

AVOSUON METSITTÄMINEN

Menetelmät, puuntuotos ja kannattavuus

Heli Sadinsalo

Opinnäytetyö
Luonnonvara-ala
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

2015

Luonnonvara-ala
Metsätalouden koulutusohjelma

Tekijä	Heli Sadinsalo	Vuosi	2015
Ohjaaja	Jyrki Hytönen, Olavi Kohal		
Toimeksiantaja	Luonnonvarakeskus, Kannus		
Työn nimi	Avosuon metsittäminen Menetelmät, puuntuotos ja kannattavuus		
Sivu- ja liitemäärä	46		

Suomessa on ojitettua suota 4 649 000 hehtaaria, josta 220 000 hehtaaria on ojitettua avosuota. Koko ojituspinta-alasta viidenneksen katsotaan olevan metsätaloudellisesti kannattamatonta. Metsälain muuttuessa vuonna 2014 uudistamisvelvoite poistui vähätuottoisilta soilta, jotka ovat pääasiassa varpu- ja jäkäläturvekankaita. Näiden soiden jatkokäyttöä on alettu pohtia laajemmin.

Kaunisveden koemetsikkö perustettiin vuosina 1967 – 1968. Se oli alun perin tupasvillaneva eli paksaturpeinen avosuo, josta kuivatuksen seurauksena kehittyi varputurvekangas II (Vatkg II). Tämänkaltaisilla soilla on suuri riski kaliumin ja fosforin puutoksille, jotka vaikuttavat olennaisesti puuston kasvuun turvemaila. Puutosten vuoksi metsät vaativat toistuvia lannoituksia.

Kaunisvesi on avosuon metsityskoe, jolla vertailtiin viljelytavan, viljelytiheyden, vaotuksen sekä kaliumlannoituksen vaikutusta metsikön perustamiseen ja puun kasvuun. Koeruutujen puusto mitattiin vuosina 1998, 2008 ja 2014. Luonnontilaiselta suolta mitattiin vertailukoelat vuonna 2014, jotta metsitysmenetelmien hyötyjä voitaisiin vertailla. Tavoitteena oli lisäksi selvittää, onko avosuon metsittäminen ollut taloudellisesti järkevää ja kannattaako metsää jatkokasvattaa vai ennallistetaanko se päätehakkuiden jälkeen.

Parhaimman kasvun tuottivat kaliumilla jatkolannoitetut alat, joiden viljelytiheys ennen ensiharvennusta oli 4000 runkoa hehtaarilla. Kokonaistuotos istutusaloilla oli 215 ja kylvetyillä 199 kuutiota hehtaarilla. Vertailualojen puuston tilavuus oli kahdeksan kuutiota hehtaarilla. Kaliumlannoituksella ja viljelytavalla oli tilastollisen merkitys mitattuihin tunnuksiin. Viljelytiheys vaikutti ensiharvennuksen poistumaan ja puuston läpimittaan. Vaotuksen vaikutus näkyi neulasravinteiden kohdalla. Metsikkö kärsii kaliumin ja fosforin puutoksesta. Vain typen ja boorin taso oli välttävä, joten metsikön jatkokasvatus vaatii PK- tai tuhkalannoitusta.

MOTTI-ohjelmiston laskelmien perusteella varputurvekangas II:n kasvatus on tappiollista, eikä jatkokasvatus kannata. Ennallistaminen päätehakkuun jälkeen on siten suositeltavampi vaihtoehto.

Avainsanat avosuo, kaliumlannoitus, metsitys, talous

School of Forestry and Rural industries
Forestry programme

Author	Heli Sadinsalo	Year	2015
Supervisor(s)	Jyrki Hytönen, Olavi Kohal		
Commissioned by	Natural Resources Institute Finland		
Subject of thesis	Afforestation of treeless bog – methods, yield and profitability		
Number of pages	46		

There are 4 649 000 hectares of drained mires in Finland and 220 000 hectares of them have been originally treeless bogs and fens. One fifth of whole drained area is considered to be unprofitable for growing forests. When the Forestry Act changed in 2014, the duty to reforest low productive peatlands (mainly Vatkg, Jätkg site types) was removed. The important question is what to do with them in the future?

Experimental area in Kaunisvesi was established in 1967 – 1968. Originally it was a treeless cottongrass (*Eriophorum vaginatum*) bog with a thick peat layer. This kind of peatland has great possibility to be deficient in plant nutrients, especially phosphorus and potassium. Due to these deficiencies the forests need frequent fertilising treatments.

Kaunisvesi is an experiment of afforestation of treeless bog. The aim of the experiment was to compare different establishment methods, planting and seeding densities, furrows and potassium fertilization. The trees of observation plots were measured in 1998, 2008 and 2014. Also in 2014 plots were established on original bog to compare the effect of treatments. The aim of the study was also to find out, whether it has been economically reasonable to afforest a treeless bog, is it profitable to continue forest growing or is restoration of the bog the best choice after final cutting.

Observation plots which were fertilized with potassium and had plant distance of 4000 stems per hectare, had the best total production which was 215 m³/ha on planted plots and 199 m³/ha on sowed plots. Production on the comparison plots was 8 m³/ha. The potassium fertilization and afforestation method had significant statistical effect on the results. Planting density affected removal of first thinning and stand mean diameter. According to the results of foliar analyses, the stand in Kaunisvesi is suffering a severe lack of potassium and phosphorus. Amount of nitrogen and boron was satisfactory. Further growing of the stand would require PK- or ash fertilization.

According to MOTTI- simulation program it is unprofitable to afforest and grow forests on Vatkg II. Economically better alternative is to restore the stand after final cutting.

Key words

afforestation, economy, potassium fertilization, tree-less bog

SISÄLLYS

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 AVOSOIDEN METSITYS	11
2.1 Metsityksen taustat.....	11
2.2 Avosoiden ravinnetalous.....	13
3 KAUNISVEDEN KOE	16
3.1 Perustiedot.....	16
3.2 Kokeen perustamisajatus.....	17
3.3 Käsittelyt	18
3.4 Koealueen mittaukset	19
3.5 Neulasnäytteet.....	21
3.6 Laskenta	22
4 TULOKSET.....	23
4.1 Runkoluku ja poistuma.....	23
4.2 Puuston keskipituus.....	25
4.3 Puuston keskiläpimitta	27
4.4 Puuston pohjapinta-ala	31
4.5 Puuston tilavuus ja poistuma	32
4.6 Neulasten ravinnepitoisuudet.....	37
4.7 Kustannukset ja tuotot	40
5 POHDINTA	43
LÄHTEET.....	47

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Yleiskuva Kaunisveden koemetsiköstä lokakuussa 2014.	16
Kuvio 2. Koeruudut ja kokeet käsittelyt.	18
Kuvio 3. Poistuneen ja jäävän puuston runkoluvut vuonna 1998.....	23
Kuvio 4. Runkoluku harvennuksen jälkeen vuonna 2008.....	24
Kuvio 5. Runkoluvun vertailu vuonna 2014 luonnontilaiseen suohon	24
Taulukko 1. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus runkolukuun ja poistumaan (F-arvo ja p-arvo). Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.	25
Kuvio 6. Puuston keskipituus ennen ensiharvennusta vuonna 1998	25
Kuvio 7. Harvennetun puuston keskipituus vuonna 2008	26
Kuvio 8. Puuston keskipituus 2014, mukana vertailussa luonnontilainen suo...26	
Taulukko 2. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus keskipituuteen. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.....	27
Kuvio 9. Puuston keskiläpimitta vuonna 1998.....	28
Kuvio 10. Rinnankorkeusläpimitta vuonna 2008	28
Kuvio 11. Vertailussa mukana luonnontilainen suo vuonna 2014	29
Kuvio 12. Runkoluvun vaikutus puuston keskiläpimittaan.....	30
Taulukko 3. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus keskiläpimittaan. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.....	30
Kuvio 13. Nykypuuston pohjanpinta-ala vuonna 2014.	31
Taulukko 4. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus pohjapinta-alaan. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.....	32
Kuvio 14. Ensiharvennuksen hakkuupoistuma	32
Kuvio 15. Tiheyden, viljelytavan ja kaliumlannoituksen vaikutus kokonaistuotokseen	33
Kuvio 16. Puuston nykytilavuus	34
Taulukko 5. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus puuston tilavuuteen. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.....	34
Kuvio 17. Kuitupuun tilavuus.....	35
Kuvio 18. Istutuksen, kylvön ja tiheyden vaikutus tukkipuun määrään.....	36
Kuvio 19. Tukkipuun tilavuus	36
Kuvio 20. Typen neulasravinnepitoisuus.....	37

Kuvio 21. Fosforin neulasravinnepitoisuus.....	38
Kuvio 22. Kaliumin neulasravinnepitoisuus.....	38
Kuvio 23. Boorin neulasravinnepitoisuus	39
Taulukko 6. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus tiheyteen istutettujen männyn taimien (tiheys 2667 tainta/hehtaari) neulasten ravinnepitoisuuksiin (F-arvo ja p-arvo). Varianssimallissa mukana toisto, kalium ja vaotus sekä muuttujien yhdysvaikutus. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.	39
Kuvio 24. 30-vuotiaan männikön nettohyötyarvo eri kasvupaikoilla	40
Kuvio 25. Nettotulojen nykyarvo ilman uudistamiskustannuksia	41
Kuvio 26. Tulot ja kustannukset kasvatuksen aikana diskontattuna nykyhetkeen (3 %- korkokanta).....	42
Kuvio 27. Rahkasammaleiset ojat.....	44

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyöaiheen sain keväällä 2014 etsiessäni sähköpostitse sopivaa aihetta. Yksi kyselyni saajista oli Metsäntutkimuslaitoksen, nykyisen Luonnonvarakeskuksen Keski-Pohjanmaalla sijaitseva Kannuksen toimipiste, josta ehdotettiin aihetta liittyen avosoiden metsitysmenetelmiin sekä kannattaako metsänkasvatus edelleen varpukangas II - tyyppin turvemaalla perustuen todellisiin mittaustuloksiin.

Aihe on ajankohtainen, sillä uuden metsälain tultua voimaan 2014, uudistamisvelvoite poistui vähätuottoisilta kitu- ja joutomaiksi luetuilta ojitetuilta soilta (Metsälaki 1085/2013 2:5 a §), jotka ovat pääasiassa varpu- ja jäkäläturvekankaita. Tässä tapauksessa vähätuottoisiksi katsotaan turvemaat, joiden runkopuun tuotos vuodessa on alle kuutiometrin hehtaarilla.

Viidenneksen ojitetuista soista katsotaan olevan metsätaloudellisesti kannattamattomia. Näistä 80 prosenttia sijaitsee Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Lapin maakunnissa. Näille soille halutaan löytää jatkokäyttöä ja sen vuoksi on perustettu EU LIFE-Ympäristöohjelman rahoittama viisivuotinen projekti, joka käynnistyi heinäkuussa 2013. (Tolvanen & Parviainen 2014, 2.)

Projektissa halutaan selvittää muun muassa, millaisilla soilla metsän jatkokasvatus kannattaa vielä ensimmäisenkin puusukupolven jälkeen ja millaiset suot jätetään ennallistumaan. Vaihtoehtoja mietitään muun muassa vesiensuojelun, luontoarvojen, riistan hoidon ja taloudellisen kannattavuuden kannalta sekä mitä eri käyttäjäryhmät pitävät hyväksyttävänä toimintana. (Tolvanen & Parviainen 2014, 2.)

Suomen pinta-alasta suota on 8 761 000 hehtaaria, josta ojitettu on hiukan vajaa puolet eli 4 649 000 hehtaaria. Avosuota on 1 529 000 hehtaaria. Tupasviljaisia ja isovarpuisia soita, jotka muuttuvat kuivatuksen tuloksena varputurvekankaiksi on 781 000 hehtaaria. Näistä soista Etelä- ja Keskipohjanmaalla on 128 000 hehtaaria. Rahkaisia soita, jotka muuttuvat kuivatuksen tuloksena jäkä-

läturvekankaiksi on koko maassa laskettu olevan 16 000 hehtaaria. Näistä Etelä- ja Keskipohjanmaalla on neljäs osa. (Metsäntutkimuslaitos 2014, 48, 50.)

Kaunisveden koemetsikön kaltaisten, kuiviin kankaisiin verrattavien varputurvekankaiden kunnostusojituskelpoisuus (kuten muillakin turvekankailla) perustuu alueen lämpösumman suuruuteen sekä puuston kehitysluokkaan, runkolukuun ja laatuun, kuten myös metsänomistajan tuottovaatimukseen (Ruotsalainen 2007, 17. ; Vanhanen ym. 2015, 43). Lähtökohtana kannattavuudelle on myös se, että metsikkö saavuttaa kunnostusojituksen vaikutusaikana leimausrajan ja siellä voidaan tehdä vähintään yksi tuloja tuottava harvennushakkuu (Vanhanen ym. 2015, 43).

Mikäli varputurvekangas kelpaa kunnostusojitettavaksi, se voi olla myös jatkoinvestointikelpoinen. Se riippuu lämpösummasta sekä kustannusten suuruudesta, jotka liittyvät toisen puusukupolven perustamiseen ja kasvattamiseen. (Saarinen & Silver 2011, 14.) Kannattavuuslaskelmien perusteella varputurvekankaat ovat jatkoinvestointikelpoisia kolmen prosentin laskentakorolla ainoastaan Etelä- ja Väli-Suomessa (lämpösumma tällöin yli 1000 d.d) ja kun perustaminen onnistuu kylväen tai luontaisesti uudistaen (Ruotsalainen 2007, 17-18). Samalla oletetaan myös, että terveyslannoituksia ei tarvita, vaan ravinteiden määrä kasvupai- kalla riittää jo luontaisesti uuden puusukupolven kasvattamiseen (Saarinen & Silver 2011, 14).

Luorasen, Saksan ja Uotilan (2012, 17) mukaan II – tyyppin turvekankailla on usein ravinnepuutoksia. Kaliumvarastot ovat alhaiset, joten puuston hyvän kasvun turvaamiseksi toisella kiertoajalla tarvitaan lannoitusta kerran tai kaksi. Varputurvekangas II:lla kaliumin puutos on jo niin huomattava, että se tekee toisen puusukupolven perustamisen kannattamattomaksi. Ravinne-epätasapaino on erityisesti suurena ongelmana soilla, jotka ovat olleet alun perin paksuturpeisia avosoita, kuten mittauksen kohteena oleva Kaunisveden koemetsikkö.

Kaunisveden kokeessa vertailtiin kylvön ja istutuksen, maanmuokkauksen ja kaliumlannoituksen vaikutusta puun kasvuun. Alue mitattiin kolme kertaa ja sen

tuloksien perusteella on tässä työssä pyritty vastaamaan seuraaviin tutkimusongelmiin:

- Mikä metsitysmenetelmä tuotti eniten puuta?
- Onko avosuon metsittäminen taloudellisesti järkevää huomioiden kustannukset vs. tuotot?
- Kasvatetaanko metsää edelleen vai onko suon ennallistaminen parempi vaihtoehto?

2 AVOSOIDEN METSITYS

2.1 Metsityksen taustat

Soiden metsätaloudellisen käytön arvellaan alkaneen suurten nälkävuosien aikaan (1866 – 1868), kun ojituksen havaittiin parantaneen metsänkasvua soilla joita oltiin kuivatettu maataloutta varten. Kuivatuksen varsinaisena tarkoituksena paremman metsänkasvun sijaan oli kuitenkin saada yhä lisää peltoalaa sekä töitä ihmisille. Järjestelmällinen ojitus, jolla haluttiin edesauttaa puuston kasvua, alkoi valtion ja metsäteollisuuden omistamilla mailla 1908. Yksityisillä mailla soita ojitettiin laajemmin vuodesta 1928, kun ensimmäinen metsänparannuslaki astui voimaan. (Päivänen & Paavilainen 1998, 72.)

Sotien aikana (1939 – 40 ja 1941 – 1945) ojitustoiminta pysähtyi lähes kokonaan ja sen jälkeenkin toiminnan elpyminen näytti epävarmalta. Sodan seurauksena ojien kaivuutyöhön tottunutta miehistöä oli vähän ja uusien opettaminen raskaaseen työhön koettiin vaikeaksi. Tilanne pakotti keksimään uusia ratkaisuja, kuten räjäytysmenetelmän ja myöhemmin koneellisen ojituksen. (Heikurainen 1960, 193.)

Metsien hakkuut lisääntyivät jälleenrakennuksen ja sotakorvausmaksujen seurauksena. Puuston kasvu jäi tehostunutta puun käyttöä pienemmäksi, joten huoli puun riittävydestä oli suuri. Metsänhoitoa ja metsänparannustoimintaa tehostettiin, jotta tuottamattomatkin metsämaat saataisiin kasvamaan hyvin. Sen vuoksi soista ja soistuneista kankaista kiinnostuttiin entistä enemmän. (Isakainen, Silverberg & Moilanen 2007, 6.)

Koneellisen ojitustekniikan kehitys lisäsi ojitettujen soiden pinta-alaa 1960 – ja 1970 – luvuilla (Päivänen 2007, 55). Etenkin traktorivetoinen metsäoja-aura pienensi huomattavasti kustannuksia lapiotyöhön verrattuna ja lisäsi siten ojituksen kannattavuutta (Huikari, Muotiala & Wäre 1963, 187,199). Auraukselle soveltuvissa oloissa ojaa saattoi syntyä jopa 500 metriä tunnissa. Auralla oli kuitenkin heikkoutensa. Huonon liikuteltavuutensa vuoksi ojasotot saatettiin

suunnitella enemmän auras- kuin kuivatusteknisten lähtökohtien mukaan tai joskus ojamaista syntyneet palteet estivät veden pääsyn itse uomaan. Ojitusjälki saattoi myös kärsiä auran vähäisten säätömahdollisuuksien vuoksi. (Päivänen 2007, 164.) Avosoita ojitettiin arvioiden mukaan lopulta yhteensä noin 220 000 hehtaaria ja niiden metsityksen sekä lannoituksen tutkimiseen panostettiin paljon (Päivänen 1990, 136 ; Päivänen 2007, 155).

Nevoja pidettiin rämeitä ja korpia huonommin metsänkasvatukseen kelpaavina kaliumin sekä fosforin vähäisyyden vuoksi. Lannoittamalla ja käyttämällä tarpeeksi kapeaa sarkaleveyttä nevoista (myös rimpisistä) uskottiin tulevan hyvin tuottoisia metsämaita (Huikari ym. 1963, 64). Vielä 1970 – luvun alussa minerotrofisia avosoita pidettiin yhä metsänkasvatuskelpoisina Etelä-Suomessa (Heikurainen 1973, 16).

Muokkausmenetelmän valinnassa on enemmän mahdollisuuksia puuttomia turvemaita metsittäessä kuin uudistettaessa suometsiä, sillä avosoilla ei ole kantoja esteenä. Eniten koneellisista muokkausmenetelmistä metsityksen yhteydessä käytettiin vaotusta ja mätästystä. Kevyenkin maanpinnan käsittelyn huomattiin lisäävän taimettumista. (Kaunisto & Päivänen 1985, 36.)

Kylvö todettiin hyväksi metsitysmenetelmiksi avosoilla, jotka olivat ravinteisuudeltaan joko keskinkertaisia tai karuja. Ravinteikkaiden soiden metsityksessä taas suositeltavampaa oli istuttaa, jotta taimet selviäisivät rehevää pintakasvillisuutta vastaan. Joissain tapauksissa pienillä avosuokuvioilla käytettiin hyväksi reunametsien siemennystä, kun ala uudistettiin männylle. (Päivänen 1990, 34.)

Puuttomien turvemaiden metsittämisessä on kotimaisista puulajeista käytetty pääasiassa mäntyä. Myös muita kotimaisia puulajeja (kuusi, raudus- ja hieskoivu) on kokeiltu. Parhaiten näistä yleensä ovat menestyneet mänty ja hieskoivu. Kuusi kärsii usein avoimilla kasvupaikoilla hallavaurioista eikä sitä sen vuoksi suositeltu. Rauduskoivu puolestaan on enemmän kangasmaiden puulaji ja sen menestyminen turvemaidella on epävarmaa. (Kaunisto & Päivänen 1985, 35.)

Myös ulkomaisista puulajeista kuten kontortamännystä ja mustastakuusesta haettiin vaihtoehtoja kotimaisille puulajeille. Kontortamännyn etuna on sen nopea kasvu verrattuna tavalliseen metsämäntyyn istutuksen jälkeisinä kasvukausina. Mustakuusi taas sietää hyvin hallaa ja joutuu myös harvemmin hirvituhoille alttiiksi. (Päivänen 1990, 130.)

1980-luvulla lannoituspinta-alojen määrä alkoi hiipua 1970-luvun huippuvuosista. Metsänparannusvaroja alettiin kohdentaa muihin työlajeihin eikä metsänomistajilla ollut halukkuutta maksaa lannoitusta omista varoistaan, vaikka kannattavuustutkimuksissa julkaistiin rohkaisevia tuloksia. Sen lisäksi alkoivat painaa myös ympäristöseikat, sillä runsas lannoittaminen lisäsi ravinnehuuhtoutumia ja sen kautta vesistöjen rehevöitymistä. (Aarnio 2005, 198 – 199.)

Ravinnetalousohjelmien vuoksi puuston häiriötön kehitys edellyttää toistuvia lannoituksia erityisesti karuilla soilla. Tätä pidettiin yhtenä pääsyyntä avosoiden metsityksen loppumiseen. (Kaunisto & Päivänen, 1985, 33.)

2.2 Avosoiden ravinnetalous

Turpeen alhaisen tiheyden vuoksi kivennäisravinteiden kokonaismäärät jäävät soilla vähäisiksi. Tämän lisäksi maan lämpöolosuhteet heikkenevät turpeen huonon lämmönvarastointikyvyn vuoksi (Moilanen, Hökkä & Saarinen 2005, 94). Syvemmälle turpeen pinnasta mentäessä ilmatila vähenee oleellisesti, joten luonnontilaisilla soilla puiden juuristo ei ole niin syvällä kuin puilla, jotka kasvavat paremmissa kuivatusolosuhteissa (Päivänen 2007, 53).

Fosforia, kaliumia, booria, sinkkiä ja kuparia on turvemaalla huomattavasti vähemmän kuin kivennäismaalla viljavimpia kohteita lukuunottamatta. Typen määrä vastaavasti vaihtelee erittäin paljon. Sen riittävä vapautuminen kasvualustasta on perusehto metsänkasvatukselle turvemaalla. Runsastyypisillä soilla kali-

um, fosfori sekä boori ovat minimiravinteita. (Aarnio, Kaunisto, Moilanen & Veijalainen 1997, 116.)

Typpi ja fosfori ovat turpeessa lähes kokonaan orgaanisesti sitoutuneina ja vapautuvat mineralisaation eli mikrobien hajoitustyön tuloksena. Vain osa vapautuneista ravinteista jää puiden käyttöön, sillä mikrobisto itse on hajotustuotteiden ensisijainen käyttäjä. Jos suon ojitus on tehokas, on mineralisaatio nopeaa. (Aarnio ym. 1997, 116.)

Paksuturpeisella suolla puusto joutuu elämään ravinteiden varassa, jotka vapautuvat turpeesta ja tulevat turpeeseen valumavesien mukana. Hyvin usein kaliumin huono saatavuus on kasvua rajoittava tekijä, sillä vesiliukoisen ravinteena se sitoutuu maahan löyhästi ja on siten helposti huuhtoutuva ravinne. Huuhtoutumista tapahtuu erityisesti hakkuiden aikana kun osa kasvillisuudesta häviää (Vanhatalo, Väisänen, Joensuu, Sved, Koistinen & Äijälä 2015, 54.) sekä happamien sateiden seurauksena (Kurkela 1994, 34).

Kaliumin kokonaisvaranto turpeessa on pieni verrattuna puustoon sitoutuneeseen määrään sen kasvatusaikana. Kasvillisuudella onkin merkittävä osa kaliumin pitämisessä mukana ravinnekierrossa. Kaliumin pitoisuuden jäädessä männyn neulasissa alle 3,5 milligrammaa per gramma ja kuusen neulasissa alle 5 milligrammaa per gramma, on puutos kyseisestä ravinteesta huomattavan suuri. (Moilanen 2011, 22 - 23. ; Moilanen, Saarinen & Silfverberg 2010, 197.)

Kaliumin puutos näkyy loppukesällä alikasvoskuusten edellisen kesän neulasissa, jotka muuttuvat kellertävän vihreiksi tai kokonaan keltaisiksi. Uusissa neulasissa värimuutosta ei näy. Puutos aiheuttaa kuusille myös kasvupisteiden tuhoutumista joka ilmenee monilatvaisuutena. Pahimmillaan puut voivat myös kuolla muutamassa vuodessa. (Vanhatalo ym. 2015, 54.)

Männyllä vastaavasti kaliumin puutos näkyy vasta kun se on ankaraa. Silloin syyskesällä neulasten kärjet muuttuvat keltaisiksi tai ruskeiksi edellisvuoden kasvaimissa. Syksyllä uusimpien vuosikasvainten neulasien kärjet voivat kellastua. (Vanhatalo ym. 2015, 54.)

Fosforin liian vähäisen saannin vuoksi puiden kasvaimet ovat ohuita ja mutkaisia. Kun fosforia on liian vähän suhteessa typen määrään, neulaset ovat lyhyitä ja tummanvihreitä (Kurkela 1994, 33-34.) Puutos aiheuttaa myös varisemista, jonka vuoksi neulaskertoja on vähän. Joskus puussa on vain viimeisen kasvaimen neulaset (Kurkela 1994, 34 ; Vanhatalo ym. 2015, 54.) Lisäksi puiden kylmänkestävyys alenee ja yhdessä kaliumin puutoksen kanssa esiintyy latvanvaihtoa kärkisilmujen kuolemisen seurauksena. Fosforin puutos näkyy männyissä heikkona pituuskasvuna (Vanhatalo ym. 2015, 54.)

Boori on kaliumin lailla vesiliukoinen ravinne. Se on helposti puuston käytettävissä mutta huuhtoutuu helposti valumavesien mukana. Boorista on pulaa niillä soilla, jotka ovat olleet alun perin vähäpuustoisia tai puuttomia ja vetisiä soita, kuten nevat. (Aarnio ym. 1997, 117.)

Boorin puutos tyrehtyttää pituuskasvun pensastumisen vuoksi niin männyllä, kuusella kuin koivullakin. Kasvupisteitä sekä päätesilmuja kuolee ja ne voivat myös käyristyä ja kasvaa paksuutta. (Vanhatalo ym. 2015, 54.)

3 KAUNISVEDEN KOE

3.1 Perustiedot

Kaunisveden 7,68 hehtaarin suuruinen koalue (Kuvio 1) sijaitsee Kälviän (nykyisin osa Kokkolan kaupunkia) Jokikylällä (Raatevesi 6:6, WGS84 N 63°41'3,3" E24°4'48,6"). Tutkimusmetsän omistaa Metsähallitus, jolle se siirtyi Metsäntutkimuslaitoksen hallinnasta alkuvuodesta 2008 kahdenvälisen puitesopimuksen perusteella. Metsien hoito ja puunkorjuu kuuluvat Metsähallitukselle tutkimustoiminnan ja siihen liittyvien töiden jäädessä edelleen Metsäntutkimuslaitokselle (nykyinen Luonnonvarakeskus).



Kuvio 1. Yleiskuva Kaunisveden koemetsästä lokakuussa 2014.

Koetta perustettaessa Kaunisveden suotyyppi on ollut rimpinen, osittain jo rahkainen ja edelleen rahkoittuva tupasvillaneva TN, jonka turvekerroksen paksuus vaihteli 1,2 metristä aina yli 2,5 metriin saakka. Tupasvillan runsas esiintyminen ilmentää suon vähäravinteisuutta eli ombrotrofiaa (Heikurainen 1986, 6 ; Laine ym. 2012, 13).

Rimpisyys, joka vaikuttaa metsänkasvatuskelpoisuuteen alentavasti, on yleistä avosoilla, sekä silloin tällöin lettoisilla nevoilla ja rämeillä (Heikurainen 1986, 6 -

7). Rimpisyys kertoo painanteiden yleisyydestä, jotka hitaasti liikkuva vesi peittää ainakin osan kasvukaudesta. Painanteet voivat olla joko sammalettomia tai lehti- tai rahkasammalten vallitsemia. (Heikurainen 1986, 6 ; Laine ym. 2012, 14.)

Rahkaisuus ilmentää ruskearahkasammaleen yleisyyttä ja kertoo suon niukka-ravinteisuudesta. Rahkaisuus alentaa myös osaltaan suon metsänkasvatuskel-poisuutta (Heikurainen 1986, 7 ; Laine ym. 2012, 13.)

Ojituksen seurauksena tupasvillaneva muuttuu varputurvekangas II - tyyppiä (Vatkg II). Sen pääpuulaji on mänty, jonka seassa kasvaa kitukasvuisia hieskoivuja, joskus myös kuusia. Pensaskerros on hajanainen ja se koostuu edellämainittujen puulajien taimista. Kenttä- ja pohjakerroksen kasvillisuus on laikuttaista, jossa sammalet sekä neva- ja rämevarvut vuorottelevat. Entisille märkäpinnoille on muodostunut jäkälökköjä. Nevoista kehittyneillä puustoisilla ja lannoitetuilla varputurvekangas II:lla varpuja on vähänlaisesti. Tyypillisimpiä kasveja niille ovat tupasvilla, suomuurain, suokukka, rahka- ja seinäsammalet. Turve on pääasiassa tupasvillarahkaturvetta (ErS-t), joka sisältää rahkasammalien lisäksi paljon tupasvillan juurten sekä tyvituppien jäänteitä. (Laine ym. 2012, 132-133, 140.)

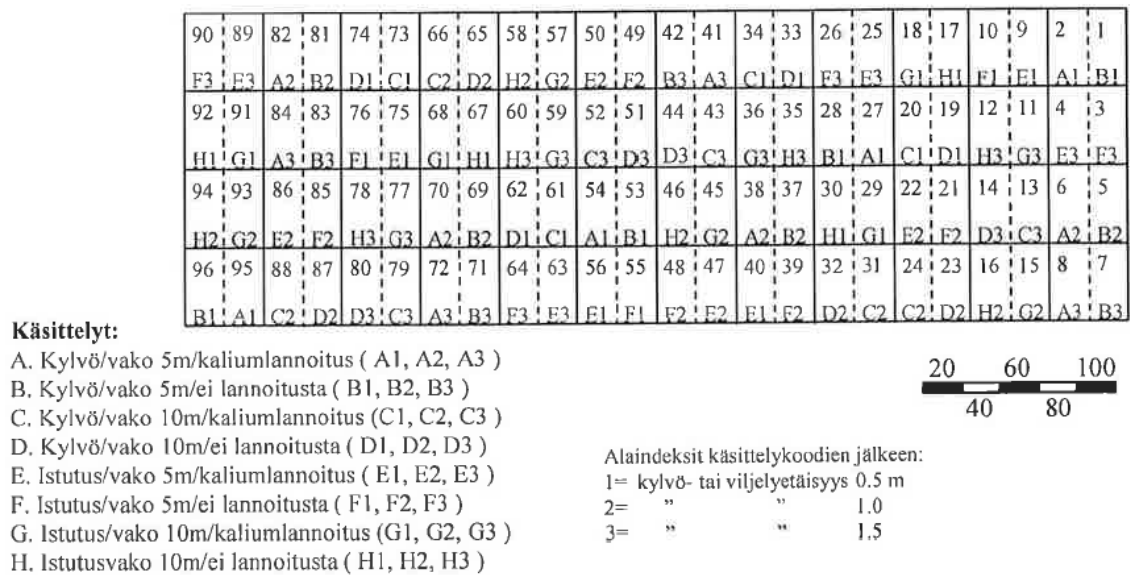
3.2 Kokeen perustamisajatus

Kaunisveden koe kuuluu koesarjaan, jonka on suunnitellut professori Olavi Huikari (Metsäntutkimuslaitoksen ylijohtaja vuosina 1980 – 1984). Kokeen lähtökohtana oli saada kokemuksia keskieuropalaisesta metsänviljelytavasta Suomen olosuhteissa. Olavi Huikarin alustavan metsänviljelykokeesta tehdyn muistion (1966) mukaan, oli siten tarkoitus lähteä liikkeelle suuremmasta puuyksilömäärästä kuin metsänuudistamisessa normaalisti. Metsikön perustamisessa tuli ottaa huomioon ”hankintateknilliset vaatimukset”. Niiden, riviviljelyn, ja lannoituksen yhdistämisen tuloksena, syntyisi korkeatuottoinen metsänuudistamisen menetelmä, jonka hyötyjä olisivat myös halvat hankintakustannukset.

Koealueita perustettiin yhteensä kahdeksan: Karvialle, Kannukseen, Leivonmäelle, Muhokselle, Kolariin, Sodankylään, Sonkajärvelle ja Ruokolahdelle. Edellä mainitut suot olivat valmiiksi joko avosoita tai paljaaksihakattuja korpia ja rämeitä. (Huikari, 1966.)

3.3 Käsittelyt

Kokeen tarkoituksena on tutkia avosuon metsitystä ja sen erilaisia vaihtoehtoja. Tässä kokeessa tutkittavana ovat istutus ja kylvö sekä viljelytiheys (vakoleveys viisi tai kymmenen metriä). Näiden lisäksi tutkittiin myös kaliumjatkolannoituksen merkitystä (Kuvio 2).



Kuvio 2. Koeruudut ja kokeet käsittelyt.

Kaunisveden ojitukset tehtiin talvella 1966 – 1967. Koeruutuja rajoittavat ojat tehtiin Kopo-jyrsimellä, joka kaivaa pystyluisista ja kapeaa, noin 0,8 metrin syvyyistä ojaa. Koeruutujen viiden ja kymmenen metrin pituiset vaotukset jyrsitettiin Syväpaja Oy:n Oja-Viska –merkkisellä jyrsimellä. Ojajyrshintä käytettiin 1960 – luvulla yleisesti paksaturpeisilla soilla, joilla ei ollut turpeen seassa minkäänlaisia esteitä, esimerkiksi liekopuita.

Mänty kylvettiin ojitusta seuranneena kesänä navero-ojien palteisiin kesäkuussa 1967. Kylvösiemen (itävyys 92 prosenttia ja paino 4,2 grammaa per 1000 siementä) oli Onkamon alkuperää Tohmajärven Onkamon taimitarhalta. Samaa alkuperää olevat männyn taimet istutettiin vuotta myöhemmin kesäkuussa 1968. Istutus- ja kylvötiheyksiä oli kolme eli 2667, 4000 ja 8000 tainta per hehtaari.

Metsikön perustamisen yhteydessä tehtiin peruslannoitus Suomaiden Ylannoksella (ravinnesuhteet prosentteina N 14 - P 18 - K 10), joka levitettiin istutus- ja kylvöriveittäin. Lannoitemäärä hehtaaria kohti oli 400 kilogrammaa. Ensimmäiseen jatkolannoitukseen joka tehtiin 1982, käytettiin Oulunsalpietaria (N 27,5 - P 0 - K 0) 365 kilogrammaa hehtaarille sekä Suometsien PK - lannoitetta (N 0 - P 20 - K 20) 469 kilogrammaa hehtaarille. Lannoitus tehtiin hajalevityksenä.

Seuraava jatkolannoitus tehtiin toukokuussa 1992. Sitä varten koeruudut puolitettiin kohtisuoraan sarkaojiin nähden. Tämän jälkeen koeruutujen puolet arvotettiin, jolloin arvottu puoli jäi lannoittamatta ja toiselle puolelle lisättiin Kalihivenlannoite (N 0 - P 0 - K 30). Levitysmäärä oli 167 kilogrammaa hehtaarille.

Koealueen läpi kulkevat poikittaiset ojat kunnostettiin perkaamalla 1993. Metsikön ensiharvennus tehtiin metsurityönä talvella 1999 – 2000. Harvennusta ennen metsikköön tehtiin vuonna 1998 ensimmäisten mittausten yhteydessä mallileimaus, jota noudattamalla puuston jäävä tiheys oli 1400 runkoa hehtaarilla. Puutavaran kuljetus maastosta tehtiin moottorikelkalla, joten ajouria ei tarvinnut avata.

3.4 Koealueen mittaukset

Koealueen ruudut on mitattu kolme kertaa. Ensimmäinen mittaus tehtiin marrasjoulukuussa 1998, toinen marraskuussa 2008 ja viimeinen lokakuussa 2014,

jolloin mitattiin lisäksi kolme vertailukoealaa koeruutujen vierestä 50 metrin päästä ojittamattomalta suolta.

Koeruudukkojen puusto mitattiin ympyräkoealalta, jonka säde oli 5,64 metriä. Tätä ennen määritettiin perusruudun (alkuperäinen ruutu 40 metriä kertaa 40 metriä) keskipiste, jota siirrettiin puolitetun ruudun keskipistettä kohti 2,5 metriä eteläkaakkoon ja siitä vielä 10 metriä vakojen suuntaisesti. Pisteiden määrittämisen jälkeen se merkittiin pysyvästi maastoon valkoisella muoviputkella. Vaotuksen symmetrisyyden ansiosta kaikkien mittauspisteiden määrittämisessä voitiin käyttää samaa menetelmää.

Koealojen mittaukset on tehty Metsäntutkimuslaitoksen suometsien pysyvien kasvukoealojen maastotyöohjeiden mukaisesti. Mittausta varten määritettyyn konepisteeseen asennettiin kolmijalkaan kiinnitetty käsisuuntokehä. Bussolin avulla määritettiin ilmansuunnat, jolloin suuntokehän nolla-aste osoitti suoraan pohjoiseen.

Ensimmäisessä mittauksessa koeruuduilta mitattiin kaikki yli 1,3 metrin pituiset puut, joista määritettiin puulaji ja puustoryhmä eli harvennuksessa jäävä, harvennettava ja kuollut puu. Myös puun kasvupaikka otettiin huomioon, eli kasvoiko se vaotuksen välissä vai palteessa. Rinnankorkeuslähimitta ($d_{1,3}$) mitattiin työntömitalla niin, että mitan varsi osoitti kohtisuoraan konepisteeseen. Tämän lisäksi määritettiin astelevyllä puun suunta, sekä sen etäisyys senttimetrin tarkkuudella konepisteestä mittanauhan avulla. Harvennuksessa jäävät puut merkittiin.

Lukupuiden lisäksi mitattiin jokaiselta ruudulta koepuita siten, että mukaan tuli kymmenen ensimmäistä ja kaksi paksuinta lukupuuta. Edellä mainittujen tunnusten lisäksi koepuista mitattiin pituus, lähimitta $d_{6,0}$, elävän latvuksen alaraja sekä viiden ja kymmenen vuoden pituuskasvut. Seuraavilla mittauskerroilla toimitettiin myös edellä kuvatulla tavalla. Sen lisäksi mittausten välillä kuolleet puut merkittiin omaksi puustoryhmäkseen ja säilytettiin mukana tiedostoissa.

Mitatut lukupuut merkittiin myös tussikynällä sille puolelle puuta kohtaan josta se oli mitattu. Jotta merkintä pysyisi näkyvässä, raaputettiin puun hilseilevää kaarnakerrosta pois ennen piirtämistä. Merkinnän tarkoituksena oli, että myös seuraava mittaus tehtäisiin samasta kohdasta.

Vertailukoealoja vuonna 2014 perustettiin kolme kappaletta noin 50 metrin etäisyydelle kokeen reunaojasta ojittamattomalle suolle. Ympyräkoealan säde oli 5,64 metriä ja siltä luettiin kaikki yli 1,3 metrin pituiset puut. Lukupuista merkittiin ylös puulaji sekä pituus ja rinnankorkeusläpimitta ($d_{1,3}$).

3.5 Neulasnäytteet

Koeruuduilta ja ojittamattomalta suolta kerättiin neulasnäytteet 12. maaliskuuta 2014 puiden ollessa vielä lepotilassa. Koeruudut joilta kerättiin yhteensä 17 näytettä valittiin siten, että puolet niistä oli jatkolannoitettu kaliumilla ja toinen puoli oli ilman jatkolannoitusta. Näiden lisäksi otettiin koealueen ulkopuoliselta luonnontilaiselta suolta kokoomanäyte. Näytteitä kerättiin vain aloilta joiden tiheys oli 2667 runkoa hehtaarilla, koska harvennuksen jälkeen koealueen puuston tiheydessä ei ollut enää suuria eroja. Tämän perusteella viljelytiheys ei todennäköisesti vaikuta enää saatuihin tuloksiin.

Neulasnäyte otettiin jokaisen koeruudun viidestä parhaiten vallitsevaa latvukerrosta kuvaavasta puusta, jotka valittiin tasaisesti ruudun alueelta. Ojamailla kasvavia puita ei hyväksytty. Näyteoksat olivat yhdestä kahteen oksaa latvukosen etelänpuoleisesta ylimmästä kolmanneksesta. Näytteeksi leikattiin oksaleikkurilla oksan viimeinen vuosikasvain, joka leikattiin suoraan omaan koerudulle varattuun pussiin. Näin vältettiin käsin koskemista näytteeseen.

Neulasnäytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimuslaitoksen laboratoriossa ja Keskuslaboratoriossa Vantaalla. Neulasista analysoitiin niiden typen, alumiinin, boorin, kalsiumin, kadmiumin, kromin, kuparin, raudan, kaliumin, magnesiumin, magnaenin, natriumin, nikkelin, fosforin, lyijyn, rikin, ja

sinkin pitoisuudet (mg/kg). Lisäksi neulasista laskettiin niiden kosteuden, orgaanisen aineen ja tuhkan määrä painoprosenteina koko näytteen painosta.

3.6 Laskenta

Puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelmalla (KPL), jonka jälkeen aineistot siirrettiin Exceeliin. Tällä ohjelmalla piirrettiin tuloksia esittävät kuvat. Varsinainen tilastollinen laskenta tehtiin SPSS - ohjelmistolla. Muuttujien jakaumien normaalius tutkittiin. Monimuuttujaisessa (General Linear Model) varianssimallissa olivat mukana toisto, viljelytapa, istutustiheys, kaliumjatkolannoitus ja vaotus sekä muuttujien yhdysvaikutus. Koska yhdysvaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, tuloksissa käydään läpi vain edellä mainitut päävaikutukset.

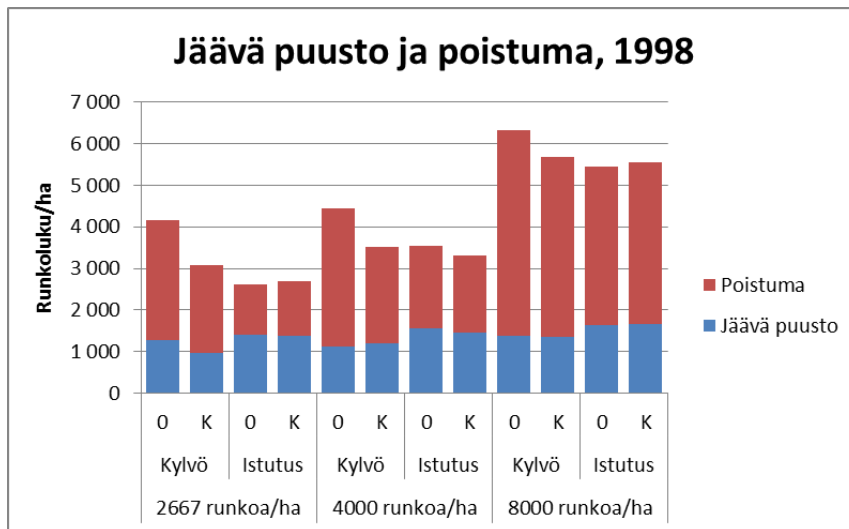
Vaotuksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta tutkittuihin tunnuksiin, paitsi neulasravinteiden kohdalla. Muissa aineistossa vaotus yhdistettiin ja tulokset esitetään ilman tätä käsittelyä.

Kustannusten ja tuottojen osuutta laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen kehittämällä MOTTI - ohjelmalla, jolla metsää kasvatettiin kiertoajan loppuun sekä verrattiin varputurvekankaan jatkoinvestointikelpoisuutta ravinteikkaampiin puolukka- ja mustikkaturvekankaisiin.

4 TULOKSET

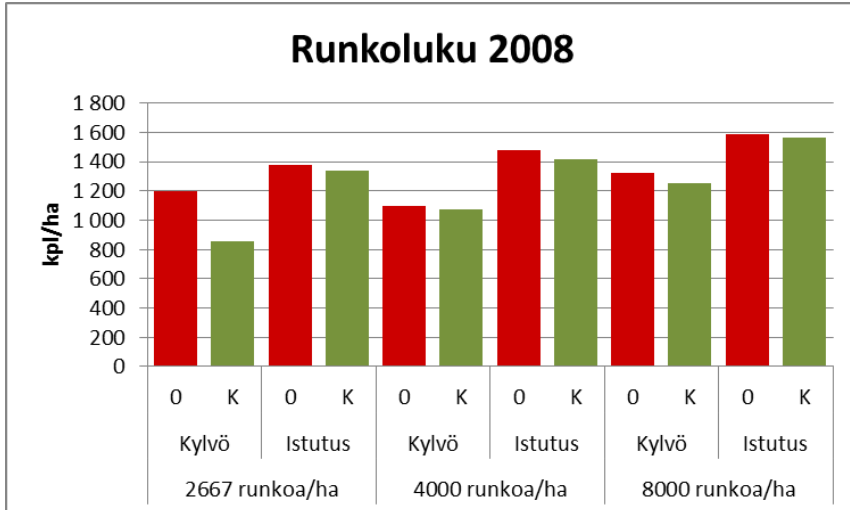
4.1 Runkoluku ja poistuma

Viljelytavalla (istutus/kylvö) ja viljelytiheydellä oli merkitsevä vaikutus runkolukuun ja poistumaan (Taulukko 1 ja Kuvio 3), kaliumilla ja vaotuksella taas tätä ei ollut. Kylvetyillä aloilla runkoluku oli suurempi kuin istutetuilla aloilla.



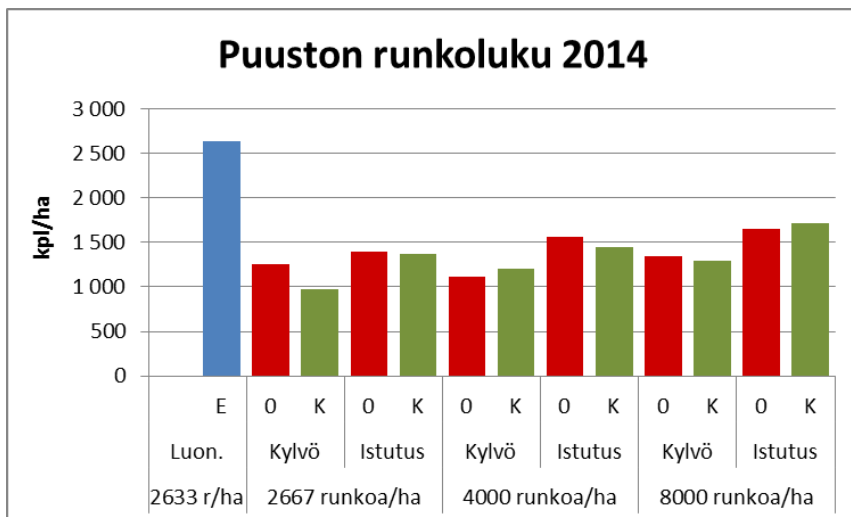
Kuvio 3. Poistuneen ja jäävän puuston runkoluvut vuonna 1998

Poistuma oli suurin tiheimmin istutetuilla ja kylvetyillä koeruuduilla. Ensiharvennuksen jälkeen runkoluku oli keskimäärin 1400 hehtaaria kohti (Kuvio 3), luonnontilaisella suolla 2663 runkoa hehtaarilla (Kuvio 5). Harvennuksen jälkeen runkoluku on pysynyt suunnilleen samana (Kuviot 4 - 5), sillä muita hakkuita ei ole tehty ja puiden kuolevuus mittausten välillä on ollut hyvin pientä.



Kuvio 4. Runkoluku harvennuksen jälkeen vuonna 2008

Harvennuksen jälkeen runkoluvut ovat olleet suuremmat aloilla, joilla kaliumlannoitusta ei ole (Kuvio 4). Toisaalta kaliumilla ei todettu olevan vaikutusta poistumaan. Kylvettyjen alojen runkoluku on istutettuja pienempi, kun se 1998 oli päinvastainen (Kuvio 3).



Kuvio 5. Runkoluvun vertailu vuonna 2014 luonnontilaiseen suohon

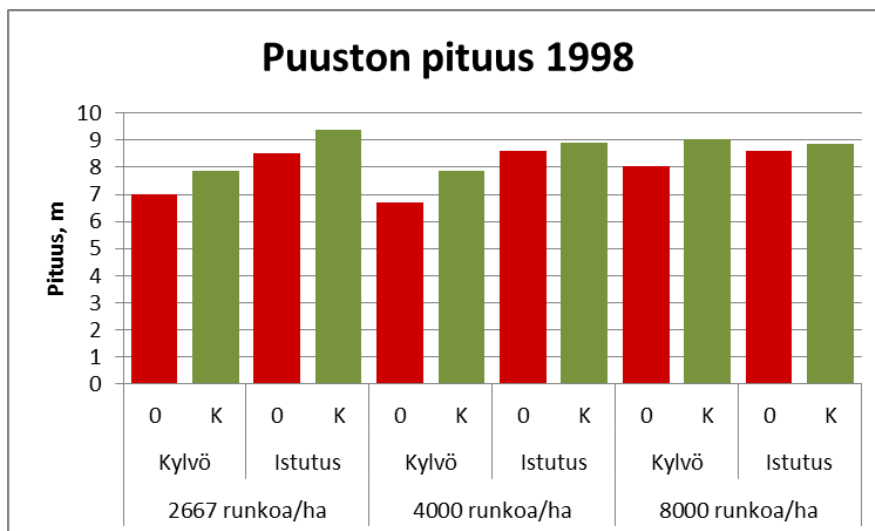
Luonnontilaisen suon vertailukoealojen keskimääräinen runkoluku (Kuvio 5) on suurempi verrattuna viljeltyihin koeruuuihin, sillä niiden puustoa ei ole harvennettu missään vaiheessa.

Taulukko 1. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus runkolukuun ja poistumaan (F-arvo ja p-arvo). Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.

Muuttuja	Runkoluku		Poistuma		Runkoluku		Runkoluku	
	1998		1998		2008		2014	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Viljelytapa	45,539	0,000	15,325	0,000	52,454	0,000	60,748	0,000
Viljelytiheys	11,228	0,000	32,325	0,000	9,913	0,000	11,981	0,000
Kalium	1,711	0,195	2,370	0,128	4,278	0,042	1,584	0,212
Vaotus	0,005	0,947	1,609	0,209	0,189	0,665	0,075	0,785

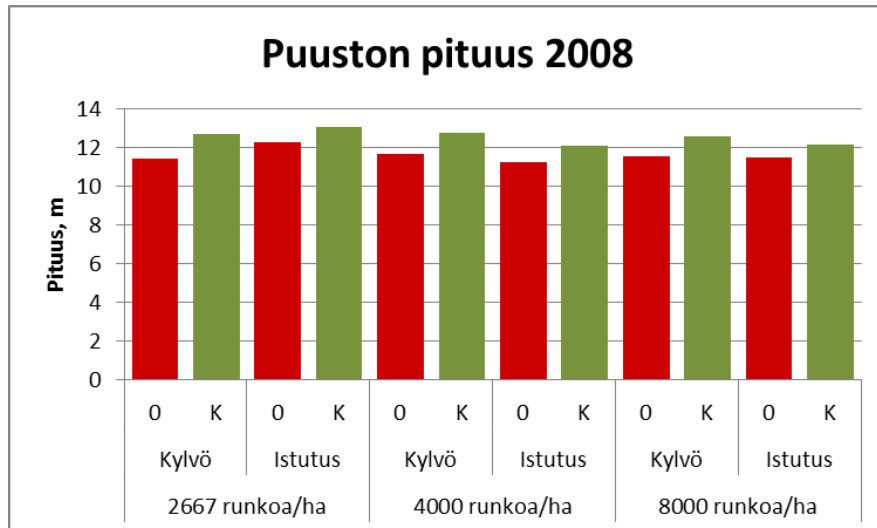
4.2 Puuston keskipituus

Viljelytapa (kylvö/istutus) vaikutti taimien pituuteen erittäin merkitsevästi vuoteen 1998 saakka (Taulukko 2). Istutetuilla aloilla puut olivat vuonna 1998 keskimäärin 132 senttimetriä pidempiä kuin kylvetyillä aloilla. Vuonna 1998 tehdysä ensiharvennuksessa poistuneet puut olivat pidempiä istutetuilla kuin kylvetyillä koelohjoilla (Kuvio 6). Myöhemmissä mittauksissa, eli vuosina 2008 ja 2014 viljelytavalla ei ollut enää vaikutusta puiden keskipituuteen (Taulukko 2).



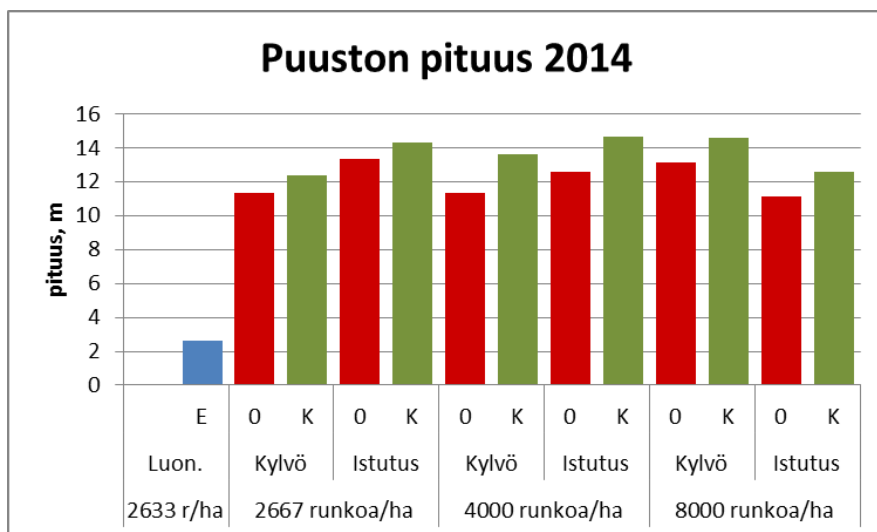
Kuvio 6. Puuston keskipituus ennen ensiharvennusta vuonna 1998

Kaliumlannoituksesta on kulunut vasta kolme vuotta, mutta sen vaikutus on jo alkanut näkyä selkeästi puiden kasvussa 1998. Parhaimmillaan ero lannoitettujen ja lannoittamattomien puiden välillä on noin metri (Kuvio 6).



Kuvio 7. Harvennetun puuston keskipituus vuonna 2008

Kaliumjatkolannoitus vaikutti merkittävästi puiden keskipituuteen. Ero oli tilastollisesti erittäin merkittävä kaikissa mittauksissa (Taulukko 2 ; Kuviot 6 - 8). Kaliumlannoitetut puut olivat ensimmäisen mittauksen perusteella 75 senttimetriä pidempiä kuin lannoittamattomat. Toisella mittauksella ne olivat 93 senttimetriä ja kolmannella 155 senttimetriä pidempiä.



Kuvio 8. Puuston keskipituus 2014, mukana vertailussa luonnontilainen suo

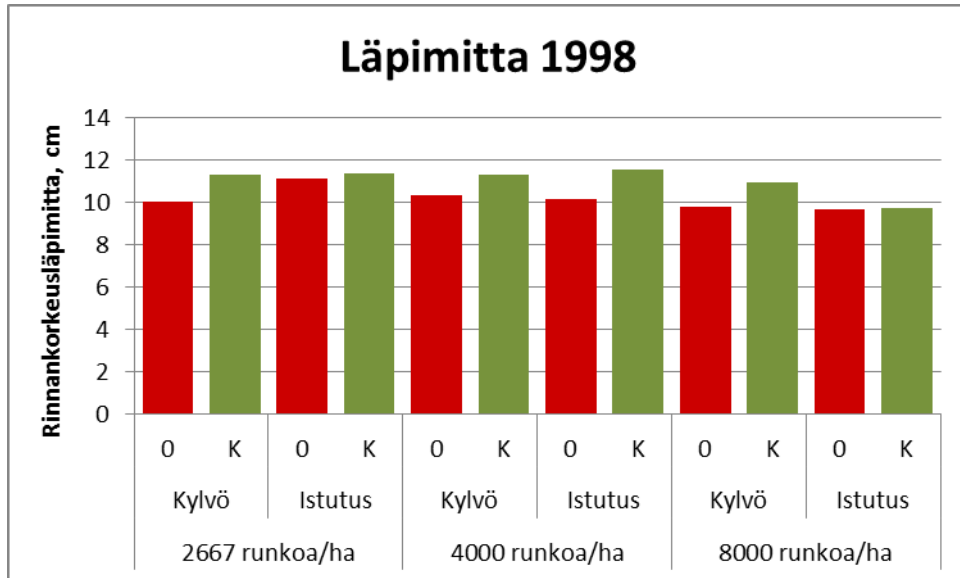
Luonnontilaisten vertailualojen puiden pituus vuonna 2014 oli keskimäärin 2,6 metriä (Kuvio 8). Kaliumlannoitettujen taimien keskipituus samana vuonna oli 13,7 metriä, jolloin kasvua luonnontilaisen suon puihin verrattuna oltiin saatu lisää 11,1 metriä.

Taulukko 2. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus keskipituuteen. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.

Muuttuja	Keskipituus		Keskipoistuma		Keskipituus		Keskipituus	
	1998		1998		2008		2014	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Viljelytapa	57,178	0,000	6,028	0,016	0,043	0,836	2,732	0,103
Viljelytiheys	6,902	0,002	1,720	0,186	1,195	0,308	0,393	0,677
Kali	29,650	0,000	2,099	0,152	12,047	0,001	55,994	0,000
Vaotus	0,147	0,703	2,379	0,127	0,003	0,958	0,339	0,562

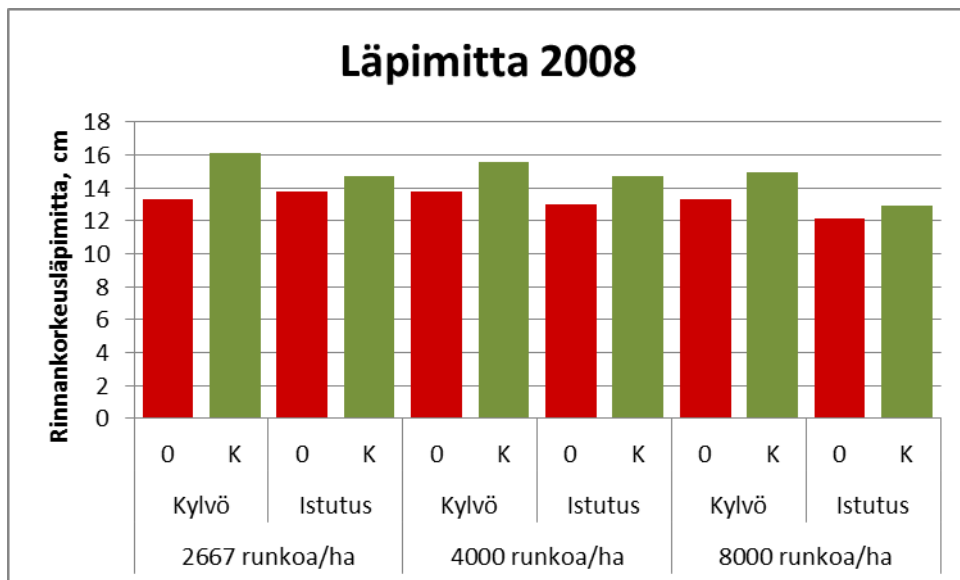
4.3 Puuston keskiläpimitta

Vuoden 1998 mittaustulosten perusteella viljelytiheyden vaikutus keskiläpimitaan ei ollut suuri, mutta vuosien 2008 ja 2014 tulosten perusteella se on ollut merkitsevä (Taulukko 3). Tiheään viljeltyjen puiden (8000 runkoa hehtaarilla) keskiläpimitta jäi harvemmillä tiheyksillä kasvaneita selkeästi pienemmäksi. Vuonna 2014 tiheään viljeltyjen puiden läpimitta oli 0,96 senttimetriä pienempi verrattuna harvemmassa kasvaneisiin puihin.



Kuvio 9. Puuston keskiläpimitta vuonna 1998

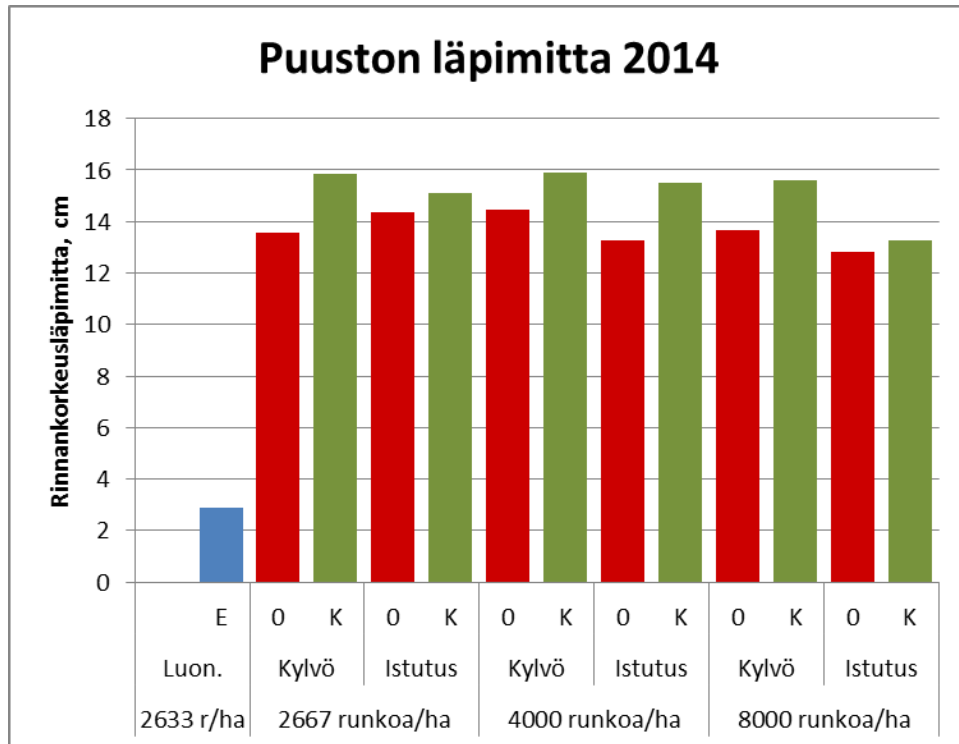
Vuonna 1998 istutetut taimet (Kuvio 9) ovat olleet kylvettyjä hieman paksumpia tiheyksillä 2667 ja 4000 runkoa hehtaarilla, mutta sen jälkeen tilanne on muuttunut päinvastaiseksi (Kuviot 10 - 11). Vuonna 2014 kylvetyt taimet olivat keskimäärin 0,70 senttimetriä istutettuja taimia paksumpia.



Kuvio 10. Rinnankorkeusläpimitta vuonna 2008

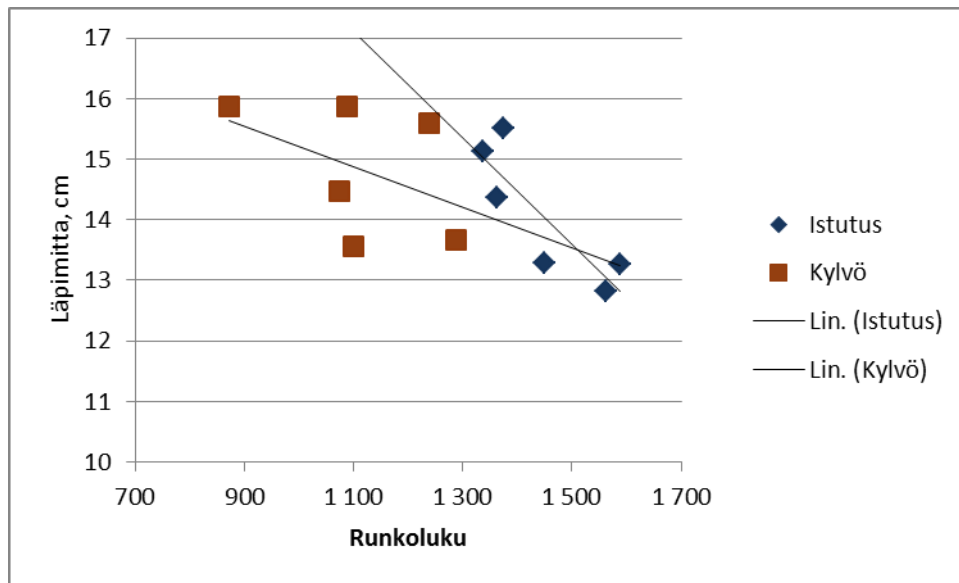
Kaliumjatkolannoitus vaikutti erittäin merkittävästi puiden keskiläpimittaan. Kaliumlannoitettujen puiden paksuuskasvu oli parempaa verrattuna lannoittamattomiin. Vuonna 1998 ero lannoitettujen hyväksi oli 0,86 senttimetriä, ja seuraavina mittausvuosina 1,60 ja 1,51 senttimetriä. Luonnontilaisen suon puuston

keskiläpimitta vuonna 2014 oli 2,8 senttimetriä ja viljellyn puuston 14,4 senttimetriä, joten lisäkasvua läpimittaan oli saatu lähes 12 senttimetriä.



Kuvio 11. Vertailussa mukana luonnontilainen suo vuonna 2014

Viimeisen mittauksen mukaan kylvettyjen puiden runkoluku oli harvempi kuin istutettujen. Tämän vuoksi kylvettyjen alojen puuston keskiläpimitta on suurempi kuin istutetuilla aloilla, sillä keskiläpimitta riippuu voimakkaasti puuston runkoluvusta (Kuvio 12). Mitä harvemmassa ne kasvavat, sitä suurempi on läpimitta. Kun puita istutettiin tiheään (8000 runkoa hehtaarille), niin näille jäi ensiharvenuksessa enemmän puita kuin harvempaan istutetuille ja kylvetyille.



Kuvio 12. Runkoluvun vaikutus puuston keskiläpimittaan

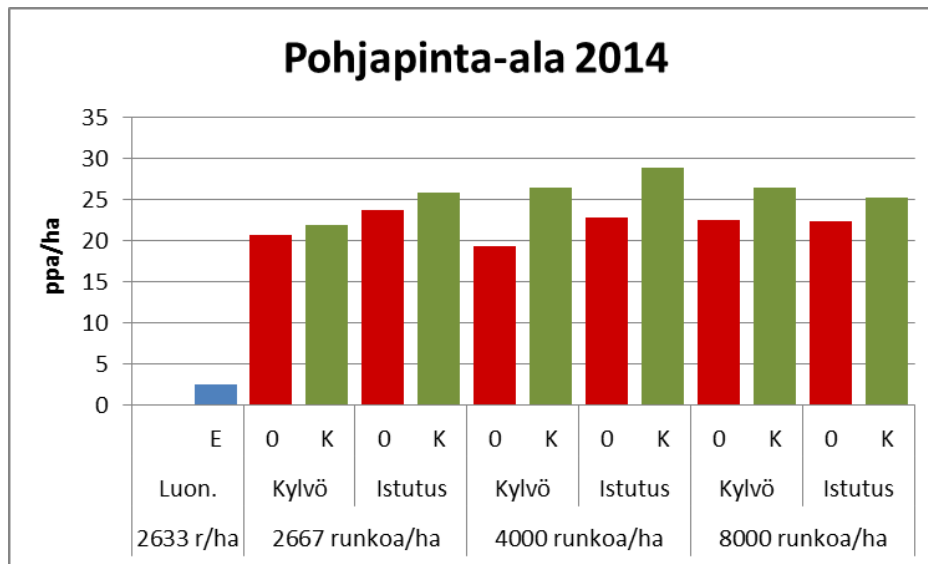
Alkuperäisen istutustiheyden vaikutus läpimittaan yhä nähtävissä eli myös niin, että istutetuilla ruuduilla on puita enemmän kuin kylvetyillä. Siten ne myös jäivät tiheämmiksi ja puuston keskiläpimitta pienemmäksi (Kuvio 12.)

Taulukko 3. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus keskiläpimittaan. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.

Muuttuja	Keskiläpimitta 1998		Keskilpm poistuma 1998		Keskiläpimitta 2008		Keskiläpimitta 2014	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Viljelytapa	0,045	0,833	42,953	0,000	8,635	0,004	5,396	0,023
Viljelytiheys	3,125	0,050	0,032	0,969	4,555	0,014	3,321	0,041
Kali	6,278	0,014	0,009	0,925	22,897	0,000	18,547	0,000
Vaotus	0,323	0,572	8,310	0,005	0,309	0,580	0,098	0,098

4.4 Puuston pohjapinta-ala

Metsikön valtapituus on nykyisin keskimäärin 13 metriä, joten Kuvion 13 esittämien pohjanpinta-alojen perusteella puusto alkaa lähestyä Väli-Suomen kuiviin kankaisiin verrattavien turvemaiden männikköjen harvennusrajaa tai on jo sillä osittain riippuen koelasta. Korkeimmat pohjapinta-alat ovat kaliumjatkolannoitetuilla kylvöaloilla. Paras tulos on saavutettu aloilla, joiden tiheys on ollut 4000 runkoa hehtaarilla. Luonnontilaisen suon pohjanpinta-ala oli 2,6 vuonna 2014, kun taas kaliumlannoitetuilla aloilla se oli 25,8.



Kuvio 13. Nykypuuston pohjanpinta-ala vuonna 2014.

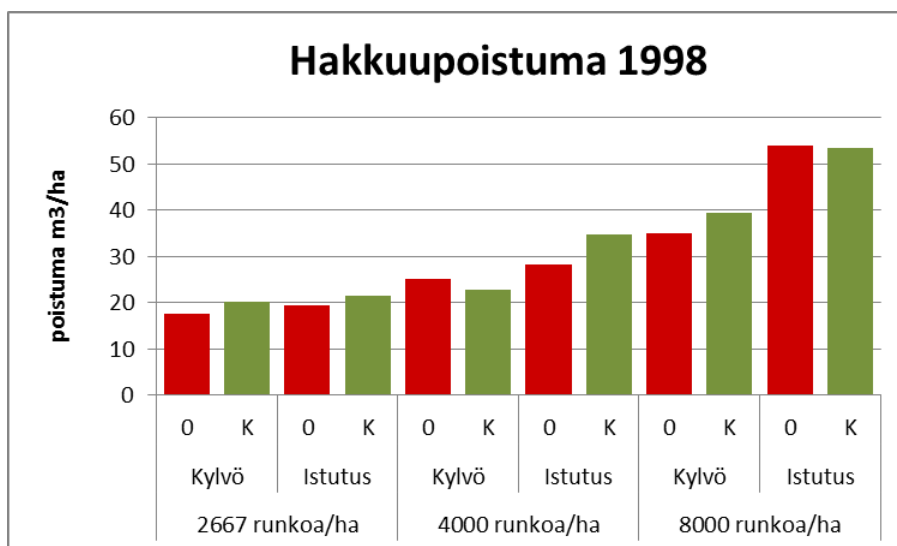
Kaliumilla oli tilastollisesti erittäin merkittävä vaikutus puuston pohjanpinta-alaan jokaisen mittauskerran perusteella. Viljelytiheys vaikutti vain poistuman pohjanpinta-alan suuruuteen, viljelytavan vaikutus näkyi myös vain vuonna 1998. (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus pohjapinta-alaan. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.

Muuttuja	PPA 1998		PPA poistuma 1998		PPA 2008		PPA 2014	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Viljelytapa	5,366	0,023	3,140	0,080	3,626	0,061	2,827	0,097
Viljelytiheys	0,204	0,816	31,623	0,000	0,053	0,948	0,475	0,624
Kali	4,014	0,049	0,232	0,631	8,649	0,004	13,096	0,001
Vaotus	0,494	0,484	2,292	0,134	0,095	0,759	0,109	0,742

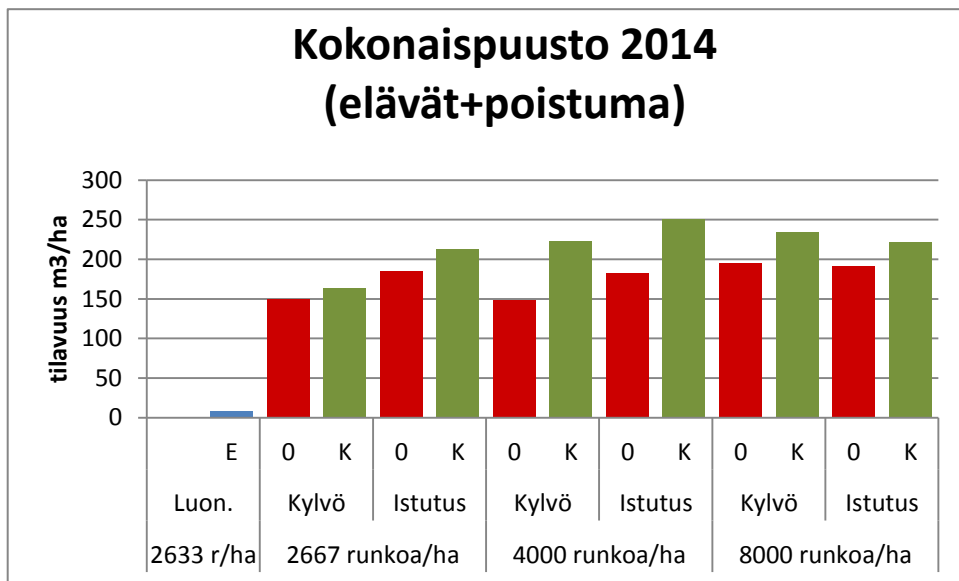
4.5 Puuston tilavuus ja poistuma

Viljelytapa (istutus/kylvö) vaikutti puuston tilavuuteen tilastollisesti merkitsevästi vuonna 1998 (Taulukko 5). Istutetuilla koealoilla tilavuus oli 51 m³/ha suurempi kuin kylvetyillä aloilla. Harvennuspoistumaan oli myös viljelytavalla merkitsevä vaikutus. Istutetuilta koealoilta poistuma oli 3,9 m³/ha suurempi kuin kylvetyiltä. Harvennuksen jälkeen viljelytavalla ei enää ollut vaikutusta puuston tilavuuteen vuosina 2008 ja 2014. Siten myöhemmän kehityksen kannalta istutus ja kylvö antoivat saman tuloksen. Kuitenkin kokonaistuotokseen viljelytavalla oli lievä vaikutus, koska harvennuspoistuma oli suurempi istutetuilta kuin kylvetyiltä aloilta. Keskimäärin puuta saatiin ensiharvennuksessa 31 m³/ha.



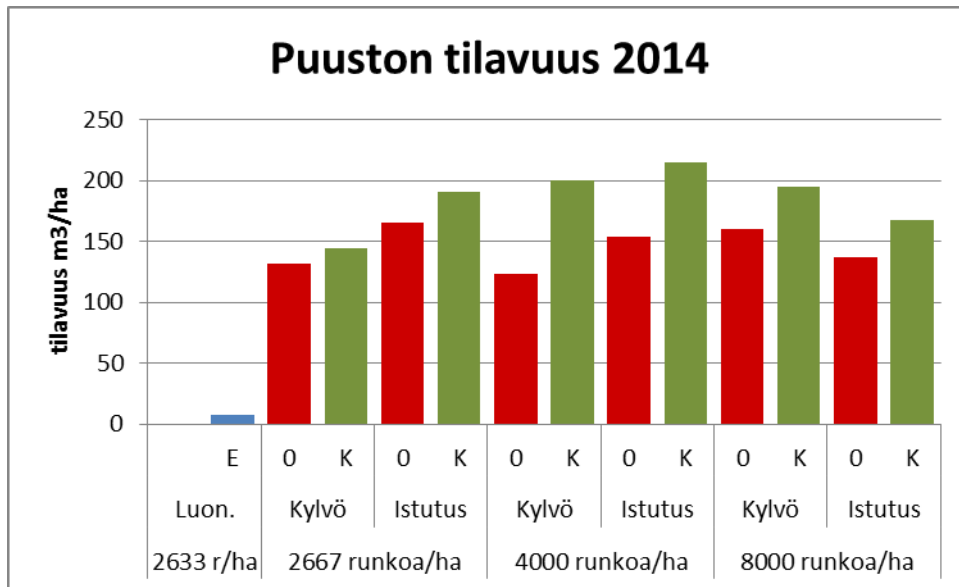
Kuvio 14. Ensiharvennuksen hakkuupoistuma

Viljelytiheydellä oli merkittävä vaikutus poistuman suuruuteen vuonna 1998 (Taulukko 5). Harvennuksen jälkeen se ei kuitenkaan enää vaikuttanut puuston tilavuuteen, joten vuonna 2014 koealoilla oli sama tilavuus, viljeltiinpä 2600 tai 8000 tainta hehtaarille. Kokonaistuotokseen vaikutus oli tilastollisesti melkein merkitsevä, koska hakkuupoistuma harvennuksessa vuonna 1998 oli suurempi tiheimmillä koealoilla (Taulukko 5; Kuvio 14).



Kuvio 15. Tiheyden, viljelytavan ja kaliumlannoituksen vaikutus kokonaistuotokseen

Kaliumjatkolannoitus vaikutti tilastollisesti erittäin merkitsevästi tilavuuteen (Taulukko 5). Kaliumlannoituksella saatiin vuonna 1998 lisää puuta 13,2 m³/ha. Vuonna 2008 sen vaikutus oli 20,6 m³/ha ja vuonna 2014 jo 40 m³/ha. Kokonaistuotoksessa (päätepuusto ja hakkuupoistuma) kaliumlannoituksen tuotosta lisäävä vaikutus oli 42,3 m³/ha.



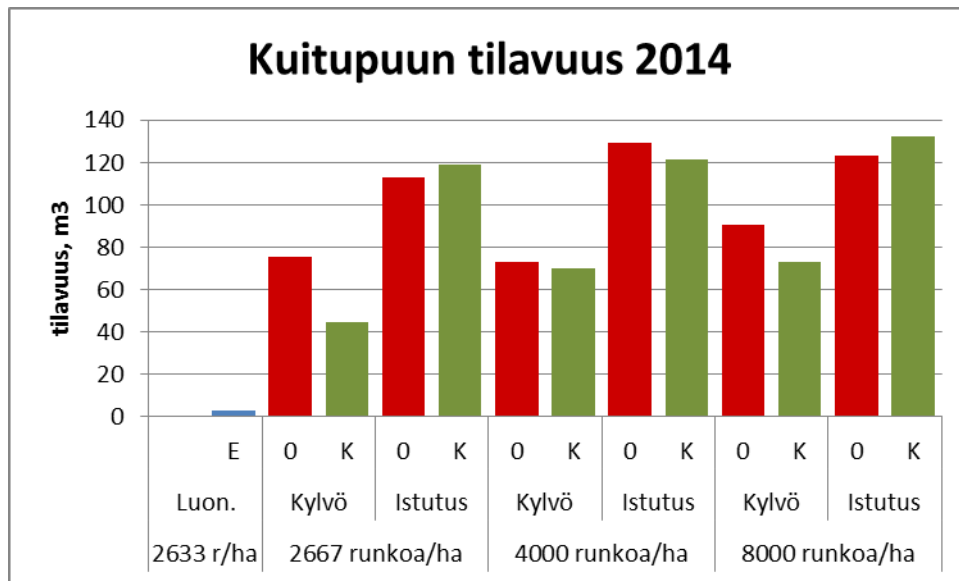
Kuvio 16. Puuston nykytilavuus

Luonnontilaisen suon puuston tilavuus vuonna 2014 oli 7,8 m³/ha. Samana vuonna viljellyn ja kaliumlannoitetun metsikön tilavuus oli 165m³/ha ja kokonaistuotos 196 m³/ha. (Kuvio 15 - 16.)

Taulukko 5. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus puuston tilavuuteen. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.

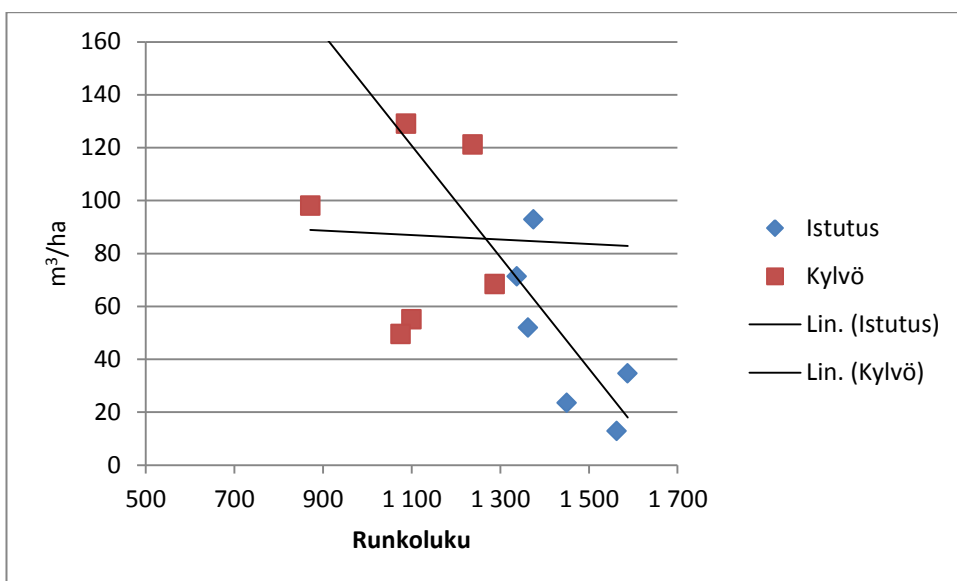
Muuttuja	Tilavuus 1998		Poistuma 1998		Tilavuus 2008		Tilavuus 2014		Kokonaistuotos	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Viljelytapa	6,517	0,013	10,364	0,002	1,423	0,237	2,039	0,157	4,107	0,046
Viljelytiheys	0,129	0,880	35,557	0,000	0,128	0,880	0,909	0,407	3,300	0,042
Kali	10,930	0,001	0,729	0,396	10,070	0,002	22,955	0,000	18,538	0,000
Vaotus	0,076	0,783	3,540	0,064	0,206	0,651	0,185	0,668	0,704	0,404

Kuvioiden 17 ja 19 perusteella tukkipuun tilavuus kylvetyillä ja kaliumlannoiteilla aloilla on huomattavasti suurempi kuin istutetuilla aloilla. Myös kaliumlannoituksen merkitys tukkipuun paremmalle kasvulle on suuri. Luonnontilaisella suolla ei tukkipuuta ole, kuitupuun osuus sen sijaan on 2,9 m³/ha. Jatkolannoitamattomien koealojen tukkipuun tilavuus oli 43,5 m³/ha ja kuitupuun 100,9 m³/ha. Jatkolannoitettujen alojen tukkipuun tilavuus oli 91,1 m³/ha ja kuitupuun 93,5 m³/ha.



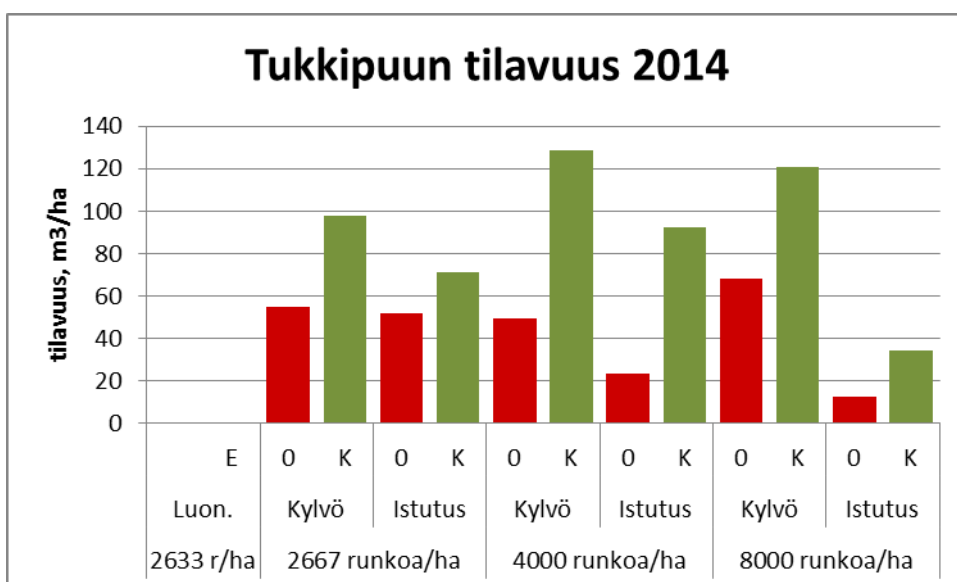
Kuvio 17. Kuitupuun tilavuus

Tukkipuun tilavuudessa huomioitiin vain läpimitta, ei laatua. Koska kylvetyillä ruuduilla puusto oli harvemmassa ja siten läpimitta suurempi kuin istutetuilla, kertyy kylvetystä enemmän tukkipuuta. Toisaalta istutettuja runkoja on enemmän, niin kokonaiskuutiomäärä on suurempi istutetuilla aloilla kuin kylvetyillä.



Kuvio 18. Istutuksen, kylvön ja tiheyden vaikutus tukkipuun määrään

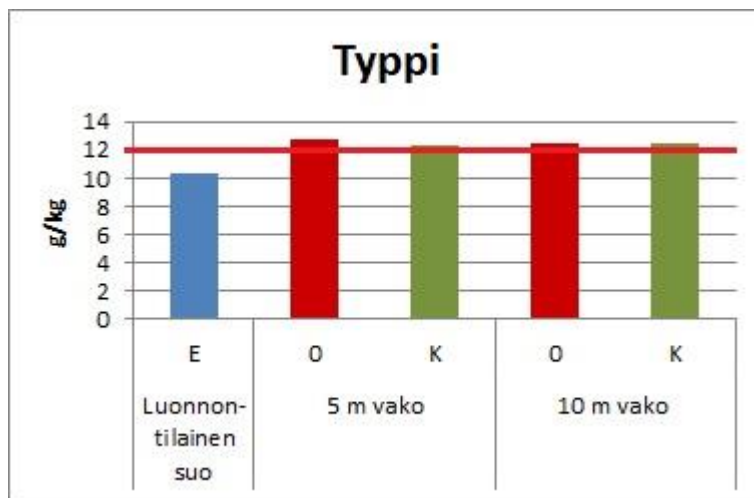
Kun puuston tiheys on suuri tukkipuun määrä laskee huomattavasti. Istutetuista puista pieni osa on ylittänyt läpimitan, jonka myötä kuitupuusta tulee tukki. Muutaman vuoden päästä tilanne tasaantuu, jos kasvu jatkuu hyvänä. Näin myös tukin määrä tulee olemaan silloin kylvettyjä aloja suurempi, koska runkoja on yleensä istutetuilla aloilla hiukan enemmän (Kuvio 18.).



Kuvio 19. Tukkipuun tilavuus

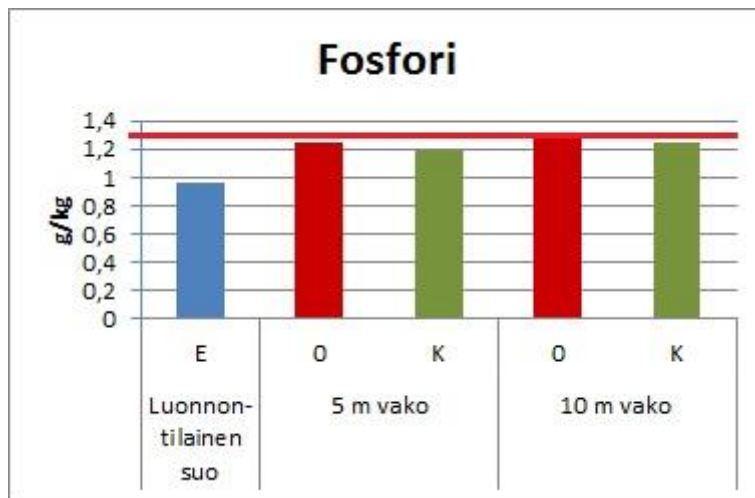
4.6 Neulasten ravinnepitoisuudet

Merkittävää ravinnepuutosta ilmenee männyllä, kun typen pitoisuus neulasten kuiva-aineesta on alle 12, fosforin alle 1,3, kaliumilla alle 5,0 grammaa per kilogramma ja boorilla alle 7,0 milligrammaa per kilogramma. (Vanhatalo ym. 2015, 93.) Tämän perusteella ainoastaan boorin määrä on selkeästi tyydyttävällä (10 – 14 mg/kg), jopa hyvällä tasolla (14 – 25 mg/kg) niin luonnontilaisella kuin viljellyllä alueella (Kuvio 23).



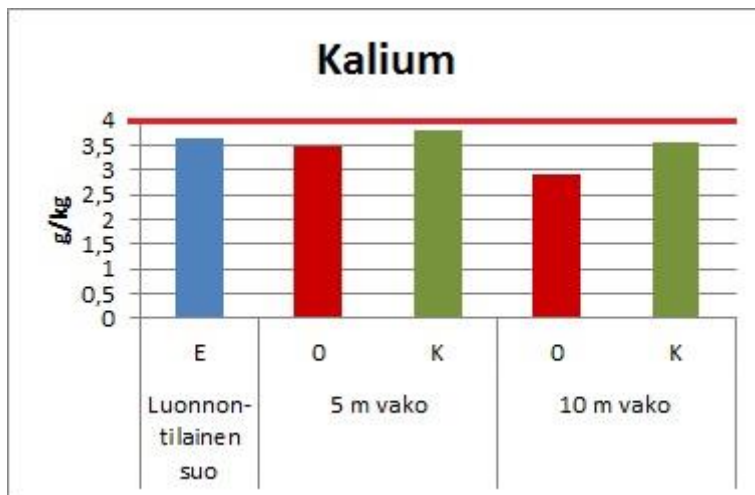
Kuvio 20. Typen neulasravinnepitoisuus

Typellä merkittävän ravinnepuutoksen rajana on 12 grammaa kilogrammaa kohden. Siten myös tpestä alkaa olla niukkuutta, vaikka sen määrä koemetsikössä onkin juuri ja juuri tyydyttävän ravinnetason puolella. (Kuvio 20.)



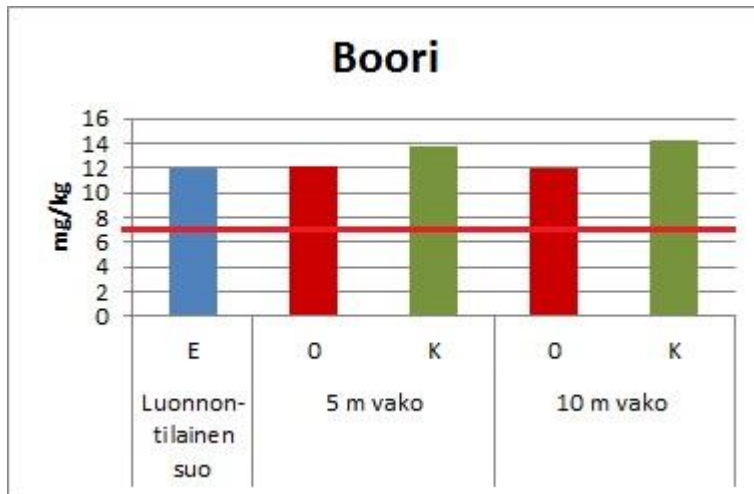
Kuvio 21. Fosforin neulasravinnepitoisuus

Fosfori ja kalium ovat edellä mainittujen rajojen alapuolella. Metsikkö kärsii siis jo ankarasta puutuksesta, joka vaikuttaa oleellisesti puuston kasvuun. Tarve lisälannoitukselle on jo olemassa. (Kuviot 21 – 22.)



Kuvio 22. Kaliumin neulasravinnepitoisuus

Kaliumin määrä luonnon-tilaisella suolla on lähes samalla tasolla viljeltyjen alojen kanssa. Kaliumjatkolannoituksesta on kuitenkin jo kulunut 23 vuotta ja sen vaikutus on loppunut. (Kuvio 22.)



Kuvio 23. Boorin neulasravinnepitoisuus

Kaliumilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta muihin ravinteisiin kuin boorin, sekä yhdysvaikutuksena vaotuksen kanssa raudan neulasravinnepitoisuuksiin. (Taulukko 6.)

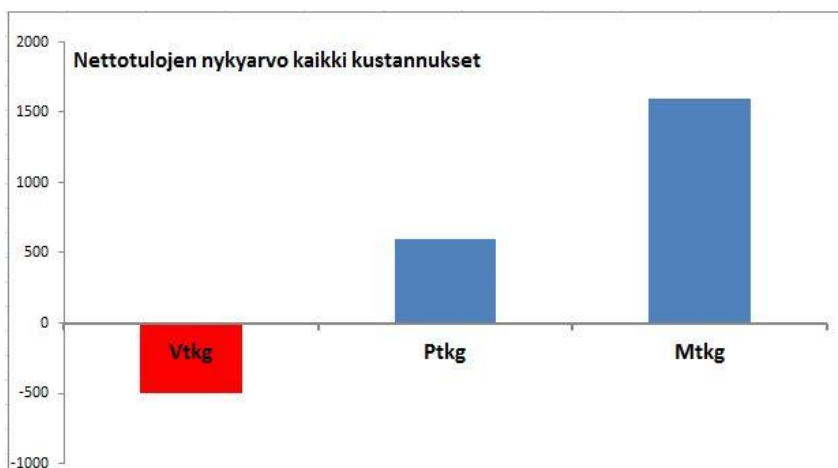
Taulukko 6. Käsittelyjen tilastollinen vaikutus tiheyteen istutettujen männyn taimien (tiheys 2667 tainta/hehtaari) neulasten ravinnepitoisuuksiin (F-arvo ja p-arvo). Varianssimallissa mukana toisto, kalium ja vaotus sekä muuttujien yhdysvaikutus. Tilastollisesti merkitsevät arvot tummennettu.

Muuttuja	Vako		Kali		Yhdysvaikutus	
	F	p	F	p	F	p
N	0,096	0,763	0,250	0,878	0,000	0,988
P	2,190	0,170	0,451	0,517	0,237	0,637
K	13,011	0,005	19,952	0,001	1,549	0,242
Ca	0,649	0,439	0,269	0,615	0,495	0,498
Mg	1,699	0,222	0,000	0,992	1,489	0,250
Fe	2,569	0,140	0,003	0,955	6,484	0,029
Mn	0,027	0,872	2,579	0,139	1,702	0,221
Cu	1,536	0,243	0,104	0,754	0,009	0,925
Zn	0,001	0,980	0,037	0,852	0,150	0,706
B	0,097	0,762	7,241	0,023	0,139	0,717

4.7 Kustannukset ja tuotot

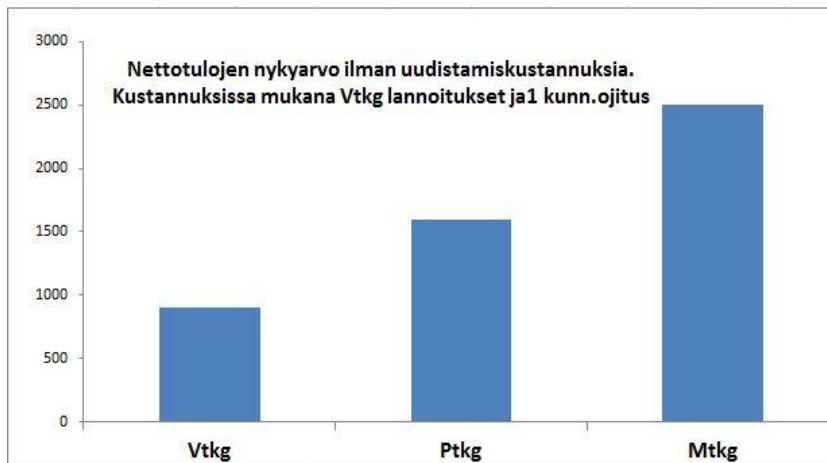
MOTTI - kasvatusohjelmisto on tehty havainnollistamaan metsikön eri kasvatusvaihtoehtojen kannattavuutta. Tutkimustyössä MOTTI toimii apuvälineenä kun halutaan vertailla metsänkasvatuksen kannattavuutta erilaisilla vaihtoehtoilla ja kasvupaikoilla. Jos tulojen ja menojen diskontattu nykyarvo on positiivinen, niin investointi on kannattava. Turvemaille MOTTI - ohjelmisto soveltuu huonosti. Kasvatus vaatii vakiintuneen metsikön, eikä metsikön kasvatusta voi aloittaa turvemaille uudistamisesta kuten kivennäismailla. Tämän vuoksi ennen kasvatusta syntyneet kustannukset jäävät nettotulojen nykyarvon laskennassa huomiotta. Kaunisveden uudistamiskokeella kustannuksia kertyi erityisen paljon muun muassa perusojitus, vaotus, muokkaus, viljely, peruslannoitus sekä kaksi jatkolannoitusta.

Kasvatuksen lähtökohtana oli kokeen istutettujen mäntyjen 2667 runkoa hehtaarilla ja kalilannoitettujen ruutujen puusto vuonna 1998 ennen ensiharvennusta (Kuvio 24). Puuston ikä oli kasvatuksen alussa 30 vuotta, runkoluku 2667, pohjanpinta-ala 19, läpimitta 12 senttimetriä ja pituus 9,5 metriä. Kaikkien ravinteustasojen puuston kasvatuksessa käytettiin samaa lähtöpuustoa. Ennen kasvatusta syntyneissä kustannuksissa käytettiin vuoden 2015 kustannuksia.



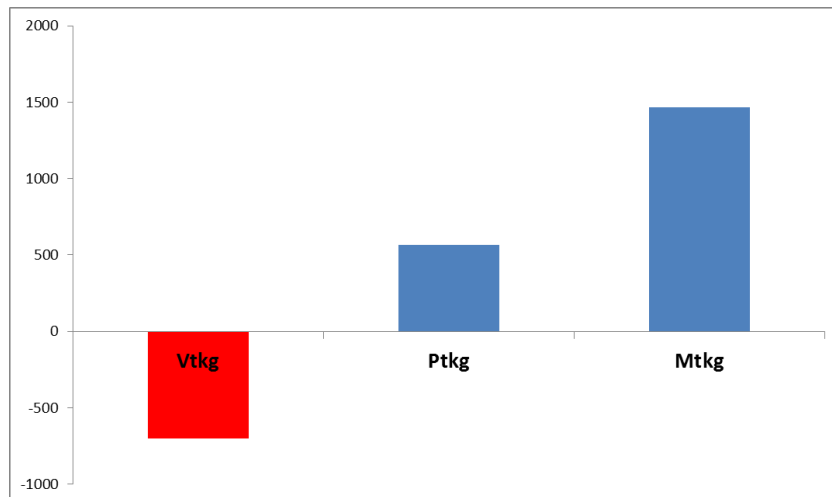
Kuvio 24. 30-vuotiaan männikön nettonykyarvo eri kasvupaikoilla

Ennen kasvatusajankohdan alkua metsikköön oli uudistamisvaiheessa tehty peruslannoitus vuonna 1968 ja jatkolannoitukset vuosina 1982 ja 1992. Ilman voimaperäistä maanmuokkausta ja lannoitusta rahkaiselle tupasvillanevalle ei yleensä saada kehityskelpoista metsikköä. Lannoitettuna metsikön kasvutunnukset on tällä kokeella saatu vastaamaan hyvää puolukkaturvekankaan tasoa. Eri kasvupaikkojen väliset pieniltä tuntuvat erot (noin 10 prosenttia) kokonaistuotoksissa johtuvat samanlaisesta, jo vakiintuneesta lähtöpuustosta. Erot nettotulojen nykyarvoissa ilman uudistamis- ja lannoituskustannuksia johtuvat lähinnä siis kiertoaikojen eroista. Kaikkiin kasvatusohjelmiin sisältyi yksi kunnostusojitus ja kaksi harvennusta ennen päätehakkuuta (Kuvio 25).



Kuvio 25. Nettotulojen nykyarvo ilman uudistamiskustannuksia

Vaikka kokonaistuotokset eivät oleellisesti poikkea toisistaan, niin nettotulojen nykyarvoissa on noin 50 prosentin ero Vtkg:n ja Ptkg:n välillä kun huomioidaan lannoituskustannukset (Kuvio 24). Ilman uudistamiskustannuksia varputurvekankaankin nettotulojen nykyarvo on positiivinen. Tässä tapauksessa uudistamiskuluilta ei kuitenkaan voida välttyä, koska kyseessä on avosuo. (Kuvio 25.)



Kuvio 26. Tulot ja kustannukset kasvatuksen aikana diskontattuna nykyhetkeen (3 %- korkokanta).

Varputurvekankaan puuston kasvatuksen kannattavuus (Kuvio 25) muuttuu tappiolliseksi kun lannoituskulujen lisäksi huomioidaan uudistamiskulut (Kuvio 24 ja 26). Ilman lannoituksia kasvatetut puolukka- ja mustikkaturvekankaiden puuston kasvatus oli taloudellisesti kannattavaa.

5 POHDINTA

Avosoita on metsitetty yli 220 000 hehtaaria. Vaikka avosoiden ojituksia ja metsityksiä ei enää tehdä, on Suomessa edelleen suuri pinta-ala noin 30 – 40 -vuotiaita avosoiden metsityksiä. Näiden puustojen kehityksestä tai kasvatuksen kannattavuudesta tiedetään vielä hyvin vähän. Aihe on ajankohtainen, sillä uuden metsälain tultua voimaan 2014 uudistamisvelvoite poistui vähätuottoisilta kitu- ja joutomaiksi luetuilta ojitetuilta soilta, jotka ovat pääasiassa varpu- ja jäkäläturvekankaita.

Avosoiden metsityksen suuri ongelma on ravinnetilan epätasapainoisuus ja ravinnepuutokset. Lisäksi paksuturpeisella avosuolla, jollainen Kaunisveden kohde on, puusto joutuu elämään pääosin ravinteiden varassa, jotka vapautuvat turpeesta. Tämän vuoksi hyvin usein kaliumin huono saatavuus rajoittaa puuston kasvua avosoilla. Kalium vesiliukoisena ravinteena sitoutuu turpeeseen löyhästi ja huuhtoutuu siten helposti. Yleensä avosoiden kalium- ja fosforivarastot ovat alhaiset, joten puuston hyvän kasvun turvaamiseksi tarvitaan toistuvia lannoituksia.

Kaunisveden metsiköstä tehdyt neulasravinneanalyysit osoittavat, että puusto kärsii useasta lannoituksesta ja kaliumjatkolannoituksesta huolimatta ankarasta kaliumin, fosforin ja boorin puutoksesta. Aarnion ym. (1997, 120) mukaan peruslannoituksena annettavan fosforin vaikutus kestää noin 30 vuotta, kaliumin 15 vuotta. Kaliumjatkolannoituksesta Kaunisvedellä on kulunut 23 vuotta, joten sen vaikutusaika on neulasanalyysin mukaan jo selvästi loppunut. Puutosten vuoksi puusto olisi lannoitettava vielä kertaalleen PK:lla tai tuhalla ennen päätehakkuuta, mikä lisää edelleen kasvatuksen kustannuksia. Varputurvekangas II:lla kaliumin puutos on jo niin huomattava, että se tekee toisen puusukupolven perustamisen kannattamattomaksi.

Viljelyssä on lähdetty liikkeelle suuremmalla taimitiheydellä verrattuna nykyisiin ja silloisiin metsänuudistamisessa käytettyihin tiheyksiin. Suurin kokeiltu tiheys oli jopa 8000 tainta/ha. Tämä johtui kokeen perusajatuksista, jossa haluttiin

kokeilla joitakin keskieurooppalaisen metsänviljelyn piirteiden kannattavuutta suomalaisissa olosuhteissa ja suomalaisilla viljelymenetelmillä, joiden oletettiin olevan tulevaisuudessa silloista paljon tehokkaampia.

Mittausten tulokset kuitenkin osoittavat, ettei ylisuurilla tiheyksillä saavuteta suurempaa puumäärää, sen sijaan se vain lisää muokkaus- ja viljelykustannuksia. Korjattavan puuston läpimitta täyttää vain pienen kuitupuun mitat, joten ensiharvennuksesta ei saada tarpeeksi tuloja, eikä niillä välttämättä edes kateta korjuukustannuksia. Tiheällä kasvatusasennolla ei myös saavuteta hyvää arvokasvua, jolloin kuitupuun muuttuu läpimitan kasvun myötä arvokkaammaksi tukkipuuksi. Lisäkasvatustiheys saattoi parantaa kuitenkin puiden laatua vähentämällä paksujen oksien määrää ja lisäämällä oksien karsiutumista.

Tässä kokeessa käytettiin myös vaotusta, joka tehtiin viiden tai kymmenen metrin välein. Vaotuksen tiheydellä ei kuitenkaan varianssianalyysien mukaan ollut vaikutusta puuston kasvuun, joten sen perusteella halvempi käsittely riittäisi muokkauksen osalta.



Kuvio 27. Rahkasammaleiset ojat

Koemetsikön kunnostusojitus on tehty 1993, eli viisi vuotta ennen ensiharvennusta. Viimeisten mittausten aikaan lokakuussa 2014 ojat eivät näyttäneet enää hyvin toimivilta (Kuvio 27). Myös kenttäkerroksen kasvillisuus antoi viitteitä siitä, että turvekangas on hyvää vauhtia taantumassa muuttuma-asteelle. Oleellista on se, jaksako nykyinen ravinnehäiriöistä kärsivä puusto haihduttaa tarpeeksi päätehakkuuseen asti. Toinen kunnostusojitus toisi taas lisää kustannuksia ja söisi kannattavuutta. Toisaalta liian veden vaikutus vähentää puun kasvua ja pienentää hakkuukertymää tulevaisuudessa. Mikäli metsikön kasvatusta halutaan jatkaa, maastossa näytti siltä, että kunnostusojitus pitäisi tehdä.

Pohjanpinta-alojen ja valtapituuden perusteella metsikkö on osittain ja hyvin lähellä Väli-Suomen kuiviin kankaisiin verrattavien turvemaiden männiköiden harvennusrajaa. Toinen harvennus todennäköisesti lisäisi vielä jäljelle jäävän puuston paksuuskasvua, mutta lisäisikö se oleellisesti metsänkasvatuksen kannattavuutta on jo toinen asia. Hyvän metsän hoidon suositusten mukaan Väli-Suomen turvemaidella yksi harvennus on taloudellisesti kannattavin ja siten toista ei kannattaisi enää päätehakkuuta tehdä myöskään Kaunisvedellä. Toisaalta nyt asiaa voitaisiin todella tutkia oikeisiin mittauksiin ja hakkuukertymiin perustuen.

Kokonaispuuntuotosta Kaunisveden hyvin karulla avosuolla oli 7,8 m³/ha. Parhaimmilla käsittelyillä viljellyn puuston tilavuus oli kasvanut 48 vuoden aikana 215 kuutiometriin hehtaarilla. Siten sen vuotuinen keskikasvu oli 4,5 m³/ha. Jo nyt parhaimmilla käsitellyillä koeruuduilla oli tukkipuuta 129 m³/ha ja kuitua 70 m³/ha. Jos koko puusto myytäisiin nyt pystykauppana saataisiin myyntituloja 41 750 euroa, eli 5436 euroa hehtaarilta (laskelmaan käytetty Metsälehdessä pystykauppahintatilaston vko 18/2015 koko maan keskiarvoa). Siten tehdyillä toimenpiteillä puusto oli saatu kasvamaan hyvin karullakin avosuolla.

MOTTI - ohjelmalla tehtyjen laskelmien perusteella varputurvekangas II:n jatkokasvatus ei ole taloudellisesti järkevää. Erilaisia kustannuksia kasvatusaikana on syntynyt huomattavasti enemmän ravinteikkaimpiin turvekankaisiin verrattuna ja tässä tapauksessa tiedossa olisi vielä yksi lannoitus ennen päätehakkuu-

ta, ehkä jopa kunnostusojitus. Sen vuoksi päätehakkuun jälkeen suon ennallistaminen on paras vaihtoehto. Ennalistettavalla suo on arvokas jo sinällään muun muassa riistan ja soilla viihtyvän linnuston elinympäristönä, virkistysarvoja (ulkoilu, metsästys, marjastus) unohtamatta.

Puustomittauksessa ilmeni, että ensimmäisessä mittauksessa muutama koealan sisään kuuluva puu oli jäänyt mittaamatta. Myös joidenkin puiden läpimitta oli mitattu virheellisesti oksankauluksen päältä tai muualta kuin puun syntypisteestä lähtien. Tämä ilmeni siten, että viimeisessä mittauksessa puulle saatiin pienempi läpimitta edelliseen verrattuna. Joillakin koealoilla ilmeni myös ristiriitaisuutta mitattujen puiden sijaintitiedon kanssa (niin suunta kuin etäisyys konepisteestä ei pitänyt paikkaansa), eikä siten voitu olla varmoja mitattiinko samat puut uudestaan. Maastolaitteelle merkittyjen tietojen perusteella mittausvirheiden määrä jäi kuitenkin niin pieneksi, ettei se vääristänyt saatuja tuloksia.

Luonnontilaisen suon ja koemetsikön kehitystä verrattaessa syntyi myös virhetä, sillä ojittamaton suo ei ollut aivan luonnontilainen, vaan noin 50 metrin etäisyydellä kokeesta oli vielä nähtävissä, että ojitus oli ilmeisesti jonkin verran lisännyt taimien määrää ja parantanut niiden kasvua verrattuna kauempana olevaan avoimempaan suohon. Todellisuudessa koemetsikön kasvu on ollut siis vieläkin parempaa verrattuna avosuolla kasvavaan puustoon. Olisi ollut myös mielenkiintoista seurata vertailukoealojen puuston kasvua vuodesta 1998 saakka.

LÄHTEET

- Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, M. Suometsien lannoitus. 1997. Teoksessa Mielikäinen, K. & Riikilä, M. 1997. Kannattava puuntuotanto. Helsinki: Metsälehti.
- Aarnio, J. 2005. Suometsätalouden kannattavuus yksityismetsissä. Teoksessa Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.) Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947. Vammalan Kirjapaino Oy, 194 – 201.
- Issakainen, J., Silfverberg, K. & Moilanen, M. 2007. Avosuosta suometsäksi – Metsäntutkimusta Oulun Suolamminsuolla. Retkeilyopas. METLA Muhoksen toimintayksikkö.
- Heikurainen, L. 1960. Metsäojitus ja sen perusteet. Porvoo: Werner Söderström Oy.
- Heikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamentelmä. Acta Forestalia Fennica 131.
- Heikurainen, L. 1986. Suo-opas. 4. uudistettu painos. Helsinki: Yhteiskirjapaino Oy.
- Huikari, O., Muotiala, S. & Wäre, M. 1963. Ojitusopas. Helsinki: Yhteiskirjapaino Oy.
- Huikari, O. 1966. Alustava muistio metsänviljelykokeesta. Helsinki.
- Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojiteuilla turvemilla: Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Folia Forestalia 625.
- Kurkela, T. 1994. Metsän taudit. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J., Nousiainen, H., Saarinen, M. & Penttilä, T. 2012. Suotyypit ja turvekankaat – opaskasvupaikkojen tunnistamiseen. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.
- Luoranen, J., Saksa, T., Uotila, K. 2012. Metsänuudistaminen. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy.
- Metsälaki 20.12.2013/1085.
- Metsäntutkimuslaitos. 2014. Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Tampere: Tammerprint Oy.

- Moilanen, M, Hökkä, H., & Saarinen, M. 2005. Suometsien uudistaminen. Teoksessa Hyppönen, M., Hallikainen, V. & Jalkanen, R. 2005. Metsätaloutta kairoilla – metsänuudistaminen Pohjois-Suomessa. Hämeenlinna: Karisto Oy, 94 – 105.
- Moilanen, M., Saarinen, M., Silverberg, K. 2010. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien (N, P, K) vaihtelu metsäojitusalueilla. Metsätieteen aikakauskirja 2/2010.
- Moilanen, M. 2011. Suometsien kaliumlannoitus. Yara Suomi – Leipä leveämmäksi. 1/2011, 22.
- Penttilä, T. & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (Sinka) maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226. Parkano.
- Päivänen, J. 1990. Suometsät ja niiden hoito. Karisto Oy.
- Päivänen, J. & Paavilainen, E. 1998. Soiden metsätaloudellinen hyväksikäyttö. Teoksessa Vasander, J.(toim.) Suomen suot. Helsinki: Gummerruksen Kirjapaino Oy, 72 – 83.
- Päivänen, J. 2007. Suot ja suometsät – järkevän käytön perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Ruotsalainen, M. 2007. Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Saarinen, M. & Silver, T. 2011. Pääravinessuhteet ja kaliumin riittävyys karujen rämeiden ojitusalueilla. Suo-lehti 1/2011, 14.
- Tolvanen, A. & Parviainen, M. 2014. Heikkotuottoiset ojitetut suot. Maaseudun Tulevaisuus 28.2.2014, 2.
- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (toim.) 2015. Metsänhoidonsuositukset suometsien hoitoon, työopas. Viitattu 14.4.2015.
http://www.tapio.fi/files/tapio/metsanhoitosuositukset/MHS_opas_suometsien_hoitoon_20150222_TAPIO.pdf