



# jamk

## Polysulfaatin vaikutus nurmiviljelyssä

Heikki Kinnunen

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Maaliskuu 2024

Luonnonvara-ala

Biotalouskehittämisen tutkinto-ohjelma

**Kinnunen Heikki**

### **Polysulfaatin vaikutus nurmiviljelyssä**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Maaliskuu 2024**, 40 sivua

Luonnonvara-ala. Biotalous kehittäminen. Ylempi ammattikorkeakoulututkinto. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Ilmastonmuutoksen torjunta vaatii toimenpiteitä kaikilla toimialoilla. Maatalouden tulee pystyä tuottamaan riittävä määrä ravintoa ihmispopulaatiolle, mutta samalla maatalouden tulee tehdä se entistä kestävämmiin ja tehokkaampiin. Keskeisessä osassa maatalouden ilmastotyötä on resurssitehokkuuden kehittäminen. Perinteisessä länsimaaisessa tehoviljelyssä pyritään maksimoimaan pellolta saatava tuotto käyttämällä runsaita määriä lannoitteita ja kasvinsuojeluaineita. Tuotantopanosten käytön tehostamisella ja entistä tarkemmalla käytöllä voidaan osaltaan vähentää maataloudesta aiheutuvaa ympäristön kuormitusta. Rikin aiheuttamien ympäristöhaittojen takia lainsäädännöllä on puututtu rikkipäästöihin, jonka seurauksena rikkilaskelma on pienentynyt merkittävästi 1980-luvun huippu-tasoihin. Tämä on johtanut peltojen rikkitasen heikkenemiseen ja rikkilannoituksen tarpeen kasvuun. Tutkimuksessa selvitettiin, millaisia vaikutuksia rikkilannoituksella on nurmen viljelyssä.

Tutkimus toteutettiin määrällisenä kokeellis-vertailevana tutkimuksena. Kokeessa perustettiin kolme koe-kaistaa, jotka lannoitettiin typpi, kalium ja fosforitasoillaan toisiaan vastaavasti. Kaistojen lannoitukset erosivat rikin osalta. Ensimmäiselle kaistalle rikki annettiin keväällä kerta-lannoituksena polysulfaatti-lannoitteella, toiselle perinteisen lannoituksen kaistalle rikki lannoitettiin typpirikki-seoslannoitteella jaettuna tasaisesti kahdelle sadolle ja kolmannelle kaistalle ei rikkiä lannoitettu kokeenaikana ollenkaan.

Tutkimuksessa perehdyttiin eri maissa tehtyihin tutkimuksiin ja näissä ympäri maailmaa tehdyissä tutkimuksissa on havaittu rikin vaikuttavan kasvien typenkäyttöön tehostavasti. Kokeen tulokset vastaavat hyvin aiempia tutkimuksia rikkilannoituksen satotasoa nostavasta vaikutuksesta. Rikkilannoitus lisää typen hyväksikäyttöä nurmikasvustossa ja lisää kokonaissadon määrää. Polysulfaatin kertalevytyksellä keväällä toi vastaavan satovasteen kuin jaettu rikkilannoitus perinteisellä seoslannoitteella. Nurmisadonlaatuun ei rikkilannoituksella havaittu olevan kytköstä.

Tasapainoinen rikkilannoitus on tärkeää ja kannattavaa ravinteiden tasapainoisen käytön edistämiseksi. Suurimmassa osassa Suomessa myytävistä lannoitteista on riittävästi rikkiä kasvien tarpeisiin, mutta karjanlannan käytön tehostamisessa rikillä voi olla suuri merkitys sillä karjanlannan rikki ei ole kasveille käyttökelpoisessamuodossa. Tutkimusta olisi hyvä jatkaa tutkimalla rikkilannoituksen vaikutusta karjanlannan typen hyväksikäyttöön.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Rikki, lannoitus, nurmet, maatalous

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Ei salassa pidettäviä tutkimustuloksia

**Kinnunen Heikki**

### **Effect of polysulphate on grassland farming**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, March 2024, 40 pages.

Natural resources. Master's Degree Programme in Bioeconomy Development. Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

Combating climate change requires action across all sectors. Agriculture must be able to produce enough food for the human population, but at the same time it must do it in a more sustainable and more efficient way. A key part of agriculture's climate work is to develop better resource efficiency. Traditional Western intensive farming seeks to maximize the yield from the field by using large amounts of fertilizers and pesticide. Improving the efficiency and precision of input use can contribute to reducing the environmental burden of agriculture. In response to the environmental damage caused by sulfur, legislation has been introduced to tackle sulfur emissions, resulting in a significant reduction in sulfur deposition from its peak levels in the 1980s. This has led to a decline in the sulfur balance of fields and an increase in the need for sulfur fertilization. The study investigated the effects of sulfur fertilization in grassland.

The study was conducted as a quantitative experimental-comparative study. Three experimental strips were established and fertilized with nitrogen, potassium and phosphorus levels corresponding to each other. The fertilization of the strips differed with respect to sulfur. In the first band sulfur was applied in the spring as a single application with a polysulphate fertilizer, in the second band sulfur was applied with a nitrogen-sulfur blend fertilizer divided equally between for both harvests and in the third band no sulfur was applied during the experiment.

The study reviews research conducted in different countries and these found that sulfur has a beneficial effect on nitrogen use by plants. The results of the experiment agree with previous studies that the effect of sulfur fertilization is increasing harvested yields. Sulfur fertilization increases nitrogen uptake by the grass crop and increases the overall yield. A single application of polysulphate in spring gave a yield response like that of a split application of sulfur with a conventional mixed fertilizer. No link was found between sulfur fertilization and grass yield quality.

Balanced sulfur fertilization is important and worthwhile in promoting a balanced use of nutrients. Most of the fertilizers sold in Finland contain enough sulfur to meet the needs of plants, but sulfur can play a major role in improving the efficiency of livestock manure use, as the sulfur in livestock manure is not in a form that plants can use. It would be interesting to continue research about the effect of sulfur fertilization on the plants ability to use nitrogen from livestock manure.

### **Keywords/tags (subjects)**

Sulfur, fertilizers, grasslands, agriculture

### **Miscellaneous (Confidential information)**

No confidential research results

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Nurmiviljely.....</b>	<b>7</b>
2.1	Nurmituotanto .....	7
2.2	Nurmen ravintoaineet.....	9
2.3	Lannoitus.....	10
2.4	Kasvutekijät ja ravinteet.....	12
2.5	Polysulfaatti.....	15
2.6	Rikki .....	16
<b>3</b>	<b>Tutkimus .....</b>	<b>22</b>
3.1	Tutkimuskysymykset .....	23
3.2	Tutkimuksen toteutus .....	23
3.3	Tutkimuksen luotettavuus .....	26
<b>4</b>	<b>Tutkimustulokset.....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Johtopäätökset.....</b>	<b>34</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>36</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>40</b>
	Liite 1. Näytetulokset Valma rehulaboratorio .....	40
<b>Kuvat</b>		
	Kuva 1 Lannoitekaistan merkintä viitoin.....	24
	Kuva 2 Osanäytenottokehikko .....	25
	Kuva 3 Näytteen punnitseminen .....	26
	Kuva 4 Kasvusto ennen ensimmäistäkorjuuta .....	29
<b>Kuviot</b>		
	Kuvio 1 Ensimmäisen sadon määrän kehitys.....	28
	Kuvio 2 Toisen sadon määrän kehitys.....	28
	Kuvio 3 Raakavalkuaisen kehitys ensimmäisellä sadolla .....	30
	Kuvio 4 Raakavalkuaisen kehitys toisella sadolla.....	30
	Kuvio 5 Kuidun kehitys ensimmäisellä sadolla.....	31

Kuvio 6 Kuidun kehitys toisella sadolla .....	31
Kuvio 7 Rehun sulavuuden kehitys .....	32
Kuvio 8 Rehun sulavuuden kehitys toisella sadolla .....	32

# 1 Johdanto

Ympäristötilan parantaminen ja ilmastonmuutos ovat aikamme suuria haasteita joihin ihmiskunta pyrkii löytämään ratkaisuita. EU:n pyrkii ilmastoneutraaliksi vuoteen 2050 mennessä ja tätä ennen vuonna 2030 tavoite on pudottaa päästöjä 55 % vuoden 1990 tasosta. Suomessa hiilineutraalius tavoite on asetettu vuoteen 2035. (Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta 2022, 42.) EU:n yhteisellä maatalouspolitiikalla pyritään vähentämään maatalouden päästöjä. Tämän lisäksi toteutetaan kansallisia toimia, joilla maatalouden päästöjä pyritään vähentämään EU-maissa nopeammassa tahdissa. Maatalouden päästöjen vähentämiseksi Suomessa säädettiin kansallinen ilmastoruokaohjelma, jolla pyritään tukemaan siirtymistä kasvis ja kalaperäiseen ruokaan tukemalla julkisenpuolen ilmastoystävällisempiä elintarvike hankintoja. (Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta 2022, 29.)

Samaan aikaan eläinperäinen tuotantomme pyrkii omatoimisesti vähentämään päästöjään. Suomessa maidon ja lihan tuotannon päästöt ovat jo nyt maailman mittakaavassa pienet. (Jaakkonen 2019.) Valio tavoittelee hiilineutraalia maitoketjua vuoteen 2035 mennessä (Tavoitteena hiilineutraali ruokaketju – Valio, Atria ja Luonnonvarakeskus rakentavat kansallista mallia maidon- ja naudanlihantuotannon hiilijalanjäljen laskentaan 2021). Myös atria pyrkii hiilineutraaliin ruokaketjuun vuoteen 2035 mennessä (Kohti hiilineutraalia ruokaketjua. N. d.). Maassamme pyritään siis tuottamaan maitoa ja lihaa hiilineutraalisti vuonna 2035 tähän tavoitteeseen pääseminen vaatii kuitenkin paljon työtä ja innovaatiota, johon tämäkin tutkimus osaltaan pyrkii vastaamaan.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää rikkilannoituksen vaikutuksia nurmen tuotannossa. Lannoitteet kuormittavat ympäristöä monin tavoin, mutta ovat tärkeä osa tehokasta ruuan tuotantoa, joten niiden käytön tehostaminen ja optimoiminen on tulevaisuudessa entistä tärkeämpää. Fan kertoo (2010, 3–4) Kiinassa tehdyissä rikkilannoitus kokeista havaitun rikillä olevan merkittävä positiivinen vaikutus kasvien ravinteiden käyttöön etenkin typen ja fosforin kohdalla.

Työn tavoitteena on verrata polysulfaatti lannoitteena annettua rikkilannoitusta perinteiseen seoslannoitteen mukana annettavaan rikkilannoitukseen. Työssä tehdään myös nolla rikki koe, jota verrataan rikkilannoitettuihin kaistoihin. Polysulfaatti lannoitteen etuna on sen soveltuvuus luomutuotantoon ja mahdollisuus lisätä kasvustontarvitsema rikki karjanlannalla lannoitetuilla pelloilla. Oleellimmat kysymykset työssä ovat: Havaitaanko polysulfaattilannoituksella ja perinteisellä

typpi rikki lannoitteella eroja sadon määrässä tai laadussa? Ja millainen merkitys rikkilannoituksella on nurmen viljelyssä?

Tutkimus tehdään kokeellis-vertailevana tutkimuksena, jossa pyritään poistamaan mahdollisimman tehokkaasti kaikki ei-halutut muuttujat ja vertailemaan koe-kaistoja keskenään (Kokeellinen tutkimus 2015; Vertailevatutkimus 2015). Tutkimus toteutetaan kaistakokeena koelohkolla. Lohkoille perustetaan kolme lannoituskaistaa, lohkon sisällä kaistat peruslannoitetaan N P K (typpi, fosfori, Kalium) ravinteiden osalta toisiaan vastaaviksi. Rikki-lannoitus sen sijaan toteutetaan kaistoilla toisistaan poikkeavasti. Näin pyritään saamaan mahdollisimman vertailukelpoiset kaistat rikkilannoituksen tutkimukseen.

## 2 Nurmiviljely

Suomen ilmasto-olosuhteet ovat otolliset nurmituotannolle ja Suomen pelloista kolmannes soveltuu parhaiten nurmentuotantoon. Nurmi on tehokas ravinteiden ottaja ja nurmen tehokasta ravinteiden ottoa voidaan hyödyntää ympäristötilan parantamiseen ehkäisemällä ravinteiden valuntaa nurmen tehokkaan ravinteiden sidonnan avulla. Nurmiviljelyllä voidaan vaikuttaa ympäristön tilaan myös ilmastonmuutosta ehkäisevästi sitomalla maaperään hiiltä. Hiilensidonnassa nurmi on erinomainen kasvi, sen laaja juuristo parantaa maan kasvukuntoa ja auttaa maan mikrobeja sitomaan maaperään mikrobihiiltä. Nurmituotannon haasteena on, ettei nurmea sellaisenaan voida hyödyntää ihmisten ravintona. (Paananen 2022.)

### 2.1 Nurmituotanto

Märehtijät pystyvät hyödyntämään nurmea ravinnokseen (Ansalehto, Huuskonen, Jaakkola, Kainulainen, Kurki, Kyntäjä, Mero, Niemeläinen, Niskanen, Niskanen, Nousiainen, Nykänen, Nysand, Pakarinen, Peltonen, Puurunen, Rinne, Saarijärvi, Sairanen, Suokangas, Toivakka, Vallinhovi ja Virkajärvi. 2010, 4). Nauta on Suomessa kasvatettava kotieläin, joka kykenee käyttämään nurmen energian ja valkuaisen ravinnokseen. Suomessa kasvatetaan lypsyrotuisia ja liharotuisia nautoja, joiden avulla nurmen ravintoaineet saadaan ihmiselle käyttökelpoiseen muotoon maito ja liha tuotteiksi. (Suomalainen nauta 2020.)

Maidontuotannossa koko tuotannon kustannuksista toiseksi suurin kuluerä on nautojen ruokinta, tästä ruokintakustannuksesta puolet koostuu nurmirehusta ja sen tuotannon kustannuksista. Koska nurmirehuntuotannon kustannukset muodostavat näin merkittävän osa koko tuotannon kustannuksista on nurmirehun tuotannon tehokkuudella suuri vaikutus tuotannon kannattavuuteen. (Ansalehto ym. 2010, 4.) Tehokkaan ja taloudellisen tuotannon perustana on tarvittavan rehumäärän eli rehuntarpeen laskenta. Tarvittava rehumäärä saadaan kertomalla eläinten päivittäin kuluttama rehumäärä syöttöpäivillä. Tarvittavan nurmiviljely pinta-alan laskemiseksi tulee rehuntarpeen lisäksi tietää tai arvioida minkä suuruista rehusatoa pelloilta saadaan. Suomen nurmien satotasoissa esiintyy suurta vaihtelua, maamme keskimääräinen nurmen satotaso on 3000 kg ka/ha. (Ansalehto ym. 2010, 7.) Satopotentiaalia oikein hoidetuissa nurmissa on jopa neljäntoista tuhannen kilon kuiva-ainesatoon hehtaarilta (Anttila-Lindeman 2017). Nurmesta saatavan sadon määrään vaikuttavia tekijöitä on useita. Nurmen tiheydellä on suuri vaikutus nurmen satopotentiaaliin, mikäli kasvusto on harva tai aukkoinen alentaa se satopotentiaalia. Monivuotisten nurmien satotaso laskee nurmen vanhetessa, erityisen suuri sadon alenema on havaittavissa kolmannen satovuoden jälkeen. Nurmilajikkeiden jalostuksella on lajikkeiden satopotentiaalia pystytty nostamaan, lisäksi nurmiseoksilla voidaan täydentää nurmen kokonais-sadontuotto kykyä. Uudet lajikkeet pystyvät hyödyntämään suurempia määriä ravinteita, verrattaessa vanhempiin lajikkeisiin. Jotta uusien lajikkeiden parempi sadontuottokyky voidaan hyödyntää tarvitsevat ne myös suuremman lannoitusmäärän. (Ansalehto ym. 2010, 11–14.)

Nurmea voidaan hyödyntää eläinten ravintona joko laiduntamalla karjaa pellolla (Ansalehto ym. 2010, 21–22). Tai korjaamalla ja säilömällä rehu myöhempää käyttöajankohtaa varten. Nurmea voidaan säilöä kuivaamalla se kuivaheinäksi, jonka kosteus on alle 15 %. Haitalliset rehun pilaantumista aiheuttavat mikrobit tarvitsevat vettä kasvaakseen ja toimiakseen. Säilötyn nurmen kuiva-aineen ollessa alle 15 % eivät nämä haitta mikrobit kykene toimimaan. (Ansalehto ym. 2010, 87–91.) Kuivaheinän viljely määrä on pienentynyt merkittävästi ja lähes kaikki nautojen nurmirehu säilötään nykyaikana säilörehuksi. Syynä säilörehun suosion nousuun on säilörehuksi säilötty nurmen kyky säilyttää ravintoaineet kuivaheinää paremmin, sekä korjuuteknisesti tehokkaampi kokonaisuus. (Helaakoski 2002.)

Heikkilä, Jaakkola ja Saarisalo kertovat säilörehun säilönnän perustuvan rehua pilaavien mikrobien toiminnan estämiseen happamalla ja hapettomalla säilöntäolosuhteella. Rehun happamuutta eli

pH:ta lasketaan hallitulla maitohappokäymisellä. Maitohappokäymistä pyritään edistämään käytämällä säilöntäaineita, jotka tukevat rehun luontaista maitohappokäymistä. Rehun hapettomuus toteutetaan eristämällä rehu ilmasta happea läpäisemättömällä muovilla. (Heikkilä, Jaakkola & Saarisalo 2010, 2.) Haittamikrobeista osa toimii vain hapellisissa olosuhteissa ja osa taas myös hapettomissa olosuhteissa. Rehun säilönnän onnistumiseksi onkin siis tärkeää saada rehun pH riittävän alas ja ylläpidettyä hapeton olosuhde koko säilönnän ajan. Rehun nopea korjuu, huolellinen tiivistäminen ja nopea sulkeminen hapettomaan tilaan minimoivat rehun aerobisten haittamikrobien kasvun. PH:n nopea lasku taas estää ilman happea toimivien anaerobisten haittamikrobien toiminnan säilönnän aikana. Haittamikrobien toiminnan estäminen on tärkeää sillä virheikäymisessä haittamikrobit käyttävät rehun ravintoaineita ja näin heikentävät rehun ruokinnallisia arvoja. (Ansalehto ym. 2010, 88–89.)

## 2.2 Nurmen ravintoaineet

Nurmikasvit tuottavat runsaasti versoja, jotka muodostavat nurmi kasvuston. Näiden versojen kehitys aste vaikuttaa nurmen energia ja ravintoarvoihin, sekä sadon määrään. Nurmen versoilla on kolme kasvuvaihetta: vegetatiivinen, korrellinen vegetatiivinen ja generatiivinen verso. Nuorin verso on vegetatiivinen, tässä kasvuvaiheessa kasvin kasvupiste on lähellä maan pintaa ja kasvi kasvattaa lehtiä, sekä muodostaa uusia lehtiä. Seuraavassa kehitysvaiheessa kasvi alkaa kasvattaa kortta ja muodostaa edelleen uusia lehtiä kasvupisteestä korren yläosasta. Tässä vaiheessa versoa kutsutaan korrelliseksi vegetatiiviseksi versoksi. Kolmannessa generatiivisessa kehitysvaiheessa kasvi ei enää tuota uusia lehtiaihioita vaan siirtyy tuottamaan kukkaa. (Ansalehto ym. 2010, 25–26.)

Nurmen korjuu ajankohta määrittää saatavaa sadon määrän ja sadon laadun. Myöhäisessä korjuussa kasvusto on vanhempaa ja saatava kokonais-satotaso on korkeampi, mutta sadon sulavuus arvo laskee ja korjatun sadon energia arvo laskee. Liian aikaisessa korjuussa taas kasvusto on nuorta nopeankasvun vaiheessa olevaa, jolloin menetetään satopotentiaalia. (Ansalehto ym. 2010, 71–72.) Nurmen vanhetessa sen sulavuus heikkenee. Sulavuuden heiketessä eläimen kyky hyödyntää sen ravintoaineita heikkenee ja näin hyödynnettävän energian määrä kasvissa laskee. Nurmen vanhetessa nurmi käyttää valkuaisista kasvuunsa ja sen sisältämä valkuaisen määrä laskee. (Rehutaulukot n.d.) Nurmen sulavuutta kuvataan d-arvolla. D-arvo on nurmen sulavan orgaanisen ai-

neen määrää grammoina kilossa kuiva-ainetta. Nurmen sisältämä Energian ilmoitamme Me yksikössä. Me arvon saamme kertomalla d-arvo luvulla 0,016. Esimerkkinä lasketaan d-arvoltaan 700 olevan nurmen energia arvo seuraavasti:  $700 \cdot 0,016 = 11,2$  Me. (Näin lasket märehitijöiden rehuarvot n.d.)

### 2.3 Lannoitus

Kasvaakseen kasvi tarvitsee ravinteita, joita se saa maasta juurillaan sekä yhteyttämällä auringonvalosta. Lannoituksen tarkoitus on taata kasvin riittävä ravinteiden saanti, jotta pellolta saadaan maksimaalinen sato. Lannoitusta voidaan toteuttaa kylvölannoituksena, pinta lannoituksena ja lehtilannoituksena. Kylvölannoitusta käytetään kylvön yhteydessä. Tällöin lannoite kylvetään siemenen lähelle maahan, josta kasvi saa sen juurillaan nopeasti käyttöönsä. Pinta lannoituksessa lannoite levitetään maan pintaan, josta se ilmankosteuden ja sadeveden mukana imeytyy maahan juurien ulottuville. Lehtilannoituksessa lannoite levitetään kasvustoon, josta se imeytyy kasvien käyttöön kasvin lehtien kautta. (Mäkelä & Mikkola 1987, 1–2.)

Lannoituksen onnistuminen on kiinni levityksen tarkkuudesta. Lannoittamaton ja alilannoitettu osa kasvustosta tuottaa vähemmän satoa, kuin sopivasti lannoitettu. Ylilannoitus edesauttaa ravinnehuuhtoumien syntyä ja aiheuttaa kasvuston lakoontumista. Lakoontuneesta kasvustosta voi aiheutua jopa isommat satotappiot kuin alilannoituksesta (Mäkelä & Mikkola 1987, 25–26.)

Nurmilla käytetyin levitysmuoto on pintalevitys, tähän työhön käytetään keskipakolevitintä. Keskipakolevittimessä on säiliö, josta lannoite valutetaan hallitusti levitinlautasille. Pyörivien levitinlautasten siivet heittävät lannoitteen keskipakovoiman avulla säädetylle työlevyelle. (Mäkelä & Mikkola 1987, 5.) Onnistuneessa levityksessä lannoitetta on tasaisesti haluttu määrä koko pellolla. Jotta lannoitetta saadaan haluttu määrä pellolle, tulee kone säätää oikein käytetyn lannoitteen mukaan. Eri lannoitteiden raekoko ja paino muuttavat lannoitteen lentorataa. Lannoitelajin muuttuessa tulee aina säätää kone kulloinkin levitettävän lannoitelajin mukaan. (Mäkelä & Mikkola 1987, 22.) Pellolla tapahtuvan levitystyön tulee olla huolellista, etenkin suuren työlevyden hallinta on tärkeää, jotta vältytään päällekkäislevitykseltä ja varmistutaan samalla kattavasta levityksestä. Lannoitetyön onnistumiseen vaikuttavat myös tuuliolosuhteet. Kova tuuli muuttaa lannoitteen lentorataa ennalta arvaamattomasti ja aiheuttaa epätasaisen lannoitejakauman pellolla. (Mäkelä

& Mikkola 1987, 13, 22.) Keskipakolevittimillä lannoitettaessa levityskuvion keskiosaan lentää enemmän lannoitetta kuin kuvion reunoille, tämä lannoitemäärän poikkeama eri työleveyksillä kompensoidaan levittämällä lannoitetta lomittain. Lomittain ajettaessa työleveyden reunassa oleva vähemmän lannoitetta saava alue tulee käsitellyksi kahteen kertaan, jolloin päällekkäislevityksellä saadaan tasainen lannoitemäärä koko levitysalalle. (Mäkelä & Mikkola 1987, 14.)

Tutkimuksessaan Hyrkäs, Hyvärinen, Rossi ja Rätty (2018) toteavat nurmen olevan tehokas ravinteiden käyttäjä ja pystyvän hyödyntämään tehokkaasti myös maaperän reservi ravinteita lannoituksen kautta annettujen ravinteiden lisäksi. Kaliumin ja fosforin käytöstä on havaittavissa maan reservi ravinteiden hyödyntäminen. Typen kokonaiskäyttö vastasi kokeessa hyvin lannoitetun typen määrää. Ravinnetaseita tarkasteltaessa nurmien kaliumin otto oli jopa kolmanneksen suurempaa verrattuna lannoitettuun kalium määrään. Tästä voitiin päätellä nurmien köyhdyttävän pellon kalium varoja. (Hyrkäs, Hyvärinen, Rossi & Rätty. 2018.)

Typpilannoituksella nostetaan pelloilta saatavaa satotasoa ja raakavalkuaispitoisuutta. Uusilla lajikkeilla typen hyväksikäytön on havaittu olevan tehokkaampaa verrattaessa vanhempiin lajikkeisiin. Kokeissa sato vaste on ollut entistä parempi myös suuremmilla lannoitemäärillä. Suuret lannoite-  
tasot eivät kokeissa ole näkyneet kasvuston merkittävästi kasvaneina valkuaispitoisuuksina, tästä voidaan päätellä kasvien hyödyntävän annetun typen tehokkaasti massan tuotantoon. (Hartikainen, Hyrkäs, Korhonen, Kyykkänen & Virkajärvi. 2017, 18–19.) Viljelijät lannoittavat peltojaan taloudellisista syistä. Lannoituksella saatava sadonlisä vähentää tarvittavan viljelyalan määrää ja näin alentaa myös korjuun kustannuksia muun muassa lyhempinä kuljetusmatkoina. Nurmen tuotannon ollessa yksi nautakarjakasvatuksen suurimmista kulueristä on lannoitus tärkeässä asemassa taloudellisesti kannattavassa tuotannossa.

Hyytiäinen, Koikkalainen, Palosuo, Salo ja Niemi (2012) kertovat ohralla tehtyjen lannoituskokeiden perusteella jaetun lannoituksen parantavan ympäristön tilaa ja vähentävän vesistöihin päätyvän ravinnekuperituksen määrää verrattaessa tavanomaiseen tapaan antaa koko kasvukauden lannoitus kertalannoituksena kylvön yhteydessä. Samalla he kuitenkin toteavat jaetun lannoituksen olevan viljelijän kannalta kannattamatonta jaetusta lannoituksesta aiheutuvien ylimääräisten kulujen takia. Jaetulla lannoituksella voidaan vähentää vesistön ravinnehuhtoumakuormaa antamalla typpeä kasville sen tarpeen mukaan pitkin kasvukautta. Tällöin kasvi käyttää annetun ty-

pen tehokkaammin hyväkseen ja huuhtoutumisaltiin typen määrä maassa säilyy pienempänä. Keväällä kylvön yhteydessä keralla annettua typpeä kasvi käyttää hiljalleen koko kasvukauden ja huuhtoutumisaltiin typen määrä maassa on suurempi kuin jaetun lannoituksen käytännössä. (Hyytiäinen, Koikkalainen, Palosuo, Salo ja Niemi. 2012, 1–2.)

## 2.4 Kasvutekijät ja ravinteet

Kasvin kasvutekijät voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin kasvutekijöihin. Sisäisiin kasvutekijöihin kuuluu kasvin laji ja lajike, ulkoisiin taas sää ja maaperä. Kasvi tarvitsee kasvuunsa valoa ja lämpöä näihin tekijöihin peltoviljelyssä vaikuttaa sää. Maaperän vaikutukset voidaan edelleen jakaa kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kemialliset ominaisuuden sisältävät maaperän sisältämät ravinteet ja maan happamuuden. Fysikaalisiin tekijöihin kuuluu maan rakenne, vesitalous, ilmavuus, mekaaninen vastus, lämpöominaisuudet, huokoisrakenne ja lujuusominaisuudet. Normaalissa peltoviljelyssä viljelijä voi vaikuttaa osaan näistä kasvutekijöistä. Pellon fysikaalisiin ominaisuuksiin kuten vesitalouteen viljelijä voi vaikuttaa ojituksella ja sen kunnossapidolla. Maan tiiviyteen ja kuohkeuteen viljelijä voi vaikuttaa rengastuksella ja valituilla muokkausratkaisuilla. Kemialliseen kasvukuntoon viljelijä vaikuttaa lannoituksella ja kalkituksella. Kaikkien kasvutekijöiden tulee olla kunnossa, jotta lannoituksesta saadaan parasmahdollinen hyöty. Heikoin kasvutekijä määrittää sadon maksimi potentiaalin, eikä satoa voida tästä nostaa korjaamatta heikointa kasvutekijää. (Alakukku, Jaakkola, Kari, Kleemola, Mäntylähti, Partanen, Peltonen, Puustinen, Savela, Sipiläinen, Tauriainen ja Yli-Halla. 2009, 7–8.)

Kasvaakseen siemenestä täysikasvuiseksi ja itämiskykyisiä siemeniä tuottavaksi kasvi tarvitsee ravinteita. Kasviravinteiksi kutsutaan niitä alkuaineita, joita ilman kasvi ei tähän kykene. Nämä ravinteet on jaettu makro ja mikroravinteisiin niiden kasvin tarvitseman ravinne määrän mukaan. Makroravinteisiin luetaan ravinteet, joita kasvi tarvitsee yli 10 kg / ha ja mikroravinteisiin ravinteet, joita kasvi tarvitsee alle kilon hehtaarilla. Näiden lisäksi puhutaan pääravinteista typpi, fosfori ja kalium näiden tarve kasvilla on selkeästi suurempi kuin muilla makroravinteilla. (Alakukku ym. 2009, 9.)

Kasvi luo veteen virtaavan liikkeen haihduttamalla vettä lehtiensä kautta, näin vesi liikkuu maassa juuria kohti ja juurista kasvin lehtiin. Maaperässä veteen liuenneet ravinteet kulkeutuvat vesivir-

tauksen mukana kasvin juuria kohti. Kasvi pystyy juurillaan valikoimaan tarvitsemansa ravinteet, tämä aiheuttaa juuriston lähellä olevan veden ravinnepitoisuuden laimenemisen muuhun ympäröivään maaperän veteen nähden. Maaperässä oleva vesi pyrkii luontaisesti diffuusiolla tasaamaan tämän liuosten väkevyyseron. Ravinteet liikkuvat diffuusion takia veden virtausta nopeammin ja vahvistavat näin juuriston ravinteiden saantia. Koska kasvin ravinteiden otto perustuu veden haihdutukseen ja ravinteiden kulkuun veden mukana on maan riittävä kosteus kasville kriittistä. Kuivuudesta kärsivä kasvi vähentää haihdutusta säästääkseen vettä, tämä heikentää veden virtausta ja sen mukanaan tuomaa ravinmäärää ja heikentää näin kasvin ravinteiden saantia. Osa ravinteista kuten fosfori liikkuu maassa huonosti ja kasvin täytyykin kasvattaa juuret ravinteiden lähelle voidakseen ottaa näitä ravinteita. (Alakukku ym. 2009, 11–13.)

### **Pääravinteet typpi, kalium ja fosfori**

Typpeä on sitoutuneena runsaasti maaperän eloperäisiin molekyyleihin, sekä 78 % ilmakehästä on kaasumaista  $N_2$  muotoista typpeä. Näissä muodoissa olevaa typpeä kasvi ei kuitenkaan kykene ottamaan, vaan ottaa käyttämänsä typen mineraalimuotoisena joko ammonium ( $NH_4^+$ ) tai nitraatti ( $NO_3^-$ ) muodossa. Suomen maaperässä kasveille käyttökelpoista mineraalimuotoista typpeä on pääsääntöisesti todella vähän ja mineraalitypenmäärä onkin lähes poikkeuksetta kasvinkasvutekijöistä rajoittavin tekijä ilman lisälannoitusta. (Alakukku ym. 2009, 14.) Ravinteena typpi on kasvissa hyvin liikkuva ja typen puutoksesta kärsivä kasvi siirtää typpeä vanhoista lehdistä uusiin lehtiin. Tämän takia typenpuutteesta kärsivän kasvin vanhemmat lehdet alkavat kellertää ja kuoleentuvat ennenaikaisesti. Myös lehtivihreän muodostuksessa typpi on tärkeä ravinne, jonka puute näkyy kasvin haalean vihreänä värinä. Lehtivihreässä tapahtuva yhteyttäminen on tärkeä osa kasvin energian tuotantoa ja typenpuutteesta kärsivän kasvin lehtivihreän yhteyttäminen on heikentynyt. (Typpi n.d.) Typellä on tärkeä rooli kasvin entsyymitoiminnan ylläpidossa ja aminohappojen tuotannossa. Kasvi käyttää suurimman osan tuestä aminohappojen muodostukseen, joista se muodostaa valkuaisaineita. Näitä valkuaisaineita kasvi käyttää kaikissa toiminnoissaan. Typen puute heikentää kasvin entsyymitoimintaa, joka taas heikentää kasvin valkuaisen tuotantoa ja biokeemiallisia, sekä fysiologisia prosesseja. (Tunnista typenpuutosoireet kasvustossa- Typpi ravinteena 2009.)

Kalium ja typpi ovat kasvin määrällisesti eniten tarvitsemat ravintoaineet. Kaliumin tarve nurmessa on suoraan suhteessa nurmen satotasoon. Kaliumia on nurmen lehdistä 1,7–2,7 % lehden kuiva-ainemassasta. Korkeasatoisen nurmisadon mukana voikin pellolta poistua jopa 300 kiloa kaliumia hehtaarilta. Kaliumlannoitus suositusten ollessa maksimissaan 170 kiloa hehtaarille on suositusten mukaisella lannoituksella nurmen otettava kaliumia maasta tehokkaasti voidakseen tuottaa korkeita satoja. Tutkimusten mukaan kalium lannoitus kannattaa suhteuttaa typpilannoituksen mukaan lannoittamalla 820 grammaa kaliumia jokaista lannoitettua typpikiloa kohden. (Lämsä & Suomela. 2018, 1–3.)

Maanesteestä kalium varastoituu savipitoiseen maa-ainekseen vaihtuvaksi kaliumiksi ja tästä saviainekseen kiinnittyneestä kaliumista muodostuu ajan myötä kiilteitä, joista kalium vapautuu hitaasti takaisin saveen vaihtuvaksi kaliumiksi. Kalium liikkuu näiden kolmen muodon välillä pyrkien luonnollisesti tasaamaan eri muotojen määrällisen suhteen. Maanesteen kaliumin köyhtyessä alkaa varastokaliumia vapautua maanesteeseen ja kiilteisiin kiinnittynyttä kaliumia purkautua saveen. Eloperäisillä ja karkeilla kivennäismailla kalium sitoutuu maa-ainekseen huonosti, joten näillä savettomilla mailla ei pääsääntöisesti esiinny merkittävästi reservi kaliumia. Tämän takia näiden peltomaiden kaliumlannoitus on tarkempaa ja tärkeämpää kuin savisten verrokkien. Koska pääosa kaliumista näillä mailla on sitoutuneena maanesteeseen, on se myös merkittävässä riskissä huuhtoutua kosteissa olosuhteissa. Korkea kaliumin kerta lannoitus näillä mailla aiheuttaa myös maanesteen väkevöitymisen, josta seuraa kasvin tarvetta suurempi kaliumin otto. Nurmessa liian suuri kaliumin otto heikentää muiden ravinteiden kuten magnesiumin ottoa, joka taas aiheuttaa ruokinnallisia ongelmia ja altistaa eläimiä muun muassa halvauksille. (Heikkilä, Huhtala, Koikkalainen & Virkajärvi. 1990, 5–15.)

Nurmi on syvän ja tiheän juuristonsa ansiosta tehokas ravinteiden ottaja tämä pätee myös kaliumin ottoon. Nurmi tarvitsee paljon kaliumia kasvuunsa ja pystyykin ottamaan sitä tehokkaasti maanesteestä. Nurmen tehokkaan kaliumin ottokyvyn ansiosta maanesteen kalium väkevyyden laskee nopeasti ja varastokalium alkaa vapautua maanesteeseen päin. Koska varastokalium vapautuu hitaasti, nousee savipitoisilla mailla kaliumin lannoitus tarve loppukesää kohden. Talvella kalium varannot tasaantuvat maaperässä ja keväällä nurmella on taas maasta vapautuvaa kaliumia käytössään. Nurmi siis käyttää varastokaliumia tehokkaasti ja nurmen ikääntyessä myös varastokaliumin määrä alkaa heikettyä, jolloin kalium lannoituksen tarve taas kasvaa. Etenkin kolmannen vuo-

den ja vanhemmat nurmet kärsivät helposti kaliumin puutteesta. Nurmen kalium lannoituksen onnistumista on helppo seurata rehuanalyysien perusteella. Nurmen kaliumin ollessa 17 mg/kgka on kasvin kasvu todennäköisesti kärsinyt kaliumin puutteesta ja kaliumin noustessa yli 25 mg/kgka on maanesteessä ollut liikaa kaliumia kasville, liika kalium ei herkästi aiheuta ongelmaa kasvin kasvuun, mutta se voi aiheuttaa ruokinnallisia ongelmia eläinten ruokinnassa. (Heikkilä ym. 1990, 5–15.)

Kasvissa kalium esiintyy epäorgaanisina suoloina osana kasvin solunestettä. Epäorgaanisena yhdisteenä kalium ei sitoudu helposti vaan liikkuu kasvissa tehokkaasti haihduntavirtauksen ja osmoosin avulla mahdollistaen samalla muiden ravintoaineiden liikkumisen kasvissa. Kalium toimii myös merkittävässä roolissa kasvin ilmarakkojen ohjauksessa, joka taas säätelee kasvin veden ja ravinteiden ottoa maaperästä. (Heikkilä ym. 1990, 5–15.)

Fosforin tarve on määrällisesti pääravinteista pienin. Nurmi käyttää fosforia vain vähän viljakasveja enemmän noin 25 kg/ha vuodessa. Tehokkaasti viljellyillä nurmilla fosforin pintalannoitus on turvemaita lukuun ottamatta heikosti kannattavaa ja altistaa lannoitetun fosforin huuhtoutumiselle. Nurmien fosforilannoitukseksi Saarela suosittaakin reilua fosforilannoitusta maahan muokaten nurmen perustamisen yhteydessä. Maahan muokattu fosfori sitoutuu maahan tehokkaasti ja on suojaan huuhtoutumiselta. Kasvuston pintaan lannoitettu fosfori taas on altis pintahuuhtoumille. Tehokkaassa nurmiviljelyssä pintamaa happanee voimakkaan typpilannoituksen takia, jolloin pintalannoitetun fosforin otto heikkenee happamassa pintamaassa. (Saarela. 2000, 1–2.)

## 2.5 Polysulfaatti

Polysulfaatti on luomu hyväksytty lannoite, joka sisältää 19,2 % rikkiä, 11,6 % kaliumia, 3,6 % Magnesiumia ja 12,2 % kalsiumia. Polysulfaatti on kauppanimi luonnosta löytyvälle polyhaliitille, jota louhitaan Englannissa. (Polysulfaatti-korkealaatuisen perunan huippusatoihin 2022.) Polyhaliittia kaivetaan polyhaliittisesta maakerroksesta Englannin itärannikolla 1200 metrin syvyydestä. Tuotteen vähäinen käsittely mahdollistaa sille pienen hiilijalanjäljen. Lannoite sisältää vähän klooria ja suola indeksi on pieni, joten sen Ph on neutraali eikä se happamoita maata. Polysulfaatin ravinteet

vapautuvat hitaasti ja näin kestävät hyvin huuhtoutumista (Polysulphate: good for your crops good for the environment. 2021.)

### **Polysulfaatin valmistus**

Polysulfaatti on tuotevalmiste, jota tehdään polyhaliitista. Polyhaliitti on kivimateriaalia, jota louhitaan Englannin itärannikolla merenpohjan alta 1200 metrin syvyydestä. Polyhaliitti sisältää luonnollisesti kasveille käyttökelpoista rikkiä, kalsiumia, kaliumia ja magnesiumia. Ravinteet ovat siis suoraan kasveille käyttökelpoisia eikä niitä tarvitse jalostaa kemiallisesti. Polyhaliitti louhitaan kaivoksessa ja murskataan haluttuun kokoon maan pinnalla. Murskattua polyhaliittia myydään eteenpäin kauppanimellä polysulfaatti. Polysulfaatti on sellaisenaan valmis luomuhyväksytty lannoite, mutta sitä voidaan myös sekoittaa muiden ravinteiden kanssa ja tehdä näin seos lannoitetta. (Polysulphate - from polyhalite to fertilizer and mine to fields. 2020.)

### **Polysulfaatin kalium**

Polysulfaatti sisältää noin kaksitoista prosenttia kaliumia. Polysulfaatin kalium on hitaasti veteen liukenevaa, joka tekee siitä hyvin huuhtoutumista kestävän kalium lannoitteen. Perinteiset kalium lannoitteet liukenevat nopeasti maanesteeseen, josta ne savimailla siirtyvät vaihtokaliumiksi ja kasvien käyttöön. Savimaiden ulkopuolella kalium ei sitoudu maaperään vaan jää maanesteeseen, jossa se on huuhtoumille altis. Savettomilla mailla liian voimakas kalium lannoitus nostaa maanesteeseen kalium pitoisuutta ja aiheuttaa kasvien liiallista kaliumin ottoa. (Heikkilä, Huhtala, Koikkalainen & Virkajärvi. 1990, 5–15.) Perinteisistä kalium lannoitteista poiketen polysulfaatin kalium liukenee maanesteeseen hitaasti. Tämän takia polysulfaatin kalium kestää huuhtoutumista muita kalium lannoitteita paremmin. Connerin 1923 tekemissä tutkimuksissa myös polysulfaatin kalium oli tehokkaasti kasvien käytössä hitaasta liukenemisestä huolimatta. (Conner. 1932, 8-15.)

## **2.6 Rikki**

### **Rikin vaikutuksia on tutkittu Irlannissa**

Rikkilannoituksella on sadonmäärään positiivinen vaikutus nurmentuotannossa. Irlannin kansallisessa yliopistossa tehdyissä viljelykokeissa tutkittiin rikkilannoituksen vaikutusta nurmisatoon. Tutkimuksessa verrattiin rikitöntä NPK lannoitettua ruutua kahteen muuhun koeruutuun. Toiseen koeruutuun annettiin NPK lannoituksen lisäksi ammoniumsulfaattia ja kolmanteen ruutuun NPK lannoitteen lisäksi polysulfaattia. Kokeessa molemmilla rikkilannoituksilla saatiin sadonlisää rikkilannoittamattomaan NPK lannoitettuun ruutuun verrattaessa. Ammonium sulfaattiruudun sadonlisäys kokeessa oli 4,4 % ja Polysulfaatilla sadonlisäys oli 6,3 % (Trial data sheet 2016.)

Sulfaatin huuhtoutumisherkkydessä on eroavaisuuksia eri lannoitelajien välillä. Rikkipitoisten lannoitteiden sulfaatin huuhtoutumisherkkyttä tutkittiin Irlannin kansallisessa yliopistossa. Kokeessa verrattiin neljää eri lannoitelajia, jotka olivat ammoniumsulfaatti, kaliumsulfaatti, kiseriitti ja polysulfaatti. Kokeessa tehtyjen mittausten mukaan polysulfaatin huuhtoutuminen on vertailulannoitteista selvästi hitainta. Polysulfaatin rikki huuhtoutui 50 vuorokaudessa, kun taas ammoniumsulfaatin rikki huuhtoutui kokeessa nopeinten kuudessa vuorokaudessa. (Prolonged nutrient release pattern of Polysulphate fertilizer n. d.)

Irlannin kansallisessa yliopistossa tehtyjen kokeiden mukaan polysulfaatilla saatiin parempi sadonlisäys verrattuna ammoniumsulfaatti lannoitukseen (Trial data sheet 2016). Samassa yliopistossa tehdyissä huuhtoumakokeissa taas ammoniumsulfaatti oli huuhtoumille merkittävästi alttiimpi kuin polysulfaatti (Prolonged nutrient release pattern of Polysulphate fertilizer n. d.). Vertaamalla huuhtoumakokeentuloksia ja kasvukokeentuloksia voidaan päätellä ammonium sulfaatin osittain huuhtoutuneen ja näin kasvien käyttöön jääneen rikin määrän olleen pienempi kuin polysulfaatina annetun rikin. Näiden tulosten pohjalta polysulfaatti rikki on suuremmalta osin kasvien käytössä ja vesistöön huuhtoutuvan sulfaatin osuus pienempi.

### **Kiinan rikki tutkimus**

Kiinassa asuu 20 % maapallon väestöstä, mutta viljellystä peltoalasta vain 10 % sijaitsee kiinassa. Tämän takia Kiinan maataloudella on kova tarve nostaa viljelyn tuottavuutta. Vuosien 1980– ja 2005–välillä Kiinan viljan keskisadot kasvoivat 58,4 %. Tähän sadon sadonlisään päästäkseen maassa lisättiin lannoitteiden käyttöä tuona aikana 248 %. Lannoitteiden käytön massiivinen lisäys on kuitenkin aiheuttanut ekologisia ja taloudellisia ongelmia. Arvioiden mukaan jopa 70 % Kiinassa

käytetystä tyypestä huuhtoutuu pellostä. Tämä tarkoittaa 18–20 miljoonan tonnin vuotuista typpi huuhtoumaa. (Fan 2010, 2.)

Kiinassa on lisätty lannoitteiden käyttöä voimakkaasti 1970-luvulta vuoteen 2014 asti. Vuosina 2014 ja 2015 nähtiin Kiinan lannoitteiden käytön huippu. Tuolloin Kiinassa käytettiin keskimäärin yli 400 kiloa ravinteita viljeltyä hehtaaria kohden, josta tyyppiä oli 229 Kg. (Ritchie, Rosado, Roser, n. d.) Saatujen viljelysatojen määrä ei kuitenkaan ole noussut odotetusti vaan kasvien ravinteiden käytön hyötysuhde on heikentynyt ja ympäristökuormitus on kasvanut merkittävästi (Fan 2010, 2).

Maassa on tutkittu lannoitusta tavoitteena parantaa viljelysatoja ja vähentää ravinnehuuhtoumia. Maassa tehdyissä tutkimuksissa rikillä on havaittu olevan yhteys kasvien ravinteiden ottoon. Erityisen suuri merkitys on havaittu typen ja fosforin käytössä. Maassa tehdyssä riisinlannoituskokeessa tutkittiin rikkilannoituksen vaikutusta satoon erilaisilla typpitasoilla. Tuloksissa rikkilannoitettu kasvusto antoi 120 kg typpimäärällä paremman sadon, kuin rikkilannoittamaton verrokki ruutu 180 kg typpitasolla. (Fan 2010, 3–4.)

### **Englannin rikki tutkimus**

Englannissa rikkilannoituksella on havaittuolevan yhteys nurmen valkuaisen määrään. Alderton (2017) haastattelee artikkelissaan Dr George Fisherä, joka kertoo Englannissa olevan havaittu nurmirehun laadun heikkenemistä, etenkin nurmen sisältämän valkuaisen määrän on havaittu pienentyneen. Rikki on olennainen osa kasvien aminohappojen tuotannossa, joita kasvi tarvitsee valkuaisen tuotantoonsa. Kasvin kärsiessä rikin puutteesta on sen valkuaisen tuotanto heikentynyt, tämä aiheuttaa rehusadon heikkenemistä sekä valkuaistason jäämistä alle tavoitetason.

Aldertonin (2017) haastattelussa George kertoo myös tutkimuksesta, jossa rikinpuutteesta kärsivillä lohkoilla saatiin rikkitason optimoinnilla 1–2 tuhannen kuiva-aine kilon sadon lisäys. Samassa kokeessa sadon proteiini tasot nousivat 5–7 %. Rikkilannoituksen tarve on lisääntynyt sateiden mukana tulevan sulfaattikuormituksen romahdettua entisestä 70–80 kilosta nykyiseen 5–10 kiloon hehtaarilla. (Alderton 2017.)

Artikkelissa Alderton (2017) haastattelee myös Garrett Markkia, joka painottaa rikkilannoitustarpeen riippuvan pellon typpilannoitustasosta. Garretin mukaan lietteellä lannoitettaessa tulee lietteen lisäksi käyttää rikkipitoista lannoitetta, sillä lietteestä vapautuu rikkiä vain hyvin pieniä määriä kasvustolle. (Alderton 2017.)

### **Rikin ympäristövaikutukset**

Kasvit käyttävät sulfaattimuotoista rikkiä kasvuun ja sadontuotantoon (Westman 1991, 31). Viljelykasvit käyttävät rikkiä 15–20 kg / ha vuosittain (Rikki n. d). Kleemola ja Peltosen (2006, 1–2) mukaan 1980 luvulla laskeumarikin ja lannoitetun rikin määrä riitti pitämään peltojen rikkivarannon vakaana. Kleemola ja Peltonen kertovat kuitenkin laskeuma rikin vähentyneen voimakkaasti ollen 2000 luvulla vain yksittäisiä kiloja. Lehtoranta ja Ekholm (2013, 40) mainitsevat maatalouden merkittävänä sulfaattirikin päästölähteenä. Myös Kleemola ja Peltonen (2006, 1–2) kertovat pelloilta huuhtoutuvan rikkiä 20 kg / ha vuosittain. Samalla he kuitenkin kertovat pelloilta poistuvan rikin määrän ylittävän selvästi pellolle lisättävän rikin määrän.

Maaperään varastoitunut sulfidimuotoinenrikki muuttuu sulfaatti muotoon sen reagoiessa hapen kanssa. Kun sulfidi pääsee kosketuksiin hapen kanssa, muodostuu kasveille käyttö kelpoista sulfaattimuotoista rikkiä. Tämän happikontaktin mahdollistaa luonnollinen maankohouma, jolloin sulfidipitoista maata nousee pohjaveden korkeuden yläpuolelle. Ihminen aiheuttaa vastaavaa ilmiötä laskemalla ojituksen avulla pohjaveden tasoa. Maankäytön sulfaattipäästöt aiheutuvat maahan sitoutuneen sulfidin hapettumisesta, jolloin sulfaatit vapautuvat kiertoon ja huuhtoutuvat vesistöihin. (Lehtoranta & Ekholm. 2013, 40–42.)

Kleemola ja Peltonen (2006, 1–2) kertovat nurmikasvien kärsivän vähemmän rikinpuutteesta kuin viljakasvien. Kleemola ja Peltonen pohtivat selittäviksi tekijöiksi nurmen syvää juuristoa, joka mahdollistaa rikin ottamisen syvistä maakerroksista viljakasveja paremmin. Vaihtoehtoisesti he pohtivat jaetun lannoituksen vaikutusta nurmen vähäisempään rikinpuutteeseen. Vihdissä tehdyissä pitkäaikaiskokeissa on havaittu rikkilannoittamattoman koealueen satotasoissa selvää alenemista rikkilannoitettuihin ruutuihin nähden (Kleemola & Peltonen 2006, 5). Kleemola ja Peltonen (2006,

5) toteavat rikkilannoituksen tarpeen seurannan korostuvan tulevaisuudessa, kun peltojen rikkitaase laskee entisestään huuhtoutumisen takia.

Sulfaattit eivät itsessään ole ympäristölle haitallisia. Sulfaatteja esiintyy maassa, sisävesissä ja erityisen paljon merissä. Sulfaattien ympäristöhaitat syntyvätkin biologisista ja kemiallisista kierroista vesistöissä, joiden tasapainoa liialliset sulfaatti huuhtoumat häiritsevät. (Lehtoranta & Ekholm. 2013, 40–42.) Suomessa vesistöihin päätyy vuosittain miljoona tonnia sulfaattia. Viljelyksien osuus kokonais- sulfaattipäästöistä on 16 %. (Kankare 2022, 11.)

### **Sulfidibakteerit käsittelevät sulfaattia vesistöissä**

Sulfidibakteereita on useita sukuja ja ne ovat erikoistuneita pilkkomaan sulfaatteja. Sulfidibakteerit kykenevät purkamaan sulfaatti yhdisteistä niihin varautunutta kemiallista energiaa. Tätä energiaa nämä bakteerit käyttävät irrottaakseen epäorgaanisista hiilyhdisteistä hiiltä hiilihydraattien tuottamiseksi. Sulfidibakteereita on useita sukuja ja ne kykenevät elämään todella haastavissa olosuhteissa. Bakteeri kestävät happamia, kylmiä ja kuumia olosuhteita, sekä kovaa painetta syvässä vedessä. Osa bakteereista elää syvässä hapettomissa ja valottomissa olosuhteissa. (Lehtoranta & Ekholm. 2013, 40–42.)

Sulfidibakteerien biologinen sulfaattien hapettaminen on tärkeä osa rikin ja fosforin luontaista kiertoa vesissä. Sulfidibakteerien hapettaessa sulfaatteja vapautuu kiertoon positiivisestivapautunutta rautaa. Veden hapellisissa kerroksissa tämä rauta sitoutuu hapen ja fosforin kanssa rautafosfaatiksi tällöin fosfori sitoutuu kasveille käyttökeltvottomaan muotoon. (Lehtoranta & Ekholm. 2013, 40–42.)

Vesistöissä tapahtuu biologisen hapettumisen lisäksi kemiallista hapettumista, joka vapauttaa fosforia vesistön eliöstölle. Kemiallisessa hapettumisessa rauta yhdistyy rikin kanssa muodostaen rautasulfidia, joka painuu vesistön pohjaan hapettomaan kerrokseen. Pohjaan kertyvä sulfidimuotoinen rauta poistuu normaalista kierrosta vähentäen fosforia sitovan raudan määrää veden luontaisessa kierrossa, tämä mahdollistaa vesistön kasveille käyttökelpoisen fosforin määrän nousua. Normaalissa kierrossa kemiallisen hapettumisen osuus on biologista hapettumista pienempää ja vapautuvan fosforin määrä on maltillista. Häiriintyneessä kierrossa liiallinen sulfidi aiheuttaa

rehevöitymistä. Häiriintyneessä kierrossa sulfidin määrä ylittää bakteerien tarpeen ja kemiallisen hapettumisen määrä suhteessa biologiseen hapettumiseen kasvaa. Tässä tilanteessa rautasulfidia alkaa kertyä vesistön pohjalle ja fosforia sitovan raudan määrä suhteessa vapaan fosforin määrään pienenee. Kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä vedessä alkaa kasvaa ja vesistö alkaa rehevöitymään. (Lehtoranta & Ekholm. 2013, 40–42.)

### **Rikin ympäristöhaittojen ehkäisy**

Sulfaatti kuormitus on jaettu kahteen ryhmään, piste- ja hajakuormitus. Hajakuormitus aiheuttaa 66 % kokonaissulfaatti kuormituksesta ja tästä hajakuormituksesta 40 % on peräisin peltoviljelystä. Suurin osa peltoviljelyn sulfidipäästöistä on peräisin happamien sulfidimaiden maaperästä vapautuvasta sulfaatista. Suomessa viljelystä peltoalasta 6 % sijaitsee tällaisilla happamilla sulfidimailla, jotka vastaavat 60 % koko peltoviljelyn sulfidipäästöistä. (Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. 2020.) Happamat sulfidimaat ovat muodostuneet 4–8 tuhatta vuotta sitten Itämeren litorialisena aikana. Tuolloin rautasulfidia muodostui ja hautautui meren pohjaan kerryttäen sulfidikerrosta. Myöhemmin meriveden pinta on laskenut ja merenranta on siirtynyt kauemmaksi vapauttaen entistä merenpohjaa maa-alueeksi. Nämä maa-alueet sijaitsevat pääasiassa Suomen länsirannikolla. (Ajosenpää, Kaseva, Laine, Mononen & Niemi. 2019, 6–7.)

Sulfaatin huuhtoutumista happamilla sulfaattimailla voidaan ehkäistä hidastamalla sulfidin hapettumista. Maatalouden sulfidipäästöjä voidaan ehkäistä vähentämällä sulfidin hapettumista puuttamalla peltomaan pohjavedentason. Pohjavesi estää sulfidia hapettumasta, joten nostamalla pohjavedentasoa voidaan ehkäistä sulfidin vapautumista ja huuhtoutumista. (Ajosenpää ja muut. 2019, 14.) Ajosenpää ja muut. (2019, 16) Kertovat säätösalojituksella ja säätökastelulla voitavan vaikuttaa pohjaveden tasoon perinteisessä viljelyssä tai vaihtoehtoisesti jos sulfidimaat ovat lähellä pintamaata vaihtoehdoksi he esittävät kosteikkoviljelyä.

Happamien sulfidimaiden ulkopuolella sulfaattipäästöt aiheutuvat osin liiallisesta rikkilannoituksesta. Perinteisten suojakaistojen ja muiden ravinnehuuhtoumien ehkäisykeinojen toimivuutta sulfidihuuhtoumien ehkäisyssä ei tunneta. (Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. 2020.) Toisaalta Kleemola ja Peltonen (2006, 1–2) toteavat sulfaatti huuhtouman olevan lisäystä suurempaa. Lisäksi Kleemola ja Peltonen mukaan Kemira GrowHow Oyj Vuosina 2003–2004 teke-

missä tutkimuksissa on havaittu rikin puutetta 29 % tutkituista ohran kasvustonäytteistä. Sulfaattipäästöjen ehkäisyssä happamiensulfidimaiden ulkopuolella on siis tärkeää lannoittaa rikkiä viljelykasvien tarvetta vastaava määrä ja välttää yllannoitusta (Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. 2020).

### 3 Tutkimus

Rikki on kasvien typenoton kannalta tärkeä ravinne, kasvit ottavat maasta juurillaan typpeä ja tarvitsevat tähän rikkiä. Ennen 1990 lukua teollisuudesta ja liikenteestä vapautui ilmakehään rikkiä, tämä laskeutui sateiden mukana maahan niin sanottuna rikkilaskeumana. Tämä laskeuma toi suomen merkittävimmille viljelysmaille rikkiä noin 10 kg / ha 1980 luvulla. Ympäristölainsäädäntö alkoi rajoittaa rikkipäästöjä 1990 luvulla, tämän takia myös rikkilaskeuma oli pienentynyt 2000 luvulta Suomessa alle 4 kg / ha. Peltojen rikkitaso on jatkuvasti pienentynyt kasvien käyttämän rikin, sekä laskeumarikin huuhtoutumisen takia. (Kleemola, Peltonen 2006, 2–3.) Kemira GrowHow Oy tutki laajasti kasvustonäytteitä vuosina 2003 ja 2004, näistä näytteistä kolmanneksella havaittiin rikin puutosta. Nurmi näytteissä rikin puutos oli harvinaista, mutta sitä kuitenkin esiintyi kokeen tekijät, epäilivät nurmen juuriston pystyvän hyödyntämään paremmin syvemmillä maaperässä olevaa rikkiä. (Kleemola, Peltonen 2006, 4.)

Rikkilannoitusta on Suomessa ja tutkittu melko vähän, eivätkä tutkimukset ole kovin tuoreita. Kemiran tekemässä kokeessa havaittiin rikinpuutoksen olevan selvästi yleisempää matalajuurisemalla ohralla, kuin syväjuurisella nurmella (Kleemola, Peltonen 2006, 4). Tiedotteessaan Peltonen ja Kleemola toteavat peltojen rikkitaseen olevan negatiivinen ja rikki seurantarpeen korostuvan tulevina vuosina. Tästä tiedotteesta on 16 vuotta aikaa, eikä lannoitteiden rikkimääriä ole tänä aikana nostettu.

Yara Suomi Oy:n on Suomen merkittävin lannoite valmistaja 80–85 % markkinaosuudella (Ylhäinen 2014). Yaran nurmilannoitukseen suosittelemien lannoitteiden rikki tasot ovat 3–4 % tasolla. Lannoitettaessa typpitasoa 100 kg / ha saavutetaan näillä 11–15 kg rikkimäärä (Lannoiteopas 2021–2022, 22, 80).

Työn tavoitteena on verrata polysulfaatti lannoitteena annettua rikkilannoitusta perinteiseen seoslannoitteen mukana annettavaan rikkilannoitukseen. Työssä tehdään myös nolla rikki koe, jota verrataan rikkilannoitettuihin kaistoihin. Työssä tutkitaan mahdollisuutta antaa rikki kerta lannoituksena keväällä ja verrataan tätä perinteisesti annettavaan jaettuun lannoitukseen, jossa rikkiä lannoitetaan typen lannoituksen yhteydessä erikseen kullekin sadolle. Työssä verrataan näitä lannoitusmuotoja myös rikkilannoittamattomaan kaistaan, jossa pyritään havainnoimaan rikin lannoitus tarvetta myös jälkiesadolla.

### **3.1 Tutkimuskysymykset**

Havaitaanko polysulfaattilannoituksella ja perinteisellä typpi rikki lannoitteella eroja sadon määrässä tai laadussa?

Miten polysulfaatilla kertalannoituksella annettu rikkilannoitus vertautuu perinteiseen jaettuun lannoitukseen?

Millainen merkitys rikkilannoituksella on nurmen viljelyssä?

### **3.2 Tutkimuksen toteutus**

Tutkimus tehtiin määrällisenä kokeellis- vertailevana tutkimuksena, jossa pyrittiin poistamaan mahdollisimman tehokkaasti ei halutut muuttujat ja vertailemaan koe kaistoja keskenään (Kokeellinen tutkimus 2015; Vertailevatutkimus 2015). Tutkimus toteutettiin kaistakokeena koelohkolla. Lohkoille perustettiin kolme lannoituskaistaa, lohkon sisällä kaistat perus lannoitettiin N P K ravinteiden osalta toisiaan vastaaviksi. Rikki lannoitus sen sijaan toteutetaan kaistoilla toisistaan poikkeavasti. Näin pyrittiin saamaan mahdollisimman vertailukelpoiset kaistat rikkilannoituksen tutkimukseen.

Kokeessa käytettävät lannoitteet ovat: Premium typpi 26-4S, Premium typpi 27, Premium K50 Granula, Premium startti P+MN, Polysulfaatti.



Kuva 1 Lannoitekaistan merkintä viitoin

Lannoitteet levitettiin pellolle vaakallisella Amazon ZA-M keskipakolevittimellä, GPS avustetusti. Koekaistat merkittiin myös viitoin toteutuksen ja seurannan helpottamiseksi.

Näytteiden otto aloitettiin noin kaksi viikkoa ennen arvioitua sadon korjuuta. Tutkimuslohkolle perustetuilta kolmelta kaistalta oli tarkoitus kerätä kultakin oma näyte kaksi kertaa viikossa, eli näytteitä tavoite ottaa kultakin kaistalta neljä kappaletta korjattavaa satoa kohden. Tutkimuksen kohteena oli ensimmäinen ja toinen sadonkorjuu, yhteensä kokeessa oli tavoite analysoida 24 näytettä.



Kuva 2 Osanäytenottokehikko

Yksittäinen näyte koostuu neljästä 25 cm x 100 cm kerranne näytteestä, joka leikataan 10 cm niitokorkeudesta. Yksittäisen näytteen pinta-ala on yksi neliömetri. Näytteiden rehumassa punnittiin, jolloin niistä voitiin laskea tuoresato ja kuiva-ainesato hehtaaria kohden. Näytteet lähetettiin maitoauton mukana Valion rehulaboratorioon, jossa niistä analysoitiin koostumuksesta: kuiva-aine, raakavalkuainen, kuitu (NDF), D-arvo, sokeri, sulamaton kuitu, tuhka, sekä rehuarvot: ME energia arvo, OIV ja PVT.



Kuva 3 Näytteen punnitseminen

Näytteiden tulokset siirrettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, jolla voidaan tehdä kasvien kehitystä kuvaavia diagrammeja näytetietojen pohjalta.

### 3.3 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen toteutuksessa on oleellista, että tehtävät toimenpiteet suoritetaan huolellisesti, sekä dokumentoidaan tarkasti. Opinnäytetyön lukijan tulee saada tutkimuksesta riittävän tarkka kuvaus, jotta lukija kykenee halutessaan toistamaan kokeen. Toistettavuus on työn eettisyyden ja luotettavuuden kannalta tärkeää, sillä jos työ ei ole toistettavissa ei sitä voida pitää luotettavana. Tutkimus tulosten analysoinnissa tulee olla kriittinen ja johtopäätökset tulee perustella tutkimuksen osoittamilla tuloksilla. Kriittiseen analysointiin kuuluu myös pohdinta kokeen onnistumisesta ja huomioista, joilla tutkimuksen laatua voitaisiin parantaa. (Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa 2021.)

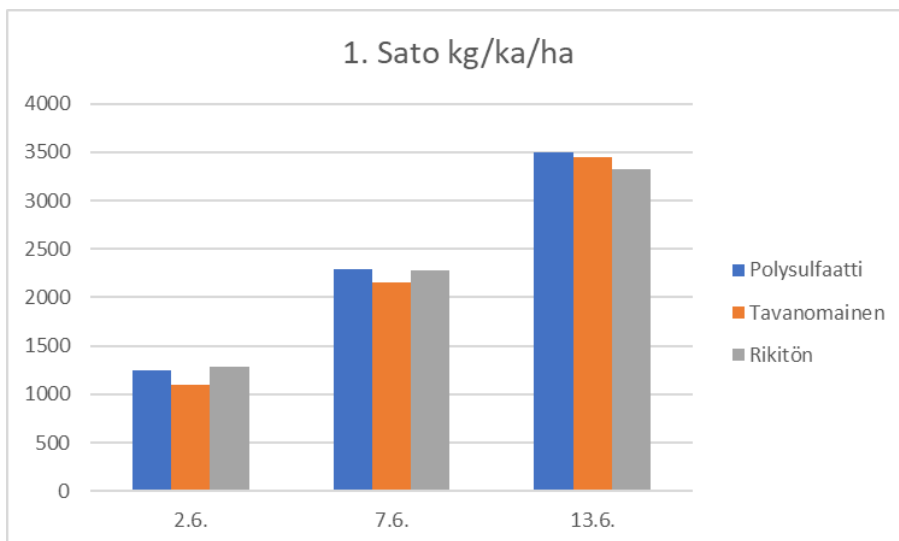
Alkuperäisessä tutkimussuunnitelmassa koe oli määrä tehdä kahdella peltolohkolla. Sääoloiltaan haastavan talven aiheuttamat pahat talvituhot suunniteltujen lohkojen nurmilla kuitenkin estivät molempien suunniteltujen lohkojen käytön koetoiminnassa. Kokeeseen valikoitui vanhempi kolmannen vuoden nurmilohko, joka oli säästynyt talvihuolta. Kokeeseen valikoituneen lohkon pin-

ta-ala oli huomattavasti suunniteltuja lohkoja pienempi ja kaistojen kokoa jouduttiin pienentämään. Myös vertailu lohkon jääminen pois kokeesta rajoittaa näytteiden määrää. Kokeessa analysoitiin lopulta 21 näytettä suunnitellun 48 näytteen sijasta. Näytteiden vähyyks heikentää kokeen luotettavuutta, sillä yksittäisen näytteen merkitys kokeen tuloksissa nousee liian merkittäväksi. Kokeen tulokset ovat näytteiden vähyydestä huolimatta alkuoletettaman suuntaisia, joten koe vahvistaa aiempaa tutkimus tietoa tutkimus aiheesta.

## 4 Tutkimustulokset

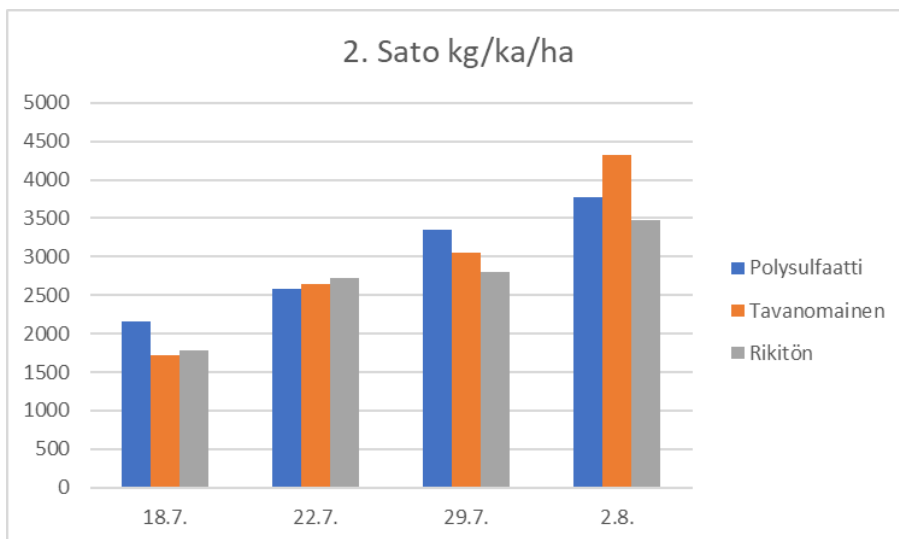
### Sadon määrä

Ensimmäisellä sadolla kaistojenvälisessä sadonmäärässä ei ollut merkittäviä eroja kasvun alkuvaiheessa, kasvu erot alkoivat muodostua vasta lähellä korjuuajankohtaa. Korjuuaikaan sadonmäärässä oli mittausten perusteella suurin polysulfaattikaistala ja pienin rikittömällä kaistalla. Erot rikittömän ja polysulfaattikaistan välillä oli noin viisi prosenttia. Ero polysulfaatti kaistan ja tavanomaisen lannoitteen välillä oli niin pieni, ettei siitä voida mittaustekniikan epätarkkuuden takia tehdä päätelmiä. Typpi on sadon määrän muodostumisen kannalta keskeinen ravinne, jonka käyttöä rikki tehostaa. Rikittömän kaistan heikompaa satotasoa kasvun loppuvaiheessa selittää oletettavasti käytettävän typen hiipuminen.



Kuvio 1 Ensimmäisen sadon määrän kehitys

Toisella sadolla polysulfaatti lannoitetulla kaistalla kasvuun lähtö vaikuttaa alkavan verrokkikaisto- ja tehokkaammin ja jatkavan kasvua tasaisesti. Rikitön kaista jää rikillisten kaistojen kasvusta ensimmäisen sadon tavoin korjuun lähestyessä. Oletettavasti rikillisten kaistojen typen hyväksikäyttö on suurempaa ja typpelle saadaan parempi satovaste.



Kuvio 2 Toisen sadon määrän kehitys

### Sadon laatu

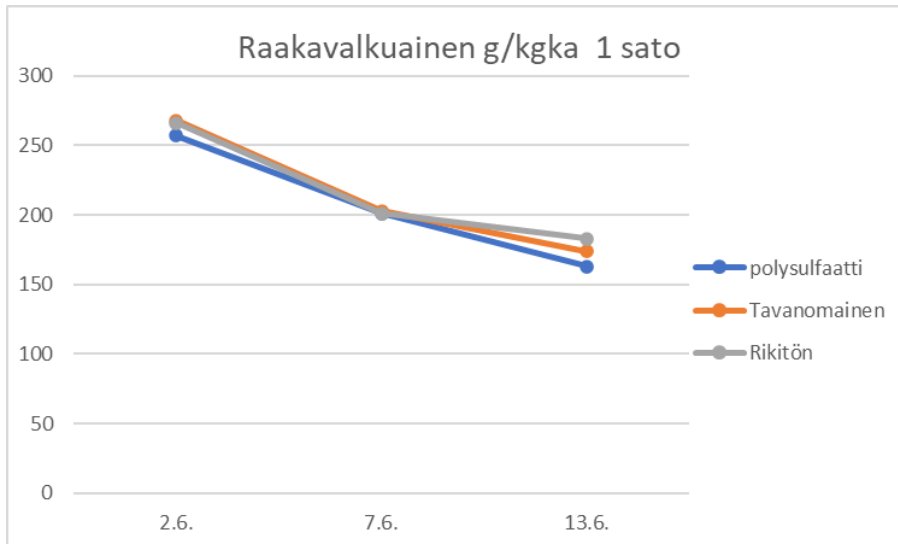
Nurmisäilörehun laatu vaikuttaa suoraan sen ruokinnallisiin arvoihin ja näin eläinten ruokinnan kustannuksiin. Kokeessa otetut kasvustonäytteet lähetettiin Valion rehulaboratorioon analysoitaviksi sadon ruokinnallisen laadun selvittämiseksi. Osa näytteet otettiin kultakin kaistalta merkityistä paikoista, jotta ne olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia. Tässä tutkimuksessa rehun laatua mitataan rehunäyteanalyysien tukoksista.

Lannoituskokeen aikana kasvustoja seurattiin silmämääräisesti ja niistä etsittiin silmin havaittavia eroja. Kasvustosta ei kuitenkaan voitu havaita eroja silmämääräisellä tarkastelulla.



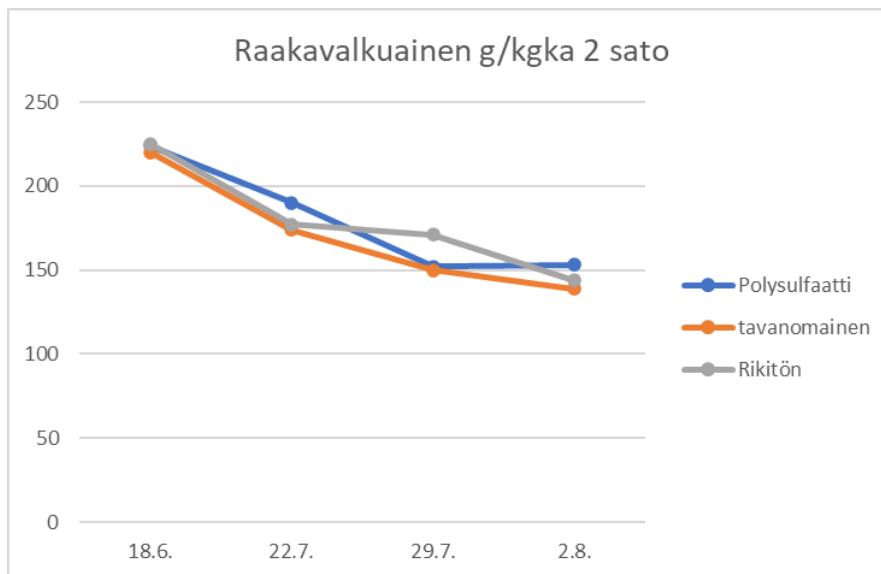
Kuva 4 Kasvusto ennen ensimmäistäkorjuuta

Ensimmäisellä sadolla näytteiden valkuaispitoisuuden erot olivat maltillisia ja suurin ero oli muodostui viimeisellä näytekierroksella juuri ennen korjuuta. Raakavalkuaispitoisuuksissa ei ensimmäisellä kahdella näytekierroksella ollut merkittäviä eroja eri koekaistojen välillä. Viimeisellä näytekierroksella juuri ennen korjuuta oli raakavalkuaispitoisuus korkein rikittömällä kaistalla 183g/kgka ja pienin polysulfaattikaistalla 163g/kgka.



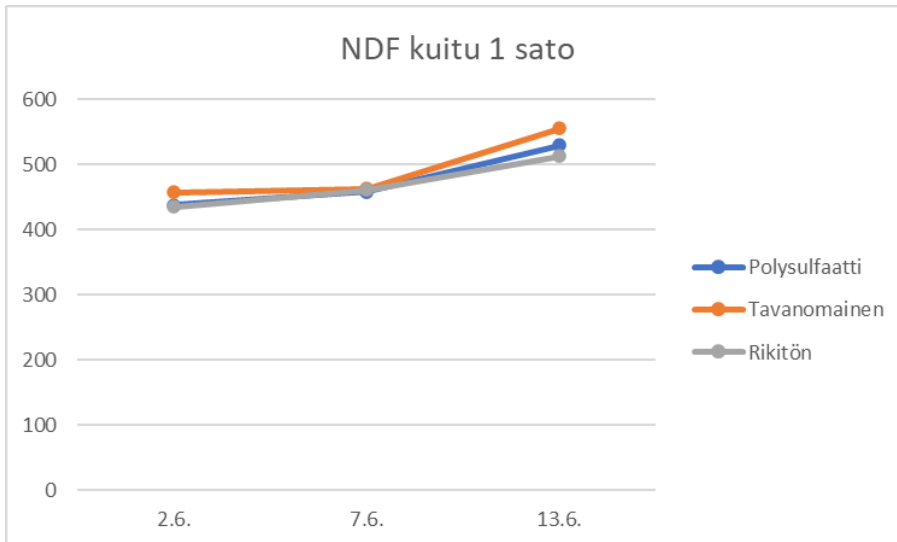
Kuvio 3 Raakavalkuaisen kehitys ensimmäisellä sadolla

Toisella sadolla raakavalkuais tasot pysyttelivät yhtenäisempinä, kuin ensimmäisellä sadolla. Toisella sadolla polysulfaattikaistan raakavalkuaispitoisuus oli korjuuaikaan 153 g/kgka ja rikittömän kaistan vastaava pitoisuus oli 144 g/kgka.



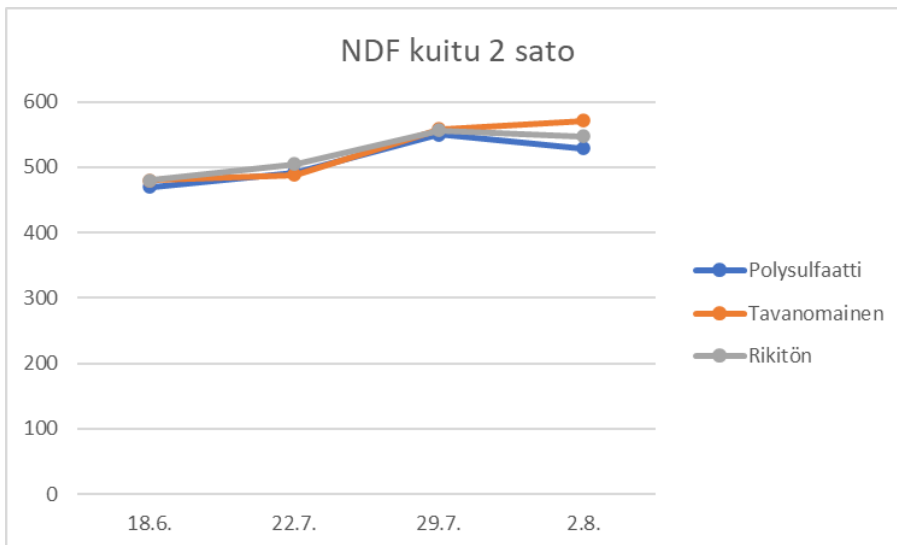
Kuvio 4 Raakavalkuaisen kehitys toisella sadolla

Ensimmäisellä sadolla nurmien sulavan kuidun pitoisuudet olivat hyvin yhteneväisiä erikaistojen välillä. Korkein kuidun määrä oli tavanomaisella kaistalla 555 g/kgka ja pienin kuidun määrä oli rikittömällä kaistalla 513 g/kgka



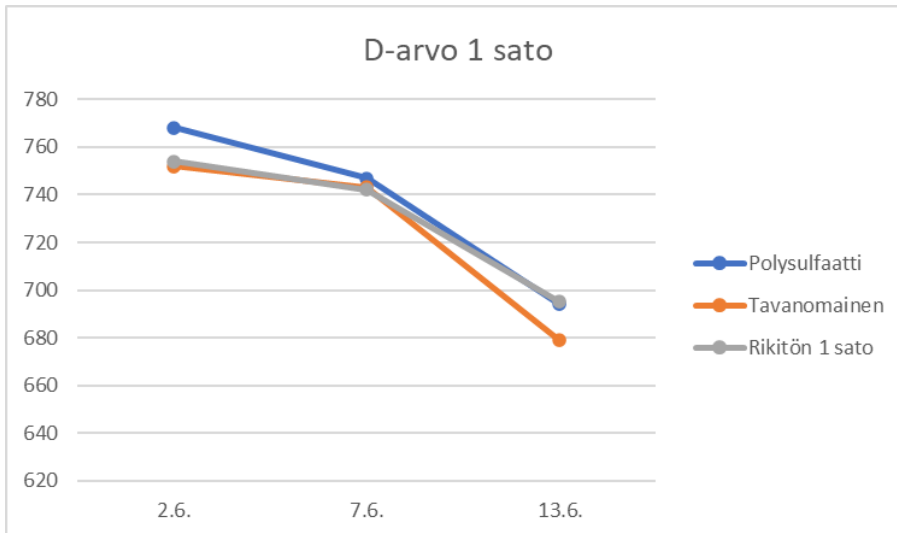
Kuvio 5 Kuidun kehitys ensimmäisellä sadolla

Toisella sadolla kuidun kehitys oli jälleen hyvin yhteneväistä eri kaistojen välillä. Korjuuaikaan suurin kuitu pitoisuus oli tavanomaisella kaistalla 571 g/kgka ja pienin pitoisuus oli polysulfaatti kaistalla 529 g/kgka



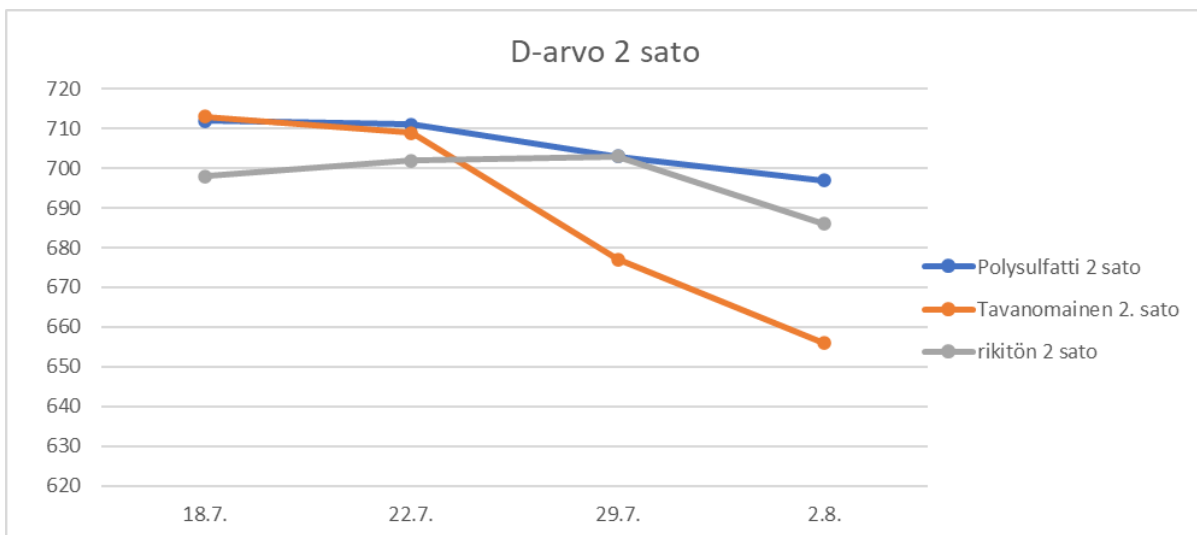
Kuvio 6 Kuidun kehitys toisella sadolla

Nurmen sulavuutta kuvaavan d-arvon kehityksessä tavanomaisestilannoitetun kaistan sulavuus tippui korjuuaikaan verrokki kaistoja enemmän.



Kuvio 7 Rehun sulavuuden kehitys

Toisella sadolla rikittömällä kaistalla kasvuston sulavuus nousee kolmessa ensimmäisessä näytteessä. Kasvuston lehdet ovat sulavampia kuin korsi ja sulavuuden muita kaistoista poikkeava sulavuuden hidas nousu viittaa kasvuston lehtien tuotannon olevan vertailukaistoja hitaampaa. Rikittömän kaistan sulavuus ei nouse verrokkikaistojen tasolle mikä voi viitata rikittömän kaistan lehtialan olevan verrokkikaistoja pienempää. Tavanomaisella kaistalla havaitaan selvästi vertailukaistoja jyrkempi sulavuuden pudotus. Sulavuuden jyrkkä lasku jatkuu tasaisena kahdessa näytteessä, joka osaltaan vähentää virheellisen näytteen todennäköisyyttä.



Kuvio 8 Rehun sulavuuden kehitys toisellasadolla

## 5 Pohdinta

### Olettama

Rikkiä on sitoutuneena maan orgaaniseen ainekseen, josta sen vapautuu mikrobitoiminnan avustuksella kasvien käyttöön. Keväällä maan ollessa viileää myös mikrobitoiminta on hitaampaa ja rajoittaa kasvien rikin saantia. Edellä mainituista syistä rikkilannoitus keväällä on oleellista, jotta voidaan varmistaa kasvien riittävä rikin saanti. (Mattila, Rajala. 2019, 1–3).

Tämän ajan tiedon mukaan polysulfaatti kaistan ja perinteisen typpirikki lannoituskaistan välille ei pitäisi muodostua eroa sadon määrässä tai laadussa kesän aikana, sen sijaan rikkittömällä kaistalla olettamus on 0–10 % pienemmästä sadosta (Kleemola, Peltonen 2006, 1). Lohkolla on aiempina vuosina käytetty rikkipitoisia lannoitteita ja lohkon rikkitaso on suomalaisten maanäyteanalyysien mukaan tasolla hyvä. Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä polysulfaatti lannoitteen vertautuvuutta perinteisen typpirikkilannoitteen rikkiin ja yleisemmin rikkilannoituksen vaikutusta nurmen tuotantoon.

### Havainnot

Kokeessa sadon laatua tarkastellessa havaittiin tavanomaisen lannoituskaistan D-arvon laskevan vertailukaistoja nopeammin. Tavanomaisen kaistan sulavuus laskee ensimmäisellä ja toisella sadolla vertailukaistoja nopeammin (Ks. Kuvio 7 ja kuvio 8). Samalla tavanomainen kaista kuitupitoisuus nousee kertoen kaistan kasvuston aikaisemmasta korsiintumisesta (Ks. kuvio 5 ja kuvio 6). Erot kasvustoissa eivät olleet kokeen toteutusaikaan silmin havaittavia, eikä pellon maalajissa ollut eroavuutta kaistojen välillä. Tavanomaisen kaistan nopeammalle D-arvon laskulle ei löydy selittävä tekijää eikä vastaavia tuloksia ei ole muissa tutkimuksissa aiemmin raportoitu. Kokeen kerranne määrän ollessa pieni voi kokeen tuloksiin muodostua kokeen ulkopuolisista muuttujista johtuvia eroavaisuuksia, joita ei kokeen aikana pystytä havaitsemaan tai pois sulkemaan.

Kokeen tulokset vastaavat aiempien vastaavien kokeiden tuloksia sadon määrän osalta. Aiemmissa kokeissa rikillä on saatu 5–10 % sadon lisää. Tässä kokeessa saatu sadonlisä oli ensimmäisellä sadolla 5 % ja toisella sadolla 9 % tulos on siis sadon lisäyksen kannalta hyvin samankaltainen aiempien kokeiden tulosten kanssa. Aiemmissa kokeissa rikkilannoituksella ei ole saatu eroa sadon laatuun. Verrattaessa tämän kokeen polysulfaattilla lannoitettua kaistaa ja rikitöntä kaistaa ovat laadulliset näyte tulokset hyvin yhteneväisiä. Ensimmäisellä sadolla rikittömän kaistan raakavalkuais pitoisuus on korjuu aikaan hivenen polysulfaatti kaistaa korkeampi, tätä selittänee osaltaan polysulfaatti kaistan suurempi satotaso, jolloin raakavalkuaisen jakaantuminen suuremmalle kasvimassalle.

Koetulokset vahvistavat aiempien kokeiden tuloksia rikin vaikutuksista. Kokeessa ei havaittu rikkilannoituksella olevan merkittävää vaikutusta sadon laadullisiin ominaisuuksiin. Kokeen kerran näytteiden vähyyks osaltaan myös vaikeuttaa sadon laadullisten ominaisuuksien havainnointia. Sadon määrässä havaittiin kuitenkin selkeä alenema rikittömällä ruudulla.

## 6 Johtopäätökset

Rikillä on vaikutusta typen hyväksikäyttöön (Kleemola, Peltonen 2006, 2–3). Opinnäytetyön lannoitus kokeissa kasvuston satomäärät olivat rikkilannoitetuilla kaistoilla rikitöntä kaistaa suuremmat samasta typpilannoitus tasosta huolimatta. Tästä voidaan päätellä typen hyväksikäytön olleen parempaa rikkilannoitetuilla kaistoilla ja rikittömän kaistan typen olevan suuremmassa huuhtouma-vaarassa verrokkikaistoihin verrattaessa. Voidaankin olettaa rikkilannoituksella voitavan vähentävän pellon typpihuuhtoumaa.

Kokeen tulokset myötäilevät aiempia rikkiä käsitteleviä tutkimustuloksia sadon määrän suhteen. Aiemmissa kokeissa ei ole havaittu rikkilannoituksen vaikuttavan merkittävästi nurmisadon laatuun. Tässä tutkimuksessa polysulfaattiruudun ja rikittömän ruudun välillä ei havaittu merkittävää laadullista eroa, mutta perinteisellä kaistalla havaittiin vertailukaistoja suurempi sulavuuden lasku. Tavanomaisen kaistan nopeampaa D-arvon laskua ei kokeessa pystytty selvittämään. Tässäkään tutkimuksessa ei havaittu merkittävää eroa sadon laadussa rikkilannoitetuilla tai rikkilannoittamattomalla kasvustolla. Sadon määrä on aiemmissa kokeissa ollut 5–10 % korkeampi rikkilannoitetuissa kasvustoissa. Tässä kokeessa sadon määrä oli samassa suhteessa korkeampi rikkilannoitetulla kasvustolla. Rikki vaikuttaa kasvin typen käyttöön positiivisesti ja paremmalla typenkäytöllä kasvi

pystyy tuottamaan suuremman sadon (Kleemola, Peltonen 2006, 2–3). Rikkilannoituksella saatava sadon lisäys aiheutuu siis kasvin tehokkaammasta typen ottamisesta, joka taas tehostaa typen hyväksikäyttöä ja ehkäisee typen huuhtoutumista. Oikein mitoitettulla rikkilannoituksella voidaan parantaa ympäristön tilaa, mutta liiallinen rikkilannoitus heikentää ympäristön tilaa sillä rikki huuhtoutuu maaperästä tehokkaasti. (Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. 2020.)

Suomessa myytävissä lannoitteissa on pääasiassa riittävä määrä rikkiä nurmikasvuston tarpeisiin. Rikkilannoituksen tarve on kuitenkin merkittävä käytettäessä pääasiallisena lannoitusmuotona karjanlantaa. Karjanlannassa rikki on orgaanisessa muodossa ja näin ollen heikosti kasvin käytettävissä. (Alakukku, Alasuutari, Harmoinen, Palva. 2009, 14–15). Polysulfaatti soveltuu hyvin rikkilannoitukseen, kun pääasiallisena lannoitusmuotona käytetään karjanlantaa. Polysulfaatin rikki vapautuu hitaasti ja kestää hyvin huuhtoutumista. Polysulfaatti voidaankin lannoittaa kerta-ajolla pellolle keväällä ja sen sisältämä rikki vapautuu tasaisesti kasvuston käyttöön kasvukaudenaikana. Kertalevitys säästää levityskustannuksia ja on helpohkosti ulkoistettavissa urakoitsijalle, jos tilalla ei itsellään ole soveltuvaa lannoitinta. Polysulfaatin luomuhyväksyntä mahdollistaa lannoitteen käytön myös luomuviljelyssä. Karjanlannan lisänä annettu rikkilannoitus parantaa kasvin kykyä hyödyntää typpeä ja sen tulisi parantaa karjanlannan lannoitus tehoa. (Polysulphate: good for your crops good for the environment. 2021.)

### **Jatkotutkimus**

Jatkotutkimusta olisi hyvä kohdistaa juuri luomutyypiseen lannoitus strategiaan, jossa kasvustoa lannoitetaan vain karjanlannalla. Millaista sadonlisää polysulfaattilla saadaan vain karjanlannalla lannoitetuilla pelloilla? Jos kasvustoon lisätään typpeä vain karjanlannalla rajoittaa fosfori levitysmäärää ja lannoitetyppitaso jää matalammaksi, miten polysulfaatti lannoitus vaikuttaa kasvin typen käyttöön eri lannoite tasoilla entä ilman typpilannoitusta?

## Lähteet

Ajosempää, T. Kaseva, A. Laine, K. Mononen, M. Niemi, J. 2019. Toimenpidesuosituksia happamien sulfaattimaiden haittojen vähentämiseksi Sirppujoen valuma-alueilla. Turun ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.4.2023. <https://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522167279.pdf>.

Alakukku, L. Alasuutari, S. Harmoinen, T. Palva, R. 2009. Lannan käsittely ja käyttö. Vantaa: ProAgria keskusten liitto.

Alakukku, L. Jaakkola, A. Kari, M. Kleemola, J. Mäntylahti, V. Partanen, E. Peltonen, J. Puustinen, M. Savela, P. Sipiläinen, T. Tauriainen, S. Yli-Halla, M. 2009. Ravinteet kasvuotannossa. Keuruu: ProAgria Keskusten Liitto.

Alderton, A. 2017. How to address grassland sulphur to improve silage quality. Farmers weekly. Viitattu 27.4.2023. <https://www.fwi.co.uk/livestock/grassland-management/how-to-address-grassland-sulphur-improve-silage-quality>.

Ansalehto, A. Huuskonen, A. Jaakkola, S. Kainulainen, P. Kurki, P. Kyntäjä, J. Mero, H. Niemeläinen, O. Niskanen, H. Niskanen, M. Nousiainen, J. Nykänen, A. Nysand, M. Pakarinen, K. Peltonen, S. Puurunen, T. Rinne, M. Saarijärvi, K. Sairanen, A. Suokangas, A. Toivakka, M. Vallinovi, S. Virkajärvi, P. 2010. Nurmirehujen tuotanto ja käyttö. Hämeenlinna: ProAgria Keskusten Liitto.

Anttila-Lindeman. 2017. Nurmessa on potentiaalia. Maatilan Pellervo. Viitattu 27.12.2022. <https://maatilanpellervo.fi/2017/09/06/nurmessa-on-potentiaalia/>

Conner, A. 1932. Availability to plants of potash in polyhalite. Texas agricultural experiment station. Viitattu 22.2.2024. <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/5704/Bull0449.pdf?sequence=17>.

Ekholm, P. Lehtoranta, J. 2013. Sulfaatti - salakavala rehevöittäjä. Vesitalous. Talotekniikka-Julkaisut. Viitattu 3.4.2023. [https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2013/04/Vesitalous\\_02\\_2013.pdf](https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2013/04/Vesitalous_02_2013.pdf).

Fan, M. 2010. Sulphur and Enhanced Efficiency Fertilizers. The Sulphur Institute. Washington. Viitattu 26.4.2023. <https://ureaknowhow.com/wp-content/uploads/2015/04/2010-Fan-TSI-S-and-the-enhanced-efficiency-fertilizers.pdf>.

Hartikainen, M. Hyrkäs, M. Korhonen, P. Kyykkänen, S. Virkajärvi, P. 2017. Nurmen huikea satopotentiaali-tuoreita tuloksia typpilannoituskokeesta. Luonnonvarakeskus. Viitattu 25.1.2023.

[https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/hyrkas\\_maitovalmennus\\_nurmiseminaari\\_7\\_9.2017\\_maarit\\_hyrkas.pdf](https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/hyrkas_maitovalmennus_nurmiseminaari_7_9.2017_maarit_hyrkas.pdf)

Heikkilä, R. Huhtala, H. Koikkalainen, K. Virkajärvi, P. 1990. Pitkäaikaisen säilörehunurmen kaliumlannoitus heikosti kaliumia pidättävillä mailla. Luonnonvarakeskus. Viitattu 1.2.2024.

[https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/440565/maatut9\\_90.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/440565/maatut9_90.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Heikkilä, T. Jaakkola, S. Saarisalo, E. 2010. Säilöntäaineen ja kuiva-ainepitoisuuden vaikutus säilöheinän laatuun. Suomen maataloustieteellinen seura. Tiedote nro 26 pdf. Viitattu 1.1.2023.

<https://journal.fi/smst/article/view/75724/37127>

Helaakoski, A. 2002. Säilörehu syrjäyttänyt kuivan heinän. Kaleva.fi. Viitattu 29.12.2022.

<https://www.kaleva.fi/sailorehu-syrjayttanyt-kuivan-heinan/2268724>

Huhtanen, P. Nousiainen, J. Rinne, M. 2008. Karkearehujen sulavuuden määrittäminen tarkentunut. Suomen maataloustieteellinen seura. Tiedote nro 23 pdf. Viitattu 1.1.2023.

<https://journal.fi/smst/article/view/76939/38092>

Hyrkäs, M. Hyvärinen, T. Rossi, A. Rätty, M. 2018. Suomen maataloustieteellinen seura. Tiedote nro 35 pdf. Viitattu 1.1.2023. <https://journal.fi/smst/article/view/73216/35079>

Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. 2021. Tutkimuseettinen neuvottelukunta. Verkkojulkaisu. Viitattu 19.4.2022. <https://tenk.fi/fi/ohjeet-ja-aineistot/HTK-ohje-2012#HTK>.

Hyytiäinen, K. Koikkalainen, K. Palosuo, T. Salo, T. Niemi, J. 2012. Suomen maataloustieteellisen seura. Tiedote nro 28 pdf. Viitattu 28.1.2023. <https://journal-fi.ezproxy.jamk.fi:2443/smst/article/view/75466/36888>

Jaakkonen, P. 2019. Vaivihkaa tehty muutos romahdutti suomalaisen naudanlihan aiheuttamat päästöt – tutkija: ”Keskusteluun kopioitu uhkia, joita täällä ei ole”. Ilta-Sanomat. Viitattu 11.5.2023. <https://www.is.fi/kotimaa/art-2000006263132.html>.

Kankare, M. 21.11.2022. BASFin tehtaasta tuli surullinen esimerkki. Kauppalehti.

Kleemola, J. Peltonen, J. 2006. Peltojen rikkitase on negatiivinen. Suomen maataloustieteellinen seura. Viitattu 9.4.2023. <https://journal.fi/smst/article/download/76016/37376/105222>.

Kohti hiilineutraalia ruokaketjua. N. d. Atria Suomi Oy. Viitattu 11.5.2023.

<https://www.atria.fi/konserni/vastuullisuus/maapallo/hiilineutraali-ruokaketju/>.

Kokeellinen tutkimus. 2015. Jyväskylän Yliopisto. Verkkojulkaisu. Viitattu 19.4.2022.  
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/kokeellinen-tutkimus>.

Lannoiteopas 2021–2022 9.2021. Yara Suomi

Lämsä, T. Suomela, R. 2018. Tehoa pohjoiseen rehuntuotantoon- Tarkista nurmen kalitalous. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.2.2024.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/154019/ePooki%2055\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/154019/ePooki%2055_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Mäkelä, J. & Mikkola, H. 1987. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. Vakolan tutkimuslaskelma 47. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. Painos 2. Viitattu 7.9.2022.  
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjngeqefv5AhX-plIsKHV1xCbUQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fjukuri.luke.fi%2Fbitstream%2Fhandle%2F10024%2F484437%2Fvttselostus47.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&usg=AOvVaw0JjAu2rOixwsV9uRSs2U0->

Nurmesta tulosta -tiedotushanke. N. d. Nurtu pääprojekti. Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2014–2020. Viitattu 11.5.2023. <https://www.luke.fi/fi/projektit/nurtu-paaprojekti>.

Näin lasket märehittäjien rehuarvot. N.d. Maatalousinfo. Luke.fi. Viitattu 1.1.2023.  
<https://maatalousinfo.luke.fi/fi/cms/rehu/marehtijat/laskentaperusteet/>

Paananen, S. 2022. Nurmiviljely – maaperälle hyväksi, mutta murheena ovat eläintuotannon päästöt. Verdelehti.fi. Viitattu 27.12.2022. <https://verdelehti.fi/2022/06/08/nurmiviljely-maaperalle-hyvaksi-mutta-murheena-ovat-elaintuotannon-paastot/>

Polysulphate - from polyhalite to fertilizer and mine to fields. 2020. AICL. Viitattu 11.3.2024.  
<https://www.youtube.com/watch?v=TkMN3XIi8A>.

Polysulphate: good for your crops good for the environment. 2021. AICL. Viitattu 16.4.2023.  
<https://www.youtube.com/watch?v=0O17H83192A>.

Polysulfaatti-korkealaatuisen perunan huippusatoihin. 2022. Viljelijän Avena Berner. Viitattu 16.4.2023. [https://www.bernerbrandbank.fi/l/7gvNsrGLMF\\_k](https://www.bernerbrandbank.fi/l/7gvNsrGLMF_k).

Prolonged nutrient release pattern of Polysulphate fertilizer. N.d. AICL. Viitattu 16.4.2023.  
[https://multisite-assets.icl-growingsolutions.com/wp-content/uploads/2021/10/06113927/sale-page-poly-VS-SOP\\_en\\_2023\\_web.pdf](https://multisite-assets.icl-growingsolutions.com/wp-content/uploads/2021/10/06113927/sale-page-poly-VS-SOP_en_2023_web.pdf).

Rehutaulukot. N.d. Luke tutkimustietokannat. Viitattu 1.1.2023.  
[http://px.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/maatalous/maatalous\\_rehutaulukot/marehtijat.px](http://px.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/maatalous/maatalous_rehutaulukot/marehtijat.px)

Rikki. N. d. Yara.fi. Viitattu 10.4.2023. <https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/rikki/>.

Ritchie, H. Rosado, P. Roser, M. N. d. Fertilizers. Our World in data. Viitattu 26.4.2023. <https://ourworldindata.org/fertilizers>.

Saarela, I. 2000. Fosfori ja kalkitus pitävät nurmia kunnossa. Luonnonvarakeskus. Viitattu 19.2.2024. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/449437/mtt-kjak-v57n6s06b.pdf?sequence=1>.

Suomalainen nauta. 2020. MTK.fi. Viitattu 25.1.2023. <https://www.mtk.fi/-/suomalainennauta>

Sulfaattikuormitus voi vaarantaa vesistöjen tilan. 2020. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 10.4.2023. [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Sulfaattikuormitus\\_voi\\_vaarantaa\\_vesisto\(58407\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Sulfaattikuormitus_voi_vaarantaa_vesisto(58407)).

Tavoitteena hiilineutraali ruokaketju – Valio, Atria ja Luonnonvarakeskus rakentavat kansallista mallia maidon- ja naudanlihantuotannon hiilijalanjäljen laskentaan. 2021. Luonnonvarakeskus. Viitattu 11.5.2023. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/tavoitteena-hiilineutraali-ruokaketju-valio-atria-ja-luonnonvarakeskus-rakentavat-kansallista-mallia-maidon-ja-naudanlihantuotannon-hiilijalanjaljen-laskentaan>.

Tunnista typenpuutosoireet kasvustossa- Typpi ravinteena. 2009. Farmit.net. Yara Suomi Oy. Viitattu 4.2.2023. <https://www.farmit.net/kasvinviljely/2009/04/03/tunnista-typen-puutosoireet-kasvustosta-typpi-ravinteena>

Trial data sheet. 2016. Goulding soil nutrition. Viitattu 16.4.2023. <https://www.gouldings.ie/wp-content/uploads/2022/02/Gouldings-Polysulphate-Grass-DM-Trial-Data.pdf>.

Typpi. N.d. Yara.fi. Viitattu 4.2.2023. <https://www.yara.fi/lannoitus/ravinteet/typpi/>

Valtioneuvoston selonteko maankäyttösektorin ilmastosuunnitelmasta. 2022. Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 11.5.2023. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164301/MMM\\_2022\\_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164301/MMM_2022_15.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Vertaileva tutkimus. 2015. Jyväskylän Yliopisto. Verkojulkaisu. Viitattu 19.4.2022. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/vertail-eva-tutkimus>.

Westman, C. 1991. Maaperä ja sen toiminta kasvualustana. Helsingin yliopisto. Viitattu 9.4.2023. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/411/Maapera.pdf?sequence=1>.

## Liitteet

### Liite 1. Näytetulokset Valma rehulaboratorio

Sato	Ruutu	Päivä	Paino	Pituus	Kuiva-aine	Raakavalkuainen	Kuitu NDF	D-arvo	Sokeri	Sulamaton kuitu indf	Tuhka	ME energia arvo	oiv	PVT	KG/KA/HA	
1	Polysulfaatti	2.6.	0,7	36	0,178	257	438	768	104		23	82	12,3	102	107	1246
1	Polysulfaatti	7.6.	1,15	49	0,199	201	458	747	120		39	73	11,9	94	62	2288,5
1	Polysulfaatti	13.6.	2	65	0,175	163	529	694	102		68	67	11,1	85	37	3500
2	Polysulfaatti	18.7.	0,97	45	0,222	224	470	712	91		40	75	11,4	93	87	2153,4
2	Polysulfaatti	22.7.	1,07	55	0,241	190	492	711	125		42	69	11,4	90	58	2578,7
2	Polysulfaatti	29.7.	1,5	65	0,223	152	550	703	130		56	59	11,2	85	26	3345
2	Polysulfaatti	2.8.	1,6	75	0,236	153	529	697	130		58	71	11,1	84	28	3776
1	Tavanomainen	2.6.	0,65	36	0,169	268	457	752	67		27	85	12	102	120	1098,5
1	Tavanomainen	7.6.	1,15	49	0,187	203	463	743	116		34	72	11,9	94	64	2150,5
1	Tavanomainen	13.6.	1,97	65	0,175	174	555	679	90		77	65	10,9	85	49	3447,5
2	Tavanomainen	18.6.	0,86	45	0,2	220	480	713	92		43	77	11,4	93	83	1720
2	Tavanomainen	22.7.	1,18	55	0,224	174	488	709	137		50	71	11,4	88	44	2643,2
2	Tavanomainen	29.7.	1,42	65	0,215	150	558	677	137		69	57	10,8	82	28	3053
2	Tavanomainen	2.8.	2	75	0,216	139	571	656	118		91	59	10,5	79	22	4320
1	Rikitön	2.6.	0,67	36	0,191	266	435	754	89		30	89	12,1	102	118	1279,7
1	Rikitön	7.6.	1,2	49	0,19	201	461	742	124		41	76	11,9	94	62	2280
1	Rikitön	13.6.	1,88	65	0,177	183	513	695	97		63	68	11,1	87	54	3327,6
2	Rikitön	18.7.	0,78	45	0,229	225	480	698	90		51	80	11,2	92	90	1786,2
2	Rikitön	22.7.	1,1	55	0,248	177	505	702	122		52	75	11,2	87	48	2728
2	Rikitön	29.7.	1,3	65	0,216	171	556	703	117		44	57	11,3	87	42	2808
2	Rikitön	2.8.	1,5	70	0,232	144	547	686	148		64	60	11	82	22	3480