

Nestemäiset kierrätyslannoitteet kevätvehnän lannoitteena

Petri Kapuinen

Tuotantojärjestelmät, Luonnonvarakeskus, Turku, FINLAND

petri.kapuinen@luke.fi

TIIVISTELMÄ

Nestemäisiä kierrätyslannoitteita (NKL) syntyy biolaitoksissa sivutuotteena. Yhden biolaitoksen tuotama määrä riittää tyypillisesti vain yhden kunnan peltojen lannoittamiseen, jolloin rakeistaminen tai kiteyttäminen ei kannata. Paikallisessa käytössä nestemäisyydestä ja hieman pienemmistä ravinnepitoisuuksista ei ole kuitenkaan suurta haittaa.

Yksi NKL:sta on ammoniumsulfaatti (AMS), jota syntyy Suomessa tällä hetkellä Forssassa Envor Goup Oy:n ja Riihimäellä Gasum Oy:n laitoksilla. 35%:ssa AMS:ssa on 8,9% N ja 10,2% S (m/v). Sen tilavuuspaino on 1200 kg/m³. Lisäksi kiteistä AMS:ia syntyy nikkelin valmistuksen sivutuotteena Harjavallassa huomattava määrä. Suuri S/N rajoittaa sen järkevää osuutta N-lannoituksessa. Liian suuri S-annos haittaa kasvin seleeninottoa. 20 kg N/ha ja 23 kg S/ha saadaan noin 225 l/ha annoksella, mikä on varsin sopiva määrä levitettäväksi kasvinsuojeluruiskulla. Viimeinen käyttömahdollisuus on ruiskutus kasvustoon tähkimisvaiheessa tarkoituksena vehnän valkuaispitoisuuden nosto. AMS:ia voidaan sijoittaa myös nestelannoitusvarusteisella kylvölannoittimella, vaikka NH₃-tappioiden puuttuessa sijoitus ei pienenä osuutena N-lannoitusta ole välttämätöntä. AMS:ia käytettäessä päälannoitteessa ei pitäisi olla S:ä, mutta siinä pitäisi olla Se:ä. Kiteistä AMS:ia voi levittää kätevimmin kylvölannoittimen starttilannoitelaatikon kautta osana N-lannoitusta.

Muita hankkeen NKL:ita olivat konsentraatti, typpivesi ja haihduttamalla konsentroidu perunan soluneste. Konsentraatti on haihduttamalla konsentroidua rejektivettä, johon on lisätty rikkihappoa N:n haihtumisen estämiseksi ja siinä N/S-suhde ja oikea käyttöosuus N-lannoituksesta on sama kuin AMS:ssa. Typpivesi (n. 2 %N) on strippaustuote, jossa vastaanottoliuos on vesi. Sen järkevää käyttömäärää ei rajoita rikki. Konsentraatin ja typpiveden levitykseen tarvitaan erikoiskoneita tai se on muuten haasteellisempaa olomuodon tai levitysmäärän takia. Konsentroidu perunan soluneste on lähinnä kaliumlannoite. Konsentroidua perunan solunestettä voi levittää kasvinsuojeluruiskulla levitysmäärän kuitenkin ollessa tälle suuri.

NKL:ien käyttöä kevätvehnä lannoituksessa tutkittiin Kaarinan Yltöisissä vuosina 2017–2018 kenttäkokeessa vertaamalla saatua satoa vastaavalla N-määrällä saatuihin satoihin tavanomaisella rakeisella lannoitteella. NKL:ista oli kokeissa mukana erilaisia käytännön kannalta mielekkäitä käyttötapoja. NKL:t tuottivat 2 – 21% (2017) ja 2 -11% (2018) vähemmän satoa kuin tavallinen mineraalilannoite samalla N-määrällä. Konsentraatti osan (n. 20%) typpi lannoitus ennen kylvöä levitettyinä pärjäsivät hyvin. Typpivesi toimi varsin hyvin molempina vuosina sen osuuden ollessa puolet N-annoksesta. AMS toimi parhaiten ennen kylvöä ruiskutettuna osana (n. 25%) N-lannoitusta tai kiteisenä (100%) kylvön yhteydessä. Konsentroidu perunan soluneste ei toiminut ainoana N:n lähteenä (2017 ja 2018) mutta selvästi paremmin (2018) sen osuuden ollessa puolet N-lannoituksesta.

Asiasanat: ammoniumsulfaatti, konsentraatti, typpivesi, perunan soluneste

Johdanto

Nestemäisiä kierrätyslannoitteita tuottavat biolaitokset ovat pääsääntöisesti puhdistamolietettä mädättäviä biokaasulaitoksia, joiden mädätysjäännöksestä erotettua nesteosaa ei saa käyttää lannoitevalmisteenä (MMM 2011). Lannoitevalmisteenä erotettu nesteosa kuuluisi potentiaalisesti lannoitteisiin kuuluvaan rejektivesi-tyyppinimeen. Lannoitteiden raaka-aineissa puhdistamolietteen osuus saa kuitenkin olla korkeintaan 10%. Nestemäisiä kierrätyslannoitteita syntyy biolaitoksilla useimmiten typenpoiston sivutuotteena, esimerkiksi ammoniumsulfaatti- ja ammoniakkiliuos (tyypivesi). Ammoniumsulfaatin (AMS) ja ammoniakkiliuoksen valmistustapa on sellainen, että niillä ei katsota olevan puhdistamolietetaustaa, vaikka niitä tuotetaan puhdistamolietettä mädättävässä biolaitoksessa (Salmela 2018). AMS:ia valmistetaan strippaamalla ammoniakkia ja pesemällä se rikkihapolla. Ammoniakkiliuoksen valmistuksessa pesu tehdään vedellä. Sen tyyppipitoisuus on selvästi pienempi kuin AMS:in ja pH korkea. Yksittäisen laitoksen tuottamat määrät ovat niin pieniä, että niiden rakeistaminen tai kiteyttäminen ei yleensä kannata. Niiden nestemäisyydestä ei ole logistisessa mielessä suurta haittaa, koska ne voidaan yksittäisen biolaitoksen pienen tuotannon takia käyttää paikallisesti. Tyypillisesti yhden laitoksen tuotantomäärä vastaa yhden kunnan peltoalan lannoituksessa tarvittavaa määrää. Ammoniumsulfaattiliuosta tuotetaan tällä hetkellä Envor Group Oy:n laitoksella Forssassa 4 m³ vuorokaudessa eli 1460 m³ vuodessa enimmäiskapasiteetin ollessa 5 m³ vuorokaudessa eli 1825 m³ vuodessa (<https://envor.fi/wp-content/uploads/2017/06/Ammoniumsulfaatti-Tuoteseloste-ID-72.pdf>). Lisäksi Suomessa on toinen ammoniumsulfaattia tuottava Gasum Oy:n laitos Riihimäellä. Sen kapasiteetti on 3 m³ vuorokaudessa, mutta tuotanto on ollut varsin ajoittaista. Poikkeuksen yksittäisen laitoksen tuotantomäärästä tekee Harjavallassa Norilsk Nickel Harjavalta Oy:n (<https://www.nornickel.fi/>) nikkelinvalmistuksen sivutuotteena tuottama kiteinen ammoniumsulfaatti (<http://www.ntlmt.com/product>) (<https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/05/Ammoniumsulfaatin-tuotanto-nikkelin-valmistuksen-yhteydessa.pdf>). Sen määrä on noin 100 000 tonnia vuodessa, ja se riittäisi puolelle Suomen peltoalasta rikkilannoitustarpeen mukaan laskettuna. Pääosa siitä menee vientiin ja markkinoidaan NT Ltd:n (<http://www.ntlmt.com/index>) kautta. Maailmanlaajuisesti kuitenkin vain alle 5% ammoniumsulfaattista syntyy nikkelin ja muiden metallien jalostusprosesseista (Virtanen ja Kinnunen 2019). Selvästi eniten, lähes puolet, sitä tulee nylon 6 -nailonin valmistukseen tarvittavan kaprolaktaamin valmistuksesta. Suurimmat tuottajamaat ovat Yhdysvallat (yli 3 milj. tonnia; 2016) ja Venäjä (1,6 milj. tonnia; 2016). Harjavallan tuotanto on tässä perspektiivissä kuitenkin merkittävä. Sellaisenaan kiteistä ammoniumsulfaattia käytetään Suomessa alle 1000 tonnia vuodessa. Huomattavampi määrä sitä käytetään lannoiteseoksissa.

Ammoniumsulfaatin järkevä käyttömäärä määräytyy rikin perusteella. Kiteisessä ammoniumsulfaattissa on ammoniumtyppeä 21% ja rikkiä 24%. Rikkilannoitusosuus viljoilla, nurmilla, perunalla ja palkokasveilla on viljavuusrikin ollessa matalakin vain 20 – 30 kg ha⁻¹ (Yara 2009), jolloin typpeä tulee noin 20 kg ha⁻¹. Ristikukkaisilla rikkilannoitusosuus on suurempi, jopa 40 – 50 kg ha⁻¹, mikä mahdollistaa suuremman järkevän AMS:in käyttömäärän. Liiallinen rikinkäyttö haittaa kasvien seleeninottoa eikä kierrätyslannoitteissa itsessään yleensä ole seleeniä (Pyörälä ja Tiuhonen 2005). Kasvit eivät seleeniä tarvitse, mutta niitä syövät ihmiset ja eläimet kylläkin. Asia on kuitenkin korjattavissa ottamalla ilman seleenilisää olevien lannoitteiden käyttö huomioon ruokinnassa. Seleeniä voidaan lisätä kivennäisaineisiin tai jopa nurmirehun säilöntäaineisiin (Seppälä ym. 2014). Käytettäessä kierrätyslannoitevalmisteita täydennettynä tavanomaisilla rakeisilla lannoitteilla voidaan käyttää karjatilaille tarkoitettuja korkeamman seleenipitoisuuden lannoitteita sadon seleenipitoisuuden turvaamiseksi. Ne sopivat kuitenkin huonosti käytettäväksi runsaasti rikkiä sisältävien kierrätyslannoitteiden kanssa, koska myös niissä on normaali määrä rikkiä. Ammoniumsulfaatin kanssa käytettäväksi sopii parhaiten lannoite, jossa on seleeniä mutta ei rikkiä.

Esimerkiksi Envor Group Oy:n myymässä 35%:ssa AMS:ssa on 8,9% N ja 10,2% S (m/v) (<https://envor.fi/wp-content/uploads/2017/06/Ammoniumsulfaatti-Tuoteseloste-ID-72.pdf>). Sen tilavuuspaino on 1200 kg m⁻³, jolloin sen käyttömäärä on noin 200 l ha⁻¹. Se sopii hyvin levitettäväksi kasvinsuojeluruiskulla, mutta se voidaan myös sijoittaa nestelannoitusvarusteisella kylvölannoittimella. Tarkoituksenmukaisin tapa kiteisen ammoniumsulfaatin levittämiseen on kylvölannoittimen starttilannoitelaitos. Koska sen raekoko vaihtelee runsaasti ja joukossa on hyvin pieniäkin kiteitä, levitys

keskipakoislevittimellä johtaa helposti epätasaiseen levitykseen. Rikin tarpeen mukainen käyttömäärä on noin 100 kg ha⁻¹. Periaatteessa kiteisen ammoniumsulfaatin voi liuottaa veteen, mutta silloin ongelmana on valmistuksen yhteydessä käytetyt hiilivedyt, jotka kiteytyvät ja tukkivat kasvinsuojeluruiskun suuttimien suodattimet. Suomessa AMS:in käyttöä on tutkittu jonkin verran viljakasveilla kevätkylvöjen yhteydessä ja vehnällä tähkimisvaiheessa valkuaispitoisuuden nostamistarkoituksissa (Tontti ym. 2015, Kapuinen ja Ikäläinen 2016). Tähkimisvaiheen lisätypen anto nimenomaisesti AMS:ina ei ollut antanut kovin hyviä tuloksia (Ervasti ym. 2015, Tontti ym. 2015). Ammoniumsulfaattiliuoksen käyttöä rikkakasvien torjunnan yhteydessä lannoitustarkoituksissa on tutkittu Nesteravinne-hankkeen (www.luke.fi/nesteravinne) osana (https://www.youtube.com/watch?v=1eR3y-2sc_w&feature=youtu.be). Rikkakasvien torjunnan ja lannoituksen yhdistämisellä säästyisi yksi ajokerta. Eräs peruste ammoniumsulfaatin käytölle osana typpilannoitusta on se, että sen avulla voidaan lisätä ammoniumtyypen osuutta typpilannoituksessa, mikä vähentää tyypin huuhtoutumisalttiutta tilanteissa, joissa keväällä on runsaita sateita heti kylvön jälkeen, kun kasvuston typenotto ei heti kylvön jälkeen ole kovin runsasta. Kun fosforilannoitusta on vähennetty, on lannoitteiden fosforipitoisuus laskenut, ja samalla nitraatin osuus lannoitteen typestä kasvanut.

Tässä tutkimuksessa käsiteltävän ammoniakkiliuoksen typpipitoisuus on vain noin 2%. Siinä on vain tyypeä, jolloin periaatteessa vaikka koko typpilannoitus voidaan antaa ammoniakkiliuoksena. Käyttömäärä voi tuolloin olla noin 5 m³ ha⁻¹, joka on hyvin hankala maataloilla yleisesti oleville koneille. Se on liian suuri kasvinsuojeluruiskuille ja liian pieni lietalannan levityslaitteille. Nykyisin Gasum Oy:n tuottama ammoniakkiliuos sisältää ammoniakkia noin 15% (Salmela 2018). Sen käyttömäärä sopii selvästi aikaisempaa versiota paremmin esimerkiksi kasvinsuojeluruiskulla levitettäväksi. Siitä tyypeä on 82%, joten sen typpipitoisuus on noin 120 kg m⁻³. Tuotannon määrä on 3000 m³ vuodessa mutta se on kasvamassa 5000 m³:iin vuodessa. Periaatteessa se riittäisi 3000 – 5000 vehnähehtaarin lannoitukseen. Ammoniakkiliuoksella ei kuitenkaan ole nykyisessä lannoitevalmistelainsäädännössä (MMM 2011) tyypinimeä, mutta on odotettavissa, että se tulee hyväksytyksi lannoitevalmisteksi lannoitevalmistelainsäädännön lähivuosien uudistuksen yhteydessä tiukkojen tyypinimimääritysten poistumisen kautta. Ammoniakkia syövyttää voimakkaasti kuparia ja sinkkiä sekä niiden lejeerinkiä messinkiä (Työterveyslaitos 2017), mikä on otettava huomioon levityslaitteiden käytössä. Lisäksi ammoniumsulfaattiliuos ruostuttaa koneita, mikä vähentää viljelijöiden kiinnostusta sen käyttöön.

Joissain tapauksissa nestemäisiä kierrätyslannoitteita syntyy jonkin jakeen konsentroidin tuloksena, esimerkiksi konsentraatti, joka on konsentroitua rejektivettä, ja konsentroidu perunan soluneste. Konsentraatti on varsin harvinainen, koska valmistustavan takia sen raaka-aineissa ei saa olla yli 10% puhdistamolietetaustaa. Konsentraatti valmistetaan haihduttamalla rejektivedestä vettä. Siihen lisätään rikkihappoa happamuuden lisäämiseksi, jolla estetään liukoisen tyypin haihtuminen ammoniakkina. Sen typpipitoisuus on samaa tasoa kuin laimean ammoniakkiliuoksen, mutta siinä on myös muita ravinteita. Tällä hetkellä sitä valmistetaan Suomessa vain Gasumin Vehmaan laitoksella (<https://www.gasum.com/Yrityksille/mukaan-kiertotalouteen/kierratyslannoitteet/>; Gasum Voimakas Vehmaa). Markkinoilla oleva konsentroidu perunan soluneste on Finnamylin (<https://finnamyl.fi/>) tuotantoa ja sitä markkinoi tällä hetkellä Soilfood Oy (<https://soilfood.fi/>) tuotenimellä Boost NPKS. Konsentroidu perunan soluneste valmistetaan konsentroidimalla soluneste, joka jää jäljelle tärkkelyksen ja valkuaisen talteenoton jälkeen. Se on lähinnä kaliumlannoite ja tuotantoprosessin takia hapanta. Konsentroidu perunan soluneste soveltuu potentiaalinen runsaasti kaliumia tarvitsevilla kasveille tuotantopaikkojen lähistöllä. Käytännössä tämä tarkoittaa lähinnä perunaa.

Useimmille nestemäisille kierrätyslannoitteille on olemassa teollisia käyttötarkoituksia, kuten eristeteollisuus, vanerin valmistus ja savukaasujen puhdistus, mutta markkinatilanteesta riippuen niitä tarjotaan myös maatalouteen (Virtanen ja Kinnunen 2019). Maatalouskäytön ongelmana on menekin sesonkiluonteisuus. Teollisten käyttömuotojen etu biolaitosten kannalta on tasainen menekki ympäri vuoden. Suurten nestemäisten massojen säilyttämiseen ei ole yleensä niitä käytävillä maataloilla varastoja, varsikaan kasvinviljelytiloilla, jotka olisivat potentiaalisia vastaanottajia. Tuotteet varastoidaan yleensä 1000 litran IBC-konteissa. Maataloudessa ravinteiden käyttömäärät ovat niin suuret, että biolaitoksista syntyneiden kierrätyslannoitteiden sisältämät ravinnemäärät voivat kattaa vain hyvin pienen osuuden maatalouden ravinteiden tarpeesta. Ne eivät siten myöskään oleellisesti voi vaikuttaa

mineraalilannoitteiden markkinoihin, mutta maatalous tarjoaa kestävän käyttökohteen niille silloin, kun teolliset markkinat eivät vedä. Nestemäisten kierrätyslannoitteiden käyttöpotentiaali maataloudessa on huomattavasti suurempi kuin niiden nykyinen tuotanto. Nestemäisten kierrätyslannoitteiden tuotanto niiden itsensä takia ei ole kannattava, joten tuotanto kasvaa vain, jos biolaitosten typenpoistovaatimukset kasvavat, koska tuotantoprosessi itsessään ei ole kannattava (Ervasti ym. 2015). Niiden valmistus saattaa olla osana biolaitoksen toimintaa taloudellisesti mielekäästä esimerkiksi niin, että typenpoistolla voidaan alentaa jätevesimaksuja niin paljon, että jätevesimaksujen alentuminen yhdessä tuotteesta saatavan hinnan kanssa kattaa valmistuskustannuksen. Konsentroitujen nestemäisten lannoitevalmisteiden käyttö on taloudellisesti mielekäästä vain suhteellisen lähellä tuotantopaikkaa kuitenkin selvästi kauempana kuin lietelannan ja sitä vastaavien lannoitevalmisteiden, koska pitkät kuljetusmatkat syövät niiden ravinteiden arvon.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin ammoniumsulfaatin, ammoniakkiliuoksen, konsentraatin ja perunan konsentroidun solunesteen käyttöä kevätvehnän lannoituksessa. Lannoitteen ja sen käyttötavan hyötyä arvioitiin sen typen satovasteella suhteessa vertailulannoitteen vastaavaan.

Aineisto ja menetelmät

Ensimmäisenä kenttäkoevuonna 2017 ammoniumsulfaattiliuos ruiskutettiin koeruutuihin koeruutukasvinsuojeluruiskulla. Toisena kenttäkoevuotena 2018 se sijoitettiin suorakylvön yhteydessä nestelannoitusvarustuksella olevalla kylvölannoittimella. Kokeen perustamisessa käytettiin Tume NovaCombi 3000 -suorakylvökoneetta (Kuva 1). Muutoin nestemäiset kierrätyslannoitteet levitettiin kastelukanuilla letkulevitystä imitoiden, koska käytettävissä ei ollut sopivaa sijoitustekniikkaa. Näin levitetty lannoitteet mullattiin joustopiikkiäkeellä ruutujen suuntaisesti noin tunnin kuluttua levityksestä. Joustopiikkiäkeessä oli varpajyrä sekä edessä että takana (Potila). Kiteiden ammoniumsulfaatti sijoitettiin kylvön yhteydessä samalla tavalla kuin rakeinen ammoniumnitraattilannoite. Koeruudet olivat ennen lannoitteiden levitystä ja kylvöä muokattu matalaan samaisella joustopiikkiäkeellä poikki koeruutujen niin, että muokkaussyvyys sopi suorakylvötekniikan käyttöön mutta mahdollisesti lannoitteen nopean imeytymisen muokkauskerrokseen vähentäen ammoniakkiemissiota ennen multausta.



Kuva 1. Kokeiden perustamisessa käytetty nestelannoitusvarustein Tume NovaCombi -suorakylvökone

Kenttäkokeissa oli mukana laimea ammoniakkiliuos (ammoniakkipitoisuus noin 2%), konsentraatti, ammoniumsulfaatti ja konsentroidu perunan soluneste. Niiden sekä niiden ja vertailulannoitteiden yhdistelmien typpilannoituksen tavoitetaso oli 120 kg ha^{-1} . Nestemäisiä kierrätyslannoitteita pyrittiin käyttämään tavalla, jotka olisivat tarkoituksenmukaisia vaihtoehtoja niiden käytölle kyseinen lannoite ainoana typen lähteenä tai sitten yhdessä typpitasoissa käytetyn vertailulannoitteen kanssa. Vertailulannoitteen osuus typpilannoituksesta oli suunnittelussa lähtökohtaisesti puolet typpiannoksesta. Kuitenkin konsentraattia ja ammoniumsulfaattia käytettäessä rakeisen vertailulannoitteen osuus oli 90 kg ha^{-1} , jotta rikkiannos ei kasvaisi kohtuuttomaksi, tai polttovioitusten välttämiseksi. Suuren rikkilannoituksen vaikutuksia tutkittiin käyttämällä yhdessä koejäsenessä pelkkää ammoniumsulfaattikidettä lannoitteena. Kenttäkokeissa toteutetut levitysmäärät laskettiin ennakkonäytteistä määritetyn liukoisen kokonaistypen pitoisuuden perusteella tai jonkin muun ennakkotiedon perusteella. Levityksen yhteydessä otettiin lannoitteista näytteet, joiden analyysitulosten perusteella määritettiin toteutuneet typpitasot.

Vuonna 2017 koekasvina oli Wanamo-kevävehnä (279 kg ha^{-1} , tjp 30,0 g, itävyys 91%, kylvötiheys 650 kpl m^{-2}). Maalaji oli rmHeS (hieta ja karkeammat 27,8%, hiesu 22,8% ha saves 49,4%, hehkutushäviö 7,2%). Fosforiluku oli tyydyttävä 10 mg l^{-1} . Viljavuusfosforin ei voida katsoa olevan tässä tapauksessa sadonmuodostusta rajoittava tekijä. Konsentraatin ja perunan solunesteen mukana tuli vähäinen määrä fosforia. Typpitasoissa (0, 30, 60, 90, 120, 150 ja 180 kg N ha^{-1}) käytettiin vuonna 2017 lannoitteena YaraBela Suomensalpietaria (NPKS 27-0-1-4). Konsentraatti levitettiin ennen kylvöä ja kasvustoon kastelukannuilla letkulevitystä matkien. Konsentraatin mukana tuli liukoista kokonaistyppeä $29,9 \text{ kg ha}^{-1}$, kokonaisfosforia $2,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ja rikkiä $32,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (ennen kylvöä) tai $34,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (kasvustoon). Konsentraatin tyyppi oli pääasiassa ammoniumtyppeä, jota sen mukana tuli $27,0 \text{ kg ha}^{-1}$. Kylvölannoituksen yhteydessä konsentraattikäsitteilyt saivat typpeä 90 kg ha^{-1} YaraBela Suomensalpietarina. Ammoniakkiliuosta levitettiin ennen kylvöä joko $4,0$ tai $2,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Sen mukana tuli liukoista kokonaistyppeä $90,0$ tai $45,0 \text{ kg ha}^{-1}$, vastaavasti. Pienemmän levitysmäärän tapauksessa kylvön yhteydessä annettiin typpeä YaraBela Suomensalpietarina 60 kg ha^{-1} . Ammoniumsulfaattia ruiskutettiin ennen kylvöä tai kasvustoon 200 l ha^{-1} , jonka mukana tuli ammoniumtyppeä $14,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ja rikkiä $15,0 \text{ kg ha}^{-1}$. Yhtenä vaihtoehtona oli, että kiteistä ammoniumsulfaattia käytettiin kylvön yhteydessä sijoitettuna ainoana lannoitteena. Sen mukana tuli typpeä 120 kg ha^{-1} ja rikkiä 137 kg ha^{-1} , mikä rikkimäärä ylittää selvästi kaikki suositukset. Konsentroidun solunesteen mukana tuli liukoista kokonaistyppeä $22,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ja huomattava määrä kaliumia $102,4 \text{ kg ha}^{-1}$. Muiden käytettyjen lannoitevalmisteiden mukana tullut kaliumin määrä oli enimmillään $7,3 \text{ kg ha}^{-1}$. Koealueen viljavuuskalium oli 210 mg l^{-1} edustaen tyydyttävää tasoa. Kierrätyslannoitteet levitettiin koeruutuihin ennen kylvöä 2. kesäkuuta kuitenkin niin, että kiteinen ammoniumsulfaatti sijoitettiin vasta muiden koeruutujen kylvön jälkeen 3. kesäkuuta. Konsentraatti levitettiin kasvustoon 26. kesäkuuta ja ammoniumsulfaatti ruiskutettiin kasvustoon 27. kesäkuuta. Rikkakasvit torjuttiin 27. kesäkuuta. Kasvunsäade ruiskutettiin 18. heinäkuuta. Koeruudut puitiin 2. lokakuuta. Maanäytteet suurten rikkiannosten vaikutusten viljavuusriikkiin selvittämiseksi ja maalajin määrittämiseksi otettiin seuraavana keväänä.

Vuonna 2018 koekasvina oli Quarna-kevävehnä (282 kg ha^{-1} , tjp 37,8 g, itävyys 87 %, 650 kpl m^{-2}). Koe oli samalla peltolohkolla kuin vuonna 2017. Maalaji oli käytännössä sama rmHeS (hieta ja karkeammat 27,2%, hiesu 21,2%, saves 51,5%, hehkutushäviö 8,2%). Fosforiluku oli keväällä 2018 keskimäärin $15,1 \text{ mg l}^{-1}$ ja keväällä 2019 keskimäärin $14,1 \text{ mg l}^{-1}$. Viljavuusfosforin ei voida katsoa olevan tässä tapauksessa sadonmuodostusta rajoittava tekijä. Konsentraatin ja perunan solunesteen mukana tuli vähäinen määrä fosforia, kuten vuonna 2017. Typpitasoissa käytetty lannoite oli Belor Premium Typpi+Se (NPKS 27-0-0-0), millä pyrittiin siihen, että sen mukana tuli seleeniä mutta ei rikkiä. Lannoittamattoman käsittelyn viljavuusriikki oli keväällä 2018 $13,8 \text{ mg l}^{-1}$ ja keväällä 2019 $8,7 \text{ mg l}^{-1}$. Nestemäisillä kierrätyslannoitteilla toteutus oli varsin samanlainen kuin vuonna 2017. AMS-liuosta käytettiin kuitenkin 300 l ha^{-1} , jotta typpimäärä olisi ollut sama kuin typpitasossa 120 kg ha^{-1} . Konsentroidulla perunan solunesteellä toteutettiin vuonna 2018 myös käsittely, jossa osa tyyppistä tuli kylvön yhteydessä sijoitetusta rakeisesta lannoitteesta. Konsentraatilla liukoisen kokonaistypen annos oli ennen kylvöä $32,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ja kasvustoon levitettäessä $33,2 \text{ kg ha}^{-1}$, kylvön yhteydessä sijoitetun typpimäärän ollessa 90 kg ha^{-1} . Sen mukana tuli rikkiä $24,1 \text{ kg ha}^{-1}$. Ammoniakkiliuoksella typpimäärät olivat $77,4$ ja $98,7 \text{ kg ha}^{-1}$. Jälkimmäisessä on mukana 60 kg ha^{-1} kylvön yhteydessä sijoitetun lannoitteen

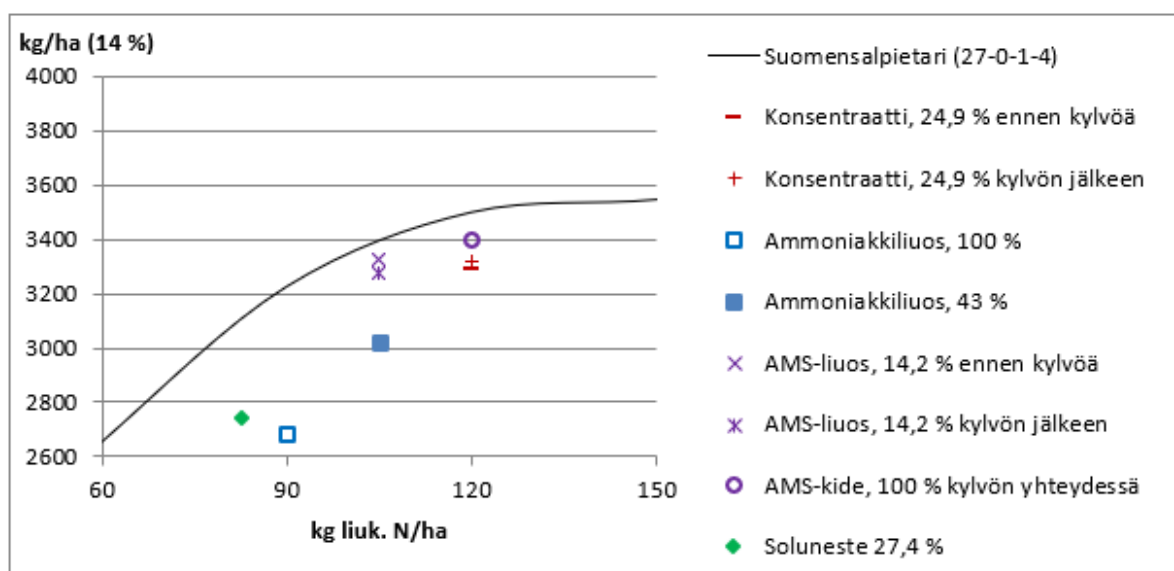
typpeä. Käytetyn ammoniakkiliuoksen typpipitoisuus oli selvästi alle ennakoidun. Myös ammoniumsulfaattiliuoksen pitoisuudet olivat alle ennakoidun ja sen mukana tulleeeksi typpimääräksi muodostui $21,8 \text{ kg ha}^{-1}$, jonka lisäksi kylvön yhteydessä sijoitettiin 90 kg N ha^{-1} . Solunestekäsittelyiden typpimäärät olivat $44,6$ tai $107,3 \text{ kg ha}^{-1}$. Jälkimmäisessä on mukana 60 kg ha^{-1} kylvön yhteydessä sijoitetun vertailulannoitteen tyypeä. Solunesteen mukana tuli rikkimäärä $12,0$ tai $24,1 \text{ kg ha}^{-1}$. Kierrätyslannoitteet levitettiin 28. ja 30. toukokuuta kiteistä ammoniumsulfaattia, joka sijoitettiin muiden koeruutujen kylvön jälkeen 31. toukokuuta. Kylvön jälkeen seurasi ankara kuivuus, minkä takia koealue sadetettiin 11. – 12. kesäkuuta. Rikkakasvit torjuttiin 13. heinäkuuta. Kasvunsääteitä ei käytetty kuivuuden takia. Konsentraatti levitettiin ja ammoniumsulfaatti ruiskutettiin kasvustoon 17. heinäkuuta. Lämpimän ja kuivan kesän tuottama sato puintiin koeruuduista jo 10. syyskuuta. Maanäytteet suurten rikkiannosten vaikutusten viljavuusriikkiin selvittämiseksi otettiin välittömästi kylvön jälkeen ja seuraavana keväänä. Maalaji määritettiin samoista näytteistä.

Koeruutujen sato määritettiin 14%:in kosteudessa. Selenipitoisuus määritettiin kolmesta käsittelystä: tavoitetaso 120 kg N ha^{-1} vertailulannoitteena, ammoniumsulfaatti kasvustoon ruiskutettuna ja kiteinen ammoniumsulfaatti kylvön yhteydessä sijoitettuna. Käsittelyiden satoja verrattiin vertailulannoitteen satoon toteutuneilla typpitasoilla. Suuren rikkiannoksen vaikutus sadon selenipitoisuuteen ja maan viljavuusriikkiin selvitettiin mainituista kolmesta käsittelystä.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kasvukausi 2017

Typpitasoissa sato kasvoi vuonna 2017 selvästi ja lineaarisesti aina typpilannoituksen tavoitetasolle 120 kg N ha^{-1} (Kuva 2). Satoa tuli typpikilolla lisää $19,56 \text{ kg}$. Sato ei juurikaan kasvanut, kun typpilannoitusta tästä lisättiin. Kierrätyslannoitteiden mukana tullut typpimäärä jäi sopivasti tälle lineaariselle alueelle, mikä helpotti tulosten tulkintaa. Kaikki käsittelyt nestemäisillä kierrätyslannoitevalmisteilla tuottivat samalla typpitasolla pienemmän sadon kuin käytetty vertailulannoite.



Kuva 2. Sadot 2017

Kun konsentraatti levitettiin kastelukannuilla ennen kylvöä letkulevitystä imitoiden ja kylvön yhteydessä sijoitettiin vertailulannoitteen tyypeä 90 kg ha^{-1} , sato oli $5,9\%$ pienempi kuin vertailulannoitteella kyseisellä typpimäärällä olisi saatu (Kuva 2). Saatu sato vastasi vertailulannoitteen typpimäärää $95,0 \text{ kg ha}^{-1}$, joten typen hyväksikäyttö oli sadolla mitaten $20,8\%$ pienempi kuin pelkkää vertailulannoitetta käyttäen. Kun konsentraatti levitettiin kasvustoon, satovaste oli jonkin verran parempi vastaten satoa, joka oli saatu $97,2 \text{ kg ha}^{-1}$ vertailulannoitteen tyypeä käyttäen. Todellinen konsentraatista ja

täydennyslannoituksesta saatu typpimäärä oli 119,9 kg ha⁻¹, joten typen hyväksikäyttö ole sadolla mitaten 18,9% pienempi kuin pelkällä vertailulannoitteella. Kun näissä koejäsenissä kylvön yhteydessä sijoitettiin 90 kg N ha⁻¹ vertailulannoitteena ja konsentraatista saatiin vain 29,9 kg ha⁻¹, konsentraatti tuotti hyvin vähän lisäsatoa sen lisäksi, mitä näiden käsittelyiden saama vertailulannoite tuotti. Konsentraatin mukana tulleesta typpimäärästä 29,9 kg ha⁻¹ tuli hyödynnettyä vain 25,1 tai 36,2% ennen kylvöä tai vasta kasvuun levitettyinä, vastaavasti.

Kun vehnä lannoitettiin pelkällä ammoniakkiliuoksella ennen kylvöä kastelukannuilla levittäen sato vastasi vertailulannoitteen typpimäärää 61,5 kg ha⁻¹ todellisen annettun typpimäärän ollessa 90,0 kg ha⁻¹ (Kuva 2). Saatu sato oli 16,7% pienempi kuin vertailulannoitteella olisi samalla typpimäärällä saatu. Typen hyväksikäyttö oli siten sadolla mitattuna 68,3%. Ammoniakkiliuoksen typpipitoisuus oli neljänneksen valmistajalta saatua ennakkotietoa pienempi, jolloin siitä saatu typpimäärä jäi vastaavan määrän tavoitetasoa pienemmäksi. Ammoniakkiliuoksessa oli typpeä vain 1,5 %. Kun ammoniakkiliuoksen levitysmäärä puolitettiin ja kylvön yhteydessä sijoitettiin 60 kg N ha⁻¹ vertailulannoitteena, sato vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 77,2 kg ha⁻¹ todellisen typpimäärän ollessa 105,0 kg ha⁻¹. Sato oli 11,2% pienempi kuin tällä määrällä vertailulannoitteen typpeä olisi saatu. Ottaen huomioon se, että tästä 60 kg ha⁻¹ oli vertailulannoitteena annettua typpeä, itse ammoniakkiliuoksen typen hyväksikäyttö sadolla mitaten oli vain 38,2%.

Kun ammoniumsulfaattiliuos ruiskutettiin ennen kylvöä, saatu sato vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 97,8 kg ha⁻¹ todellisen typpimäärän ollessa 104,9 kg ha⁻¹ (Kuva 2). Sadon ollessa 3,7% pienempi kuin vastaavalla määrällä vertailulannoitteen typpeä olisi saatu ja ottaen huomioon, että vehnä sai kylvön yhteydessä vertailulannoitteen typpeä 90 kg ha⁻¹ sijoitettuna, ruiskutetun ammoniumsulfaatin typen hyväksikäyttö oli vain 52,3% sadolla mitaten. Kun ammoniumsulfaattiliuos ruiskutettiin kasvuun, joka oli kylvön yhteydessä saanut 90 kg ha⁻¹ vertailulannoitteen typpeä, vasta rikkakasvien torjuntavaiheessa, saatu sato vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 93,5 kg ha⁻¹ todellisen typpimäärän ollessa 104,9 kg ha⁻¹. Sadon ollessa 3,7% pienempi kuin vastaavalla määrällä pelkkää vertailulannoitteen typpeä olisi saatu ammoniumsulfaattiliuoksen typen hyväksikäyttö sadolla mitaten jäi 24,8%:iin. Kylvön yhteydessä sijoitetun kiteisen ammoniumsulfaatin tuottama sato vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 105,1 kg ha⁻¹. Kun saatu sato oli 2,8% pienempi kuin samaisella typpimäärällä 120 kg ha⁻¹ vertailulannoitteen typpeä olisi saatu, sen typen hyväksikäyttö sadolla mitaten oli 87%.

Kun konsentroitua perunan solunestettä levitettiin ennen kylvöä ja kylvön yhteydessä sijoitettiin 60 kg N ha⁻¹ vertailulannoitteena saatu sato vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 63,7 kg ha⁻¹ todellisen typpimäärän ollessa 82,7 kg ha⁻¹ (Kuva 2). Solunesteestä tuli vain 22,7 kg ha⁻¹ typpeä. Solunesteen typen hyväksikäyttö jäi 16,3%:iin sadolla mitattuna. Solunesteen typpipitoisuus poikkesi vahvasti ennakkotiedosta, ja sen mukana tullut typpimäärä jäi noin kolmannekseen tavoitteesta.

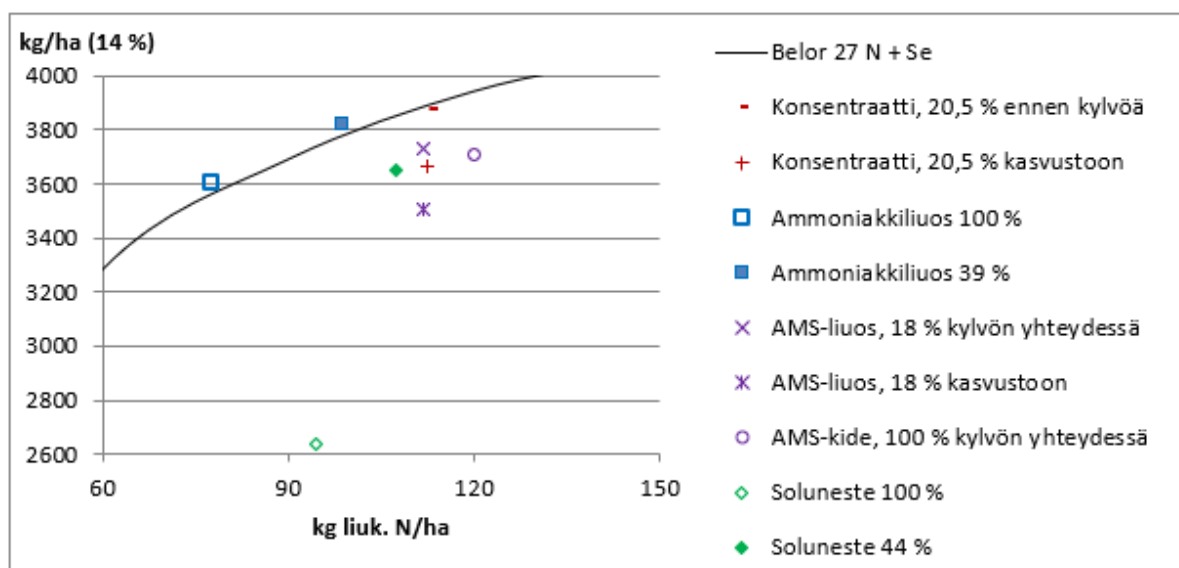
Tulosten perusteella nestemäisten kierrätyslannoitteiden typen hyväksikäyttö oli vuonna 2017 yleisesti ottaen varsin heikko. Yllättävän hyvään tulokseen ylsi ammoniakkiliuos. Sillä saatiin nestemäisten kierrätyslannoitteiden sarjassa paras typen hyväksikäyttö sen ollessa vehnän ainoa typpilannoite. Suhteellinen satotappio oli kuitenkin suurempi kuin täydentämällä lannoitusta vertailulannoitteella syntynyt. Selvästi paras typen hyväksikäyttö saatiin kuitenkin käyttämällä vain kiteistä ammoniumsulfaattia.

Maan viljavuusrikki oli seuraavan keväänä peruslannoituksen (120 kg N ha⁻¹ Suomensalpietarina) saaneessa käsittelyssä 17,5 mg l⁻¹, kasvuun 200 l ha⁻¹ AMS-liuosta saaneessa käsittelyssä 8,3 mg l⁻¹ ja kiteistä ammoniumsulfaattia saaneessa käsittelyssä 12,8 mg l⁻¹. Viljavuusrikin ollessa välttävää tasoa rikkikäsittelyillä oli odotettavissa sadonlisää. Viimeksi mainitulla huomattavan rikkimäärän saaneella käsittelyllä ei ollut enää seuravana keväänä oleellista vaikutusta viljavuusriikkiin. Käsittelyillä oli kuitenkin huomattava vaikutus sadon seleenipitoisuuksiin, jotka olivat vastaavasti 54,1 µg l⁻¹, 44,3 µg l⁻¹ ja 9,0 µg l⁻¹. Suuri rikkimäärä yhdistettynä siihen, että lannoite ei sisältänyt seleeniä laski seleenipitoisuutta oleellisesti. Peruslannoituksen saanut käsittely oli saanut lannoitteen mukana 17,8 kg ha⁻¹ rikkiä. Vastaavasti ammoniumsulfaattiliuosta saanut käsittely oli saanut rikkiä vertailulannoitteesta 13,3 kg ha⁻¹ ja ammoniumsulfaattista 15,0 kg ha⁻¹, yhteensä 28,3 kg ha⁻¹. Lisäksi se oli saanut neljänneksen

vähemmän seleeniä kuin peruskäsittely. Pienempi seleenimäärä riittää selittämään pitoisuuden laskun sadossa, mutta myös suuremmalla rikkilannoituksella saattoi olla vaikutusta.

Kasvukausi 2018

Käytetty vertailulannoitteen typen tuottama sato kasvoi vuonna 2018 lineaarisesti typpitasolle 60 kg ha⁻¹ saakka (Kuva 3). Sen jälkeen typen satovaste taittui jatkaen kasvua lineaarisesti mutta hitaammin. Suuri typen satovaste loppui alemmalla typpitasolla kuin vuonna 2017, mutta sato kasvoi suurilla typpitasoilla enemmän. Satoa tuli typpikilolla lisää 8,18 kg typpitason ollessa yli 60 kg ha⁻¹. Typen satovaste tarkastelualueella oli alle puolet siitä, mitä se oli vuonna 2017. Tavoitetasolla 120 kg N ha⁻¹ sato oli lopulta noin 500 kg ha⁻¹ suurempia kuin vuonna 2017. Kierrätyslannoitteilla toteutuneet typpitasot osuivat loivemman typen satovasteen alueelle, mutta siitä huolimatta tulkintojen tekeminen on selkeää.



Kuva 3. Sadot 2018

Kun konsentraatti levitettiin ennen kylvöä kastelukannulla letkulevitystä imitoiden ja sen lisäksi, että kylvön yhteydessä sijoitettiin 90 kg ha⁻¹ typpeä vastaava määrä vertailulannoitetta, käsittely tuotti hieman, 0,6%, alle typpimääräänsä, 113,2 kg ha⁻¹, vastaavan vertailulannoitteella saatavan sadon (Kuva 3). Sato vastasi vertailulannoitteen typpimäärää 109,8 kg ha⁻¹, kun konsentraatista tullut typpimäärä oli 20,5% käsittelyn kokonaismäärästä. Sadolla mitattuna typen hyväksikäyttö oli 97,0%. Kun konsentraatti levitettiin vasta kasvustoon, sato (3664 kg ha⁻¹) oli hieman pienempi kuin kylvön yhteydessä 90 kg ha⁻¹ vertailulannoitteen typpeä saaneen käsittelyn (3687 kg ha⁻¹). Todellisen typpimäärän mukaiseen satoon vertailulannoitteella satotappio oli 5,8%.

Kun ammoniakkiliuos ennen kylvöä levitettynä oli vehnän ainoa typpilannoitus sato (3612 kg ha⁻¹) vastasi vertailulannoitteella saatavaa satoa typpitasolla 83,6 kg ha⁻¹ todellisen typpitason ollessa 77,4 kg ha⁻¹ (Kuva 3). Käsittely tuotti 2,2%:n sadonlisän suhteessa typpitasoonsa. Kun ammoniakkiliuoksen annos puolitettiin ja korvattiin 60 kg ha⁻¹ vertailulannoitteen typpeä kylvön yhteydessä sijoitettuna, sato (3822 kg ha⁻¹) vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 103,9 kg ha⁻¹ todellisen typpitason ollessa 98,7 kg N ha⁻¹. Sadonlisä oli 1,2%. Kun tämä lasketaan pelkästään ammoniakkiliuoksen hyväksi, sadonlisä sen osuudelle typpilannoituksesta oli 8,5%.

Sijoitettaessa nestemäinen ammoniumsulfaatti (300 l ha⁻¹) kylvön yhteydessä, sen osuuden typpilannoituksesta ollessa 20,5 %, saatu sato 3728 kg ha⁻¹ oli 4,0% pienempi kuin vertailulannoitteella kyseisellä typpitasolla 111,8 kg ha⁻¹ saatava (Kuva 3). Sato vastasi vertailulannoitteen typpitasoa 93,9 kg ha⁻¹, jolloin typen hyväksikäyttö sadolla mitattuna oli 84,0%. Kun ammoniumsulfaatin osuus typpilannoituksesta oli 21,8 kg N ha⁻¹ ja sadonlisä siitä vastasi vertailulannoitteen typpimäärää 3,9 kg ha⁻¹, vain

17,9% sen tyypestä tuli hyödynnettyä. Ammoniumsulfaattiliuoksen (300 l ha^{-1}) ruiskuttaminen kasvustoon alensi satoa 4,8% ilman sitä odotettavissa olevaan nähden. Todellisella typpitasolla vertailulannoitteella saatavaan satoon nähden satotappio oli 6,4%. Kiteisellä ammoniumsulfaatilla saatiin lähes sama satotuloskuin vertailulannoitteella. Sato oli 5,8% pienempi.

Konsentroidu perunan soluneste tuotti huonosti satoa vehnän ainoana typenlähteenä (Kuva 3). Käsitteilyn tuottama sato (2640 kg ha^{-1}) vastasi $40,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ lannoitusta todellisen typpimäärän ollessa $94,6 \text{ kg ha}^{-1}$. Tällä määrällä vertailulannoitteen tyyppiä olisi saatu satoa 3735 kg ha^{-1} , joten satotappio oli 29,3%, ja typen hyväksikäyttö sadolla mitattuna vain 43,0%. Kun solunesteen osuutta typpiannoksesta pienennettiin niin, että se oli 44% ja lisäksi kylvön yhteydessä sijoitettiin vertailulannoitteen tyyppiä 60 kg ha^{-1} , saatu sato (3652 kg ha^{-1}) vastasi $86,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ lannoitusta. Todellinen typpimäärä oli $107,3 \text{ kg ha}^{-1}$, jolla vertailulannoitteena olisi saatu 3851 kg ha^{-1} vehnää. Satotappio, 5,2%, merkitsi 81,0%:n typen hyväksikäyttöä sadolla mitattuna. Kun satotappio kohdistetaan solunesteelle, se oli 34,8%. Solunesteen typen hyväksikäytöksi tuli sadolla mitattuna 56,8%.

Nestemäiset kierrätyslannoitteen menestyivät suhteessa vertailulannoitteeseen vuonna 2018 paremmin kuin vuonna 2017. Erityisesti ennen kylvöä levitty konsentraatti tuotti hyvin satoa. Myös ammoniakki-liuos menestyi hyvin ainoan ja yhtenä typen lähteenä. Ammoniumsulfaatti sen sijaan menestyi huonosti vuonna 2018 kasvustoon ruiskutettuna. Analyysitietojen perusteella se oli hyvin hapanta, mikä saattoi olla syynä huomattavaan polttovioitukseen. Konsentroidu perunan soluneste ei menestynyt kovin hyvin myöskään vuonna 2018.

Kiteisen ammoniumsulfaatin mukana keväällä 2018 tullut runsas rikkilannoitus nosti viljavuusrikin lannoittamattoman $13,8 \text{ mg l}^{-1}$:sta $22,3 \text{ mg l}^{-1}$ een. Vastaavat luvut keväällä 2019 mitattuna olivat $8,7 \text{ mg l}^{-1}$ ja $13,8 \text{ mg l}^{-1}$, joten runsaan rikkilannoituksen vaikutus viljavuusriikkiin heti sen jälkeenkin on melko pieni ja vaikutus vähenee noin puoliin seuraavaan kevääseen mennessä. Rikkilannoituksen vaikutus jyvien seleenipitoisuuteen oli vastaava kuin vuonna 2017. Belor Premium Typpi-lannoitetta käytettäessä typpitaso ollessa 120 kg ha^{-1} , jyvien seleenipitoisuus oli $69,6 \mu\text{g l}^{-1}$, AMS-liuoksen ruiskutus kasvustoon johti seleenipitoisuuteen $55,3 \mu\text{g l}^{-1}$ ja pelkän kiteisen AMS:n käyttö $14,9 \mu\text{g l}^{-1}$. Seleeni-pitoisuudet olivat suuremmat kuin vuonna 2017. Ammoniumsulfaattiliuoksen ruiskutus kasvustoon johti suhteellisesti yhtä suureen jyvien seleenipitoisuuden laskuun kuin vuonna 2017. Tämä viittaisi siihen, että pienillä rikkilannoitustasoilla seleenipitoisuus riippuu lähinnä seleeniannoksesta, joka myös vuonna 2018 oli neljänneksen pienempi käytettäessä ammoniumsulfaattia kasvustossa.

Johtopäätökset

Pääsääntöisesti nestemäiset kierrätyslannoitteet tuottivat jonkin verran pienemmän sadon kuin ammoniumnitraattia sisältänyt vertailulannoite. Kaikille nestemäisille kierrätyslannoitteille oli löydettävissä oikea käyttötapa kevätvehnän lannoituksessa, jolla päästiin lähelle vertailulannoitteen satoa, jossain tapauksissa jopa sen yli. Kiteiden ammoniumsulfaatti ainoana typpilähteenä toimi lähes yhtä hyvin kuin ammoniumnitraattilannoite, mutta kuivuus heikensi sillä saatua satoa. Nestemäinen ammoniumsulfaatti on syytä levittää ennen kylvöä, koska kasvustoon levitettynä se alensi satoa ennen kaikkea polttovioituksen takia. Polttovioituksen todennäköinen syy on alhainen pH, joka syntyy helposti liian suuresta rikkihappoannoksesta. Konsentroidu perunan soluneste ei toimi kovin hyvin ainoana typen lähteenä, mutta toimii selvästi paremmin, kun sen osuus on alle puolet typpiannoksesta. Konsentraatti ja jopa ammoniakki-liuos tuottivat hyvin satoa jopa letkulevitystekniikalla levitettynä. Ne toimivat paremmin ennen kylvöä levitettynä ja mullattuna kuin vasta kasvustoon levitettynä. Ammoniumsulfaattiliuoksen käytön mielekkyyttä rajoittaa se, että liiallisen rikkiannoksen välttämiseksi sen typpiannokset jäävät pieniksi. Noin 20 € ha^{-1} arvoisesta lannoituksesta on vaikea löytää säästöjä, vaikka lannoitteen saisi ilmaiseksi, koska työkustannukset lisääntyvät ja koneet ruostuvat eikä siitä ole mitään erityishyötyjä, jos ei tarvita hyvin suuria rikkiannoksia. Kasvustoon levitettynä siitä syntyy helposti polttovioitusta, joka voi johtaa satotappioihin. Kiteinen ammoniumsulfaatti toimii sadonmuodostuksessa lähes yhtä hyvin kuin ammoniumnitraatti. Solunesteellä on paikkansa erikoistuotannossa, jossa tarvitaan runsaasti kaliumia, mutta viljakasvien, kuten vehnän, lannoituksessa sille on vaikea löytää tarkoituksen mukaista käyttöä.

Nestemäisten kierrätyslannoitteiden määrä markkinoilla ei ole kovin merkittävä. Käytännössä yhden biolaitoksen tuotanto riittäisi vain sen sijaintikunnan peltojen lannoitukseen, ja biolaitoksia on aika harvassa. Vielä harvemmalla on sellaisia typenpoistovaatimuksia, että niiden olisi pakko ryhtyä tuottamaan ammoniumsulfaattia tai ammoniakkiliuosta. Typenpoistovaatimusten oleellinen lisääminen on ainoa keino tuoda näitä kierrätysravinteita markkinoille sellaisia määriä, että niiden hinta muodostuisi maataloutta kiinnostavaksi. Poikkeuksen tästä muodostaa luomukelpoiset tuotteet, kuten konsentroitui perunan soluneste. 10%:n satotappio satotasolla 4000 kg ha⁻¹ merkitsee vehnän hinnan ollessa 150 € t⁻¹, 60 € ha⁻¹ menetystä. Kun 120 kg ha⁻¹ lannoitetyypeä maksaa noin 120 € ha⁻¹, varsin pienet sato-tappiot johtavat siihen, että kierrätyslannoitteiden on oltava merkittävästi halvempia, jotta niiden käyttö olisi taloudellisesti kannattavaa.

Teolliset käyttömuodot, joissa näitä ravinnetuotteita otetaan vastaan tasaisesti yhdistelmäkuormina, ovat biolaitosten kannalta edullisimpia kohteita, vaikka ne eivät tuotteista maksaisikaan viljelijöitä enemmän. Käytännössä viljelijän pitäisi saada näitä lannoitevalmisteita selvästi edullisemmin kuin tavallisia rakeisia lannoita, joiden käsittelyyn heillä on valmiit logistiikkaketju ja levityslaitteet sekä osaaminen. Teolliset käyttömuodot ovatkin nielleet pääosan näistä lannoiteväkevyysisistä ravinnetuotteista, eikä niitä ole oleellisia määriä riittänyt maatalouteen. Lannoitevalmistelainsäädännön vaatimukset maataloudessa käytettävälle tuotteille ovat haasteellisia. Tässä mielessä tilanne ei kehittynyt tämän tutkimuksen aikana siihen suuntaan, että tarjonta maatalouteen olisi lisääntynyt, pikemminkin päinvastoin. Kun maatalous markkina-alueena on tuntunut hankalana, vaikka se aluksi miellettiin lähes ainoaksi ravinnetuotteiden käyttäjäksi, kekseliäisyys on löytänyt näille tuotteille uusia käyttötapoja ja niiden luoma kysyntä on ollut viime aikoina riittävä, jotta niiden sisältämien ravinteiden hintataso ei ole laskenut maatalouden kannalta kiinnostavalle. Voidaankin kysyä, miksi nämä ravinnetuotteet pitäisi pyrkiä siirtämään teollisista käyttömuodoista maatalouteen, kun ne tuntuvat sinne paremmin sopivan. Kun maatalouden ravinnekiertoihin on joka tapauksessa tuotava lisätyypeä jostain niin, miksi ei sitten tavanomaisina lannoitteina, joiden tyyppi sitten aikanaan päättyy näihin ravinnetuotteisiin ja sitä kautta kierrätetään teollisiin käyttömuotoihin. Nähdäkseni tämä olisi parempi järjestely kuin se, että teollisiin käyttömuotoihin käytetään neitseellisiä ravinnetuotteita ja sitten yritetään väkisin saada kierrätysravinteita ujutettua maatalouden ravinnekiertoihin. Toinen näkökulma asiaan on se, että saattaisi olla järkevämpää liittää nämä ravinnevirrat tavallisten rakeisten lannoitteiden ravinnevirtaan niin, että se ei vaatisi muutoksia siihen infrastruktuuriin, joka on rakennettu rakeisia lannoitteita varten. Tämä ei tapahdu ilman sekoitusvelvollisuutta.

Lisäksi kierrätyslannoitteiden pysyminen spesifikaatioissaan, on haaste biolaitoksille ja viljelijöille. Biolaitokset ei välttämättä saa tuotettua lannoitteita, joiden pitoisuudet pysyisivät samoissa rajoissa kuin rakeisissa mineraalilannoitteissa ja mitä lannoitevalmistelainsäädäntö vaatii. Viljelijän kannalta on ensiarvoisen tärkeää tietää lannoitteen ravinne-, erityisesti typpisisältö tarkasti. Viljelijä ei ole taloudellisesti mahdollista analysoida jokaista kontillista tai edes suurempaakaan erää saadakseen tarpeeksi tarkan tiedon typpipitoisuudesta viljelyn kannalta. Tämä ongelma tuli myös kenttäkokeiden yhteydessä, jossa analysointikustannus ei ollut keskeisin ongelma, vaan koeasetelman kannalta tarkoituksemukainen typpitaso.

Kirjallisuus

Ervasti, S., Kapuinen, P. & Winqvist, E. 2015. Typpilannoitteiden valmistus lantaperäisistä materiaaleista, TÄS-MÄTYPPI. Loppuraportti. 18 s. Viitattu 9.2. 2020.

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjKIIFJ0MLnAhVL-plsKHVpkA7QQFjABegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ym.fi%2Fdownload%2Fno-name%2F%257BD1A4BD35-3019-4E88-A81C-F88AED9A1C3B%257D%2F117618&usq=AOv-Vaw1rxbv9pv-fK1u7LhFFgp-1>

Kapuinen, P. & Ikkäläinen, T. 2016 Biolaitoksen sivutuotteena syntyvä nestemäinen ammoniumnitraatti, ammoniumsulfaatti ja urea kevätvehnän lannoitteena. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote 33. <https://doi.org/10.33354/smst.75139>

MMM 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 24: 1–6 + 4 liitettä. Annettu Helsingissä 1. syyskuuta 20114

- Pyörälä, S & Tiihonen, T. 2005. Vitamiinien ja hivenaineiden puutostilat ja liikasaanti. Nautojen sairaudet. 11. s. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=2ahUKEwiA1OnZhsTnAhXN-ioKHe7DCrAQFjAGegQICRAB&url=https%3A%2F%2Fhelda.helsinki.fi%2Fbitstream%2Fhandle%2F1975%2F544%2F07_vitamiinien_ja_hivenaineiden_puutostilat_ja_liikasaanti.pdf%3Fsequence%3D13&usg=AOvVaw2aq2kggd-Y7-Xmg3vzwro0. Viitattu 9.2.2020
- Salmela, J. 2018. Biokaasulaitoksilla syntyvät kierrätyslannoitteet tulevaisuudessa. Nesteravinne-seminaari 27.3.2018. Ammattiopisto Livia, Tuorla, Kaarina. Viitattu 9.2.2020. https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/09/Tuorla-Nesteravinne_2018.pdf
- Seppälä, A., Albarran, Y.M., Miettinen, H., Sigüero, M.P., Juutinen, E. & Rinne, M. 2014. Selenium supplementation by addition of sodium selenate with silage additive. *Agricultural and Food Science* 23: 81–88. <https://doi.org/10.23986/afsci.41179>
- Tontti, T., Kapuinen, P., Orajärvi, J., Joki-Tokola, E., Laurila, M., Ikäläinen, T., Kekkonen, J. & Veijalainen, A.-M. 2015. Orgaanisten lannoitevalmisteiden varastointi, levittäminen ja annostelu. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 46: 1–79. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-092-4>
- Työterveyslaitos 2017. OVA-ohje: Ammoniakki. Viitattu 8.2.2020 <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjSkv2SyMLnAhXHmIsKHYtCAgoQFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ttl.fi%2Fova%2Fammoni.pdf&usg=AOvVaw0RnVWxVmpJ-HDVPadlsTrs>
- Virtanen, E. & Kinnunen, O. 2019. Ammoniumsulfaatin markkinaselvitys. *Soilfood Oy*. 6 s.
- Yara 2009. Rikkilannoitus. Yara. Viitattu 8.2.2020. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwi2xsjLy8LnAhVi-mIsKHTqkCrQQFjAAegQIARAB&url=https%3A%2F%2Fwww.farmit.net%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fother%2Fnews%2FRikkilannoitus.pdf&usg=AOvVaw3svcQaUzSFZeQVuiYtSLxA>