

RÄMEIDEN FOSFORIKALIUM-LANNOITUS KAINUUSSA

Karppinen Noora

Opinnäytetyö

Metsätalous
Metsätalousinsinööri (AMK)

2021

Metsätalous
Metsätalousinsinööri (AMK)

Tekijä	Noora Karppinen	Vuosi	2021
Ohjaaja	Jussi Soppela		
Toimeksiantaja	Luonnonvarakeskus		
Työn nimi	Rämeiden fosforikalium-lannoitus Kainuussa		
Sivu- ja liitesivumäärä	48 + 10		

Tämä työ käsittelee fosforikalium-lannoituksen vaikutuksia puuston kasvuun ja terveydentilaan Kainuussa. Neulasanalyysien avulla saadaan osoitettua muutos, joka ravinnetilassa tapahtuu lannoituksen jälkeen. Koemetsiköt sijaitsevat Risti-järvellä Nokkapuronsuolla ja Vuolijoille Otannevilla. Nokkapuronsuon koe on perustettu 1950-luvulla. Tutkimusmetsikkö on lannoitettu kolme kertaa. Otannevilla ennen vuotta 2007 olevista lannoituksista ei ole varmaa tietoa. Koemetsiköt ovat ravinnetiloiltaan erilaisia. Nokkapuronsuon puusto kärsi ankarasta puutoksesta, Otannevilla kasvua haittaavaa puutosta ei ole havaittu, joten lannoituksen vaikutukset olivat alhaisempia lannoittamattomaan vertailtaessa. Työn toimeksiantaja on Luonnonvarakeskus.

Opinnäytetyössä aineistona käytettiin valmiiksi kerättyä aineistoa. Nokkapuronsuon aineisto on mitattu vuonna 2019 ja Otannevan vuonna 2018. Nokkapuronsuolla on yhteensä 40 koealaa, joille on toteutettu laajasti erilaisia lannoituksia. Otannevilla on 12 koealaa, joissa lannoituskäsittelyt ovat rautapitoinen fosforikalium ja kalisuola. Nokkapuronsuon tulokset ovat vuosien 2006–2019 kasvujaksoilta ja Otannevan tulokset ovat vuosilta 2007–2018. Nokkapuronsuon aikaisempia tuloksia vuodelta 2006 on julkaistu vuonna 2011.

Nokkapuronsuolla PK-lannoituksilla ja Otannevilla fosforikaliumilla keskimääräinen vuosittainen kasvu on parhaimmillaan ollut yli kymmenen kuutiometriä hehtaarilla. Nokkapuronsuolla tilavuuden kasvu on ollut alle kuutiometriä hehtaarilla ilman lannoitusta. Kokonaisuudessaan tulokset Nokkapuronsuolla osoittavat, että PK-lannoituksella on merkittävä vaikutus puuston kasvuun verrattuna muihin käsittelyihin.

Lannoituksilla pyritään korjaamaan ravinnepuutoksia sekä lisäämään puuston kasvua. Kainuusta ei ole saatavilla kovinkaan paljon tutkimustietoa suometsien lannoituksista. Työ antaa lisätietoa siitä, kuinka lannoitus lisää kasvua Kainuussa.

Forestry
Forestry Engineer

Author	Noora Karppinen	Year	2021
Supervisor	Jussi Soppela		
Commissioned by	Natural Resources Institute Finland		
Subject of thesis	Fertilization on pine swamps in Kainuu		
Number of pages	48 + 10		

This thesis considers effects of phosphorus potassium-fertilizations on growth and nutrition of Scot pine on pine swamps in Kainuu. The needle analysis indicates changes which happen in needles after fertilization. The experiments are in Ristijärvi, Nokkapuronsuo and Vuolijoki, Otanneva. The test in Nokkapuronsuo is founded in 1950s. It is fertilized three times. In Otanneva before 2007 fertilizations are unknown. The nutrient status is different in both experiments. Trees of Nokkapuronsuo suffer from deficiencies while even the trees in unfertilized plots of Otanneva are in good concentrations which is why after the fertilization, effects are minimal compared to unfertilized areas. The thesis is commissioned by Natural Resources Institute.

Pre-measured material is used in this thesis. Material from Nokkapuronsuo is measured in 2019 and Otanneva in 2018. There are 40 test areas in Nokkapuronsuo with several different fertilizations. There are 12 test areas in Otanneva with ferrous PK fertilizer and potassium chloride. The results in Nokkapuronsuo are from 2006 – 2019 growth period and results in Otanneva are from 2007 – 2018 growth period. Earlier results from Nokkapuronsuo were published in 2011.

After PK fertilizer in Nokkapuronsuo and Otanneva the average annual growth has been at its best over ten cubic meter per hectare. In unfertilized plots annual growth has been less than one cubic meters per hectare. In its totality the effects of phosphorus potassium-fertilization are significant compared to other treatments in Nokkapuronsuo.

The purpose of fertilization is to improve nutrient status and increase growth of the forest. There is a small amount of research data from fertilizations in Kainuu. The study gives more information on how fertilization increases growth in Kainuu.

Key words phosphorus potassium-fertilization, Kainuu, fertilization, peatland forest

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	SUOMETSIEEN RAVINTEET JA LANNOITUS	8
2.1	Ravinteet	8
2.2	Suometsien lannoitus ja lannoitteet	11
2.3	Ympäristö- ja vesistövaikutukset	12
3	TUTKIMUSMETSIKÖT	14
3.1	Ristijärven tutkimusalue	14
3.2	Vuolijoen tutkimusalue	17
4	TULOKSET	19
4.1	Ristijärven tulokset	19
4.1.1	Vaikutukset neulasten ravinteisiin vuonna 2006	19
4.1.2	Vaikutukset pohjapinta-alan kasvuun	24
4.1.3	Vaikutukset keskiläpimitan kasvuun	25
4.1.4	Vaikutukset keskipituuteen	26
4.1.5	Vaikutukset kuorelliseen runkotilavuuteen	27
4.2	Vuolijoen tulokset	30
4.2.1	Vaikutukset neulasten ravinteisiin vuonna 2009	30
4.2.2	Vaikutukset pohjapinta-alaan	33
4.2.3	Vaikutukset keskiläpimitaan	35
4.2.4	Vaikutukset keskipituuteen	36
4.2.5	Vaikutukset kuorelliseen runkotilavuuteen	37
4.3	Johtopäätökset	40
5	POHDINTA	44
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	48

ALKUSANAT

Haluan kiittää Luonnonvarakeskusta mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö kyseisestä aiheesta. Haluan kiittää myös opinnäytetyön ohjaajaani erikoistutkijaa Hannu Hökkää kaikesta avusta työni aikana.

Haluan kiittää perhettäni ja läheisiä, jotka ovat kuunnelleet opinnäytetyöstäni, koska se on auttanut minua oppimaan enemmän ja syventämään tietoa lannoituksista.

1 JOHDANTO

Suomessa on metsätalousmaata viimeisimmän metsävaratiedon (2020) mukaan 26,3 miljoonaa hehtaaria. Kasvupaikat metsätalousmaalla ovat suurimmalta osin kankaita, joita on 66 prosenttia, rämeitä 20 prosenttia, korpia kahdeksan prosenttia sekä avosoita kuusi prosenttia. Soiden määrä on 8,8 miljoonaa hehtaari, josta ojitamattomia soita on 47 prosenttia pinta-alasta ja ojitettuja soita on 53 prosenttia pinta-alasta. (Luonnonvarakeskus 2020.)

Kainuussa on metsätalousmaata 1,93 miljoonaa hehtaaria (Luonnonvarakeskus 2020). Soiden osuus metsätalousmaasta on Kainuussa jopa 43 prosenttia. Ojitettua suota on Kainuussa 74 prosenttia, mikä tekee Kainuusta Suomen kolmanneksi soisimmaksi maakunnaksi. (Sallinen 2012, 4, 9.)

Kasvitieteellisen määritelmän mukaan suo on kasvupaikaltaan alue, jolla on turvetta kerryttävä kasviyhdyksunta. Turvemaiksi tulkitaan geologisen määrittelyn mukaan suot, joiden kivennäismaa on vähintään 30 senttimetrin syvyydellä. Päätyyppiryhmittäin soita ovat korvet, rämeet ja avosuot. Nevat ja letot kuuluvat avosoihin. Aitoihin puustoisiin suotyyppeihin luetaan korvet ja rämeet. Korvet ja rämeet voidaan jakaa myös aitoihin, puustoisiin soihin ja avosoiden yhdistelmiin eli sekatyyppeihin. Ojitetut suot jaetaan ojikoihin, muuttumiin ja turvekankaisiin riippuen niiden ojituksen kuivatus vaikutuksesta Suota kutsutaan ohutturpeiseksi, jos turvekerros on alle 30 senttimetriä. (Vanhatalo ym. 2019, 8.)

Suometsää keskeisesti rajoittavat tekijät ovat liiallinen vesi ja kivennäisravinteiden puutos. Lannoituksella voidaan parantaa kasvua ja elinvoimaisuutta suurin piirtein neljäs osassa Suomen suometsiä. Ojitetuissa suometsissä vesiensuojelu nousee erityiseen huomioon, jotta kiintoaineita ja ravinteita ei kulkeudu vesistöihin. (Vanhatalo ym. 2019, 7.)

Turvemaiden, rämemänniköiden PK-lannoituksella voidaan Etelä- ja Keski-Suomessa saavuttaa jopa kahden ja puolen kuutiometrin lisäkasvu vuodessa. Lannoituksen jälkeen, 15 vuoden tarkastelujakson aikana tämä tarkoittaa jopa 35–40 kuutiometrin lisäkasvua. (Yara Suomi Oy 2021a.) Lannoitukseen ihanteellimmat kohteet ovat paksuturpeiset rämemänniköt, koska niiden ravinnetalous voidaan korjata PK- tai tuhkalannoituksella. (Viiri 2020).

Tavoitteita tässä opinnäytetyössä on selvittää, miten paljon fosforikalium-lannoitus vaikuttaa rämeiden puuston kasvuun ja elinvoimaisuuteen. Pää tavoitteena on seurata, miten paljon PK-lannoitus vaikuttaa puuston tilavuuden kasvuun. Muita tarkastelun kohteita ovat pituuden, keskiläpimitan ja pohjapinta-alan kasvu. Tavoitteena on myös selvittää, millainen vaikutus lannoituksilla on metsän ravinnetilaan.

Nykyään tuhka on yleisin soilla käytettävä lannoite ja sen vaikutus on pitkälle sama kuin PK-lannoksella, koska käytetään samoja ravinteita, joista soilla on puutetta. Työn tulokset osoittavat niin PK-lannoksen kuin tuhkalannoituksen vaikutusta rämeiden puuston kasvuun Kainuussa. (Hökkä 2021.)

Tutkimusmetsiköt ovat Ristijärvellä Nokkapuronsuolla (Liite 1) ja Vuolijoella Otanavassa (Liite 2). Toimeksiantajana tässä työssä on Luonnonvarakeskus. Aineistona käytetään jo valmiiksi mitattuja tietoja, mutta uusimpia puustotietoja ei ole aiemmin julkaistu. Tutkimuksessa vertaillaan neulasanalyysijä, verrataan toisiinsa lannoitettuja ja lannoittamattomia. Neulasanalyysillä saadaan osoitettua se muutos ravinnetaloudessa, mikä tapahtuu puustossa lannoituksen seurauksena. Työssä tarkastellaan myös lannoituksen vaikutusta kuusialikasvokseen. Luonnonvarakeskus saa tietoutta heidän aikaisempien tutkimusmetsiköiden tilasta ja pitkänaikavälin tutkimustietoa lannoitusten vaikutuksista.

Kainuussa ei ole kovin paljon tutkittu turvemaiden lannoituksia, joten tuloksilla saadaan havainnollistettua lannoituksia Kainuussa. PK-lannoituksen tuloksia voidaan hyvin soveltaa myös tuhkalannoitukseen Kainuussa, koska lisättävät ravinteet ovat samat (Hökkä 2021). Tutkimusmetsiköt eroavat toisistaan puutostiloissaan, jolloin saadaan erilaisia kasvureaktioita.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten fosforikalium-lannoitus vaikuttaa rämeiden puuston kasvuun?
2. Millainen vaikutus fosforikalium-lannoituksella on metsän ravinnetilaan?

2 SUOMETSIIEN RAVINTEET JA LANNOITUS

2.1 Ravinteet

Kasvutekijät, kuten lämpö, valo, vesi, maaperän ominaisuudet ja ravinteet vaikuttavat siihen, miten puusto kasvaa. Puuston kasvuun vaikuttavat eniten se kasvutekijä, mitä on vähiten saatavilla. (Toivoniemi 2014, 5.) Ravinteita, joita puut tarvitsevat ovat typpi, fosfori, kalium, kalsium, magnesium ja rikki. Nämä ovat puiden tarvitsemia pääravinteita. Hivenravinteita, joita puut tarvitsevat ovat rauta, mangaani, kupari, sinkki, boori, molybdeeni ja kloori. Ravinteita tulisi saada oikeassa suhteessa. (Yara Suomi Oy 2021a.)

Kivennäismailla puutosta on yleensä tpeestä. Ojitetuilla soilla puutosta yleensä on fosforista ja kaliumista. Kivennäismaihin verrattuna metsänkasvatukseen kelpaavissa suometsissä tpepeä on saatavilla riittävästi. Typen määrän voi silmävaraisesti arvioida turvelajin perusteella sekä siitä, kuinka turve on maatunut. (Toivoniemi 2014, 7.) Kunnostusojituksen ja hakkuiden yhteydessä kaliumin ja boorin huuhtoutumisriski kasvaa. Uudistushakkuun yhteydessä fosforia huuhtoutuu helposti, etenkin jos pohjaveden pinta pääsee nousemaan, kun haihduntavaikutus lakkaa. (Vanhatalo ym. 2019, 14.)

Vakavan puutosoireen pystyy näkemään vasta puuston ulkoasussa. Lieviä puutosoireita ei pysty silmävaraisesti havaitsemaan. Ulkoasussa voi havaita vakavan ravinnepuutoksen neulasten värimuutoksena, kasvuhäiriönä sekä puuston kasvun taantumisena. Ravinnepuutosoireiden näkyminen viittaa kasvulliseen ja laadulliseen tappioon. (Toivoniemi 2014, 9.)

Ravinnetilan selvittäminen on varminta selvittää neulasanalyysillä. Sen pohjalta saadaan kohdistettua oikeat lannoitteet metsän tarpeen mukaan, jolloin saadaan metsä kasvamaan ja tuottamaan. Neulasnäytteet otetaan, kun lämpötila päivällä laskee nollan puolelle, puiden ollessa lepotilassa. Näyte otetaan kuvion valtapuiden latvuksista ja tarkemmin etelänpuolisten osien tuoreimmista vuosikasvuista. Luotettavuuden vuoksi kasvaimia tarvitaan 7–10 eri puusta ja oksan kärjet annetaan olla kokonaisina. Neulasnäytteet otetaan vain terveistä puista. (Eurofins Viljavuuspalvelu 2021.)

Fosforia (P) tarvitaan aineenvaihduntaa ja energiataloutta varten sekä siementen itämistä varten. Myös juuristot tarvitsevat riittävästi fosforia kehittyäkseen normaalisti. Fosforin puutoksen puissa voi tunnistaa heikosta kasvusta sekä mutkaisuudesta että hennosta vuosikasvaimesta. Fosforin puutoksen seurauksena neulasset ovat lyhyitä ja varisevat liian aikaisin. Neulaskertoja on vain yksi ja kun kyseessä on ankara puutostila, on se havaittavissa taimien latvakatona. Fosforin puutos on usein yhteydessä kaliumin puutokseen suometsissä. (Yara Suomi Oy 2021a.) Ankaran fosforin puutoksen näkyessä merkittäviä kasvuhäiriöitä on jo aiheutunut. Fosforin puutoksen seurauksena puiden kylmänkestävyys heikentyy, minkä takia neulasten kärjet saattavat ruskettua. (Vanhatalo ym. 2019, 14, 61–62.)

Kaliumin (K) puutosta esiintyy vain suometsissä. Kaliumin tehtävänä on säädellä puiden vesitaloutta. Aminohappojen ja sokerien kuljetukseen puusto tarvitsee kaliumia. Kalium on välttämätön myös fotosynteesissä. Kalium auttaa puustoa kestämään kuivuuden ja pakkasen aiheuttamia vahinkoja. (Toivoniemi 2014, 13.)

Puutosoireita on esimerkiksi kloroosio eli viherkato. Ilmentyminen on nähtävissä edellisen vuoden neulasissa syys-lokakuussa. Männyllä ja kuusella värimuutos on ravinnepuutoksien oireista helpoiten tunnistettavissa. Kuusella viherkatoa on koko neulasessa ja männyllä sitä ilmentyy neulasen kärkiosassa. (Toivoniemi 2014, 13.) Räreillä kaliumin puutos näkyy alikasvoskuusissa. Pohjakerroksessa karhunsammaleen runsaus kertoo, että kaliumia on vähän. (Yara Suomi Oy 2021b, 4.) Lannoituksen jälkeen kaliumin puutoksen ilmeneminen voi kestää 10–25 vuotta, riippuen käytetystä lannoitteesta ja lannoitemäärästä (Hökkä 2021). Kunnostusojituksen ja hakkuiden yhteydessä riski kaliumin huuhtoutumisesta kasvaa (Vanhatalo ym. 2019, 14).

Selvimmän kasvuun vaikuttava ravinne on typpi (N), joka on yksi kasvisolun rakenneaineista. Yleisesti ottaen suometsissä on riittävästi typpeä puustolle käytökelpoisessa muodossa. Ainoastaan ohutturpeisissa suometsissä voi olla puutosta, koska puuston juuristo on yhteydessä turpeen alla olevaan kivennäismaahan. Oireena männyllä ja kuusella on neulasten kellanvihreä viherkato eli kloroosi, jota esiintyy latvuksessa. (Toivoniemi 2014, 11.) Korkea typpipitoisuus turpeessa luo pohjan hyvälle puuntuotokselle. Kun typpeä on turpeessa yli kaksi

prosenttia, puhutaan runsastyyppisestä suosta. Typen määrän voi myös päätellä entisillä ojitusaloidilla pintakasvillisuuden perusteella, koska jokainen kasvilaji kasvaa hyvin ja viihtyy sille tyypillisellä ja sopivalla viljavuuden asteikolla. Typensuosijakasveja ovat siniheinä, riidenlieko, pihlaja, kataja ja paatsama. (Issakainen & Moilanen 2003, 20.)

Kivennäismailla typen puute on merkittävin kasvua rajoittava tekijä, kaikilla kasvupaikoilla karukkokankaista lehtomaisiin kankaisiin asti. Typen runsaus aiheuttaa turvemaidella helposti kasvuhäiriöitä. Käyttökelpoisen typen määrä lisääntyy entisestään kunnostusojituksen seurauksena ja aiheuttaa lisää epäsuhdannetta ravinteiden välille. (Yara Suomi Oy 2021b, 12–13.)

Hivenravinteiden tehtävänä on säädellä aineenvaihduntaa, joka vaikuttaa puiden elintoimintoihin. Hivenaineiden puutostila näkyy hidastuneena pituuskasvuna, kasvuhäiriöinä sekä värimuutoksina. Boorin (B) puutos on tunnetuimpia hivenaineiden puutoksista. (Toivonniemi 2014, 15.) Boorin puutos näkyy puiden latvoissa haaroittumisena ja pensastumisena (Kuvio 1). Kunnostusojituksen ja hakuiden yhteydessä booria voi huuhtoutua, jolloin sen määrä vähenee. Pensastumisen seurauksena pituuskasvu tyrehtyy. Boorin puutoksen takia kasvupisteitä ja päätesilmuja kuolee, jolloin seurauksena on niiden paksuuntumista ja käyristymistä. (Vanhatalo ym. 2019, 14, 61–62.)

Boorilannoituksen vaikutukset ovat nopeita puiden kunnosta riippumatta. Tutkusti jo puoli vuotta lannoituksen jälkeen, jolloin booripitoisuudet nousevat moninkertaisiksi neulasissa. Koska päätesilmuja kuolee, toipuminen voi kestää 3–4 vuotta lannoituksesta, jolloin kasvuvaikutukset alkavat näkymään. Boorin puutos-tilan ja myrkytyksen väli on pieni, mikä tarkoittaa sitä, että häiriötilan korjaamiseksi lannoitemäärät ovat pieniä. (Yara Suomi Oy 2021b, 14.) Boorin myrkytykset metsäpuilla ovat kuitenkin vähäisiä (Reinikainen, Veijalainen & Nousiainen 1998, 28).



Kuvio 1. Boorin puutos kuusessa (Harvestia 2012, 6)

2.2 Suometsien lannoitus ja lannoitteet

Kun kivennäismailla eniten kasvua rajoittava tekijä on typen niukkuus, paksuturpeisilla ja alkujaan nevaisilla soilla kasvua rajoittavat tekijät ovat fosfori, jonka saatavuus on heikkoa ja toisekseen kalium, jota on niukasti. Lannoituksen vaikutus on näillä ojitetuilla turvemaidella lannoitteen mukaan jopa 15–30 vuotta. Männyn kasvua voidaan lisätä vuodessa jopa 2–4 kuutiometriä PK- tai tuhkalannoitteella. (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2014, 167.) Turvemaiden lannoitus on yksi parhaiten kannattavimmista metsänhoidon investoinneista sen pitkäaikaisen vaikutuksen ansiosta. Päätaavoite turvemaiden lannoituksessa on lisätä puunmyyntituloja, joka tapahtuu tasapainottamalla maaperän ravinteiden suhdetta, jolla yleensä tarkoitetaan fosforin ja kaliumin sekä boorin lisäämistä. (Vanhatalo ym. 2019, 59–60.)

Ravinne-epätasapainosta kärsivillä kohteilla ravinneanalyysi on syytä tehdä ennen kuin aloittaa hakkuun tai kunnostavan toimenpiteen. Lannoitteiden, lannoitemäärien ja toteutuksen on pohjauduttava metsän ravinnetilan tarpeen mukaan. Ravinneanalyysin avulla nämä saadaan kohdennettua oikein. (Äijälä ym. 2014, 169).

Lannoituskohteista parhaan tuoton antavat havupuuvaltaiset metsät, jotka on ojituksen jälkeen kehittyneet turvekankaiksi. Näille kohteille parhaiten soveltuu lannoite, joka sisältää fosforia, kaliumia ja booria. Parhaan tuoton antaa myös PK-

peruslannoitetut, ojituksen jälkeen turvekankaaksi kehittyneet suot. Näillä kohteilla jatkolannoitus toteutetaan 20–25 vuoden kuluttua peruslannoituksesta. Jatkolannoitteena käytetään kaliumia ja booria, joiden avulla metsä tuottaa kasvasajan loppuun asti. (Vanhatalo ym. 2019, 63.)

Muita lannoitukseen soveltuvia kohteita ovat pellot, jotka metsitetään tai on aiemmin metsitetty. Paksaturpeisille pelloille suositellaan kaliumia ja booria sisältäviä lannoitteita. Ohutturpeisille pelloille tarvittaessa vain boorilannoitus. Tavanomaisille ohutturpeisille hyvälaatuisille männiköille, kymmenen vuotta ennen päätehakkuuta suositellaan typpilannoitusta. Paksaturpeiset varputurvekankaat, jotka ovat syntyneet avosoista, saavat tuhkalannoituksesta tyydyttävän kasvunlisän. (Vanhatalo ym. 2019, 63.)

2.3 Ympäristö- ja vesistövaikutukset

Lannoituksen yhteydessä suurimpia riskejä ovat ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin ja pohjavesiin. Jotta nämä riskit saadaan minimoitua, tulee työ suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Edellytyksenä on, että lannoituskohde, lannoite ja levitystapa ovat valittu oikein. Fosfori on merkittävin vesistöjen rehevyyteen vaikuttava ravinne. Jotta fosforihuuhtoutumaa vältetään, turvemaidella käytetään rautapitoisia PK-lannoitteita sekä apatiitti- ja tuhkapohjaisia lannoitteita, niiden hidasliukoisuuden vuoksi. (Äijälä ym. 2014, 168–169.)

Typpilannoitteiden helppoliukoisuuden vuoksi typen huuhtoutuminen on herkintä ensimmäisenä vuotena lannoituksesta, mutta seuraava vuosi on huuhtoutumisriskin kannalta parempi. Vesistöjen kannalta kaliumilla ja hivenravinteilla ei ole suurta vaikutusta kuormitukseen. (Yara Suomi Oy 2021b, 24.)

Lannoituksessa vesistöjen varsille tulee jättää 20–50 metrin lannoittamaton suojavyöhyke, maaston kaltevuudesta ja maalajista riippuen. Tärkeät elinympäristöt poissuljetaan lannoituksesta ja niiden ympärille jätetään vähintään 20 metrin suojavyöhyke. Metsänlannoitus kuuluu hyvään metsänhoitoon, metsäsertifiointin kriteerien mukaan. Edellytyksenä on, että ravinteita ei huuhtoudu vesistöihin ja pienvesiin. (Yara Suomi Oy 2021b, 24.) Turvemaita lannoittaessa on hyvä yhdistää samalle ajankohdalle hakkuu, lannoitus ja kunnostusojitus on hyvä jättää viimeiseksi (Äijälä ym. 2014, 169).

Lannoituksen seurauksena latvusala kasvaa samassa suhteessa puuston määrän kanssa ja vaikuttaa siihen, miten paljon vettä tulee sateen seurauksena metsikön sisälle. Tämän seurauksena kasvualustalla on vähemmän vettä käytössä. Puustopääoman kasvaessa haihdunta kasvaa, mikä alentaa kesäkuukausina pohjaveden pintaa. (Moilanen 2005, 140.)

Lannoituksella on monia positiivisia ympäristövaikutuksia. Hiilensidonta lisääntyy, minkä seurauksena ilmakehästä poistuu haitallisia kasvihuonekaasuja. Metsänlannoituksen hiilensidontavaikutus on lähes 20 kertaa suurempi kuin lannoitteen ja toteutuksen hiilijalanjälki. Lannoituksen seurauksena marjasato lisääntyy hyvissä olosuhteissa. Karuilla kasvupaikoilla lannoitus on lisännyt mustikkasatoa, kun taas rehevillä kasvupaikoilla lisääntynyt heinittyminen voi estää marjasadon kasvun. Lannoituksen seurauksena metsänterveys paranee, kun puut pystyvät tuottamaan vasta-aineita tuholaisia vastaan, kuten pihkaa. Lannoituksella ei kuitenkaan pystytä estämään sieni- ja hyönteistuhoja, mutta lannoituksen ansiosta puut paranevat nopeammin tämänkaltaisista tuhoista. Eläimistölle ravintokasvien lisääntyminen antaa lisää ruokaa ja suojaa. (Yara Suomi Oy 2021b, 25.)

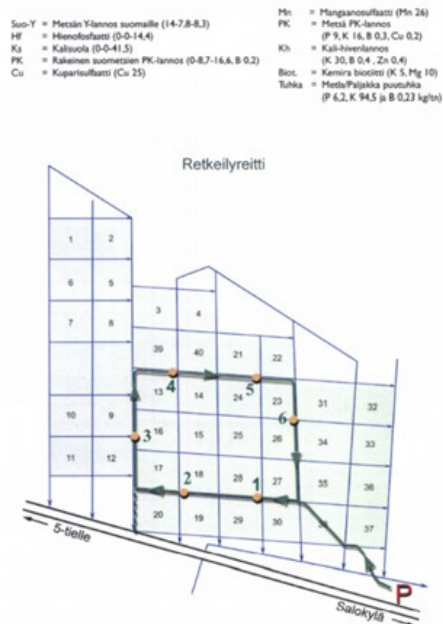
3 TUTKIMUSMETSIKÖT

3.1 Ristijärven tutkimusalue

Ristijärven tutkimusmetsikkö sijaitsee Nokkapuronsuolla ja on aikoinaan perustettu Metsäntutkimuslaitoksen ja UPM-Kymmeneen yhteistyön kautta. Nokkapuronsuon puusto on vuonna 2003 ollut suurin piirtein 54-vuotiasta luontaisesti syntynyttä riuku-harvennusvaiheen männikköä. Männikön seassa kasvaa myös hieskoivua. Tutkimusmetsikkö on perustettu 1950-luvulla, jolloin se on perusojitettu ja kunnostusojitus tehty kymmenen vuotta myöhemmin. Ensimmäinen lannoitus on toteutettu vuonna 1962, toinen lannoitus on toteutettu vuonna 1980. Männynneulasten ravinnetilan selvitys on tehty vuonna 1985. Metsä on harvennettu vuonna 1990. Ensimmäiset mittaukset on tehty 1996. Vuonna 1999 on otettu näytteet neulasista ja turpeesta. Vuonna 2000 on mitattu alikasvos. Kolmas ja viimeinen lannoitus on tehty vuonna 2002. Vuosien 2001 ja 2002 aikana tutkimusmetsikköön perustettiin retkeilyreitti. (Issakainen & Moilanen 2003, 7–8.)

Kasvupaikka on alkuperältään suursarainen, osittain lettoinen. Ojituksien ja lannoitusten seurauksena kasvupaikka on muuttunut puolukkaturvekankaaksi. Osassa alueesta on nähtävissä karhusammalmuuttumaa, mikä johtuu maaperän ravinne-epätasapainosta. Turvetta alueella on puolesta metristä yli metriin. Pohjalla on hiekkaa. Lannoittamattomat koealat eivät nykyisten metsänhoitosuositusten mukaan luokiteltaisi metsänkasvatukseen kelpaaviksi. Tämän vuoksi esimerkiksi ojia ei kannata kunnostaa. (Issakainen & Moilanen 2003, 8, 24.)

Nokkapuronsuo on pinta-alaltaan 3,7 hehtaaria ja alalla on 40 koealaa (Kuvio 2.), jotka ovat 7–13 aaria, riippuen sarkaleveydestä. Kukin koeala rajoittuu ojaan, joiden avulla puiden juuriyhteys on toistensa välillä katkaistu. (Issakainen & Moilanen 2003, 7.) Muutamalle koealalle on toteutettu täysin identtiset lannoitukset. Tässä työssä osa koealoista on jätetty pois tarkastelusta. Poisjätettävät koealat ovat 2, 9–12 sekä 21, 23, 26, 29, ja 38 koska ne eivät palvele tämän työn kokonaistavoitteita.



Kuvio 2. Nokkapuronsuon koealat (Issakainen & Moilanen 2003, 17)

Peruslannoitus on toteutettu vuonna 1962. Peruslannoitteina käytettiin vaihtoehtoisesti Suo-Y-lannoitetta, joka sisälsi typpeä, fosforia ja kaliumia. Peruslannoituksessa käytettiin hienofosfaattia (Hf), joka sisälsi fosforia. Lannoituksessa käytettiin kalisuolaa (Ks), joka sisälsi kaliumia. Peruslannoituksessa vaihtoehtona oli myös raakafosfaatin ja kalisuolan (HfKs) yhteiskäyttöä. Lannoittamattomia koealoja oli kaksi. Seuraavassa lannoituksessa (18 v:n kuluttua) alkuperäiset koealat jaettiin neljään osaan, lannoituksessa käytettiin suometsien PK-lannoitetta, joka sisälsi fosforia, kaliumia sekä booria. Tämän lisäksi saatettiin käyttää kuparia (Cu) ja mangaania (Mn) sisältäviä hivenlannoitteita. Jatkolannoittamatta jätettiin yksi osakoeala. (Issakainen & Moilanen 2003, 10.)

Kolmannessa ja viimeisessä lannoituksessa (22 v:n kuluttua) käytettiin metsän PK-lannosta, metsän kali-hivenlannosta (Kh), biotiittia ja puutuhkaa. Metsän PK-lannoite sisälsi fosforia, kaliumia sekä booria, metsän Kh-lannos sisälsi kaliumia, booria ja sinkkiä (Zn) ja biotiitti sisälsi kaliumia. Käsittelemättä jätettiin samat koealat, joita aiemminkaan ei ollut käsitelty. (Issakainen & Moilanen 2003, 10.)

Ensimmäisessä lannoituksessa Suo-Y-lannosta käytettiin 800 kg/ha, hienofosfaattia 500 kg/ha ja kalisuolaa 100 tai 200 kg/ha. Seuraavassa lannoituksessa

(1980) suometsien PK-lannosta levitettiin 400 kg/ha, kuparia 10 kg/ha ja mangaania 40 kg/ha. Viimeisessä lannoituksessa metsän PK-lannosta levitettiin 602 kg/ha, metsän Kh-lannosta 333 kg/ha, biotiittia 1667 kg/ha ja puutuhkaa 5000 kg/ha (Liite 3). (Issakainen & Moilanen 2003, 10.)

Peruslannoituksessa käytetty hienofosfaatti ja raakafosfaatti sisälsi fosforia 72 kg/ha. Kalisuola sisälsi kaliumia 41–83 kg/ha. Ensimmäisessä jatkolannoituksessa vuonna 1980 käytetty PK-lannoite sisälsi fosforia 35 kg/ha, kaliumia 66 kg/ha sekä booria yksi kilogramma hehtaarille. Osassa koealoista lisänä annosteltiin kuparia kolme kilogramma hehtaarille ja mangaania kymmenen kilogramma hehtaarille. Toisessa jatkolannoituksessa vuonna 2002 PK-lannoite sisälsi fosforia 36–54 kg/ha, kaliumia 96 kg/ha ja kh-lannos sisälsi kaliumia 100 kg/ha, kalsiumia 5 kg/ha, magnesiumia 23 kg/ha, booria 1 kg/ha, sinkkiä 1 kg/ha. (Silfverberg, Issakainen & Moilanen 2011, 94.)

Raakafosfaatissa fosfori on veteen liukenematonta. Hienofosfaatti on veteen liukenematonta, jauhettua raakafosfaattia. Metsän kali-hivenlannoksessa kalium on vesiliukoisena. Kalisuolassa kalium on vesiliukoisena, ja yleensä kalium on lannoitteissa vesiliukoisena. (Moilanen 2005, 136–137, 145.)

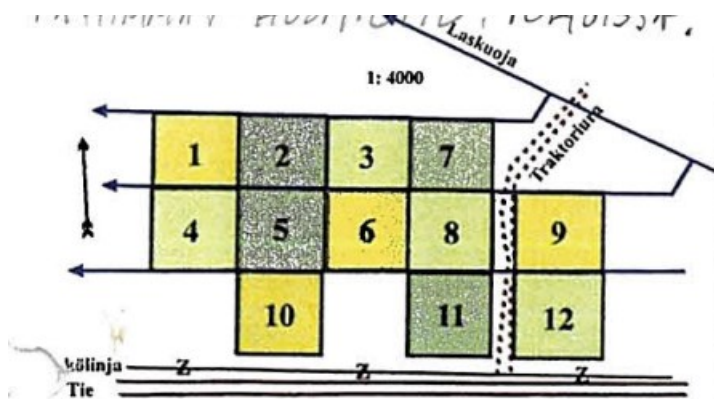
Puuston mittaukset vuonna 2006 on tehty elokuun ja lokakuun välillä. Kaikki yli kolmen senttimetrin paksuiset puut mitattiin rinnankorkeudeltaan. Puuston mittauksessa käytettiin sädemitalta yhdeksän metrin mittaa, jonka avulla mitattiin koealan keskikohdalta puusto. Puuston laskennassa on käytetty Metsäntutkimuslaitoksen KPL-ohjelmaa. (Silfverberg ym. 2011, 93–94.) Tässä tutkimuksessa käytettävien 2006–2019 kasvujakson mittaukset on tehty 12.6.2019. Mittauksissa on mitattu kokonaispuusto jokaiselta koealalta. Mittaukset ovat tehneet Jorma Pasanen ja Heikki Vesala.

Neulasnäytteet vuosina 1999 ja 2006 on otettu edellisvuoden viimeisimmästä kasvaimesta, näytteet otettiin kuudesta kahdeksaan puusta jokaiselta koealalta typin, fosforin, kaliumin ja boorin osalta. Neulasia kuivatettiin 48 tuntia +65 asteissa. (Silfverberg ym. 2011, 94.)

3.2 Vuolijoen tutkimusalue

Vuolijoen tutkimusmetsikkö sijaitsee Otannevalla Metsähallituksen maalla. Sijainti on merenpinnasta 131 metrin korkeudessa. Kasvupaikalta metsikkö on mustikkaturvekangas, alkujaan se on VLR eli varsinainen lettoräme. Turvetta kohteessa on arviolta yksi metri, ja se on varsin typpirikasta. Vesitalous on huonokossa kunnossa. Ennen vuotta 2007 olevista lannoituksista ei ole varmaa tietoa. (Issakainen 2007, 1.) Puuston ikä lannoitushetkellä on ollut lähemmäs 60-vuotiasta (Hökkä 2021).

Tutkimusmetsikössä on 12 koealaa (Kuvio 3.), joiden sarkaleveys on 25 metriä. Koealojen lannoitteet arvottiin. Tutkimusmetsikön pinta-ala on hieman alle kaksi hehtaaria, koealojen ollen 13–16 aaria. (Issakainen 2007, 1.)



Kuvio 3. Otannevan koealat (Issakainen 2007, 1)

Lannoittamattomia koealoja ovat 2, 5, 7 sekä 11. Rautapitoisella fosforikaliumlannoksella lannoitettuja koealoja ovat 1, 6, 9 sekä 10. Rautapitoista PK-lannoitetta annosteltiin 562 kg/ha, josta 46 kg/ha on fosforia, kaliumia on 80 kg/ha ja 1,7 kg/ha on booria. Kolmas lannoitekäsittely oli kalisuola, jonka koealoja olivat 3, 4, 8 sekä 12. Kalisuolaa annosteltiin 180 kg/ha, josta 90 kg/ha on kaliumia. Lannoituskäsittelyt ovat neljästi toistettuina (Liite 4). Kauko Kylmänen ja Jorma Issakainen levittivät lannoitteet toukokuun lopulla vuonna 2007. (Issakainen 2007, 1.)

Elävän puuston mittaus ja kairaus toteutettiin vuonna 2007 lokakuun ja marraskuun aikana. Mittauksen toteuttivat Heikki Vesala ja Jorma Pasanen. Mittauspinta-alana käytettiin sarkaleveyttä. Kaikki vanhat ja uudet puut mitattiin. Uudet puut ovat yli kahdeksan senttimetriä läpimitaltaan. Uusista puista mitattiin myös pituus. Koepuita oli vähintään 12 kappaletta. (Issakainen 2007, 1.) Elävän puuston mittaus ja kairaus toteutettiin vuonna 2018 myös lokakuun ja marraskuun aikana.

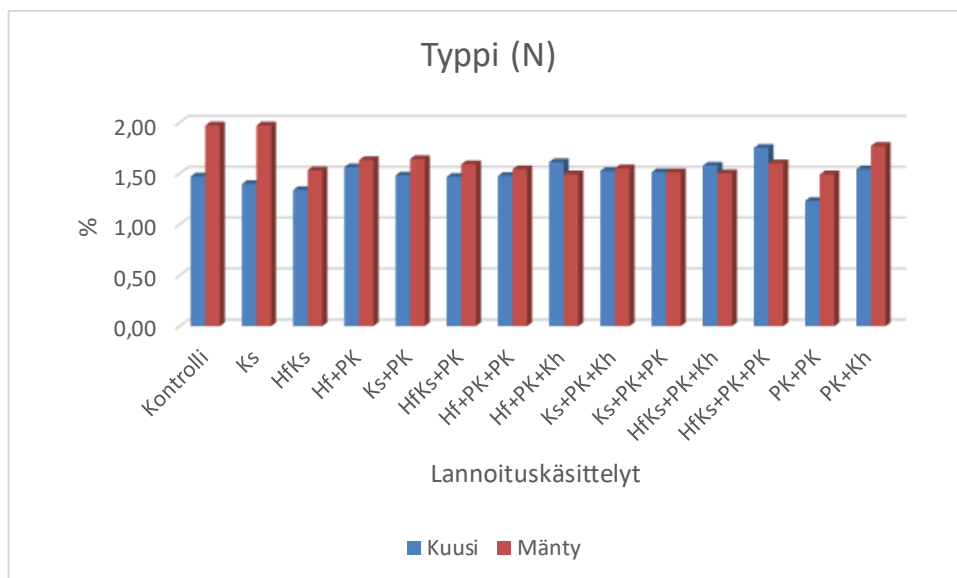
4 TULOKSET

4.1 Ristijärven tulokset

4.1.1 Vaikutukset neulasten ravinteisiin vuonna 2006

Männyn neulasnäytteet vuodelta 2006 on kerran julkaistu vuonna 2011 Baltic Forestry:n artikkelissa, jonka ovat kirjoittaneet Klaus Silfverberg, Jorma Issakainen sekä Mikko Moilanen. Vuonna 1980 fosforilla käsitellyillä koealoilla fosforipitoisuudet olivat vielä vuonna 1999 hyvällä tasolla. Vuonna 2006 otetuissa analyysissä fosforipitoisuus oli puutostasolla. Toistamiseen PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla kaliumpitoisuudet olivat hyvällä tasolla vuonna 1999, mutta vuonna 2006 pitoisuudet olivat romahtaneet. Vuonna 2002 PK-lannoksella ja Kh-lannoitetuilla koealoilla pitoisuudet olivat hyvällä tasolla vuonna 2006 otetuissa neulasanalyysissä. Puutostilassa fosforin arvo on alle 1,3 milligrammaa grammaa kohden ja kaliumin arvo on alle 4,0 milligrammaa grammaa kohden. (Silfverberg ym. 2011, 93–95.) (Liite 5). Koealakohtaiset männyn neulasnäytteet on esitetty liitteissä 6 ja 7 sekä kuusen neulasnäytteet liitteissä 8 ja 9.

Puutosraja tyvellä on 1,20 prosenttia ja hyvä ravinnetila on, kun pitoisuus on 1,45 prosenttia tai enemmän (Reinikainen ym. 1998, 39). Nokkapuronsuolla vuoden 2006 mäntyjen neulasanalyysien mukaan tyypestä ei ole puutetta. Nokkapuronsuolla tyypipitoisuudet männyillä on käsittelyn mukaan 1,49–1,97 prosenttia. Suurimmat tyypipitoisuudet männyillä on kontrolliruuduilla. Kuusellakaan ei ole tyypestä puutetta. Kuusella tyypipitoisuuden optimi on 1,25–1,91 prosenttia (Reinikainen ym. 1998, 39). Männyn ja kuusen tyypipitoisuudet vuodelta 2006 on esitetty lannoituskäsittelyittäin kuviossa 4.

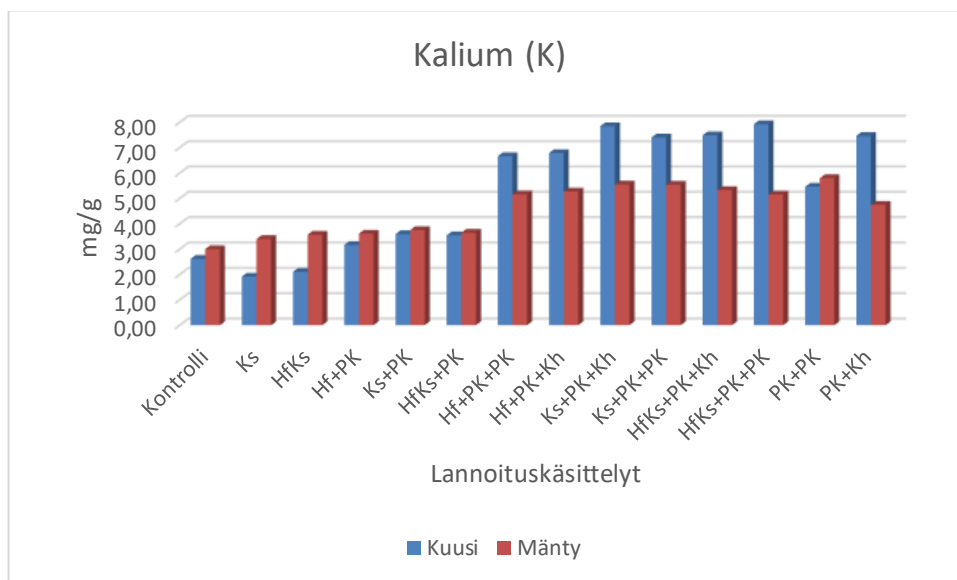


Kuvio 4. Typpipitoisuudet kuusissa ja männyissä vuonna 2006

Keskimääräiset kaliumpitoisuudet männyllä ovat yli 4,5 milligrammaa grammaa kohden kaikilla vuonna 2002 lannoitetuilla kohteilla. Nokkapuronsuolla kaliumin ankarasta puutoksesta kärsivät koealat, jotka on lannoitettu ainoastaan vuonna 1962. Lievää kaliumin puutosta on havaittavissa viimeisen kerran vuonna 1980 lannoitetuilla koealoilla. Keskimäärin kaliumpitoisuudet näillä koealoilla on alle 4,0 milligrammaa grammaa kohden. Puutosraja kaliumilla on 3,50 mg/g ja hyvä ravinnetila on, kun pitoisuus on 4,5–6,5 mg/g (Reinikainen ym. 1998, 20). Vuonna 1980 viimeisen kerran lannoitetuille kohteille (Hf+PK, Ks+PK, HfKs+PK) kaliumia on annosteltu yhteensä 66 kg/ha, 150 kg/ha ja 150 kg/ha. Annostelumäärällä ei enää 26 vuoden jälkeen lannoituksesta näytä olevan merkittävää vaikutusta. Kaliumin lannoitusvaikutus kestää 10–20 vuotta (Moilanen 2005, 145).

Kuusella kaliumin puutosrajana pidetään alle 5,20 milligrammaa grammaa kohden pitoisuutta. Optimipitoisuus asettuu kuusella 6,20–12,36 mg/g välille. Alikasvoksen kaliumin puutoksesta puhutaan silloin, kun pitoisuus menee alle 4,0 milligrammaa per yksi gramma. Suomessa kaliumin puutos on tavanomaisinta turve maiden taimikoissa ja alikasvoksissa. (Reinikainen ym. 1998, 39, 22.) Nokkapuronsuolla kaliumin puutoksesta kuusien osalta kärsivät keskimäärin kaikki ne koealat, joita ei ollut lannoitettu vuoden 1980 jälkeen. Vuonna 2002 lannoitetuilla koealoilla kaliumpitoisuudet ovat keskimäärin yli 6,5 milligrammaa per yksi gramma. Keskimäärin kuusien kaliumpitoisuudet ovat pysyneet hyvällä tasolla,

mutta alikasvoksen puutosta on kuitenkin osalla koealoista. Männyn ja kuusen kaliumpitoisuudet vuodelta 2006 on esitetty lannoituskäsittelyittäin kuviossa 5.

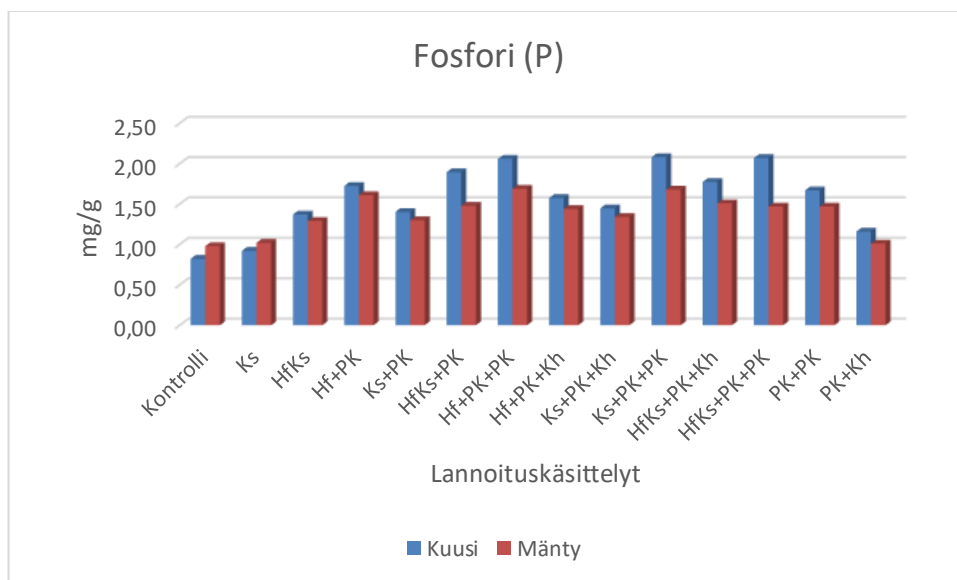


Kuvio 5. Kaliumpitoisuudet kuusissa ja mänyissä vuonna 2006

Männyllä fosforipitoisuuden puutoksen rajana pidetään alle 1,30 milligrammaa grammaa kohden. Optimipitoisuus asettuu 1,60–2,20 mg/g välille. (Reinikainen ym. 1998, 39.) Nokkapuronsuolla ankarasta fosforin puutoksesta kärsivät lannoitamattomat koealat, sekä koealat, joita ei ole lannoitettu peruslannoituksen jälkeen. Fosforin puutosta on myös koealoilla, jotka on lannoitettu ensimmäisen kerran vuonna 1980 fosforikaliumilla ja vuonna 2002 kali-hivenlannoksella. Fosforin puutosta on koealoilla, jotka on peruslannoitettu (v. 1962) kalisuolalla ja jatkolannoitettu vuonna 1980 fosforikaliumilla. Fosforipitoisuus on hyvällä tasolla koealalla, joka on peruslannoitettu hienofosfaatilla ja jatkolannoitettu vuonna 1980 PK-lannoksella. Pitoisuudet ovat puuterajan yläpuolella kaikilla niillä koealoilla, jotka on lannoitettu kahteen otteeseen fosforikaliumilla. Optimitasolla pitoisuudet ovat vain kolmella koealalla. Fosforilla lannoitetuilla kohteilla kohonnut fosforipitoisuus näkyy männynneulasissa 15–25 vuoden ajan (Moilanen 2005, 144).

Kuusella fosforin puutoksen rajana pidetään alle 1,70 milligrammaa grammaa kohden arvoa. Optimipitoisuus asettuu 2,30–3,50 mg/g välille. (Reinikainen ym. 1998, 39.) Nokkapuronsuolla fosforin puutoksesta kärsivät keskimäärin yli puolet

koaloista, eikä täysin keskimääräisiä optimipitoisuuksia mitattu yhdelläkään koelalla. Yli 2,0 milligrammaa grammaa kohden pitoisuudet ovat koaloilla, jotka on lannoitettu kolme kertaa ja kaksi edellistä lannoitusta ovat PK-lannosta. Männyin ja kuusen fosforipitoisuudet vuodelta 2006 on esitetty lannoituskäsittelyittäin kuviossa 6.

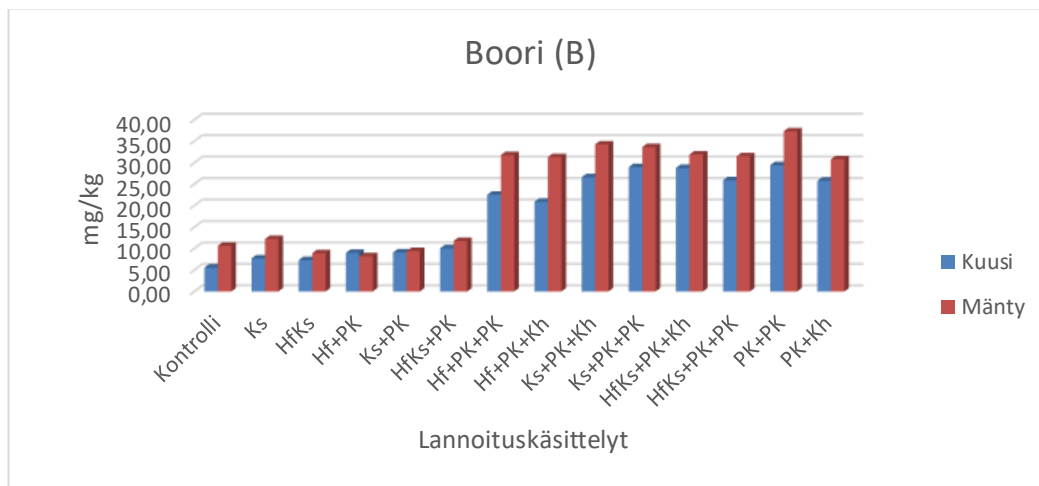


Kuvio 6. Fosforipitoisuudet kuusissa ja männyissä vuonna 2006

Nokkapuronsuolla boorista ei ollut puutosta yhdelläkään koelalla. Booripitoisuus on yli 30 milligrammaa kilogrammaa kohden jokaisella koelalla, jotka on lannoitettu vuonna 2002. Männyllä boorin puutosrajana voidaan pitää 5,0 mg/kg arvoa ja optimipitoisuutena 10–30 mg/kg välillä olevia arvoja (Reinikainen ym. 1998, 39).

Puuston sitomat määrät kaliumia ja booria voivat olla runsaspuustoisessa metsikössä suuremmat kuin mitä maaperässä on ravinteita varastossa. Nokkapuronsuolla boorista on puutosta pelkästään kontrollilla. Optimipitoisuus on kaikilla koaloilla, jotka on jatkolannoitettu vuonna 2002. Vuonna 1980 lannoitetuilla kohteilla booripitoisuudet olivat vielä 9,00–10,06 mg/kg välillä. Booripitoisuudet vuodelta 2006, männyin ja kuusen osalta on esitetty lannoituskäsittelyittäin kuviossa 7.

Pitoisuuden ollessa alle 7,0 milligrammaa kilogrammaa kohden voidaan puhua puutoksesta. Optimipitoisuus asettuu 10–30 mg/kg välille. (Reinikainen ym. 1998, 39.)



Kuvio 7. Booripitoisuudet kuusissa ja männyissä vuonna 2006

Typhen ja kaliumin optimaalista suhdetta männynneulasissa pidetään 100:30–35 ja typhen suhdetta fosforiin optimaalisena pidetään, kun se on 100:10 (Moilanen & Hytönen 2014, 12). Nokkapuronsuolla männynneulasissa optimaalisimmat typhen ja kaliumin suhteet ovat koealoilla, jotka on lannoitettu peruslannoituksessa hienofosfaatilla, ja sen jälkeen jatkolannoitettu fosforikaliumilla. Toiseksi optimaalisimmat koealat on käsitelty peruslannoituksessa raakafosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä ja jatkolannoitettu fosforikaliumilla.

Typhen suhde fosforiin ja kaliumiin on yli optimaalisten arvojen; kontrollikoealoilla sekä koealoilla, jotka on peruslannoitettu kalisuolalla. Sama tilanne on myös koealoilla, jotka on lannoitettu pelkästään peruslannoituksessa raakafosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä. Epätasapaino johtuu siitä, että tyyppiä on saatavilla liiaksi suhteessa fosforiin ja kaliumiin (Moilanen, Saarinen & Silfverberg 2011, 199). Neulasanalyysissä näillä koealoilla (kontrolli, Ks) typhen määrä on hieman optimaalista tasoa ylempänä ja kaliumia puutosrajan alapuolella. Lannoituskäsittelyiset typhen suhteet fosforiin ja kaliumiin on esitetty taulukossa 1. Sulkeissa näkyvät optimaaliset suhdeluvut.

Taulukko 1. Typen suhde fosforiin ja kaliumiin vuoden 2006 männynneulasissa

Lannoituskäsittelyt	N:P (10)	N:K (3,0-3,5)
Kontrolli	20,2	5,9
Ks	19,3	5,8
HfKs	11,8	4,3
Hf+PK	10,2	4,5
Ks+PK	12,7	4,4
HfKs+PK	10,8	4,4
Hf+PK+PK	9,1	3,0
Hf+PK+Kh	10,3	2,8
Ks+PK+Kh	11,5	2,8
Ks+PK+PK	9,0	2,7
HfKs+PK+Kh	9,9	2,8
HfKs+PK+PK	10,9	3,1
PK+PK	10,1	2,6
PK+Kh	17,5	3,7

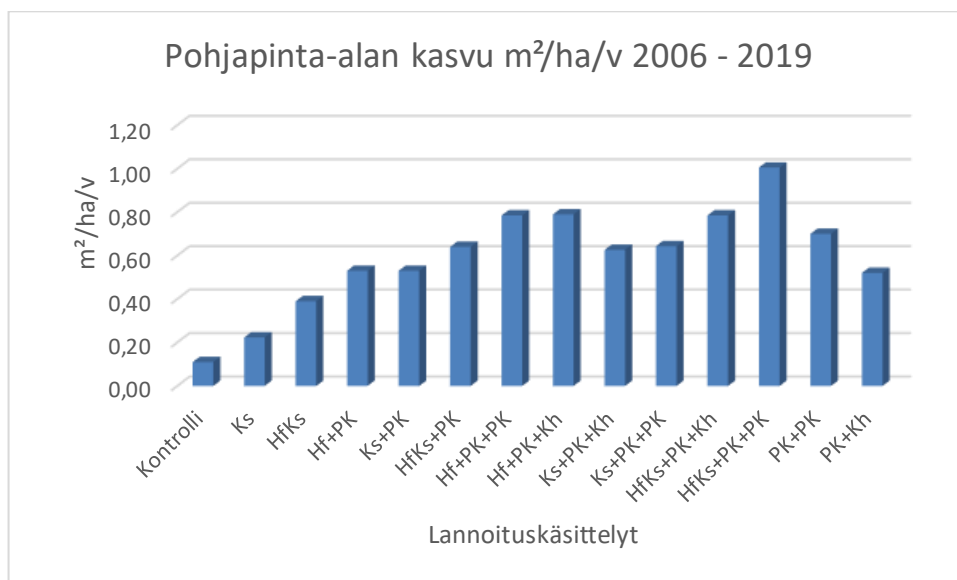
4.1.2 Vaikutukset pohjapinta-alan kasvuun

Nokkapuronsuolla puiden keskimääräinen pohjapinta-alan kasvu vuodessa on suurinta koealoilla, joissa peruslannoitus on raakafosfaatin ja kalisuolan yhteiskäyttö (HfKs), toinen ja kolmas lannoitus on PK-lannosta. Vuotuinen pohjapinta-alan keskikasvu on 1,01 m²/ha. Verrattuna kontrolliin kasvu on yli yhdeksänkertainen eli 818 prosenttia suurempi kasvu. Kontrollikoealojen pohjapinta-alan kasvu vuodessa on 0,11 m²/ha.

Toiseksi suurinta kasvu on hienofosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä lannoitetuilla, PK-lannoksella ja kali-hivenlannoitetuilla puilla. Vuosittaista kasvua näillä koealoilla on 0,79 m²/ha. Suurimman kasvun koealoilla kasvua on 28 prosenttia enemmän. Saman verran eli 28 prosenttia huonompi kasvu on myös koealoilla, jotka on peruslannoitettu hienofosfaatilla, PK-lannoksella ja viimeisessä lannoituksessa on käytetty joko PK tai Kh-lannosta.

Koealat, jotka on käsitelty ensimmäisen kerran vuonna 1980 PK-lannoksella ja vuonna 2002 käsitelty myös PK-lannoksella on kasvu 26 prosenttia suurempi verrattuna, jos viimeinen lannoitus olisi ollut Kh-lannosta. Kontrolliin verratessa kahdesti PK-lannoitetulla koealalla vuosittainen pohjapinta-alan kasvu on 0,70 m²/ha

eli 536 prosenttia enemmän kuin kontrollilla. Pohjapinta-alan vuosittaiset kasvut lannoituskäsittelyittäin, vuosien 2006–2019 kasvujaksolla on esitetty kuviossa 8.



Kuvio 8. Pohjapinta-alan vuosittainen kasvu 2006–2019

4.1.3 Vaikutukset keskilämpötilan kasvuun

Suurin keskilämpötilan kasvu pohjapinta-alalla painotettuna vuodessa on koealojen puilla, jotka on peruslannoitettu hienofosfaatilla ja jatkolannoitettu vuosina 1980 ja 2002 PK-lannoitteella. Vuosittaista kasvua on keskimäärin 0,28 senttimetriä. Vuosittainen keskilämpötilan kasvu kontrolliruuduilla on keskimäärin 0,19 senttimetriä. Suurimman keskilämpötilan koealoilla kasvu on 47 prosenttia suurempi.

Vuosittainen kasvu on kuusi prosenttia suurempaa verrattuna puihin, jotka on lannoitettu peruslannoituksessa raakafosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä ja kahdessa viimeisessä lannoituksessa käsitelty PK-lannoksella. Vuosittaista kasvua näillä koealoilla on 0,27 senttimetriä. Koealoilla, jotka on peruslannoitettu hienofosfaatilla, jatkolannoitettu PK-lannoksella ja viimeisessä lannoituksessa kalihivenlannoksella, kasvua on myös 0,27 senttimetriä. Merkittävin poikkeus on koealoilla, jotka on peruslannoitettu kalisuolalla ja jälkimmäiset lannoitukset ovat fosforikaliumia, kasvua on 0,26 senttimetriä.

Koealat, jotka on käsitelty peruslannoituksessa kalisuolalla ja jatkolannoitettu vuonna 1980 PK-lannoksella, vuosittaista kasvua on keskimäärin 15 prosenttia vähemmän kontrollikoealoihin verrattuna. Prosentin verran vähemmän kasvua kontrolliin verrattuna on koealoilla, jotka on peruslannoituksessa käsitelty kalisuolalla, jatkolannoitettu PK-lannoksella ja kali-hivenlannoksella. Keskilämpömittaan vuosittaiset kasvut lannoituskäsittelyittäin pohjapinta-alalla painotettuna on esitetty kuviossa 9.



Kuvio 9. Keskilämpömittaan vuosittainen kasvu ppa:lla painotettuna 2006–2019

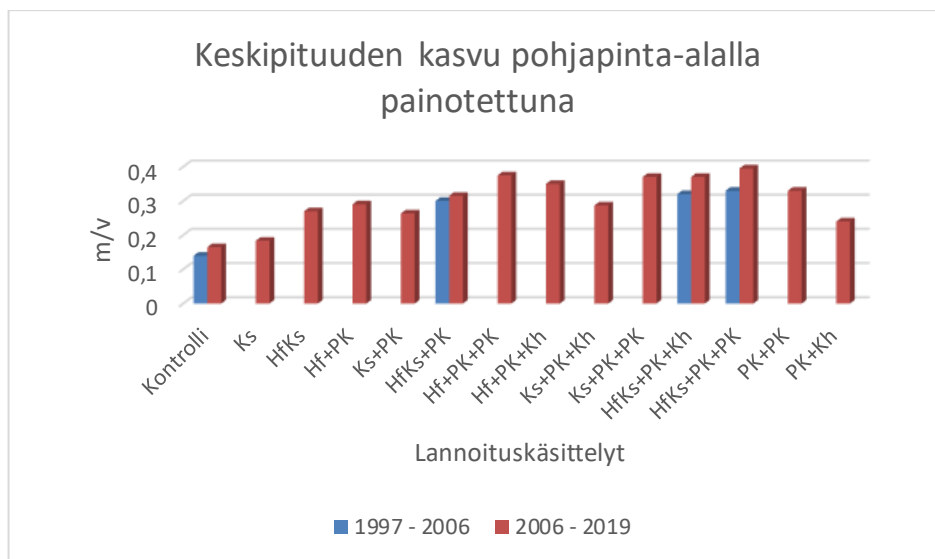
4.1.4 Vaikutukset keskipituuteen

Edellisen kasvujakson, 1997–2006 tulokset ovat Silfverbergin, Issakaisen ja Moilasen vuonna 2011 kirjoittamasta artikkelista, joka käsittelee männyn kasvua ja ravinteisuutta ojitetuilla ja lannoitetuilla rämeillä. Ristijärven Nokkapuronsuon tutkimusmetsikkö on toisena aineistona siinä. (Silfverberg ym. 2011.)

Kasvujakson 2006–2019 aikana suurin vuosittainen pituuskasvu on ollut raaka-fosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä, joka on jatkolannoitettu kahteen otteeseen fosforikaliumilla. Keskimäärin vuosittaista kasvua on ollut 0,40 metriä. Verrattuna vuosien 1997–2006 kasvujakson tuloksiin, vuosittainen kasvu on lisääntynyt 20 prosenttia. Vuosittaista kasvua tuolloin on ollut 0,33 metriä. Hienofosfaatin ja kahdesti PK-lannoitettujen koealojen vuosittainen pituuskasvu on 0,38 metriä mikä ei juurikaan eroa suurimmasta kasvusta.

Keskimäärin kaikkien PK-lannoitetuiden koealojen vuosittainen pituuskasvu on ollut lähes kaksinkertainen verrattuna kontrollikoealojen vuosittaiseen pituuskasvuun. Keskimäärin keskipituuden vuosittainen kasvu on ollut tasaista.

Koealat, jotka on käsitelty muuten samankaltaisesti, viimeisessä lannoituksessa on käytetty joko PK-lannosta tai Kh-lannosta. Näistä koealoista suurempi kasvu on niillä, jotka on lannoitettu fosforikaliumilla. Pelkällä kalisulfolalla peruslannoiteilla koealoilla kasvua on ollut lähes yhtä paljon kuin kontrollikoealoilla. Raaka-fosfaatin ja kalisulfolan yhdistelmällä vuosien 2006–2019 kasvujakson aikana vuosittaista kasvua on ollut 0,27 metriä. Keskipituuden vuosittaiset kasvut lannoitus-käsittelyittäin on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 10. Keskipituuden vuosittainen kasvu ppa:lla painotettuna 2006–2019

4.1.5 Vaikutukset kuorelliseen runkotilavuuteen

Vuoden 2006 mittauksissa jatkolannoitettujen kohteiden tilavuus vaihteli 101–162 m³/ha välillä. Suurin vuosittainen tilavuuden keskikasvu 10 vuoden kasvujaksolla oli 7,2 m³/ha (Silfverberg yms. 2011, 96). Vuoden 2019 mittauksissa kaikkien kolme kertaa lannoitettujen koealojen tilavuudet vaihtelivat 82–362 m³/ha välillä. Vuosien 2006–2019 välisellä kasvujaksolla suurin tilavuuden vuosittainen keskikasvu yksittäisellä koealalla on 14,09 m³/ha.

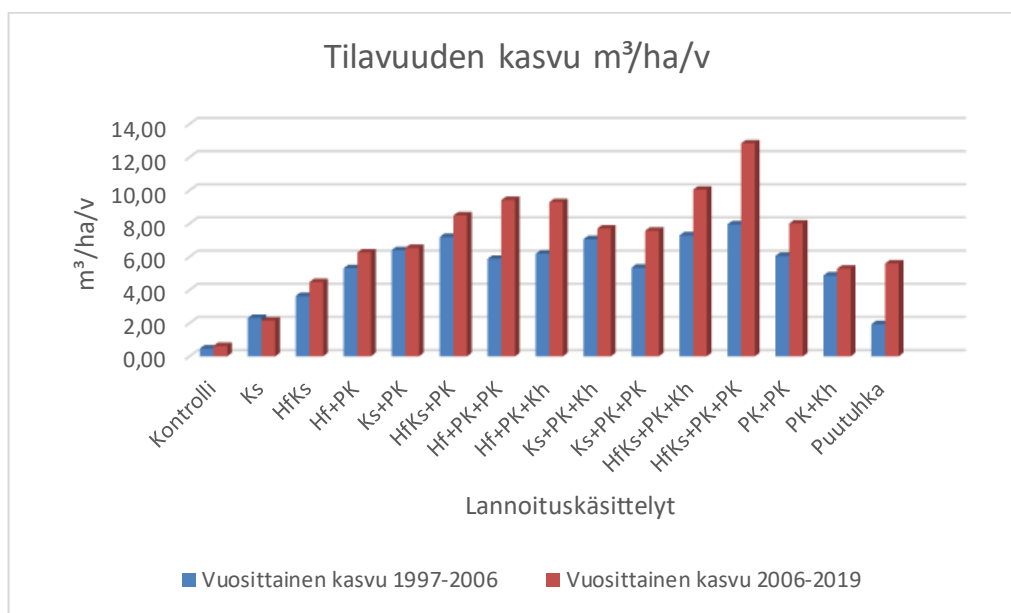
Keskimääräisesti suurin vuosittainen tilavuuskasvu on niillä puilla, jotka on peruslannoituksessa (v. 1962) käsitelty raakafosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä. Peruslannoituksen jälkeen (v. 1980) lannoitettu PK-lannoksella ja viimeisessä lannoituksessa (v. 2002) PK-lannoksella, keskikasvua on 12,84 m³/ha. Kontrolliin verrattuna tilavuuden kasvu on 1954 prosenttia suurempi. Tilavuuden vuosittaiset keskikasvut lannoituskäsittelyittäin, vuosien 1997–2006 ja 2006–2019 ajoilta, on esitetty kuviossa 11.

Vuosina 1980 ja 2002 PK-lannoitetulla koealalla tilavuuden kasvua vuodessa on 8 m³/ha. Vuonna 1980 PK-lannoitetulla ja vuonna 2002 Kh-lannoitetulla koealalla vuosittaista kasvua on 5,28 m³/ha. PK-lannoksella on saatu 52 prosenttia suurempi kasvu verrattuna Kh-lannokseen.

Koealat, jotka on peruslannoitettu hienofosfaatilla ja molemmissa jatkolannoituksissa käsitelty PK-lannoksella, vuosittaista kasvua on 9,43 kuutiometriä hehtaarilla. Vastaavasti, jos viimeinen lannoitus on ollut kali-hivenlannosta, vuosittaista kasvua on 9,30 kuutiometriä hehtaarilla. PK-lannoksella on saatu vain yhden prosentin lisäkasvu verrattuna Kh-lannokseen. Aiemman kasvujakson aikana näiden lannoituskäsittelyjen välinen ero kasvussa on 1,72 kuutiometriä. Viimeisen lannoituksen ollessa kalihiventä on kasvu ollut viisi prosenttia parempi. Vuonna 2006 tehdyn mittauksen aikana Kh-lannoksen kalium on reagoinut PK-lannosta nopeammin. PK-lannos vaikuttaa Kh-lannosta pidempään, koska kuten aikaisemmin on tullut esille aikaisempien tutkimuksiin perustuen, fosfori vaikuttaa kaliumia pidempään.

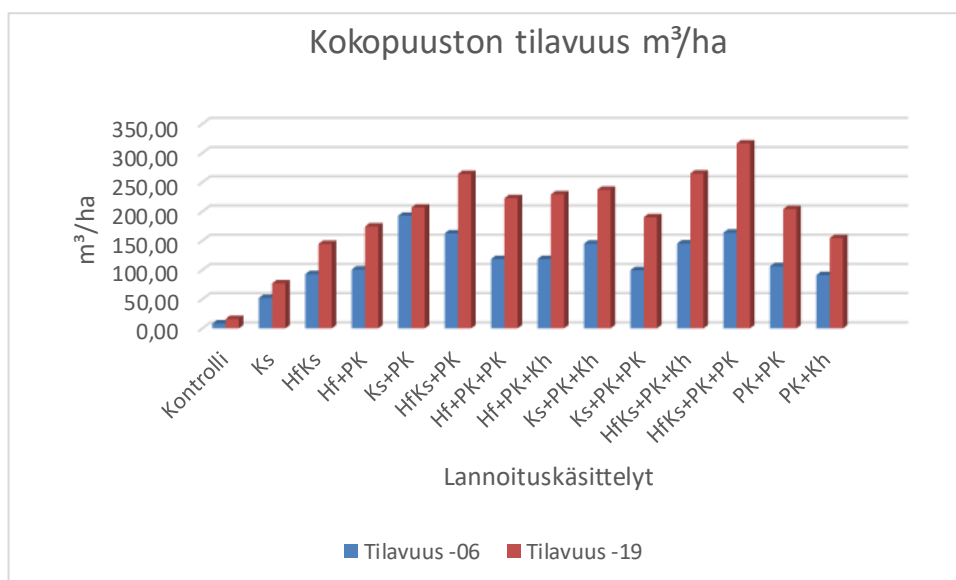
Kaikista koealoista pienimmät tilavuuskasvut ovat lannoittamattomilla koealoilla ja niillä koealoilla, joita ei enää peruslannoituksen jälkeen ollut lannoitettu. Näillä koealoilla vuosittaista kasvua on 0,63–4,48 m³/ha. Koealat, jotka on vuonna 1962 käsitelty hienofosfaatilla ja vuonna 1980 fosforikaliumilla, vuosittaista kasvua on kuitenkin yli 6 m³/ha. Koealat, jotka on käsitelty kalisuolalla ensimmäisessä lannoituksessa ja vuonna 1980 fosforikaliumilla, vuosittaista kasvua on vielä 6,53 m³/ha. Vuonna 1962 raakafosfaatilla ja kalisuolan yhdistelmällä lannoitetuilla ja vuonna 1980 PK-lannoksella jatkolannoitetuilla koealoilla vuosittaista kasvua on vielä 8,49 m³/ha.

Puutuhkaa lannoitettiin yhdelle koealalle vuonna 2002, 5000 kg/ha. Vuosien 1997–2006 mittauksissa puuston vuosittainen tilavuuskasvu oli 1,93 m³/ha ja seuraavan kasvujakson (v. 2006–2019) aikana vuosittainen tilavuuskasvu on jo 5,59 m³/ha.



Kuvio 11. Tilavuuden vuosittainen kasvu 1997 - 2006 ja 2006 - 2019

Suurin kokopuuston tilavuus on koealoilla, jotka on peruslannoituksessa käsitelty HfKs yhdistelmälannoitteilla ja jatkolannoitettu PK-lannoksella. Kahdestikin lannoitetuilla koealoilla puuston keskitilavuus on yli 250 m³/ha. Kokopuuston tilavuudet vuosilta 2006 ja 2019 on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Kokopuuston tilavuudet vuosina 2006 ja 2019

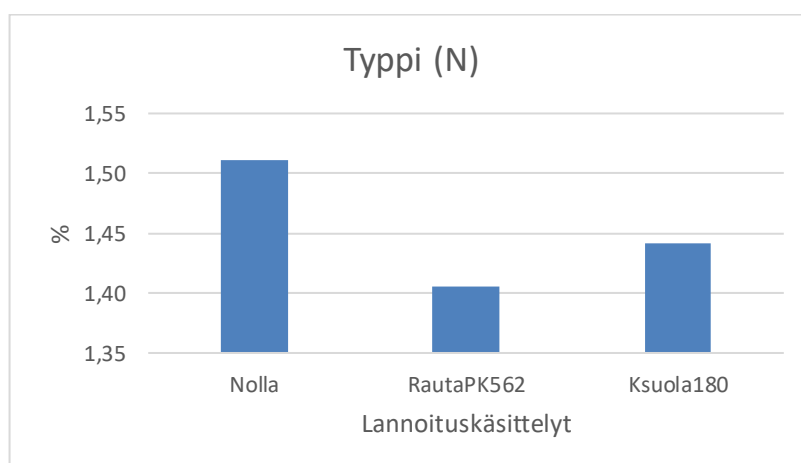
4.2 Vuolijoen tulokset

4.2.1 Vaikutukset neulasten ravinteisiin vuonna 2009

Vuoden 2007 lannoituksen neulasnäytteet on otettu vuonna 2009 joulukuussa, kun lannoituksesta oli kulunut kaksi vuotta. Neulasnäytteet otettiin sadasta neulasesta, joiden kokonaismassa oli 36,59 grammaa. Koealakohtaiset tulokset näkyvät liitteessä 10.

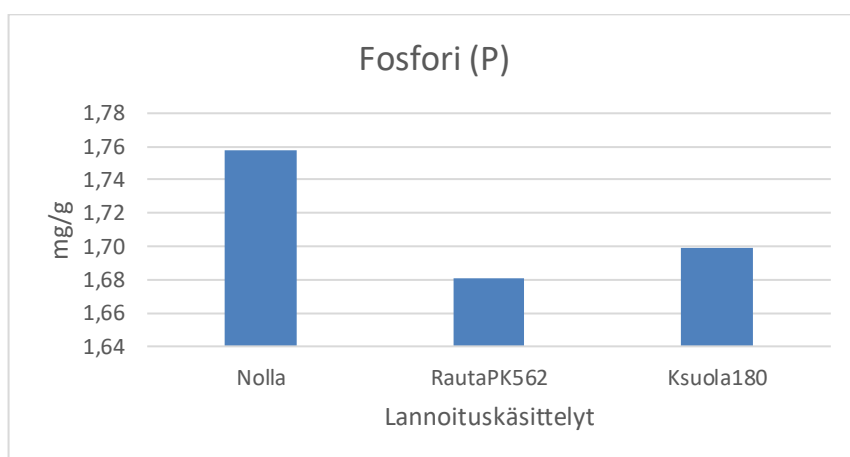
Otannevalla typpipitoisuudet ovat optimaalisella tasolla. Nollakoealoilla oli muita koealoja korkeampi typpipitoisuus, 1,51 prosenttia. Keskimäärin typpipitoisuudet ovat rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla 1,41 prosenttia. Kalisulolla lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen typpipitoisuus on 1,44 prosenttia. Lannoituksen seurauksena typpipitoisuudet ovat laskeneet. Typen puuterajana pidetään 1,20 prosenttia ja hyvänä tasona pidetään yli 1,5 prosentin pitoisuutta (Moilanen & Hytönen 2014, 12). Typpipitoisuudet on esitelty lannoituskäsittelyittäin kuviossa 13.

Fosforia ja kaliumia sisältävät lannoitteet laskevat neulasten typpipitoisuutta. Typpipitoisuuden laskeminen johtuu neulasten koon kasvun lisääntymisestä, jolloin typpi on jakautuneena suurempaan neulasmassaan. Biomassaan jakautumisen seurauksena maaperän typpi ohentuu. (Moilanen 2005, 144.)



Kuvio 13. Männyn typpipitoisuudet vuonna 2009

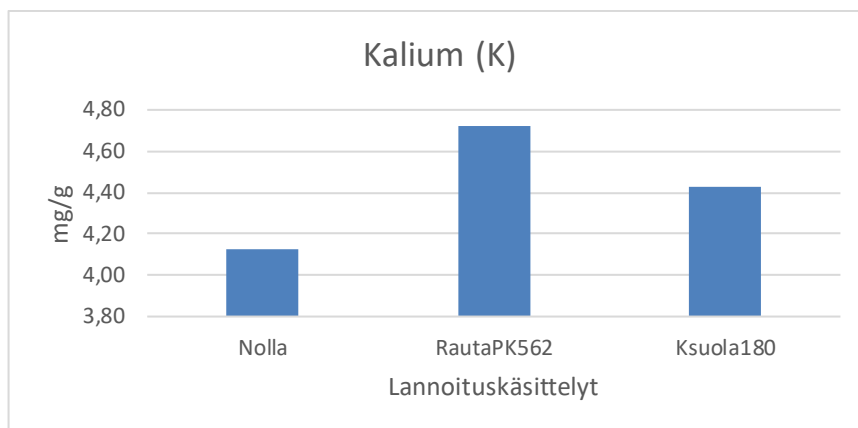
Otannevilla fosforipitoisuudet ovat jokaisella koealalla optimaalisella tasolla. Fosforipitoisuuden mennessä alle 1,3 milligrammaa grammaa kohden on pitoisuus heikolla tasolla ja mennessä yli 1,6 milligrammaa grammaa kohden on pitoisuus hyvällä tasolla (Moilanen & Hytönen 2014, 12). Nollakoealoilla fosforipitoisuudet ovat 1,68–1,87 mg/g. Nollakoealojen fosforipitoisuudet viittaavat siihen, että Otannevilla ei ravinteesta ole puutosta. Koealoilla, jotka on käsitelty rautapitoisella PK-lannoksella, fosforipitoisuudet ovat 1,65–1,72 mg/g. Näillä koealoilla neulasissa on keskimäärin muihin verrattuna alhaisin fosforipitoisuus. Lannoitteen sisältämä rauta muuttaa fosforia hidastuokoisemmaksi ja vaikutus alkaa tällöin näkymään myöhemmin verrattuna, jos lannoite ei sisältäisi rautaa. Kalisuolalla käsitellyillä koealoilla fosforipitoisuudet ovat 1,53–1,84 mg/g. Fosforipitoisuudet lannoituskäsittelyittäin on esitetty kuviossa 14.



Kuvio 14. Fosforipitoisuudet vuonna 2009

Männynneulasien kuiva-aineen kaliumpitoisuudet Otannevilla ovat keskimäärin optimaalisella tasolla. Puutoksesta puhutaan, kun kaliumpitoisuus on alle 3,5 mg/g ja hyvänä pitoisuutena pidetään, kun arvo on 4,5 mg/g tai enemmän (Moilanen & Hytönen 2014, 12).

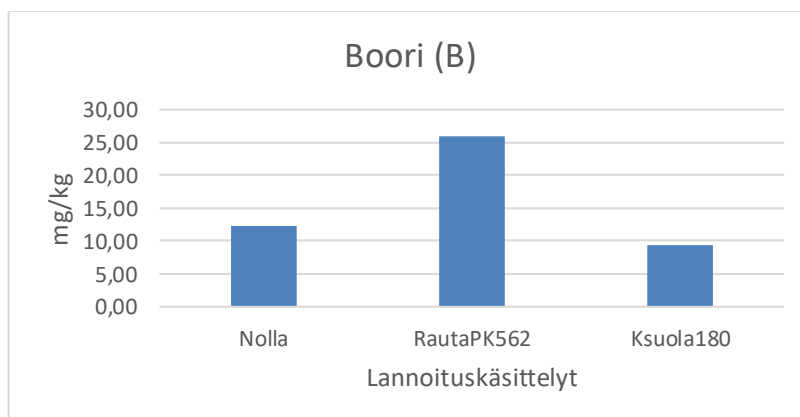
Nollakoealoilla kaliumpitoisuudet ovat 3,90–4,33 mg/g. Rautapitoisella PK-lannoksella käsitellyillä koealoilla kaliumpitoisuudet ovat 4,50–5,14 mg/g. Kalisuolalla käsitellyillä kohteilla pitoisuudet ovat 4,30–4,60 mg/g. Rautapitoisella PK-lannoksella on ollut suurempi vaikutus kaliumpitoisuuden nousuun kuin kalisuolalla. Kaliumpitoisuudet on esitetty lannoituskäsittelyittäin kuviossa 15.



Kuvio 15. Kaliumpitoisuudet vuonna 2009

Booripitoisuudet ovat keskimäärin jokaisella koealalla lähes optimaalisella tasolla. Lannoittamattomilla koealoilla booripitoisuudet ovat 11,0–14,7 mg/kg. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla booripitoisuudet ovat 23,3–30,7 mg/kg. Rautapitoinen PK-lannos on nostanut koealojen booripitoisuuksia muihin koealoihin nähden eniten. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla on keskimäärin alhaisimmat pitoisuudet. Pitoisuudet olivat 7,0–10,8 mg/kg. Keskimääräiset booripitoisuudet lannoituskäsittelyittäin on esitetty kuviossa 16.

Booripitoisuuden mennessä alle 5 milligrammaa per yksi kilogramma, puhutaan puutoksesta. Pitoisuuden ollessa 10 milligrammaa kilogrammaa kohden tai enemmän puhutaan hyvästä pitoisuudesta. (Moilanen & Hytönen 2014, 12).



Kuvio 16. Booripitoisuudet vuonna 2009

Taulukossa 2. on esitetty Otannevan männynneulasten typen suhdeluvut fosforiin ja kaliumiin. Otannevalla neulasten typen suhde fosforiin on jokaisella koealalla hieman epätasapainossa. Lannoittamattomalla koealalla keskimääräinen suhdeluku on 8,59. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetulla koealalla 8,36 ja kalisuolla lannoitetulla 8,48. Suhdeluvut viittaavat liialliseen fosforin saantiin suhteessa typen saantiin, koska fosforipitoisuudet ovat yli hyvän tason, kun taas typipitoisuudet ovat juuri hyvällä tasolla tai hieman alempana.

Typen suhde kaliumiin on lannoitetuilla koealoilla optimaalisella tasolla. Lannoittamattomalla koealalla keskimääräinen suhdeluku on 3,66. Arvo viittaa siihen, että tyyppiä on saatavilla liikaa suhteessa kaliumin määrään. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla suhdeluku on 2,98 mikä on lähes optimaalinen. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla suhdeluku on 3,25 mikä on optimaalinen arvo. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla kaliumpitoisuus on korkeampi, minkä vuoksi sitä on enemmän käytettävissä.

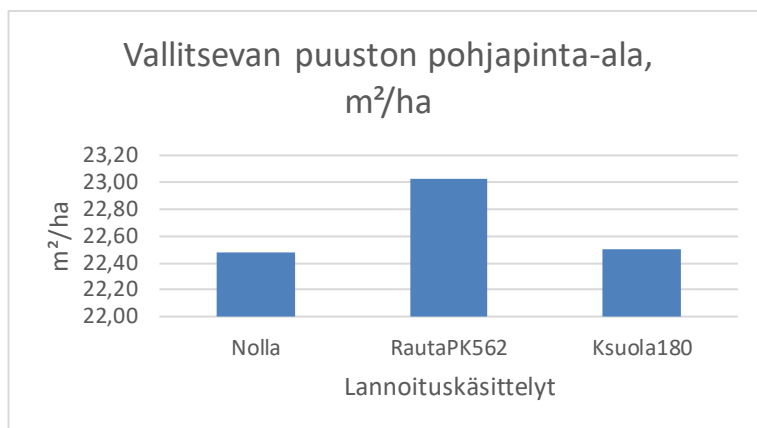
Taulukko 2. Typen suhde fosforiin ja kaliumiin männynneulasissa vuonna 2009

Lannoituskäsittelyt	N:P	N:K
Nolla	8,59	3,66
RautaPK562	8,36	2,98
Ksuola180	8,48	3,25
Optimaalinen arvo	10,00	3,0-3,5

4.2.2 Vaikutukset pohjapinta-alaan

Vuolijoella puun kasvua kunkin puustotunnuksen osalta verrataan kontrolliruutujen puiden puustotunnuksiin. Otannevalla vallitsevan puuston pohjapinta-ala lannoittamattomilla koealoilla on keskimäärin 22,47 m²/ha. Koealoilla, jotka on käsitelty rautapitoisella PK-lannoksella, pohjapinta-ala on keskimäärin 23 m²/ha. Kalisuolalla käsitellyillä koealoilla keskimääräinen pohjapinta-ala on 22,51 m²/ha.

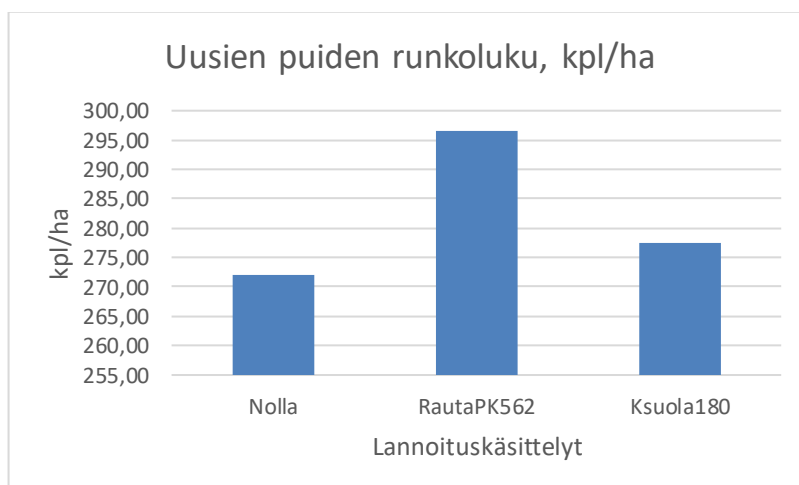
Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla pohjapinta-ala on keskimäärin kaksi prosenttia suurempi kuin lannoittamattomilla. Samansuuruinen vaikutus rautapitoisella PK-lannoksella on myös verratessa kalisuolalla lannoitettuihin koealoihin. Lannoituskäsittelyttävät pohjapinta-alat on esitetty kuviossa 17.



Kuvio 17. Vallitsevan puuston pohjapinta-alat vuonna 2018

Uudet puut tarkoittavat sitä, että edellisessä mittauksessa puut ovat olleet alle kahdeksan senttimetriä ja nyt (v. 2018) yli kahdeksan senttimetriä (Hökkä 2021). Uusista puista keskimääräinen kuusen osuus on 34 prosenttia ja loput 66 prosenttia on koivua. Kuusta voi hyödyntää tulevaisuudessa metsikön uudistamisessa.

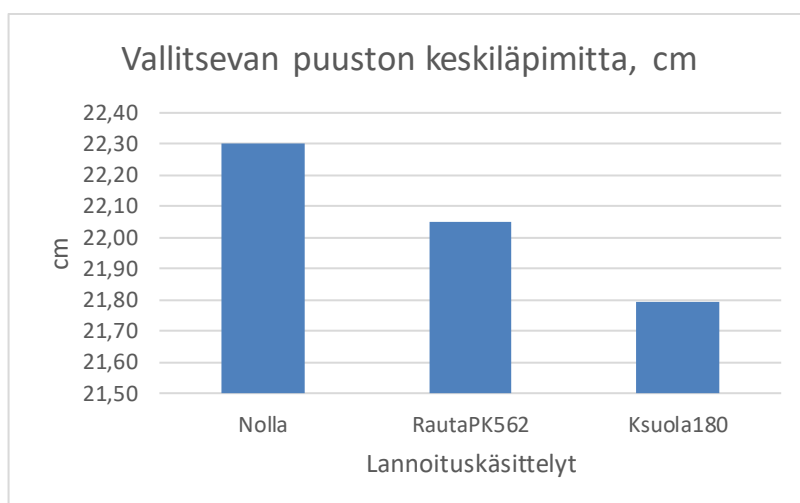
Lannoittamattomilla koealoilla keskimääräinen runkoluku on 271,96 kpl/ha. Rautapitoisella PK-lannoksella käsitellyillä koealoilla uusien puiden keskimääräinen runkoluku on 296,64 kpl/ha. Kalisuolalla käsitellyillä koealoilla keskimääräinen runkoluku on 277,58 kpl/ha. Uusien puiden keskimääräiset runkoluvut lannoitus-käsittelyittäin on esitetty kuviossa 18.



Kuvio 18. Uusien puiden runkoluku vuonna 2018

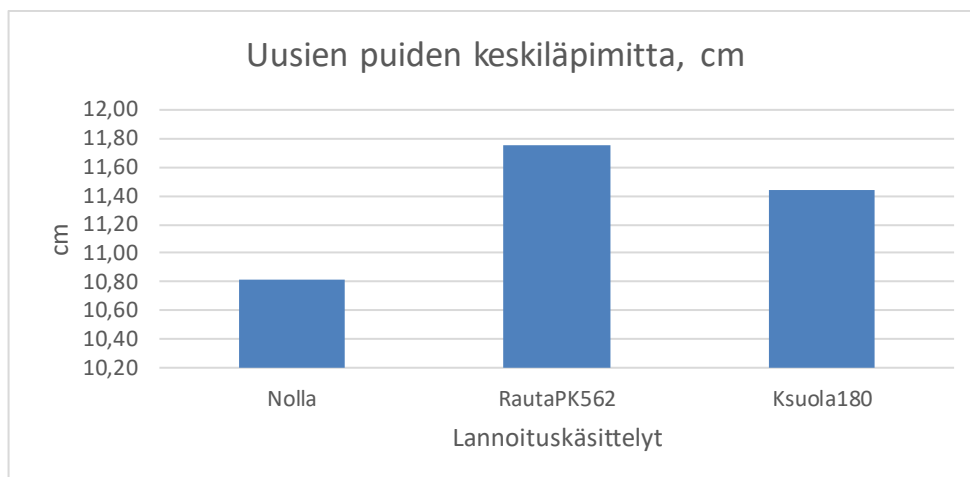
4.2.3 Vaikutukset keskiläpimittaan

Pohjapinta-alalla painotettuna keskimääräisesti suurin keskiläpimitta on lannoittamattomilla koealoilla. Tähän vaikuttaa puuston läpimitta ennen lannoitusta ja uudet puut hieman laskevat läpimittaa. Keskiläpimitta on 22,30 senttimetriä. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen keskiläpimitta on 22,05 senttimetriä, mikä on prosentin verran pienempi kuin nollaruuduilla. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskiläpimitta on 21,79 senttimetriä. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskiläpimitta on kaksi prosenttia pienempi kuin lannoittamattomilla koealoilla. Vallitsevan puuston keskiläpimitat pohjapinta-alalla painotettuna on esitetty kuviossa 19.



Kuvio 19. Vallitsevan puuston keskiläpimitat ppa:lla painotettuna vuonna 2018

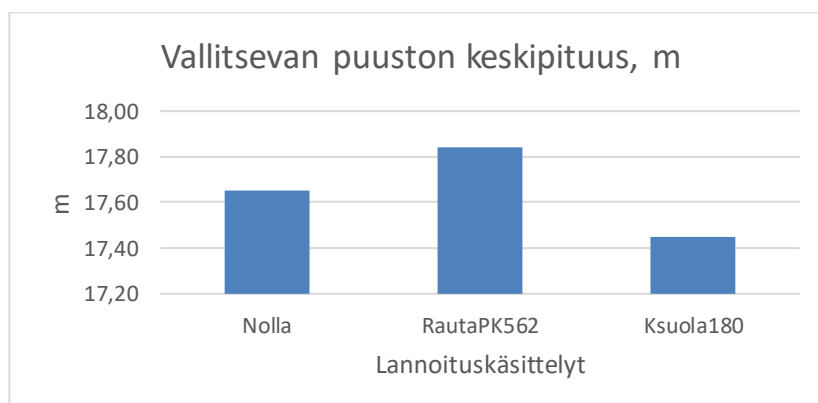
Uusien puiden osalta keskimääräisesti suurin läpimitta pohjapinta-alalla painotettuna on rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla. Keskimääräinen keskiläpimitta on 11,76 senttimetriä. Nollaruutujen koealoilla uusien puiden keskimääräinen keskiläpimitta on 10,82 senttimetriä. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskiläpimitta on keskimääräisesti 11,45 senttimetriä. Uusien puiden keskiläpimitat pohjapinta-alalla painotettuna on esitetty kuviossa 20.



Kuvio 20. Uusien puiden keskiläpimitat ppa:lla painotettuna vuonna 2018

4.2.4 Vaikutukset keskipituuteen

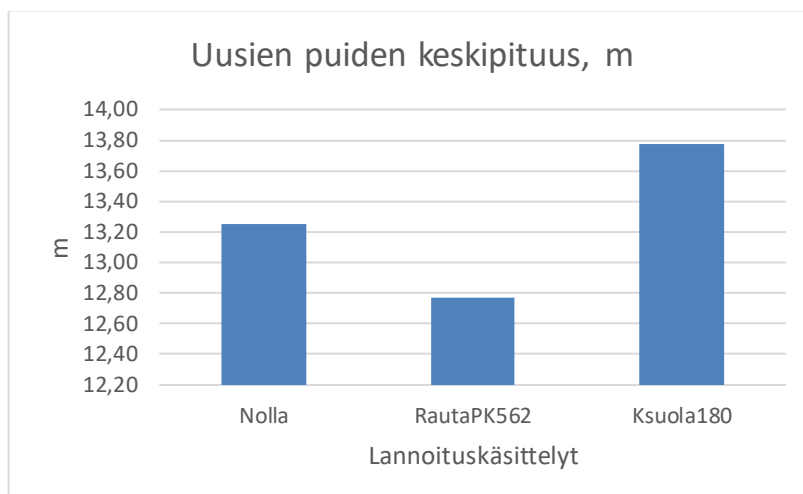
Otannevilla vallitsevan puuston keskipituus pohjapinta-alalla painotettuna on jokaisella koealalla tasainen. Keskipituus vaihteli 16–19 metrin välillä. Lannoittamattomilla koealoilla keskimääräinen keskipituus on 17,66 metriä. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla keskipituus on 17,84 metriä. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla on alhaisin keskipituus eli 17,45 metriä. Erot lannoituskäsittelyittäin ovat melko pieniä. Vallitsevan puuston keskipituudet pohjapinta-alalla painotettuna on esitetty kuviossa 21.



Kuvio 21. Vallitsevan puuston keskipituudet ppa:lla painotettuna vuonna 2018

Uusien puiden keskipituuksissa on hieman hajontaa. Lannoittamattomilla koealoilla keskimääräinen keskipituus pohjapinta-alalla painotettuna on 13,25 metriä. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla keskipituus on 12,78 met-

riä. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen keskipituus on 13,78 metriä. Uusien puiden keskipituudet pohjapinta-alalla painotettuna on esitetty kuviossa 22.

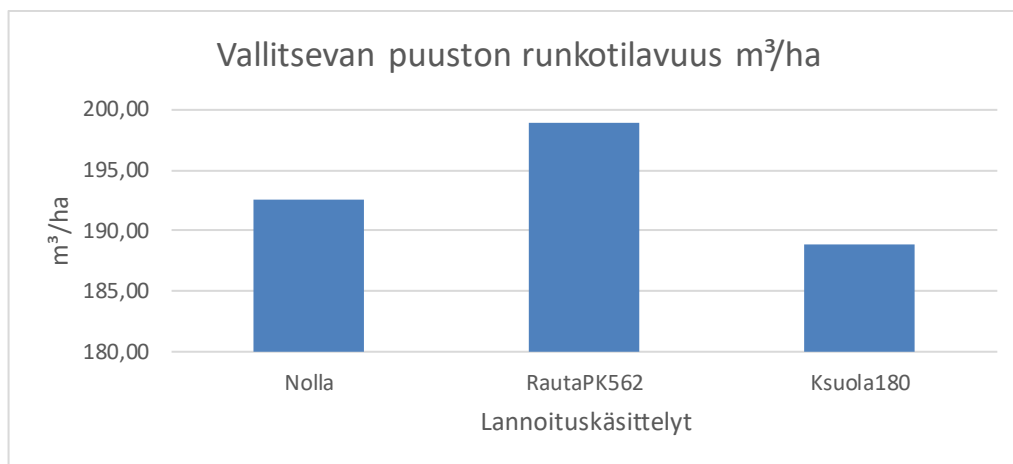


Kuvio 22. Uusien puiden keskipituus ppa:lla painotettuna vuonna 2018

4.2.5 Vaikutukset kuorelliseen runkotilavuuteen

Otannevilla vallitsevan puuston kuorellinen runkotilavuus vuonna 2018 vaihtelee 168–223 m³/ha välillä. Lannoittamattomilla koealoilla keskimääräinen runkotilavuus on 192,54 m³/ha. Rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla kohteilla keskimääräinen runkotilavuus on 198,87 m³/ha. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen runkotilavuus on alhaisin, 188,91 m³/ha.

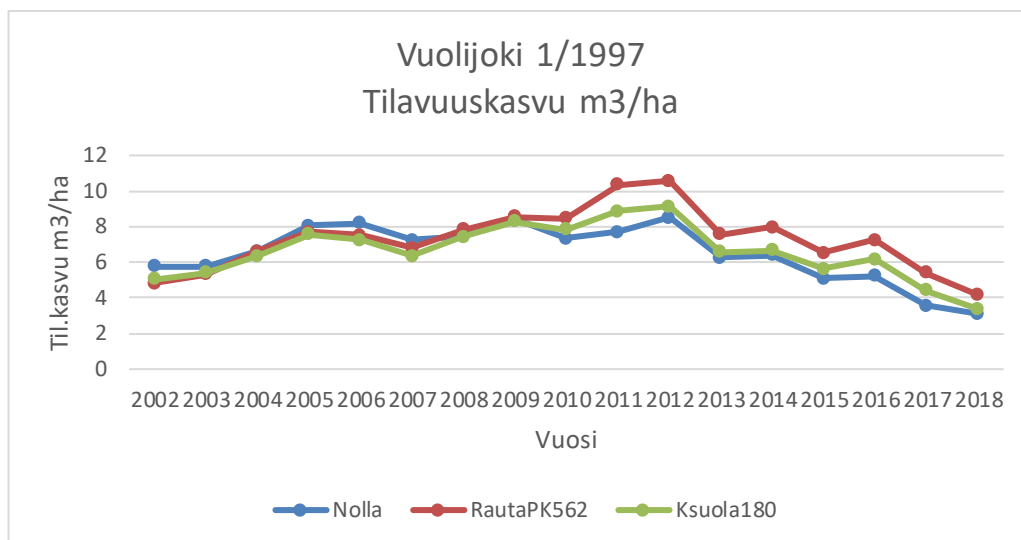
Rautapitoisella PK-lannoitetuilla koealoilla runkotilavuus on kolme prosenttia enemmän kuin lannoittamattomilla koealoilla. Kalisuolalla lannoitettuihin koealoihin verratessa tilavuus on viisi prosenttia enemmän. Vallitsevan puuston runkotilavuudet lannoituskäsittelyittäin on esitetty kuviossa 23.



Kuvio 23. Vallitsevan puuston kuorellinen runkotilavuus vuonna 2018

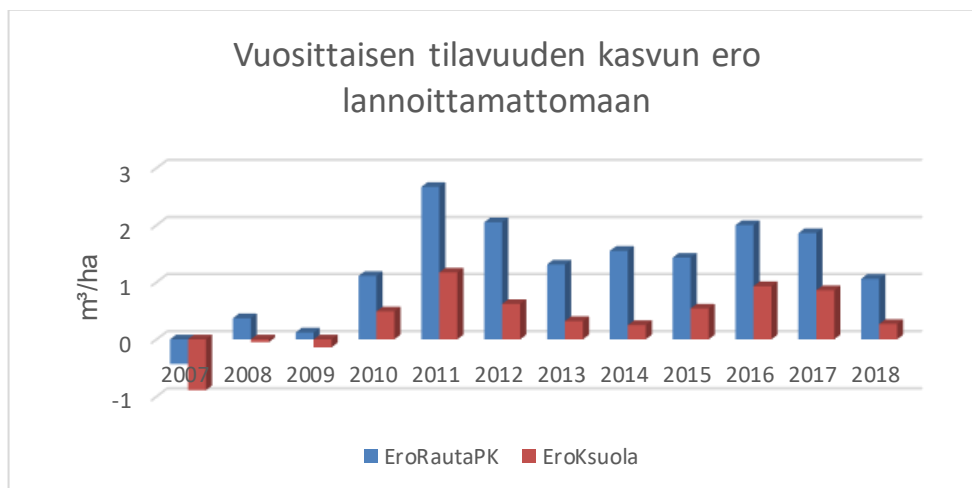
Kuviossa 24 on esitetty runkotilavuuden vuosittaiset kasvut vuosien 2002–2018 aikana. Kuvioista voi nähdä, kuinka lannoitusvuoden (2007) jälkeen jokaisella koealalla vuosittainen kasvu on vuonna 2012 käynyt korkeimmillaan. Sen jälkeen jokaisella koealalla kasvu on vähentynyt, mutta pysynyt tasaisena kohti tarkastelujakson loppua. Vuosittainen tilavuuden kasvu 11 vuoden kasvujaksolla on keskimäärin lähes 8 m³/ha. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen tilavuuden kasvu vuodessa on hieman yli 6 m³/ha.

Tarkastelujakson lopussa PK-lannoksella käsitellyillä koealoilla vuosittainen kasvu on vielä 4,17 m³/ha. Tarkastelujakson lopussa kalisuolalla lannoitetuilla kohteilla vuosittainen kasvu on 3,38 m³/ha. Lannoittamattomilla koealoilla vuosittainen kasvu on tarkastelujakson lopussa 3,11 m³/ha.



Kuvio 24. Vuosittainen tilavuuskasvu vuosina 2002–2018 (Hökkä 2021)

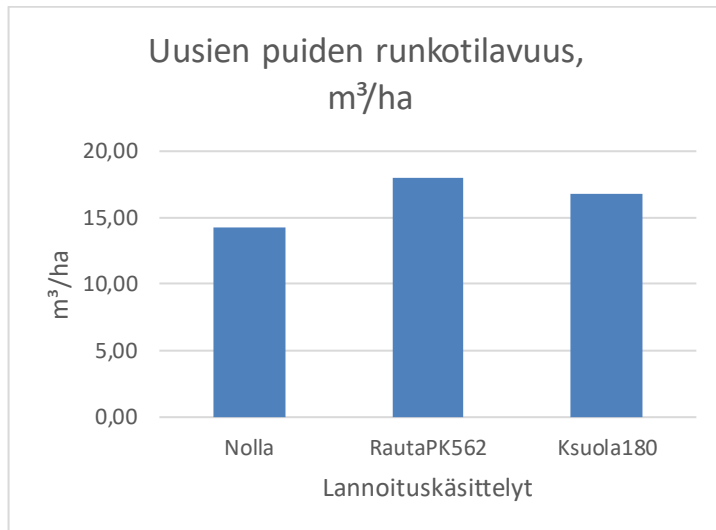
Kuviossa 25 on esitetty kuutiometrimäärälliset erot lannoitettujen ja lannoittamattomien koealojen välillä. Lannoitusvuonna lannoittamattomilla koealoilla kasvu on ollut suurempaa kuin lannoitetuilla. Vuotuista kasvunlisäystä rautapitoisella PK-lannoksella on keskimäärin 1,3 m³/ha. Kalisuolalla lannoitetuilla koealoilla vuotuista kasvunlisäystä on vain 0,4 m³/ha.



Kuvio 25. Vuosittaisen tilavuuden kasvun erot 2007–2018 (Hökkä 2021)

Uusien puiden runkotilavuus vaihtelee 11–20 m³/ha välillä. Nollakoealoilla uusien puiden keskimääräinen runkotilavuus on 14,28 m³/ha. Rautapitoisella fosforikaliumpilla lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen runkotilavuus on 17,95 m³/ha.

Verrattuna lannoittamattomiin koealoihin tilavuus on 26 prosenttia suurempi. Kallisuolalla lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen runkotilavuus on 16,83 m³/ha. Verrattuna lannoittamattomaan, tilavuus on 18 prosenttia suurempi. Uusien puiden keskimääräiset runkotilavuudet vuonna 2018 on esitetty kuviossa 26.



Kuvio 26. Uusien puiden kuorellinen runkotilavuus vuonna 2018

4.3 Johtopäätökset

Ravinne-epätasapainosta kärsivät suometsät tarvitsevat lannoituksen ja tarvittaessa toistettuna, jotta siitä saadaan tuottava. Nokkapuronsuolla sekä Otannevalla lannoitetuilla koealoilla, joilla on optimaalisimmat typen suhteet fosforiin ja kaliumiin, on kasvuakin eniten.

Nokkapuronsuolla eniten kasvuun vaikuttavien ravinteiden pitoisuudet ovat parhaimmalla tasolla riippumatta siitä, onko vuoden 2002 lannoituksessa käytetty PK-lannoitetta vai Kh-lannoitetta. Nokkapuronsuolla typpipitoisuudet ovat neljän vuoden päästä lannoituksesta jokaisella koealalla lannoituskäsittelystä riippumatta optimaalisella tasolla. Kaliumpitoisuudet ovat kaikilla niillä koealoilla optimaalisella tasolla, jotka on lannoitettu vuonna 2002. Fosforipitoisuudet vaihtelivat aika paljon riippumatta käsittelystä. Vaikka koealat olisikin lannoitettu kahteenkin otteeseen fosforikaliumilla, osassa koealoista on puutosta fosforista. Booripitoisuudet ovat jokaisella vuonna 2002 lannoitetulla kohteella optimaalisella tasolla. Boorin puutosta ei ollut keskimäärin yhdelläkään koealalla.

Kun Nokkapuronsuon tuloksia tarkastelee alusta alkaen, ensimmäinen lannoitus kannattaa tehdä puuston ollessa ensiharvennusvaiheessa ja toinen lannoitus 15–20 vuoden kuluttua, riippuen harvennuksista ja kolmas lannoitus, jos on tarve. PK-lannoituksella on saatu parhaimmat kasvitulokset verrattuna yhden pääravinteeseen lannoituksiin.

Peruslannoitetuillaakin kohteilla on merkitystä millä lannoksella käsittelee. Pelkällä kalisuolalla käsitellyillä vuosittainen kasvu on ollut keskimäärin kaksi kuutiometriä hehtaarilla. Raakafosfaatin ja kalisuolan yhdistelmällä vuosittaista kasvua oli vielä lähemmäs viisi kuutiometriä hehtaarilla. Lannoituksesta on mittaushetkellä kulunut jo 57 vuotta. Kolmesti lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen vuosittainen tilavuuskasvu on jo lähemmäs kymmenen kuutiometriä hehtaarilla. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että lannoituksilla on ollut vaikutusta puuston kasvuun ja elinvoimaisuuteen. Ilman lannoituksia puusto jäisi tämänkaltaisilla kohteilla vajaatuottoisiksi.

Issakaisen ja Moilasan vuonna 2003 julkaistuissa koetuloksissa lannoituksella on ollut merkittävä vaikutus puuston elinvoimaisuuteen ja kasvukykyyn. (Issakainen & Moilanen 2003, 8). Viimeisimmän lannoituksen vaikutus on ollut myös merkittävä, kun vertaa kerran tai kahdesti lannoitettuihin. Kolmesti lannoitetuilla kohteilla keskimääräisesti vuosittainen tilavuuskasvu on 7–13 m³/ha. Parhaimmat tulokset on saatu, kun peruslannoituksessa on käytetty fosforia sisältävää lannoitetta ja kahdesti jatkolannoitettu PK- tai Kh-lannoitteella.

Kahdellakin lannoituksella vuosittainen tilavuuskasvu on 5–8 m³/ha. Koealojen, jotka on lannoitettu viimeisimmän kerran vuonna 1980, vuosittainen tilavuuskasvu on suurentunut vuosien 2006–2019 kasvujaksolla verrattuna aikaisempaan (v. 1997–2006) kasvujaksoon. Lannoituksesta on kulunut kuitenkin se 39 vuotta. Tämä osoittaa sen, että lannoittamalla turvemetsä sitä tarvitsevilla ravinteilla, on sillä monien kymmenien vuosien vaikutus, ja ilman lannoitusta tai jatkolannoituksia suometsät jäävät vajaatuottoisiksi. Fosforilla ja kaliumilla on Nokkapuronsuolla saatu yli 30 vuotta kestävä kasvureaktio (Hökkä 2018, 182). Samankaltaisia tuloksia on saatu myös aiemmissa tutkimuksissa, jossa PK-lannoituksen vaikutukset ovat kestäneet vähintään 20–30 vuotta paksuturpeisilla ja ravinnepuutostilassa olevissa turvemetsissä (Moilanen & Hökkä 2009, 116).

Nokkapuronsuolla on kokeiltu monien eri lannoitusten vaikutusta puuston kasvuun ja tämä antaa kattavan tiedon siitä, miten erilaiset lannoitukset yksittäisinä ja toistettuina kasvattavat puustoa. Nokkapuronsuon tutkimuksen tulokset vahvistavat aiempia tuloksia samaisella kohteella. Tämä vahvistaa myös aikaisempia tutkimuksia, joiden perusteella paksaturpeisilla ja alkuperältään nevaisilla soilla lannoitusvaikutukset ovat suuria, koska kaliumista ja fosforista puute on ankaraa ennen lannoitusta (Moilanen 2005, 147).

Otannevalla ravinnetilaan eri lannoitukset eivät vaikuttaneet merkittäväällä tavalla. Tämä johtui siitä, että Otannevalla ravinnetila oli alkujaan tasapainoinen. Varttuneempi puustokin osaltaan vaikutti vähäisempään muutokseen. Fosforipitoisuudet ovat jokaisella koealalla hyvällä tasolla, kuin myös kaliumpitoisuudetkin. Booripitoisuuksissa on hieman vaihtelua eri lannoituskäsittelyillä, kun rautapitoisella PK-lannoksella lannoitetuilla se on reilusti optimitasolla, mutta kalisuolalla lannoitetuilla hieman hyvän tason alapuolella. Kontrolleilla se on hyvällä tasolla. Typpipitoisuudet ovat lannoitetuilla kohteilla laskeneet neulasmassan kasvun takia, jolloin on tapahtunut ohentumista. Lannoittamattomilla koealoilla typpipitoisuudet ovat optimaalisella tasolla.

Otannevalla lannoittamattomillakin koealoilla kasvu oli lähes yhtä hyvä kuin lannoitetuilla. Rautapitoisella PK-lannoitteella kasvu on kuitenkin saatu korkeimmaksi muihin koealoihin verrattuna. Tarkastelujakson loppupuolella, puuston ollessa jo 70-vuotiasta on kasvua lannoittamattomillakin koealoilla vielä 3–7 m³/ha/v. Otannevalla PK-lannoksella lannoitetuilla koealoilla kasvu hidastui kuuden vuoden kohdalla verrattuna aikaisempaan kasvuun. Samankaltaisia tuloksia on saatu myös aikaisemminkin Vuolijoelta, eri kohteesta. Vuonna 1994 Vuolijoella on tutkittu, kuinka perusojituksen ja lannoituksen keskinäinen ajoittaminen vaikuttaa suometsän kasvureaktioon. Koemetsikkö oli tällöin ojitettu vuonna 1975, ja lannoitukset toteutettu vuosina 1974, 1976, 1977 sekä 1980. Tässä koeksessa NPK-lannoituksen vaikutus meni ohi 5–8 vuodessa ja PK-lannoituksenkin vaikutus oli tässä tutkimuksessa vähäinen. (Moilanen & Issakainen 1994, 1, 3, 5.)

Otannevalla PK-lannoitetuilla koealoilla keskimääräinen vuotuinen kasvunlisäys oli noin 1,3 m³/ha. Tämä myötäilee vanhempiakin PK-lannoitus tutkimuksia.

Vuonna 1993 julkaistussa tutkimuksessa, jossa tutkittiin samankaltaisesti tämän työn kanssa; lannoituksen vaikutusta männyn ravinnetilaan ja kasvuun. Kyseisessä tutkimuksessa PK-lannoituksen vuotuinen kasvunlisäys oli suurin piirtein 1,5 m³/ha. (Moilanen 1993, 26).

5 POHDINTA

Työssä tavoitteena oli selvittää, millainen vaikutus fosforikalium-lannoituksilla on metsän ravinnetilaan. Nokkapuronsuolla vuonna 2006 otetuissa neulasanalyysissä näkee sen, kuinka nopeasti PK-lannoituksen vaikutus ravinteisiin alkaa näkymään etenkin kaliumin ja boorin pitoisuuksissa. Fosforin pitkäaikainen vaikutus näkyy edelleen vuonna 1980 lannoitetuilla kohteilla vuoden 2006 neulasanalyysissä. Puuston kasvukin vaikuttaa siihen, kuinka ravinnepitoisuudet ovat pysyneet koholla tai laskeneet. Lähtöpuuston ollessa suuri tilavuudeltaan, tarvitsi se enemmän lannoitetta kuin pienempi puustoinen metsikkö. Yleisesti soiden lannoituskokeet on tehty nuoriin metsiin. Otannevalla tutkitaan sitä, eroaako reaktio PK-lannoitukseen, jos lannoitus tehdään varttuneeseen metsään. Otannevalla ravinnepitoisuudet eivät merkittävästi muuttuneet verratessa lannoittamattomiin. Booripitoisuudet ainoastaan kohosivat PK-lannoituksen seurauksena. Ja typpipitoisuudet olivat alhaisemmat verrattuna lannoittamattomiin koelohiin.

Työn tavoitteena oli saada tietoa etenkin siitä, miten fosforikalium-lannoitus vaikuttaa puuston tilavuuden kasvuun. Työssä saatiin kattavasti tietoa siitä, miten lannoitus vaikuttaa kasvuun erilaisilla jatkolannoituksilla ja miten pitkävaikutteinen fosforikalium-lannoitus on. Kuten työn alussa mainittiin, PK-lannoituksen vaikutuksia voidaan soveltaa myös tuhkalannoituksen käyttöön Kainuussa, koska lisättävät ravinteet ovat samat.

Nokkapuronsuolla vuosittaista kasvua kolmesti lannoitetuilla kohteilla on ollut yli seitsemän kuutiometriä hehtaarilla. Nokkapuronsuolla myös kustannuksetkin ovat korkeat. Vaikka kasvua on paljon, on syytä miettiä, onko kolme lannoituskertaa taloudellisesti järkevää.

Otannevalla on ollut hyvä kasvu myös kontrolli koelohillakin. Otannevassa puuston korkea ikä (70 v.), on pienentänyt kasvua etenkin tarkastelujakson loppupuolella. Molemmissa kohteissa vesitalouden korjaaminen olisi varmasti vaikuttanut molempiin, niin ravinnetalouteen kuin puuston kasvuun.

Luonnonvarakeskus hyötyy tästä työstä saamalla lisää tietoa PK-lannoituksista heidän aikaisemmilta tutkimusmetsiköiltänsä. Luonnonvarakeskus saa myös lisää havainnollistavaa materiaalia Kainuun lannoituksista.

Tuloksia voidaan pitää luotettavana, etenkin Nokkapuronsuolla kyseessä on ollut pitkä prosessi ja aikaisemmatkin tulokset ovat antaneet samanlaisia viitteitä, mitä tuoreimmissa tuloksissa on saatu. Otannevankin tuloksia voidaan pitää melko luotettavina. Lisätietoa on kuitenkin saatava myös muistakin kokeista. Otannevalla olisi ollut hyvä tietää ennen vuotta 2007 tehdyt toimenpiteet, jotka väistämättä olisivat vaikuttaneet myös uusimpien mittauksien tarkasteluun.

Nokkapuronsuon tuloksia pystytään soveltamaan turvemaidella, nuorien kasvatusmänniköiden sekä varttuneiden metsiköiden lannoituksissa Kainuussa. Otannevan tuloksia pystytään hyödyntämään turvemaiden jo selvästi varttuneemman männikön lannoituksissa Kainuussa. Tuloksia pystytään soveltamaan paksuturpeisien ja runsastyyppisten ruoho-, mustikka- ja puolukkaturvekankaiden PK-lannoituksien arvioinnissa sekä myös tuhkalannoituksien arvioinnissa, koska käytettävät ravinteet ovat samat, ja kasvuvaikutus on samankaltainen.

Tutkimusta pystyisi kehittämään lisäämällä harvennuksen tarkastelujakson alkuun ennen lannoitusta tai tarkasteltujakson lopulle ja katsoa miten ravinnetila muuttuu. Mahdollinen uusi aihe voisi olla tarkastella puutostilassa olevien taimiköiden reagointia lannoitukseen. Myös jatkumona tässä työssä olevien tutkimusmetsiköiden mahdollisen päätehakkuun jälkeen jäävän alikasvoksen ravinnetilan selvitys ja kuinka sen lannoitus vaikuttaisi sen elinvoimaisuuteen ja kasvuun.

Opinnäytetyön tekijälle aihe on ollut innosta ja motivoiva. Tuloksien käsittely, tarkastelu, ja se miten ja miksi eri lannoitteet vaikuttavat puuston kasvuun on ollut palkitseva tapa oppia lannoituksista. On ollut opettavaista päästä syventämään tietoa ajankohtaisesta aiheesta, mikä on myös lisännyt kiinnostusta suometsien haasteita kohtaan ja auttanut ymmärtämään niiden toimintaa.

LÄHTEET

Eurofins Viljavuuspalvelu 2021. Neulasanalyysin aika on talvella. Viitattu 28.3.2021 <https://www.farmit.net/metsa/2021/02/11/neulasanalyysin-aika-talvella>.

Harvestia 2012. Vaivaako kuusikkoasi boorin puutos? Viitattu 12.12.2021 https://www.harvestia.fi/wp-content/uploads/2014/06/net_Harvestia_2-2012.pdf.

Hökkä, H. 2018. Turvemaiden lannoitus. Teoksessa S. Rantala (toim.) Tapion taskukirja. Helsinki: Metsäkustannus Oy, 182–187.

Hökkä, H. 2021. Nokkapuronsuo. Sähköposti noora.karppinendu.lapinamk.fi 25.2.2021 Tulostettu 8.3.2021.

Issakainen, J. 2007. Koepaperit. Metsäntutkimuslaitos, Muhos. Yksityismateriaali.

Issakainen, J. & Moilanen, M. 2003. Suosta suometsäksi – Nokkapuronsuon havainto- ja tutkimusmetsä Ristijärvellä. Viitattu 22.1.2021 <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201211127462>.

Luonnonvarakeskus 2020. Uusimmat metsävaratiedot maakunnittain on julkaistu. Viitattu 9.12.2020 <https://www.luke.fi/uutinen/uusimmat-metsavaratiedot-maakunnittain-on-julkaistu/>.

Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Folia Forestalia. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 29.3.2021 <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1341-7>.

Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Teoksessa Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. ja Murtovaara, I. (toim.). 2005. Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947, 134–166. Viitattu 2.3.2021 <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/521581>.

Moilanen, M. & Hytönen, J. 2014. Männyn ravinnetilan pitkäaikainen vaihtelu ojitetuilla rämeillä – koesarjan esittely ja alustavia tuloksia. Verkkojulkaisu. Metlan työraportteja 301. Helsinki: Metla. Viitattu 10.3.2021 <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp301.pdf>.

Moilanen, M. & Hökkä, H. 2009. PK-lannoituksella aikaansaadun kasvureaktion suuruus riippuu ojitusaluemännikön ravinnetilasta. Suo – Mires and Peat. 111–120. Suoseura. Helsinki 2009. Viitattu 29.3.2021 <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/515548>.

Moilanen M. & Issakainen J. 1994. Uudisojituksen ja lannoituksen keskinäisen ajoituksen vaikutus puuston kehitykseen rämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 528. 12 s. Viitattu 29.3.2021 <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/521157>.

- Moilanen M., Saarinen M., Silfverberg K. 2011. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien (N, P, K) vaihtelu metsäojitusalueilla. Metsätieteen aikakauskirja vuosikerta 2/2011. Viitattu 12.3.2021 <https://metsatieteenaikakauskirja.fi/article/6648>.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. Viitattu 2.3.2021 <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1629-7>.
- Sallinen, A. 2012. Uutta tietoa Kainuun soista. Kainuun suoselvitys -projektin tuloraportti. ELY-keskus. Kuopio: Korpiljyvä Oy. Viitattu 10.12.2020 [39955323.pdf \(core.ac.uk\)](https://core.ac.uk/doi/pdf/10.13069/39955323).
- Silfverberg K., Issakainen, J. & Moilanen M. 2011. Growth and Nutrition of Scots Pine on Drained and Fertilized Purple Moor Grass Fens in Central Finland. *Baltic Forestry* 17(1): 91–101. Viitattu 3.2.2021 [Forest11_1.p65 \(mi.lt\)](https://doi.org/10.1111/1744-7467.12011).
- Toivoniemi J. 2014. Suometsien ravinnehäiriöt ja niiden tunnistaminen. Suometsien kokonaisvaltainen käsittely -hanke, Suomen metsäkeskus. Seinäjoki: I-printi. Viitattu 12.12.2020 https://docplayer.fi/7329930-Suometsien-ravinnehairiot-ja-niiden-tunnistaminen.html#google_vignette.
- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas. Tapion julkaisuja. Viitattu 10.12.2020 https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsan_hoidon_suosituks_2019.pdf.
- Viiri, H. 2020. Tuhkalannoituksella lisää kasvua ja hiilensidontaa. 27.4.2020. Viitattu 9.12.2020 <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/blogi/heli-viiri/tuhkalannoituksella-kasvua-hiilensidontaa/>.
- Yara Suomi Oy. 2021a. Ravinteiden merkitys metsälle. Viitattu 11.1.2021 [Ravinteiden merkitys metsälle \(yara.fi\)](https://yara.fi/raivinteiden-merkitys-metsalle/).
- 2021b. Metsänlannoitusopas. Viitattu 11.1.2020 https://tuohtametsasta.fi/wp-content/uploads/2017/11/YARA_Metsalannoitusopas.pdf.
- Äijälä, O. Koistinen, A. Sved, J. Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2014. Hyvän metsän hoidon suositukset - METSÄNHOITO. Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion julkaisuja.

LIITTEET

Liite 1 Ristijärvi, Nokkapuronsuo. Sijainti mustalla raksilla.

Liite 2 Vuolijoki, Otanneva. Sijainti keltaisella nuppineulalla.

Liite 3 Nokkapuronsuo, koealojen lannoituskäsittelyt (Issakainen, J. & Moilanen, M. 2003, 8)

Liite 4 Otanneva, koealojen lannoituskäsittelyt (Issakainen, J. 2007, 1)

Liite 5 Nokkapuronsuon aiemmin julkaistut, vuoden 2006 neulasanalyysit (Silfverberg ym. 2011, 95)

Liite 6 Nokkapuronsuo männyn neulasnäytteet 2006 koealoilta 1–19

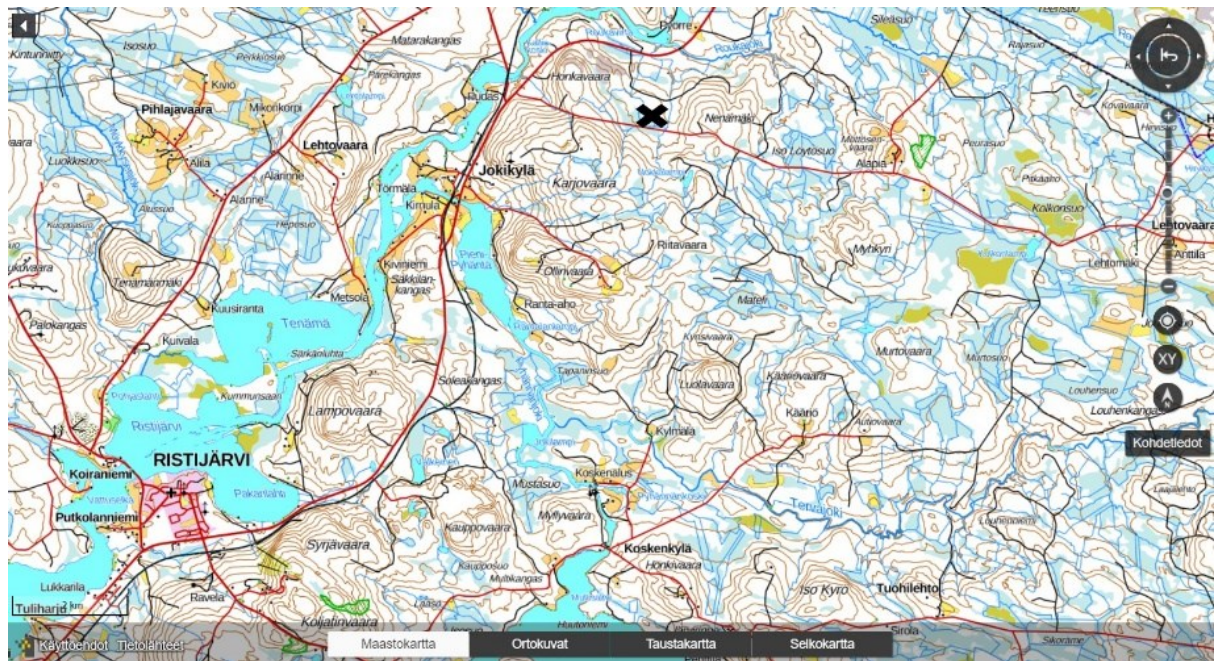
Liite 7 Nokkapuronsuo männyn neulasnäytteet 2006 koealoilta 20–41

Liite 8 Nokkapuronsuo kuusen neulasnäytteet 2006 koealoilta 1–19

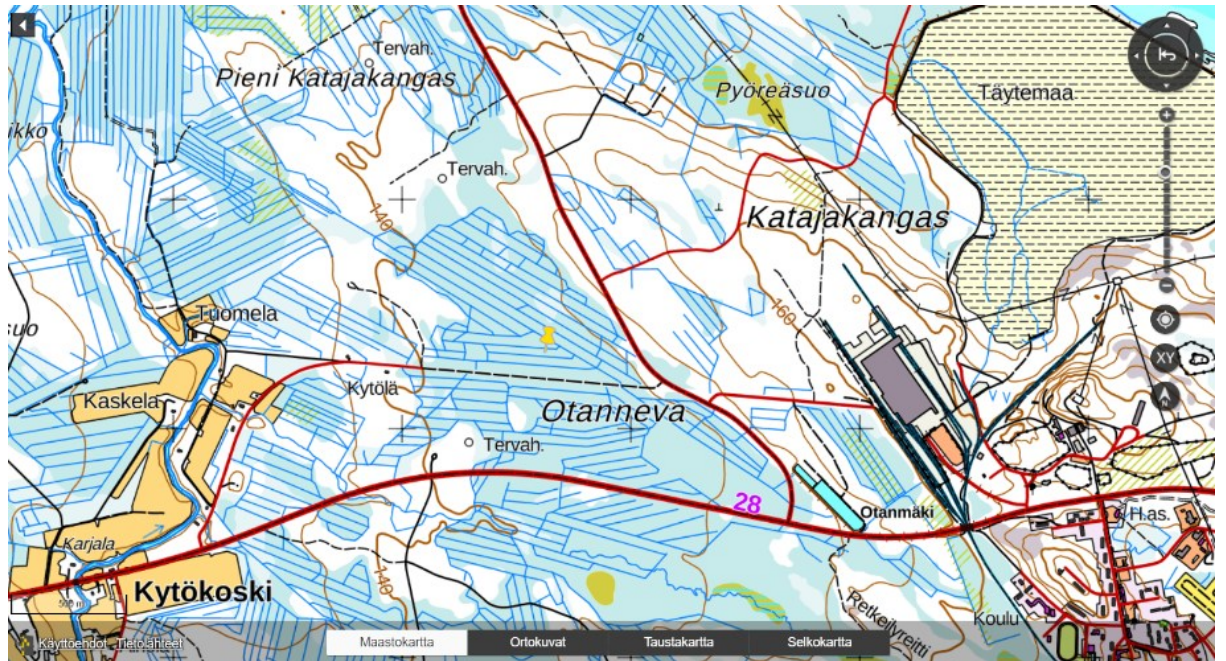
Liite 9 Nokkapuronsuo kuusen neulasnäytteet 2006 koealoilta 20–41

Liite 10 Otanneva neulasnäytteet 2009 koealoilta 1–12

Liite 1 Ristijärvi, Nokkapuronsuo. Sijainti mustalla raksilla



Liite 2 Vuolijoki, Otanneva. Sijainti keltaisella nuppineulalla



Liite 3 Nokkapuronsuo, koealojen lannoituskäsittelyt (Issakainen, J. & Moilanen, M. 2003, 8)

Taulukko 1. Koealojen turpeen paksuus (cm) ja lannoituskäsittelyt vuosina 1962, 1980 ja 2002 (kg/ha) sekä puuston runkotilavuus syksyllä 1996 (m³/ha)

Ruudun nro	Turpeen paksuus	1. lannoitus kevät 1962	2. lannoitus kevät 1980			3. lannoitus kevät 2002		Puuston tilavuus
			PK	Cu	Mn	PK	Kh	
1	60	Ei lann.	a	-	-	-	-	3,3
2	69	"	b	400	-	-	-	24,5
3	84	"	d	400	10	-	-	42,4
4	92	"	c	400	10	40	602	45,9
5	75	Ks 100	c	400	10	40	602	13,3
6	58	"	d	400	10	-	-	65,3
7	48	"	b	400	-	-	-	69,0
8	70	"	a	-	-	-	-	46,7
9	86	Suo-Y 800	a	-	-	-	-	62,2
10	63	"	c	400	10	40	602	92,4
11	69	"	d	400	10	-	-	107,3
12	93	"	b	400	-	-	-	123,6
13	100+	Ks200	c	400	10	40	602	51,6
14	97	"	d	400	10	-	-	73,6
15	100+	"	a	-	-	-	-	13,4
16	100+	"	b	400	-	-	-	57,8
17	100+	Ks200	b	400	-	-	-	66,6
18	100+	"	a	-	-	-	-	27,0
19	100+	"	c	400	10	40	602	73,7
20	100+	"	d	400	10	-	-	83,4
21	100+	Hf500	a	-	-	-	-	15,1
22	100+	"	d	400	10	-	-	52,0
23	100+	"	a	-	-	-	Biot. 1667	25,3
24	100+	"	b	400	-	-	-	47,9
25	100+	"	c	400	10	40	602	47,6
26	100+	"	a	-	-	-	-	19,8
27	100+	Hf500+Ks100	d	400	10	-	-	91,3
28	100+	"	a	-	-	-	-	73,7
29	100+	"	b	400	-	-	-	119,3
30	100+	"	c	400	10	40	602	106,6
31	100+	Hf500+Ks200	d	400	10	-	-	53,4
32	78	"	c	400	10	40	602	62,2
33	87	"	b	400	-	-	-	61,6
34	93	"	a	-	-	-	-	39,7
35	71	Hf500	c	400	10	40	602	72,4
36	64	"	b	400	-	-	-	47,4
37	60	"	d	400	10	-	-	61,8
38	94	"	a	-	-	-	-	51,2
39	92	Ei lann.	a	-	-	-	tuhka 5000	13,2
40	95	-	a	-	-	-	-	4,3

Liite 4 Otanneva, koealojen lannoituskäsittelyt (Issakainen, J. 2007, 1).

Arvotut lannoituskäsittelyt (kg/ha):				Toistot			
				I	II	III	IV
1	Lannoittamaton vertailu	-	Koealat	2	5	7	11
2	Rauta PK (0-8-16)	562	Koealat	1	6	9	10
3	Kaliumsuola (0-0-50)	180	Koealat	3	4	8	12

Liite 5 Nokkapuronsuon aiemmin julkaistut, vuoden 2006 neulasanalyytit. (Silf-verberg ym. 2011, 95).

Tables 5a and 5b. Needle nutrient concentrations (N, P, K mg g⁻¹, B mg kg⁻¹) at Nokkapuronsuo in 1999 and 2006 by fertilizer treatment. Highlighted values are below the severe deficiency limits (P<1.3 mg g⁻¹, K<4.0 mg g⁻¹)

5a

Treatments		Dose, kg ha ⁻¹		Needles in 1999				Needles in 2006			
1962	1980	P	K	N	P	K	B	N	P	K	B
Unfertilized	-	0	0	16.8	1.02	3.18	10.8	19.7	0.98	3.34	10.6
Hf	-	72	0	13.3	1.61	3.32	8.5	15.6	1.42	3.25	10.2
Ks	-	0	83	16.4	1.06	3.64	10.5	17.3	0.99	3.52	13.5
Hf + Ks	-	72	42/83	14.2	1.43	3.41	6.4	15.3	1.29	3.57	8.9
Hf	PK	107	66	14.4	2.08	3.72	8.9	16.3	1.61	3.61	8.2
Ks	PK	35	150	14.4	1.65	3.99	12.1	15.5	1.25	3.63	10.9
Hf + Ks	PK	107	109/150	13.7	1.94	3.77	10.5	15.9	1.48	3.65	11.8

5b

Treatments		Dose, kg ha ⁻¹		Needles in 2006				
1962	1980	2002	P	K	N	P	K	B
Unfertilized	-	-	0	0	19.7	0.98	3.34	10.6
Hf	PK	Kh	107	166	14.9	1.44	5.27	31.3
Hf	PK	PK	143	162	15.4	1.69	5.16	31.8
Ks	PK	Kh	35	250	14.9	1.30	5.53	35.5
Ks	PK	PK	71	246	15.2	1.65	5.42	32.4
Hf+Ks	PK	Kh	107	208/250	15.0	1.51	5.33	31.9
Hf+Ks	PK	PK	143	204/246	1.60	1.47	5.15	31.6

Hf = disintegrated phosphate, Ks = KCl, PK = PK-fertilizer, Kh = KCl+micro

Liite 6 Nokkapuronsuo männyn neulasnäytteet 2006 koeloilta 1–19

m_tga g	V ml	Kosteus %	Tuhka %	Al25602 mg/kg	B24902 mg/kg	Ca21102 mg/g	Cd22802 mg/kg	Cu22402 mg/kg	Fe25902 mg/kg	K76602 mg/g	Mg28502 mg/g	Mn25702 mg/kg	Mn29302 mg/kg	Mo20202 mg/kg	Na58902 mg/kg	Ni23102 mg/kg	P17802 mg/g	Pb22002 mg/kg	Zn21302 mg/kg	C % Ka	N % Ka
2,372	50	5,55	1,74	156	8,95	2,06	0,060	3,28	28,1	3,48	1,25	>223	485	<0,223	20,8	0,870	0,932	0,446	48,7	54,0	1,87
2,541	50	5,96	1,56	161	4,62	1,55	0,054	4,21	31,2	3,1	1,3	>209	286	<0,209	32,7	2,22	1,03	<0,418	51,7	54,1	2,17
2,331	50	6,01	1,89	143	30,8	1,69	0,062	3,83	27,6	4,75	1,24	>228	409	<0,228	16,9	1,73	1,01	<0,456	51,8	53,2	1,77
2,136	50	5,81	2,10	171	37,3	1,74	0,070	3,85	30,3	5,8	1,2	>249	502	<0,249	20,1	1,99	1,47	0,509	52,4	53,7	1,49
2,074	50	5,71	2,30	228	36,1	2,28	0,097	3,86	27,6	5,79	1,25	>256	486	<0,256	14,8	2,07	1,76	<0,511	49,1	53,2	1,50
2,416	50	5,89	2,12	162	31,7	1,84	0,075	3,63	31,9	5,6	1,33	>220	361	<0,220	19,0	2,31	1,44	<0,440	50,6	53,6	1,66
2,336	50	6,05	1,85	202	6,36	1,93	0,075	3,03	26,9	3,98	1,4	>228	555	<0,228	16,4	2,81	1,4	0,456	38,3	54,0	1,84
2,391	50	6,10	1,63	185	10,1	1,44	0,069	3,72	29,6	3,16	1,47	>223	609	<0,223	26,8	2,41	1,08	<0,445	47,7	53,7	2,44
2,265	50	6,06	1,67	214	13,8	1,65	0,061	3,60	26,3	3,41	1,69	>235	288	<0,235	20,6	1,57	1,59	<0,470	36,7	54,2	1,70
2,224	50	5,94	1,79	169	30,1	1,41	0,060	2,32	29,9	4,89	1,36	>239	315	<0,239	18,3	1,98	1,52	<0,478	31,3	53,4	1,58
2,032	50	5,92	1,92	164	27,2	1,78	0,084	3,11	28,8	5,08	1,31	>262	411	<0,262	15,1	1,52	1,37	<0,523	37,7	53,5	1,55
2,059	50	6,02	1,77	189	9,53	1,87	0,083	3,67	27,1	3,58	1,63	>258	480	<0,258	19,7	1,24	1,38	<0,517	33,8	54,1	1,55
2,194	50	5,85	2,06	150	31,7	1,69	0,068	2,31	35,8	5,73	1,31	>242	286	<0,242	26,0	1,77	1,75	<0,484	51,1	53,9	1,58
2,216	50	5,85	2,09	137	38,8	1,8	0,065	5,25	32,6	5,44	1,52	182	<240	<0,240	25,0	1,94	1,3	<0,479	61,6	53,7	1,48
2,384	50	5,99	1,51	102	12,4	1,43	0,038	3,68	28,8	3,28	1,32	>223	435	<0,223	22,2	1,18	0,96	<0,446	50,6	54,5	1,76
2,117	50	5,85	1,66	203	12,0	1,72	0,070	2,01	28,8	3,44	1,59	>251	297	<0,251	17,9	1,46	1,25	<0,502	42,9	53,7	1,57
2,467	50	5,94	1,90	186	9,85	1,95	0,073	3,06	27,2	3,82	1,66	>215	574	<0,215	20,1	1,40	1,24	<0,431	48,5	54,1	1,52
2,156	50	6,02	1,89	137	14,5	1,97	0,069	5,45	26,2	3,76	1,57	>247	849	<0,247	25,6	1,21	1,01	<0,494	62,4	53,7	1,70
2,090	50	5,90	2,09	208	33,1	1,66	0,071	4,45	35,8	5,1	1,43	>254	566	<0,254	24,5	1,86	1,54	<0,508	45,0	53,0	1,46

Liite 7 Nokkapuronsuo männyn neulasnäytteet 2006 koealoilta 20–41

m_tga g	V ml	Kosteus %	Tuhka %	Al25602 mg/kg	B24902 mg/kg	Ca21102 mg/g	Cd22802 mg/kg	Cu22402 mg/kg	Fe25902 mg/kg	K76602 mg/g	Mg28502 mg/g	Mn25702 mg/kg	Mn29302 mg/kg	Mo20202 mg/kg	Na58902 mg/kg	Ni23102 mg/kg	P17802 mg/g	Pb22002 mg/kg	Zn21302 mg/kg	C % Ka	N % Ka
2,591	50	5,88	2,02	162	32,2	1,52	0,057	3,12	32,2	5,61	1,34	>205	440	<0.205	19,2	1,44	1,29	<0.410	45,3	53,3	1,50
2,369	50	5,88	1,79	176	10,7	1,95	0,121	3,52	24,0	3,21	1,52	>224	859	<0.224	25,3	1,23	1,35	0,448	37,7	54,2	1,60
2,359	50	5,91	2,16	161	32,7	1,62	0,110	2,75	36,7	5,34	1,48	>225	475	<0.225	38,8	1,49	1,39	<0.451	57,4	53,4	1,48
2,102	50	5,89	2,16	230	6,57	2,32	0,215	6,37	28,3	4,43	1,71	>253	579	<0.253	23,1	1,24	1,42	<0.506	55,9	53,8	1,55
2,425	50	5,94	1,58	143	8,99	1,35	0,068	2,78	28,5	3,11	1,52	>219	367	<0.219	26,0	1,51	1,53	<0.438	36,2	54,4	1,61
2,220	50	5,85	2,03	164	30,6	1,61	0,103	2,80	33,0	5,31	1,54	>239	429	<0.239	25,2	1,72	1,7	<0.478	47,8	53,5	1,58
1,916	50	5,84	2,00	137	37,7	1,9	0,136	3,33	27,7	5,06	1,4	>277	461	<0.277	19,3	0,970	1,35	<0.554	56,0	53,6	1,36
1,957	50	5,92	1,91	175	29,9	1,57	0,095	2,85	29,3	5,37	1,4	>272	562	<0.272	24,0	1,39	1,52	<0.543	45,6	53,8	1,49
2,048	50	6,04	1,80	153	10,2	1,8	0,068	3,56	24,1	3,2	1,73	>260	851	<0.260	28,5	1,56	1,26	<0.520	52,2	54,3	1,53
2,452	50	5,93	1,80	193	11,5	1,59	0,056	3,38	26,0	3,69	1,53	>217	667	<0.217	20,4	1,82	1,44	<0.434	32,7	54,2	1,64
2,233	50	5,91	1,79	162	32,6	1,27	0,062	4,55	30,7	4,83	1,31	>238	611	<0.238	20,0	1,12	1,48	0,476	38,8	53,6	1,67
2,020	50	5,88	2,13	165	33,9	1,83	0,095	5,18	35,0	5,29	1,47	>263	447	<0.263	28,2	1,39	1,49	<0.526	53,7	53,8	1,50
2,089	50	5,94	2,02	200	30,5	1,54	0,084	2,60	35,6	5,46	1,28	>254	405	<0.254	26,4	1,27	1,45	<0.509	43,0	53,9	1,52
2,122	50	6,00	1,84	223	12,0	1,74	0,080	3,33	28,8	3,6	1,72	>251	437	<0.251	18,8	1,50	1,51	<0.501	40,4	53,6	1,54
2,153	50	5,93	1,88	170	7,58	1,93	0,064	3,21	27,4	3,93	1,69	>247	575	<0.247	20,9	1,01	1,32	<0.494	48,1	54,0	1,52
2,293	50	5,85	1,90	141	32,9	1,39	0,053	4,05	31,3	5,01	1,31	>232	568	<0.232	26,6	1,20	1,67	<0.463	38,7	54,1	1,49
2,455	50	5,90	2,09	251	7,45	1,99	0,089	2,68	31,4	4,11	1,69	>216	674	<0.216	21,1	1,41	1,68	<0.433	43,3	53,5	1,65
2,383	50	6,00	1,92	178	29,9	1,64	0,096	2,46	26,3	5,19	1,23	>223	575	<0.223	18,5	0,915	1,49	<0.446	42,6	53,1	1,50
2,483	50	6,01	1,83	179	9,60	1,7	0,060	3,04	26,1	3,28	1,45	>214	890	<0.214	22,0	1,01	1,49	0,428	41,3	54,2	1,52
2,456	50	6,00	2,21	122	19,6	2,3	0,089	2,43	27,5	5,1	1,3	>217	266	<0.217	18,9	0,996	1,3	<0.433	60,2	53,8	1,53
2,670	50	6,18	1,69	113	12,3	2	0,062	3,63	25,0	3,2	1,48	>200	600	<0.200	18,5	1,32	1,02	<0.399	54,9	53,9	2,07
2,252	50	6,41	1,69	140	10,2	1,7	0,038	3,44	30,1	3,73	1,21	>237	315	<0.237	24,6	1,45	0,922	<0.474	50,5	54,6	2,14

Liite 8 Nokkapuroniusuo kuusen neulasnäytteet 2006 koaloilta 1–19

		m_lga	V	Kosteus	Tuhka	Al25602	B24902	Ca21102	Cd22802	Cu22402	Fe25902	K76602	Mg28502	Mn25702	Mn29302	Mo20202	Na58902	Ni23102	P17802	Pb22002	Zn21302	C	N
		g	ml	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/g	mg/g	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/kg	% Ka	% Ka
1	2E+07	2,099	50	6,74	2,18	35,6	3,45	3590	0,049	2,58	15,0	3,6	1,01	>255	513	<0,255	7,22	1,12	0,828	<0,511	28,6	53,4	1,52
2	2E+07	2,010	50	6,71	1,81	23,5	8,27	2690	<0,040	2,77	13,4	2,34	1,09	>267	397	<0,267	7,35	1,63	1,06	<0,533	19,8	53,8	1,37
3	2E+07	1,919	50	6,74	2,84	23,7	25,8	3080	<0,042	2,66	18,6	7,47	1,25	>279	454	<0,279	7,97	1,56	1,16	<0,559	34,6	52,6	1,54
4	2E+07	2,110	50	6,55	2,49	19,6	29,4	2900	<0,038	2,12	15,3	5,46	1,2	>254	498	<0,254	7,36	1,39	1,67	<0,507	28,1	52,8	1,23
5	2E+07	1,928	50	6,43	2,85	27,7	27,4	3710	<0,042	2,34	18,8	6,36	1,27	>277	599	<0,277	8,72	1,14	2	<0,554	33,5	52,4	1,46
6	2E+07	1,563	50	6,78	3,04	39,7	23,8	3400	<0,051	1,47	21,6	7,85	1,29	>343	348	<0,343	8,38	1,85	1,54	<0,686	43,6	52,6	1,63
7	2E+07	2,126	50	6,55	2,25	25,3	6,87	3850	0,098	2,72	17,6	3,48	1,23	>252	611	<0,252	6,38	1,79	1,56	<0,503	26,9	52,6	1,68
8	2E+07	2,235	50	6,55	1,85	18,9	7,71	3070	0,065	2,61	16,6	1,99	0,988	>239	609	<0,239	6,21	1,17	1,09	<0,479	17,5	52,8	1,63
9	2E+07	2,398	50	6,52	2,06	11,2	8,43	3410	0,087	2,30	18,7	2,03	1,36	>223	315	<0,223	7,14	0,781	1,69	<0,446	25,0	53,1	1,49
10	2E+07	1,841	50	6,70	3,11	25,8	22,2	3430	0,070	4,08	22,5	7,76	1,43	>291	399	<0,291	9,10	2,15	2,24	<0,582	26,8	51,9	1,76
11	2E+07	1,808	50	6,73	3,44	26,5	22,0	4070	0,104	3,17	24,1	8,12	1,47	>297	916	<0,297	9,67	1,84	1,95	<0,593	38,0	51,9	1,84
12	2E+07	2,047	50	6,65	2,60	15,6	10,3	3950	0,123	2,75	18,5	4,11	1,4	>262	925	<0,262	9,58	1,26	1,85	<0,523	27,2	52,4	1,52
13	2E+07	1,584	50	6,57	3,03	21,5	29,1	3290	<0,051	1,95	20,0	7,67	1,54	>338	344	<0,338	9,62	1,86	2,12	2,46	31,5	52,1	1,50
14	2E+07	1,963	50	6,66	3,14	18,4	31,9	3570	<0,041	3,00	19,2	8,14	1,63	209	<273	<0,273	9,06	1,5	1,3	<0,546	45,0	52,5	1,47
15	2E+07	2,022	50	6,76	1,62	10,7	7,88	3070	<0,040	2,32	14,6	1,59	0,999	>265	384	<0,265	8,45	0,769	0,802	<0,530	23,6	53,5	1,32
16	2E+07	1,804	50	6,70	2,07	15,1	9,86	2960	<0,045	2,63	17,9	2,71	1,39	>297	364	<0,297	7,39	1,75	1,33	<0,594	25,6	52,9	1,35
17	2E+07	1,865	50	6,82	2,58	15,8	10,5	3480	<0,043	2,73	17,8	4,59	1,3	>288	856	<0,288	7,45	1,35	1,32	<0,575	33,4	52,6	1,41
18	2E+07	2,282	50	6,75	1,90	12,3	7,54	3190	0,038	2,25	14,5	2,16	0,973	>235	643	<0,235	6,00	0,799	0,871	<0,470	24,9	53,7	1,24
19	2E+07	1,612	50	6,77	3,41	25,0	30,4	3270	0,063	2,83	26,1	8,19	1,43	>333	1060	<0,333	11,8	1,66	2,12	<0,665	38,3	51,9	1,57

Liite 9 Nokkapuroniusuo kuusen neulasnäytteet 2006 koealoilta 20–41

		m_tga	V	Kosteus	Tuhka	Al25602	B24902	Ca21102	Cd22802	Cu22402	Fe25902	K76602	Mg28502	Mn26702	Mn29302	Mo20202	Na58902	Ni23102	P17802	Pb22002	Zn21302	C	N
		g	ml	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/g	mg/g	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/g	mg/kg	mg/kg	% Ka	% Ka
20	2E+07	1,851	50	6,89	3,12	25,9	24,1	2910	<0.044	2,65	26,1	7,56	1,37	>290	906	<0.290	10,9	1,16	1,5	<0.580	45,0	52,3	1,47
21	2E+07	1,974	50	6,77	1,32	25,8	6,87	2000	0,092	2,16	14,9	1,15	0,76	>272	522	<0.272	6,25	1,49	0,966	<0.543	12,6	54,5	1,45
22	2E+07	2,349	50	6,63	2,42	21,0	23,9	2390	<0.034	2,04	15,3	5,44	1,1	>228	455	<0.228	5,02	1,00	1,19	<0.456	30,8	52,9	1,37
23	2E+07	2,052	50	6,65	2,50	32,9	4,28	4460	0,094	1,53	19,4	3,29	1,18	>261	301	<0.261	6,47	0,966	1,25	<0.522	30,5	53,0	1,45
24	2E+07	2,507	50	6,71	1,90	13,7	9,86	2530	0,043	1,53	16,1	1,61	1,07	>214	365	<0.214	6,91	1,33	1,57	<0.428	17,7	53,7	1,35
25	2E+07	2,012	50	6,64	2,92	18,6	24,9	2770	0,053	2,54	19,8	6,67	1,47	>266	525	<0.266	7,39	1,17	2	<0.532	29,0	52,7	1,48
26	2E+07	1,933	50	6,70	2,91	23,7	28,0	3400	<0.042	4,10	17,2	6,69	1,28	>277	386	<0.277	9,02	0,859	1,2	<0.554	41,9	52,9	1,29
27	2E+07	1,708	50	6,90	3,33	24,3	27,4	3140	0,091	3,14	21,7	8,16	1,43	>314	818	<0.314	10,5	1,42	1,9	<0.629	38,0	52,4	1,58
28	2E+07	2,103	50	6,79	1,71	15,8	8,24	2400	0,054	2,08	18,0	1,9	1,06	>255	698	<0.255	7,20	0,893	1,36	<0.510	18,5	53,1	1,36
29	2E+07	1,973	50	6,84	2,66	17,3	11,6	3270	0,087	2,75	22,1	3,9	1,33	>272	1140	<0.272	9,50	2,26	1,86	<0.544	30,5	52,5	1,40
30	2E+07	1,489	50	7,05	3,41	26,2	27,1	3040	0,108	3,22	24,6	8,39	1,26	>361	1230	<0.361	16,4	1,91	2,16	<0.723	29,4	51,5	1,87
31	2E+07	1,976	50	6,78	2,95	22,6	30,1	2760	<0.041	2,44	21,4	6,83	1,49	>271	379	<0.271	7,49	1,63	1,65	<0.543	32,3	52,7	1,57
32	2E+07	1,945	50	6,88	3,27	40,1	24,7	3360	<0.041	2,84	20,0	7,47	1,45	>276	512	<0.276	6,56	2,18	1,98	<0.552	33,1	52,2	1,63
33	2E+07	2,209	50	5,93	2,54	16,7	8,52	3670	0,053	2,55	18,9	3,19	1,39	>241	452	<0.241	5,62	1,80	1,93	<0.481	27,9	52,5	1,53
34	2E+07	2,277	50	6,14	2,22	12,5	6,34	3900	0,047	2,39	15,1	2,31	1,25	>234	528	<0.234	6,97	0,795	1,38	<0.468	29,5	53,5	1,31
35	2E+07	1,939	50	6,38	2,98	22,2	20,2	3240	0,055	3,86	19,0	6,67	1,38	>275	1050	<0.275	8,70	1,05	2,12	<0.551	32,8	52,3	1,47
36	2E+07	2,095	50	6,43	2,80	26,3	8,14	3670	0,071	3,57	21,3	5,26	1,46	>255	653	<0.255	6,66	1,50	1,88	<0.510	24,2	52,6	1,77
37	2E+07	1,468	50	6,53	3,35	30,4	17,9	3650	0,095	3,83	23,5	8,14	1,45	>364	911	<0.364	11,7	1,42	1,96	<0.729	33,9	51,7	1,85
38	2E+07	1,738	50	6,43	2,69	27,7	8,89	3520	0,061	2,90	21,6	4,72	1,33	>307	1240	<0.307	8,19	1,63	1,7	<0.615	36,9	52,4	1,74
39	2E+07	2,145	50	6,20	3,75	9,85	12,6	5520	0,037	2,21	18,1	7,13	1,23	>249	347	<0.249	6,77	0,447	1,25	<0.497	59,4	52,0	1,33
40	2E+07	2,093	50	6,24	1,77	13,0	7,69	3160	0,056	2,28	11,6	1,63	0,944	>255	666	<0.255	5,16	0,815	0,817	<0.510	22,0	53,3	1,42
41	2E+07	2,366	50	6,25	1,72	36,3	5,97	2050	<0.034	4,01	14,3	3,21	0,899	>225	349	<0.225	7,13	1,01	0,794	<0.451	23,9	53,5	1,32

Liite 10 Otanneva neulasnäytteet 2009 koaloilta 1–12

Otanneva 1/2007 neulasnäytteet 2 vuotta lannoituksen jälkeen												
Näyte- tunnus	Tuhka (%)	N (%)	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg	B mg/kg	100 neul. g
Vuolijoki 1 / 2007 1.12.2009												
r. 1	1,9	1,44	1,65	4,65	1,78	1,16	28,7	430	36,7	2,0	26,3	3,12
r. 2	1,7	1,53	1,71	3,90	1,74	1,22	29,9	565	33,3	2,1	11,0	2,99
r. 3	1,9	1,46	1,81	4,65	2,17	1,36	33,5	643	45,7	2,5	7,0	2,94
r. 4	2,0	1,45	1,84	4,31	2,21	1,50	32,4	570	45,3	2,2	10,4	3,55
r. 5	2,0	1,53	1,77	4,33	2,28	1,29	26,9	481	41,1	2,0	11,7	3,55
r. 6	2,0	1,50	1,72	4,50	2,08	1,14	30,5	538	42,3	2,3	30,7	3,15
r. 7	1,9	1,58	1,87	4,25	1,89	1,32	32,8	626	41,3	2,7	12,1	2,83
r. 8	2,0	1,45	1,53	4,47	1,92	1,22	27,5	607	46,7	2,5	9,1	2,99
r. 9	1,9	1,37	1,66	5,14	1,61	1,06	30,1	441	45,8	2,3	23,6	3,42
r. 10	1,9	1,31	1,70	4,60	1,87	1,24	36,1	505	43,9	2,4	23,3	2,47
r. 11	2,0	1,40	1,68	4,03	2,21	1,44	37,7	609	43,5	2,6	14,7	2,59
r. 12	2,0	1,41	1,62	4,30	2,04	1,23	37,8	548	45,8	2,8	10,8	3,00