ei tarvitse lannoittaa, joten viljan viljelyyn nähden kyseisinä vuosina säästyy keskimääräinen 80 kg N/ha. Yksivuotinen viherlannoituskasvusto ja etenkin monivuotiset viherkesannot ovat pidemmän aikavälin ratkaisuja, joiden käyttöä akuutissa ruuan tuotannon lisäämistarpeessa voi olla vaikea perustella, koska viherlannoitteen kasvatusvuosilta ei yleensä saada korjattavaa satoa. Pidemmän ajan huoltovarmuutta niiden sisällyttäminen viljelykiertoon voi kuitenkin lisätä, kun ne korvaavat ulkomailta tuotua ammoniakkia ja vähentävät tehokkaasti yksipuolisen viljelyn haittoja.

Viherkesannon jälkeen typpilannoitusta voi vähentää viljasadon alenematta 70 kg/ha ja vielä seuraavanakin kesänä 20 kg/ha. Hyvän, esimerkiksi virnaa sisältävän, yksivuotisen viherlannoituksen jälkeen typpilannoituksen voi jättää kokonaan pois sadon oleellisesti alenematta. Muutenkin runsastyyppisten kasvustojen jälkeen muuta typpilannoitusta on uskallettava vähentää reilusti, jotta kasvimassasta vapautuva typpi tulisi mahdollisimman täysimääräisesti seuraavan viljelykasvin käyttöön. Etenkin jos muiden typen lähteiden osalta on niukkuutta, kannattaa viherlannoituksen typpi hyödyntää täysimääräisesti jättämällä muu typpilannoitus kokonaan pois.

Palkokasvipitoiset aluskasvit voivat luovuttaa hieman typpeä jo pääkasville, mutta käytännössä sillä ei paljon merkitystä ole. Sen sijaan, jos aluskasviksi kylvetty apila kasvaa syksyllä hyvin reheväksi, voi seuraavaa typpilannoitusta vähentää jopa 50 kg/ha sadon alenematta. Alus- ja kerääjäkasvien onnistuminen vaihtelee suuresti, ja siksi syksyn kasvuston rehevyyden arvioiminen on tärkeää. Keskimäärin Suomessa on apiloita sisältävillä aluskasvustoilla päästy typpilannoitustehoon, joka vastaa 20 kg/ha väkilannoitetyyppeä. Kun typpilannoitteista on niukkuutta tai ne ovat hyvin kalliita, kannattaa siis kerääjäkasveina hyödyntää biologinen typensidonta, eli kylvää aluskasveiksi apiloita ja seoksia, joissa pääpaino on apiloilla tai muilla nurmi-palkokasveilla. Alus- ja kerääjäkasveja on viime vuosina kylvetty noin 140 000 hehtaarille, ja alasta noin puolet on apiloita. Paitsi aluskasvien kokonaisalaa, myös typensitojakasvien osuutta niissä on varaa kasvattaa, samoin kuin niiden viljelyä tehostaa.

Puitavista palkokasveista viljellään lähinnä hernettä, härkäpapua ja makealupiinia. Herne on näistä perinteisin ja viljelyvarmin, mutta härkäpavun kysyntä rehutehtailla on ulkomaisen soijan välttämisen myötä kasvanut, mitä on vauhdittanut uusien lajikkeiden alhainen visiini- ja konviisiinipitoisuus. Muita, ilmaston muutoksen seurauksena tulevaisuudessa lisääntyviä vaihtoehtoja voivat olla mm. linssi ja soija, jonka viljelyä on onnistuneesti kokeiltu viimeisen runsaan kymmenen vuoden aikana. Palkoviljojen pinta-ala voitaisiin kesän 2021 noin 35 500 hehtaarista viisinkertaistaa tulevina vuosina ilman, että niiden viljelyväli kävisi liian lyhyeksi. Viljan korvaaminen palkokasvilla säästää väkilannoitetyyppeä viljelyvuonna noin 40–60 kg/ha tai jopa kokonaan viljojen keskimääräisen 80 kg/ha. Jos puitavia palkokasveja viljellään sekaviljelynä muiden kasvien kanssa, ne voivat vähentää myös seoksen muiden kasvien väkilannoitetyypen tarvetta.

Se, miten paljon palkokasvi seuraavaan satoon vaikuttaa, riippuu mm. palkokasvilajista ja siitä, miten hyvin se on kasvanut. Rehevä kasvusto luovuttaa typpeä niin maanpäällisistä osistaan kuin juurista huomattavasti enemmän kuin heikko kasvusto. Keskimäärin seuraavan viljelykasvin typpilannoitusta voidaan vähentää puitavien palkokasvien jälkeen 25 kg/ha ilman, että seuraavan kasvin sato pienenee. Yleensä hyöty on paras silloin, kun seuraavan kasvin typpilannoitus on maltillinen.

Palkokasvien menestyminen ja sopeutuminen muuttuviin kasvuoloihin vaihtelee ja on siksi hyvä, että osaamista kehitetään laajasti. Esimerkiksi herneet menestyvät kuivemmissä kasvuoloissa kuin härkäpapu. Soija ja linssi puolestaan hyötyvät lämmöstä. Makealupiinin vahvuutena on menestyminen karkeilla maalajeilla.

4.2.2. Typpihyötyä viljelykierto- ja kumppanikasveille

Seuraavan kasvin typpilannoitustarve vähenee silloin, kun puitavia palkokasveja viljellään viljelykierrossa muiden kasvien kanssa. Sekaviljely puolestaan vähentää satovuoden typpilannoitustarvetta. Sekaviljelyn ideana on saada kasvutekijät (ravinteet, vesi, valo) tehokkaammin käyttöön kuin yhtä kasvilajia viljeltäessä. Molempien seoskomponenttien sato on yleensä pienempi

kuin se olisi yksilajisessa kasvustossa, mutta kokonaissato pinta-alaa kohti on suurempi kuin tilanteessa, jossa molemmat kasvit kasvavat erikseen.

Rehuerneen lakoutumisen estäminen tukikauran avulla on käytetty sekaviljelyn muoto. Sen sijaan elintarvikkeiden tuotannossa sekaviljelymenetelmä on vasta rantautumassa Euroopasta Suomeen. Herneen lisäksi kokemusta kerrytetään myös muiden puitavien palkokasvien soveltumisesta seoksiin erityyppisten satokasvien kanssa. Sekaviljelyssä kiinnostus kohdistuu erityisesti kasvilajien ominaispiirteisiin ja niiden eroihin. Esimerkiksi viljat ovat palkokasveja tehokkaampia maaperätynen käyttäjiä, jolloin palkokasvien on satoa tuottaakseen tuotettava tarvittava tyyppi nystyröidensä avulla. On myös arveltu, että typpibakteerien toimintaa voitaisiin tehostaa oikeilla siemenseossuhteilla. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan viljojen ja palkokasvien sekaviljely vähentäisi fossiilitynen tarvetta 26 % verrattuna siihen, että kasvilajeja viljeltäisiin erikseen (Jensen et al. 2020).

Palkokasvien käyttö viljelykiirroissa on erityisen suositeltavaa. Tutkimuksellisesti yksittäisen palkokasvin synnyttämää satohyötyä seuraaville kasveille on vaikea irrottaa koko monipuolisen viljelykierron vaikutuksesta. Esimerkiksi Jokioisten pitkäaikaisessa kokeessa (Jalli ym. 2021) vehnän sadontuotto lisääntyi sitä enemmän, mitä enemmän kierrossa oli ei-heinämäisiä kasveja. Kun kiertoon lisätään vaikkapa hernettä, vähenee myös tarvittavien kasvinsuojeluaineiden määrä.

4.2.3. Reunaehtoja palkokasvien lisäämiselle

Niin kasvustojen kuin koko viljelykierron monipuolistaminen parantavat pellon kasvukuntoa, ja siten myös kasvien mahdollisuuksia käyttää tehokkaasti tarjolla olevia ravinteita. Kun viljelykasveina käytetään uusia lajikkeita, joiden tynen oton tehokkuus on jalostuksen myötä noussut, tulee myös tarjolla oleva tyyppi paremmin hyödyksi.

Kylvösiementen saatavuus voi rajoittaa palkokasvien lisäämistä, etenkin jos siihen pyritään nykytilanteen ajamana. Palkokasvien kylvösiementä on tuotu Suomeen, emmekä ole edes herneen ja härkäpavun osalta vielä omavaraisia. Laatuvaatimuksille on haettu erityislupia, jotta riittävä määrä kylvösiementä on saatu markkinoille. Pidemmällä perspektiivillä siementen saatavuutta tulisi parantaa, ja lisätä siementuotantoa jo tulevana kesänä. Siementen tuonti voi olla perusteltua, jos sillä varmistetaan esimerkiksi Etelä-Suomen savialueille soveltuvien lajikkeiden saatavuus. Akuutissa tilanteessa kannattaa hyödyntää maatilojen mahdollisuudet kunnostaa varastoissa olevaa satoa siemeneksi omaan käyttöön, vaikka sertifioitu siemen olisikin normaalisti laadukkaampaa.

Nurmipalkokasvien kylvösiemenen osalta olemme erityisen riippuvaisia tuonnista. Vuosina 2019–2020 Suomeen tuotiin vuosittain yli kymmenen nurmipalkokasvilajin siementä yhteensä 0,6–0,8 miljoonaa kiloa (Jansik ym. 2021), mikä kattaa suurimmaksi osaksi kotimaisen kylvösiementarpeen. Pyrkimyksissä omavaraiseen typpitalouteen palkokasvien avulla tulisi siten ehdottomasti lisätä myös nurmipalkokasvien siementuotantoa.

Palkokasvien tuominen viljelyyn muuttaa kasvinsuojelun käytäntöjä. Vaikeutuva kasvinsuojelu voi johtaa rikkakasvien lisääntymiseen ja etenkin rehunurmissa sadon määrän ja laadun heikkenemiseen. On mahdollista, että muiden kuin kemiallisten torjuntamenetelmien tarve lisääntyy typensitojakasvien lisääntyessä, ja luonnonmukaisen viljelyn keinoja otetaan käyttöön lisääntyvästi tavanomaisessa viljelyssä. Se voi merkitä myös muokkausten lisääntymistä, mitä muuten pyritään vähentämään. Nurmipalkokasvien lisääminen rehunurmiin lisää niiden tautipainetta, mutta palkokasvien tuominen viljatilalla kiertoon vähentää viljojen tautipainetta.

Karjanlannan sijoittaminen apilanurmeen voi vaurioittaa apilaa heiniä herkemmin, mikä voi osaltaan heikentää apilan menestymistä nurmissa. Tehokkaan lannan käytön ja apilanviljelyn yhdistämistä tulisi tutkia tulevaisuudessa.

Monesti väkilannoitteiden korvaaminen palkokasvien avulla onnistuu nykyisellä viljelytekniikalla. Uudet palkokasvit sen sijaan kaipaavat Suomessa tuotettua tutkimustietoa. Myös seka-
viljely tuo uusia kysymyksiä kylvötekniikkaan ja optimaalisen kylvösiemensuhteen määrittämiseen. Lisäksi puintiin ja sadon käsittelyyn kaivataan uutta tietoa. Kylvötekniikkaan, kylvöjen oikea-aikaisuuteen ja siemenmäärään on syytä kiinnittää huomiota myös aluskasvien onnistumiseksi.

Eduistaan huolimatta palkokasviviljelyn laajeneminen on hidasta, ja sen soisi olevan huomattavasti nopeampaa. Viljelijöiden mielipiteitä eri lajien ja lajikkeiden sopivuudesta tulisi kuunnella erityisen tarkasti, sillä sieltä saattaa löytyä avain palkokasvien lopulliseen läpimurtoon. Nykyinen tilanne kannustaa vahvasti palkokasvien viljelyn lisäämiseen.

Maalajin vaikutus

Palkokasvien merkitys typen lähteenä ei ole eloperäisillä mailla yhtä suuri kuin kivennäismailla, koska typpeä vapautuu runsaasti maasta kasvien käyttöön. Typen helppo saatavuus voi olla palkokasveille haitaksi, ja esimerkiksi herne lakoutuu herkästi jo erittäin runsasmultaisilla savi-
mailla. Kun typpeä on runsaasti saatavilla peltomaassa, palkokasvien nystyräbakteerit toimivat vain osittain ja typensidonta on vähäistä. Turvemaiden happamuus haittaa monien palkokasvien kasvuja. Nurmiin ja kerääjäkasvustoihin löytyy silti vaihtoehtoja; alsikeapila viihtyy myös turvemaidella. Maalaji vaikuttaa myös puitavien palkokasvien menestymiseen. Runsassavisuus voi olla huono maalajivalinta kuivana kasvukautena härkäpavulle mutta herneelle se käy. Karkea maalaji käy puolestaan makealupiinille.

Runsaasti typpeä luovuttaville multamaille löytyy myös ei-palkokasvien joukosta hyviä vaihtoehtoja viljelykiertoon. Esimerkiksi kumina ja tattari pärjäävät silloin vähäisellä väkilannoitetyypen määrällä.

Kasvipeitteisyys

Kun viljelykierron kasvipeitteetön aika pidetään mahdollisimman lyhyenä, pysyvät ravinteet paremmin pellossa. Peltomaahan kertyvän kasvibiomassan lisääntyminen lisää ajan mittaan typen saatavuutta, mutta voi myös lisätä viljelykasvien typenottoa, niiden kasvuedellytysten parantamisessa. Viljatilojen helpoin keino lisätä aitoa kasvipeitteisyyttä on alus- ja kerääjäkasvien käyttö. Heinäkasvit ovat apiloita tehokkaampia ottamaan typpeä talteen maasta, mutta ne saattavat vähentää viljelykasvien typen saantia lyhyellä aikavälillä. Siten niiden kanssa on suositeltavaa kylvää nurmipalkokasveja, jos typpilannoitteiden käyttö on rajoitettua.

4.2.4. Jalostuksella parempia lajikkeita ja tehostettua typen käyttöä

Maailmanlaajuisen kasvintuotannon on vastattava kasvavaan elintarvikkeiden ja rehu-
tuotannon tarpeeseen. Epäorgaaniset typpilannoitteet ovat olleet avainasemassa tuottavuuden lisäämisessä. Niiden laaja käyttö on kuitenkin aiheuttanut ympäristöongelmia kuten typen huuhtoutumista pelloilta vesistöihin ja ilmastopäästöjä. Viljelykasvien typenkäytön tehokkuuden lisääminen on kasvinjalostuksen olennainen tavoite. Typenkäytön tehokkuus koostuu kahdesta komponentista: kasvin kyvystä ottaa typpeä ja kasvin kyvystä muuttaa otettu typpi jyväsadoksi (Janssen 1998). Kummallakin komponentilla on ympäristövaikutuksia. Tehostamalla

typenkäyttöä voidaan vähentää kasveilta hyödyntämättä jäävän typen määrää maaperässä. Typenkäytön tehokkuuden lisääminen kasvinjalostuksen avulla edellyttää tietoa tekijöistä, jotka säätelevät typen ottoa ja kuljetusta sekä säätelyn genetiikasta eri kasvuvaiheissa. Kandidaattigeenien kartoitus on ensimmäinen vaihe typenkäytön tehokkuuteen vaikuttavien geenien tunnistamisessa. Ohralta typenkäytön tehokkuuteen vaikuttavia geenejä on löytynyt useita (Han et al. 2016), mutta niiden varmistaminen on vielä työn alla. Myös uusien kevätohralajikkeiden on havaittu käyttävän typpeä tehokkaammin verrattuna vanhoihin lajikkeisiin (68 % vs. 79 %, julkaisematon tulos). Typenkäytön tehokkuutta voidaan parantaa jalostuksella. Ymmärryksemme viljelykasvien typenkäytöstä on kuitenkin vielä puutteellista ja lisätutkimusta tarvitaan.

Kasvinjalostuksella voidaan parantaa myös sellaisten kasvien ominaisuuksia, jotka sitovat typpeä luontaisesti. Palkokasvit pystyvät sitomaan typpeä juurinystyröissä elävien lajispesifien Rhizobium-bakteerien avulla, joten ne eivät tarvitse typpilannoitusta ja ovat hyvä vaihtoehto proteiinikasveiksi. Suomen oloihin palkokasveista sopivat herne ja härkäpapu. Härkäpapu sitoo typpeä ilmasta noin 60 kg ja maaperästä noin 20 kg tuhatta satokiloa kohti. Puolet tästä tyypestä (~40 kg) siirtyy kypsyviin papuihin ja puolet (~40 kg) päätyy takaisin maaperään, täten maaperän nettohyöty on 20 kg typpeä tuhatta satokiloa kohti. Jalostuksella pyritään parantamaan typensitojakasvien satovarmuutta, tuholais- ja tautiresistenssiä sekä kuivuuden, kuumuuden ja maaperän happamuuden sietoa. Härkäpavun tutkimuksen ja jalostuksen edistymistä on rajoittanut se, että genomisekvenssiä, jonka avulla voitaisiin kehittää geneettisiä työkaluja, ei ole olemassa. Sekvenssin puuttuminen estää myös monimuotoisuuden tutkimista geenivarakoelmissa ja villoissa sukulaisissa. Tähän saadaan parannus, koska Luke yhdessä yhteistyökumppaneiden kanssa on juuri julkaisemassa härkäpavun genomia, jonka avulla pystytään paremmin ymmärtämään ja parantamaan tärkeimpiä ominaisuuksia. Hyödyllisten alleelien löytäminen ja niiden sisällyttäminen kasvinjalostusohjelmiin merkkiavusteisen valinnan avulla nopeuttaa uusien härkäpapulajikkeiden kehittämistä.

Viitteet

- EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) 2019/1009 (2019). EU-lannoitevalmisteiden asettamista saataville markkinoilla koskevien sääntöjen vahvistamisesta ja asetusten (EY) N:o 1069/2009 ja (EY) N:o 1107/2009 muuttamisesta sekä asetuksen (EY) N:o 2003/2003 kumoamisesta. <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>.
- Freeman, D., Wiltshire, J. & Jenkins, B. 2020. Evidence review of the efficacy of nitrification and urease inhibitors. Ricardo ClimateXChange Publications. <http://dx.doi.org/10.7488/era/449>.
- Goyal, R.K., Schmidt, M.A. & Hynes, M.F. 2021. Molecular Biology in the Improvement of Biological Nitrogen Fixation by Rhizobia and Extending the Scope to Cereals. *Microorganisms* 9: 125. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010125>.
- Han, M. et al. 2016. Identification of nitrogen use efficiency genes in barley: searching for QTLs controlling complex physiological traits. *Front Plant Sci* 7:1587. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01587>.
- Herridge, D.F., Peoples, M.B. & Boddey, R.M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 2008. 311: 1–18.
- Jalli, M., Huusela, E., Jalli, H., Kauppi, K., Niemi, M., Himanen, S. & Jauhiainen, L. 2021. Effects of Crop Rotation on Spring Wheat Yield and Pest Occurrence in Different Tillage Systems:

- A Multi-Year Experiment in Finnish Growing Conditions. *Frontiers in sustainable food systems* 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.647335>.
- Janssen B.H. 1998. Efficient use of nutrients: an art of balancing. *Field Crops Res* 56:197-201. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00130-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00130-5).
- Jensen, E.S., Carlsson, G. & Hauggaard-Nielsen, H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 40:5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>.
- Jansik, C., Huuskonen, H., Karhapää, M., Keskitalo, M., Leppälä, J., Niemi, J., Niskanen, O., Perttilä, S. & Rinne, M. 2021. Maatalouden tuotantopanosten saatavuuden riskit: Kriiseihin varautuminen ruokahuollon turvaamisessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 98 s. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/547961>.
- Kahiluoto, H., Lehto, T., Vestberg, M., Timonen, S. & Kytöviita M.-M. 2018. Ravinteidenotto ja energiatalous. Teoksessa Vestberg, M. & Timonen, S. Rihman kiertämät – Kasvien ja sienten erottamaton elämä. s 141–156. ForssaPrint.
- Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S., Rinne, M. & Vanhatalo, A. 2009. Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 2. Dry matter intake and cell wall digestion kinetics. *Journal of dairy science* 92(11): 5634–5644. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2250>.
- Känkänen, H., Suokannas, A., Tiilikkala, K. & Nykänen, A. 2013. Biologinen typensidonta fossiilisen energian säästäjänä: 2. korjattu painos. MTT Raportti 76: 60 s. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/480767>.
- Lehtonen, H. & Niskanen, O. 2016. Promoting clover-grass: Implications for agricultural land use in Finland. *Land Use Policy* 59: 310–319. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.005>.
- Lindström, K & Mousavi, S.A. (2020). Effectiveness of nitrogen fixation in rhizobia. Minireview. *MICROBIAL BIOTECHNOLOGY* 13(5): pp.1314–1335. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13517>.
- Orasmaa, S. 2012. Kasvien kasvua edistävien kaupallisten mikrobialmisteiden laadunvalvontamenettelyn kehittäminen. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto. 99 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201507211931>.
- Pakarinen, A., Fritze, H., Timonen, S., Kivijarvi, P. & Velmala, S. 2021. Boreal soil microbial diversity and seed onion mycorrhizal colonization is unaffected by preceding one season crop cultivation *European Journal of Soil Biology* 105: 103335. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103335>.
- Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Lemola, R. & Pennanen, T. 2021. Long-term impacts of organic and conventional farming on the soil microbiome in boreal arable soil. *European Journal of Soil Biology* 104: 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2021.103314>.
- Salomon, M.J., Demarmels, R, Watts-Williams, S.J., McLaughlin, M.J., Kafle, A., Ketelsen, C., Soupir, A., Bücking, H., Cavagnaro, T.R. & van der Heijden, M.G.A. 2022. Global evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology* 169: 104225. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104225>.

- Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P. & Mathimaran, N. 2018. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization – A Global Meta-analysis. *Front. Plant Sci.* 8:2204. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02204>
- Smith, S.E. & Read, D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. p. 174. Academic Press/Elsevier, Great Britain.
- Thomas, B.W., Whalen, J.K., Sharifi, M., Chantigny, M. & Zebarth, B.J. 2016. Labile organic matter fractions as early-season nitrogen supply indicators in manure-amended soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 179: 94–103. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400532>.
- Vestberg, M. & Kahiluoto, H. 2018. Keräsienuurisymbioosin merkitys maataloudessa. Teoksessa Vestberg, M. & Timonen, S. Rihman kiertämät – Kasvien ja sienten erottamaton elämä. s 277–289. ForssaPrint.
- Xie, K., Ren, Y., Chen, A., Yang, C., Zheng, Q., Chen, J., Wang, D., Li, Y., Hu, S. & Xu, G. 2022. Plant nitrogen nutrition: The roles of arbuscular mycorrhizal fungi. *J Plant Physiol.* 269: 153591. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153591>

5. Maatalouden, yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden biomassojen kierrätyspotentiaali, prosessointi lannoitevalmisteiksi, logistiikka ja käyttö maataloudessa

Elina Tampio, Sari Luostarinen, Petri Kapuinen, Sanna Kykkänen, Ville Pyykkönen, Kimmo Rasa, Ari-Matti Seppänen, Maarit Termonen, Erika Winquist ja Kirsi Järvenranta

5.1. Biomassojen potentiaali Suomessa

Kierrätyslannoitevalmisteilla tarkoitetaan erilaisista kierrätettävistä sivuvirroista prosessoituja, organisiperäisiä lannoitevalmisteita. Ne voivat olla ravinnesisällöltään mineraalilannoitteiden kaltaisia lannoitteita tai orgaanista ainesta (ja ravinteita) sisältäviä maanparannusaineita (Sepänen ym. 2020). Useimmat markkinoilla olevista kierrätyslannoitevalmisteista ovat maanparannusaineita, koska niiden ravinnepitoisuus ei riitä lannoitteeksi. Siitä huolimatta tuotteiden ravinnesisältö rajoittaa käyttö määrää peltoviljelyssä niin, että maanparannusvaikutus jää pieneksi suhteessa lannoitusvaikutukseen.

Kierrätyslannoitevalmisteita voidaan valmistaa erilaisista biomassoista. Luonnonvarakeskuksen arvion mukaan vuosittain muodostuu noin 20 miljoonaa tonnia erilaisia biohajoavia materiaaleja, lantoja sekä yhdyskuntien ja elintarviketeollisuuden jätejakeita, jotka sisältävät noin 90 000 tonnia kokonaistyyppiä (Taulukko 7). Liukoisen, suoraan mineraalilannoitteiden tyyppiin verrannollisen tyypin potentiaalia biomassoissa on noin 35 000 tonnia. Verrattuna mineraalilannoitteiden vuotuisen käyttöön (140 000–150 000 tonnia) etenkin muiden biomassojen kuin lantojen sisältämät typpimäärät ovat vähäisiä. Loput kokonaistyyppistä on orgaanisena tyypinä, joka voidaan ainakin osin mineralisoida liukoiseksi prosessoimalla biomassoja tai joka vapautuu suoraan maahan levitettynä ajan myötä kasvien käyttöön (ks. Kpl 1: orgaanisen tyypin mineralisaatio).

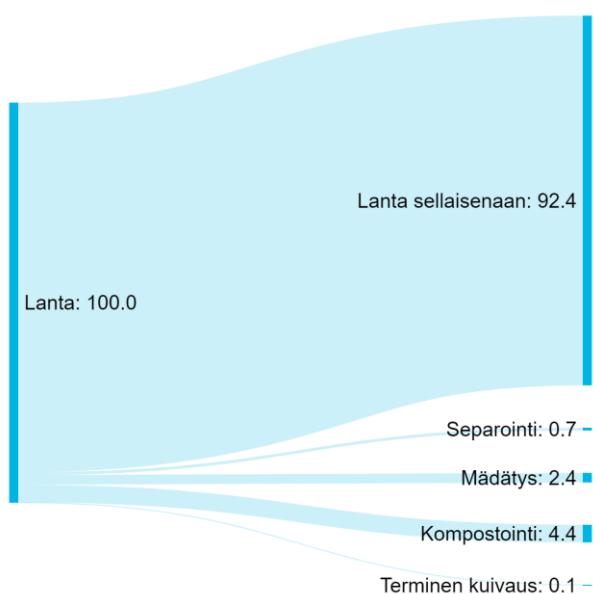
Lannassa on Suomen merkittävin tyypin kierrätyksen potentiaali, ja pääosa lannasta kiertääkin jo maatalouden käyttöön. Lantatypen käyttöä voitaisiin kuitenkin edelleen tehostaa mm. vähentämällä tyypin hävikkiä lannankäsittelyssä mm. tehostetun lannanpoiston, lantaloiden kattamisen ja typpihävikit minimoivien levitysmenetelmien kautta. Lantaa prosessoidaan toistaiseksi Suomessa vielä varsin vähän. Tähän raporttiin tehdyn uuden arvion mukaan noin 7 % kaikesta Suomessa muodostuvasta lannasta prosessoidaan (Kuva 18). Aiempaan arvioon verrattuna (Luostarinen ym. 2019a) lannan prosessoinnin osuus on kasvanut yhdellä prosenttiyksiköllä, mihin on vaikuttanut erityisesti lantaa mädättävien biokaasulaitosten määrän kasvu.

Taulukko 7. Eri biomassojen muodostuvat määrät ja ravinnesisältö Suomessa¹⁷.

	Massa (t)	N (t)	Liukoinen N (t)	P (t)
Kotieläinten lanta	13 000 000	73 200	32 200	15 200
Yhdyskuntien biojäte ¹	360 000	2 200	100	400
Yhdyskuntien jätevesiliete ²	4 720 000	8 300	1 800	4 500
Elintarviketeollisuuden biohajoavat jätteet	470 000	6 400	900	1 100

¹ Erilliskerätty biojäte

² Jätevesilietteet ennen tiivistystä tai kuivausta, kuiva-ainepitoisuus 3,2 %



Kuva 18. Lannan prosessoinnin nykytila Suomessa. Yksikkönä % kokonaislantamäärästä. Keskitetyn prosessoinnin ja maatilojen biokaasulaitosten tilanne perustuu vuoden 2020 tietoihin (Ruokaviraston vuosi-ilmoitukset, Tilastokeskuksen biokaasukysely, toimijoiden haastattelut) sekä tilatason muiden prosessointien tilanne vuoden 2020 tilanteeseen ja vuoden 2014 lannankäsittelykyselyn aineistoon.

¹⁷ Lantojen määrä ja ravinteet: Suomen normilanta -järjestelmän lantatiedot (Luostarinen ym. 2017a,b) ja vuoden 2020 eläintilastot (Ruokavirasto), pois lukien hevoset (Suomen Hippos 2018) ja turkiseläimet (Fifur 2021). Yhdyskuntien biojäte: Asukaskohtainen kerroin 71 kg/asukas/vuosi (SYKE 2017; asukasmäärä 2015). Yhdyskuntien jätevesiliete: Asukaskohtainen kerroin 0,87 t/asukas/vuosi, joka raportoitu puhdistamolietteen määrää kuiva-aineena (153 200 t TS/vuosi, Vilpanen & Toivikko 2017; asukasmäärä 2015). Elintarviketeollisuuden biohajoavat jätteet: VAHTI-järjestelmään ilmoitetut kasvijätteet, eläinperäiset lietteet ja sivuvirrat, meijeri- ja maitojätteet, leipomojäte, juomien valmistuksen jäte ja rasvajäte (2017). Ravinnesisällön lähteet on koottu julkaisuun TEM (2020).

Myös **maatalouden kasvibiomassoista** on mahdollista saada lisäravinteita kiertoon. Esimerkiksi osa oljesta, säilörehun ylijäämää, viljelykierroista vapautuvia nurmia tai suojavyöhykkeiden ja luonnonhoitopeltojen nurmimassoja voitaisiin prosessoida osana lannoitevalmisteita tuottavien laitosten syötöseosta. Massat soveltuisivat erityisesti biokaasulaitoksiin.

Lisäksi **yhdyskuntien ja teollisuuden sivuvirroissa** on runsaasti tyypeä, jota voitaisiin kierrättää nykyistä tehokkaammin. Niitä käsitellään nykyisellään pääasiassa joko kompostoimalla tai mädättämällä, jolloin näiden materiaalien sisältämät ravinteet ohjautuvat maatalouden lisäksi myös viherrakentamiseen ja maisemointiin. Tyypeä myös menetetään nykyisissä toimintatavoissa hävikkinä ilmakehään joko tarkoituksella (mm. typen poisto jätevesien käsittelyssä) tai hävikkinä (erit. kompostointi). Pieniä määriä erilaisia biomassoja päätyy myös kuluttajille markkinoitaviksi lannoitevalmisteiksi. Esimerkiksi vuoden 2016 tietojen mukaan arvioitiin erilaisten, myös lantaa sisältävien, orgaanisten kierrätyslannoitevalmisteiden mukana päätyvän kiertoon noin 4000 tonnia tyypeä (Marttinen ym. 2017).

Jätevesilietteiden tyypestä osa kiertää puhdistamoille takaisin lietteen kuivauksessa erotettava rejektivetenä joko ennen lietteen käsittelyä tai sen mädätyksen jälkeen. Jäteveden puhdistuksessa osa tyypestä vapautuu aktiivilieteprosessissa ilmaan ja on arvoitu, että vain alle kymmenesosa puhdistamoille tulevasta tyypestä päätyy lietteen ja lietteenkäsittelyn kautta viherrakentamiseen ja maatalouteen (Lehtoranta ym. 2021). Jätevedenpuhdistamoja ei ole suunniteltu ravinteiden talteenottoon, mutta typen talteenottoa jätevedestä voitaisiin tehostaa erilaisin tekniikoin, mm. rejektivettä jalostamalla (ks. Kappale 3.4). Prosessoiduista jätevesilietteistä ohjautui maatalouteen VVY:n (2021) raportin mukaan 46 % vuonna 2020.

Kierrätettäviä biomassoja muodostuu **alueellisesti erilaisia määriä**. Esimerkiksi kotieläin- ja elintarviketuotannon keskittyneisyys lisää lantaravinteiden määrää ja saatavuutta tietyillä alueilla. Lantaa on erityisen paljon Varsinais-Suomessa, Satakunnassa, Pohjois-Savossa ja Pohjanmaan maakunnissa.

5.2. Prosessointitekniikat ja niiden mahdollisuudet

Biomassoja voidaan prosessoida erilaisilla tekniikoilla, joiden valinta on riippuvainen prosessoinnille asetetuista tavoitteista. Prosessoinnilla voidaan pyrkiä stabiloimaan ja hygienisoimaan massaa ja näin saavuttamaan lainsäädännön asettamat velvoitteet. Prosessoimalla biomassa biokaasulaitoksella saadaan myös sen energiasisältö talteen. Usein biomassaa myös prosessoidaan sen tilavuuden minimoimiseksi ja varastoinnin sekä kuljetettavuuden helpottamiseksi (ks. Kappale 5.3). Jäteperäisten biomassojen osalta prosessoinnilla on pitkään tavoiteltu lähinnä materiaalin haitattomaksi tekemistä, jolloin ravinteiden kierrätys on ollut toissijaista. Samat teknologiat kuitenkin usein edesauttavat ravinteiden kierrätystä, ja eri tekniikoita voidaan yhdistää ketjuksi ja optimoida prosessi myös ravinnekierrätyksen näkökulmasta.

Biomassan sisältämä typpi voi teknologiasta ja olosuhteista riippuen joko liukoistua, haihtua ilmaan tai väkevöityä erilliseen jakeeseen prosessoinnin aikana. Vesiliukoisuutensa vuoksi liukoinen typpi ($\text{NH}_4\text{-N}$ ja $\text{NO}_3\text{-N}$) siirtyy esimerkiksi separoitaessa suurimmaksi osaksi nestemäiseen jakeeseen. Mm. proteiineihin sitoutunut orgaaninen typpi taas pidättyy orgaaniseen ainekseen ja erottuu separoinnissa pääosin kuivaan jakeeseen. Termisissä prosesseissa on suuri riski lämpötilan nousun aiheuttamalle typen haihtumiselle ammoniakkinä ja näin typpihävikkeille, mikäli tyypeä ei oteta talteen kuivaus- tai savukaasuista. Myös kompostoinnissa tyypeä haihtuu sekä ammoniakki- että N_2O -muodossa olosuhteiden ja mikrobiologisen hajoamisen seurauksena. Typen voi näissä tapauksissa myös ottaa uudelleen talteen esimerkiksi poistokaasujen käsittelyssä.

Taulukko 8. Typen kierrätyksen kannalta merkittävimmät kaupalliset teknologiat.

Prosessi	Periaate	Erityispiirteet typen osalta
Mädätys	Mikrobiologinen prosessi, jossa biohajoavista raaka-aineista muodostuu biokaasua ja mädätettä hapettomissa olosuhteissa. Käsittelyn tehokkuus riippuvainen käsiteltävästä materiaalista, olosuhteista sekä tekniikasta. Ravinteet säilyvät prosessissa, orgaaninen typpi liukoistuu.	Orgaaniseen ainekseen sitoutuneen typen osittainen mineralisoituminen NH_4^+ -typeksi mikrobiologisen hajoituksen seurauksena. NH_4^+ -N pitoisuuden nousu 10–100 % riippuen syötemateriaalien ominaisuuksista.
Väkeväinti (haihdutus)	Veden haihduttaminen lämpötilaa nostamalla, jolloin jäljelle jää ravinnepitoinen, väkeväitynyt nestejäte (konsentraatti). Haihtunut vesi tiivistetään (kondensaatti) ja kerätään talteen.	Lämpötilan myötä liukoista typpeä haihtuu, kaasufaasin typpi voidaan ottaa talteen. Typen haihtuminen voidaan myös estää pH:n laskulla.
Ammoniakin strippaus	Typen talteenottotekniikka, jossa ammoniumtyppi (NH_4^+ -N) erotetaan nestefaasista pH:n säädön ja ilmapuhalluksen avulla kaasumaisessa ammoniakkimuodossa (NH_3). Ammoniakki voidaan ottaa talteen pesemällä se ilmapuhalluksesta esimerkiksi rikkihappoon, jolloin muodostuu ammoniumsulfaattia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Vesipesussa tuotteena syntyy ammoniakkiliuos, jota voidaan edelleen väkevöidä haihduttamalla.	Tuottaa fosfori- ja kiintoainevapaan typpituotteen
Kiteytys (struviitti)	Typen ja fosforin kiteytys nestemäisestä massasta magnesium-typpi-fosfaattisuolaksi ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	N:P lannoite, joka kiteytettynä voidaan käyttää mineraalilannoitteen tapaan.
Happokäsittely	Lannan (tai mädätteen) pH:n lasku tasolle pH 5,5–6, mikä estää ammoniakin haihtumista ja vähentää ammoniakkipäästöjä	Vähentää typpihävikkiä lannankäsittelyssä

Typpipitoisten lannoitevalmisteiden tuotannossa tärkeimpiä prosessointiteknologioita ovat typen liukoisuuteen ja typpipitoisuuden nostoon liittyvät tekniikat. Biokaasuprosessissa käsiteltävien materiaalien liukoisen typen osuus kasvaa orgaaniseen ainekseen sitoutuneen typen mineralisoituessa. Näin ollen mädänte sisältää syötemateriaaliaan enemmän liukoista typpeä, mutta mineralisoitumisaste on riippuvainen syötemateriaalien ominaisuuksista ja prosessiolosuhteista. Biokaasuprosessissa voidaan käsitellä erilaisia biohajoavia materiaaleja ja erityisesti keskitetty käsittely mahdollistaa mädätteen jatkojalostuksen. Erilaisilla erottelu- ja kemiallisilla tekniikoilla voidaan esimerkiksi tuotetusta mädätteestä erottaa liukoinen typpi omaksi jakeekseen (esim. strippaus). Tätä typpipitoista jätettä voidaan käyttää lannoitevalmisteena ilman esimerkiksi fosforin asettamia rajoitteita ja se voi olla epäorgaanisen typpilannoitteen kaltainen. Prosesseja on kuitenkin operoitava huolella, jotta varmistetaan paitsi korkea typen talteenototehokkuus, myös minimoidaan prosessoinnista aiheutuvat päästöt. Typen talteenoton

kannalta tehokkaita teknologioita on koottu Taulukkoon 8. Luvussa 3 esitellään Suomessa toiminnassa olevia typpilannoitevalmisteita tuottavia laitoksia prosesseineen.

Biomassojen prosessointi erilaisiksi lannoitevalmisteiksi mahdollistaa myös liiketoiminnan kierätyravinteilla. Lisäksi biomassoista prosessoitujen lannoitevalmisteiden sisältämä hiili tuottaa lisäarvoa maatalouskäytössä verrattuna perinteisten epäorgaanisten lannoitteiden käyttöön.

MM. lietelannan, mädätteiden, virtsan ja väkilannoitteiden typen hyväksikäyttöä voidaan tehostaa ja haitallisia ympäristövaikutuksia vähentää erilaisten typpi-inhibiittoreiden avulla. Inhibiittori hidastaa ammoniumtypen muuntumista huuhtoutumisherkkään nitraattimuotoon. Samalla lannanlevityksestä aiheutuvat typen oksidien päästöt vähenevät, mutta riski ammoniakkin haihtumiselle lannan pintalevityksessä kasvaa (Subbarao ym. 2006). Inhibiittoreiden käyttö on toistaiseksi vähäistä Suomessa ja viimeaikaisissa kokeissa todettu potentiaalinen hyöty näyttää rajalliselta (Mustonen ym. 2022).

5.3. Lannan ja kierrätyslannoitevalmisteiden logistiikka

Lietemäisten biomassojen, kuten lannan tai biokaasulaitoksen mädätteen, kuljetuksessa keskeisenä haasteena on korkea vesipitoisuus ja siitä aiheutuva laimea ravinnepitoisuus, mikä tekee massan kuljettamisesta kallista ja levityskalustosta raskasta, mikä puolestaan lisää maaperän tiivistymisen riskiä. Toisena haasteena on typen haihtuminen varastoinnin, siirtojen ja levityksen aikana. Näiden haasteiden ratkaisuksi on kehitetty eläinsuojien ja lantavarastojen lannankäsittelyn lisäksi erilaisia levityksen ja logistiikan ratkaisuja, kuten sijoitettavia levitysvaunuja sekä siirreltävien lantakonttien tai etäsäiliöiden avulla toteutettavaa vetoletkulevitystä. Vaihtoehtoisena ratkaisuna kumpaankin näistä ongelmista on jatkojalostus kierrätyslannoitevalmisteiksi, jolloin ravinteita saadaan väkevöityä, typen haihtumista paremmin hallittua ja lannoitevalmisteen olomuotoa kehitettyä paremmin vastaamaan logistiikan ja levityksen tarpeita.

Lantalogistiikkaa on tarkasteltu Suomessa lähinnä lantafosforin näkökulmasta. Fosforin epäta-sainen jakautuminen pelloille on ongelma erityisesti sisävesien ja Itämeren rehevöitymisen kannalta. Kotieläinvaltaisilla viljelyalueilla, etenkin Lounais- ja Länsi-Suomessa, lantafosforia päätyy pelloille kasvinravitsemukseen nähden ylimäärin, sillä alueilla lantafosforia syntyy enemmän kuin paikallinen peltoviljely kasvien tutkitun tarpeen mukaan pystyy hyödyntämään. Vastaa-vasti esimerkiksi Etelä-Suomen viljanviljelyyn painottuvilla alueilla fosforin tarpeeseen käytetään paljolti mineraalifosforilannoitteita, johtuen joko lantojen huonosta paikallisesta saata-vuudesta, lannanlevityskaluston puutteesta tai tottumuksesta toimia mineraalilannoitteiden kanssa. Kokonaiskuvassa Suomen kotieläintuotannon lantojen sisältämä fosfori riittäisi katta-maan viljelykasvien vuosittaisen fosforitarpeen (Luostarinen ym. 2019a). Lantaongelman purkamiseksi tulisi edistää alueellisesti erikoistuneen tuotantorakenteen monipuolistamista ja kes-kitettyjä jalostusratkaisuja, joilla osa lantakeskittymien ravinteista voidaan purkaa suuremmalle alueelle. Kun fosforia pyritään erottamaan kauemmas kuljettaviin jakeisiin, voi myös lantaty-pen käyttö tehostua.

Tietolaatikko 3: Pitkälle jalostettuja ja kuljetettavia kierrätyslannoitevalmisteita biokaasulaitoksen mädätteestä.

Biokympin (<https://bio10.fi/>) biokaasulaitos Kiteellä on yksi ensimmäisiä pitkälle jalostettuja kierrätyslannoitevalmisteita valmistavia biokaasulaitoksia Suomessa. Prosessissa biokaasulaitoksen mädäte separoidaan neste- ja kuivajakeeseen. Tämän jälkeen nestejakeetta väkevöidään kalvosuodatuksella, jonka lopputuotteena saadaan ravinnekonsentraattia (Horn ym. 2020). Lähialueen pelloille levitetään sekä fosforipitoisempaa kuivajakeetta että typpipitoisempaa ravinnekonsentraattia. Samaan aikaan prosessikehityksen kanssa on myös tehty levityslaitteiston kehitystä. Lietelannan levitykseen käytetty kalusto ei suoraan sovi ravinnekonsentraatin levittämiseen, koska siinä ravinteet ovat väkevämmässä muodossa ja levitysmäärät pienempiä. Yhtenä pulonkaulana monenlaisten kierrätyslannoitevalmisteiden käytössä onkin levityskaluston levityskapasiteettien ja lannoitevalmisteiden olomuotojen ja ravinnepitoisuuksien yhteensopivuusongelmat.

Kierrätyslannoitevalmisteiden kuljetuskustannuksia on mahdollista alentaa poistamalla vettä tuotteesta, jolloin myös ravinnepitoisuutta saadaan nostettua (Taulukko 9). Neste-kiintoainerotus ruuvipuristimella tai dekantterilingolla on yksinkertaisin mahdollinen tapa separoida lantaa tai muita lietemäisiä biomassoja neste- ja kuivajakeeseen. Ruuvipuristin on edullinen separaattori, joka sopii esim. nautojen kuivikkeen tuotantoon, mutta se ei erota kovin tehokkaasti fosforia kuivajakeeseen: liukoisen typen ja fosforin suhdeluku (liuk. N/P) on separoinnin nestejakeessa noin 25 % korkeampi kuin separoimattomassa naudan lietelannassa (nestejakeeseen mukana voidaan levittää 25 % enemmän liukoista typpeä pellolle fosforirajoituksen puitteissa). Dekantterilinko erottaa fosforin huomattavasti tehokkaammin kuivajakeeseen, ja sen tuottamassa nestejakeessa voi olla yli 100 % korkeampi liuk. N/P-suhdeluku kuin separoimattomassa naudanlietelannassa (Pyykkönen & Ervasti 2019).

Yksi vaihtoehto vastaamaan sekä kuljetuskustannusten että levityskalustoon yhteensopivuuden haasteisiin on separoidun kuivajakeen kuivaaminen ja rakeistaminen. Kuivaamalla pystytään vähentämään noin 60–80 % biomassan painosta haihduttamalla ylimääräinen kosteus pois massasta. Kuivausteknologioita on useita ja biomassakohtaisesti on löydettävissä ratkaisut, jolloin myös kuivumisen aikainen typen haihtuminen jää vähäiseksi tai haihtuva typpi voidaan ottaa talteen. Eri rakeistusteknologioilla, kuten pelletöinnillä, pystytään tuottamaan lannoitevalmisteita, jotka soveltuvat mineraalilannoitteiden levitykseen suunniteltuja keskipakois- ja kylvölannoittimiin. Useiden biomassojen kohdalta rakeistetun tuotteen ravinnepitoisuus jää usein alhaiseksi etenkin typen osalta. Tähän pystytään vastaamaan lisäämällä korkeampia ravinnepitoisuuksia sisältäviä orgaanisia- tai mineraalisia lannoitekomponentteja raeseokseen. Rakeistettu lannoite on kuljetettavissa ja varastoitavissa mineraalilannoitetta vastaavasti suur säkeissä. Merkittävä haaste rakeistamisessa voi olla korkea energiankulutus, kun massoja täytyy sekä kuivata että puristaa haluttuun muotoon.

Lannan tai kierrätyslannoitevalmisteiden kuljetuskustannus sovitaan aina tapauskohtaisesti paikallisen kuljetusyrittäjän kanssa ja siihen vaikuttavat kuljetusetäisyyden lisäksi toiminta-alue, kuljetusreitit ja vuosittain kuljetettavat määrät. Turkisteho-hankkeessa (hintatiedot vuodelta 2019) kuljetuskustannus arvioitiin tilavuutta kohti kahdelle eri kuljetusmatkalle: 12,90 €/m³/100 km (kuljetusetäisyys alle 100 km) tai 6,50 €/m³/100 km (kuljetusetäisyys yli 100 km) (Tampio ym. 2021). BioRaEE-hankkeessa (hintatieto vuodelta 2019) kuljetuskustannukseksi arvioitiin puolestaan 8,60 €/t/100 km (kuljetusetäisyys alle 100 km) (Horn ym. 2020). Tämän jälkeen polttoaineiden hinnat ovat kuitenkin nousseet huomattavasti (esim. dieselpolttoaineen hinta 1,35 €/l syyskuussa 2019 ja 2,19 €/l huhtikuussa 2022, www.tankille.fi).

Polttoaineen hinnannoususta huolimatta kierrätyslannoitevalmisteiden kuljetuskustannuksen suhde mineraalilannoitteisiin nähden on pysynyt samana ja on suoraan verrannollinen kierrätyslannoitevalmisteiden ravinnepitoisuuteen (Taulukko 9).

Taulukko 9. Esimerkkejä typen ja fosforin pitoisuuksista lannassa, lannan separoiduissa neste- ja kuivajakeissa, biokaasulaitoksen mädätteessä, sekä siitä valmistetussa ravinnekon-sentraatissa.

Lannoite tai ravinnejae	TS (%)	Ntot (kg/t)	Nliuk (kg/t)	P (kg/t)	viite
YaraMila Y3	kuiva tuote	230	230	30	Yara, 2022
Naudan lietelanta	8,5	3,4	2,1	0,6	Pyykkönen & Ervasti 2019
Naudan lietelannasta dekanterilingolla separoitu nestejaje	4,3	3,5	2,3	0,3	Pyykkönen & Ervasti 2019
Naudan lietelannasta dekanterilingolla separoitu kiintojaje	23,8	4,4	1,4	1,6	Pyykkönen & Ervasti 2019
Naudan lietelannan mädätteestä valmistettu N-konsentraatti (Valio Oy)	7,1	6,4	5,2	< 0,002	Järvenranta ym. 2020
Biokaasulaitoksen mädätteestä separoitu nestejaje	3,8	5,6	4,0	0,6	Horn ym. 2020
Biokaasulaitoksen mädätteestä jalostettu ravinnekon-sentraatti	2,8	12,5	9,9	0,1	Horn ym. 2020
Biokaasulaitoksen mädätteestä erotettu ravinnekon-sentraatti	16,3	14,3	11,7	1,6	Gasum 2022
Novarbo Arvo 8-1-5 pellettilannoite	>90	78	4	10	Novarbo 2020

Lannan ja kierrätyslannoitevalmisteiden käytölle on ehdotettu pysyvää tukea ympäristökorvausjärjestelmän kautta, jolloin tuettaisiin uusia toimintatapoja ja niiden käytölle tarpeellisten logistiikan ja levityksen palveluiden rakentumista (Luostarinen ym. 2019b). Uuteen CAP-järjestelmään on esitetty toimenpidettä, joka tukisi kierrätyslannoitevalmisteiden käyttöä maataloilla (tuki valmisteesta riippuen kg/ha -perusteisesti), mutta varsinaisia kuljettamisen tukia ei ole saatavilla.

5.4. Vaatimukset ja rajoitteet kierrätyslannoitevalmisteiden valmistukselle ja käytölle

Lannoitevalmisteita säädellään sekä kansallisella että EU-lainsäädännöllä, joiden tavoite on turvata kasvintuotannon ja elintarvikkeiden laatu sekä ympäristön tila. Lainsäädäntö asettaa vaatimuksia mm. biomassojen prosessoinnille ja tuotteiden laadulle riippuen käsiteltävästä materiaalista (Tampio ym. 2018). Biomassojen prosessoinnissa eläinperäisiä sivutuotteita käsittelevät laitokset toimivat ns. sivutuotelainsäädännön (sivutuotelaki 517/2015 ja -asetus MMMa 783/2915 muutoksineen) vaatimusten mukaan. Lannoitevalmisteita voidaan valmistaa erilaisista biomassoista, kunhan tuote täyttää lannoitevalmistelain (539/2006) ja -asetuksen (MMMa 24/11 muutoksineen) vaatimukset (epäpuhtaudet, hygienia, raskasmetallit). Sivutuoteasetuksen luokan I raaka-aineita ei pääsääntöisesti saa käyttää lannoitevalmisteiden raaka-aineena. Myöskään jätevesilietteestä erotettu nestejätettä ei saa käyttää lannoitevalmisteena, mikäli jätevesilietettä on ollut raaka-aineena yli 10 %. Jätevesilieteteille on lannoitevalmisteasetuksessa asetettu hygienisointivaatimus, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi kompostoimalla, mädättämällä tai termisesti kuivaamalla. Suomessa kansallinen lannoitevalmistelainsäädäntö on muuttumassa vuoden 2022 aikana, kun uuden EU:n lannoitelainsäädännön (1009/2019/EU) soveltaminen alkaa.

Lannoitevalmisteiden typen käyttöä rajoittaa ns. nitraattidirektiivin (91/676/EEC) kokonaistyyppiraja 170 kg N/ha/v, joka koskee niitä tuotteita, joiden raaka-aineena on käytetty yli 10 % lantaa. Euroopan komission alainen tutkimusyksikkö JRC on tutkinut ja julkaissut ehdotukset sellaisille lannasta prosessoiduille typpipitoisten lannoitevalmisteille, joiden nitraattidirektiiviä suuremmat käyttömäärät tulisi sallia typen kierrätyksen edistämiseksi. Tällaisia tuotteita voisivat olla esimerkiksi ammoniumsulfaatti ja struviitti, jotka sisältävät hyvin vähän orgaanista ainesta ja joissa mineraalityyppiä on runsaasti (Huygens ym. 2020).

Nitraattidirektiivi on Suomessa pantu täytäntöön valtioneuvoston asetuksella (1250/2014) maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta (ns. nitraattiasetus). Asetus myös sääntelee lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttöä sekä levitettävän määrän että levitysjankohdan suhteen. Lanta ja orgaaniset lannoitevalmisteet tulee levittää aikavälillä 1.4.–31.10. Tästä levitysjajasta voidaan lantaa levitettäessä poiketa marraskuun loppuun saakka tilanteissa, joissa lantaa ei ole voitu hyödyntää lannoitteena pellolla kasvukauden aikana poikkeuksellisen sääolosuhteen vuoksi. Koska lannasta tuleva kokonaistyyppimäärä ei saa ylittää 170 kg N/ha/v, se rajoittaa erityisesti kuivalannan ja lannasta erotetun kuivajakeen käyttöä. Lannoitelainsäädännön uudistuksen yhteydessä fosforilannoituksen sääntely siirtyy lakiin ja valmisteilla, joissa fosforia on runsaammin, levitysmäärä määräytyy fosforilannoitusrajojen mukaan.

Lannoitelainsäädännön uudistus tulee käsittelemään myös lannoitevalmisteiden laatua eikä siitä kirjoitushetkellä vielä ole tarkempaa tietoa. Tällä hetkellä lannoitevalmisteita, jotka sisältävät yli 10 % puhdistamolietettä ja kuuluvat maanparannusaineena sellaisenaan käytettävien sivutuotteiden typpinimiryhmiin, koskevat lannoitevalmisteasetuksen pitoisuuden raja-arvojen lisäksi myös lietteen aiheuttaman kuormituksen rajoitukset sekä käyttökohteen pitoisuudesta tulevat rajoitukset. Jätevesilieteperäisten tuotteiden käyttö on kielletty matalan pH:n mailla (vain sellaisella viljelymaalla, jonka pH on yli 5,8 tai kalkkistabiloitua lietettä käytettäessä viljelymaan pH:n on oltava yli 5,5). Lisäksi jätevesilieteperäisiä tuotteita on sallittu käyttää vain sellaisella viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta tai öljykasveja tai sellaisia kasveja, joita ei yleensä käytetä ihmisen ravinnoksi tuoreena, syömällä maanalainen osa tai eläinten

rehuksi. Nurmelle niitä saa levittää vain perustettaessa nurmi suojaviljan kanssa ja multaamalla ne huolellisesti¹⁸.

Kierrätyslannoitteet voivat sisältää myös sellaisia haitta-aineita, joita ei vielä lannoitevalmistelainsäädännöllä rajoiteta. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi orgaaniset haitta-aineet, lääkeaineet ja mikromuovit. Myös antibioottiresistenttien bakteerien esiintymistä lannoitteeksi päätyvissä materiaaleissa (mm. lannat) on tutkittu (Aarnio ym. 2019). Jätevesien mukana jätevedenpuhdistamoille päätyy laaja kirjo erilaisia yhdisteitä, joista osa päätyy kemiallisten ominaisuuksiensa perusteella edelleen puhdistamolietteisiin, osa muuntuu tai päätyy puhdistettuun veteen. Jätevesilietteiden ja muidenkin biomassojen sisältämät haitta-aineet voivat massan prosessoinnin aikana muuntua, hajota tai säilyä muuntumattomina, jolloin ne päätyvät edelleen lannoitevalmisteiden mukana maaperään (Bloem ym. 2017). Jätevesilietettä sisältävien tuotteiden käytön aiheuttamaa riskiä on tutkittu useissa eri hankkeissa. On arvioitu, että Suomen olosuhteissa jätevesilietteen lannoitekäytön aiheuttama orgaanisten haitta-aineiden riski ihmisterveydelle on vähäinen (Vieno 2018). Toistuvien levitysten seurauksena on kuitenkin todettu, että riski ympäristön, erityisesti maaperän, terveydelle on olemassa (Ylivainio ym. 2020, Fjäder 2016). Mikromuovien osalta tutkimuksia on vielä melko vähän, ja tietoa näistä, kuten monista muistakin yhdisteistä tarvitaan edelleen lisää.

5.5. Orgaanisten typpilannoitteiden satovaste

Toisin kuin mineraalilannoitteiden, orgaanisten lannoitteiden satovasteiden mittaaminen on haastavampaa orgaanisen typen pitemmällä aikavälillä tapahtuvan mineralisaation vuoksi. Typen satovastefunktiot (ks. Luku 1) perustuvat mineraalityppilannoituksella tehtyihin kokeisiin. Kotieläinten lanta, joka sisältää kaikkia kasviraavinteita, on kuitenkin keskeinen osa kotieläintilojen lannoitusstrategiaa. Lannan ravinnekostumukseen vaikuttaa lantalantatyypin (lietelanta, erilaiset kuivat lannat) ohella eläinten ruokinta. Mitä enemmän eläinten rehuissa on esimerkiksi typpeä, sitä enemmän sitä erittyy myös lantaan. Lietelannan ja kuivien lantojen oleellinen ero on niiden typpifraktiossa, josta lietelannassa suhteellisesti suurempi osa on liukoissa ja siten suoraan kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Suurin osa kotieläintilojen lannasta on lietelantaa, mutta toisaalta sitä muodostuu vain nauta- ja sikatiloilla (muilla eläimillä eläinsuojien tekniikat tuottavat erilaisia kuivia lantoja). Lannan sisältämästä orgaanisesta tyyppistä kasvien käyttöön siirtyy vain osa. Levitysaika ja kasvukauden lämpö- ja kosteusolosuhteet vaikuttavat mineralisaation määrään ja siihen, kuinka hyvin kasvi kykenee hyödyntämään mineralisoituneen typen.

Kotieläinten lannan ja muiden orgaanisten lannoitevalmisteiden liukoinen typpi toimii hyvin nurmen ja viljan lannoitteena, etenkin kun typpihävikki saadaan minimoitua. Lanta ei kuitenkaan yleensä riitä ainoaksi typenlähteeksi, vaan se tulee aina täydentää joko mineraalilannoitteilla tai typensitojakasveilla. Esimerkiksi suositeltavalla 30 tn lantaa/ha levitysmäärällä liukoista typpeä tulee peltoon vain noin 50 kg/ha. Luonnonmukaisessa tuotannossa lannan lisäksi ainoana typenlähteenä ovat typensitojakasvit. Luonnonmukaisessa tuotannossa sadot ovat yleisesti tavanomaista tuotantoa pienemmät (Luke 2022). Virkajärvi ym. (2016) havaitsivat, että naudat lietelanta ilman mineraalityppitäydennystä tuotti nurmen toisessa sadossa keskimäärin 91 % ja puidulla ohralla 85 % vastaavan mineraalityppilannoituksen tuottamasta sadosta.

¹⁸ Lisätietoa löytyy Ruokaviraston internetsivuilta <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmistet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/jatevesilietteet/>

Lietepohjainen biokaasulaitoksen mädäte toimi ohralla paremmin ollen mineraalitypen veroista. Viljat voivatkin hyötyä nurmia enemmän lannan prosessoinnista, sillä ne tarvitsevat typen kasvukauden alussa, kun taas nurmi ottaa typpeä vielä toisen ja kolmannenkin sadon kasvaessa pitkin kasvukautta ja ehtii hyötyä orgaanisen typen mineralisaatiosta (Virkajärvi ym. 2016).

Käytettäessä orgaanisia lannoitteita vuosittain, edellisten vuosien orgaanisesta tyypestä mineralisoituva tyyppi tuottaa lisäsatoa pitemmällä aikavälillä. Termonen ym. (2022b) saivat nurmikoissa orgaanisilla lannoitteilla (lietelantapohjainen mädäte, ravinnepitoinen konsentraatti, ja biojättepohjainen mädäte; n. 70 kg liukoista typpeä + 30 kg N mineraalityypitädennyksenä) yhtä suuria nurmisatoja kuin mineraalityypellä, kun orgaanisia lannoitteita oli käytetty myös edellisenä vuonna, ammoniakkihävikit saatiin minimoitua ja sääolosuhteet olivat otollisia typen mineralisaatiolle. Myös raakalantapohjaisella tyypilannoituksella (mineraalityypitädennykseen yhdistettynä) on saatu pelkästään mineraalilannoitteisiin perustuvan lannoituksen veroisia nurmisatoja kolmen korjuun taktiikalla, kun lantaa on käytetty myös aiempina vuosina (Termonen ym. 2022a).

Tietolaatikko 4: Naudan lietelannan fraktiointimenetelmä parantaa typen hyväksikäyttöä.

Valio Oy:n kehittämässä fraktiointimenetelmässä lietelannasta tai lietelantapohjaisesta mädätteestä erotetaan kolme jaetta: kuivajae, nestejae (N-konsentraatti) ja vesi. Fraktiointi tehdään ruuvipuristimen, kemikaalisuostuksen ja dekantterilingon yhdistelmällä. Nestejae väkevöidään edelleen kalvosuodatusteknologioilla ja liuokseen lisätään rikkihappoa estämään typen haihtumista. Lannoitevaikutuskokeeseen N-konsentraatti valmistettiin sekä naudan lietelannasta suoraan että lietelantapohjaisesta mädätteestä. Konsentraattien lannoitusvaikutusta nurmen lannoitteena verrattiin kolmena vuonna Maaningalla ja Ruukissa (Järvenranta ym. 2020). Kokeissa mädätteestä valmistettu N-konsentraatti tuotti yhtä suuren kuiva-ainesadon kuin mineraalilannoitteet. Mädätteestä valmistetun N-konsentraatin liukoisen typen hyväksikäyttö oli nurmilla 89–102 % mineraalityyppeen verrattuna. Raakalietteestä ilman biokaasuprosessia valmistetun N-konsentraatin liukoisen typen hyväksikäyttö jäi kokeissa 68 %:iin, joten biokaasutuotanto yhdistettynä ravinteiden fraktiointiin tarjosi merkittävästi lisähyötyä. Lisäksi mädätepohjaisen N-konsentraatin typpipitoisuus oli suurempi kuin raakalietteen, joten levitettävä määrä oli huomattavasti pienempi. N-konsentraatti ei sisällä fosforia, mikä myös laajentaa sen käyttömahdollisuuksia lannoitteena ja tehostaa lantaravinteiden hyödyntämistä.

Orgaanisissa lannoitevalmisteissa liukoisen typen osuus kokonaistypestä vaihtelee, samoin kuin muiden ravinteiden määrä. Lannoitusta suunniteltaessa onkin kiinnitettävä huomiota liukoisen typen määrän lisäksi myös fosforiin, joka usein rajoittaa levitysmääriä typpeä aiemmin, sekä nurmen tapauksessa riittävään kaliumin saantiin. Joissakin orgaanisissa lannoitevalmisteissa on lisäksi runsaasti helppoliukoista rikkiä, joka nousee helposti kasviin. Rikki haittaa kasvin seleeninottoa ja on huomioitava ruokinnassa.

Orgaanisten lannoitevalmisteiden käytössä keskeistä on kaasumaisten ammoniakkipäästöjen minimointi. Typpi, joka menetetään jo varastointi- tai levitysvaiheessa ei ole kasvin käytössä. Levitysvaiheessa käytettyjä keinoja tähän ovat mm. lietelannan sijoituslevitys ja hapotus tai kylvövaiheen levityksessä välittömästi pintalevityksen jälkeen tehtävä multaus (jälkimmäinen olennainen myös kuivilla lannoilla). Sekä sijoittaminen/multaus että hapotus leikkaavat ammoniakkin haihduntaa tehokkaasti (Keskinen ym. 2022), mutta kasvustoon levitettynä sijoitus voi aiheuttaa satotappioita mm. juuristovaurioiden vuoksi. Etenkin nurmen ensimmäisenä

satovuonna perustamisvuoden jälkeen sijoittaminen voi aiheuttaa sadon alenemaa (Termonen ym. 2022a). Typen hyväksikäytön kannalta syyslevitystä tai ensimmäisen vuoden nurmen kevätlevitystä kannattaa välttää. Tuulinen ja lämmin sää levityshetkellä lisäävät hävikkiä, pilvisuus ja pieni sade levityksen jälkeen vähentävät sitä. Nestejakeet tai muutoin helposti maahan imeytyvät orgaaniset lannoitevalmisteet voivat toimia raakalantaa paremmin myös pintalevityksenä (Virkajärvi ym. 2016).

Viitteet

- Aarnio, M., Myllyniemi, A.-L., Nykäsenoja, S., Raatikainen, M., Koivisto, P., Tuominen, P., Suomi, J., Cheung, S.M., Luostarinen, S., Ervasti, S., Lehtoranta, S., Rintamäki, H. & Grönroos, J. 2019. Mikrobilääkeresistenssi ja -jäämät naudatiloilla – vaikutukset ympäristöön ja terveyteen (NAMI). Ruokaviraston tutkimuksia 4/2019. Ruokavirasto.
- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. *Science of The Total Environment* 607–608: 225–242. <https://doi.org/10.1016/scitotenv.-2017.06.274>.
- Fjäder 2016. Yhdyskuntajätevesilietteiden maatalouskäytön ja viherrakentamisen riskit – RUS-SOA I-III Loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 43/2016. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/169282>.
- Gasum 2022. Gasum Voimakas Turku. Tuoteseloste. Haettu 3.5.2022. <https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/lannoitteiden-tuoteselosteet/2022/gasum-voimakas-turku-002-2022-tuote-era--2022-002.pdf>.
- Horn, S., Seppänen, A.-M., Winqvist, E., Lehtoranta, S. & Luostarinen, S. 2020. Biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen hyödyntämismahdollisuudet – vaihtoehtojen ilmastovaikutukset ja taloudellisuus, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 42/2020. <http://hdl.handle.net/10138/321266>.
- Huygens, D., Orveillon, G., Lugato, E., Tavazzi, S., Comero, S., Jones, A., Gawlik, B. & Saveyn, H.G.M. 2020 Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC), EUR30363 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-21539-4, doi:10.2760/373351, JRC121636.
- Järvenranta, K., Virkajärvi, P., Termonen, M., Partonen, A.-P. & Nousiainen, J. 2020. Mädätetystä naudanalietteestä fraktioitu N-lannoite on nurmenviljelyssä väkilannoitetyypin veroista. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote Nro 38. Maataloustieteen Päivät 2020. <https://journal.fi/smst/issue/view/6119/647>. s. 261.
- Keskinen, R., Termonen, M., Salo, T., Luostarinen, S. & Rätty, M. 2022. Slurry acidification outperformed injection as an ammonia emission-reducing technique in boreal grass cultivation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 122:139–156. <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10190-1>.
- Lehtoranta, S., Malila, R., Fjäder, O., Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoön turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18 / 2021. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/328632>.

- Luke. 2022a. Tutkimustietokannat. Viljelykasvien sato muuttujina. Käytössä oleva maatalousmaa. [verkkajulkaisu]. https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_14%20Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/ Luonnonvarakeskus. Viitattu 27.4.2022.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 54 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-441-0>.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T., Grönroos, H., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Niskanen, O., Rasa, K., Salo, T., Turtola, E., Valve, H. & Ylivainio, K. 2019a. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2019/5. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-941-8>.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Ylivainio, K. 2019b. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 40/2019. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-777-0>.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Koskiahho, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2017. Kohtiravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. Nykytila ja suositukset ohjauskeinojen kehittämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 45/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki. 46 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-437-3>.
- Mustonen, A., Hyttinen, H., Termonen, M., Mäkinen, T. & Järvenranta, K. 2022. Typpi-inhibiittori nautanlietteessä – koetuloksia kuivissa kasvuoloissa. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote. Maataloustieteen Päivät 2022. (julkaistaan kesäkuussa 2022).
- Novarbo, 2020. Arvo -tuoteperhe vihannestuotantoon. Esitys 3/2020 Pyhäjärvi-Instituutti. <https://pyhajarvi-instituutti.fi/wp-content/uploads/2021/04/Vihannestuotantoon-Arvo-2020-Novarbo-PJI.pdf>.
- Pyykkönen, V. & Ervasti, S. 2019. Separoinnin mahdollisuudet ja kannattavuustekijät. Teoksessa: Lanta liikkeelle ja ravinteet kiertoon. Ravinnerenki- ja Lantalogistiikka-hankeiden tulosjulkaisu. https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Tulosjulkaisu_final.pdf.
- Seppänen, A.-M., Luostarinen, S. & Pesonen, L. 2019. Kierrätyslannoitus: Suunnittelu, käytännöt ja mahdollisuudet tulevaisuudessa. Luonnonvarakeskus (Luke). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-759-6>.
- Subbarao, G.V., Ito, O., Sahrawat, K.L., Berry, W.L., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., Suenaga, K., Rondon, M. & Rao, M. 2006. Scope and Strategies for Regulation of Nitri-fication in Agricultural Systems—Challenges and Opportunities, Critical Reviews in Plant Sciences, 25(4): 303-335. DOI: 10.1080/07352680600794232
- SYKE. 2017. Updated national reports of Finland on the implementation of Directives on waste (2008/98/EC), on the landfill of waste (1999/31/EC) and on sewage sludge (86/278/EEC) for reporting period 2013–2015, additional statistics for the year 2015. Questionnaire according to Commission Decision 2000/738/EC for the report of the Member States

- on the transposition and implementation of Directive (99/31/EC) on the landfill of waste. Reporting period 2013–2015.
- Tampio, E., Laakso, J., Winqvist, E. & Luostarinen, S. 2021. Turkeläinten lannan käsittely bio-kaasulaitoksessa, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2021. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-249-0>.
- Tampio, E., Vainio, M., Virkkunen, E., Rahtola, M. & Heinonen, S. 2018. Opas kierrätyslannoitevalmisteiden tuottajille. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-606-3>.
- TEM 2020. Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:3. Työ- ja elinkeinoministeriö, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:-978-952-327-482-2>.
- Termonen, M., Kykkänen, S., Korhonen, P., Mustonen, A., Seppänen, M. & Virkajärvi, P. 2022a. Combination of cattle slurry and mineral N fertiliser for efficient grass production in Finland. (hyväksytty julkaistavaksi EGF2022-kongressissa kesäkuussa 2022).
- Termonen, M., Mustonen, A., Alhonoja, K., Järvenranta, K. & Rätty, M. 2022b. Orgaanisten lannoitteiden hiilisyöte ja lannoitusvaikutus nurmen perustamis- ja satovuosina. Suomen Maataloustieteellisen seuran tiedote nro 40.
- Vieno, V., Sarvi, M., Salo, T., Rämö, S., Ylivainio, K., Pitkänen, T. & Kusnetsov, J. 2018. Puhdistamolietteiden sisältämien haitta-aineiden aiheuttamat riskit lannoitekäytössä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-661-2>.
- Vilpanen, M. & Toivikko, S. 2017. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen tilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 46. Vesilaitosyhdistys, Helsinki. https://www.vvy.fi/site/assets/files/1621/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyo_dynta_misen_nykytilannekatsaus_26092017.pdf.
- Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Rätty, M., Pakarinen, T., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maataloilla II. Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2016. 116 s.
- VVY 2021. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus vuosilta 2019–2020 Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 71. Vesilaitosyhdistys, Helsinki. https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2021.pdf.
- Yara. 2022. YaraMila Y 3 Ravinnesisältö. Hakupäivä 19.4.2022. <https://www.yara.fi/lannoitus/lannoitteet/yaramila/yaramila-y-3/>
- Ylivainio, K., Äystö, L., Fjäder, P., Suominen, K., Lehti, A., Perkola, N., Ranta, J., Meriläinen, P., Välttilä, V. & Turtola, E. 2020. Jätevesilietteen pitkäkestoinen fosforilannoitusvaikutus ja yhteys ympäristö- ja ruokaturvallisuuteen: Jätevesilietteen potentiaali kasvintuotannossa ja vaikutukset ympäristöön ja elintarviketurvallisuuteen (PProduct) -hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-018-2>.

6. Täsmäviljelyn ja -lannoituksen potentiaali ja optimointi – tuotantopanoksen tarkka kohdennus

Liisa Pesonen, Katariina Pussi, Tapio Salo, Antti Suokannas

Maaperä- ja kasvuolosuhteet vaihtelevat peltojen välillä, mutta myös peltolohkon sisällä. Olosuhteiltaan vaihtelevia peltolohkoja on perinteisesti jaettu kasvulohkoihin, joita viljellään kuten erillisiä peltoja. Tämä lähestymistapa on kuitenkin ajankäytön ja logistiikan kannalta tehotonta. Resurssiviisaampaa on selvittää kasvuolosuhteiden vaihtelun laatu, suuruus ja tarkka sijainti ja määritellä peltoon vyöhykkeet siten että vaihtelua voidaan hallita tekniikan avulla.

Täsmäviljelyssä maatalouden tuotantopanosten käyttö perustuu mitattuun tietoon. Täsmäviljely tuottaa halutun tuloksen vain, jos ominaisuuksien vaihtelevuus lohkon sisällä on riittävän suuri (Pierce 1999; Lark 2001). Pellon ominaisuudet voidaan luokitella joko pysyviksi tai muuttuviksi. Pysyviin ominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi maalaji ja topologia, ja muuttuvia ominaisuuksia ovat esimerkiksi viljelyhistoria ja sää (Iqbal ym. 2005). Ominaisuudet, joilla on suuri paikkariippuvuus ja pieni ajallinen vaihtuvuus (esim. kalkitus), on helpompia hallita tarkasti kuin ne, joilla on suuri ajallinen varianssi (esim. sää) (Pierce 1999). Oikeassa paikassa oikea-aikaisesti tehdyillä täsmälannoitustoimenpiteillä pyritään parantamaan peltoviljelyn ravinnetaseita ja siten vähentämään ravinteiden huuhtoutumista pelloilta.

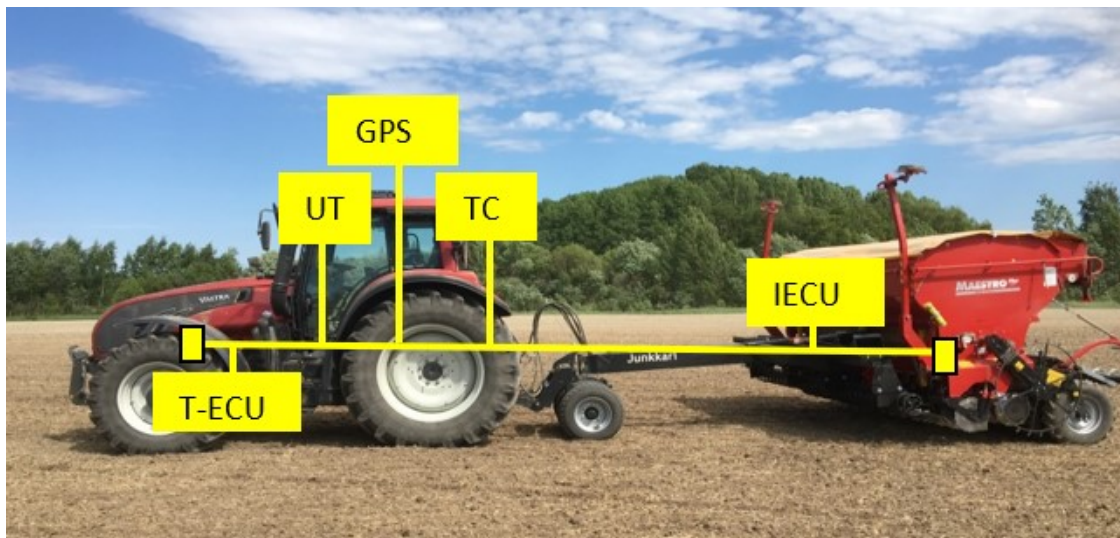
Täsmäviljely on laajasti omaksuttu USA:n isoilla maataloilla. Sen sijaan Euroopan pienemmän mittakaavan tiloilla täsmäviljelyn hyödyntäminen on vähäisempää. (Späti, Huber & Finger 2021) Täsmäviljelyn käyttöönottoa on hidastanut sen näennäisesti alhainen kannattavuus pienillä tiloilla ja peltolohkoilla. Lähtökohtaisesti peltolohkot, joissa sadonvaihtelu on suurta, omaavat parhaan potentiaalin täsmäviljelyyn. Suomessa täsmäviljelyä on harjoitettu vain muutamilla maataloilla, vaikka uusissa traktoreissa ja työkoneissa on täsmäviljelyyn soveltuva tekniikka. Uuden CAP27 tukisuunnitelman toivotaan alentavan kynnystä uuden tekniikan hyödyntämiseen maataloilla ja kannustavan osaltaan täsmäviljelyyn.

Täsmälannoitus on yksi täsmäviljelyn tärkeimmistä elementeistä. Se voi vähentää maataloustuotannon kustannuksia, säästää resursseja ja vähentää lannoitteiden aiheuttamaa ympäristön saastumista minimoimatta sadon määrää (Chen ym. 2021). Täsmälannoitus mahdollistaa viljelykasvien järkevän ravintotalouden ja varmistaa maataloustuotteiden tuotantovarmuuden ja laadun. Maaperän viljavuuden testaus ja lannoitustarpeen määrittäminen ovat täsmälannoituksen kriittisin ja haastavin vaihe. Kun lohkon lähtötilanne on saatu kartoitettua, tulee pohtia voisiko jo valmiiksi hyvien alueiden kasvukuntoa vielä jotenkin parantaa tai onko huonommilla alueilla mahdollisesti joku ravinnepuutos? Lannoitustarpeen suunnittelussa kyseessä on aina riskinhallinta suhteessa satopotentiaaliin. Liiallinen lannoitus merkitsee hukkaan heitettyä rahallista panostusta ja liian vähäinen lannoitus taas menetettyä taloudellista tuloa käyttämättömän satopotentiaalin muodossa. Typpilannoituksen osalta etenkin viljoilla kyseessä on sadon määrän lisäksi myös lakoriski. Liian vähäinen typpilannoitus johtaa helposti myös siihen, että tavoiteltua sadon valkuaispitoisuutta ei saavuteta (Pesonen, Kaivosoja & Suomi, 2010).

Suomessa kasvukausi on lyhyt ja viljojen kanssa suositaankin kylvön yhteydessä tehtävää sijoituslannoitusta. Kasvien ravinnetilannetta voidaan seurata kasvukauden aikana ja puutteita paikata kasvukauden aikaisella lisälannoituksella paikkakohtaisesti.

6.1. Täsmäviljelyn vaatima tekniikka

Täsmäviljelyssä traktori ja työkone muodostavat automaatioyksikön. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi valitsemalla ISO 11783 -standardin mukaisia maatalouskoneita tai vaihtoehtoisesti jonkun tietyn konevalmistajan yhteensopiva traktorin ja työkoneen yhdistelmä. ISOBUS-yhteensopivat maatalouskoneet muodostavat yhdessä automaatioyksikön merkistä riippumatta. ISO 11783 standardi mahdollistaa eri työkoneiden hallinnan yhden näytön (Universal Terminal, UT) avulla. Sama standardi mahdollistaa työkoneiden paikkakohtaisen säätämisen esimerkiksi sijaintiin perustuvalla levitysmäärän säädöllä (TC-GEO) tai lohkoautomaatiikan (TC-SC) avulla. Standardissa on tällä hetkellä yhteensä kymmenen toiminnallisuutta, jotka on mahdollista testata ja sertifioida AEF:ssä (Agricultural Electronic Foundation).



Kuva 19. Traktorin ja työkoneen välinen avoin tiedonsiirtostandardi ISO 11783 (ISOBUS) siihen liittyvine komponentteineen: UT=järjestelmän käyttöliittymä ja näyttö ohjaamossa, TC=tehtävöihin, GPS=paikannus, T-ECU=traktorin ohjain ja IECU=työkoneohjain.

AEF:n testaamia ja hyväksymiä ISO 11783 -standardin vaatimukset täyttäviä kylvölannoittimia ja pintalevityskoneita löytyy markkinoilta useita malleja. Pintalevityskoneita ovat lannoitteen-, lannan- ja kalkinlevityskoneet sekä kasvisuojeluruiskut. Rakeiset orgaaniset lannoitteet levitetään pintalevittimellä, jota käytetään viljakasvien lisälannoitukseen kasvukauden aikana ja syysviljojen kevätlevityksessä sekä nurmikasvien lannoitukseen 2–3 kertaa kasvukaudessa. Nestemäisiä lannoitteita levitetään viljoille kasvisuojeluruiskulla tai lannoittimella, joka sijoittaa sen maahan. Myös kylvölannoittimella on mahdollista sijoittaa nestemäinen lannoitekomponentti maahan kuten CIRCWASTE-hankkeessa (<https://www.materiaalitkiertoon.fi/fi-FI/Circwaste>) tehtiin. Nestemäisen lannoitteen sijoitus maahan on yleistä niissä maissa, joissa viljellään maisia.

Lietelannan ravinnepitoisuuksien mittaamiseen on markkinoilla optisia sensoreita, jotka mahdollistavat lannan paikkakohtaisen levityksen (Horf ym. 2022). Optinen sensori, NIRS (Near Infrared Sensor Spectroscopy), on käyttökelpoinen ratkaisu lietelannan on-line levityksen tarkentamiseen, levitettyjen ravinnemäärien paikkakohtaiseen dokumentointiin tai lannan ravinnearvon määrittämiseen lannan myynnin yhteydessä. Kiinteän lannan levitykseen on myös täsmä eli paikkakohtaiseen levitykseen soveltuvia levittämiä. Niissä on paikkakohtaisen levityksen määrän säädön lisäksi myös malleja, joissa on lohkoautomaatiikka.

Myös viherlannoituksen tarkentamiseen paikkakohtaisesti on nykyteknologialla hyvät edellytykset. Esimerkiksi palkokasvien, kuten apilan, osuuden tunnistamiseksi kasvustomassasta on kehitteillä konenäkösovellus (Hansen 2017). Myös droneista tehtyjen bio- ja vihermassakartoitusten avulla viherlannoituskasvustojen sisältämien ravinnemäärien mittaaminen ja tulkinta ravinnekartoiksi olisi mahdollista. Näin myös mahdollinen täydennyslannoitus olisi kartoitusten perusteella suunniteltavissa ja toteutettavissa täsmälannoituksena, kasvupaikan tulevan sadon tarpeen mukaan.

6.2. Nykyaikaiset menetelmät maaperän ominaisuuksien mittaamiseen

Lannoitustarpeen määrittely paikkakohtaisesti on lähtökohta tuotantopanosten käytön tarkentamiseen. Maaperän ominaisuuksien ja sääolosuhteiden tiedetään vaikuttavan maaperän typen saatavuuteen ja kasvien kykyyn hyödyntää tarjolla oleva tyyppi (Tremblay ym. 2012). Maaperän ominaisuudet ja kasvukunto määrittävät pitkälti myös pellolle soveltuvat viljelytekniikat ja käytettävät viljelypanokset (Knaapi 2021). Typen hallintaa koskevien päätösten tekemiseen tarvitaan sekä maaperän alueellisen vaihtelun että kasvuston typen tilan mittaamista ja ymmärtämistä. Erilaisten antureiden ja sensoreiden käyttö on parantanut maaperän ominaisuuksien arviointia ja hallintaa suhteellisen alhaisin kustannuksin (Diacono ym. 2012). Paikkakohtainen näytteenotto pellolta voi perustua esimerkiksi ilmakuviin ja satokarttoihin. Tavoitteena on valita näytteenottoapaikat kasvukyvyltään erilaisilta alueilta ja muodostaa mahdollisimman hyvä kokonaiskuva lohkolta.

Maaperäskannaus on maan ominaisuuksien mittaamista jatkuvasti liikkuvilla laitteilla (on-the-go) erilaisia antureita käyttäen ja paikkatietoon yhdistäen. Maaperäskannaus lisää tietoa lohkon sisäisestä vaihtelusta. Paikkakohtaisen maaperätiedon avulla voidaan kohdentaa viljelypanoksia sekä tarvittavia korjaavia toimia tarkemmin. Maaperäskannauksella voidaan tunnistaa maan kasvukunnon vaihtelun juurisyitä. Skannauksella voidaan selvittää maalajin lisäksi maan rakenne. Esimerkiksi maan kerrostumat juurikerroksessa (aina 80–90 cm:n syvyyteen saakka) saanelevat kasvin veden saatavuutta kasvukauden aikana. Mikäli kasvusto ei saa säännöllisiä sateita tai sadetusta, maaperän luontainen vesitalous on sadontuottoon liittyvä riskitekijä. Maaperän ominaisuuksia voidaan seurata myös reaaliajassa maahan kaivettavien antureiden avulla. Esimerkiksi Suomalaisilla Soil Scout maaperäsensoreilla voi mitata reaaliajassa maan lämpötilaa, kosteutta ja sähkön johtavuutta. Soil Scout on langaton sensori, joiden avulla voi muodostaa myös laajempia mittausverkostoja pelto- tai tilatasolla.

Ilmakuvien käyttö lohkon kunnan ja viljelykasvien tyyppitoisuuden seuraamisessa ja ennustamisessa kasvukaudella on tutkimusten perusteella osoitettu tehokkaaksi menetelmäksi (Diacono ym. 2012). Ilmakuvista saadaan selville pintamaan maalaji-, multavuus- ja kosteusvaihteluja keväällä haihdunnan ollessa suurta. Kasvukauden aikana kasvusto kertoo ilmakuvien avulla epäsuorasti maan rakenteen ongelmista. Myös muut mahdolliset syyt, kuten kylvölannoituksen epäonnistuminen tai vakavat kasvitaudit, näkyvät ilmakuvista kasvuston huonovointisuutena. (Alakukku & Teräväinen 2002, 85.) NDVI-kasvillisuusindeksi lasketaan kaukokartoituksen kuten satelliittikuvauksen, Sentinel-2A ja -2B, avulla ilmoittaen vihreän kasvillisuuden määrän alueella aarin resoluutiolla (10 m x 10 m). NDVI-indeksi tarjoaa paikkakohtaista tietoa viljelykasvin yhteyttämiskapasiteetista kasvukauden aikana. Saatua kuvadataa voi yhdessä muuhun saatavilla olevaan dataan (maaperä, viljelyhistoria, satokartat) ja hyödyntää täsmälannoituksen suunnittelussa. Pilvet ovat ongelma satelliittikuvauksessa. Droonit tarjoavat uuden työkalun peltojen havainnointiin ja viljelytoimiin. Drooneilla kuvaushetken voi valita itse ja kuvaus on mahdollista pilviselläkin säällä. Kuvat ovat myös tarkempia kuin satelliittikuvat. Sopivalla kameralla

varustetulla dronella voi kerätä juuri halutunlaista aineistoa ja kuvaaminen on helppo kohdentaa alueelle, josta aineistoa halutaan kerätä.

Markkinoilla on myös NDVI-menetelmään perustuvia traktorin katolle tai eteen asennettavia N-sensoreita, jotka mittaavat kasvuston biomassaa ja lehtivihreää ja siten päättelevät kasvin tarvitsevan typpilannoituksen määrän. Kasvustojen ravinteiden tarkkailuun on olemassa myös useita käsi­käyttöisiä mittareita, joilla voidaan tarkemmin käydä analysoimassa kasvustojen tilaa esimerkiksi satelliittikartalta saatujen tietojen perusteella. Viljelypäätöksiin tarjoavat apua myös erilaiset sääasemat. Sopiva lämpötila, tuuli ja ilmankosteus ovat aktiivisesti todettavissa vaikkapa traktorin ohjaamosta käsin mikä helpottaa peltotoimenpiteiden oikeata ajoittamista. Alueellisen säätiedon tärkeys korostuu erityisesti kaukana tilakeskuksesta sijaitsevien peltolohkojen kohdalla.

Tutkijoille ja maanviljelijöille on tarjolla valtavia määriä tietoa. Kerätyn tiedon laadun arvioiminen sen muuntamiseksi N-hallintapäätöksiksi, jotka ovat taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestäviä, on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi (Diacono ym. 2012). Erilaiset viljelysuunnitteluohjelmistot auttavat viljelijöitä yhdistämään eri lähteistä tulevaa informaatiota ja käyttämään sitä tehokkaasti typpilannoituksen paikkakohtaisessa suunnittelussa.

6.3. Talousvaikutukset

Sadonlisäys täsmäviljelyä käytettäessä on yleensä 5–10 % (ProAgria 2018). Suurimmat hyödyt tulevat kuitenkin sadon tasalaatuisuudesta ja tuotantopanosten säästöstä. Luken kenttäkokeissa on laskettu yksittäisen täsmäviljelytoimenpiteen kannattavuudeksi noin 31 €/ha (Kaivosoja 2019). Typpi on olennainen tekijä maatalojen taloudessa ja tuottavuudessa, koska typpilannoitus on yksi merkittävimmistä sadonlisäämisparametreista. Lisäksi lannoituskustannukset ovat usein suurin menoerä viljelijän muuttuvissa kustannuksissa. Kenttätutkimukset, joissa anturipohjaisia typen hallintajärjestelmiä verrattiin viljelijöiden perinteisiin kokemuksiin perustuviin käytäntöihin, osoittivat typen käytön tehokkuuden lisääntyneen huomattavasti. Anturipohjaiset järjestelmät säästivät typpilannoitteita ja vähensivät jäännöstyyppiä maaperässä ilman, että se heikensi satoa tai vaikutti viljan laatuun (Diacono ym. 2012).

Täsmälannoituksella on raportoitu typen säästön vaihtelevan välillä 0–40 % (Balafoutis ym. 2017; Argento ym. 2021, Stamatiadis ym. 2018, Boyer ym. 2011, Berntsen ym. 2006). Reaaliaikaiseen havainnointiin perustuvalla kasvukauden aikaisella täsmälannoituksella oli korkein kannattavuus, verrattuna tasalannoitukseen. Kasvukauden aikana typpilannoitukseen tehdyt säädöt huomioivat erityiset sääolosuhteet ja satopotentialin (Diacono ym. 2012).

Teknologian näkökulmasta täsmäviljelyn kannattavuus kehittyi koko ajan. Työkoneen tehtävän tarkkuutta voidaan parantaa mm. ottamalla käyttöön työkoneen lohko­kohtainen automaattinen säätö (TC–SC ominaisuus), joka säästää lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten käyttöä. Täsmäviljelytehtävien paikkakohtaisen määrittelyn avuksi on kehitetty useita erilaisia viljelysuunnitteluohjelmistoja, jotka helpottavat peltotoimenpiteiden suunnittelua ja tarkkaa kohdistusta. Kaupalliset toimijat tarjoavat maksullisia korjaussignaaleita (mm. RTK, RTX) GPS-paikannukseen, joiden avulla voidaan päästä muutaman senttimetrin työskentelytarkkuuteen, joka osaltaan mahdollistaa päällekkäisajon vähentämisen nykyisestä n. 10 % alle prosenttiin ajopastinta tai avustavaa automattiohjausta käyttäen.

Viitteet

- Argento, F., Anken, T., Abt, F., Vogelsanger, E., Walter, A. & Liebisch, F. 2021. Site-specific nitrogen management in winter wheat supported by low-altitude remote sensing and soil data. *Precision Agric* 22: 364–386. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09733-3>.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T.V.d., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A. & Eory, V. 2017. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability* 9: 1339. <https://doi.org/10.3390/su9081339>.
- Berntsen, J., Thomsen, A., Schelde, K., Hansen, O.M., Knudsen, L., Broge, N., Hougaard, H. & Horfarder, R. 2006. Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. *Precision Agric* 7: 65–83. <https://doi.org/10.1007/s11119-006-9000-2>.
- Boyer, C.N., Wade Brorsen, B., Solie, J.B. & Raun, W. R. 2011. Profitability of variable rate nitrogen application in wheat production. *Precision Agric* 12: 473–487. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9190-5>.
- Chen, C., Wang, X., Chen, H., Wu, C., Mafarja, M. & Turabieh, H. 2021. Towards Precision Fertilization: Multi-Strategy Grey Wolf Optimizer Based Model Evaluation and Yield Estimation, *Electronics; Basel* Vol. 10, Iss. 18. <https://doi.org/10.3390/electronics10182183>.
- Diacono, M., Rubino, P. & Montemurro, F. 2012. Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 33 (1): 219-241. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0111-z>.
- Horf, M., Vogel, S., Drücker, H., Gebbers, R., & Olf, H.W. 2022. Optical Spectrometry to Determine Nutrient Concentrations and other Physicochemical Parameters in Liquid Organic Manures: A Review. *Agronomy*, 12(2): 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020514>.
- Hansen, J. 2017. Nitrogen application in grass-clover and grass seed needs the right balance, DCA – Danish Centre For Food And Agriculture. <https://dca.au.dk/en/current-news/news/show/artikel/kvaelstof-til-kloevergraes-og-froegraes-skal-finde-den-riktige-balance/>.
- Iqbal, J., Thomasson, J.A., Jenkins, J.N., Owens, P.R. & Whisler, F.D. 2005. Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 1338–1350. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0154>.
- Kaivosoja J. 2019. Paikkatiedon epävarmuuden vaikutus täsmäviljelytyötehtävien onnistumiseen, Aalto University publication series, DOCTORAL DISSERTATIONS 217/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8841-9>.
- Knaapi, J. 2021. Opettele tuntemaan peltosi paremmin – näin saat tietoa pellon pinnan alta. *Koneviesti* 1/2021.
- Lark, R.M. 2001. Some tools for parsimonious modelling and interpretation of within-field variation of soil and crop systems. *Soil and Tillage Research*, Volume 58, Issues 3–4: 99–111. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00161-6).
- Pesonen, L., Kaivosoja, J. & Suomi, P. 2010. Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentaminen, Teho-hankkeen julkaisuja : Tehoa maatalouden vesiensuojeluun, Numero 5/2010, 53 s. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-157-1>.

- Pierce, F. J. & Nowak, P. 1999. Aspects of Precision Agriculture. Editor: Donald L. Sparks. *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 67: 1–85. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1).
- ProAgria, 2018. Täsmäviljely tutuksi, <https://www.proagria.fi/vuosikertomus/etela-pohjan-maa/tasmaviljely-tutuksi>.
- Stamatiadis, S., Schepers, J.S., Evangelou, E., Tsadilas, C., Glampedakis, A., Glampedakis, M., Dercas, N., Spyropoulos, N., Dalezios, N. R. & Eskridge, K. 2018. Variable-rate nitrogen fertilization of winter wheat under high spatial resolution. *Precision Agric* 19: 570–587. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9540-7>.
- Tremblay, N., Bouroubi, Y.M., Bélec, C., Mullen, R.W., Kitchen, N.R., Thomason, W.E., Ebelhar, S., Mengel, D.B., Raun, W.R., Francis, D.D., Vories, E.D. & Ortiz-Monasterio, I. 2012. Corn Response to Nitrogen is Influenced by Soil Texture and Weather. *Agronomy Journal*, 104: 1658–1671. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0184>.

7. Mahdolliset vaikutukset huoltovarmuuteen sekä ratkaisuehdotuksia ja tutkimustarpeita

Kirsi Järvenranta, Petri Kapuinen, Sanna Kykkänen, Hannu Känkänen, Olli Niskanen, Liisa Pesonen, Katariina Pussi, Elina Tampio, Maarit Termonen, Erika Winquist

Suomessa sijaitsevan typpilannoiteteollisuuden tuontiriippuvuus ammoniakista on huomattava haaste typen huoltovarmuudelle. Lyhyellä aikavälillä pääosin Venäjältä tulleen tuonnin korvaavana vaihtoehtona on ammoniakin ja lannoitteiden tuonti muilta markkinoilta. Globaalisti vaikuttavien markkinahäiriöiden vuoksi hintataso kriisitilanteessa on kuitenkin normaalia korkeampi jo pelkästään markkinoilla vallitsevan niukkuuden takia. Typpilannoitteiden markkinoiden uudelleenjärjestyminen ottaa aikaa, mutta ennen pitkää markkinat tasaantuvat ainakin osittain. On todennäköistä, että hinnat jäävät kuitenkin pitkäaikaisesti aiempaa korkeammalle tasolle, koska logistiikassa on lisäkustannuksia ja Euroopan ammoniakkiteollisuuden tuotantokustannukset tulevat olemaan aiempaa korkeammat niukan ja korkeahintaisen maakaasun vuoksi.

Kotimaisen ammoniakkiteollisuuden rakentamisella perinteiseen teknologiaan nojaten yksistään ei voida ratkaista typpilannoitteisiin liittyvää huoltovarmuutta, koska ammoniakin valmistamiseen tarvitaan vetyä, joka on tähän saakka saatu fossiilisista lähteistä, pääasiassa maakaasusta. Vedyn valmistamiseen on kuitenkin olemassa muitakin menetelmiä. Näitä menetelmiä on kehitetty ilmastotavoitteiden vuoksi jo ennen nyt syntyneitä geopolitiittista kriisiä, koska maakaasuun (käytännössä metaaniin) perustuvassa teknologiassa syntyy hiilidioksidipäästöjä. Keskeisimpiä vaihtoehtoja ovat elektrolyysi, jonka ekologisuus riippuu ennen kaikkea siinä käytettävän sähkön ekologisuudesta, sekä Birkeland-Eyde-prosessi, jossa valokaaren avulla tuotetaan ilman typestä ja hapestä nitraattia ja nitriittiä, sekä sen kehittyneemmät, vähemmän energiaa kuluttavat versiot. Huoltovarmuutta takaavaa kotimaista ammoniakkiteollisuutta ei synny, jos se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi uudet ammoniakin tuotantotavat tarvitsevat energiaa. Ammoniakin valmistus on kuitenkin erinomainen tapa säilöä volatiileilla tuotantotavoilla kuten tuulivoimalla tuotettua energiaa, ja siten myös toimia säätövoiman tapaan energijärjestelmän vakautta parantaen. Suomessa sijaitsevalla uuden teknologian ammoniakin tuotannolla parannettaisiin olennaisesti huoltovarmuutta.

Suomessa sijaitseva lannoiteteollisuus varastoi ammoniakkia varmuusvarastoissa lyhyen aikavälin saatavuusongelmia varten. Myös Huoltovarmuuskeskus varastoi ammoniakkia, jolla pyritään turvaamaan tehtaiden toimintaa todellisessa kriisitilanteessa ja varmistamaan tuotteiden saatavuutta nimenomaan Suomeen. Valtion toimesta tapahtuva ammoniakin varastointi ei kuitenkaan ole markkinatoimenpide vaan saatavuuden turvaamisen toimenpide. Nykyisin viljelijöille myydään lannoitetehtaiden tulevaa tuotantoa. Valmiiden lannoitteiden varmuusvarastoinnin hoitavat käytännössä viljelijät, ja huoltovarmuuden kannalta tiloilla tapahtuva hajautettu varastointi onkin toimivin vaihtoehto. Seuraavan kasvukauden lannoitteet alkavat kumuloitua jo käyttöä edeltävänä kesänä tilojen varastoihin. Kovin pitkäaikaisia varastoja lannoitteilla ei kannata pitää, koska ne paakkuuntuvat. Parin kasvukauden varastointiaika on kuitenkin vielä realistinen. Tällaiseen tiloilla tapahtuvaan ylivuotiseen varmuusvarastointiin on kuitenkin vaikeaa osoittaa esimerkiksi tukea.

Huoltovarmuutta voidaan typen osalta parantaa myös lisäämällä palkokasvien viljelyä. Väkilannoitetyypen korvaamisen mahdollisuudet ovat varsin suuret ilman suuria muutoksia maatalojen viljelytekniikkaan. Palkoviljojen määrä voidaan viisinkertaistaa nykyisestä ilman, että ne seuraavat viljelykierrossa liian usein toisiaan. Viljelyvuosi ja jälkivaikutus huomioiden väkilannoitetyypen tarve vähenee saman verran, kuin vastaavalle vilja-alalle tarvitaan. Apilapitoisten

aluskasvien määrä voitaisiin nelinkertaistaa nykyisestä, ja niiden viljelyn tehostaminen parantaisi typpilannoitteen korvausarvoa seuraavalle kasville. Ongelmatonta aluskasvien lisääminen ei aina ole, vaan se vaatii apiloiden huomioimista mm. torjunta-ainevalinnoissa. Rehunurmista voitaisiin apiloita lisätä huomattavasti, mutta se edellyttää valmiutta korjuun ja ruokinnan muutoksiin. Pullonkaulana monien palkokasvien lisäämisessä on kotimaisen siementuotannon vähäisyys ja siitä seuraava siementen heikko saatavuus. Kotimaisen siementuotannon ja siementen varastoinnin lisääminen olisi tärkeää, ja lisäksi tilojen varastossa olevaa satoa voisi kunnostaa siemeneksi.

Palkokasvien viljely on viljojen ja heinäurmien viljelyä haastavampaa mm. tarkempien maalaajivaatimusten sekä sallittujen kasvinsuojeluaineiden vähäisyyden vuoksi. Luomutiloilla nurmi-palkokasvien käyttö on tuttua, mutta tavanomaisilla tiloilla sekä palkoviljojen osalta lisäkoulutus tai -neuvonta voi olla tarpeen. Teollisten typpilannoitteiden osittainen korvaaminen biologisella typensidonnalla voi lisätä epävarmuutta korjattavasta sadon määrästä ja ainakin se vähentää viljojen ja palkoviljojen yhteenlaskettua satoa. Jos palkokasvien viljely eli typen sidonta epäonnistuu, joudutaan seuraavalle kasville käyttämään normaalia typpilannoitemäärää eli oletettu typpihyöty menetetään. Mineraalityppilannoituksen vähentäminen korvaamatta typpilähdettä muulla keinoin laskee yleisesti satotasoa ja vaatii lisää viljelypinta-alaa, mikäli halutaan säilyttää sama tuotantovolyyymi. Jo nyt nurmilla käytetään huomattavasti tuotantokapasiteettia matalampaa lannoitusmäärää, joten lisävähentämisen mahdollisuudet ovat rajalliset. Jos typen saatavuus heikkenee oleellisesti, tilat joutuvat joko lisäämään viljelypinta-alaa rehuntarpeen täyttämiseksi tai vähentämään eläinmäärää rehun riittävyys turvaamiseksi.

Palkokasvien typensidonnan tehostamista ja sidotun typen siirtymistä muille kasveille tulisi tutkia enemmän, jotta muut typenlähteet (mineraalilannoite, lanta, kierrätyslannoitteet) voidaan sovittaa viljelyssä yhteen optimaalisella tavalla. Tämä edellyttää tutkimuksia erilaisissa oloissa ja erilaisten viljelytekniikoiden yhteydessä. Typen siirtymisen (typpihyödyn) arviointiin olisi luotava tutkimukseen perustuvat, viljelijäkäyttöön soveltuvat menetelmät.

Meidän olosuhteissamme olisi syytä selvittää typpiymppien ja typensitojabakteerien mahdollisia hyötyjä etenkin pitkään tavanomaisessa viljelyssä ilman palkokasveja viljellyillä pelloilla. Myös tehokkaiden ja haastavissakin olosuhteissa kestävien typensitojabakteereiden tuotekehittäminen olisi mahdollinen keino lisätä peltojen typensidontaa. Lisäksi kasvibiostimulanttien mikrobiseosten ja typensitojabakteerien yhdistelmien käytöstä kasvien ravinteiden saannin ja stressinsietokyvyn tehostamisessa tarvittaisiin lisää tutkittua tietoa.

Viljelykasvien typenkäytön tehokkuutta voidaan lisätä kasvinjalostuksen avulla, mutta se edellyttää tietoa tekijöistä, jotka säätelevät typen ottoa ja kuljetusta sekä parempaa ymmärrystä säätelyn genetiikasta eri kasvuvaiheissa. Kasvinjalostuksella voidaan parantaa myös luontaisesti typpeä sitovien kasvien, kuten härkäpavun ja herneen satovarmuutta, tuholais- ja tautiresistenssiä sekä kuivuuden, kuumuuden ja maaperän happamuuden sietoa. Uudet kasvinjalostusmenetelmät nopeuttavat uusien lajikkeiden kehittämistä. Geneettisten työkalujen kehittämiseen tarvitaan kuitenkin genomisekvenssiä ja parempaa ymmärrystä ominaisuuksiin vaikuttavista geneeistä.

Palkokasvien tutkimustarpeita on paljon, seuraavassa joitakin nimenomaan typpihyödyn lisäämisen näkökulmasta:

- Palkoviljojen todellinen tarve starttilannoitukselle multavuudeltaan erilaisilla mailla.
- Ympäryksen hyöty, myös silloin, kun maaperässä on oikeaa typensitojabakteeria olemassa.
- Apilalajien lajike-erot aluskasveina.

- Puitavien palkokasvien typensidonnan vahvistaminen.
- Koko Suomeen ja eri maalajeille soveltuvien palkokasvien ja niiden lajikkeiden kotimainen lajikejalostus.
- Käytännön menetelmä peltoon jäävän kasvuston typpisisällön (N-%, kg/ha) määrittämiseksi.
- Typen siirtymisen mallintaminen syksyn kasvimassasta seuraaville kasveille talvikauden oloista riippuen, ja siitä johdettava käytännön ohjeistus.
- Väkilannoitetyypen taloudelliset optimit, kun tehostetaan biologisesti sidotun typen hyödyntämistä.
- Erilaisten typensidontaratkaisujen merkitys muiden ravinteiden saatavuudelle maaperästä.
- Karjanlannan ja kierrätyslannoitteiden käyttö nurmipalkokasvien viljelyn yhteydessä.
- Viherlannoituksen sovittaminen suorakylvömenetelmään.
- Hyvien palkokasveja sisältävien viljelykiertokäytäntöjen kehittäminen elintarviketuotantoon.
- Palkokasveja sisältävän seosviljelyn monet ratkaisut (kasvilajisuhteet ja viljelytekniikka)
- Kasvinsuojeluratkaisut palkokasvien viljelyä lisättäessä.

Typen hyväksikäytön parantaminen viljelyteknisin keinoin on hyödyllistä sekä lannoitetyypen käyttömäärien vähentämisen että ympäristötavoitteiden kannalta. Määrällisesti suurimmat typpitappiot syntyvät lannan varastointi- ja levitysvaiheessa sekä kasvukauden ulkopuolella (syksystä keväeseen) nitraatin huuhtoutumisen ja ammoniakkin haihtumisen muodossa. Muut kaasumaiset tappiot ovat kivennäismailla määrällisesti melko pieniä, vaikkakin ilmastovaikutuksiltaan merkittäviä. Sijoittava lannanlevityskalusto, elinvoimainen kasvusto ja lannan mahdollisimman aikainen levittäminen kasvukaudella parantavat typen hyväksikäyttöä. Muita keinoja ovat esim. lannan fraktiointi ja prosessointi (mm. ammoniakkin strippaus, lannan hapotus), joiden avulla lannan liukoisen typen käytettävyyden parane ja tappioiden riski pienenee. Syyslevityksen yhteydessä osa lannan tyyppistä menetetään huuhtoutumalla, joten syyslevitystä tulisi välttää. Viljelijät kiinnittävät typen käyttöä tehostaviin toimenpiteisiin huomioita jo pelkästään typpilannoitteiden kohonneen hinnan takia. Menetelmiä, jotka eivät ole olleet taloudellisesti mielekkäitä halpojen typpilannoitteiden aikana, otetaan käyttöön samasta syystä. Tutkimuksessa olisi syytä huomioida yhtä aikaa sekä kustannustehokkuus että kaasumaiset päästöt (ilmastovaikutukset) ja huuhtoumat (vesistövaikutukset), jotta löydettäisiin kokonaisuuden kannalta parhaat viljelytekniset ratkaisut karjanlannan, muiden orgaanisten lannoitteiden sekä palkokasvien käyttöön.

Lannoitustarpeen määrittely paikkakohtaisesti on lähtökohta tuotantopanosten käytön tarkentamiseen. Maaperän ominaisuuksien ja sääolosuhteiden tiedetään vaikuttavan maaperän typen saatavuuteen ja kasvien kykyyn hyödyntää tarjolla oleva tyyppi. Maaperän ominaisuudet ja kasvukunto määrittävät pitkälti myös pellolle soveltuvat viljelytekniikat ja käytettävät viljelypanokset. Uuden CAP27 tukisuunnitelman toivotaan alentavan kynnystä uuden tekniikan hyödyntämiseen maataloilla ja kannustavan osaltaan täsmäviljelyyn. Myös viherlannoitusta täytyy annostella täsmänä, jotta vältytään sadon laatutappioilta tai jopa lakoriskeiltä ja nitraattipäästöiltä ympäristöön. Tulevaisuudessa on tarpeen tutkia viherlannoituksen paikkakohtaista mittaamista ja 'annostelua', esim. hyödyntäen uutta sensoritekniikkaa drooneissa ja työkoneissa, sekä tekoälypohjaista data-analytiikkaa.

Turvemailta sekä muilta orgaanisilta mailta vapautuu luontaisesti jatkuvasti tyyppiä kasvuston käyttöön. Orgaanisia maita voidaankin viljellä selvästi matalammilla typpilannoitustasoilla kuin kivennäismaita. Paljon orgaanista ainesta sisältävät maat sitovat myös hyvin kosteutta, minkä vuoksi ne ovat kuivina kesinä kivennäismaita satovarmempia. Ympäristösyistä turvepeltojen

viljelyä halutaan kuitenkin vähentää. Pitämällä turvemaat riittävän kosteina (sätösalaajitus) haitallisia ilmastovaikutuksia voitaneen rajoittaa. Turvemaiden sijainti painottuu Suomessa maan keski- ja pohjoisosiin, mikä maaperän happamuuden ohella rajoittaa niiden kasvilajivalikoiman käytännössä nurmeen ja kauraan. Nykytilanteessa turvemaiden viljelystä luopumista pitäisi kuitenkin tarkastella uudestaan huoltovarmuuden ja ympäristövaikutusten arvottamisen kautta. Turvemaiden typpilannoituksen satovastetta nykyisillä lajikkeilla, viljelytekniikalla ja sääolosuhteilla olisi syytä tutkia lisää typpilannoituksen optimin päivittämiseksi.

Ilmastonmuutoksen myötä kuivat ajanjaksot kasvukauden aikana yleistyvät. Kuivuus voi pahimmillaan tuhota sadon, mutta Suomessa ei ole perinteisesti käytetty juurikaan kastelua viljojen tai nurmenviljelyssä. Koska Suomessa on hyvät makean veden varat ja vuotuinen sadanta ylittää haihdunnan, kastelujärjestelmien taloudellista kannattavuutta olisi syytä pohtia. Riittävä kosteus on yksi tapa nostaa typpilannoituksen hyväksikäyttötehokkuutta.

Suomessa kokonaistyppeä on käytetty yhteensä noin 230 000 tonnia vuodessa, josta epäorgaanisissa lannoitevalmisteissa (mineraalilannoitteet) 140 000–150 000 tonnia ja tuotantoeläinten lannassa noin 70 000 tonnia. Muissa biomassossa, mm. yhdyskuntien ja teollisuuden jätteissä ja lietteissä typpeä on maltillisesti noin 17 000 tonnia, mutta tämä tyyppi ei kokonaisuudessaan tällä hetkellä päädy maatalouteen, vaan näitä biomassoja käytetään esimerkiksi maanrakentamisessa. Lisäksi osa biomassojen sisältämästä tpeestä poistuu esimerkiksi jätevedenpuhdistuksen aikana ilmakehään. Biomassojen tyyppi on suurimmaksi osaksi orgaaniseen ainekseen sitoutunutta, eikä tämä typpimäärä ole suoraan verrannollinen esimerkiksi mineraalilannoitteena käytettävään tyypeen. Muiden kuin lantapohjaisten biomassojen sisältämän typen määrä on verrattain matala suhteessa epäorgaanisten lannoitteiden käyttöön, joten niiden käytön tehostamisella ei voida kovinkaan suuressa määrin korvata mineraalilannoitteita. Biomassojen sisältämän typen kierrätys ja entistä tehokkaampi hallinta on kuitenkin tärkeää paitsi typpiomavaraisuuden parantamiseksi, myös ympäristöhaittojen minimoimiseksi. Biomassojen tyyppi tulisivikin saattaa tehokkaammin käyttöön, mikä voitaisiin mahdollistaa biomassojen tehokkaalla ja tarkoituksenmukaisella prosessoinnilla. Prosessoinnin avulla voidaan mm. lisätä liukoisen mineraalitypen osuutta sekä mahdollistaa ravinteiden logistiikka ja käyttö tehokkaammin siellä missä niille on tarve. Biomassojen sisältämien ravinteiden käyttö maataloudessa myös edesauttaa orgaanisen aineksen sekä hiilen palautumista maaperään. Biomassoista saatavien kierrätyslannoitevalmisteiden käytön lisääminen edellyttäisi:

- Kierrätyslannoitevalmisteiden jalostamista olomuotoihin ja ravinnepitoisuuksiin, joilla ne pystyvät vastaamaan levityskaluston edellytyksiin ja kasvikohtaisiin lannoitustarpeisiin nykyistä paremmin
- Uusien levitysratkaisujen kehittämistä, jotta kierrätyslannoitevalmisteiden annostelusta kasveille saadaan täsmällisempää ja mahdollistetaan erilaisissa olomuodoissa olevien valmisteiden sekä useampien valmisteiden yhtäaikaista käyttöä
- Koulutusta ja opastusta viljelijäyhteisöille
- Kannustimia tilojen yhteisiin ratkaisuihin alueellisen ravinteiden kierrätyksen edistämiseksi
- Investointitukea sekä jalostuksen ratkaisuihin lannoitevalmisteiden tuottajille, että levityksen ratkaisuihin maataloilla
- Rahallista tukea lannan ja kierrätysravinnevalmisteiden kuljetukseen ja levitykseen



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000