



Kalkkistabiloitu puhdistamoliete nurmen ja ohran lannoitteena

Sanna Kykkänen, Perttu Virkajärvi, Kirsi Pakarinen

MTT
Halolantie 31A
71750 Maaninka

31-1-2014

MTT Tutkimusraportti

KALKKISTABILOITU PUHDISTAMOLIETE OHRAN JA NURMEN LANNOITTEENA

Toimittanut: Sanna Kykkänen

Kannen kuvat: Mari Rätty, Sanna Kykkänen ja Elina Juutinen

MTT
Halolantie 31 A
71750 Maaninka

ISBN

Kalkkistabiloidun puhdistamolietteen käyttö ohran ja nurmen lannoitteena

Tiivistelmä

Yhdyskuntajätteiden mukana ravinnekierrosta poistuu vuosittain merkittävä määrä käyttökelpoisia ravinteita. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Iisalmen vesilaitoksen kalkkistabiloidun puhdistamolietteen (jäljempänä KSP-liete tai lyhenne KSPL) käyttökelpoisuutta lannoitteena. Kokeessa selvitettiin KSP-lietteen vaikutuksia maaperään sekä sadon määrään ja laatuun. Erityisesti tarkasteltiin lietteestä mahdollisesti aiheutuvaa raskasmetallikuormitusta. Myös KSP -lietteen vaikutuksien mahdollista kumuloitumista maassa tarkasteltiin.

Tutkimus toteutettiin osaruutukokeena vuosina 2008 -2010. Koekasveina käytettiin ohraa ja säilörehunurmea ja maalajina oli runsasmultainen hietamaa. KSP-lietteen lannoitusvaikutus selvitettiin neljän eri lannoituskäsitteilyn avulla: kontrolli (ei lannoitusta), KSPL-lannoitus (KSPL + tarvittava täydennyslannoitus), NPK (KSPL -käsitteilyä vastaava mineraalilannoitus) ja NPK + poltettukalkki (KSPL -käsitteilyä vastaava mineraalilannoitus ja KSP-lietteen kalkitusvaikutusta vastaava kalkitus). KSP-liete levitettiin ohralle vuosittain ja nurmelle kertalannoituksena perustamisvuonna.

Kokeen suunnitteluvaiheessa havaittiin, että ohralla KSP-lietteen kokonaisfosforipitoisuus oli suurin levitysmäärää rajoittava tekijä, kun säilörehunurmella nitraattidirektiivi rajoitti lietteen käyttöä. Levitysmäärät olivat kummallakin viljelykasvilla järkevällä tasolla. KSP-liete toimi ensisijaisesti fosforilannoitteena täyttäen ohran fosforintarpeen kokonaan ja säilörehunurmellakin 65 % fosforitarpeesta. Ohralla KSP-liete toimi myös typpi- ja kaliumlannoitteena kun taas nurmiviljelyssä KSP-lietteen rooli typen ja kaliumin osalta jäi vähäiseksi. Liete nosti merkittävästi maan fosfori-, rikki- ja kalsiumtilaa. Lisäksi sillä oli merkitsevä kalkitusvaikutus. KSP-lietteellä ei ollut vaikutusta maan raskasmetallipitoisuuteen.

Tulosten perusteella huomattiin, että lietteen sisältämä nikkeli ja elohopea voivat rajoittaa lietteen toistuvaa käyttöä. Toistuvassa käytössä myös kokonaisfosforin vuositase muodostuu epätoivottavan korkeaksi ja siksi KSP-lietettä ei tulisi käyttää korkean fosforitilan mailla. Liukoisen fosforin analyysitulokset selkeästi todellisuudessa kasveille käyttökelpoisen fosforin määrän. KSP-lietteen kokonaisfosforista käyttökelpoiseksi lasketaan tällä hetkellä 40 %, mikä ei tulosten valossa ole ainakaan yliarvioitua.

Sisällysluettelo

1. TAUSTAA	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	11
3.1 Sääolosuhteen 2008 -2010.....	11
3.2 Kokemukset kalkkistabiloidun puhdistamolietteen viljelykäytöstä	13
3.3 Maan viljavuus	15
3.4 Raskasmetallit.....	18
3.5 Vaikutukset sadon määrään ja lannoitusvaikutus	22
3.6 Vaikutukset sadon laatuun.....	24
3.7 Ravinnetaseet.....	25
3.8 Kalkkistabiloidun puhdistamojätelietteen tuotteistettavuus	29
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	29

LÄHTEET

KALKKISTABILOITU PUHDISTAMOLIETE OHRAN JA NURMEN LANNOITTEENA

1. TAUSTAA

Kasvava väestö, ruokatottumusten muutokset kehittyvissä maissa ja ilmaston muutos muuttavat ruokajärjestelmän tarpeita ja toimintaa. Ruoantuotannossa liikkuvien ravinteiden mahdollisimman täydellinen kierrättäminen on yksi muuttuvan järjestelmän tavoitteita. Yhdyskuntajätteiden mukana ravinnekierrosta poistuu vuosittain merkittävä määrä käyttökelpoisia ravinteita. Näiden ravinteiden saaminen hyötykäyttöä rajoittaa niiden mahdollisesti sisältämät epäpuhtaudet, kuten raskasmetallit. Jätevedenpuhdistamoissa lopputuotteena syntyvä puhdistamoliete sisältää runsaasti orgaanista ainetta ja tärkeitä kasviravinteita, joiden ottaminen viljelykäyttöön olisi ravinteiden kierrättämisen kannalta järkevää. Tärkeimpänä ravinteena pidetään yleisesti fosforia, mutta siitä huolimatta jätevesilietteiden sisältämän fosforin lannoitevasteista on vain vähän tutkimustietoa (Ylivainio & Kapuinen 2013). Varsinaisesti ravinnepitoisuudet jätevesilieteteissä eivät yleensä ole korkeita, mikä koskee erityisesti liukoista tyyppiä. Tätä voidaan korvata vain osin suurilla käyttömäärillä (Lehtonen ym. 2003).

Lainsäädäntö asettaa reunaehdot puhdistamolietteen käytölle. Käsittelemättömän puhdistamolietteen levittäminen peltoon on lain mukaan kielletty (VNP 282/1994). Haju-, terveys- ja ympäristöhaittojen minimoimiseksi pellolle levitettävä puhdistamojäteliete tulee esimerkiksi kompostoida, mädättää tai kalkkistabiloida. Kalkkistabiloinnilla tarkoitetaan poltetun (CaO) tai sammutetun (Ca(OH)₂) kalkin sekoittamista puhdistamolietteen kanssa sen hygienisoimiseksi. Hygienisointi perustuu kahteen prosessiin: pH:n nostoon ja lämpötilan nousuun. Jos stabilointi tehdään sammutetulla kalkilla, hygienisointi perustuu ainoastaan pH:n nostoon (Mikola ym. 2007). Kalkki sitoo lietteestä nesteen. Kalkkistabiloitua lietettä saa käyttää viljalle, sokerijuurikkaalle ja öljykasveille. Käyttö on sallittua myös kasveille, joita ei käytetä ihmisravinnoksi tai eläimen rehuksi. Nurmelle käyttö on sallittua perustamisvuotena, kun nurmi perustetaan puitavan suojaviljan kanssa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää Iisalmen vesilaitoksen kalkkistabiloidun puhdistamolietteen (jäljempänä KSP-liete tai lyhenne KSPL) käyttökelpoisuutta lannoitteena. Kokeessa selvitettiin KSP-lietteen vaikutuksia maaperään sekä sadon määrään ja laatuun. Keskeisenä tutkimuskysymyksenä oli myös KSP -lietteen sisältämien raskasmetallien vaikutus maan raskasmetallipitoisuuksiin ja niiden mahdolliseen siirtymiseen kasviin. Koekasveiksi valittiin yleisyytensä vuoksi ohra ja säilörehunurmi. Ne edustavat yksi- ja monivuotista viljelyä sekä erilaisia sadonkäyttömuotoja (jyvät vs. koko kasvusto) ja siten tulokset ovat laajalti sovellettavia. Mahdollista KSP -lietteen vaikutuksien kumuloitumista maassa voitiin tarkastella sekä kertalannoituksen (nurmet) että vuotislannoituksen (ohra) osalta.

Kalkkistabiloidun lietteen tutkimushankkeessa ovat olleet yhteistyötahoina Iisalmen vesilaitos, Insinööritoimisto Kiuru & Rautiainen Oy, Savonia ammattikorkeakoulu, Nordkalk Oyj Abp, Netfoodlab Oy, Vesi- ja viemärilaitosyhdistys sekä Reijlers Oy. Lannoitustutkimusosasta vastasi MTT Kotieläintuotannon tutkimus, Maaninka. Yhteistyötahojen lisäksi hanketta rahoitti Olvi-säätiö.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Kenttäkoe (Nro 938) suoritettiin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen MTT Maaningan toimipisteessä vuosien 2008 -2010 aikana.

Koejäsenet

Kokeessa selvitettiin kalkkistabiloidun puhdistamolietteen käyttökelpoisuutta lannoitteena. Taulukkoon 1 on koottu Tutkimuksen koekäsittelyt ja niiden tarkoitus. Kokeessa oli 4 kerrannetta, joissa jokaisessa esiintyi yksi kutakin koejäsentä. Sekä ohraa että nurmea oli siten 16 koeruutua jokaisena kolmena koevuonna. KSP-lietteen verranteena käytettiin lannoittamattomia nollaruutuja sekä normaalikäytäntöjen mukaista NPK -mineraalilannoitusta. Lisäksi selvitettiin puhdistamolietteen kalkitusvaikutus vertaamalla tuloksia poltetulla kalkilla kalkittuun ja NPK -mineraalilannoitteella lannoitettuun ruutuun (taulukko 1).

Taulukko 1. Koejäsenet ja niiden tutkimustarkoitus.

Koekasvi	Koekäsittely	Tarkoitus
Ohra	ei lannoitusta	0-ruutu, kontrolli
	KSPL maksimi levitysmäärä	KSPL:n lannoitus- ja kalkitusvaikutuksen selvittäminen
	NPK-lannoitus	Ohran normaali viljelykäytäntö
	NPK-lannoitus + kalkitus	Normaali viljelykäytäntö + KSPL:n sisältämän kalkkitason vaikutuksen selvittäminen
Säilörehunurmi, kokoviljasäilörehu (2008, 1 niitto), nurmisäilörehu (2009 -2010; 2 niittoa/v)	ei lannoitusta	0-ruutu, kontrolli
	KSPL maksimi levitysmäärä	KSPL:n lannoitus- ja kalkitusvaikutuksen selvittäminen
	NPK-lannoitus	Nurmen normaali viljelykäytäntö
	NPK-lannoitus + kalkitus	Normaali viljelykäytäntö + KSPL:n sisältämän kalkkitason vaikutuksen selvittäminen

Koelohkot ja viljavuus

Koelohkoksi valittiin runsasmultainen hietamaa (rm Ht). Viljavuus tiedot on koottu taulukkoon 2. Tutkimuksessa oltiin erityisen kiinnostuneita puhdistamolietteen sisältämän fosforin käyttökelpoisuudesta kasveille. Siksi koepaikaksi valittiin sellainen lohko, jonka viljavuusfosforipitoisuus oli selvästi alle 10 mg/l, minkä on todettu olevan karkeilla kivennäismailla se raja, jonka alapuolella satovaste on todennäköisesti havaittavissa (Valkama ym. 2009).

Taulukko 2. Koelohkon viljavuustiedot vuodelta 2008. Suluissa viljavuusluokka. (MTT:n kasvin-tuotannon tutkimuksen laboratorio).

2008 (MTT)

Maalaji	rm Ht
pH	6.1 (hyvä)
johtoluku, 10 ⁻⁴ S/cm	0.8
Ca, mg/l	2195 (hyvä)
P, mg/l	4.3 (välttävä)
K, mg/l	179 (tydyttävä)
Mg, mg/l	230 (hyvä)
S mg/l	12.2 (tydyttävä)
C % (ilmakuiva)	7.9
N % (ilmakuiva)	0.46
C/N	17.2

Lannoitus

Kokeessa käytettiin koko kokeen ajan samaa liete-erää, joka toimitettiin Iisalmen vesilaitokselta keväällä 2008. Vuosien välillä liete-erä oli suojattu muovipressulla. Lietteestä otettiin levityksen yhteydessä edustava näyte joka kevät. Nurmi sai KSP-lietettä vain perustamisvuonna ja ohra joka vuosi. Lannoituksen suunnittelu ja täydentäminen perustuivat koalueen ja KSP-lietteen ennakkonäytteisiin. Lannoitus toteutettiin ympäristötukiehtojen ja nitraattidirektiivin mukaisesti (taulukko 3) lukuun ottamatta 0-lannoituskäsittelyä- Liukoisen fosforin määrä laskettiin käyttämällä lieteanalyysin kokonaisfosforitulosta ja kertomalla kertoimella 0,4 (MMM 2013) eikä analyysituloksen vesiliukoista fosforipitoisuutta. Koska oli ilmiselvää, ettei KSP-lietteen liukoinen typpi eikä kalium tulisi riittämään kasvien käyttöön, täydennettiin suositukseen verrattuna puuttuva liukoinen typpi NK-lannoitteilla (Yara-Suomi oy). Väkilannoitekoejäsenten lannoitus muodostettiin Nurmen Y2 lannoitteella, jota täydennettiin KSP-lietteen liukoisten ravinteiden tasolle suomen salpietarilla, superfosfaatilla ja kalisuolalla (Yara Suomi oy). Lisäksi käsittelylle 4 (NPK-lannoitus + kalkitus) annettiin poltettua kalkkia (Kalsiumoksidi, Nordkalk QL) määrä, joka vastasi KSP-lietteen kalkkimäärää. Perustamisvuoden 2008 ja vuosien 2009 -2010 lannoitukset ovat taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 3. Viljavuusanalyysin mukainen ohran ja nurmen lannoitustarve (kg/ha/vuosi). Säilörehun osalta perustamisvuosi (kokovilja + nurmen siemen) ja nurmivuodet erikseen.

	N-tarve		K-tarve (tyydyttävä)		P-tarve (välttävä)	
	Perustamisvuosi	Nurmi- vuodet	Perustamisvuosi	Nurmi- vuodet	Perustamis- vuosi	Nurmi- vuodet
Ohra	80*		30		22	22
Säilörehu	80	200	50	110	36	24

*perustamisvuonna 70 kg/ha myöhäisen kylvön vuoksi

Taulukko 4. Nurmen lannoitus (kg/ha) ensimmäiselle ja toiselle sadolle vuosina 2008 – 2010. N_{liuk}= vesiliukoinen typpi, P liuk = vesiliukoinen fosfori. Vuosi 2008 kokovilja + nurmensiemen j asiksi vain yksi lannoitus.

		Ensimmäinen niitto					Toinen niitto			
		1	2	3	4	1	2	3	4	
Koejäsen	Lannoitus	Ei lannoi- tusta	KSPL täyden- nys	Väkilan- noitus	Väki- lan- noitus	+ kalk- ki	Ei lannoi- tusta	KSPL+ täy- dennys	Väkilan- noitus	Väkilan- noitus + kalkki
2008	Levitysmäärä	0	35 000			3530				
	N _{tot}	0								
	N _{liuk}	0	41	40	80	80				
	P _{tot}	0	136	0	36	36				
	P _{liuk}	0	55	0	36	36				
	K	0	25	30	50	50				
2009	Levitysmäärä	0								
	N _{tot}	0	100		100	100	0	100	100	100
	N _{liuk}	0	100		100	100	0	100	100	100
	P _{tot}	0	17		24	24	0	0	0	0
	P _{liuk}	0	17		24	24	0	0	0	0
	K	0	35		35	35	0	75	75	75
2010	Levitysmäärä	0								
	N _{tot}	0	100		100	100	0	100	100	100
	N _{liuk}	0	100		100	100	0	100	100	100
	P _{tot}	0	17		24	24	0	0	0	0
	P _{liuk}	0	17		24	24	0	0	0	0
	K	0	35		35	35	0	75	75	75

*P liuk = 0,40 × kokonais-P (MMM 2013).

**KSPL –lannoitus vain perustamisvuotena, vuosina 2009 ja 2010 väkilannoitus.

Taulukko 5. Ohran lannoitus (kg/ha) vuosina 2008 -2010. N_{liuk} = vesiliukoinen typpi, P_{liuk} = vesiliukoinen fosfori.

		Koejäsen					
		1	2		3	4	
Vuosi		ei lannoitusta kg/ha	KPSL	+ täydennys	Väkilannoite	Väkilannoite	+ kalkki
2008	Levitysmäärä	0	14000	205	350	350	1400
	N_{tot}	0	67	50	70	70	0
	N_{liuk}	0	16	50	70	70	0
	P_{tot}	0	55	0	21	21	0
	P_{liuk}	0	23	0	21	21	0
	K	0	12	38	21	21	0
2009	Levitysmäärä	0	12000	225	400	400	1200
	N_{tot}	0	73	45	80	80	0
	N_{liuk}	0	35	45	80	80	0
	P_{tot}	0	56	0	24	24	0
	P_{liuk}	0	23	0	24	24	0
	K	0	12	16	24	24	0
2010	Levitysmäärä	0	12000	225	400	400	1200
	N_{tot}	0	69	45	80	80	0
	N_{liuk}	0	35	45	80	80	0
	P_{tot}	0	56	0	24	24	0
	P_{liuk}	0	23	0	24	24	0
	K	0	12	16	24	24	0

* $P_{liuk} = 0,40 \times \text{kokonais-P}$ (MMM 2013)

Kokeen perustaminen ja hoito

Koe perustettiin kesällä 2008. Koeasetelma oli lohkoittain satunnaistettu koe neljänä kerranteena. Koekasveina oli ohra (lajike Voitto, kylvötiheys 500 kpl/m²) ja timotei-nurminata seos (lajikkeet: timotei Tuure 70 paino-% + nurminata Inkeri 30 paino-%, yht. 20 kg/ha → 2 g/m²). Nurmi perustettiin suojaviljaan (ohra, lajike: Voitto n. 350 kpl/m²). Koska ohra ja nurmi poikkeavat lannoituksen, muokkauksen, hoidon ja sadonkorjuun osalta, perustettiin ohra- ja nurmiruudut erikseen. Satoruutujen koko oli 12 m².

Rikkakasvit torjuttiin vuosittain ohrasta ja kesällä 2008 nurmen suojaviljasta. Puitavalle ohralle käytettiin korrensäädettä ja suoritettiin tautiruiskutus tarvittaessa. Nurmelle rikkatorjunta tehtiin tarvittaessa, eli vain viimeisenä kasvuvuotena.

Havainnot ja näytteet

Maanäytteitä otettiin ennen kokeen perustamista 2008 keväällä (32 näytettä/koealue, syvyys 0 - 25 cm) ja syksyllä 2008 sekä kokeen päätyttyä 2010 ennen maan kyntämistä kultakin koeruudulta. Nurmen perustamisvuonna otettiin keväänäytteiden lisäksi syysnäytteet.

Nurmiruuduille tehtiin niiton yhteydessä silmämääräinen botaaninen analyysi ja otettiin kasvusto-näyte kuiva-aineanalyysiä varten. Ruuduilta määritettiin myös syys- ja kevättiheydet talvehtimisen onnistumisen arvioimiseksi. Perustamisvuonna nurmen suojavilja korjattiin maitotuleentumisasteella kokoviljaksi ja satovuosina nurmi niitettiin kahdesti vuodessa tyypillisellä säilörehuasteella ja määritettiin kuiva-ainesato ja sadosta otettiin edustava satonäyte analyysijä varten.

Ohran kasvua seurattiin ja tähkälletulopäivä merkittiin ylös. Lisäksi suoritettiin lehtivihreämittaus (SPAD, Minolta) tähkälletulovaiheessa, niin että kustakin ruudusta mitattiin kymmenen täysikasvuista ylintä lehteä. Kasvuston pituus mitattiin ja suoritettiin lakohavainnot. Satotason lisäksi jyville laskettiin tuhannen jyvän paino ja hehtolitrapaino.

Analyytit

Lietenäytteistä analysoitiin Kokonais-N, Liukoinen N, Kokonais-P, liukoinen P, kuiva-aine, ja pH Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy:ssä.

Maanäytteistä analysoitiin hiili (C; Leco), ja typpi (N; Leco), sekä helppoliukoiset P, K Ca, Mg, Cu, Zn, Na, S ja Cl HAAC-utolla (viljavuusanalyysi; Vuorinen ja Mäkitie 1955) sekä pH. Raskasmetallit As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ja Zn analysoitiin kuningasvesiuutolla MTT:n laboratoriossa Jokioisilla.

Kasvustosta analysoitiin kuiva-aineprosentti. Ohran jyvistä tutkittiin N, P, K, S, Ca, Mg, Na, Fe, (ICP) sekä Cu, Zn ja Mn -pitoisuus MTT:n palvelulaboratoriossa (ICP-MS). MTT:n näytteen säilytystilassa tapahtuneen vesivahingon vuoksi nurminäytteistä ei voitu analysoida laadullisia ominaisuuksia.

Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen vertailu tehtiin SAS 9.3 -tilasto-ohjelman MIXED-proseduurilla. kasvilajit, vuodet ja niitot analysoitiin erikseen. Alku- ja loppumaanäytteet analysoitiin myös erikseen ja lisäksi testattiin maaperämuuttujien muutos nurmella ensimmäisen vuoden aikana (2008 syksy – 2008 kevät) ja ohralla kaikkien kolmen koevuoden aikana (2010 syksy - 2008 kevät). Analyysissä kiinteänä tekijänä oli lannoituskäsittely ja satunnaismuuttujana kerranne. Parivertailut lannoitekäsittelyiden välillä tehtiin Tukeyn testillä.

3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1 Sääolosuhteen 2008 -2010

Kasvukauden sää olosuhteet vaikuttavat huomattavasti sadon määrää ja laatuun. Kasvukausi oli vuonna 2008 kylmä ja sateinen, vuonna 2009 lämmin ja kuiva ja vuonna 2010 erittäin lämmin ja kuiva (Kuva 1 ja 2). Kuvaan 3 on koottu lämpösumman kertyminen touko-syyskuussa vuosina 2008, 2009 ja 2010

Vuosi 2008

Vuonna 2008 terminen kasvukausi alkoi 27.4. vähälumisen talven jälkeen. Toukokuun sademäärä oli vain 13,5 mm. Toukokuun keskilämpötila oli keskiarvon tuntumassa. Kesäkuun alku oli lämmin, mikä edesauttoi viljojen kasvua ja pensomista. Kesäkuussa keskilämpötila painui reilun asteen alle keskiarvon. Kesäkuu oli sateinen (87,8 mm).

Heinäkuu oli keskimääräistä kylmempi. Myös sadesumma oli lähes tuplat normaalista (74 mm). Elokuu jatkui koleana. Sademäärä ylitti jälleen reilusti pitkänajan keskiarvon. Runsaat sateet aiheuttivat kasvustoihin lakoa. Syyskuu oli sen sijaan vähäsateinen.

Lokakuu oli sateinen (97mm) ja normaalia lämpimämpi. Keskilämpötila oli 2,5 astetta normaalin yläpuolella. Kasvukausi päättyi 27.10. Toukokuusta syyskuun alkuun lämpösummaa kertyi vain 1012,6, mikä on huomattavasti alle keskiarvon. Kasvukauden sadot jäivät suhteellisen pieniksi.

Vuosi 2009

Terminen kasvukausi alkoi 24.4. Sademäärältään toukokuu oli kolmanneksen normaalia kuivempi ja keskilämpötila 2,1 astetta normaalia korkeampi. Kylvöt onnistuivat hyvin. Kesäkuussa oli useita hallaöitä. Alin mitattu lämpötila oli - 2,9 °C maan pinnassa (8.6.). Pahoilta hallavioituksilta kuitenkin vältyttiin. Keskilämpötilaltaan kesäkuu oli asteen normaalia viileämpi ja sadetta saatiin hieman yli puolet normaalista.

Heinäkuu jatkui lämpimänä. Keskilämpötila oli heinäkuussa normaali muutamasta hellepäivästä huolimatta. Heinäkuun sädemäärä oli noin kolmanneksen normaalia vähäisempi. Yli 5 mm sateita tuli heinäkuussa vain neljänä päivänä ja ne kattoivat 90 % koko kuukauden sademäärästä.

Elokuu jatkui vähäsateisena lukuun ottamatta viimeistä viikkoa. Sateiden suhteen pitkänajan keskiarvosta jäätiin viidennes. Elokuun keskilämpötila oli reilun asteen keskiarvon yläpuolella.

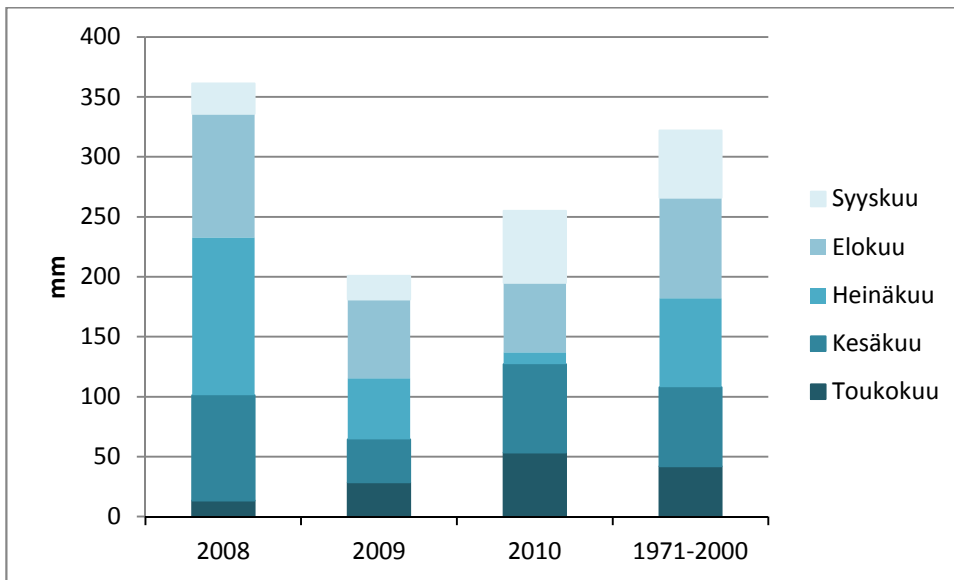
Syyskuussa keskilämpötila oli 2,6 astetta normaalia korkeampi ja sateet jäivät kolmannekseen normaalista. Puinti onnistui siten hyvin. Kasvukausi päättyi 28.9., lämpösummaksi kertyi 1307,9 astetta. Kokonaisuutena kasvukausi oli lämmin ja kuiva, mutta sadot olivat sekä määrällisesti että laadullisesti hyvät.

Vuosi 2010

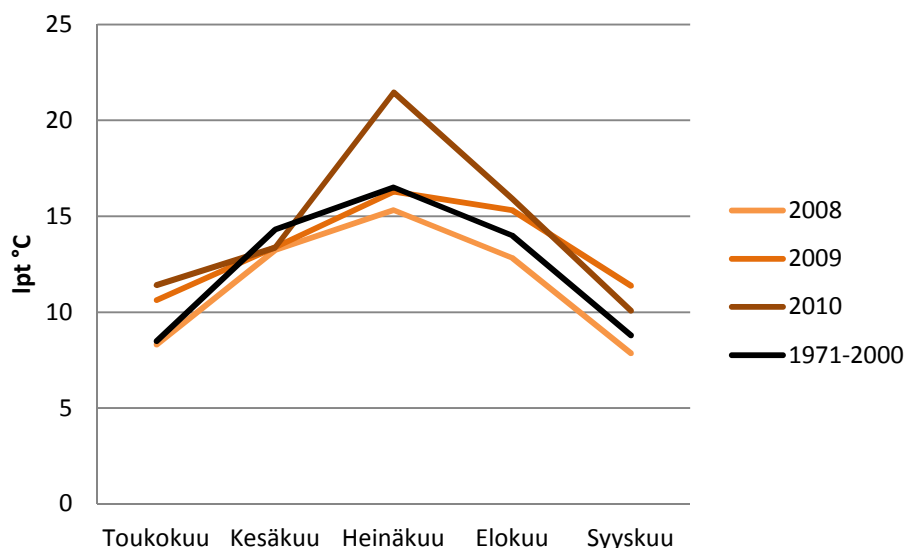
Kasvukausi alkoi 9.5. kylmän ja runsaslumisen talven jälkeen. Routa suli pelloilta vasta toukokuun puolenvälin tienoilla. Runsaan lumipeitteen alla nurmet kuitenkin talvehtivat hyvin. Toukokuu oli lähes kolme astetta normaalia lämpimämpi. Sateita saatiin sekä kuun alku että loppupuolella hieman keskiarvoa enemmän.

Kesäkuu oli keskiarvolla mitattuna tavanomainen. Heinäkuu oli hieman normaalia lämpimämpi. Sadetta saatiin vain murto-osa (9,9 mm) tavanomaisesta (74 mm).

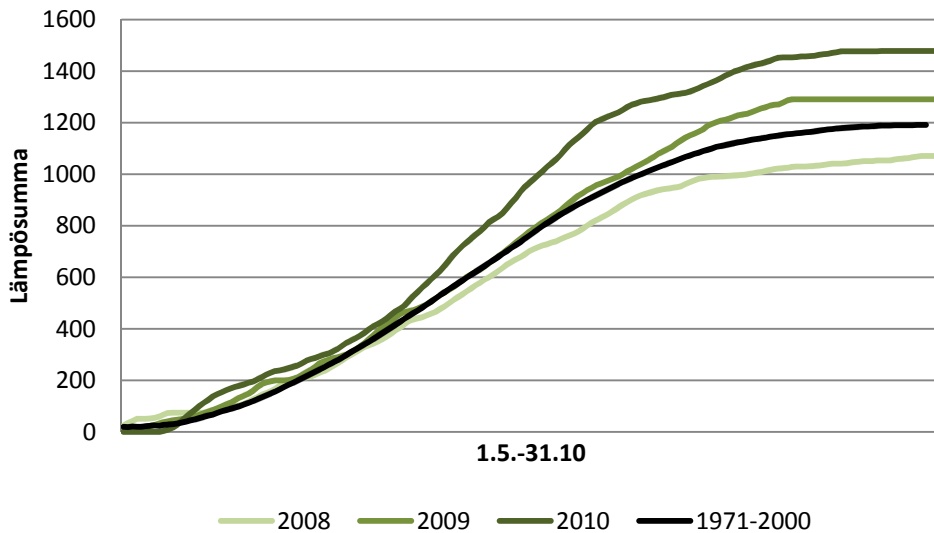
Kuivuus ja lämmin sää heikensi osaltaan toisen sadon säilörehumääriä. Viljat kärsivät kuivuudesta, mikä näkyi alhaisempana satotasona, pienijyväsyytenä ja pakkotuleentumisena. Elokuu jatkui lämpimänä ja vähäsateisena. Syyskuu oli viileä ja sateet tulivat tasaisesti pitkin kuukautta. Kasvukausi päättyi lämpimänä ja vähäsateisena 10.10. Syyskuun loppuun lämpösummaa oli kertynyt 1456,6, mikä on huomattavasti enemmän kuin pitkänajan keskiarvo (1171).



Kuva 1. Tutkimuskauden 2008 -2010 ja vertailujakson 1971 -2000 sademäärät (mm) kuukausittain (touko-syyskuu) Maaningalla.



Kuva 2. Tutkimuskauden 2008 -2010 ja vertailujakson 1971 -2000 touko-syyskuun keskilämpötilat Maaningalla.



Kuva 3. Vuosien 2008, 2009 ja 2010 sekä vertailujakson 1971 -2000 lämpösusummakertymä 1.5. – 31.10 Maaningalla.

3.2 Kokemukset kalkkistabiloidun puhdistamolietteen viljelykäytöstä

Kalkkistabiloidun puhdistamolietteen ominaisuudet on kirjattu taulukkoon 6. Lukuun ottamatta liukoisen typen ja kuiva-aineen pitoisuutta kalkkistabiloitu KSP-lietteen arviot olivat melko stabiileja koko kokeen ajan. Liukoisen typen osuus kokonaistypestä oli keskimäärin 36 % ja liukoisen fosforin osuus oli vain 0,20 %. Fosforin niukka liukoisuus on tyypillistä kalkkistabiloiduille puhdistamolietteilte, joissa suurin osa fosforista on happoliukoisessa muodossa (Ylivainio & Kapuinen 2012). Kun KSP-liete sekoitetaan maahan, lisääntyy fosforin liukoisuus (Ylivainio & Kapuinen 2012) ja siksi MMM:n käyttämä liukoisen fosforin pitoisuuden laskeminen kokonaisfosforipitoisuuden perusteella on perusteltua.

Kokeen suunnitteluvaiheessa havaittiin, että ohralla KSP-lietteen kokonaisfosforipitoisuus oli suurin levitysmäärää rajoittava tekijä, koska liukoinen fosfori lasketaan kokonaisfosforin perusteella (liukoinen P = 0.40 × kokonais-P; MMM 2013) kun taas säilörehunurmen perustamisessa KSP-lietteen kokonaistyyppipitoisuus rajoitti käyttömäärää nitraattidirektiivin kautta (VNP 931/2000). Levitysmäärät olivat ohralla 12 -14 tn/ha (tuorepaino) vuodesta riippuen ja säilörehunurmen perustamisvaiheessa kertalannoituksena 35 tn/ha (tuorepaino). Levitysmäärät olivat käytännön kannalta järkevällä tasolla. Suunnitelman mukaan KSP-lietteen mukana annettu fosfori täytti 65 % nurmen ja 106 % ohran fosforin tarpeesta koejaksolle laskettuna. Liukoisen typen osalta vastaavat osuudet olivat 8 % ja 36 % ja kaliumin osalta 11 ja 42 %, joten KSPL on ensisijaisesti fosforilannoite, ja viljelykierron aikana on mahdollista saada selvä säästö fosforilannoituksen määrässä ja kustannuksissa. Ohran osalta KSPL on myös N- ja K-lannoite.

Taulukko 6. Puhdistamolietteen sisältämä kokonais- ja vesiliukoinen typpi, kokonais- ja vesiliukoinen fosfori, kalium, sekä kuiva-ainepitoisuus ja pH vuosittain sekä lietteen ominaisuuksien muutos levitysvuosien välillä.

	2008	2009	<i>Muutos</i>	2010	<i>Muutos</i>
Kuiva-aine, g/kg	300	360	60	360	0
Kokonais-N, g/kg ka	16	17	1	16	-1
Liukoinen N, g/kg ka	3.8	8	4.2	5.9	-2.1
Kokonais-P, g/kg ka	13	13	0	13	0
Liukoinen P, g/kg ka	0.023	0.022	-0.001	0.029	0.007
K* g/kg ka	2.8	2.8	0	2.8	0
pH	12.4				

*tuoteselosteen arvo

KSP-lietteen sisältämät raskasmetallipitoisuudet ja korkeimmat sallitut pitoisuudet on koottu taulukkoon 7. Lietteiden raskasmetallipitoisuudet eivät ylittäneet sallittuja raja-arvoja. Huomion arvoista on puhdistamolietteen kupari-, sinkki-, -elohopea ja lyijypitoisuus, jotka annetuilla levitysmäärillä kuitenkin ylittävät viljelymaalle keskimäärin vuodessa sallitut kuormitusrajat. Raskasmetalleista jatkuvaa käyttöä rajoittavat eniten elohopea ja nikkeli, koska kuparin ja sinkin osalta voidaan raja ylittää niissä tapauksissa, joissa kupari ja sinkkilannoitus on viljelykasvin kannalta tarpeellista (VNP N:o 282/1994). Tässä kokeessa mitoitettiin KSP-lietteen levitysmäärä fosforin ja typen perusteella, koska ajateltiin, ettei puhdistamolietteen käyttö ole kuitenkaan jatkuvaa samalla peltolohkolla. Siksi ohrakokeessa käytetty 12- 14 tn/ha/v ylittää lievästi edellä mainittujen raskasmetallien (Cu, Zn, Hg, Ni) osalta viljelymaan suurimman sallitun keskimääräisen vuotuisen raskasmetallikuormituksen (Taulukko 7). Nurmen osalta käytetty 35 tn/ha olisi mahdollista levittää aina nurmen perustamisen yhteydessä. KSP-lietteen hivenlannoitusvaikutus on vähäinen. Liete voi toimia kupari- ja sinkkilannoitteena, kun maan ravinnetilanne kyseisten ravinteiden osalta heikko. Viljavuusluokassa huononlainen sekä viljoille että nurmille suositellaan kupari- ja sinkkilannoitusmääräksi 4 kg/ha. Kokeessa käytetyillä levitysmäärillä (ohra 12 -14 t/ha ja nurmi 35 t/ha) kuparia kertyy ohralle 0,8 -0,9 ja nurmelle 2,3 kg/ha. Vastaavat luvut sinkin osalta ovat 1,8 -2,1 kg/ha ja 5,3 kg/ha.

Taulukko 7. Suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet puhdistamolietteessä, viljelysmaassa sekä viljelysmaan suurin sallittu keskimääräinen kuormitus sekä Iisalmen puhdistamolietteen pitoisuus ja laskennallinen suurin vuotuinen käyttömäärä.

Raskasmetallit	Puhdistamolietteen suurin sallittu pitoisuus (mg/kg KA)	Iisalmen puhdistamoliete (mg/kg KA)	Viljelymaan suurin sallittu pitoisuus (mg/kg KA)†	Viljelymaan suurin sallittu keskimääräinen vuotuinen raskasmetallikuormitus (g/ha/vuosi) †	Suurin mahdollinen keskimääräinen levitysmäärä (tn tuore /ha/v)**
Kupari (Cu)	600	222.0	100	600***	9.0
Sinkki (Zn)	1500	502.0	150	1500***	10.0
Kadmium (Cd)	3,0 (1,5)*	0.2	0,5	1,5	23.8*
Kromi (Cr)	300	15.2	200	300	65.8
Elohopea (Hg)	2,0 (1,0)*	0.3	0,2	1,0	11.1*
Nikkeli (Ni)	100	31.5	60	100	10.6
Lyijy (Pb)	150 (100)*	12.2	60	100	27.3*

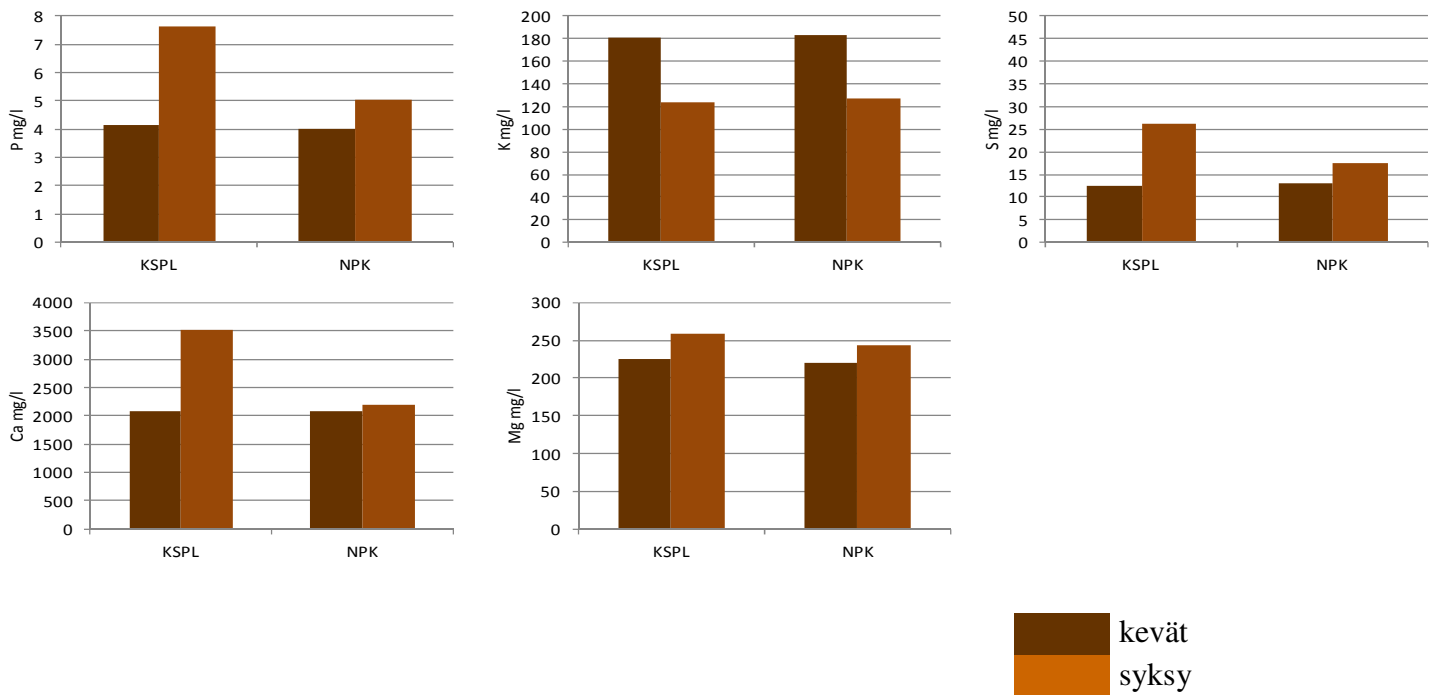
Lähde: VNP N:o 282/1994 ja † MMM 12/12. * vuodelle 1998 säädetty tavoitearvo. ** Lietteen kappiteisuus kokeen alussa 300 g/kg.*** Jos maassa on puutetta sinkistä ja kuparista voi näiden osalta ylittyä enintään 2x mutta ei saa ylittää maan maksimipitoisuuksia.

3.3 Maan viljavuus

Nurmi

Kokeen aikana nurmi sai KSP-lietettä vain perustamisvaiheessa. Lieite nosti perustamisvuonna maan fosfori-, rikki- ja kalsiumpitoisuutta (kuva 4 ja taulukko 8). Muutokset ovat kaikki edullisia, etenkin koska maan viljavuus fosforin ja rikin osalta oli alhainen. Rikki- ja kalsiumpitoisuus nousi yhdellä viljavuusluokalle vuonna 2008. Fosforin ja rikin osalta ero näytti johtuvan nimenomaan KSP-lietteen ominaisuuksista, koska kontrollikalkkikäsittely ei johtanut samoihin tuloksiin. Vuoden 2008 aikana KSP-lieite nosti merkittävästi maan pH:ta ja johtolukua (kuva 5). Johtoluvun muutos näytti liittyvän nimenomaan KSP-lietteen käyttöön. Lietteen kalkitsevalla vaikutuksella on yleensä edullinen vaikutus kasvien ravinteiden saannille.

Nurmella KSP-lietteen vaikutus maaperän ominaisuuksiin oli pitkäaikainen. Vielä kolmannen nurmivuoden jälkeenkin otetuissa maanäytteissä pH, Ca ja P -pitoisuudet olivat korkeammat kuin muissa käsittelyissä (taulukko 9). Kokeen päätyttyä vuonna 2010 KSP-lietettä saaneen maan fosfori- ja kalsiumpitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin muiden käsittelyiden. Toisaalta hiilen ja typen määrä oli KSPL- käsittelyissä alhaisempi verrattuna pelkästään NPK-lannoitetta saaneeseen käsittelyyn. Pitoisuuden muutosta voidaan selittää kalkitusvaikutuksella ja siten mahdollisesti nopeutuneella orgaanisen aineksen hajoamisella. KSP-lietteellä ei ollut epäedullisia vaikutuksia maan viljavuuteen.

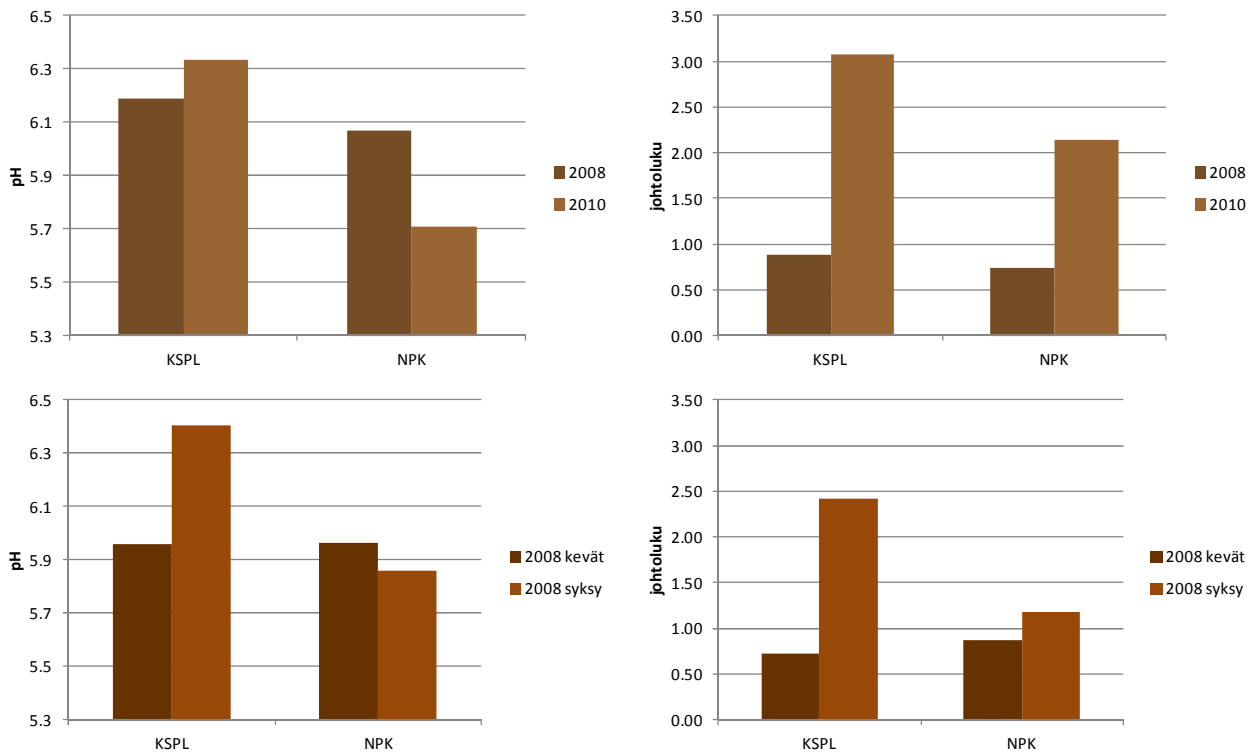


Kuva 4. Maan viljavuuden muutos nurmen perustamisvuonna 2008.

Taulukko 8. Maa viljavuuden muutos* nurmen perustamisvuonna.

käsittely	N	C	C/N	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johtoluku
	%	%				mg/l				10^{-4} S/cm
kontrolli	7.2	-7.2	-0.97	0.48 ^a	-62.9	0.40 ^a	75.8 ^a	17.0	-0.13 ^a	0.05 ^a
KSPL	7.3	-7.2	-1.03	3.48 ^b	-57.0	13.53 ^b	1436.3 ^b	32.5	0.44 ^b	1.69 ^b
NPK	7.9	-7.9	-1.00	1.00 ^a	-56.3	4.55 ^a	123.0 ^a	24.3	-0.11 ^a	0.31 ^a
NPK + kalkki	7.2	-7.1	-1.26	1.64 ^a	-67.3	6.13 ^a	1028.3 ^b	25.5	0.26 ^b	0.48 ^a
SEM	0.710	0.730	0.101	0.342	6.95	1.37	136.0	5.18		0.215
p	0.48	0.42	0.24	<0.001	0.65	<0.001	<0.001	0.28	<.0001	0.002

*muutos laskettu 2008 syksy – 2008 kevät



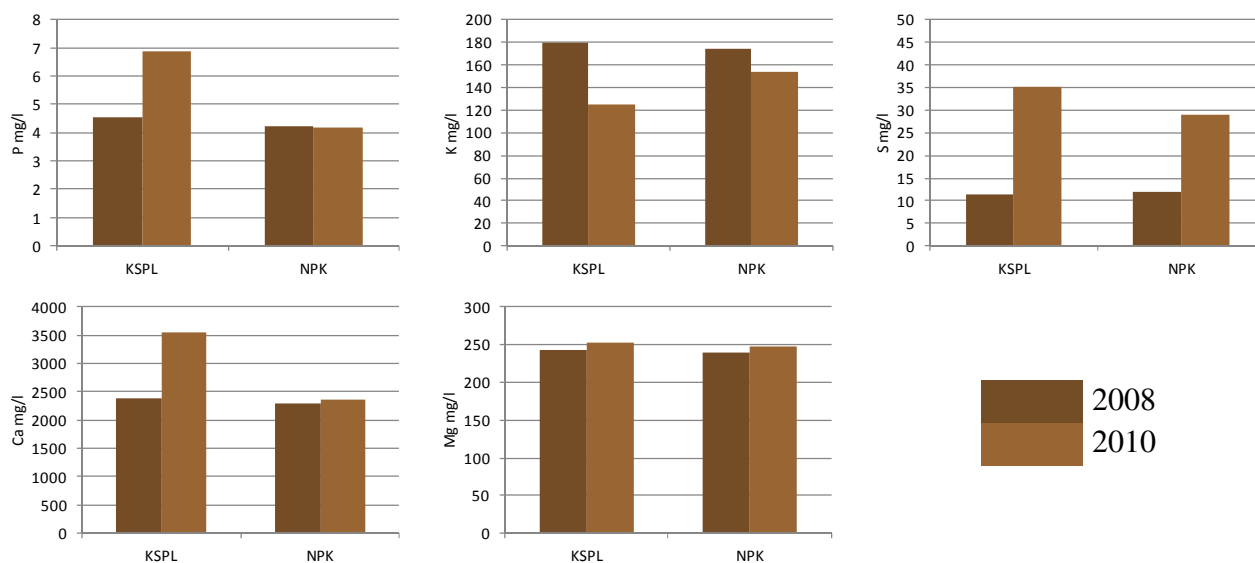
Kuva 5. Maan pH ja johtoluku nurmen perustamisvuonna ja ohralla vuosina 2008 ja 2010.

Taulukko 9. Maan viljavuus nurmella kokeen lopussa.

käsittely	N	C	C/N	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johtoluku
	%	%				mg/l				10^{-4} S/cm
kontrolli				4.1 ^a	113.3	16.8	2218.0 ^a	238.8	5.7 ^a	1.0 ^a
KSPL	0.38	6.9	17.9	6.7 ^b	102.1	56.1	3314.0 ^b	231.9	6.2 ^b	2.1 ^b
NPK	0.44	7.7	17.7	4.4 ^a	104.3	39.1	2165.7 ^a	222.5	5.6 ^a	1.5 ^{ab}
NPK + kalkki				5.5 ^{cb}	100.6	50.0	3008.7 ^c	229.7	6.0 ^{ab}	2.1 ^b
SEM	0.023	0.45	0.11	0.43	13.57	11.66	59.99	11.49		0.14
p	0.026	0.035	0.070	0.002	0.44	0.13	<.0001	0.76	0.002	0.004

Ohra

Ohra sai KSP-lietteen kaikkina kolmena koevuotena. KSP-liete nosti maan fosfori, rikki ja kalsiumpitoisuutta sekä pH:ta (kuva 6 ja kuva 5, taulukko 10 ja 11). Vaikutukset liittyivät lietteen kalkitsevaan ominaisuuteen, sillä vaikutus oli sama kontrollikalkkikäsittelyssä. KSP-lietteen käyttö nosti maan pH-arvoa kaikkina kolmena koevuotena, Sen sijaan se laski maan kaliumpitoisuutta. Kaliumpitoisuuden lasku voi liittyä pH:n nousuun ja edelleen nopeampaan orgaanisen aineksen hajoamiseen. Maan happamuuden vähentyminen oli merkitsevää ja liittyi KSP-lietteen käyttöön. Vuonna 2010 hiilen ja typen pitoisuus maassa oli KSPL-käsittelyssä alhaisempi kuin NPK-käsittelyssä.



Kuva 6. Maan viljavuuden muutos Ohralla kolmen ohruvuoden aikana.

Taulukko 10. Maan viljavuuden muutos ohralla vuosina 2008 -2010.

käsittely	N	C	C/N -suhde	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johto-luku
	%	%		mg/l						10 ⁻⁴ S/cm
kontrolli				-0.49 ^a	-24.2 ^{ab}	5.8 ^a	249.3 ^a	38.9	-0.25 ^{ab}	0.5 ^a
KSPL	-0.04	-0.41	0.86	2.36 ^b	-39.1 ^a	23.5 ^b	1247.7 ^b	14.9	0.20 ^a	2.2 ^b
NPK	-0.01	-0.15	0.20	0.07 ^a	-10.6 ^b	17.1 ^{ab}	166.7 ^a	16.9	-0.30 ^b	1.4 ^b
NPK + kalkki				2.51 ^b	-29.7 ^{ab}	18.6 ^b	922.3 ^b	24.8	-0.05 ^{ab}	1.8 ^b
SEM	0.009	0.124	0.236	0.392	4.92	2.38	116.32	6.69		0.12
p	0.14	0.25	0.11	0.001	0.033	0.010	0.002	0.14	0.011	0.000

*muutos laskettu 2010 - 2008

Taulukko 11. Maan viljavuus ohralla kokeen lopussa.

käsittely	N	C	C/N	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johtoluku
	%	%		mg/l						10 ⁻⁴ S/cm
kontrolli				3.9 ^a	135.5 ^a	18.2 ^a	2563.0 ^a	272.5	5.9 ^a	1.4 ^a
KSPL	0.38	6.9	17.9	6.9 ^b	125.3 ^a	35.0 ^b	3559.3 ^b	253.3	6.3 ^b	3.1 ^b
NPK	0.44	7.7	17.7	4.2 ^a	154.1 ^b	29.0 ^{ab}	2359.7 ^a	247.6	5.7 ^c	2.1 ^c
NPK + kalkki				6.9 ^b	131.3 ^a	30.2 ^{ab}	3138.0 ^{ab}	253.5	6.0 ^{ab}	2.6 ^{bc}
SEM	0.023	0.45	0.11	0.63	5.91	3.01	144.30	8.26		0.14
p	0.026	0.035	0.070	0.003	0.003	0.027	0.004	0.26	0.001	0.001

3.4 Raskasmetallit

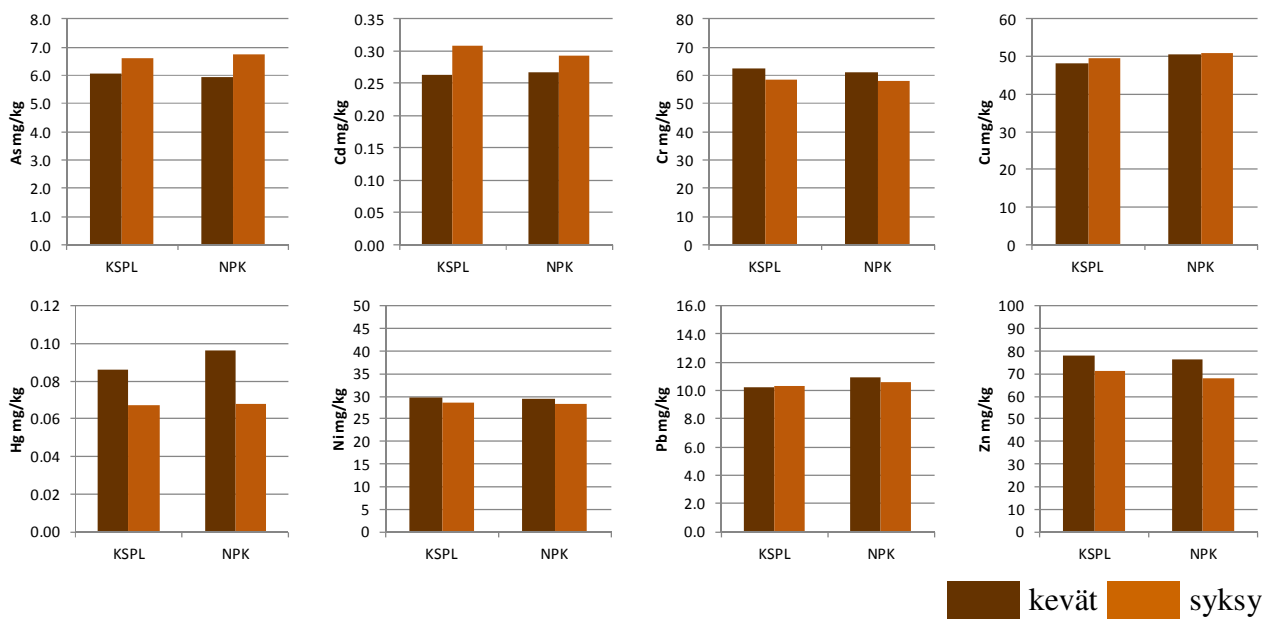
Nurmi

Liete ei vaikuttanut nurmella maan raskasmetallipitoisuuksiin ensimmäisenäkään koevuotena suu-
resta lietemäärästä huolimatta (taulukko 12, kuva 7). Maan raskasmetallipitoisuuden muutos näkyy
kuvasta 8. Kokeen loputtua vuonna 2010 KSP-lietteellä lannoitetun maan lyijyn ja kromin pitoi-
suudet olivat merkittävästi suurempia kuin pelkkää NPK-lannoitetta saaneen maan (taulukko 12).
Kromin osalta ero oli kuitenkin määrällisesti pieni.

Taulukko 12. Raskasmetallipitoisuuksien muutos (mg/kg maata)* nurmen perustamisvuonna.

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
kontrolli	0.68	0.03	-3.5	-0.60	-0.02	-0.88	-0.73	-8.4
KSPL	0.53	0.05	-4.4	1.10	-0.02	-1.13	0.05	-7.0
NPK	0.83	0.03	-2.9	0.05	-0.03	-1.10	-0.33	-8.1
NPK + kalkki	0.65	0.07	-3.1	1.58	-0.03	-1.15	-0.83	-8.0
SEM	0.332	0.017	1.08	0.822	0.003	0.258	0.747	0.891
p	0.93	0.29	0.77	0.14	0.25	0.87	0.76	0.69

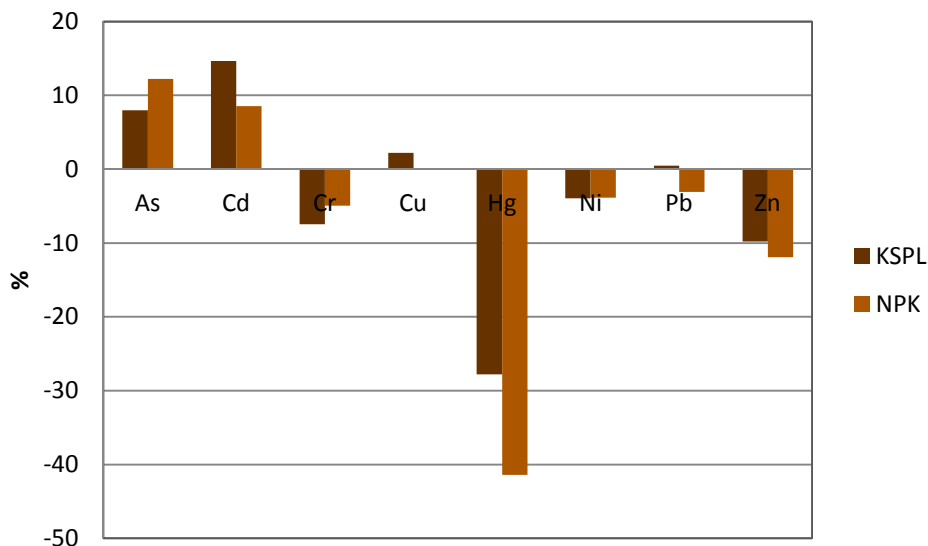
*muutos laskettu 2008 syksy – 2008 kevät



Kuva 7. Maan raskasmetallipitoisuuden muutos nurmen perustamisvuonna

Taulukko 13. Maan raskasmetallipitoisuus (mg/kg maata) nurmikokeen lopussa.

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
KSPL	5.94	0.29	54.3	46.7	0.09	33.7	13.5	72.6
NPK	6.29	0.22	52.7	49.1	0.08	28.4	11.2	67.7
SEM	0.368	0.050	1.21	1.00	0.004	1.75	0.09	1.62
p	0.24	0.45	0.033	0.131	0.55	0.16	0.002	0.067



Kuva 8. Nurmen perustamisvuoden 2008 maan raskasmetallipitoisuuden muutos (%) kevästä syksyyn.

Ohra

Myöskään ohralla KSP-liete ei lisännyt maan raskasmetallipitoisuutta (taulukko 13 ja 14, kuva 9). Ainoastaan maan sinkkipitoisuuden väheneminen oli KSP-lietehoidossa merkittävästi vähäisempää. Sinkki toimii maassa myös kasviraivanteena ja siten KSP-lietteen vaikutus maan sinkkipitoisuuteen voi olla myös positiivinen. Lietteen hivenlannoitusikäyttö pohditaan tarkemmin luvussa 3.2. Ohralla ei havaittu muutoksia maan lyijy- ja kromipitoisuudessa. Maanraskasmetallipitoisuuden muutos näkyy kuvassa 10.

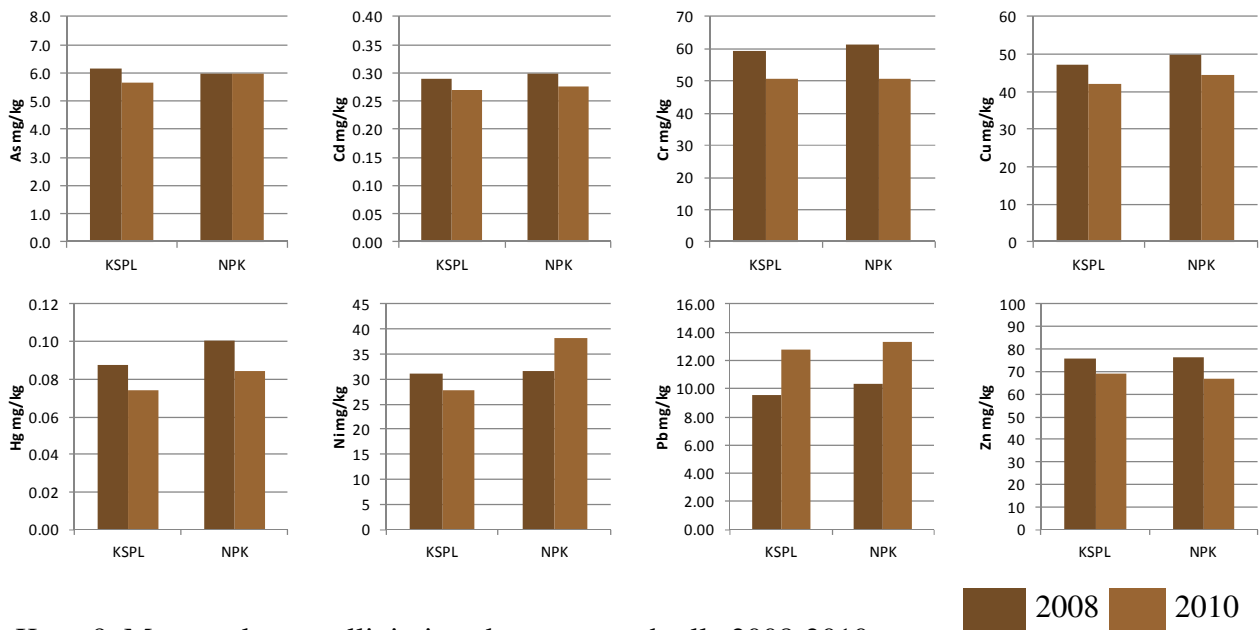
Taulukko 14. Maan raskasmetallipitoisuuksien (mg/kg maata) muutos ohralla vuosina 2008 -2010.

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
KSPL	-0.53	-0.02	-9.0	-3.7	-0.02	-2.8	2.9	-7.5
NPK	-0.10	0.01	-9.8	-4.9	-0.02	7.2	2.8	-9.1
SEM	0.171	0.014	0.99	1.58	0.011	6.54	0.16	0.88
p	0.22	0.31	0.64	0.65	0.99	0.39	0.62	0.021

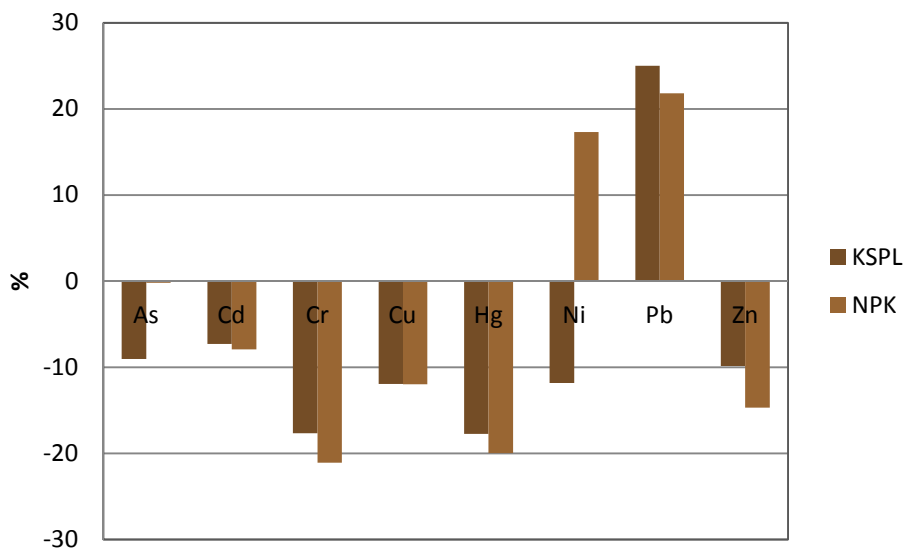
*muutos laskettu 2010 – 2008

Taulukko 15. Maan raskasmetallipitoisuus (mg/kg maata) ohralla kokeen lopussa.

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
KSPL	5.6	0.27	50.6	42.1	0.07	27.7	12.8	69.3
NPK	6.0	0.28	50.7	44.4	0.08	38.2	13.3	66.7
SEM	0.231	0.009	2.27	1.56	0.010	7.04	0.43	2.02
p	0.35	0.71	0.88	0.16	0.56	0.41	0.48	0.33



Kuva 9. Maan raskasmetallipitoisuuden muutos ohralla 2008-2010.



Kuva 10. Maan raskasmetallipitoisuuksien muutos (%) kolmen ohravuoden jälkeen KSPL- ja NPK-käsittelyissä.

KSP-lietteen käyttö nurmen ja ohran lannoitteena ei siis näyttänyt lisäävän oleellisesti maan raskasmetallipitoisuuksia verrattuna väkilannoitettuihin ruutuihin. Ainoastaan kromin ja lyijyn pitoisuus oli nurmella vuonna 2010 suurempi puhdistamolietettä saaneessa käsittelyssä. Lietteiden elohopea- ja nikkelpitoisuus voi rajoittaa sen toistuvaa vuosittaista käyttöä. Aikaisemmin raskasmetallipitoisuudet olivat suuri huoli yhdyskuntajätteen maatalouskäytön osalta, mutta nykyään huoli tämän osalta on vähentynyt. Nyt tutkimus on keskittynyt orgaanisiin haitta-aineisiin, joskin niiden haittavaikutuksista ja kulkeutumisesta tiedetään verrattain vähän (Lehto ym. 2013).

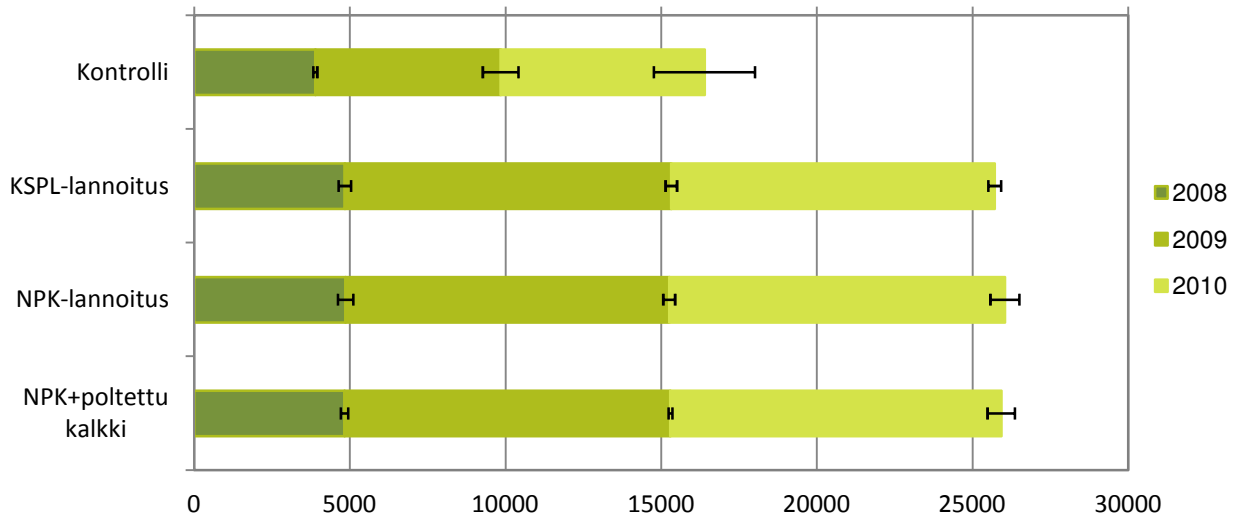
3.5 Vaikutukset sadon määrään ja lannoitusvaikutus

Vaikka erilaisten yhdyskunta- ja biojätekompostien tutkimusta on tehty viime vuosikymmen aikana ansiokkaasti (mm. Halinen & Tontti 2004, Halinen ym. 2006, Tontti ym. 2010, Ylivainio & Kapuinen 2012, Tontti ym. 2012, Tontti & Salo 2013), on kalkkistabiloitujen lietteiden lannoitusvaikutusta selvittäviä kenttäkokeita tehty varsin vähän ja useimmat kokeet keskittyvät vain lietteiden kemialliseen analysointiin tai kasvatuskokeet on tehty astiakokeina (Jokinen 1990a, Ylivainio & Kapuinen 2012). Erityisen vähän tuloksia on nurmiviljelystä.

Typpi on eniten sadonmuodostusta rajoittava ravinne kasvintuotannossa ja siksi suurin osa kokeessa havaitusta lannoitusvaikutuksesta voidaan katsoa perustuvan annetun typen määrään. Jätekompostien ja puhdistamolietteiden typen on todettu olevan tiukasti orgaaniseen ainekseen sitoutuneena ja rajoittaneen siten kasvua ja fosforinottoa (Lehtonen ym. 2003, Halinen ym. 2006). Lisäksi liukaisen typen analyysimenetelmissä voi olla epätarkkuutta, mikä riippuu erityisesti silloin kun orgaanisen typen osuus suhteessa epäorgaaniseen typen (ammonium- ja nitraatti-N) osuuteen on korkea (Salo ym. 2012). Tässä kokeessa lannoitus perustui liukaisen typen analyysitulokseen ja kasvin ravinnetarpeeseen ja puuttuva KSP-lietteen puuttuva liukoinen typpi täydennettiin väkilannoitetyypellä (ja kaliumilla).

Lannoitettujen koejäsenten kokovilja- että nurmisadot olivat varsin korkeita kaikkina koevuosina. Ero lannoittamattomaan kontrolliin oli selvä etenkin nurmivuosina. Ohrasato oli vaatimaton vuonna 2008, jolloin myös käsittelyerot jäivät pieniksi. Myös jyväkoko ja hehtolitrapaino jäivät alhaisiksi. Sen sijaan sato oli parempi vuonna 2009, jolloin myös käsittelyjen väliset erot olivat selviä. Edelleen, lannoittamattoman kontrollin ja lannoitettujen koejäsenten erot olivat selviä myös kokeen viimeisenä vuonna 2010 vaikka sato jäi vain keskinkertaiseksi.

Sekä ohralla että säilörehunurmella KSP-lietteen ja täydennyslannoituksen saaneiden ruutujen satotason havaittiin vastaavan tavanomaisesti lannoitettujen (NPK-mineraalilannoitus) ruutujen satotaso kaikkina levitysvuosina (ohralla joka vuosi, säilörehunurmella perustamisvuonna; taulukot 16 ja 17; kuvat 11 ja 12). Satotason voidaan katsoa kuvaavan hyvin typpilannoituksen vaikutusta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että KSP-lietteen liukoinen typpi on viljelykasveille käyttökelpoista ja että pitoisuuksien analyysimenetelmä antaa riittävän tarkan tuloksen oikean lannoitus- ja täydennyslannoitustason laskemiseksi. On selvää, että myös fosfori ja kalium nostivat todennäköisesti sadon määrää tässä kokeessa, sillä maan P-luku oli alhainen ja viljavuuteen perustuva lannoitussuositus sekä fosforin että kaliumin osata suositteli kyseisiä ravinteita. Niinpä tässä aineistossa ei voida tarkasti erottaa KSP-lietteen typen lannoitusvaikutusta fosforin ja kaliumin lannoitusvaikutuksesta. Lietteen sisältämien ravinteiden käyttökelpoisuutta voidaan kuitenkin tarkastella enemmän ravinteiden pitoisuuden ja ravinnetaseiden avulla. (ks luku 3.6).



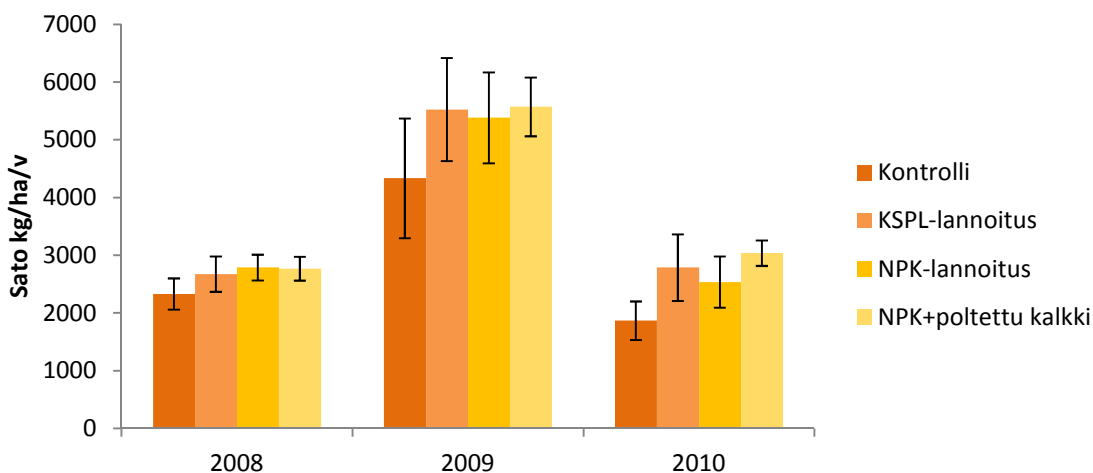
Kuva 11. Säilörehunurmen kuiva-ainesato (kg ka/ha) eri koekäsittelyissä

Taulukko 16. Nurmen sato (kg ka/ha) vuosina 2008 -2010. Vuonna 2008 kokoviljasäilörehu.

	2008	2009			2010**			2008 -2010
	kokovilja	niitto 1	niitto 2	yht	niitto 1	niitto 2	yht	keskisato
Kontrolli	3320	4660	1290	5950	2450	1390	3840	5060
KSPL-lannoitus	4290	5900	4580	10480	5550	4830	10384	10440
NPK-lannoitus	4960	5680	4710	10400	5800	4980	10780	10590
NPK+poltettu kalkki	4810	5730	4750	10470	5520	5100	10620	10550
SEM	171.6	236.8	106.0	316.5	248	.	457	678.83
p	0,0012**	0.01	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001 *	<0.0001	<0.0001

*käytetty log-muunnosta

**Huom! Tässä koejäsenellä 21 vain kaksi toistoa neljän sijaan.



Kuva 12. Ohran sato (jyvän kosteus 15 %) eri käsittelyissä vuosina 2008 -2010.

Taulukko 17. Ohran sato, tuhannen jyvän paino (tjp), hehtolitraino (Hlp), lehtivihreäpitoisuus (SPAD) ja kasvuston korkeus.

	sato	Tjp g	Hlp kg	SPAD	Lako	korkeus cm
2008						
Kontrolli	2330	28.4	41.1		3	84
KSPL-lannoitus	2670	28.1	39.6		9	88
NPK-lannoitus	2770	28.9	40.6		6	89
NPK+poltettu kalkki	2790	28.7	41.0		4	89
SEM	127.2	0.53	0.95		1.6	1.0
<i>p</i>	0,0031**	0.38	0.42		0,058(*)	0,0196*
2009						
Kontrolli	4330	44.5	65.0	38.8	0.00	63
KSPL-lannoitus	5520	47.6	64.7	42.7	0.00	70
NPK-lannoitus	5380	48.3	65.7	42.9	0.00	69
NPK+poltettu kalkki	5570	46.5	64.9	43.0	0.00	67
SEM	414.82	0.73	0.50	1.3		2.9
<i>p</i>	0.005	0.005	0.2	0.004		0.02
2010						
Kontrolli	1870	45.8	67.6	39.1		43
KSPL-lannoitus	2790	47.5	68.2	42.7		51
NPK-lannoitus	2540	47.4	68.0	46.5		57
NPK+poltettu kalkki	3040	47.3	67.9	43.5		53
SEM	207.72	0.41	0.14			1.7
<i>p</i>	0.003	0.005	0.08	0.004		<0.0001
2008-2010						
Kontrolli	2840	39.6	57.9	39.0		63
KSPL-lannoitus	3660	41.1	57.5	42.7		70
NPK-lannoitus	3560	41.5	58.1	44.7		72
NPK+poltettu kalkki	3800	40.8	57.9	43.2		69
SEM	479.44					
<i>p</i>	<0.001**					

3.6 Vaikutukset sadon laatuun

Nurmelta ei voitu määrittää laatutuloksia vesivahingosta johtuvan näytteiden pilaantumisen vuoksi. Nurmen kuiva-ainepitoisuudet eri käsittelyissä on koottu taulukkoon 18.

Taulukko 18. Nurmisadon kuiva-ainepitoisuus (%) vuosina 2009 ja 2010.

	2009		2010**	
	niitto 1	niitto 2	niitto 1	niitto 2
Kontrolli	24	29	27	36
KSPL-lannoitus	19	18	20	36
NPK-lannoitus	19	19	20	35
NPK+poltettu kalkki	19	18	19	35
SEM	0.6	0.6	0.6	1.2
<i>p</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.8

Ohralla eri lannoituskäsittelyillä ei ollut vaikutusta hehtolitrapainoon yhtenäkkään vuonna (taulukko 21) mutta jyväkoossa oli pieniä vaihteluja. Lannoittamattoman koejäsenen jyväkoossa oli aina pienin. KSP-lietteen vaikutus tuhannen jyvän painoon oli tavanomaista NPK-lannoitusta vastaava. Jyvien raskasmetallipitoisuutta ei tutkittu, sillä useassa tutkimuksessa on todettu, etteivät raskasmetallit siirry maasta kasviin (Lehtonen ym. 2003, Jaakola ym. 1996).

3.7 Ravinnetaseet

Liukoisten ravinteiden taseet kertovat lannoitussuunnitelmassa käytettyjen ravinteiden liukoisuus-analyysien tai -kertoimien käyttökelpoisuudesta ts. tässä KSP-lietteen liukoisten ravinteiden käyttökelpoisuudesta suhteessa väkilannoituksessa annettuihin ravinteisiin. Niiden antama kuva on tarkempi kuin pelkkä sadon määrän vertailu. Kokonaisravinteille lasketut ravinnetaseet taas kuvaavat paremmin viljelyn vaikutuksia maaperään, ts. ne kertovat ennen kaikkea ravinteiden (P, N) mahdollisesta kumuloitumisesta maaperään, mikä puolestaan liittyy ympäristökuormitusriskeihin (Salo ym. 2013).

Taulukoihin 19, 20 ja 21 on koottu ohrakoejäsenen liukoisen fosforin, typen ja kaliumin vuosittaiset ravinnetaseet. Jyvien fosforipitoisuuksissa havaitut erot olivat pieniä lukuun ottamatta vuotta 2010 (Taulukko 19). Fosforilannoituksen vaikutus jyvien fosforipitoisuuteen onkin yleensä varsin pieni. Fosforipitoisuuksissa ei ollut eroja KSPL, NPK tai NPK + kalkki koejäsenten välillä vaan pääsääntöisesti ainoastaan lannoittamaton kontrolli poikkesi muista lannoituksista. Vuonna 2008 KSP-liete nosti hieman fosforitasetta, missä oli kyse KSP-lietteen hieman suuremmasta fosforilannoituksesta verrattuna väkilannoitekoejäsenen. Muina vuosina KSP-lietteen vaikutus ei eronnut kontrollikalkkikäsittelystä tai NPK-käsittelystä.

Myös erot jyvien typpipitoisuuksissa KSPL-, NPK- tai NPK + kalkki -koejäsenten välillä olivat pienet mutta lannoittamattoman koejäsenen jyvien typpipitoisuus oli alhaisempi kuin lannoitettujen (Taulukko 20). Tilastollisesti merkittävä ero havaittiin vain vuonna 2010 KSPL ja NPK+kalkki koejäsenen välillä, jolloin KSP-lieteen jyvien typpipitoisuus oli hieman korkeampi kuin NPK+kalkki -koejäsenen. Typpipoistumat ja -taseet olivat kaikkina vuosina samansuuruiset lukuun ottamatta lannoittamatonta kontrollia.

Jyvien kaliumpitoisuuksissa oli hienoisia eroja eri lannoitusvaihtoehtojenvälillä vuosina 2008 ja 2009, mutta vuonna 2010 eroja ei havaittu (Taulukko 21). Sen sijaan kaliumpoistumassa ei havaittu eroja KSPL-, NPK- tai NPK + kalkki -koejäsenten välillä vaan ainoastaan lannoittamaton koejäsen poikkesi merkittävästi muista. kaliumtase käyttäytyi samoin lukuun ottamatta vuotta 2008, jolloin KSP liete nosti selvästi kaliumtasetta verrattuna väkilannoite ja NPK + kalkki koejäseniin. Tämä johtui runsaasta kaliumin väkilannoitetäydennyksestä kyseisenä vuonna, sillä KSP-lietteessä annettun kaliumin määrä oli pieni (Taulukko 6).

Taulukko 19. Ohran jyvän fosforipitoisuus, sadon mukana poistuneen fosforin määrä sekä liukoisen fosforin ravinnetaseet vuosina 2008, 2009 ja 2010

	2008			2009			2010		
	P jyvät g/kg ka	P-poistuma kg/ha	P-tase kg/ha	P jyvät g/kg ka	P-poistuma kg/ha	P-tase kg/ha	P jyvät g/kg ka	P-poistuma kg/ha	P-tase kg/ha
kontrolli	4.0	7.4 ^a	-7.4 ^a	3.8 ^{ab}	14.0 ^a	-14.0 ^a	4.5 ^c	7.1 ^a	-7.1 ^a
KSPL	4.0	8.6 ^b	14.0 ^c	3.8 ^b	18.0 ^b	4.5 ^b	4.3 ^b	10.1 ^b	12.4 ^b
NPK	3.9	8.7 ^b	12.3 ^b	3.7 ^a	16.9 ^b	7.1 ^b	4.1 ^a	8.8 ^{ab}	15.2 ^c
NPK + poltettu kalkki	4.0	8.7 ^b	12.3 ^b	3.7 ^a	17.6 ^b	6.4 ^b	4.0 ^a	10.3 ^b	13.7 ^{cb}
SEM	0.051	0.360	0.360	0.041	0.941	0.941	0.043	0.769	0.769
p	0.12	0.011	<.0001	0.026	0.008	<.0001	<0.0001	0.009	<.0001

Taulukko 20. Ohran jyvän typpipitoisuus, sadon mukana poistuneen typen määrä sekä liukoisen typen ravinnetaseet vuosina 2008, 2009 ja 2010

	2008			2009			2010		
	N jyvät g/kg ka	N-poistuma kg/ha	N-tase kg/ha	N jyvät g/kg ka	N-poistuma kg/ha	N-tase kg/ha	N jyvät g/kg ka	N-poistuma kg/ha	N-tase kg/ha
kontrolli	22.8 ^a	42.3 ^a	-42.3 ^a	20.9 ^a	77.3 ^a	-77.3 ^a	25.6 ^a	40.6 ^a	-40.6 ^a
KSPL	23.9 ^b	50.8 ^b	15.7 ^b	23.3 ^b	109.2 ^b	-29.6 ^b	27.4 ^c	64.8 ^b	14.8 ^b
NPK	23.7 ^b	52.6 ^b	17.4 ^b	23.1 ^b	105.7 ^b	-25.7 ^b	27.1 ^{bc}	58.4 ^b	21.6 ^b
NPK + poltettu kalkki	23.7 ^b	52.1 ^b	17.9 ^b	23.2 ^b	109.7 ^b	-29.7 ^b	26.4 ^b	68.2 ^b	11.8 ^b
SEM	0.184	1.873	1.873	0.376	5.547	5.547	0.279	4.887	4.887
p	0.001	0.001	<.0001	0.0003	0.001	<.0001	0.001	0.001	<.0001

Taulukko 21. Ohran jyvän kaliumipitoisuus, sadon mukana poistuneen kaliumin määrä sekä kaliumin ravinnetaseet vuosina 2008, 2009 ja 2010

	2008			2009			2010		
	K jyvät g/kg ka	K-poistuma kg/ha	K-tase kg/ha	K jyvät g/kg ka	K-poistuma kg/ha	K-tase kg/ha	K jyvät g/kg ka	K-poistuma kg/ha	K-tase kg/ha
kontrolli	5.9 ^a	10.9 ^a	-10.9 ^a	4.1 ^{ab}	15.3 ^a	-15.3 ^a	4.7	7.5 ^a	-7.5 ^a
KSPL	6.4 ^b	13.5 ^b	34.0 ^c	4.2 ^b	19.9 ^b	5.9 ^b	4.6	10.9 ^b	14.8 ^b
NPK	6.1 ^a	13.4 ^b	7.6 ^b	4.0 ^a	18.4 ^{ab}	5.6 ^b	4.4	9.6 ^{ab}	14.4 ^b
NPK + poltettu kalkki	6.1 ^{ab}	13.4 ^b	7.6 ^b	4.0 ^a	19.2 ^b	4.8 ^b	4.4	11.4 ^b	12.6 ^b
SEM	0.099	0.563	0.051	0.059	1.063	1.063	0.099	0.894	0.894
p	0.006	0.003	<.0001	0.008	0.010	<.0001	0.082	0.008	<.0001

Yleisesti vähäiset erot eri lannoituskoejäsenten välillä liukoisten ravinteiden taseiden osalta johtuivat liukoisten typen ja kaliumin täydentämisestä ohran tarpeiden mukaiseksi. Erojen pienuus kertoo myös siitä, että tässä tutkimuksessa käytetyt liukoisuusarviot osuvat suhteellisen oikeaan. Tämä on tärkeää erityisesti fosforin osalta, jossa kemiallinen analyysi KSP-lietteestä aliarvio voimakkaasti fosforin käyttökelpoisuuden (taulukko 6): kemiallisen analyysin mukainen liukoisen fosforin pitoisuus oli vain 0,023 g/kg ka, kun MMM ohjeistuksen mukainen liukoisen fosforin pitoisuus (0.40×13 g kg ka) oli 5,2 g/kg ka eli kemiallisen analyysin mukainen liukoine P oli vain 0,4 % siitä, mitä MMM ohjeistuksen arvosta. Nyt suoritettujen viljelykokeiden ravinnetaselaskelmien perusteella MMM laskukaava ei ainakaan yliarvioi KSP-lietteen fosforin käyttökelpoisuutta.

Puhdistamolietteen ja jätevesikompostien fosforin käyttökelpoisuus on todettu useassa tutkimuksessa mineraalilannoitusta heikommaksi (Salo ym. 2011, Nykänen-Kurki ym. 2001, Jokinen 1990a, 1990b). Lietteen käsittelyprosessi vaikuttaa huomattavasti fosforin käyttökelpoisuuteen. Jos liete saostetaan esimerkiksi rauta- tai alumiinisulfaateilla, jotka ovat sinänsä tehokkaita fosforin sitoja, alenee jätevesilietteen fosforin käyttökelpoisuus (Jokinen 1990a, Ylivainio & Kapuinen 2012). Kalkkistabilointi alentaa fosforin käyttökelpoisuus lietteessä, mutta käyttökelpoisuus paranee selvästi kun liete sekoitetaan happamaan maahan (Jokinen 1990a, Krogstad ym. 2005, Ylivainio & Kapuinen 2012).

Tässä kokeessa KSP-lietteen laskennallisen liukoisen fosforin käyttökelpoisuus ei eronnut mineraalilannoitteiden fosforin käyttökelpoisuudesta. Aiemmissa kokeissa kalkkistabiloidun puhdistamolietteen lannoitusvaikutus ei ole ollut mineraalilannoitteiden veroista. Jokisen (1990a) astiakokeessa kalkkikäsitellyn puhdistamolietteellä saatu sadonlisä oli lyhytaikainen, eikä tilastollisesti merkitsevä. Tätä selittää todennäköisesti se, että jätekompostien ja puhdistamolietteen tyyppi on todettu olevan tiukasti orgaaniseen ainekseen sitoutuneena ja rajoittaneen siten kasvua ja fosforinottoa (Halinen ym. 2006). Lehtonen ym. (2003) havaitsi nimenomaan puhdistamolietekäsittelyssä kasvien fosforinoton olleen vajavainen, mutta fosforinottoa rajoitti todennäköisesti tyyppi saatavuus. Tässä tutkimuksessa vastaavaa ilmiötä ei todettu, koska tyyppi riittävyys varmistettiin täydennyslannoituksella. Kun tuloksia sovelletaan käytäntöön, onkin syytä suunnitella lannoitus siten, että kasvin tarvitsemasta tyyppistä huolehditaan antamalla tarvittava lisätyppi erikseen. KSP-lietteen parantunut fosforin käyttökelpoisuus lisää sen arvoa lannoitteena.

Kun vielä huomioidaan maan P-luvun nousu kokeen aikaa, näyttäisi KSP-lietteen fosforin käyttökelpoisuus jopa suuremmalta kuin MMM:n laskukaavan mukaan arvioitu. On selvää siis selvää, että yleisesti jätevesilietteiden ravinteiden käyttökelpoisuutta eri viljelykasveilla tulisi tutkia nimenomaan kenttäkokein eikä pelkkien kemiallisten analyysien tai astiakokeiden avulla kuten myös Ylivainio & Kapuinen 2012 ehdottavat.

Tarkasteltaessa ohran kumulatiivisia kokonaisravinnetasaita KSP-lietelannoitetun käsittelyn kokonaistyyppi ja -fosforin taseet ovat huomattavasti suuremmat kuin liukoisten ravinteiden, mikä selittyy lietteen pienestä liukoisten ravinteiden osuudesta (Taulukko 22). Vaikka KSP-lietteellä lannoitetun ja väkilannoitetun ohran liukoisten ravinteiden taseet ovatkin melko samansuuruiset, ovat kokonaistyyppi ja -fosforin osalta erot lannoitusmenetelmien välillä huomattavan suuret. Kokonaistyyppi tase ei ole vuositasolla (41 kg N/ha/v) tarkasteltuna erityisen suuri ja jäi tässä kokeessa selvästi alemmaksi kuin huuhtoutumisriskin oleellisen lisääntymisen raja-arvo 60 kg N/ha/v (Salo ym. 2013). Kokonaisfosforin osalta tase oli voimakkaan positiivinen (n 43 kg P/ha/v) minkä vuoksi KSP-lietelannoitusta ei voida suositella pitkäaikaiseen käyttöön kokeessa käytetyllä lannoitustavalla. Kaliumin osalta ravinnetaso oli positiivinen, mikä on sinänsä edullinen asia. Toisaalta mahdollisesti KSP-lietteen kaliumtäydennys olisi voinut olla alhaisempi, mikä alentaisi lannoituskustannuksia.

Taulukko 22. Ohran kumulatiiviset ravinnetaseet sekä totaali että liukoiselle typelle ja fosforille ja kaliumtase kolmen vuoden viljelyn aikana..

		Ei lannoitus- ta	KPSL +täydennys	Väkilannoite	Väkilannoite + kalkki
	kg/ha				
ANNETTU	N _{tot}	0	349	230	230
	N _{liuk}	0	216	230	230
	P _{tot}	0	167	69	69
	P _{liuk}	0	69	69	69
	K	0	106	69	69
POISTUMA	N _{tot}	160.2	224.8	216.7	230
	N _{liuk}	160.2	224.8	216.7	230
	P _{tot}	28.5	36.7	34.4	36.6
	P _{liuk}	28.5	36.7	34.4	36.6
	K	33.7	44.3	41.4	44
TASE	N _{tot}	-160.2	124.2	13.3	0
	N _{liuk}	-160.2	-8.8	13.3	0
	P _{tot}	-28.5	130.3	34.6	32.4
	P _{liuk}	-28.5	32.3	34.6	32.4
	K	-33.7	61.7	27.6	25

Nurmen osalta ravinnetaseiden laskeminen ei valittavasti onnistunut analyysitulosten puuttumisen vuoksi. Koska nurmi on tehokas ravinteiden ottaja, voivat ne muodostua huomattavasti ohran taseita pienemmiksi, kuten esimerkiksi biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen ja naudon lietelannan osalta on havaittu (Hyrkäs ym. 2014). Tältä osalta tutkimusta olisi mielekästä jatkaa.

3.8 Kalkkistabiloidun puhdistamojätelietteen tuotteistettavuus

Osana tuotteistamisprojektia on tehty agrologi (AMK) –opinnäytetyö, jossa KSP-liete todetaan käyttökelpoiseksi lannoitevalmisteeksi ja tuotteelle pystyttiin luomaan tuoteseloste (Jaukkuri ja Manninen, 2009). Luonnollisesti KSP-lietteen käyttömahdollisuuksiin vaikuttavat hygieniaominaisuudet (esim. MMM 2003).

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

1. Lannoitevaikutukseltaan typpi- ja kaliumlannoituksella täydennetty Iisalmen vesilaitoksen kalkkistabiloitu puhdistamoliete (KSP-liete) vastasi mineraalilannoitteita. Koska fosforia ei ollut tarpeen täydentää, oli KSP-liete ensisijaisesti fosforilannoite, ja viljelykierron aikana on mahdollista saada selvä säästö fosforilannoituksen määrässä ja kustannuksissa. Ohran osalta KSPL on myös N- ja K-lannoite kun taas nurmiviljelyssä KSP-lietteen rooli typen ja kaliumin osalta jäi vähäiseksi.

2. Nurmella KSP-liete vaikutti maan viljavuuteen lisäämällä fosforin, rikin ja kalsiumin määrää maassa sekä nostamalla maan johtolukua, jotka ovat kaikki edullisia vaikutuksia, paitsi jos maan viljavuusfosforin pitoisuus on jo korkea.
3. KSP-lietteellä oli maassa myös lievä kalkitseva vaikutus joka vastasi hyvin sen sisältämän kalkin määrää. Maan happamuuden vähentyminen parantaa maan fosforivarojen käyttökelpoisuutta.
4. KSP-lietteen käyttö nurmen ja ohran lannoitteena ei tutkimuksen mukaan lisää maan raskasmetallipitoisuuksia. Ainoastaan kromin ja lyijyn pitoisuus oli nurmella vuonna 2010 suurempi puhdistamolietettä saaneessa käsittelyssä. Lietteen elohopea- ja nikkelipitoisuus voi rajoittaa sen toistuvaa vuosittaista käyttöä.
5. On huomionarvoista, että KSP-liete sisältää raskasmetalleiksi luokiteltavia alkuaineita, jotka toisaalta ovat peltoviljelyssä arvokkaita hivenravinteita. Esimerkiksi kuparista ja sinkistä on suomalaisessa viljelymaassa usein puutetta. Siten KSP-liete voi toimia myös hivenlannoitteena. Joskin lietteen kupari- ja sinkkipitoisuus on kuitenkin melko pieni.
6. Ohran viljelyssä KSP-lietteen ravinnetaseet liukoisten ravinteiden osalta ovat likimain samansuuruiset kuin NPK-lannoitetuilla koejäsenillä mutta kokonaisravinteiden osalta N- ja P-taseet ovat selvästi suuremmat. Toistuvassa käytössä kokonaisfosforin vuositase muodostuu epätoivottavan korkeaksi ja siksi KSP-lietettä ei tulisi käyttää korkean fosforitilan mailla.
7. KSP-lietteen analyysituloksen liukoisen fosforin tulos aliarvio selvästi lieteen fosforiin käyttökelpoisuutta, mutta MMM:n ohjeen mukaan laskettu liukoisen P:n arvo ($\text{liukoinen P} = 0.40 \times \text{kokonais-P}$) ei ainakaan yliarvioi KSP-lietteen fosforin käyttökelpoisuutta.
8. Yleisesti kalkkistabiloitujen jätevesilietteiden lannoitusvaikutuksesta on Suomessa niukasti viljelykokeisiin perustuvia tietoja. Nurmen osalta tämä tutkimus jäi vajavaiseksi nimenomaan ravinnetaseiden ja raskasmetallin osalta. jatkossa on olisi myös otettava huomioon orgaaniset haitta-aineet kuten hormonit ja lääkejäämät.

LÄHTEET

- Halinen, A., Palojärvi, A., Karinen, P., Heinonen-Tanski, H., Tontti, T.. 2006. Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä - biologiset ja kemialliset vaikutukset. Maa- ja elintarviketalous 81: 105 s.
- Halinen, A. ,Tontti, T. 2004. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT:n selvityksiä 70. 62 s
- Hyrkäs, M. Virkajärvi, P. Rätty, M., Luostarinen, S., & Pyykkönen, V. 2014 Biokaasulaitoksen mädätysjäännös nurmen oja ohran lannoitteena. Teoksessa: Kuisma, R., Schulman, N., Kymäläinen, H.-R. & Alakukku, L.(toim). Maataloustieteen päivät 2014. Esitelmä- ja posteritivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 31. p 326.
- Jaukuri, H. & Manninen, H. 2009. KALAKKI - Kalkkistabiloidun puhdistamolietteen tuotteistaminen lannoitteeksi. Opinnäytetyö. SAVONIA AMK. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma 54. s.
- Jaakola, A. 1996. Kasviravitsemus – Teoksesta: Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakola, A. & Kempainen, E. Maan, viljely ja ympäristö. WSOY. Porvoo.
- Jokinen, R. 1990a. Effect of phosphorus precipitation chemicals on characteristics and agricultural value of municipal sewage sludges. 2. Effect of sewage sludges on yield, element contents and uptake by spring barley. Acta Agriculturae Scandinavica 40: 131-140.
- Jokinen, R. 1990b. Effect of phosphorus precipitation chemicals on characteristics and agricultural value of municipal sewage sludges. 1. Characteristics of Ca, Al and Fe precipitated sewage sludges. Acta Agriculturae Scandinavica 40: 123-129.
- Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, Å. & Sæbø, A. 2005. Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil. Ecological Engineering25: 51-60.
- Lehto, M., Suominen, K., Tyrväinen, U., Tontti, T. 2013. Puhdistamolietteen laadun hallinta. In: Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. ProAgria Keskusten Liitto. p. 9-13.
- Lehtonen, K., Tontti, T. & Kuisma, M. 2003 Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasviutuotannossa. Maa- ja elintarviketalous 28. Data Com Finland Oy. Jokioinen.
- Mikola, A., Puhakka, E.-L. & Rautiainen, J. 2007. Kalkkistabiloinnin toinen näytös?. Vesitalous 372007 p 22-26.
- MMM 2003. Sewage sludge and sludge products for agricultural use - a study on hygienic quality. Vuorinen, A. (toim.). Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/2003. 62 p.
- MMM 2012. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. Saaravana: <http://www.finlex.fi/data/normit/39202-12012fi.pdf>
- MMM 2013. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. [Verkkajulkaisu] Saatavana: http://www.mmm.fi/attachments/elo/newfolder/lannoiteaineet/6J0IEpdSu/Puhdistamolietteen_kaytto_maataloudessa.pdf
- Nykänen-Kurki, P., Mäkelä-Kurto, R., Mäkinen-Aakula, M., Totti, T. & Mäntylähti, V. 2001. Mikkelin kaupungin puhdistamolietteen käyttömahdollisuudet maataloudessa. MTT:n julkaisuja. Sarja A. 38 s.
- Salo, T., Ylivainio, K., Partanen, K. Rinne, M., Nousiainen, J, Kapuinen, P, Esala, M., Peltonen, S. & Valaja, J. 2011. Lannan lannoituskäytön kehittäminen ja ravinteiden tehokas käyttö. Teoksessa: Luostarinen, S. Logrén, J., Grönroos, J., Lehtonen, H., Paavola, T., Rankinen, K., Rintala, J., Salo, T., Ylivainio, K. & Järvenpää, M. Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT Raportti 21. Jokioinen. 123 s.

- Salo, T., Kapuinen, P & Tontti, T. 2012. Testimenetelmät uusien orgaanisten lannoitevalmisteiden lannoitusvaikutusten määrittämiseen. Teoksessa: Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Schulman, N. ja Kauppinen, H. (toim.). Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 7 p
- 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
- Tontti, T., Kangas, A., Högnäsbacka, M. 2010. Yhdyskuntajätteen ravinteet pellolle ja viheralueelle Mädätepohjaiset lannoitevalmisteet käytännön kokeissa vuosina 2008-2009. MTT Raportti 10: 57 s.
- Tontti, T., Poutiainen, H, Heinonen-Tanski, H. 2012. 6. Puhdistamolietetuotteet peltokasvikokeissa. Teoksessa: Modernit menetelmät yhdyskuntien jätevedenkäsittelyn tehostamisessa. Poutiainen, H. ja Heinonen-Tanski, H. (toim.). Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja 1/2012: 57-102.
- Tontti, T , Salo, T., 2013 Puhdistamolietepohjaisten lannoitevalmisteiden soveltuminen viljelyyn. Teoksessa: Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. ProAgria Keskusten Liitto. p. 6-8.
- Ylivainio, K. & Kapuinen, P. 2012 Jätevesilietefosforin liukoisuus maassa. Teoksessa: Maataloustieteen Päivät 2012, 10.-11.1.2012 Viikki, Helsinki : esitelmät, posterit. Schulman, N. ja Kauppinen, H. (toim.). Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28: 7 p
- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P., Turtola, E.. 2009. Phosphorus fertilization: a meta-analysis of 80 years of research in Finland. Agriculture, ecosystems & environment 130 3-4: 75-85.
- VnP 282/1994. Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Saatavana: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1994/19940282>
- VnP 931/2000. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. Saatavana: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000931>
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeology 63: 144.

LIITTEET

Taulukko 1. Tutkimuskauden 2008 -2010 ja vertailukauden (1971 -2000) sääolosuhteet Maaningalla: lämpötila, sademäärä ja lämpösumma.

	Lämpötila				Sademäärä			
	2008	2009	2010	1971 -2000	2008	2009	2010	1971 -2000
Toukokuu	8.3	10.6	11.4	8.5	14	29	54	42
Kesäkuu	13.2	13.4	13.4	14.3	88	36	74	66
Heinäkuu	15.3	16.3	21.5	16.5	132	51	10	74
Elokuu	12.8	15.3	15.9	14.0	103	66	58	84
Syyskuu	7.9	11.4	10.1	8.8	25	20	60	56
	Tehoisa lämpösumma > 5 °C							
	2008	2009	2010	1971 -2000	2008	2009	2010	1971 -2000
Touko- syyskuu	1012.6	1290.0	1456.6	1171.0	361	201	255	322
ohra	826.4	1005.6	1007.3		327	156	98	
nurmisato 1	708.1	332.0	288.9		282	68	92	
nurmisato 2		605.1	889.0			80	36	

Taulukko 2. Maan viljavuus nurmella kokeen alussa 2008.

käsittely	N	C	C/N	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johtoluku
	%	%				mg/l				10 ⁻⁴ S/cm
kontrolli	0.46	7.7	16.8	4.3	179.8	12.0	2042.8	222.0	6.0	0.75
KSPL	0.46	7.7	16.9	4.1	180.5	12.6	2075.5	225.8	6.0	0.73
NPK	0.50	8.4	17.0	4.0	183.5	13.0	2082.3	219.8	6.0	0.87
NPK + kalkki	0.45	7.6	17.0	4.0	185.3	12.2	2102.8	227.0	6.0	0.92
SEM	0.046	0.78	0.19	0.21	12.42	0.91	80.20	6.56		0.09
p	0.44	0.42	0.43	0.52	0.97	0.72	0.74	0.80	0.80	0.22

Taulukko 3. Maan viljavuuden muutos nurmella vuosina 2008-2010

käsittely	N	C	C/N	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johto-luku
	%	%				mg/l				10 ⁻⁴ S/cm
kontrolli				-0.28 ^a	-73.1	5.3	221.7 ^a	17.2	-0.29 ^{ab}	0.28 ^a
KSPL	-0.04	-0.26	0.94	2.61 ^b	-84.9	44.7	1293.3 ^b	6.6	0.21 ^a	1.47 ^b
NPK	-0.05	-0.57	0.52	0.43 ^a	-82.7	26.2	181.7 ^a	9.9	-0.34 ^b	0.68 ^{ac}
NPK + kalkki				1.49 ^c	-87.4	38.2	963.3 ^c	5.1	0.02 ^{ab}	1.20 ^{cb}
SEM	0.016	0.242	0.129	0.225	10.80	11.65	60.98	7.28		0.157
p	0.70	0.46	0.15	<0.001	0.80	0.12	<0.0001	0.64	0.041	0.006

*muutos laskettu 2010 – 2008

Taulukko 4. Maan viljavuus ohralla kokeen alussa 2008.

käsittely	N	C	C/N	P	K	S	Ca	Mg	pH	Johtoluku
	%	%				mg/l				10 ⁻⁴ S/cm
kontrolli	0.48	8.1	17.2	4.4	178.3	12.5	2311.8	234.0	6.2	0.99 ^a
KSPL	0.46	7.8	16.9	4.6	179.3	11.5	2389.3	243.0	6.2	0.88 ^{ab}
NPK	0.45	7.8	17.2	4.2	174.5	11.8	2292.0	238.8	6.1	0.74 ^b
NPK + kalkki	0.47	8.0	16.9	4.4	172.8	11.7	2261.0	233.5	6.1	0.79 ^b
SEM	0.041	0.69	0.19	0.22	14.86	0.84	83.77	7.42		0.075
p	0.76	0.79	0.28	0.43	0.79	0.17	0.65	0.62	0.46	0.005

Taulukko 5. Maan raskasmetallipitoisuus (mg/kg maata) nurmella kokeen alussa.

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
kontrolli	6.125	0.28 ^a	61.875	49.4	0.09	29.2	10.5	77.7
KSPL	6.075	0.26 ^{ab}	62.575	48.3	0.09	29.7	10.2	78.2
NPK	5.925	0.27 ^a	61	50.7	0.10	29.6	10.9	76.2
NPK + kalkki	5.825	0.22 ^b	62.45	48.6	0.09	29.8	11.7	78.2
SEM	0.2367	0.02	1.9432	2.0098	0.004947	0.5363	0.4212	2.0463
p	0.67	0.0175	0.60	0.48	0.24	0.53	0.07	0.59

Taulukko 6. Maan raskasmetallipitoisuuksien muutos*(mg/kg maata) nurmella vuosina 2008 -2010

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
KSPL	0.04	0.01	-10.3	-2.6	-0.002	3.7	3.1	-7.4
NPK	0.52	-0.06	-9.4	-3.1	-0.02	-1.5	-0.1	-9.2
SEM	0.437	0.040	0.68	1.08	0.01	1.70	0.54	1.36
p	0.31	0.37	0.45	0.80	0.21	0.16	0.05(*)	0.21

*muutos laskettu 2010 – 2008

Taulukko 7. Maan raskasmetallipitoisuus (mg/kg maata) ohralla kokeen alussa.

käsittely	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
kontrolli	6.3	0.34 ^a	56.5 ^a	46.5	0.08 ^a	30.0 ^a	10.6	72.1 ^a
KSPL	6.2	0.29 ^{ab}	59.5 ^{ab}	47.1	0.09 ^{ab}	31.0 ^{ab}	9.6	76.1 ^b
NPK	6.0	0.30 ^{ab}	61.4 ^b	49.7	0.10 ^b	31.6 ^b	10.4	76.5 ^b
NPK + kalkki	6.0	0.24 ^b	59.7 ^{ab}	48.7	0.09 ^{ab}	31,0 ^{ab}	10.7	75.5 ^{ab}
SEM	0.21	0.02	1.76	2.003	0.004	0.74	0.524	1.619
p	0.53	0.007	0.019	0.38	0.019	0.045	0.45	0.016

ISBN
Maaninka 2014