

Markku Ylikoski

## **Puuston biomassatuotos entisellä peltomaalla**

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Elintarvike ja Maatalous

Metsätalouden tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Elintarvike ja maatalous

Tutkinto-ohjelma: Metsätalouden koulutusohjelma

Tekijä: Markku Ylikoski

Työn nimi: Puuston biomassatuotos entisellä peltomaalla

Ohjaaja: Antti Väätäinen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 66

Liitteiden lukumäärä: 9

---

Tutkimuksessa selvitettiin puuston biomassatuotosta entisellä peltomaalla. Aineistona oli kolmella paikkakunnalla sijaitsevat vuosina 1990 ja 1991 perustetut männyn, kuusen ja rauduskoivun kenttäkokeet.

Mitatusta aineistosta laskettiin Repolan ja Marklundin malleilla runkopuun, kuoren ja latvuksen biomassatuotos. Koko kiertoajan tuotos simuloitiin Luonnonvarakeskuksen Motti-ohjelmalla.

Koko maanpäällinen biomassatuotos 17 – 18 vuoden ikäisissä metsiköissä oli Repolan malleja käyttäen keskimäärin männyllä ja kuusella 63 000 kg sekä koivulla 82 000 kg. Latvusmassaa oli keskimäärin männyllä 30 %, kuusella 47 % ja koivulla 15 % koko maanpäällisestä biomassasta. Koko kieroajan biomassatuotos oli keskimäärin männyllä 3100 kg/ha/v, kuusella 3800 kg/ha/v ja koivulla 3700 kg/ha/v. Koko biomassan tuotoseroja selittää osin tiheyden vaihtelu.

Avainsanat: pellonmetsitys, biomassa, biomassamallit, biotalous

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## Thesis abstract

Faculty: Seinäjoki School of food and agriculture

Degree programme: Forestry

Author: Markku Ylikoski

Title of thesis: Biomass production of tree stands on former arable land

Supervisor: Antti Väätäinen

Year: 2015

Number of pages: 66

Number of appendices: 9

---

In this study the biomass production of a tree stand was clarified on former arable land. The material was from field experiments using pine, spruce and birch trees. The experiment stands were located in three localities and they were established during the years 1990 and 1991. In each location there were three plots of each tree species and this study includes 733 measured trees. Measurements have been made in 2008.

From the measured material the present biomass production of stem wood, stem bark and crown was calculated using the biomass models of Repola and Marklund. In addition, the output for the whole turnover time was simulated using the Motti – programme developed by the Finnish forest research institute.

The total aboveground biomass production for the 17 – 18 year-old woods was 63,000 kg for the pine and spruce and 82,000 kg for the birch when using Repola's biomass models. The pine trees had a crown mass of, on average, 32 %, the spruce 47 % and the birch trees 15 % of the total above-ground biomass.

The biomass production for the whole turnover time was 3,100 kg/ha/y on average for the pine trees, 3,800 kg/ha/y for the spruce trees and 3700 kg/ha/y for the birch trees. The output differences of the total biomass are explained partly by variations in the growing density.

Keywords: biomass, biomass functions, field afforestation, bio economy

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	9
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>10</b>
1.1 Tausta ja tutkimuksen tavoitteet.....	10
1.2 Pellonmetsitys Suomessa .....	10
1.3 Peltomaan ominaisuudet .....	12
1.4 Maalajien ominaisuudet .....	15
1.5 Puulajien ominaisuudet.....	16
1.6 Biomassa .....	18
1.6.1 Yleistä .....	18
1.6.2 Biomassamallit.....	20
<b>2 AINEISTO JA MENETELMÄT .....</b>	<b>21</b>
2.1 Kenttäkokeet.....	21
2.2 Puuston mittaus .....	21
2.2.1 Maastomittaukset.....	21
2.2.2 Näslundin pituusmalli .....	22
2.2.3 Metsänhoitotoimet .....	22
2.3 Puustotiedot.....	23
2.3.1 Keskiläpimitta.....	23
2.3.2 Keskipituus .....	23
2.3.3 Tilavuus .....	24
2.4 Runkotiheys .....	25
2.4.1 Maalajijakauma.....	26
2.5 Repolan biomassamallit.....	27
2.5.1 Mallien rakenne .....	27
2.5.2 Biomassamallit männylle Repolan (2009, 631) mukaan .....	29
2.5.3 Biomassamallit kuuselle Repolan (2009, 632-633) mukaan .....	30

2.5.4	Biomassamallit koivulle Repolan (2008, 611-612) mukaan .....	32
2.6	Marklundin biomassamallit.....	34
2.6.1	Koepuuaineisto .....	34
2.6.2	Mallien perusta .....	35
2.6.3	Biomassamallit männylle Marklundin (1988, 22-31) mukaan.....	35
2.6.4	Biomassamallit kuuselle Marklundin (1988, 42-51) mukaan.....	37
2.6.5	Biomassamallit koivulle Marklundin (1988, 61-68) mukaan .....	38
2.7	Motti-ohjelmisto.....	41
3	<b>TULOKSET .....</b>	<b>42</b>
3.1	Esitystapa .....	42
3.2	Mänty .....	42
3.2.1	Vilppula.....	42
3.2.2	Petäjävesi .....	43
3.2.3	Toholampi.....	43
3.3	Kuusi .....	46
3.3.1	Vilppula.....	46
3.3.2	Petäjävesi .....	47
3.3.3	Toholampi.....	47
3.4	Koivu .....	50
3.4.1	Vilppula.....	50
3.4.2	Petäjävesi .....	50
3.4.3	Toholampi.....	50
3.5	Puuston kiertoajan simulointi Motti-ohjelmalla .....	53
3.5.1	Mänty.....	53
3.5.2	Kuusi.....	55
3.5.3	Koivu.....	57
4	<b>TULOSTEN TARKASTELO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>59</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>63</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>66</b>

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1 Pellonmetsitysmäärät suomessa vuodesta 1969 .....	11
Kuvio 2 Rauduskoivun tyviosaan muodostuu pystysuuntaisia halkeamia. Hieskoivun runko on maahan asti sileä. ....	17
Kuvio 3 Biotalous tulee nostamaan hyvinvoinnin uudelle tasolle. ....	19
Kuvio 4 Puuston keskiläpimitta .....	23
Kuvio 5 Puuston keskipituus .....	24
Kuvio 6 Puuston runkotilavuus, m <sup>3</sup> /ha .....	25
Kuvio 7 Keskimääräiset runkotiheydet kpl/ha .....	25
Kuvio 8 Maalajijakauma paikkakunnittain .....	26
Kuvio 9 Metsiköiden sijainti puulajeittain, mistä koepuuaineisto on kerätty Repolan biomassamallien laatimiseksi.....	28
Kuvio 10 Metsiköiden sijainti, mistä koepuuaineisto on kerätty Marklundin biomassamallien laatimiseksi.....	34
Kuvio 11 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Repolan malleilla kg/ha .....	44
Kuvio 12 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Marklundin malleilla kg/ha .....	45
Kuvio 13 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Repolan malleilla kg/ha .....	48
Kuvio 14 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Marklundin malleilla kg/ha .....	48
Kuvio 15 Koivun biomassa paikkakunnittain Repolan malleilla kg/ha .....	51
Kuvio 16 Koivun biomassa paikkakunnittain Marklundin malleilla kg/ha .....	51

Kuvio 17 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä kiertoajan lopussa kg/ha.....	54
Kuvio 18 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä kiertoajan lopussa m <sup>3</sup> /ha .....	54
Kuvio 19 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä kiertoajan lopussa kg/ha.....	56
Kuvio 20 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä kiertoajan lopussa m <sup>3</sup> /ha .....	56
Kuvio 21 Koivun biomassatuotos kiertoajan lopussa paikkakunnittain kg/ha .....	57
Kuvio 22 Koivun biomassatuotos kiertoajan lopussa paikkakunnittain m <sup>3</sup> /ha .....	58
Taulukko 1 Peltomaiden viljavuusluokituksen pääkohdat. ....	13
Taulukko 2 Metsämaan ravinteisuusluokitus kivennäismailla. Happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4,65) liukoiset ravinteet. ....	13
Taulukko 3 Maalajien geotekninen luokitus .....	15
Taulukko 4 Repolan biomassamalleissa männylle käytetyt parametrit .....	30
Taulukko 5 Repolan biomassamalleissa kuuselle käytetyt parametrit .....	31
Taulukko 6 Repolan biomassamalleissa koivulle käytetyt parametrit.....	33
Taulukko 7 Marklundin männyn biomassamallissa käytetyt parametrit.....	36
Taulukko 8 Marklundin kuusen biomassamallissa käytetyt parametrit.....	38
Taulukko 9 Marklundin koivun biomassamallissa käytetyt parametrit.....	40
Taulukko 10 Motin kuivatuoretiheyskertoimet .....	42
Taulukko 11 Männyn biomassat Repolan malleilla paikkakunnittain hehtaarikohtaisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä.....	45

Taulukko 12	Männyn	biomassat	Marklundin	malleilla	paikkakunnittain	
					hehtaarikohtaisina	kilogrammoina sekä kuutiometreinä..... 46
Taulukko 13	Kuusen	biomassat	Repolan	malleilla	paikkakunnittain	
					hehtaarikohtaisina	kilogrammoina sekä kuutiometreinä..... 49
Taulukko 14	Kuusen	biomassat	Marklundin	malleilla	paikkakunnittain	
					hehtaarikohtaisina	kilogrammoina sekä kuutiometreinä..... 49
Taulukko 15	Koivun	biomassat	Repolan	malleilla	paikkakunnittain	
					hehtaarikohtaisina	kilogrammoina sekä kuutiometreinä..... 52
Taulukko 16	Koivun	biomassat	Marklundin	malleilla	paikkakunnittain	
					hehtaarikohtaisina	kilogrammoina sekä kuutiometreinä..... 52



## Käytetyt termit ja lyhenteet

Asymptootti	Puiden pituuksien enimmäisarvo, jota kuvaajan käyrä lähestyy.
Metsitys	Toimet uuden metsän aikaansaamiseksi maalle, jolla ei aiemmin ole ollut metsää.
Kivennäismaa	Kallioperästä irronneesta ja hienontuneesta kiviaineksesta muodostuneita maalajeja kutsutaan kivennäismaalajeiksi. (vrt. Turvemaa)
Koheesio	Ainetta koossa pitävä voima, joka myös aiheuttaa pinta-jännitystä.
Kuivatuoretiheys	Puun kuivamassa (kg) jaettuna tilavuudella tuoreena ( $m^3$ ), on kuivatuoretiheys ( $kg/m^3$ ).
Käännepeiste	Käyrällä se piste, jossa käyrän kaarevuussuunta vaihtuu.
Parametri	Matematiikassa parametri tarkoittaa yleensä vakiota, joka voi saada eri arvoja.
Rinnankorkeusläpimitta	Puun läpimitta eli halkaisija, joka mitataan 1,3 metrin korkeudelta puun oletetusta katkaisukohdasta, joko maasta tai puun juurenniskasta.
Runkolukusarja	Metsikön puiden mitatut rinnankorkeusläpimitat ovat runkolukusarjassa tiivistettynä jakaumaksi läpimittaluokittain.
Turvemaa	Turve on suokasvien jäännöksistä muodostunutta eloperäistä maa-ainesta. Turvemaaksi määritellään alue, joka pinnalla on vähintään 30 senttimetrin kerros turvetta.
Uuttuvat ravinteet	Happamaan ammoniumasetattiin (pH 4,65) maanäytteistä uuttuvat ravinteet, mg/litra.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja tutkimuksen tavoitteet

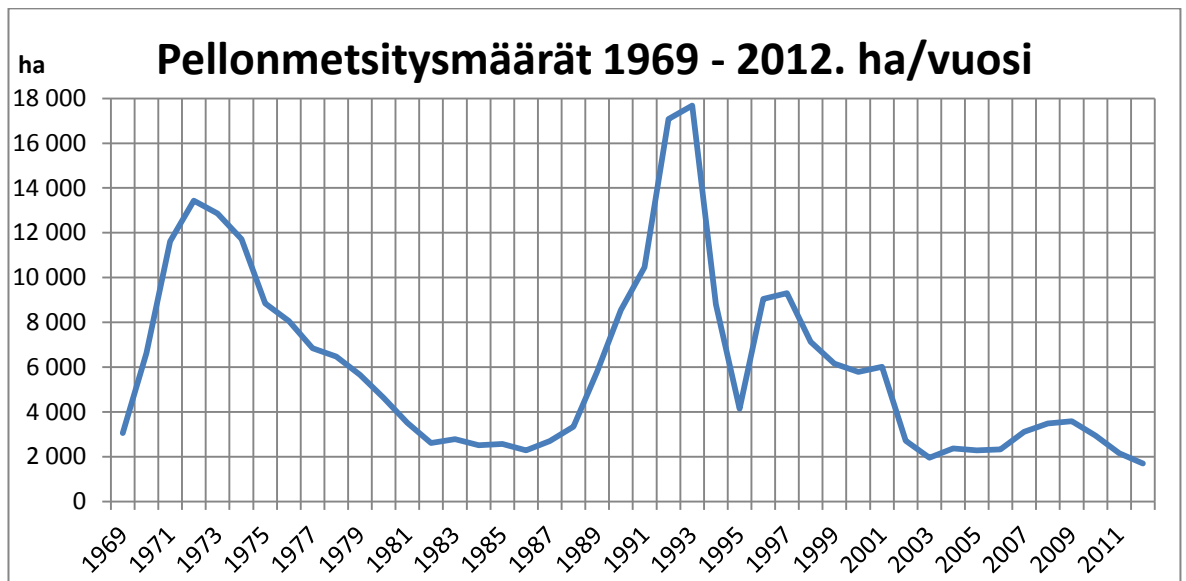
Tämä tutkimus käsittelee entiselle peltomaalle perustettua metsikköä ja sen kykyä tuottaa biomassaa. Teoreettisessa viitekehyksessä tarkastellaan peltomaan ja puulajien ominaisuuksia, biomassaa ja siihen liittyviä asioita. Pellonmetsityksessä täytyy ottaa huomioon monia seikkoja alkaen esimerkiksi maaperän poikkeavasta ravinnetilasta ja vesitaloudesta sekä metsitettävän puulajin ominaisuuksista puulajivalinnassa. Puun biomassaa tullaan hyödyntämään entistä monipuolisemmin siirtäessä nykyisestä fossiilitaloudesta kohti tulevaisuuden biotaloutta. Tutkimustietoa tästä opinnäytetyöaiheesta on löydettävissä niukasti.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Metsäntutkimuslaitos, joka on 1.1.2015 alkaen osa Luonnonvarakeskusta (Luke). Luke muodostettiin liittämällä yhteen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Metsäntutkimuslaitos Metla, Riisita- ja kalatalouden tutkimuslaitos RKTL ja Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus Tike. Työssä käytetään myöhemmin lyhenteitä Metla ja Luke.

Lukelta saadun, jo olemassa olevan puuston mittausaineiston (liitteenä) pohjalta on biomassan määrä laskettu käyttäen nykyaikaisia laskentamenetelmiä, Marklundin (1988) sekä Repolan (2008; 2009) kehittämiä biomassamalleja.

## 1.2 Pellonmetsitys Suomessa

Suomessa on metsitetty peltoja julkisin varoin tuettuna vuodesta 1969 lähtien. Aallonharja pellonmetsityksen määrissä nähtiin 1990-luvulla, kun peltoalan vähentämistarpeeksi oli 1980-luvun lopulla arvioitu 650 000 – 700 000 hehtaaria. Euroopan Unionin jäsenyyden kylkiäisinä tullut EU-rahoituksen edellyttämä ohjelma maatalouden metsätoimenpiteiksi esitti tavoitteeksi metsittää peltoa vielä 88 000 hehtaaria. Tavoitteet ovat kovia, eikä niihin ole vielä kukaan päästy. Yhteensä peltoja on metsitetty vasta reilut 260 000 hehtaaria vuosina 1969 – 2012 (Aarnio & Rantala 1999; Metsätilastollinen vuosikirja 2013).



Kuvio 1 Pellonmetsitysmäärät suomessa vuodesta 1969  
(Metsätilastollinen vuosikirja 2013)

Koistinen ym. (2014, 116) kuvailevat pellonmetsityksen Metsänhoidon suosituksissa seuraavalla tavalla:

”Pellon metsitys on toimenpide, jolla maatalouskäytössä ollut peltomaata palautetaan metsämaaksi. Vaihtoehtona pellon omistajalla on mm. jatkaa pellon viljelyä, vuokrata pelto toiselle viljelijälle tai kehittää ala riistapelloksi, hakamaaksi tai niityksi.”

Peltomaalle tehtävistä metsityksistä voidaan sanoa, että varmin viljelymenetelmä on istutus isokokoisilla taimilla. Kylvö onnistuu harvoin johtuen runsaasta pintakasvillisuudesta, joka usein tukehduuttaa pienet kylvötaimet. Toisaalta riittävän voimakkaalla maanmuokkauksella voidaan saada myös luontainen metsittäminen onnistumaan siementävän reunametsän sijaitessa riittävän lähellä. Kuusi on pelloilla varmin puulajivalinta. Se soveltuu sekä kivennäismaan pelloille että ravinteikkaille turvemaahan pelloille, mutta ei hallanaroille paikoille ilman suojaavaa puustoa. Mäntyä kannattaa viljellä vain ravinteisuudeltaan karuilla kivennäismaan pelloilla. Rauduskoivu menestyy ravinteikkailla kivennäismaan pelloilla, mutta ei turvemaille, alavilla ja hienojakoisilla mailla eikä paksumultaisilla mailla. Rauduskoivun vaihtoehtona voidaan käyttää hybridihaapaa tai siperianlehtikuusta, joilla on rauduskoivun kaltaiset kasvupaikkavaatimukset (Koistinen ym. 2014, 116-117.)

### 1.3 Peltomaan ominaisuudet

Entisten peltomaiden metsittämiset ovat onnistuneet hyvin vaihtelevasti. Peltomaan maaperätekijät ovat poikkeavat metsämaahan verrattuna ja se vaikuttaa peltomaan puuntuotoskykyyn. Metsämaiden puuntuotoskykyä arvioidaan käyttämällä kasvupaikkatunnuksiin perustuvia tuotosluokkia. Peltomaiden luokitus metsänkasvatusta varten ei onnistu yhtä helposti, koska puuston tai pintakasvillisuuden ominaisuuksiin pohjautuvat menetelmät eivät sovellu sellaisenaan peltomailla käytettäväksi. Peltojen kasvupaikkaluokitus on pintakasvillisuuden perusteella vaikeaa (Heiskanen & Wall 1995, 133.)

Erilaisten kasvien kasvatusedellytyksiin kuuluu, että kasvuun tarvittavia ravinteita on maassa riittävästi. Maataloudessa on käytössä viljavuuspalvelu, joka määrittelee eri kasveille lannoitussuosituksen. Peltomaita arvioidessa käytetään seitsemää eri viljavuusluokkaa, ja maanviljelijöiden suosituksiin kuuluu saattaa peltonsa vähintään keskimmäiseen luokkaan eli tyydyttäväksi. Metsitettävät pellot ovat yleensä kaikista heikkolaatuisimpia, kaukana talouskeskuksista sijaitsevia pienialaisia peltoaloja, ja maalajina on usein turve tai moreeni. Kuitenkin tarkasteltaessa peltojen viljavuusluokkia ja vertailtaessa niitä metsille laadittuihin ravinteisuusluokkiin, voidaan esimerkiksi todeta, että jos karkeaa kivennäismaata oleva pelto on taulukon 1 mukaan viljavuusluokassa 2 eli huononlainen, vastaa se metsässä taulukon 2 mukaisesti ravinteisuusluokkaa hyvä. Monet peltojen maalajit, kuten moreenit ja turpeet, kuuluvat viljavuusluokkaan tyydyttävä. Näitä peltoja metsitettäessä ravinteista ei ole puutetta. Niitä saattaa päinvastoin olla liian runsaasti tai niiden väliset suhteet eivät ehkä sovellu joidenkin puulajien kasvatukseen (Urvas 1991, 55 – 59.)

Taulukko 1 Peltomaiden viljavuusluokituksen pääkohdat.

1=huono, 2=huononlainen, 3=välttävä, 4=tydyttävä, 5=hyvä, 6=korkea ja 7=arveluttavan korkea  
(Ekola 1991, 62)

mg/l	Viljavuusluokka						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Kalsium (Ca)</b>							
- savimaat	1000	1500	2000	2600	3600	5600	
- karkeat kivennäismaat	400	800	1400	2000	2600	4000	
<b>Fosfori (P)</b>							
- savimaat	1,5	3,0	6,0	12	30	70	
- karkeat kiv.maat	2,0	5,0	10	20	40	70	
<b>Kalium (K)</b>							
- savimaat	60	100	200	300	500	800	
- hietä, muut moreenit, hiesu, multa, liejusavi	40	70	120	200	350	500	
- turve, hiekkamoreeni, hiekkamaat	30	50	80	150	250	400	
<b>Magnesium (Mg)</b>							
- savimaat	100	150	200	400	600		
- karkeat kiv.maat	50	80	120	200	400		

Taulukko 2 Metsämaan ravinteisuusluokitus kivennäismailla. Happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4,65) liukoiset ravinteet.  
(Ekola 1991, 63)

Kangasmaat Mänty ja kuusi	Ravinteisuusluokka		
	Matala	Tyydyttävä	Hyvä
<b>Kivennäismaakerros</b>			
- Kalsium (Ca)	< 30	30 - 520	> 520
- Fosfori (P)	< 2	2 - 4	> 4
- Kalium (K)	< 20	20 - 40	> 40
- Magnesium (Mg)	< 20	20 - 40	> 40
<b>Humuskerros</b>			
- Kokonaistyyppi % org.aineesta	< 1,2	1,2 - 2,5	> 2,5
- Kokonaisboori %, mg/100 g	< 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0

Heiskasen ja Wallin (1995, 133-134) mukaan peltojen viljavuusluokittelu perustuu uuttuvien ja helppoliukoisten ravinteiden määrään. Joidenkin ravinteiden määrällä ja viljavuudella metsänkasvatuksessa on todettu yhteys. Kangasmailla uuttuvat ravinteet ja kokonaistyyppi selittävät viljavuutta melkein yhtä hyvin kuin metsätyypit. Maan fysikaalisista ominaisuuksista esimerkiksi vedenpidätyskyky ja raekoostumus ovat asioita, jotka vaikuttavat puuntuotoskykyyn. Peltomaan maaperätekijät ovat erilaiset metsämaahan verrattuna. Poikkeavuutta aiheuttavat maanviljelytoimet, kuten pintamaan jatkuva maanmuokkaus, säännöllinen lannoitus, kalkitus ja suopelloille tehtävä kivennäismaan lisäys.

Ekolan ja Hytösen (1993, 26) mukaan ravinneperäiset kasvuhäiriöt ovat yleinen ongelma pellonmetsityksessä. Pääravinteiden, kuten esimerkiksi typen määrä kivennäismaidenkin pelloilla on suuri. Myös kaliumista ja fosforista ei yleensä ole puutetta. Sen sijaan boorin puutos joka yleensä on turvemaiden ongelma, aiheuttaa kasvuhäiriöitä myös kivennäismaan pelloilla. Kasvien boorin ottamiseen maaperästä vaikuttavat esimerkiksi maan pH sekä magnesiumin ja kalsiumin määrä ja magnesiumin kokonaismäärän suhde kalsiumin, typen ja kaliumin määriin. Peltojen kalkitus viljelyn ajoilta on saattanut aiheuttaa ravinnetaloudellisia ongelmia edellä lueteltujen ravinteiden suhteissa.

Peltomaista voidaan erottaa viisi maatyyppeä muokkauskerroksen (0 – 20 cm) ja pohjamaan (30 – 40 cm) koostumuksen perusteella. Maatyypit eroavat toisistaan ravinnevärien, fysikaalisen koostumuksen sekä vedenpidätyskyvyn perusteella. Kivennäismaapellon orgaanisen aineen pitoisuus ja huokostila on merkittävästi suurempi muokkauskerroksessa kuin kangasmailla. Maaluokituksen perusteella voidaan arvioida maan pintakerroksen ravinneväriä. Kivennäismaassa on todettu olevan eniten ravinteita tyyppiä lukuun ottamatta, ja ravinneväriä vähenevät orgaanisen aineen osuuden kasvaessa. Jos maan vedenpidätyskyky on suuri, se aiheuttaa alenevaa puuntuotoskykyä liiallisen vesipitoisuuden, ja alentuneen taimien hapensaannin seurauksena. Pääravinnevarojen suuren määrän ansiosta peltomaan puuntuotoskyky voi olla suuri. Se edellyttää, että vesitalous on kunnossa ja ravinnetalous on tasapainossa. Ojituksella ja maanmuokkauksella voidaan muuttaa vesitaloutta halutunlaiseksi. Lannoituksella hoidetaan ravinnetalouden vääristymät kuntoon (Heiskanen & Wall 1995, 144-145.)

## 1.4 Maalajien ominaisuudet

Koealoilla josta tutkimusaineisto on tähän tutkimukseen kerätty, esiintyvät maalajeista savi, siltti ja hiekka. Ne kuuluvat kaikki kivennäismaalajeihin ja niiden nimeämisessä käytetään ns. rakeisuuskäyrää joka ilmaisee, kuinka suuri osuus maalajissa on tiettyä raekokoa pienempiä rakeita taulukon 3 mukaisesti. Toisin sanoen, kuinka suuri on ko. raekokoa vastaavan seulan läpäisyprosentti. Muun muassa savi, siltti ja hiekka nimetään 64 millimetrin ja sitä pienempien seulojen läpäisseen maa-aineksen mukaan. Siltti ja hiekka nimetään ns.  $d_{50}$ -menetelmällä. Maalaji saa nimen sen perusteella, minkä pääajitteen alueella sijaitsee rakeisuuskäyrän läpäisyprosenttia 50 vastaava raekoko. Saveksi määritellään kuitenkin jossain sellainen maalaji, josta vähintään 30 % sijaitsee savilajitteen alueella, koska savi tuo maalajille omat piirteet jo kyseisellä määrällä. (Ronkainen 2012, 10)

Saven hiukkaset ovat ohuita levyjä, jotka muodostavat veteen ns. kolloidisen liuoksen, eli vedessä on pieniä hiukkasia. Savi ja siltti ovat routivia maa-aineita, mutta puhtaat hiekkalajitteet ovat routimattomia. Siirryttäessä savesta silttiin, levymäinen rakeiden muoto vaihtuu vakioläpimittaisiin rakeisiin. Siltti on lujuusominaisuksiltaan saven ja karkeampien maalajien välimuoto. Siinä on saven tapaan tartuntavoimien aiheuttamaa koheesiota. Siltillä on saveen verrattuna lisäksi kitkaominaisuuksia. Hiekassa ei vaikuta siltin ja saven tapaan tartuntavoima, vaan leikkauslujuus tulee ainoastaan kitkan avulla. Rakeet vain tukevat ja koskettavat toisiaan, mutta eivät pidä toisiaan kiinni. (Ronkainen 2012, 11)

Taulukko 3 Maalajien geotekninen luokitus  
(Ronkainen 2012, 9-10)

Maalajiryhmä	Maalajit	Lyhen- nys	Lajitepitoisuus paino-%			Raekoko, mm
			Savi	Hieno- aines	Sora	
Hienorakeiset maalajit	Savi	Sa	$\geq 30$			$\leq 0,002$
	Siltti	Si	$< 30$	$\geq 50$	$< 5$	$\leq 0,06$
Karkearakei- set maalajit	Hiekka	Hk		$< 50$	$\leq 50$	$> 0,06 - 2$
	Sora	Sr		$< 5$	$> 50$	$> 2 - 60$
Moreenimaa- lajit	Silttimoreeni	SiMr		$\geq 50$	$\geq 5$	$\leq 0,06$
	Hiekkamoreeni	HkMr		5 - 50	5 - 50	$> 0,06 - 2$
	Soramoreeni	SrMr		$\geq 5$	$> 50$	$> 2$

## 1.5 Puulajien ominaisuudet

Tutkimuksessa on mukana kolme puulajia: mänty, kuusi ja koivu. Seuraavassa on kuvaukset niistä.

Mänty (*Pinus sylvestris*) on luontaisesti levinnyt Eurooppaan ja Pohjois-Aasiaan. Suomessa levinneisyysalue ulottuu Pohjois-Lappiin asti. Suomen metsistä on mäntyvaltaisia 65 %. Mänty on valopuu, ja valtaa ns. pioneeripuuna karuimmat kasvupaikat ensimmäisenä. Kasvupaikkansa suhteen mänty onkin monipuolinen, mutta parhaiten se kasvaa esimerkiksi laadukkaaksi tukkipuuksi ravinteisuudeltaan kuivahkoilla tai sitä karummilla maaperältään moreeni- tai hiekkakankailla. Mänty kasvattaa syvälle maan alle ulottuvan paalujuuren, ja sen ansiosta puu kestää hyvin myrskyjä ja kuivuutta, mutta on arka tulville. Männikkö uudistetaan tyypillisesti noin 70 – 90 vuoden ikäisenä Etelä-Suomessa. Uudistettaessa metsiköitä edelleen männyllä, suositusten mukainen istutustiheys on noin 2000 tainta hehtaarille. Peltoja metsitettäessä männyn suositeltu istutustiheys on 2400 kpl/ha. Tämä johtuu korkeammasta tuhoriskistä metsämaihin verrattuna. (Metsäkurssi 2015; Suomen luontaisia puulajeja 2011, 3; Virtuaaliarboretum 2006; Koistinen ym. 2014, 117)

Kuusi (*Picea Abies*) on levinnyt lähes kaikkialle Suomeen pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta, ja se onkin männyn jälkeen Suomen toiseksi yleisin puulaji. Kuusi on ns. puolivarjopuu, joka kestää varjostusta ja menestyy myös alikasvoksena mieluiten tuoreilla tai sitä ravinteikkaammilla kasvupaikoilla. Huonoja kasvupaikkoja kuuselle ovat savimaat vesitaloutensa takia. Savimailla kuusen kasvu voi tyrehyä kokonaan 30 – 40 vuoden iässä. Nuorille kuusentaimille on tyypillistä ensimmäisten elinvuosien aikainen ns. jurominen, jonka jälkeen kasvu alkaa nopeutua. Kuuselle on myös tyypillistä, että se säästyy mäntyä paremmin myyrä-, jänis-, ja hirvituhoilta, johtuen sen pahasta mausta. Suositusten mukainen istutustiheys kuusella on 1800 kpl/ha. Männyn tavoin peltoja metsitettäessä tulisi soveltaa korkeampaa istutustiheyttä, joka kuusella on 2000 kpl/ha. Suomen metsistä 24 % on kuusivaltaisia. (Metsäkurssi 2015; Suomen luontaisia puulajeja 2011, 8; Virtuaaliarboretum 2006; Koistinen ym. 2014, 117)



Suomessa merkittävimmät koivulajit ovat hieskoivu (*Petula pubescens*) ja rauduskoivu (*Betula pendula*). Koivuille on tunnusomaista iso valontarve, hyvä hallankestävyys, runsas siemensato ja vesoista lisääntymisen kyky. Varttuneemmaksi kasvaneen rauduskoivun ja hieskoivun erottaa toisistaan esimerkiksi kuvion 2 mukaisesti tyven kaarnoittumisen perusteella. Muita tunnistamistapoja on lehden muoto, joka on rauduskoivulla toiskertaan sahalaitainen ja kolmiomainen. Hieskoivun lehti on vain kertaalleen sahalaitainen ja soikeampi. Nuoren rauduskoivun viimeisimmät vuosikasvut ovat kiiltäviä ja niitä peittävät karheat hartsinystyrät. Hieskoivulla vastaava vuosikasvain on sileä ja hienokarvainen. (Metsäkurssi 2015; Suomen luontaisia puulajeja 2011, 5-6; Virtuaaliarboretum 2006)



Kuvio 2 Rauduskoivun tyviosaan muodostuu pystysuuntaisia halkeamia. Hieskoivun runko on maahan asti sileä.  
(Metsäkurssi 2015)

Hieskoivu on yleinen koko maassa, ja se menestyy kosteilla kasvupaikoilla, esimerkiksi ojittamattomilla soilla, missä taas rauduskoivu ei kykene elämään soiden vähähappisuuden takia. Hieskoivun kasvu on tosin hitaampaa kuin rauduskoivun eikä sen tyypillinen elinikä, 70 – 90 vuotta, ole yhtä pitkä kuin rauduskoivun. Hieskoivu on männyn tapaan valopuu, ja se valloittaa usein ensimmäisenä rehevät

hakkuuaukiot ja viljelyksestä poistuneet entiset peltomaat. Hieskoivun kasvatuksessa täytyy usein olla kuitenkin tyytyminen kuitupuun tai polttopuun tuottamiseen, sen hitaamman kasvun ja laatuviikojen takia. Hieskoivu uudistuu tehokkaasti luontaisesti, mutta jos sitä istutetaan, suositusten mukainen istutustiheys on 2000 tainta hehtaarille. (Metsäkurssi 2015; Suomen luontaisia puulajeja 2011, 5-6; Virtuaaliarboretum 2006)

Uusimman metsälain (L 20.12.2013/1085) mukaan hieskoivu kelpaa kasvatettavaksi pääpuulajiksi vain turvemaille, soistuneille kangasmaille sekä savi- ja hiesumaille, missä sitä laajalti käytetäänkin kyseisten alueiden metsitykseen, etenkin, jos siellä eivät muut puulajit kunnolla tai ollenkaan menesty.

Rauduskoivun levinneisyysalue kattaa lähes koko Suomen pois lukien pohjoisin Lappi. Rauduskoivu on Suomen koivuista taloudellisesti arvokkain. Se saavuttaa yleensä 100 – 120 vuoden iän, mutta yleinen uudistusikä metsänkasvatuksessa on noin 60 vuotta. Rauduskoivua viljellään harvemmassa kuin hieskoivua, suositusten mukainen istutustiheys on noin 1600 kpl/ha. Rauduskoivu tarvitsee enemmän elintilaa kuin hieskoivu, jotta järeytyminen ei hidastuisi ja lumituhot lisääntyisi riukuuntumisen seurauksena. Rauduskoivu on kuusen tapaan rehevien kasvupaikkojen puulaji. Suomen metsistä 9 % on koivuvaltaisia. (Metsäkurssi 2015; Suomen luontaisia puulajeja 2011, 5-6; Virtuaaliarboretum 2006)

## **1.6 Biomassa**

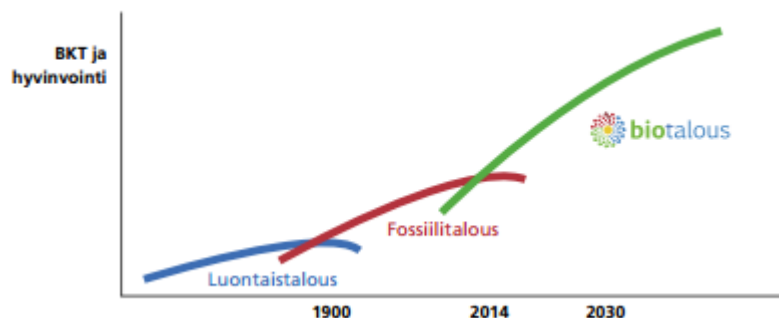
### **1.6.1 Yleistä**

Biomassaksi kutsutaan orgaanista ainetta kuten puita ja kasveja. Myös teollisuuden tuotannossa syntyvät sivutuotteet kuten sahateollisuuden puru ja selluteollisuuden mustalipeä lasketaan biomassaksi. Myös vesistöissä on biomassaa; planktoni, kalat, äyriäiset, levät ja vesikasvit, kuten myös kotitalouksien biojäte on biomassaa. Metsästä saatava biomassa on siis puuta ja puusta voidaan hyödyntää biomassaksi runkokuun ja kuoren lisäksi latvukset elävine ja kuolleine oksineen sekä neulaset tai lehdet sekä kannot ja juuret. Tietoa biomassojen määristä

ja sijainneista tarvitaan biomassojen käytön suunnittelussa ja energiapolitiikan linjaukseen. (Opetin.fi; Biomassa-atlas)

Uusimman kansallisen metsäohjelman (2011, 10) visiona on muun muassa, että Suomi olisi vastuullinen biotalouden edelläkävijä. Metsäalan tavoitteeksi on asetettu olla edelläkävijä biotalousyhteiskuntaan siirryttäessä koska nähdään, että biotalous antaa metsäsektorille isoimmat mahdollisuudet menestykseen. Biomassoista saatavat monipuoliset erilaiset tuotteet kannustavat uusiin innovaatioihin.

Suomen biotalousstrategia (2014, 3-12) määrittelee biotalouden taloudeksi, joka hyödyntää uusiutuvia luonnonvaroja ravinnon, energian, tuotteiden ja palveluiden tuottamiseksi. Tavoitteeksi on asetettu nostaa biotalouden tuotos nykyisestä 60 miljardista eurosta 100 miljardiin euroon ja luoda samalla 100 000 uutta työpaikkaa vuoteen 2025 mennessä.



Kuvio 3 Biotalous tulee nostamaan hyvinvoinnin uudelle tasolle. (Suomen biotalousstrategia 2014, 5)

Suomen biotalousstrategian (2014, 5-12) mukaan metsäteollisuuden rooli biotalouden veturina Suomessa tulee olemaan merkittävä. Puubiomassan hyödyntäminen monipuolistuu laajasti. Innovatiiviset, pitkälle jalostetut puutuotteet ja erilaisista puun ainesosista valmistetut uudet tuotteet tulevat nousemaan perinteisten metsäteollisuuden tuotteiden rinnalle unohtamatta muita vahvoja osaamisaloja, kuten biokemialliset menetelmät, sellunkeittoteknologiat, entsyymien valmistus, prosessikemia sekä bio- ja nanoteknologian yhdistelmät. Suomi on edelläkävijä myös bioenergian tuotannossa. Puupohjaisten liikennepolttoaineiden käyttö kasvaa Suomessa. Bioöljyn tuotanto on jo käynnissä, ja sellunkeiton yhteydessä syntyvän mäntyöljyn jalostus biodieseliksi on pääsemässä vauhtiin. Puu on myös tärkein

energiantuotannon raaka-aine. Kun otetaan huomioon myös metsäteollisuuden prosesseista saatava energia, puun osuus tulee suuremmaksi kuin öljyn, hiilen tai maakaasun. Suomen mittavat metsävarat tarjoavat biotaloudelle suuren kasvupotentiaalin. Metsän kasvu on vuosikymmenten saatossa ylittänyt poistuman, ja kasvulukujen ennustetaan edelleen nousevan. Pelkän runkopuun kasvu on nykyisin noin 104 miljoonaa kuutiometriä vuosittain, josta vuosina 2008 – 2012 metsäteollisuus käytti keskimäärin vajaat 51 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Tämä tarkoittaa vajaata 70 prosenttia kestävästä hakkuumahdollisuuksista.

### **1.6.2 Biomassamallit**

Puun biomassa jaetaan erilaisiin osiin niiden fysikaalisten ominaisuuksien mukaan. Eri osille voidaan laskea erillinen biomassa, joista saadaan yhteenlaskettu puukohtainen biomassa kilogrammoina. Biomassan osat ovat runkopuu, kuori, elävät oksat (sisältäen kävyt), lehdet tai neulaset, kuolleet oksat (sisältäen kuoren) sekä maanpinnan alapuolella olevat kanto ja juuret. Biomassan määrittäminen manuaalisesti kuivamassana ilmaistuna on hidas ja kallis toimenpide. Tämän vuoksi pohjoismaissa on kehitetty erilaisia biomassamalleja biomassan arvioimiseksi nopeasti ja pienin kustannuksin. Biomassan osien ja kokonaisbiomassan määrittämiseen kehitetyt biomassamallit perustuvat helposti mitattaviin puustotunnuksiin, kuten rinnankorkeusläpimittaan, puun pituuteen, ikään ja elävän latvuksen pituuteen (Kukkola ym. 2007, 5.)

Tunnetuimmat biomassamallit ovat kehitetty Kukkolan ym. (2007, 5-21) mukaan Ruotsissa ja Suomessa. Ruotsalainen Lars Gunnar Marklund julkaisi omat mallinsa vuonna 1988. Marklundin mallit perustuvat Ruotsin valtakunnan metsien inventoinnista saatuun laajaan tutkimusaineistoon. Vaikka Marklundin mallit ovat kehitetty Ruotsin olosuhteissa, ovat ne hyvin sovellettavissa myös Suomessa. Mahdollisia ongelmakohtia Marklundin mallien soveltamiseen Suomessa on esimerkiksi runkomuoto ja sen vaihtelu, jolla on suuri vaikutus rungon tilavuuteen ja biomassaan. Puun runkomuoto saattaa poiketa erityisesti Etelä-Ruotsissa kotimaan aineistoon verrattuna, ja voi näin antaa harhaanjohtavia tuloksia.

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Kenttäkokeet

Aineistona tutkimuksessa on Luken julkaisematon koesarja, jossa on viljelty istutamalla kuusta, mäntyä ja koivua entiselle peltomaalle. Kokeet on perustettu kolmelle eri paikkakunnalle; Petäjävedelle Keski-Suomeen, Vilppulaan Pirkanmaalle ja Toholammille Keski-Pohjanmaalle. Kokeista Petäjäveden ja Toholammin kokeet on perustettu vuonna 1990, ja Vilppulan koe 1991. Pellot olivat olleet metsittämiin saakka maatalouskäytössä ja niissä oli viljelty lähinnä eri viljalajeja (kaura, ohra, ruis), mutta myös rypsiä tai heinää. Kokeet perustettiin satunnaisena lohkojakona ja lohkon koko vaihtelee 100 m<sup>2</sup> ja 625 m<sup>2</sup> välillä. Maanmuokkaustavat vaihtelevat koealoittain. Petäjävedellä on tehty pallekyntö ja äestys, Vilppulassa auraus ja jyrsiminen sekä Toholammilla ojitusmätästys. Koealoille istutettiin 3- tai 4-vuotiaita avojuurisia männyn (*Pinus sylvestris*) ja kuusentaimia (*Picea abies*) sekä 1-vuotiaita rauduskoivun (*Betula pendula*) paakkutaimia. Istutustiheys oli 3000 tainta hehtaarille (liitteet 1, 2, 3 ja 4.)

### 2.2 Puuston mittaus

#### 2.2.1 Maastomittaukset

Puusto on mitattu Vilppulassa 17 vuoden, Petäjävedellä ja Toholammilla 18 vuoden iässä vuonna 2008. Mittausmenetelmänä oli ruudun keskelle sijoitettu ympyräkoeala, jonka säde oli 3,99 m. Koealan pinta-alaksi tuli siten 50 m<sup>2</sup>. Runkolukusarjaa varten mitattiin kaikista yli 1,3 m puista rinnankorkeusläpimitta millimetrin tarkkuudella. Puiden pituus on mitattu desimetrin tarkkuudella.

Pituutta ei ole mitattu ihan jokaiselle puulle, joten puuttuvat pituudet määritettiin tutkimusta varten Näslundin (1937, 40-60) pituusmallilla.

Lopuksi puuston runkotilavuus on laskettu Laasasenahon (Ärölä 2008, 277) malleilla.

Jokaiselta sijaintipaikkakunnilta on yhdeksän koeruudun mittaustiedot; kolme yhden puulajin ruutua eli kaikkiaan 27 mitattua ympyräkoealaa ja 733 mitattua puuta. Tulokset tullaan esittämään paikkakunnittain puulajikohtaisina keskiarvoina.

### 2.2.2 Näslundin pituusmalli

Ruotsalainen Manfred Näslund (1937, 40-60) on kehittänyt pituusmallin, jolla on aikoinaan voitu korvata epäluotettavampi graafiseen tasoitukseen perustuva malli. Näslundin (1937, 43) malli perustuu kaavaan 1.

$$y = 1,3 + \frac{x^2}{(a+bx)^2} \quad (1)$$

missä

$y$  on puun pituus

$x$  on rinnankorkeusläpimitta

$a$  ja  $b$  ovat parametrejä, jotka määritetään koepuista mitattujen pituuden ja läpimitan perusteella.

Yhtälön parametrit  $a$  ja  $b$  voivat saada vain positiivisia arvoja.  $a$  määrittää pituus-käyrän ns. käännepisteen, ja  $b$  taas määrittelee ns. asymptootin. (Auvinen 1997, 44-45; Näslund 1937, 43)

Pituusmalli täytyy määrittää metsiköittäin ja puulajikohtaisesti. Tutkimusta varten määritettiin pituusmalleja yhteensä 6 kpl, jotka löytyvät kertoimiseen liitteestä 7.

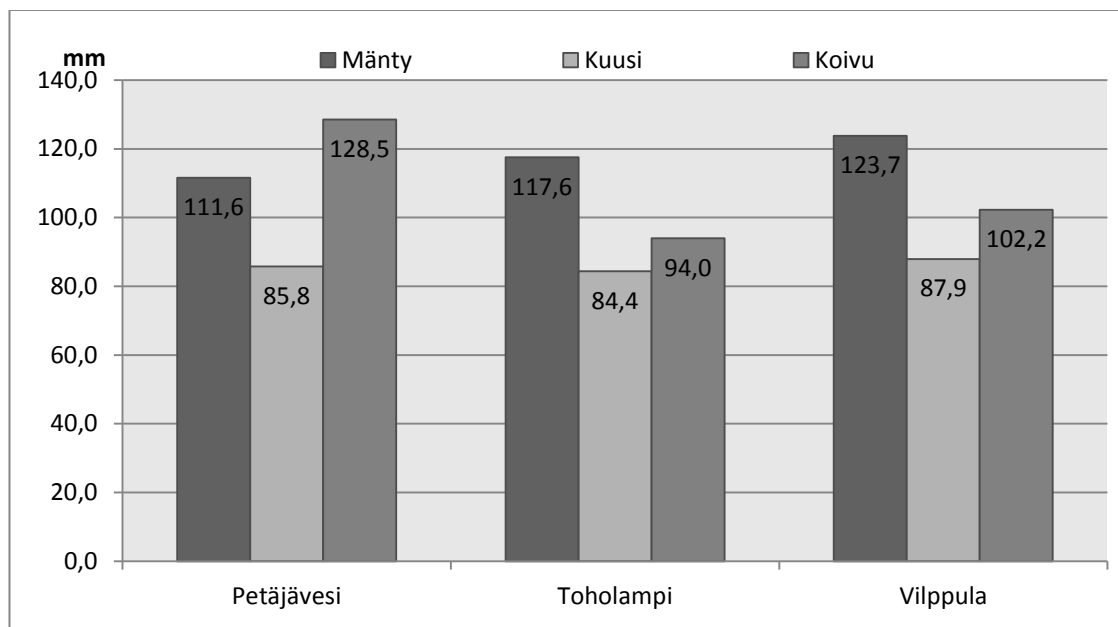
### 2.2.3 Metsänhoitotoimet

Metsänhoidollisista toimenpiteistä koealoille on tehty ainoastaan heinäntorjunta taimikkovaiheessa, jonka jälkeen ennen vuotta 2008 ei ole tehty mitään hoitotoimia, kuten esimerkiksi taimikonhoitoa tai harvennuksia. (Wall 2015)

## 2.3 Puustotiedot

### 2.3.1 Keskiläpimitta

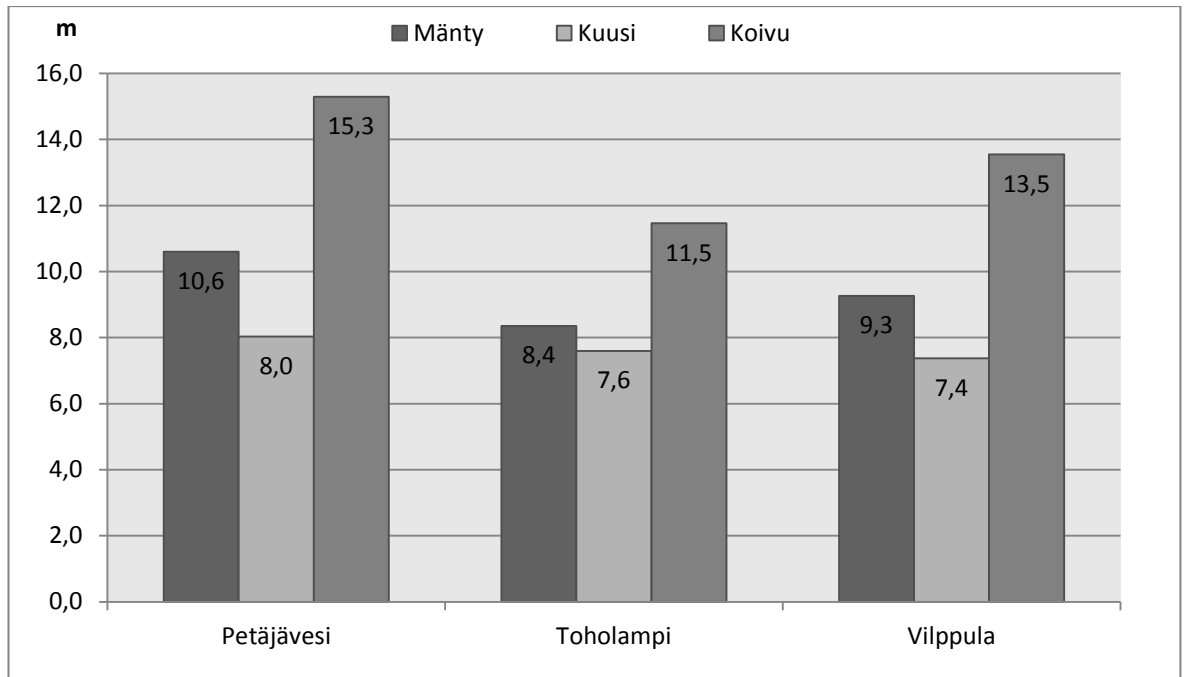
Keskiläpimitta koealoittain on esitetty kuviossa 4. Männyn keskiläpimitassa on pieniä eroja paikkakunnittain. Petäjävedellä keskiläpimitta on pienin ja Vilppulassa suurin. Kuusen keskiläpimitta on paikkakunnittain vain muutaman millimetrin sisällä. Koivun keskiarvoissa on suurimmat paikkakuntakohtaiset erot, kun Petäjäveden koivut ovat kasvaneet rivakimmin, kun kahden muun paikkakunnan kasvu on ollut tasaväkisempää.



Kuvio 4 Puuston keskiläpimitta

### 2.3.2 Keskipituus

Koivun keskipituus on nopean alkukehityksensä ansiosta jokaisella paikkakunnalla suurin ja kuusen pienin. Petäjävedellä pituuskasvu on ollut suurinta ja Toholammilla pienintä (Kuvio 5). Toholammin pienempää pituuskasvua selittänee ainakin osittain pohjoisempi sijainti.

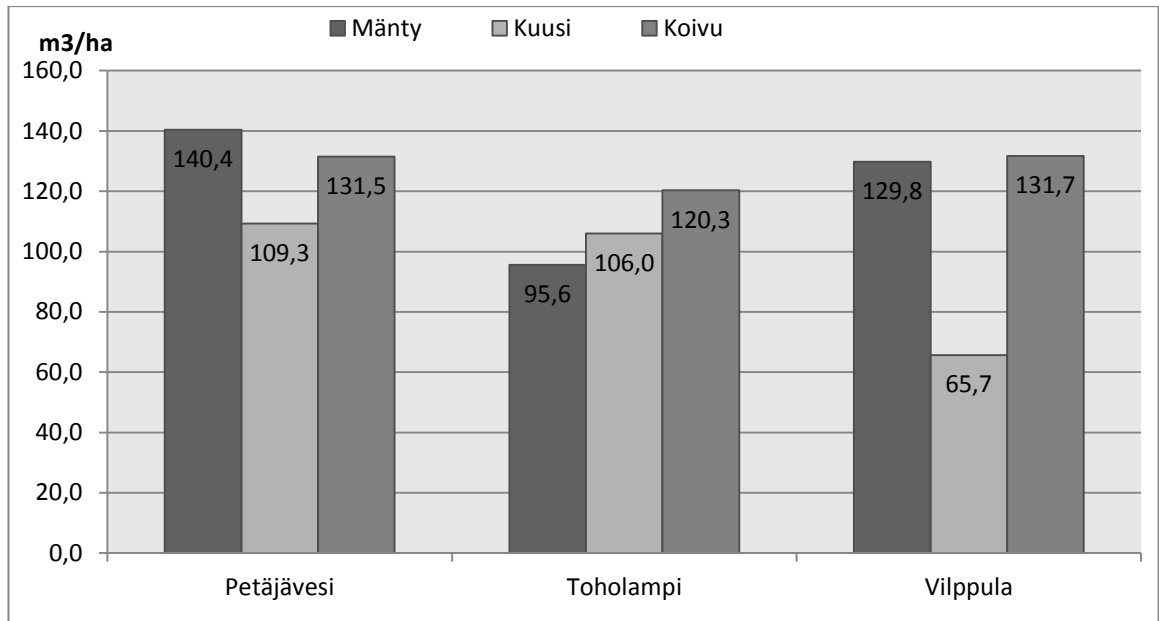


Kuvio 5 Puuston keskipituus

### 2.3.3 Tilavuus

Hehtaarikohtaisten tilavuuksien kuntakohtaiset erot ovat suunnilleen samanlaisia kuin keskipituuksien. Kuvion 7 mukaisesti suurin hehtaarikohtainen tilavuus on Petäjäveden puustossa, pienin Toholammilla. Toholammin tilavuudet näyttävät edustavan puulajeittain ns. normaalia, eli koivu kasvanut ripeimmin, mänty ja kuusi hieman jäljessä, suunnilleen tasoissa. Petäjäveden puustossa on se erikoisuus, että männyn hehtaarikohtainen tilavuus on jopa koivuakin korkeampi. Vilppulassa taas kuusen tilavuus on jäänyt noin puoleen männyn ja koivun tilavuudesta.

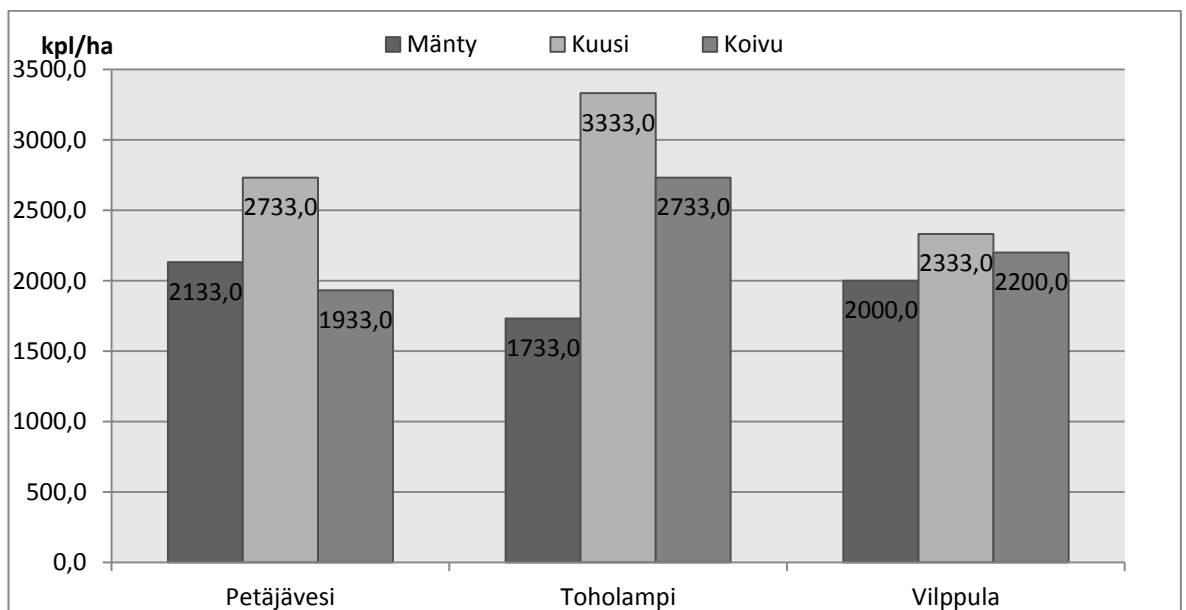




Kuvio 6 Puuston runkotilavuus, m<sup>3</sup>/ha

## 2.4 Runkotiheys

Männyn runkotiheys on Petäjaveden ja Vilppulan palstoilla noin 2000 kpl/ha, ja Toholammilla noin 1700 kpl/ha. Kuusi kasvaa tiheimmässä. Toholammilla noin 3300 kpl/ha, Petäjävedellä 2700 ja Vilppulassa noin 2300 kpl/ha. Koivun runkotiheydet vaihtelevat kunnittain 1900 ja 2700 kpl/ha välillä (Kuvio 7).

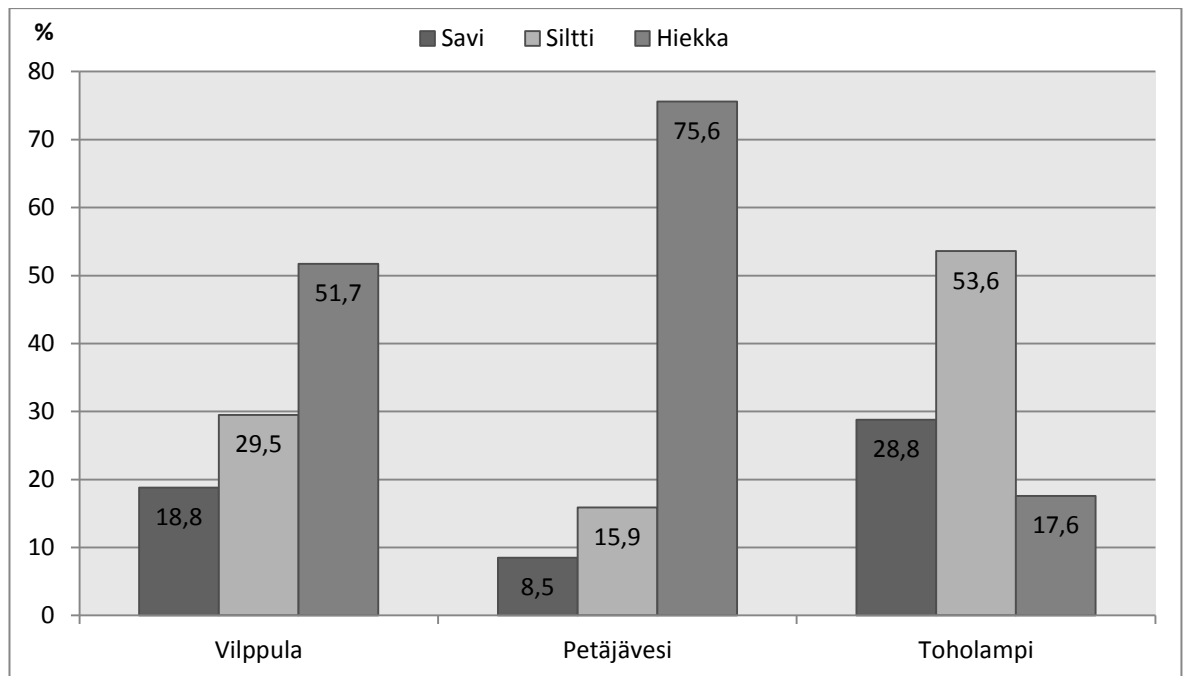


Kuvio 7 Keskimääräiset runkotiheydet kpl/ha

### 2.4.1 Maalajijakauma

Jokaisella kokeen sijaintipaikkakunnalla on toisistaan poikkeava maalajijakauma. Maalajit ovat liitteen 4 tietojen mukaan johdettu kivikautisista kerrostumista.

Vilppulassa maalajijakauma näyttäisi olevan tasaisimmin jakautunut, hiekkaa on hieman yli puolet, silttiä lähes kolmannes ja savea lähes 20 %. Petäjäveden jakauma on Vilppulan kanssa samankaltainen muuten, mutta hiekan osuus on kolme neljäsosaa siltin osuuden jäädessä noin 16:sta ja saveen noin 8 prosenttiin. Toholampi poikkeaa ensin mainituista siinä, että se on silttisin (yli puolet) ja savisin (28 %) koeala, hiekan osuus on vain alle viidennes (Kuvio 8).

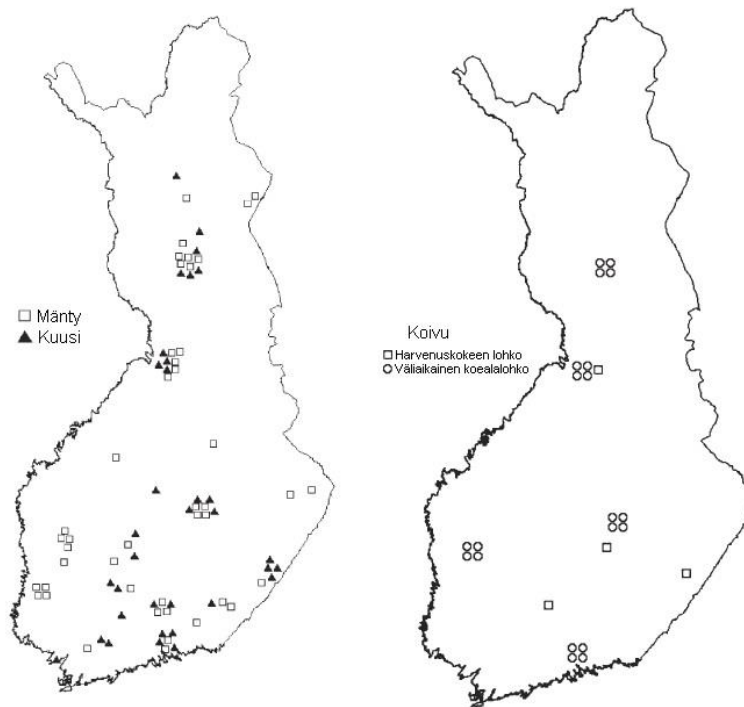


Kuvio 8 Maalajijakauma paikkakunnittain

## 2.5 Repolan biomassamallit

### 2.5.1 Mallien rakenne

Tässä tutkimuksessa käytetyt Repolan (2008; 2009) biomassamallit on kehitetty sellaisiksi että niissä voidaan hyödyntää helposti mitattavia puustotunnuksia, kuten puun rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta. Näin ollen esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnissa kerättyä puustodataa voidaan tehokkaasti hyödyntää biomassojen määrittämiseen. Lisäksi malleissa käytetään sellaisia puustotunnuksia, jotka ovat edellä mainittujen tunnusten lisäksi luotettavasti johdettavissa olemassa olevasta maastossa mitatusta aineistosta. Mallit on laadittu koepuuaineiston perusteella Metlan koemetsiköistä jotka sijaitsevat ainoastaan kivennäismailla. Metsiköitä on valittu edustavasti koko Suomen alueelta (Kuvio 9). Repolan malleista on kehitetty yksi malli koko maanpäällisen biomassan määrittämiseksi sekä mallit yksittäisille biomassan osille. Yksittäiset biomassan osat joille malli on laadittu, ovat: runkopuu, kuori, elävät oksat, kuolleet oksat sekä kuusella ja männyllä neulaset, koivulla lehdet. Lisäksi kannolle ja juurille on omat mallinsa, mutta tämä tutkimus on rajattu käsittelemään ainoastaan maanpäällistä biomassaa. Repolan biomassamalleista on olemassa ns. suppeammat mallit, joissa puustotunnuksista käytetään muuttujina vain rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta. Ns. laajemmissa malleissa käytetään muuttujina em. lisäksi myös elävän latvuksen pituutta, rinnankorkeusikää, kuoren paksuutta, viiden viimeisen vuoden säteittäistä kasvua rinnankorkeudelta sekä viiden viimeisen vuoden poikkileikkauspinta-alan kasvua rinnankorkeudelta. Tässä tutkimuksessa sovelletaan ns. suppeaa mallia johtuen käytettävissä olevan aineiston mitattujen puustotunnusten rajoittumisesta rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen.



Kuvio 9 Metsiköiden sijainti puulajeittain, mistä koepuuaineisto on kerätty Repolan biomassamallien laatimiseksi (Repola 2008, 607; Repola 2009, 627)

Repolan biomassamalleilla on Kukkolan ym. (2007, 9) mukaan ns. kerrannainen mallimuoto, ja niissä on käytetty logaritmista muunnosta, jotta malli saataisiin lineaariseen muotoon. Alkuperäinen mallin rakenne esitetään yhtälön 2 mukaan.

$$\ln(y_{ki}) = x_{ki}b + u_k + e_{ki}, \quad (2)$$

missä

- $\ln(y_{ki})$  on logarithm biomass of tree  $i$  in stand  $k$
- $x_{ki}$  on vector of the fixed regressors for tree  $i$  in stand  $k$
- $b$  on vector of fixed effects
- $u_k$  on random effect for stand  $k$
- $e_{ki}$  on random effect for tree  $i$  in stand  $k$

Sovellettaessa yhtälöitä esimerkiksi Excelissä, parametrit  $u_k + e_{ki}$  merkitään muotoon  $(u_k + e_{ki}) \div 2$ . Tämä on ns. jäännösvariانسsin puolikas, ja sillä ehkäistään logaritmimuunnoksesta aiheutuvaa vääristymää. Lisäksi yhtälöissä esiintyvä rinnankorkeusläpimitta  $d$ , on pääsääntöisesti ilmaistu kantoläpimitan arviona

$d_s = 2 + 1,25d$ . Tämä mahdollistaa mallien käytön myös pituudeltaan alle 1,3 metrin puille. (Kukkola ym. 2007, 9-26; Laitila ym. 2011, 8)

Repola (2008; 2009) on rakentanut biomassayhtälöt puun eri biomassaosille puulajeittain seuraavissa kappaleissa esitettävällä tavalla ja yhtälöillä 3 -15 on laskettu myös tässä tutkimuksessa esitettävät tulokset.

## 2.5.2 Biomassamallit männyille Repolan (2009, 631) mukaan

Runkopuu:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+14)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki}+12)} + u_k + e_{ki} \quad (3)$$

Kuori:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+12)} + b_2 \ln(h_{ki}) + u_k + e_{ki} \quad (4)$$

Elävät oksat:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+12)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki}+12)} + u_k + e_{ki} \quad (5)$$

Neulaset:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+6)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki}+1)} + u_k + e_{ki} \quad (6)$$

Kuolleet oksat:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+16)} + u_k + e_{ki} \quad (6)$$

missä

- $\ln(y_{ki})$  on logaritmi biomassa y kilogrammoina, puulle i, metsikössä k  
 $b_0, b_1, b_2$  on kiinteät muuttujat  
 $u_k, e_{ki}$  on satunnaiset muuttujat  
 $d_{ski}$  on  $2 + 1,25d_{ki}$  ( $d_{ki}$  = puun rinnankorkeusläpimitta senttimetreinä puulle i kuviolla k)

$h_{ki}$  on puun pituus metreinä puulle  $i$  metsikössä  $k$

Yhtälöissä esiintyvien parametrien  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $u_k$  ja  $e_{ki}$  arvoiksi on sovellettu Repolan (2009, 632) laatimia parametriarvioita. (Taulukko 4).

Taulukko 4 Repolan biomassamalleissa männyille käytetyt parametrit (Repola 2009, 632)

	Runkopuu	Kuori	Elävät oksat	Neulaset	Kuolleet oksat
Kiinteät muuttujat					
$b_0$	-3,721	4,548	-6,162	-6,303	-5,201
$b_1$	8,103	7,997	15,075	14,472	10,574
$b_2$	5,066	0,357	-2,618	-3,976	
Satunnaiset muuttujat					
$u_k$	0,002	0,015	0,041	0,109	0,253
$e_{ki}$	0,009	0,061	0,089	0,118	0,362

### 2.5.3 Biomassamallit kuuselle Repolan (2009, 632-633) mukaan

Runkopuu:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+14)} + b_2 \ln(h_{ki}) + b_3 h_{ki} + u_k + e_{ki} \quad (7)$$

Kuori:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+18)} + b_2 \ln(h_{ki}) + u_k + e_{ki} \quad (8)$$

Elävät oksat:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+13)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki}+5)} + u_k + e_{ki} \quad (9)$$

Neulaset:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+10)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki}+1)} + u_k + e_{ki} \quad (10)$$

Kuolleet oksat:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+18)} + \ln(h_{ki}) + u_k + e_{ki} \quad (11)$$

missä

$\ln(y_{ki})$  on logaritmi biomassa y kilogrammoina, puulle i, metsikössä k

$b_0, b_1, b_2, b_3$  on kiinteät muuttujat

$u_k, e_{ki}$  on satunnaiset muuttujat

$d_{ski}$  on  $2 + 1,25d_{ki}$  ( $d_{ki}$ = puun rinnankorkeusläpimitta senttimetreinä puulle i kuviolla k)

$h_{ki}$  on puun pituus metreinä puulle i kuviolla k

Yhtälöissä esiintyvien parametrien  $b_0, b_1, b_2, b_3, u_k$  ja  $e_{ki}$  arvoiksi on sovellettu Repolan (2009, 634) laatimia parametriarvioita (Taulukko 5).

Taulukko 5 Repolan biomassamalleissa kuuselle käytetyt parametrit (Repola 2009, 634)

	Runkopuu	Kuori	Elävät oksat	Neulaset	Kuolleet oksat
Kiinteät muuttujat					
$b_0$	-3,555	-4,548	-4,214	-2,994	-4,850
$b_1$	8,042	9,448	14,508	12,251	7,702
$b_2$	0,869	0,436	-3,277	-3,415	
$b_3$	0,015				
Satunnaiset muuttujat					
$u_k$	0,009	0,023	0,039	0,107	0,367
$e_{ki}$	0,009	0,041	0,081	0,089	0,352

#### 2.5.4 Biomassamallit koivulle Repolan (2008, 611-612) mukaan

Runkopuu:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+12)} + b_2 \ln(h_{ki}) + u_{1k} + e_{1ki} \quad (11)$$

Kuori:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+12)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki}+20)} + u_{2k} + e_{2ki} \quad (12)$$

Elävät oksat:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_k}{(d_k+16)} + b_2 \frac{h}{(h+10)} + u_{3k} + e_{3ki} \quad (13)$$

Lehdet:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski}+2)} + u_{6k} + e_{6ki} \quad (14)$$

Kuolleet oksat:

$$\ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_k}{(d_k+16)} + u_{4k} + e_{4ki} \quad (15)$$

missä

$\ln(y_{ki})$  on logaritmi biomassa y, puulle i, metsikössä k

$b_0, b_1, b_2$  on kiinteät muuttujat

$u_{1k}, u_{2k}, u_{3k}, u_{4k}, u_{6k}, e_{1ki}, e_{2ki}, e_{3ki}, e_{4ki}, e_{6ki}$

on satunnaiset muuttujat

$d_{ki}$  on puun rinnankorkeusläpimitta senttimetreinä puulle i kuviol-  
la k



$d_{ski}$  on  $2 + 1,25d_{ki}$

$h_{ki}$  on puun pituus metreinä puulle  $i$  kuviolla  $k$

Yhtälöissä esiintyvien parametrien  $b_0, b_1, b_2, u_{1k}, u_{2k}, u_{3k}, u_{4k}, u_{6k}, e_{1ki}, e_{2ki}, e_{3ki}, e_{4ki}, e_{6ki}$ , arvoiksi on sovellettu Repolan (2008, 613) laatimia parametriarvioita (Taulukko 6).

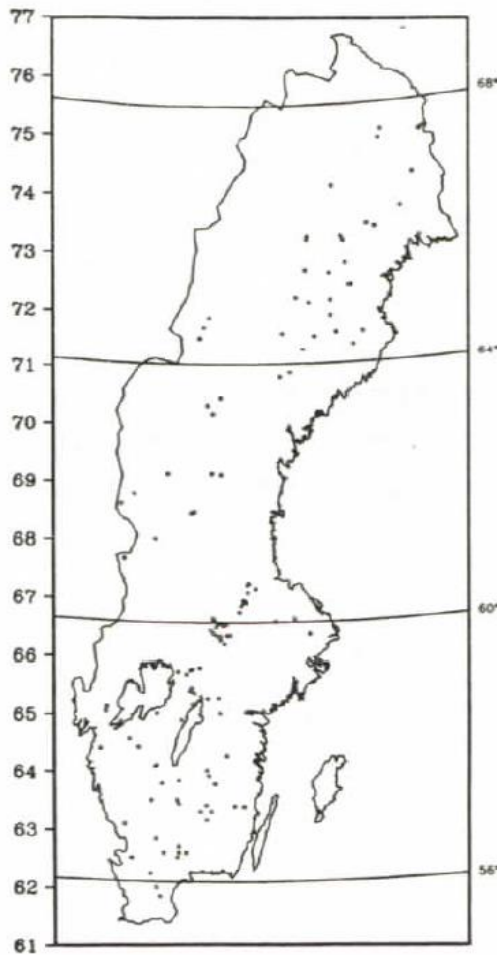
Taulukko 6 Repolan biomassamalleissa koivulle käytetyt parametrit (Repola 2008, 613)

	Runkopuu	Kuori	Elävät oksat	Lehdet	Kuolleet oksat
Kiinteät muuttujat					
$b_0$	-4,879	-5,401	-4,152	-29,566	-8,335
$b_1$	9,651	10,061	15,874	33,372	12,402
$b_2$	1,012	2,657	-4,407		
Satunnaiset muuttujat					
$u_{1k}$	0,00263				
$u_{2k}$	0,00001	0,01043			
$u_{3k}$	-0,00328	0,00732	0,02733		
$u_{4k}$	-0,03529	-0,04965	-0,04136		1,11490
$u_{6k}$				0,0000	
$e_{1ki}$	0,00544				
$e_{2ki}$	0,00434	0,04443			
$e_{3ki}$	0,00612	-0,00089	0,07662		
$e_{4ki}$	0,00573	-0,01302	-0,0523		2,6789
$e_{6ki}$				0,077	

## 2.6 Marklundin biomassamallit

### 2.6.1 Koepuuaineisto

Marklundin (1988, 5-7) biomassamallit perustuvat laajaan koepuuaineistoon, joka on kerätty kauttaaltaan ympäri Ruotsin 1980-luvun puolessa välissä (Kuvio 10). Mallit perustuvat yhteensä 1286 kaadetun puun tietoihin, ja niistä määritettyyn kuivapainoon. Mallit antavat puukohtaisen biomassan kilogrammoina ja ne on laadittu puulajikohtaisesti männylle, kuuselle ja koivulle.



Kuvio 10 Metsiköiden sijainti, mistä koepuuaineisto on kerätty Marklundin biomassamallien laatimiseksi (Marklund 1988, 7)

## 2.6.2 Mallien perusta

Marklundin mallit voidaan Håkanssonin ja Körlingin (2002, 20) mukaan tiivistää seuraavassa esitettävään perusyhtälöön (16):

$$\ln(y) = \text{vakio} + (\text{kerroin} \times x) \quad (16)$$

missä  $y$  on ns. riippuva muuttuja eli biomassa kilogrammoina.

$x$  on ns. itsenäinen muuttuja eli esimerkiksi rinnankorkeus-läpimitta tai pituus

Vakio ja kerroin saavat eri arvoja mallien välillä koska puulajit ovat toisistaan poikkeavia, ja puun eri osat ovat erimuotoisia. Muuttujilla on siis suuri merkitys lopputulokseen. Marklundin biomassamallit koivulle eivät ole yhtä pitkälle kehitettyjä kuin kuusen ja männyn mallit. Koivulle ei ole mallia kannolle ja juurille, mutta malli koivun lehdille puuttuu myös (Håkansson & Körling 2002, 20.)

Kärkkäinen ja Härkönen (2005, 25) toteavat myös, että Marklundilla ei ole mallia koivun lehdille. Tämän johdosta metsäsuunnitteluohjelma MELA:ssa koivun lehtien biomassa lasketaan männyn neulasten mallilla. Myös tässä tutkimuksessa käytetään koivun lehtien biomassan laskennassa Marklundin männyn neulasten mallia. Seuraavissa kappaleissa esitettävillä yhtälöillä 17 – 29 on laskettu tässä tutkimuksessa esitettävät tulokset.

## 2.6.3 Biomassamallit männylle Marklundin (1988, 22-31) mukaan

Runkopuu:

$$\ln(y) = 7,6066 \times \frac{d}{d+14} + 0,02 \times h + 0,8658 \times \ln(h) - 2,6864 \quad (17)$$

Kuori:

$$\ln(y) = 7,2482 \times \frac{d}{d+16} + 0,04487 \times \ln(h) - 3,2765 \quad (18)$$

Elävät oksat neulasineen:

$$\ln(y) = 13,3955 \times \frac{d}{d+10} + 1,1955 \times \ln(h) - 2,5413 \quad (19)$$

Kuolleet oksat:

$$\ln(y) = 7,1270 \times \frac{d}{d+10} + 0,0465 \times h + 1,1060 \times \ln(h) - 5,8926 \quad (20)$$

missä

$y$  on riippuva muuttuja

$d$  on puun rinnankorkeusläpimitta

$h$  on puun pituus

Muuttujien, kertoimien, ja vakioiden arvoiksi on sovellettu taulukossa 7 esitettyjä parametrialtioita.

Taulukko 7 Marklundin männyn biomassamallissa käytetyt parametrit (Marklund 1988, 22-31)

Riippuva muuttuja	ln(runkopuu)
Itsenäiset muuttujat	Kerroin
$d/(d+14)$	7,6066
$h$	0,02
$\ln(h)$	0,8658
Vakio	-2,6864

ln(kuori)	
Itsenäiset muuttujat	Kerroin
$d/(d+16)$	7,2482
$\ln(h)$	0,4487
Vakio	-3,2765

Riippuva muuttuja	ln(elävät oksat sis. neulas)
Itsenäiset muuttujat	Kerroin
$d/(d+10)$	13,3955
$\ln(h)$	1,1955
Vakio	-2,5413

Riippuva muuttuja	ln(kuolleet oksat)
Itsenäiset muuttujat	Kerroin
$d/(d+10)$	7,1270
$h$	-0,0465
$\ln(h)$	1,106
Vakio	-2,5413

#### 2.6.4 Biomassamallit kuuselle Marklundin (1988, 42-51) mukaan

Runkopuu:

$$\ln(y) = 7,2309 \times \frac{d}{d+14} + 0,0355 \times h + 0,703 \times \ln(h) - 2,3032 \quad (21)$$

Kuori:

$$\ln(y) = 8,3089 \times \frac{d}{d+15} + 0,0147 \times h + 0,2295 \times \ln(h) - 3,402 \quad (22)$$

Elävät oksat neulasineen:

$$\ln(y) = 10,9708 \times \frac{d}{d+13} - 0,0124 \times h - 0,4923 \times \ln(h) - 1,2063 \quad (23)$$

Kuolleet oksat:

$$\ln(y) = 3,6518 \times \frac{d}{d+18} + 0,0493 \times h + 1,0129 \times \ln(h) - 4,6351 \quad (24)$$

missä

$y$  on riippuva muuttuja

$d$  on puun rinnankorkeusläpimitta

$h$  on puun pituus

Muuttujien, kertoimien ja vakioiden arvoiksi on sovellettu taulukossa 8 esitettyjä parametriarvioita.

Taulukko 8 Marklundin kuusen biomassamallissa käytetyt parametrit.  
(Marklund 1988, 42-51)

<b>Riippuva muuttuja</b>	<b>ln(runkopuu)</b>
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+14)	7,2309
h	0,0355
ln(h)	0,703
<b>Vakio</b>	<b>-2,3032</b>

<b>Riippuva muuttuja</b>	<b>ln(kuori)</b>
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+15)	8,3089
h	0,0147
ln(h)	0,2295
<b>Vakio</b>	<b>3,4020</b>

<b>Riippuva muuttuja</b>	<b>ln(elävät oksat sis. neulaset)</b>
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+13)	10,9708
h	-0,0124
ln(h)	-0,4923
<b>Vakio</b>	<b>-1,2063</b>

<b>Riippuva muuttuja</b>	<b>ln(kuolleet oksat)</b>
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+18)	3,6518
h	0,0493
ln(h)	1,0129
<b>Vakio</b>	<b>-4,6351</b>

### 2.6.5 Biomassamallit koivulle Marklundin (1988, 61-68) mukaan

Runkopuu:

$$\ln(y) = 8,1184 \times \frac{d}{d+11} + 0,9783 \times \ln(h) - 3,3045 \quad (25)$$

Kuori:

$$\ln(y) = 8,3019 \times \frac{d}{d+14} + 0,7433 \times \ln(h) - 4,0788 \quad (26)$$

Elävät oksat ilman lehtiä:

$$\ln(y) = 10,2806 \times \frac{d}{d+10} - 3,3633 \quad (27)$$

Lehdet:

$$\ln(y) = 12,1095 \times \frac{d}{d+7} + 0,0413 \times h - 1,565 \times \ln(h) - 3,4781 \quad (28)$$

Kuolleet oksat:

$$\ln(y) = 11,2872 \times \frac{d}{d+30} - 0,3081 \times h + 2,6821 \times \ln(h) - 6,6237 \quad (29)$$

missä

$y$  on riippuva muuttuja

$d$  on puun rinnankorkeusläpimitta

$h$  on puun pituus

Muuttujien, kertoimien ja vakioiden arvoiksi on sovellettu taulukossa 9 esitettyjä parametrialrvoja.

Taulukko 9 Marklundin koivun biomassamallissa käytetyt parametrit.  
(Marklund 1988, 61-68)

<b>Riippuva muuttuja</b>	ln(runkopuu)
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+11)	8,1184
ln(h)	0,9783
<b>Vakio</b>	-3,3045

	ln(kuori)
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+14)	8,3019
ln(h)	0,7433
<b>Vakio</b>	-4,0778

<b>Riippuva muuttuja</b>	ln(elävät oksat)
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+10)	10,2806
<b>Vakio</b>	-3,3633

	ln(lehdet)
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+7)	12,1095
h	0,0413
ln(h)	-1,565
<b>Vakio</b>	-3,4781

	ln(kuolleet oksat)
<b>Itsenäiset muuttujat</b>	<b>Kerroin</b>
d/(d+30)	11,2872
h	-0,3081
ln(h)	2,6821
<b>Vakio</b>	-6,6237



## 2.7 Motti-ohjelmisto

Puuston mittausaineiston pohjalta lasketaan puustolle biomassatuotos myös Luke:ssa kehitetyllä Motti-ohjelmalla. Motilla voidaan kokeilla metsikölle erilaisia kasvatusmenetelmiä niiden vaikutusta metsän kehitykseen ja puuntuotokseen. Ohjelman kasvumallit perustuvat pitkän ajan kehitystyöhön; inventointi- sekä pysyviltä koealoilta kerättyyn mittausaineistoon. Mottia käytetään syöttämällä ensin kuvion sijaintipaikkakunta ja kasvupaikka (esim. kivennäismaa, tuore) sekä puustotiedot ja kasvatusohjelma (Metinfo – MOTTI.)

Tässä tutkimuksessa puuston kiertoaika simuloidaan ja esitetään päätehakkua-ajankohdan biomassatuotos, jonka ohjelma laskee siihen liitetyillä Repolan biomassamalleilla. Motista käytetään sen perusversiota, jossa tuotoksia lasketaan käyttäen metsikön keskitunnuksia eli pohjapinta-alaa sekä pohjapinta-alalla painotettua keskiläpimittaa että keskipituutta. Keskitunnukset on siis määritetty jokaiselle 27 koeruudulle erikseen.

## 3 TULOKSET

### 3.1 Esitystapa

Tulokset esitetään paikkakunnittain, puulajeittain ja menetelmittain. Päätulokset ovat hehtaarikohtaisina kilogrammoina, mutta ne esitetään myös hehtaarikohtaisina kuutiometreinä. Kilogrammat on muunnettu kuutiometreiksi jakamalla ne kuivatuoretiheyskertoimilla ( $\text{kg/m}^3$ ). Kuivatuoretiheyskertoimiksi on sovellettu motti-ohjelman käyttämiä kertoimia. Taulukossa 10 on esitetty tutkimuksessa käytetyn puustoaineiston pohjalta lasketut keskimääräiset kertoimet puulajeittain ja biomassasoitteittain.

Taulukko 10 Motin kuivatuoretiheyskertoimet

	<b>Runko + kuori</b>	<b>Elävät oksat</b>	<b>Elävät oksat + neulaset</b>	<b>Kuolleet oksat</b>	<b>Neulaset</b>
<b>Mänty</b>	290	400		500	400
<b>Kuusi</b>	320	500	445	495	400
<b>Koivu</b>	460	550		350	400

Petäjäveden tuloksista esitetään männyn ja kuusen osalta vaihtoehtoinen versio, jossa pääpuulajin lisäksi on laskettu mukaan myös luontaisesti syntyneet hies- ja rauduskoivut sekametsikkönä.

### 3.2 Mänty .

#### 3.2.1 Vilppula

Vilppulan jokaisella mäntyruudulla hehtaarikohtainen runkoluku oli 2000 runkoa/ha. Keskiläpimitta ruuduittain oli 11,3 cm, 12,3 cm ja 13,6 cm. Keskipituus vaihteli 7,8 m, 9,9 m ja 10,1 m välillä. Voidaan siis sanoa, että kyseessä oli varsin tasalaatuinen puusto. Repolan mallit antoivat koelakohtaiseksi kokonaisbiomas-

san määräksi 71700 kg/ha (Kuvio 11). Siitä runkopuun ja kuoren yhteenlaskettu määrä oli 49200 kg/ha. Latvusmassan osuus oli 22500 kg/ha. Marklundin mallien antava kokonaisbiomassa oli Vilppulassa noin 74000 kg/ha (Kuvio 12). Siitä runkopuuta ja kuorta oli 48900 kg/ha ja latvusmassaa 25100 kg/ha.

### 3.2.2 Petäjävesi

Petäjäveden männyn keskimääräisiä biomassoja alentaa merkittävästi yksi mäntykoeruutu, jossa pääpuulajin hehtaarikohtainen runkoluku on jäänyt 1200 kpl/ha:iin. Keskipituus kyseisellä ruudulla on 9,5 m ja keskiläpimitta 8,9 cm. Kahden muun mäntyruudun runkoluku on 2600 kpl/ha. Keskipituudet ovat 10,6 m ja 9,8 m ja keskiläpimitat ovat 12 cm ja 10,9 cm. Repolan malleilla saatiin hehtaarikohtaiseksi biomassaksi 63600 kg/ha. Siitä runkopuun ja kuoren osuus oli 47500 kg/ha ja latvusmassaa oli 16100 kg/ha. (Kuvio 11). Marklundin mallien tulos oli 62000 kg/ha koko maanpäälliselle biomassalle. Siitä runkopuun ja kuoren osuus oli 45800 kg/ha ja latvusmassan osuus 16200 kg/ha (Kuvio 12).

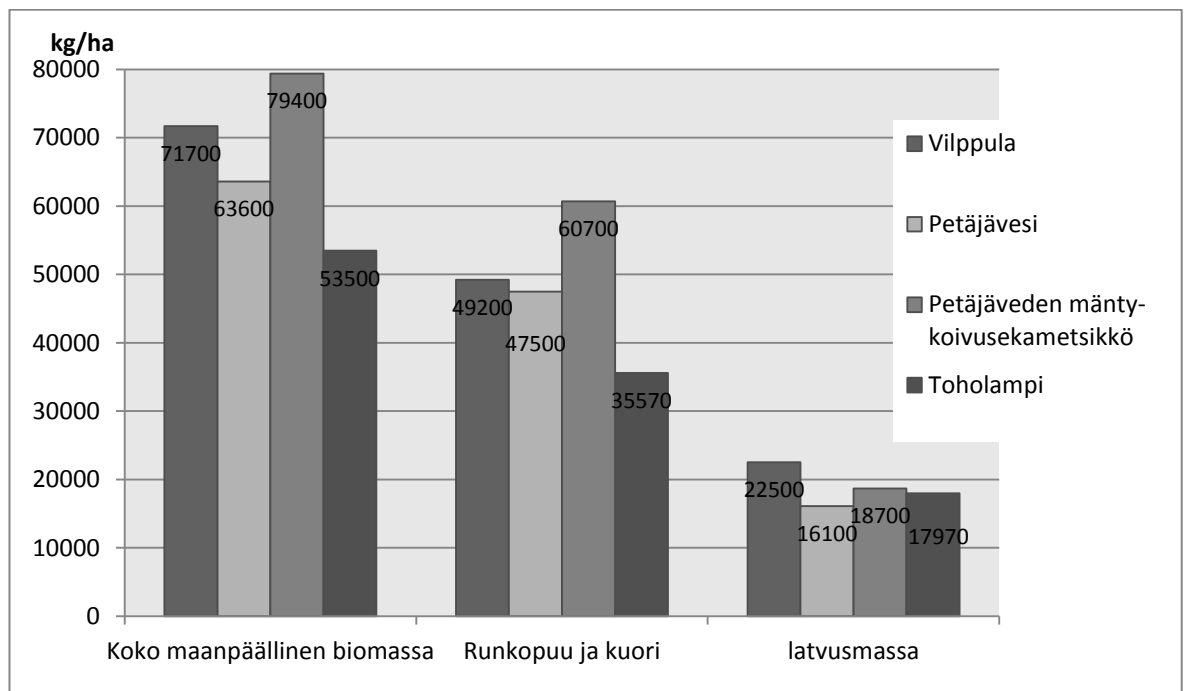
Kun Petäjäveden mäntyruuduilla lasketaan pääpuulajin männyn lisäksi luontaisesti syntyneet raudus- ja hieskoivut, saadaan koko maanpäällisen biomassan tulokseksi Repolan malleilla 79400 kg/ha. Runkopuuta ja kuorta oli 60700 kg/ha ja latvusmassaa 18700 kg/ha (Kuvio 11). Marklundin malleilla tuli kuvion 12 mukaan koko maanpäällisen biomassan määräksi 80000 kg/ha. Runkopuuta ja kuorta oli 59400 kg/ha ja latvusmassaa 20600 kg/ha. Laskentaan mukaan otetut koivut nosivat keskimääräistä hehtaarikohtaista runkolukua noin 400 rungolla per hehtaari. Koivujen keskiläpimitta oli noin 10 senttiä ja keskipituus oli noin 12,6 metriä.

### 3.2.3 Toholampi

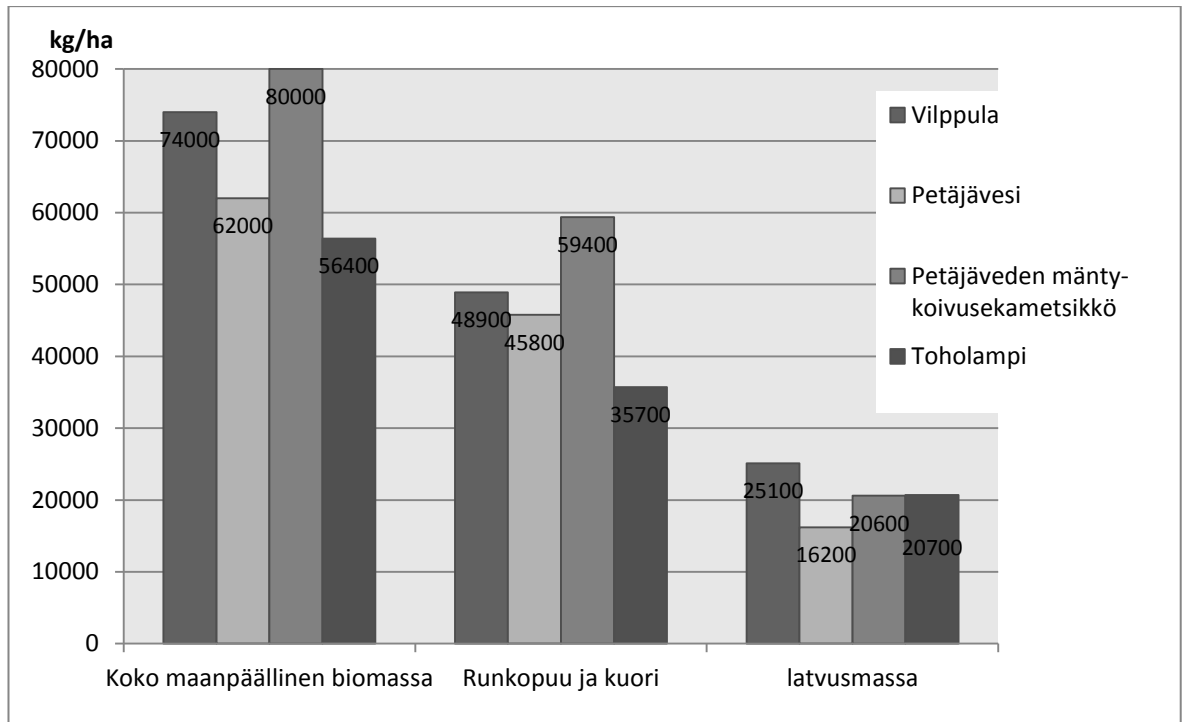
Toholammin mäntyruutujen hehtaarikohtaiset runkoluvut olivat 1400, 1800 ja 2000 kpl/ha. Silti ruutukohtaiset biomassat olivat aika tasaisia. Ruudulla, jossa puusto oli harvinta, oli se myös järeintä. Keskiläpimitta harvimmalla ruudulla oli 12,5 cm, ja keskipituus oli 9 metriä. Kahdella muulla mäntyruudulla keskiläpimitta oli keskimäärin noin 11 cm ja keskipituus noin 8 metriä. Keskimääräinen hehtaarikohtai-

nen biomassa männylle oli Repolan malleilla 53500 kg/ha. Runkopuun ja kuoren osuus oli 35570 kg/ha ja latvusmassan osuus oli 17970 kg/ha (Kuvio 11). Marklundin malleilla koko maanpäällinen biomassa oli 56400 kg/ha josta runkopuun ja kuoren osuus oli 35700 kg/ha ja latvusmassan osuus oli 20700 kg/ha (Kuvio 12).

Tarkempi männiköiden biomassojen ositteittainen jakauma paikkakunnittain sekä biomassat kuutiometreiksi muunnettuna esitetään Repolan malleilla laskettuna taulukossa 11, ja Marklundin malleilla laskettuna taulukossa 12.



Kuvio 11 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Repolan malleilla kg/ha



Kuvio 12 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty- koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Marklundin malleilla kg/ha

Taulukko 11 Männyn biomassat Repolan malleilla paikkakunnittain hehtaarikohtaisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä

	Vilppula		Petäjavesi		Petäjavesi sekametsä		Toholampi	
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
Koko maanpäällinen biomassa	71700	223,8	63600	204,5	79400	254,4	53500	166,0
Runkopuu	43340	169,5	42270	163,8	53660	209,3	31050	122,7
Kuori	5810		5220		7050		4520	
Elävät oksat	12700	31,8	9270	23,2	10200	25,5	10140	25,4
Neulaset	5760	14,4	4420	11,1	4920	12,3	4640	11,6
Kuolleet oksat	4080	8,2	3260	6,5	3620	7,2	3190	6,4

Taulukko 12 Männyn biomassat Marklundin malleilla paikkakunnittain hehtaarikoh-  
taisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä

	Vilppula		Petäjavesi		Petäjavesi sekametsä		Toholampi	
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
Koko maan- päällinen bio- massa	74000	230,2	62000	197,5	80000	235,7	56400	173,8
Runkopuu	43760	168,6	41240	158,1	53300	187,6	31740	123,0
Kuori	5130		4600		6140		3940	
Elävät oksat ja neulaset	22820	57,1	14110	35,3	18260	43,3	18940	47,4
Kuolleet oksat	2280	4,6	2090	4,2	2290	4,8	1730	3,5

### 3.3 Kuusi .

#### 3.3.1 Vilppula

Vilppulan kuusiruutujen hehtaarikohtainen runkoluku on keskimäärin runsaat 2300 kpl/ha. Ruutukohtaiset keskiläpimitat ovat 9,1, 8,7 ja 8,5 senttiä. Keskipituus oli kahdella ruudulla 7,6 m ja kolmannella 6,9 m. Vilppulan kuusiruudut ovat männiköiden tapaan varsin tasaisia toisiinsa nähden. Repolan malleilla saatiin koko maanpäällisen biomassan määräksi 48700 kg/ha. Siitä runkopuun ja kuoren osuus oli 27200 kg/ha ja latvusmassan osuus oli 21500 kg/ha (Kuvio 13). Marklundin mallit antoivat maanpäällisen biomassan tulokseksi 50000 kg/ha, josta runkopuuta ja kuorta oli 26650 kg/ha ja latvusmassaa 23460 kg/ha (Kuvio 14).

### 3.3.2 Petäjävesi

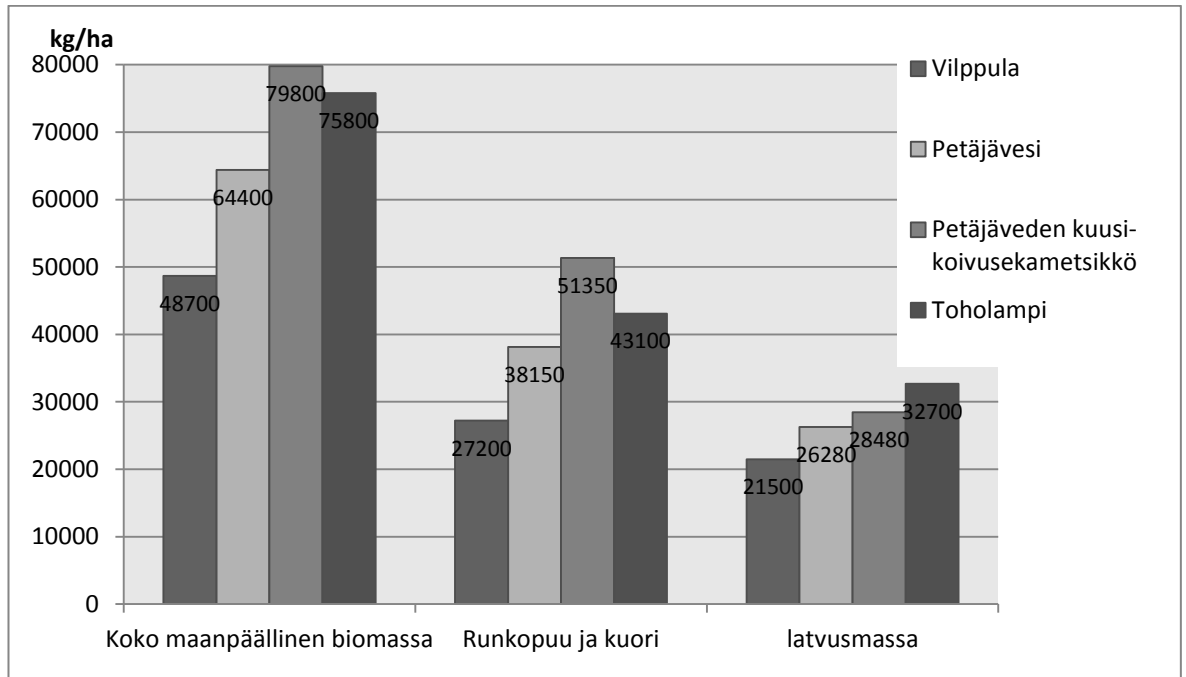
Petäjäveden kuusiruuduista kaksi ovat samankaltaisia. Runkoluvut niissä ovat 2400 ja 3000 kpl/ha. Keskiläpimitat ovat noin 11 senttimetriä ja keskipituudet ovat noin 10 metriä. Kolmannen ruudun runkoluku on 2600 kpl/ha, mutta puusto on jäänyt paljon pienemmäksi, mikä laskee paikkakuntokohtaista keskiarvoa. Keskiläpimita ko. ruudulla on vain 5,8 cm ja keskipituus 5,3 m. Koko maanpäällinen biomassa oli Repolan malleilla 64400 kg/ha. Runkopuuta ja kuorta oli kokonaisuudessaan 38150 kg/ha ja latvusmassaa 26280 kg/ha (Kuvio 13). Marklundin malleilla kokonaisbiomassa oli 65400 kg/ha ja siitä runkopuun ja kuoren osuus oli 38200 kg/ha ja latvusmassaa oli 27200 kg/ha (Kuvio 14).

Kun Petäjäveden kuusiruuduilla ottaa huomioon luontaisesti syntyneet hies- ja rauduskoivut, tuli Repolan malleilla koko maanpäällisen biomassan määräksi 79800 kg/ha. Siitä latvusmassan osuus oli 51350 kg/ha ja latvusmassaa oli 28480 kg/ha (Kuvio 13). Marklundin malleilla koko maanpäällinen biomassa oli 83300 kg/ha. Runkopuu ja kuori oli yhteensä 51570 kg/ha ja latvusmassa oli 31520 kg/ha (Kuvio 14). Koivujen mukaan ottaminen nosti keskimääräistä hehtaarikohtaista runkolukua tuhannella rungolla per hehtaari. Koivujen keskimääräinen läpimita oli 7,7 cm ja keskipituus oli 11,4 m. Biomassat jakautuvat tarkemmin ositteisiin sekä muuntuvat kuutiometreiksi taulukon 17 mukaan.

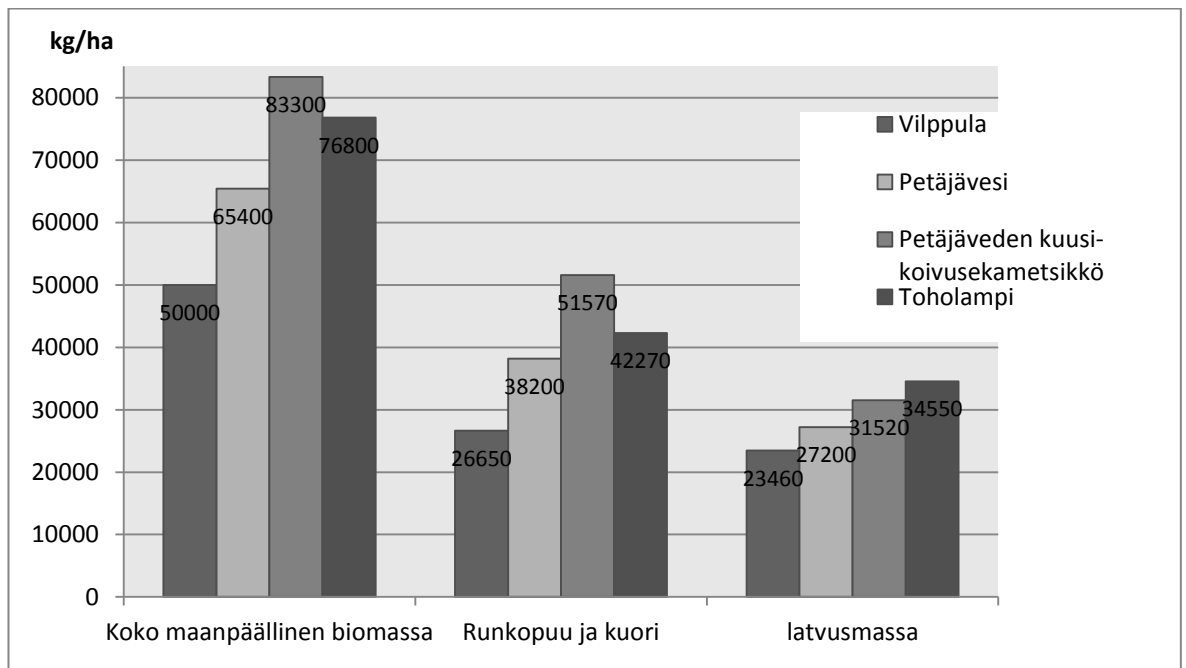
### 3.3.3 Toholampi

Toholammin kahden kuusiruudun hehtaarikohtainen runkoluku on 3200 kpl/ha, ja kolmannen 3600 kpl/ha. Keskiläpimitat ovat 7,5, 8, ja 9,9 senttiä. Keskipituudet ovat 7, 7,4 ja 8,3 metriä. Hehtaarikohtainen kokonaisbiomassa Repolan malleilla oli 75800 kg/ha. Runkopuuta ja kuorta oli 43100 kg/ha ja latvusmassaa 32700 kg/ha (Kuvio 13). Marklundin malleilla koko maanpäällinen biomassa oli 76800 kg/ha. Siitä runkopuuta ja kuorta oli 42270 kg/ha ja latvusmassaa 34550 kg/ha (Kuvio 14).

Tarkempi kuusikoiden biomassojen ositteittainen jakauma paikkakunnittain sekä biomassat kuutiometreiksi muunnettuna esitetään Repolan malleilla laskettuna taulukossa 13, ja Marklundin malleilla laskettuna taulukossa 14.



Kuvio 13 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi-koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Repolan malleilla kg/ha



Kuvio 14 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi-koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä Marklundin malleilla kg/ha



Taulukko 13 Kuusen biomassat Repolan malleilla paikkakunnittain hehtaarikohtaisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä

	Vilppula		Petäjävesi		Petäjävesi sekametsä		Toholampi	
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
Koko maanpäällinen biomassa	48700	131,8	64400	176,2	79800	209,4	53500	149,5
Runkopuu	23560	85,0	33420	119,3	44750	147,9	31050	111,2
Kuori	3640		4740		6610		4520	
Elävät oksat	8610	17,2	9910	19,8	10200	22,4	10140	20,3
Neulaset	7330	18,3	8560	21,4	8970	22,4	4640	11,6
Kuolleet oksat	5560	11,2	7810	15,8	8140	16,7	3190	6,4

Taulukko 14 Kuusen biomassat Marklundin malleilla paikkakunnittain hehtaarikohtaisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä

	Vilppula		Petäjävesi		Petäjävesi sekametsä		Toholampi	
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
Koko maanpäällinen biomassa	50000	135,6	65400	180,1	83300	218,2	76800	209,4
Runkopuu	23220	83,0	33860	119,3	46100	148,8	37180	132,1
Kuori	3330		4330		5650		5090	
Elävät oksat ja neulaset	22600	50,8	25900	58,2	29960	66,0	33180	74,6
Kuolleet oksat	900	1,8	1280	2,6	1560	3,4	1380	2,8

### **3.4 Koivu .**

#### **3.4.1 Vilppula**

Vilppulan koivuruutujen hehtaariohtaiset runkoluvut olivat 2000, 2200 ja 2400 kpl/ha. Keskiläpimitat olivat 9,3, 9,7 ja 11,7 senttiä ja keskipituudet olivat 12,3, 14,1 ja 14,2 metriä. Koko maanpäällisen biomassan tulokseksi tuli Repolan malleilla 74000 kg/ha. Siitä runkopuuta ja kuorta oli 63400 kg/ha ja latvusmassaa 10600 kg/ha (Kuvio 15). Marklundin malleilla tulokseksi tuli 83000 kg/ha. Siitä runkopuun ja kuoren osuus oli 63900 kg/ha ja latvusmassaa oli 16300 kg/ha (Kuvio 16).

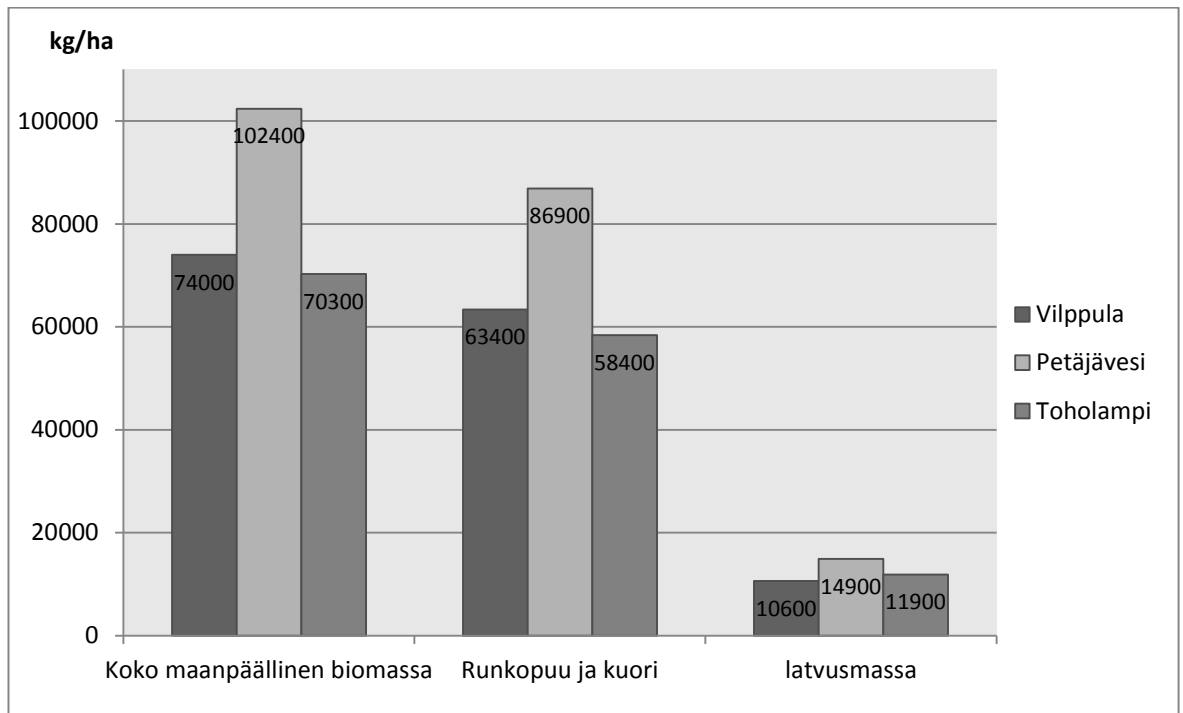
#### **3.4.2 Petäjävesi**

Petäjäveden kahden koivuruudun hehtaariohtainen runkoluku on 2000 kpl/ha ja kolmannen 1800 kpl/ha. Keskiläpimitat ovat 11,8, 12,2 ja 13,2 cm. Keskipituus on aika tasaisesti noin 15 metriä. Repolan malleilla tuli maanpäälliseksi kokonaisbiomassaksi 102400 kg. Runkopuun ja kuoren osuus oli 86900 kg/ha ja latvusmassaa oli 14900 kg/ha (Kuvio 15). Marklundin malleilla koko maanpäällinen biomassa oli 112800 kg/ha (Kuvio 15). Runkopuuta ja kuorta oli 86700 kg/ha ja latvusmassaa 26100 kg/ha.

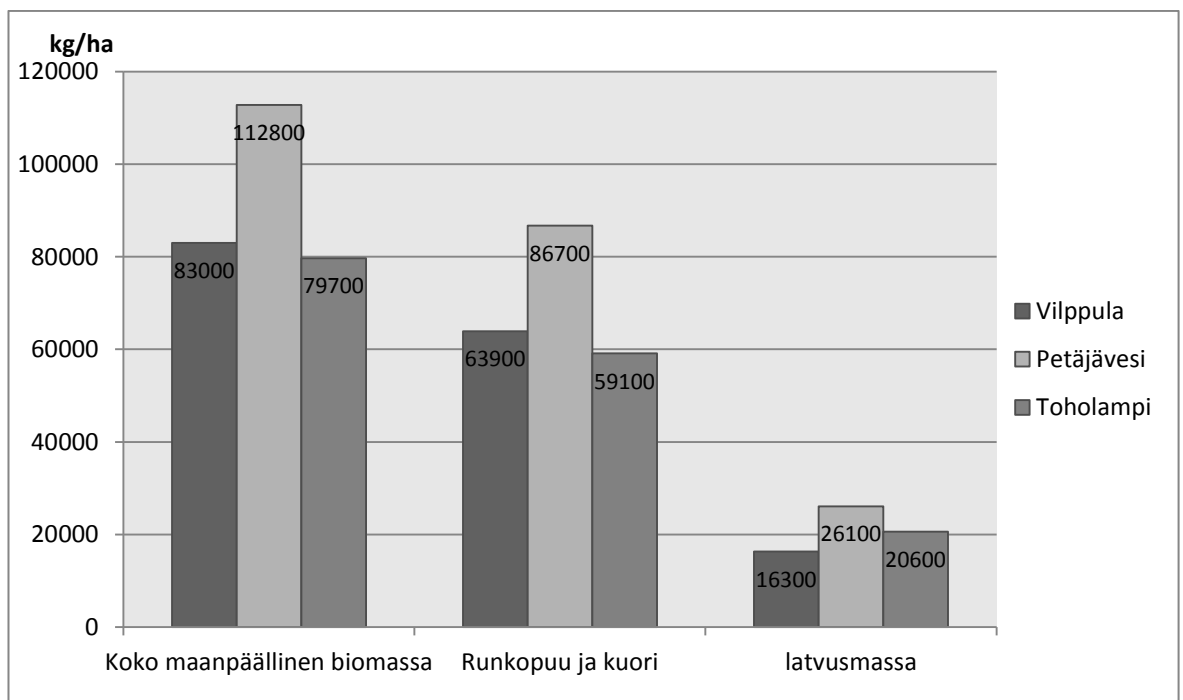
#### **3.4.3 Toholampi**

Toholammin koivuruutujen ruutukohtaiset keskimääräiset runkoluvut olivat 2400, 2800 ja 3000 kpl/ha. Keskiläpimitat olivat tasaisesti reilut 9 senttiä ja keskipituudet reilut 11 metriä. Koko maanpäälliseksi biomassaksi Repolan malleilla tuli 70300 kg/ha (Kuvio 14). Runkopuuta ja kuorta oli 58400 kg/ha ja latvusmassaa 11900 kg/ha. Marklundin malleilla koko maanpäälliseksi biomassaksi tuli 79700 kg/ha. Runkopuuta ja kuorta oli 59100 kg/ha ja latvusmassaa 20600 kg/ha (Kuvio 16). Tarkempi koivikoiden biomassojen ositteittainen jakauma paikkakunnittain sekä

biomassat kuutiometreiksi muunnettuna esitetään Repolan malleilla laskettuna taulukossa 15, ja Marklundin malleilla laskettuna taulukossa 16.



Kuvio 15 Koivun biomassa paikkakunnittain Repolan malleilla kg/ha



Kuvio 16 Koivun biomassa paikkakunnittain Marklundin malleilla kg/ha

Taulukko 15 Koivun biomassat Repolan malleilla paikkakunnittain hehtaariohtaisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä

	Vilppula		Petäjavesi		Toholampi	
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
Koko maanpäällinen biomassa	74000	160,4	102400	234,1	70300	151,8
Runkopuu	54770	137,9	75230	188,9	50080	126,9
Kuori	8680		11680		8310	
Elävät oksat	6910	12,6	10150	18,5	8080	14,7
Lehdet	2190	5,5	3140	7,9	2240	5,6
Kuolleet oksat	1550	4,4	6590	18,8	1610	4,6

Taulukko 16 Koivun biomassat Marklundin malleilla paikkakunnittain hehtaariohtaisina kilogrammoina sekä kuutiometreinä

	Vilppula		Petäjavesi		Toholampi	
	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>
Koko maanpäällinen biomassa	83000	181,5	112800	239,6	79700	169,5
Runkopuu	58220	138,8	79280	188,6	53620	128,5
Kuori	5650		7470		5470	
Elävät oksat	15390	28,0	21200	38,5	16050	29,2
Lehdet	2900	7,3	3870	9,7	3460	8,7
Kuolleet oksat	2580	7,4	990	2,8	1140	3,3

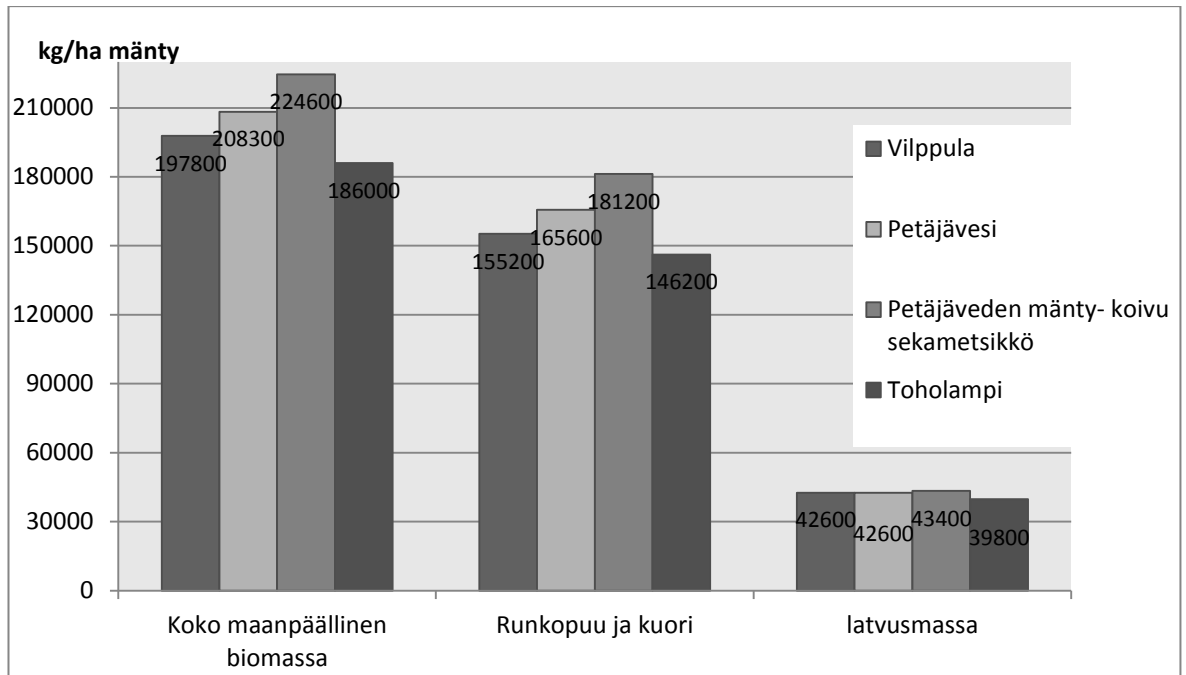
### 3.5 Puuston kiertoajan simulointi Motti-ohjelmalla

#### 3.5.1 Mänty

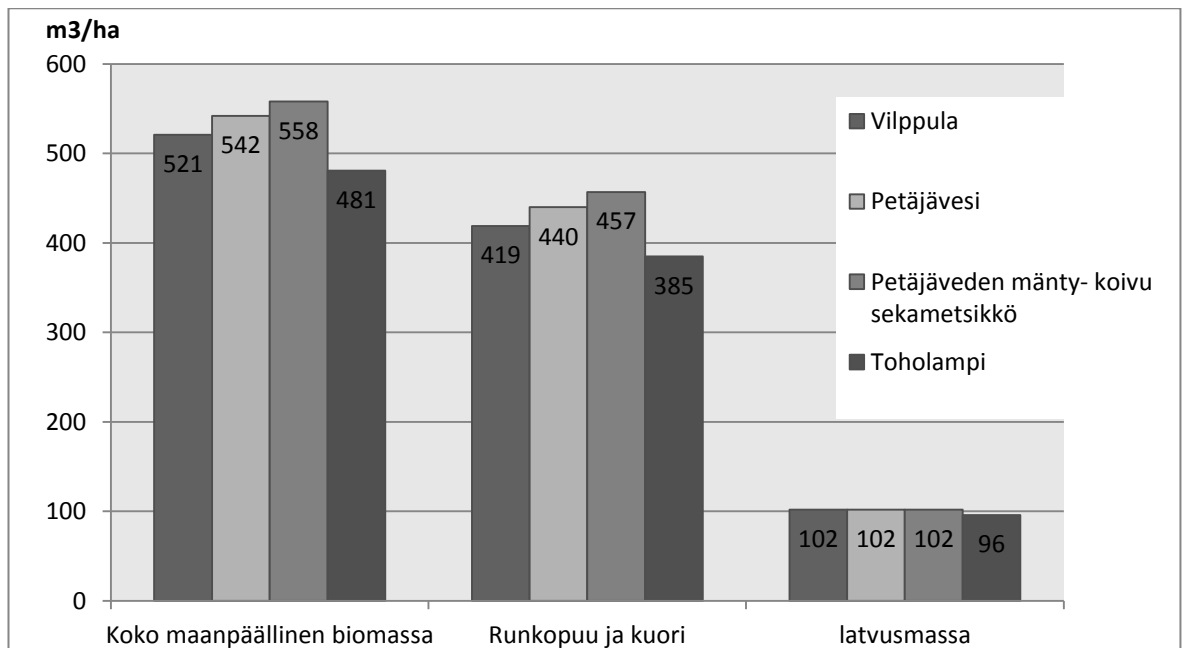
Puuston kiertoajan biomassatuotos simuloitiin käyttäen kasvatusohjelmalla hyvän metsänhoidon mukaista kasvatusta. Ohjelma teki pääsääntöisesti kolme harvennusta ja päätehakkuun. Päätehakkuikä vaihteli jonkun verran koeruuduittain. Iästä sekä biomassatuotoksesta on laskettu keskiarvot paikkakunnittain sekä puulaajeittain. Tulokset esitetään pylväskaavioina sekä hehtaarikohtaisina kilogrammoina että kuutiometreinä.

Vilppulan männiköt Motti päätehakkasi keskimäärin 54 vuoden, Petäjävedellä 66 vuoden ja Toholammilla 72 vuoden iässä. Vilppulan männiköt tuottivat biomassaa 197800 kg/ha (Kuvio 17). Se on kuutiometreinä 521 m<sup>3</sup>/ha (Kuvio 18). Kokonaisuudesta runkokuun ja kuoren osuus on 165600 kg/ha, joka on kuutiometreinä 419 m<sup>3</sup>/ha. Latvusmassaa oli 39800 kg/ha eli 102 m<sup>3</sup>/ha. Petäjäveden kokonaisbiomassa oli 208300 kg/ha (542 m<sup>3</sup>/ha). Runkokuun ja kuoren osuus oli 165600 kg/ha (440 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassaa oli 42600 kg/ha (102 m<sup>3</sup>/ha). Toholammin männiköiden koko maanpäällinen biomassa oli 186000 kg/ha (481 m<sup>3</sup>/ha), siitä runkokuuta ja kuorta oli 146200 kg/ha (385 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassaa 39800 kg/ha (96 m<sup>3</sup>/ha).

Petäjäveden sekametsiköiden osalta Motti antoi mänty-koivusekametsiköille koko maanpäällisen biomassan tulokseksi 224600 kg/ha, mikä on kuutiometreinä 558 m<sup>3</sup>/ha. Runkokuuta ja kuorta oli 181200 kg/ha (457 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassaa oli 43400 kg/ha (102 m<sup>3</sup>/ha). Mänty-koivuruutujen keskimääräinen päätehakkuikä oli 68 vuotta.



Kuvio 17 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty-koivusekametsikön biomassa Petäjäviedellä kiertoajan lopussa kg/ha

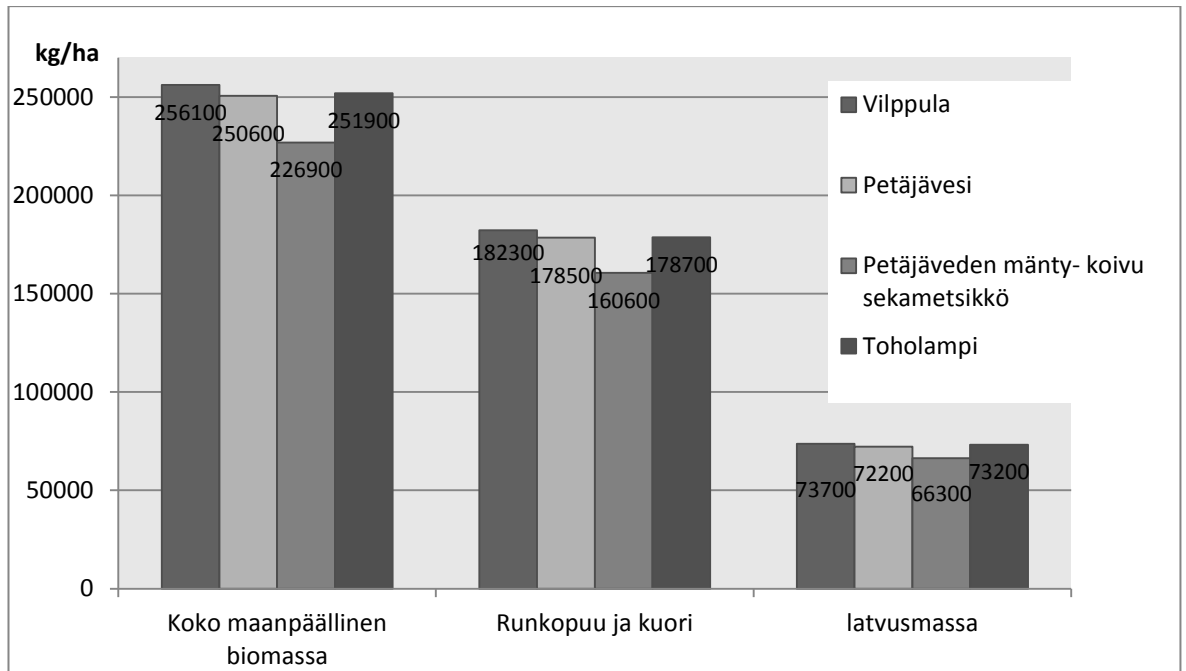


Kuvio 18 Männyn biomassa paikkakunnittain sekä mänty-koivusekametsikön biomassa Petäjäviedellä kiertoajan lopussa m³/ha

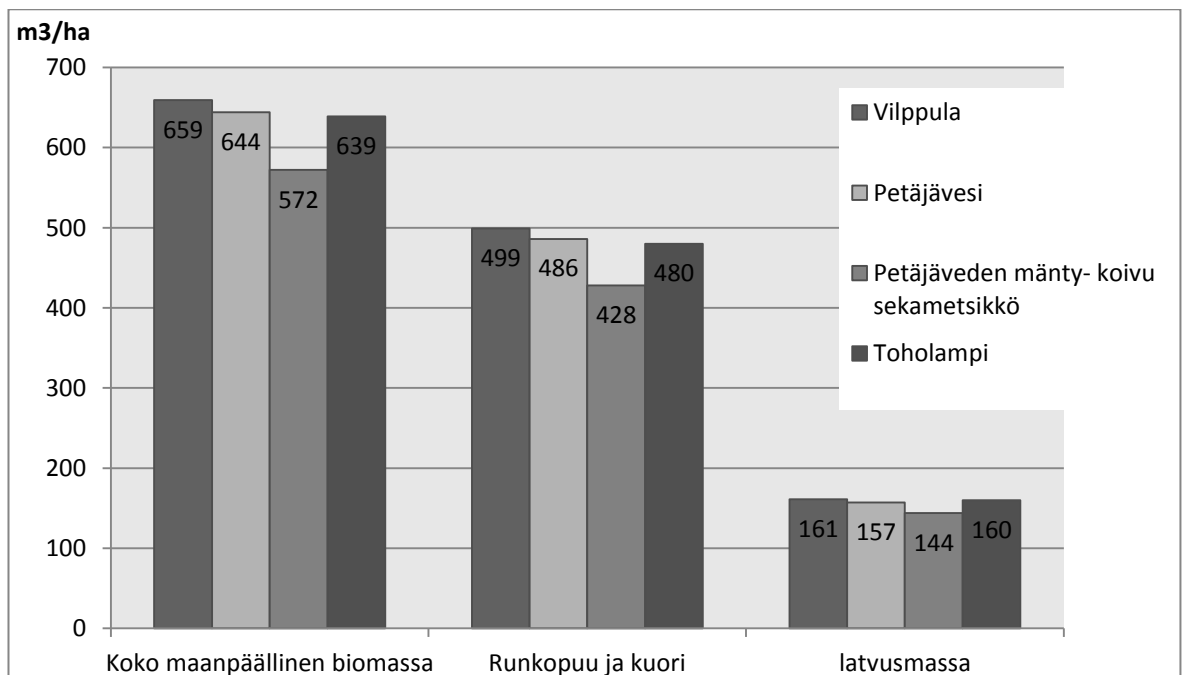
### 3.5.2 Kuusi

Vilppulassa Motti teki päätehakkuun kuusikoille keskimäärin 62 vuoden, Petäjäviedellä 65 vuoden, ja Toholammilla 73 vuoden iässä. Vilppulan kuusikoiden koko maanpäällinen biomassa oli 256100 kg/ha (Kuvio 19), joka on kuutiometreinä 659 m<sup>3</sup>/ha (Kuvio 20). Runkopuun ja kuoren määrä oli 178500 kg/ha (486 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassan määrä oli 73700 kg/ha (161 m<sup>3</sup>/ha). Petäjäviedon kuusikoiden kokonaisbiomassa oli 250600 kg/ha (644 m<sup>3</sup>/ha). Runkopuuta ja kuorta oli 178500 kg/ha (486 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassaa 72200 kg/ha (157 m<sup>3</sup>/ha). Toholammin vastaavat luvut olivat kokonaismäärän osalta 251900 kg/ha (639 m<sup>3</sup>/ha). Runkopuun ja kuoren määrä oli 178700 kg/ha (480 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassaa oli 73200 kg/ha (160 m<sup>3</sup>/ha).

Kuusi-koivusekametsiköt Motti päätehakkasi keskikäärin 56 vuoden ikäisinä. Koko maanpäällisen biomassan tulos oli 226900 kg/ha, joka on kuutiometreinä 572 m<sup>3</sup>/ha. Runkopuuta ja kuorta oli 160600 kg/ha (428 m<sup>3</sup>/ha), ja latvusmassaa oli 66300 kg/ha (144 m<sup>3</sup>/ha).



Kuvio 19 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi-koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä kiertoajan lopussa kg/ha

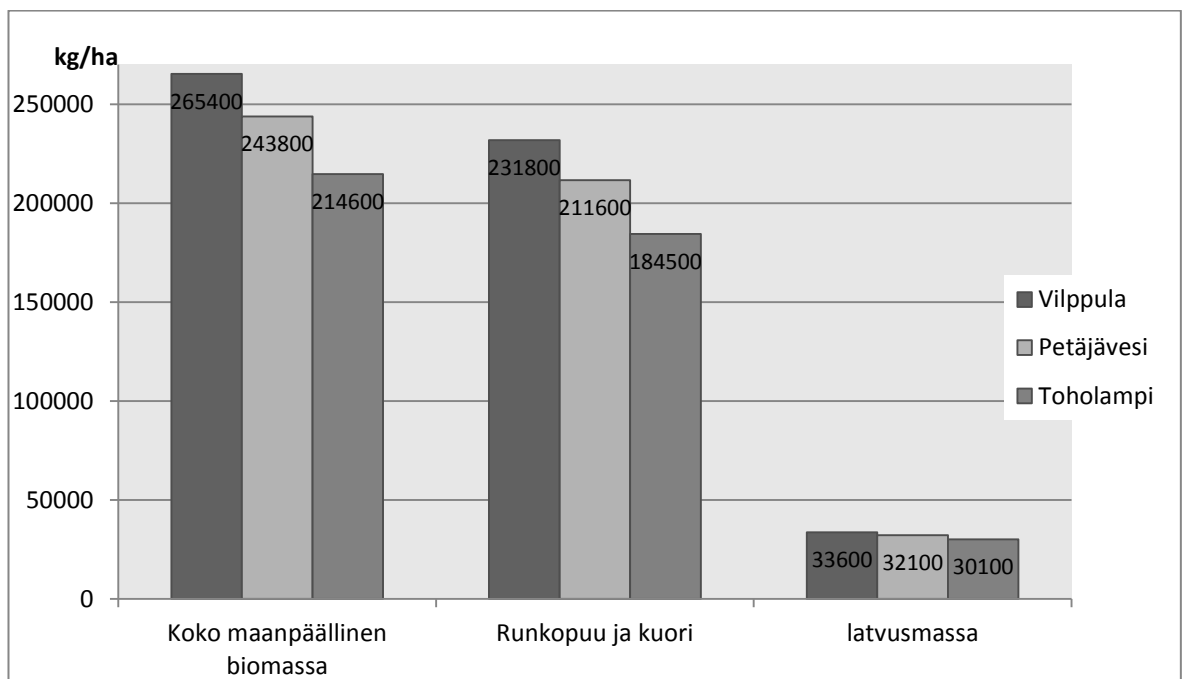


Kuvio 20 Kuusen biomassa paikkakunnittain sekä kuusi-koivusekametsikön biomassa Petäjävedellä kiertoajan lopussa m³/ha

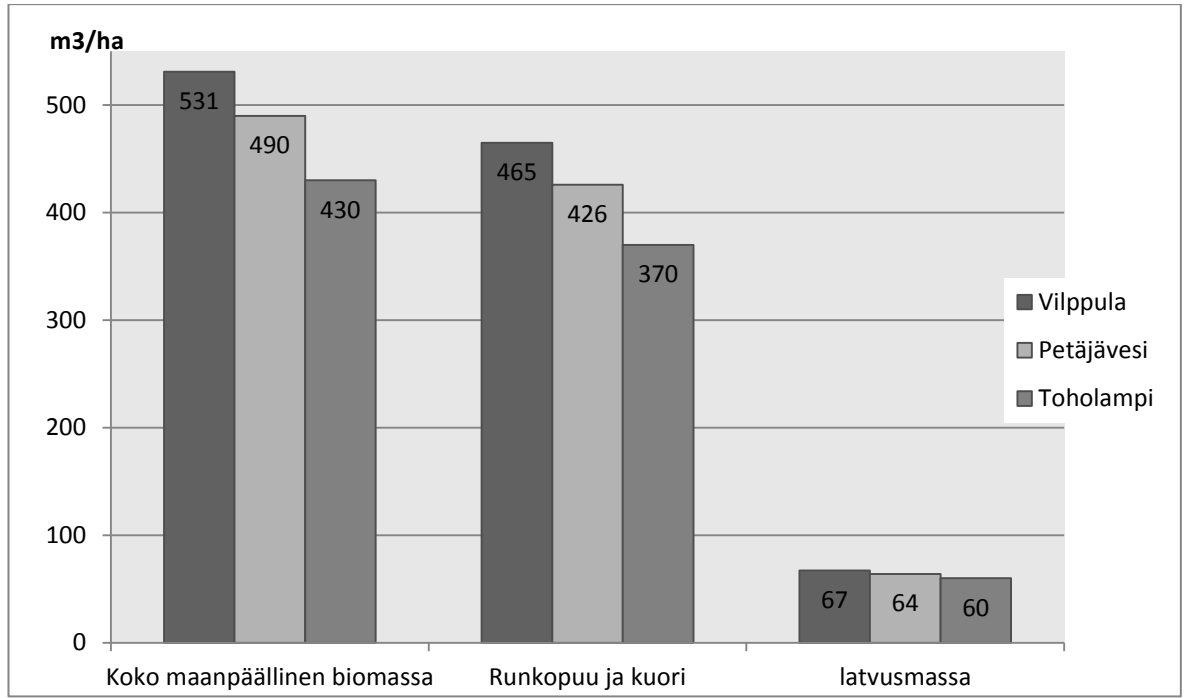


### 3.5.3 Koivu

Koivikot motti päätehakkasi poikkeuksetta 65 vuoden iässä. Vilppulassa koivikoiden kokonaisbiomassa oli 265400 kg/ha (Kuvio 21), mikä on kuutiometreinä 531 m<sup>3</sup>/ha (Kuvio 22). Kokonaismäärästä runkopuuta ja kuorta oli 231800 kg/ha (465 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassaa 33600 m<sup>3</sup>/ha (67 m<sup>3</sup>/ha). Petäjäveden koivikoiden kokonaisbiomassa oli 243800 kg/ha (490 m<sup>3</sup>/ha). Kuorellisen runkopuun määrä oli 211600 kg/ha (426 m<sup>3</sup>/ha) ja latvusmassan 32100 kg/ha (64 m<sup>3</sup>/ha). Toholammin koivikoiden koko maanpäällinen biomassa oli 214600 kg/ha (430 m<sup>3</sup>/ha). Runkopuuta ja kuorta oli 184500 kg/ha ja latvusmassan määrä oli 30100 kg/ha (60 m<sup>3</sup>/ha).



Kuvio 21 Koivun biomassatuotos kiertoajan lopussa paikkakunnittain kg/ha



Kuvio 22 Koivun biomassatuotos kiertoajan lopussa paikkakunnittain m<sup>3</sup>/ha

## 4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen päämääränä oli selvittää miten entiselle maatalouskäytössä olleelle peltomaalle perustettu metsä tuottaa biomassaa. Metsiköt olivat Luonnonvarakeskuksen toimesta kolmelle eri paikkakunnalle istutettuja koemetsiköitä. Metsiköt olivat tasaikäisiä ja varsin tasalaatuisia pääsääntöisesti yhden puulajin metsiköitä. Poikkeuksena Petäjaveden havupuukuviot, minne oli pääpuulajin lisäksi syntynyt luontaisesti hies- ja rauduskoivua. Muutamalle yksittäiselle koealalle oli mitattuna yksittäisiä luontaisia koivuja tai kuusia, jotka jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Biomassamallit olivat yllättävän työläitä ja aikaa vievää käyttää Excel-ympäristössä. Tutkimuksen puuaineisto sisälsi 27 mitattua ympyräkoealaa ja yhteensä 733 puuta. Biomassatuotos laskettiin siis kolmella eri menetelmällä jokaisen 27 koealan puustolle erikseen. Biomassamalleilla laskettu männyn koko maanpäällinen biomassatuotos oli keskimäärin Vilppulassa noin 73000 kg/ha, Petäjävedellä 63000 kg/ha ja Toholammilla 55000 kg/ha. Kuusen tuotokset olivat Vilppulassa noin 49000 kg/ha, Petäjävedellä 65000 kg/ha ja Toholammilla 76000 kg/ha. Koivun tuotokset olivat Vilppulassa noin 79000 kg/ha, Petäjävedellä 108000 kg/ha ja Toholammilla 75000 kg/ha.

Tuloksista on havaittavissa tiettyjä toistuvia eroavaisuuksia Repolan ja Marklundin mallien välillä. Marklundin mallit antoivat jokaisen puulajin kohdalla jokaisella paikkakunnalla hieman suuremman tuloksen kokonaisbiomassalle. Männyn ja kuusen kohdalla kokonaisbiomassan ero on hyvin pieni, vain muutaman kuutiometrin luokkaa, mutta koivun tuloksissa oli enimmillään ero yli 20 m<sup>3</sup>. Runkopuun ja kuoren osalta Repolan mallit antoivat havupuiden tuloksissa suurimmassa osassa tapauksia hieman suuremman tai lähes saman tuloksen kuin Marklund, mutta koivun tuloksissa Marklundin mallit antoivat aina suuremman tuloksen. Latvusmassaa Marklundin mallit antoivat kaikissa tapauksissa aina enemmän kuin Repolan mallit. Vilppulassa ja Toholammilla latvusmassan määrä oli kaksinkertainen, Petäjävedellä ero oli hieman pienempi.

Marklundin koivun malleissa ei ollut mallia koivun lehdille, vaan ne laskettiin männyn neulasten mallilla. Jos koivun lehtien laskenta olisi jätetty Marklundista kokonaan pois ja oletettu niiden sisältyvän eläviin oksiin ero olisi kaventunut, mutta ei

mitenkään merkittävästi. Keskimäärin noin kolme ja puoli tuhatta kiloa per hehtaari eli vajaa 9 m<sup>3</sup>. Toisaalta Marklundin mallit antoivat kuolleille oksille aina pienemmän tuloksen kuin Repola.

Kun Petäjäveden mäntymetsiköihin laskettiin mukaan luontaisesti syntyneet koivut, biomassatuotokseksi tulia malleilla 20000 kg/ha eli noin 30 m<sup>3</sup>/ha. Mänty-koivusekametsiköistä Marklundin malleilla saatu kokonaisbiomassatuotos nousi korkeammaksi kuin Repolan malleilla. Eron tekee koivun latvusmassan suurempi määrä sekä kuorellisen runkopuun tulosten tasoittuminen. Kuusi-koivusekametsiköt tuovat lisäystä kokonaisbiomassatuotokseen noin 25 – 30 m<sup>3</sup>/ha menetelmästä riippuen, verrattuna vain pääpuulajin mukaan laskettuihin tuloksiin

Puulajien biomassatuotosten paikkakuntaakohtaisista eroista mänty antoi parhaan tuotoksen Vilppulassa. Menetelmästä riippuen tuotos oli noin 220 m<sup>3</sup>/ha. Petäjävedellä männiköiden tuotos oli noin 200 m<sup>3</sup>/ha ja Toholammilla selvästi pienin, noin reilut 160 m<sup>3</sup>/ha. Toholammin pienempää tuotosta selittää osaltaan selvästi pohjoisempi sijainti Keski-Pohjanmaalla. Vilppulan ja Petäjäveden välimatka pohjois-etelä suunnassa ei ole kuin joitakin kymmeniä kilometrejä. Vilppulan ja Petäjäveden metsien maaperä oli painottunut hiekkamaiksi, kun taas Toholammilla maaperä oli hienojakoisempaa, enimmäkseen hienojakoista savea ja silttiä. Kuten aiemmin todettu, mänty viihtyy parhaiten karuilla ja karkeilla moreeni- ja hiekkamaille eikä niinkään hienojakoisilla mailla. Savimaat Toholammilla saattavat selittää omalta osaltaan myös heikompaa männyn biomassatuotosta. Kun katsotaan liitteestä 9 paikkakuntien eri puulajien ruutukohtaisia biomassoja, huomataan, että Petäjäveden yksi mäntyruutu on pahoin jäänyt runkoluvussa muista jälkeen, ja alentaa näin huomattavasti keskiarvoja. Jos tuo puustoltaan harvemmaksi jäänyt ruutu jätettäisiin pois, tulisi biomassatuotokseksi noin 260 m<sup>3</sup>/ha. Petäjäveden mäntyruuduille voisi tulla kysymykseen metsänkasvatuksellisesti, että harvimmalle ruudulle jätettäisiin luontaisia koivuja paikkaamaan kuolleiden männyntaimien jättämiä aukkoja. Tiheimmiltä ruuduilta koivut pääsääntöisesti kaadettaisiin pois, mikäli niistä on haittaa pääpuulajin menestymiselle.

Kuusen osalta tulos on paikkakuntaakohtaisesti päinvastainen. Toholammin savimailla kuusen biomassatuotos oli lähes 210 m<sup>3</sup>/ha. Petäjävedellä tuotos oli noin 180 m<sup>3</sup>/ha ja Vilppulassa vain 130 m<sup>3</sup>/ha. Aiemmin todettiin, että kuusi ei sovellu

kasvatettavaksi savimaille, ja kasvu voi tyrehtyä 40 vuoden iässä. Tuloksista voidaan nähdä, että ainakin vielä 18 vuoden ikäinen kuusikko kasvaa hyvin savimaille eteläisempiin hiekkamaihin verrattuna. Kun männyn tapaan tarkastellaan ruutu-kohtaisia biomassoja, huomataan että yhden Petäjäveden kuusiruudun biomassatuotos pääpuulajin mukaan on selvästi heikompi kuin kahdella muulla ruudulla. Heikomman ruudun kuusten runkoluku on kyllä korkea (2600 kpl/ha), mutta puiden koko on jäänyt selvästi pienemmäksi. Voisi olettaa, että kuuset ovat jääneet luontaisen koivikon alle juromaan. Jos Petäjäveden kuusiruuduista laskettaisiin keskimääräinen biomassatuotos mäntyruutujen tapaan vain kahden parhaan ruudun mukaan, tulisi kokonaisbiomassatuotokseksi noin 230 m<sup>3</sup>/ha.

Koivun tuloksissa Petäjävesi on ylitse muiden 240 m<sup>3</sup>/ha tuotoksellaan. Vilppula ja Toholampi tulevat perässä noin 160 – 170 m<sup>3</sup>/ha tuotoksella. Rauduskoivun kasvupaikkavaatimukset ovat kuusen kaltaiset; se ei viihdy hienojakoisilla mailla. Petäjäveden palstan maalajeista kaksi kolmasosaa oli hiekkaa, joten se näyttäisi antaneen rauduskoivulle oivan kasvupotentiaalin.

Kuusi tuottaa puulajeista eniten latvusmassaa. Keskimääräinen latvusmassan määrä suhteessa kokonaisbiomassaan oli molemmilla biomassamalleilla 47 %. Männyn keskimääräinen latvusmassa suhteessa kokonaisbiomassaan oli Repolan malleilla 30 % ja Marklundin malleilla 32 %. Koivun latvusmassa suhteessa kokonaisbiomassaan oli Repolan malleilla 15 % ja Marklundin malleilla 23 %.

Puuston koko kiertoajan simulointi onnistui Motilla helposti. Mottiin on ohjelmoituna Repolan biomassamallit, joten Motin pitäisi antaa samoja tuloksia esimerkiksi tämänhetkisestä biomassatuotoksesta kuin Excelillä laskien. Näin ei kuitenkaan ollut, vaan motin antama kokonaistuotos saattaa erota jopa 10000 kg/ha tai enemmänkin Excelillä lasketuista tuloksista. Syy tulosten poikkeamiseen on selvitettävä. Motilla laskemiini tuloksiin kannattaa siis suhtautua pienellä varauksella. Näyttäisi siltä, että ne antavat melko optimistisia tuloksia kiertoajan päätteeksi. Motti antoi suurimman biomassatuotoksen männylle Petäjävedellä puuston ollessa 66 vuoden ikäinen. Biomassaa kertyy 28300 kg/ha (542 m<sup>3</sup>/ha), ja siitä on kuorellisen runkopuun osuus 165600 kg/ha (440 m<sup>3</sup>/ha). Kuitenkin suurin keskimääräinen vuosittainen biomassan määrän kasvu olisi Vilppulassa 3700 kg/ha/v (9,6 m<sup>3</sup>/ha/v), kun se Petäjävedellä jäi 3200 kg/ha/v (8,2 m<sup>3</sup>/ha/v) ja Toholammilla 2600 kg/ha/v (6,7

$\text{m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ). Huomionarvoista on, että motti antaa latvusmassan tuotokseksi joka paikkakunnalla noin  $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Kuusen osalta tulokset ovat paljon tasaisempia, sillä kokonaistuotos on kaikilla paikkakunnilla noin kuuden ja puolensadan kuutiometrin luokkaa per hehtaari, ja latvusmassaa olisi tuosta määrästä taas joka palsalla lähes sama määrä eli noin  $160 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Vuotuinen biomassan kasvu oli Vilppulassa  $4100 \text{ kg}/\text{ha}$  ( $10,6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ), Petäjävedellä  $3900 \text{ kg}/\text{ha}/\text{v}$  ( $9,9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ) ja Toholammilla  $3500 \text{ kg}/\text{ha}/\text{v}$  ( $8,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ). Koivun vuosittaiset biomassan kasvut ovat kuusen luokkaa. Vilppulassa  $4100 \text{ kg}/\text{ha}/\text{v}$  ( $8,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ), Petäjävedellä  $3800 \text{ kg}/\text{ha}/\text{v}$  ( $7,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ) ja Toholammilla  $3300 \text{ kg}/\text{ha}/\text{v}$  ( $6,6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ ).

Biomassamalleilla saadaan helposti ja nopeasti tietylle metsikölle laskettua suuntaa antava biomassan määrä vaikka hakkuita suunnitellessa. Helppoimmillaan se onnistuu vain puuston läpimitat ja pituudet mittaamalla. Kuitenkin vain läpimitaan ja pituuteen perustuvat mallit ovat aika epätarkkoja ja tulokset voivat heitellä paljonkin. Tarkempia tuloksia saa käyttämällä Repolan laajempia biomassamalleja, mutta se edellyttää enemmän maastomittauksia.

## LÄHTEET

- Aarnio, J & Rantala T. 1999. Peltojen luontaisen metsityksen yksityistaloudellinen kannattavuus. Julkaisussa: Metsätieteen aikakauskirja 1/1999: 25 – 37. [Verkkojulkaisu] Metsäntutkimuslaitos [Viitattu 20.11.2014]. Saatavana: <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff99/ff991025.pdf>
- Auvinen, P. 1997. Metsänmittaus. Helsinki: Opetushallitus
- Biomassa-atlas. Tutkimushanke. 2014. [Verkkosivu] Luonnonvarakeskus. [Viitattu 9.3.2015]. Saatavana: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/biomassa-atlas>
- Ekola, E. 1991. Peltomaiden ominaisuudet ja metsänkasvatus. Teoksessa: Ferm, A. & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät - tutkimushankkeen väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391. Kannus: Metsäntutkimuslaitos, 60 – 65.
- Ekola, E. & Hytönen, J. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsityillä pelloilla. Folia Forestralia 822. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos.
- Heiskanen, J & Wall, A. 1995. Metsitetyn peltomaan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä niiden vaikutus puuston kasvuedellytyksiin. Teoksessa: Hytönen, J & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581. Kannus: Metsäntutkimuslaitos, 133 – 148.
- Håkansson, J & Körling, A. 2002. Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie. Seminarieuppsatser Nr. 86 [Verkkojulkaisu] Lunds universitets naturgeografiska institution [Viitattu 4.3.2015]. Saatavana: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1332946&fileId=1332947>
- Kansallinen metsäohjelma 2015. 2011. Valtioneuvoston periaatepäätös 16.12.2010 [Verkkojulkaisu] Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö [Viitattu 9.3.2015]. Saatavana: [http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywLDJ2Uy/Kansallinen\\_metsaohjelma\\_2015\\_Valtioneuvoston\\_periaatepaatos\\_16.12.2010.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywLDJ2Uy/Kansallinen_metsaohjelma_2015_Valtioneuvoston_periaatepaatos_16.12.2010.pdf)
- Kukkola, M, Ojansuu R & Repola, J. 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Working papers of the Finnish Forest Research institute 53. [Verkkojulkaisu] Luonnonvarakeskus [Viitattu 10.2.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp053.pdf>

- Kärkkäinen, L & Härkönen, K. 2005. Biomassamallit ja niiden käyttö. Julkaisussa: Kettunen, L & Nuutinen, T. (toim.) 2005. MELA2005 ja nettisovellukset. Metlan työraportteja 15. [Verkkojulkaisu] Metsäntutkimuslaitos [Viitattu 12.2.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp015.pdf>
- L 20.12.2013/1085. Metsälaki.
- Laitila, J, Lindblad, J, & Repola, J. 2011. Latvusmassan ja kantopuun määrän arviointi hakkuukonemittauksessa. Metlan työraportteja 215. [Verkkojulkaisu] Joensuu: Luonnonvarakeskus [Viitattu 9.3.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp215.pdf>
- Marklund, L.G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Metinfo – MOTTI [Verkkosivu] Luonnonvarakeskus [Viitattu 17.4.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/motti/index.htm>
- Metsäkurssi. Metsäasioiden sähköinen oppimateriaali. 2015 [Verkkosivu] Metsäkeskus [Viitattu 10.3.2015]. Saatavana: [http://www.pirkanmaanmetsat.fi/metsakurssi.fi/?page\\_id=209](http://www.pirkanmaanmetsat.fi/metsakurssi.fi/?page_id=209)
- Metsätilastollinen vuosikirja 2013. Pellonmetsitys 1969 – 2013 [Verkkojulkaisu] Metsäntutkimuslaitos [Viitattu 25.11.2014]. Saatavana: [http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/taulukot/2013/luku03/13\\_0306.xlsx](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/taulukot/2013/luku03/13_0306.xlsx)
- Näslund, M. 1937. Skogsförsökanstaltens gallringsförsök i tallskog. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt 29:1-169. [Verkkojulkaisu] Stockholm: Statens Skogsförsöksanstalt [Viitattu 19.2.2015]. Saatavana: [http://pub.epsilon.slu.se/10159/1/medd\\_statens\\_skogsforskningsanst\\_029\\_01.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/10159/1/medd_statens_skogsforskningsanst_029_01.pdf)
- Opetin.fi. 2014. Mitä ovat biomassat? [Verkkojulkaisu] Helsinki: Taloudellinen tiedustustoimisto [Viitattu 27.11.2014]. Saatavana: <http://www.opetin.fi/teemat/biotalous/biotalous-nyt/mita-ovat-biomassat/>
- Repola, J. 2008. Biomass equations for Birch in Finland. Julkaisussa: Silva Fennica 42(4): 605 – 627. [Verkkojulkaisu] Suomen metsätieteellinen seura ja Metsäntutkimuslaitos [Viitattu 10.2.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf42/sf424605.pdf>
- Repola, J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. Julkaisussa: Silva Fennica 43(4): 625 – 647. [Verkkojulkaisu] Suomen metsätieteellinen seura ja Metsäntutkimuslaitos [Viitattu 9.2.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf43/sf434625.pdf>



- Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristö 2/2012 [Verkkojulkaisu] Helsinki: Suomen ympäristökeskus [Viitattu 25.11.2014]. Saatavana: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38773/SY2\\_2012\\_Suomen\\_maalajien\\_ominaisuuksia.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38773/SY2_2012_Suomen_maalajien_ominaisuuksia.pdf?sequence=1)
- Suomen biotalousstrategia. 2014. [Verkkojulkaisu] Työ- ja elinkeinoministeriö [Viitattu 9.3.2015]. Saatavana: [https://www.tem.fi/files/39756/TEM\\_Biotai.pdf](https://www.tem.fi/files/39756/TEM_Biotai.pdf)
- Suomen luontaisia puulajeja. Opasvihkonen. 2011. [Verkkojulkaisu] UPM Metsä [Viitattu 10.3.2015]. Saatavana [https://www.metsamaailma.fi/fi/ForestInformation/ForestLibrary/Documents/Metsiemme\\_Puita\\_UPM\\_opasvihko.pdf](https://www.metsamaailma.fi/fi/ForestInformation/ForestLibrary/Documents/Metsiemme_Puita_UPM_opasvihko.pdf)
- Urvas, L. 1991. Pelto- ja metsämaiden ravinteisuuden vertailu. Teoksessa: Ferm, A & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät - tutkimushankkeen väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391. Kannus: Metsäntutkimuslaitos, 55 – 59.
- Virtuaaliarboretum. 2006. [Verkkosivusto] Helsingin yliopiston metsätieteiden laitos [Viitattu 16.3.2015]. Saatavana: <http://www.helsinki.fi/metsatieteet/arboretum/puulajit/index.html>
- Wall, A. 28.1.2015. MMT, tutkija. Luonnonvarakeskus. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Markku Ylikoski. [Viitattu 7.3.2015]
- Koistinen, A, Sved, J, Vanhatalo, K & Väisänen, P & Äijälä, O (toim.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsäkustannus Oy
- Ärölä, E. 2008. Metsävarojen mittaus ja arviointi. Teoksessa: Rantala, S. (toim.) 2008. Tapion taskukirja 25. Helsinki: Metsäkustannus Oy, 271-316

## LIITTEET

Liite 1. Petäjäveden koekartta

Liite 2. Vilppulan koekartta

Liite 3. Toholammin koekartta

Liite 4. Maalajitiedot sekä yleistietoa mittausmenetelmistä sekä koealoista

Liite 5. Puuston maastomittausdata Vilppula

Liite 6. Puuston maastomittausdata Petäjävesi

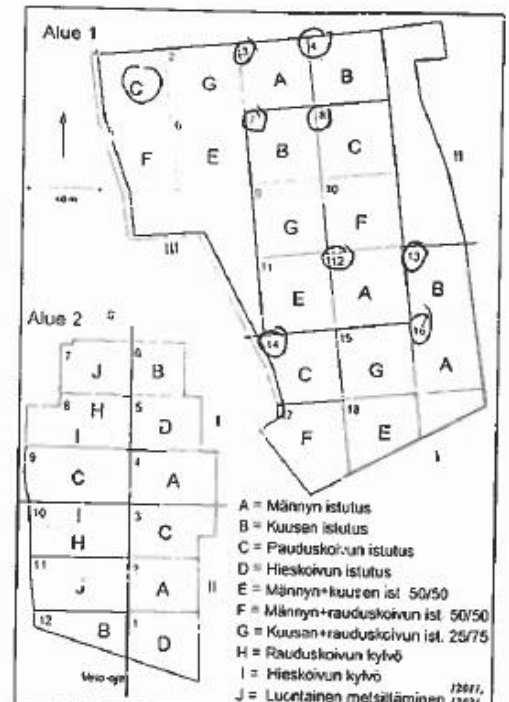
Liite 7. Puuston maastomittausdata Toholampi

Liite 8 Näslundin pituusmallilla luodut mallit kertoimiseen, paikkakunnittain ja puulajeittain

Liite 9 Kokonaisbiomassat paikkakunnittain, puulajeittain, menetelmittäin ja koe-ruuduittain kg/ha

## LIITE 1 Petäjäveden koekartta

<b>KOE:</b>	17	
<b>Metsälautakunta:</b>	Keski-Suomi	
<b>Kunta, kylä:</b>	Petäjävesi, Kumpujärvi	
<b>Tila:</b>	Hakamaa, rno 7:36	
<b>Sijainti:</b>	62°17' N, 25°11' E, 150 m mpy	
<b>Maaluokka:</b>	Kivennäismaa (alue 1), turve (alue 2)	
<b>Historia:</b>	Alue 1: viljelty kauraa, ohraa ja heinää vuoteen 1988 saakka. Lannoitettu karjanlannalla, Salpietarilla ja Y- lannoksella. Alue 2: kasvatettu heinää vuosina 1984-88, sitä ennen kauraa ja ohraa. Lannoitettu viimeiset neljä vuotta typellä, karjanlannalla viimeksi viisi vuotta sitten, jolloin alue ojitettu.	
<b>Maanmuokkaus:</b>	Pallekyntö ja äestys (7/89)	
<b>Pintakasvillisuuden</b>		
* <b>ennakkotorjunta:</b>	Roundup (8 l/ha), traktoriruiskutus (7/89)	
* <b>jatkotorjunta:</b>	Havupuut: mekaaninen (11/90, 11/91 ja 11/92), Gardoprim (5 l/ha), laikkukäsittely (7/91) Koivut: mekaaninen (11/90, 11/91 ja 11/92), Prefix (15 kg/ha), laikkukäsittely (11/90)	
<b>Istutus ja kylvö:</b>	5/90	
<b>Viljelymateriaali:</b>	<b>Taimilaji:</b>	<b>Alkuperä:</b>
Mänty	2A + 1A	SV92 Herrasenahto, A3
Kuusi	2A + 2A	K-S 12.4, B3
Rauduskoivu	1Mk	M 694 Juuka
Hieskoivu	1Mk	SV350 Loppi, A2
Rauduskoivu	siemen	
Hieskoivu	siemen	
<b>Mittaukset:</b>	Alue 1: Kevät -91, syksy -92 Alue 2: Syksy -90, syksy -91, syksy -92	
<b>Kartat:</b>	Tiekartta GT 5, Peruskartta 2234 08	



## LIITE 2 Vilppulan koekartta

**KOE:** 5

**Metsälautakunta:** Pirkka-Häme  
**Kunta, kylä:** Vilppula, Ajostaipale  
**Tila:** Kaunismäki, rno 6:5  
**Sijainti:** 62°04' N, 24°28' E, 110 m mpy

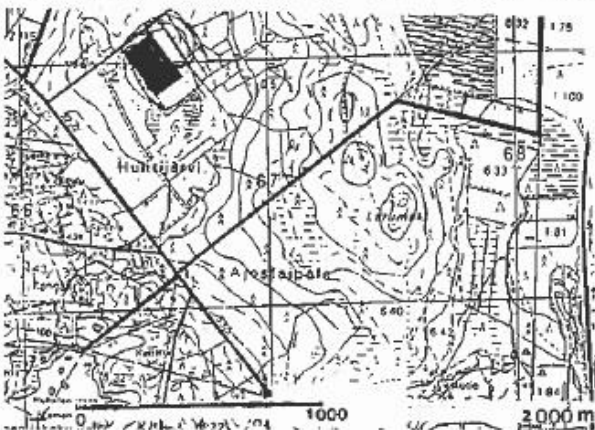
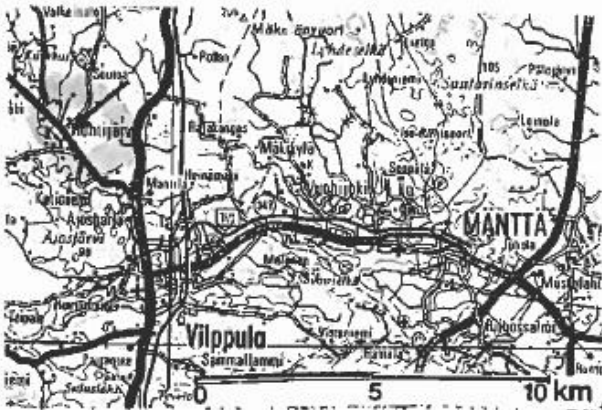
**Maaluokka:** Kivennäismaa  
**Historia:** Viljelty metsittämiseen saakka; 1990 ohraa, 1989 kauraa ja 1988 rypsiä/ruista.

**Maanmuokkaus:** Auras + jyrsiminen (5/91)  
**Pintakasvillisuuden torjunta:** Rikkakasvien torjuntakokeella on käytetty useita eri torjunta-aineita sekä kuitulevykatetta ja peitekasvia (ks.koealakartha). Torjunnat tehty 30.5.-31.7.1991 välisenä aikana. Osalle ruuduista tehty jatkotorjunta kesällä -92.

**Istutus ja kylvä:** 5/91

<b>Viljelymateriaali:</b>	<b>Taimilaji:</b>	<b>Alkuperä:</b>
Mänty	2A + 2A	Leppävirta
Kuusi	2A + 1A	Joroinen
Rauduskoivu	M + ½Mt - ½At + 1A	JR-1
Rauduskoivu	M + ½Mt - ½At	JR-1

**Mittaukset:** Syksy -91, syksy -92  
**Kartat:** Tiekartta GT 5, Peruskartta 2231 09

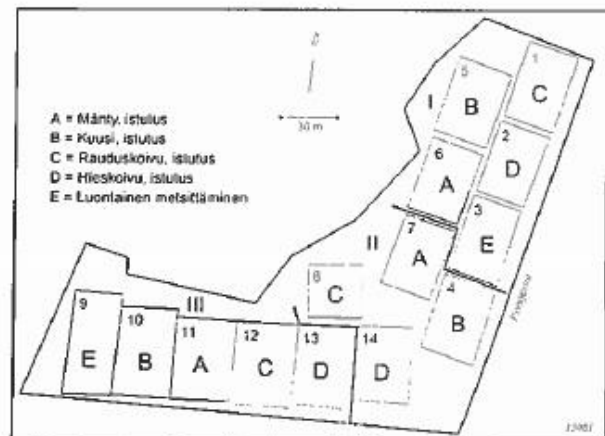
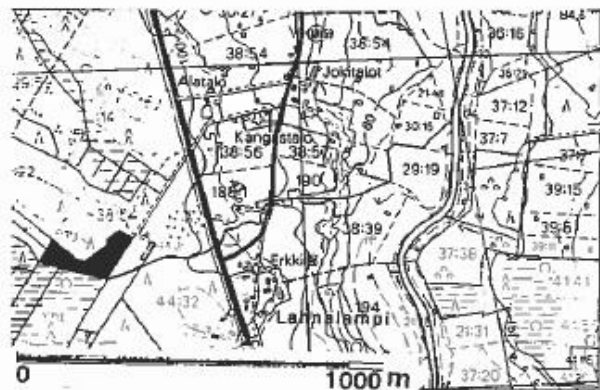


*Hiihtokentän koeala*



### LIITE 3. Toholammin koekartta

<b>KOE:</b>	39	
<b>Metsälautakunta:</b>	Keski-Pohjanmaa	
<b>Kunta, kylä:</b>	Toholampi, Toholampi	
<b>Tila:</b>	Jokitalo, rno 38:61	
<b>Sijainti:</b>	63°44' N, 24°17' E, 95 m mpy	
<b>Maaluokka:</b>	Kivennäismaa/turve	
<b>Historia:</b>		
<b>Maanmuokkaus:</b>	Ojitus ja mätästys (10/89)	
<b>Pintakasvillisuuden</b>		
* <b>ennakkotorjunta:</b>	Roundup (4 l/ha), traktoriruiskutus (9/89)	
* <b>jatktorjunta:</b>	Havupuut: Gardoprim (6/90), mekaaninen torjunta (6/91, 6/92) Rauduskoivut: Stomp (5 l/ha, 6/91) Hieskoivut: Gardoprim (5/92)	
<b>Istutus ja kylvä:</b>	6/90, hieskoivut 6/92	
<b>Viljelymateriaali:</b>	<b>Taimilaji:</b>	<b>Alkuperä:</b>
Mänty	2A + 1A	Leppävirta
Mänty	1Mk - 1Ak	Pyhäjärvi
Kuusi	2A + 2A	Pohjois-Savo
Kuusi	1Mk - 1Ak	E-P 13.3
Rauduskoivu	½M - ½A	Pielavesi
Hieskoivu	½Mk - ½Ak	Loppi
<b>Mittaukset:</b>	Syksy -90	
<b>Kartat:</b>	Tiekartta, Peruskartta 2342 04	



## LIITE 4. Maalajitiedot ja yleistietoa mittausmenetelmistä sekä koealoista

Koealuiden maalajitiedot

Koepaikka	Vilppula	Petäjävesi	Toholampi
Savi <sup>b,c</sup> (%)	18.8	8.5	28.8
Siltti (%)	29.5	15.9	53.6
Hiekka (%)	51.7	75.6	17.6

<sup>b</sup>Savi < 2 µm, siltti 2–20 µm, hiekka >20 µm

<sup>c</sup> 0–40 cm maakerros

Puuston mittaus tehtiin ruudun keskelle sijoitetulta ympyräkoealalta (säde 3,99 m, pinta-ala 50 m<sup>2</sup>).

Puuston mittauksessa runkolukusarjaa varten mitataan koe-alan kaikista yli 1.3 m pitkistä puista läpimitta 1.3 m:n korkeudelta mittasaksilla 1 mm tarkkuudella. Mittausuunta on poikittain 90 astetta koealan keskipisteeseen nähden. Puiden pituus mitataan 1 dm tarkkuudella Vertexillä tai hypsometrillä joka toisesta puusta. Niille puille, joista ei ole pituutta mitattu lasketaan pituus koekohtaisilla pituusmalleilla. Puuston runkotilavuus laskettu Laasasenahon malleilla.

### 2.1. Study sites

The soils were derived from glacial deposits. Until the establishment of the experiments, the sites had been in agricultural use for decades, and were cultivated for cereals. The experiments were established as a randomized block design with three replications in 1990 or 1991. The plot size ranged from 100 m<sup>2</sup> to 625 m<sup>2</sup>. Bare-rooted 3- or 4-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* L.) seedlings and 1-year-old containerized silver birch (*Betula pendula* Roth) seedlings were planted in these experiments to a density of 3000 seedlings ha<sup>-1</sup>. Due to complete soil preparation with rotavation and harrowing before planting, the soil was free from vegetation when planting the seedlings. After planting, herbicides were applied for weed control.

### 2.2. Sampling

The afforestation experiments were sampled in 2008. Thus, at the time of the sampling the plantations were 17-18 years old. All trees of >1.3 m height were recorded and their diameter at 1.3 m height was measured. For every second tree, the height was measured, and for the other trees, the height was estimated using functions based on tree diameter.

## LIITE 5 Puuston maastomittaustiedot Vilppula

Vilppulan puustotiedot koeruuduittain

Koelan koko on 50 m<sup>2</sup> ja säde 3,99 m

Puulajit: 1 = mänty, 2 = kuusi, 3 = koivu

Syntytavat: 1 = istutettu, 2 = luontainen

koe nro	ruutu	puulaji	syntytapa	D 1.3, mm	pituus, dm
2011	38	2	1	120	92
		2	1	118	92
		2	1	114	98
		2	1	90	83
		2	1	127	92
		2	1	100	82
		2	1	97	89
		2	1	94	76
		2	1	81	64
		2	1	66	59
		2	1	83	75
		2	1	90	74
		2	1	7	14

2011	85	1	1	151	106
		1	1	168	109
		1	1	108	98
		1	1	117	91
		1	1	104	95
		1	1	166	106
		1	1	143	108
		1	1	113	86
		1	1	167	111
		1	1	120	102

2011	53	3	1	113	137
		3	1	123	139
		3	1	90	113
		3	1	130	157
		3	1	116	145
		3	1	90	131
		3	1	100	137
		3	1	121	153
		3	1	145	155
		3	1	155	148
		3	1	101	150

2011	43	1	1	123	94
		1	1	125	95
		1	1	105	90
		1	1	100	82
		1	1	100	94
		1	1	143	107
		1	1	144	106
		1	1	112	101
		1	1	142	108
		1	1	134	110

2011	139	2	2	8	17
		2	1	74	65
		2	1	92	72
		2	1	135	84
		2	1	82	70
		2	1	72	69
		2	1	87	72
		2	1	108	78
		2	1	90	75
		2	1	105	84
		2	1	94	78
		2	1	78	66

2011	119	1	1	126	94
		1	1	73	78
		1	1	62	68
		1	1	86	70
		1	1	97	76
		1	1	127	73
		1	1	85	67
		1	1	170	86
		1	1	120	80
		1	1	181	88

2011	70	2	1	117	84
		2	1	100	88
		2	1	72	72
		2	1	92	78
		2	1	80	75
		2	1	96	84
		2	1	91	82
		2	1	60	61
		2	1	86	70
		2	1	77	64

2011	22	3	1	104	167
		3	1	109	168
		3	1	91	150
		3	1	98	144
		3	1	110	146
		3	1	101	143
		3	1	114	143
		3	1	90	141
		3	1	116	144
		3	1	110	154
		3	1	101	151
		3	1	20	38



2011	134	3	1	117	145
		3	1	101	130
		3	1	94	109
		3	1	65	99
		3	1	45	80
		3	1	104	137
		3	1	104	134
		3	1	134	148
		3	1	90	135
		2	2	7	16
		3	1	106	149
		3	1	115	161
		3	1	132	154
		3	1	133	162
		3	1	123	148
		3	1	93	130
		3	1	107	149
		2	2	8	16
		2	2	7	15
		3	1	114	140

**LIITE 6 Puuston maastomittaustiedot Petäjävesi**

Petäjäveden puustotiedot koeruuduittain

Koealan koko on 50 m<sup>2</sup> ja säde 3,99 m

Puulajit: 1 = mänty, 2 = kuusi, 3 = koivu

Syntytavat: 1 = istutettu, 2 = luontainen

koe	ruutu	puulaji	syntytapa	D 1.3, mm	pituus, dm
12011	1	3	1	104	136
		3	1	127	163
		3	1	150	
		3	1	141	152
		3	1	107	139
		3	1	145	159
		3	1	140	161
		3	1	141	165
		3	1	132	
		3	1	130	

12011	3	1	1	70	
		1	1	116	121
		1	1	110	116
		1	1	92	103
		1	1	62	
		4	2	117	128
		3	2	145	150
		4	2	59	107
		1	1	84	

12011	4	4	2	71	103
		2	1	60	58
		4	2	84	111
		2	1	41	39
		2	1	57	53
		2	1	41	39
		4	2	84	109
		2	1	47	37
		2	1	77	71
		2	1	32	32
		2	1	70	60
		4	2	108	137
		2	1	64	60
		4	2	82	123
		2	1	37	36
		2	1	94	77
		4	2	71	115
		2	1	52	54
		2	1	84	69
		4	2	82	

12011	7	4	2	62	101
		2	1	100	101
		2	1	90	93
		4	2	70	122
		2	1	73	74
		2	1	104	101
		2	1	143	116
		2	1	130	102
		2	1	135	103
		2	1	144	112
		2	1	117	111
		2	1	79	93
		2	1	122	108
		2	1	92	99

12011	8	3	1	135	157
		3	1	106	149
		3	1	115	161
		3	1	132	154
		3	1	133	162
		3	1	123	148
		3	1	93	130
		3	1	107	149
		2	2	8	16
		2	2	7	15
		3	1	114	140

12011	12	4	2	62	103
		1	1	123	112
		1	1	90	93
		1	1	112	107
		1	1	132	99
		1	1	128	114
		1	1	140	115
		1	1	112	104
		1	1	84	100
		1	1	120	111
		1	1	136	107
		1	1	127	101
		1	1	128	114
		1	1	124	106

12011	13	2	1	136	109
		2	1	68	70
		2	1	17	21
		2	1	104	109
		2	1	108	104
		4	2	50	99
		2	1	120	119
		3	2	100	128
		2	1	114	119
		2	1	70	84
		2	1	151	119
		4	2	90	129
		2	1	34	49
		2	1	93	91
		4	2	84	110
		4	2	87	111
		2	1	80	98
		2	1	56	72
		2	1	67	64
		2	1	157	117

12011	16	1	1	114	91
		1	1	121	105
		1	1	95	101
		1	1	102	110
		1	1	54	55
		1	1	107	103
		1	1	127	111
		1	1	154	120
		1	1	155	122
		1	1	124	111
		1	1	74	60
		1	1	111	118
		3	2	144	149
		3	2	121	142
		1	1	80	72

12011	14	3	1	148	159
		3	1	141	
		3	1	123	
		3	1	53	
		3	1	167	159
		3	1	137	153
		3	1	150	
		3	1	127	152
		3	1	114	153
		3	1	62	

## LIITE 6 Puuston maastomittaustiedot Toholampi

Toholammin puustotiedot koeruuduittain

Koealan koko on 50 m<sup>2</sup> ja säde 3,99 m

Puulajit: 1 = mänty, 2 = kuusi, 3 = koivu

Syntytavat: 1 = istutettu, 2 = luontainen

koe nro	ruutu	puulaji	syntytapa	D 1.3, mm	pituus, dm
15131	24	1	1	130	82
		1	1	40	51
		1	1	140	85
		1	1	123	85
		1	1	116	91
		1	1	117	92
		1	1	90	88
		1	1	162	98
		1	1	135	86

15131	37	2	1	34	
		2	1	67	56
		2	1	111	
		2	1	25	
		2	1	30	39
		2	1	80	87
		2	1	96	
		2	1	119	
		2	1	90	79
		2	1	121	
		2	1	34	39
		2	1	97	84
		2	1	24	30
		2	1	107	
		2	1	74	
		2	1	88	90

15131	46	2	1	120	105
		2	1	138	
		2	1	113	94
		2	1	57	
		2	1	127	100
		2	1	165	
		2	1	113	92
		2	1	22	
		2	1	44	58
		2	1	44	
		2	1	121	99
		2	1	120	
		2	1	148	87
		2	1	102	
		2	1	59	70
		2	1	88	

15131	16	3	1	70	
		3	1	72	115
		3	1	86	

		3	1	103	119
		3	1	114	
		3	1	94	
		3	1	70	
		3	1	102	115
		3	1	94	119
		3	1	120	
		3	1	104	119
		3	1	120	
		3	1	27	
		3	1	96	119
		3	1	112	

15131	18	1	1	164	
		1	1	102	70
		1	1	91	
		1	1	17	
		1	1	120	82
		1	1	110	
		1	1	124	89
		1	1	130	
		1	1	144	84
		4	2	10	31
		1	1	104	

15131	5	3	1	113	
		3	1	97	122
		3	1	36	
		3	1	81	109
		3	1	66	
		3	1	119	128
		3	1	39	
		3	1	123	115
		3	1	97	
		3	1	114	121
		3	1	110	
		3	1	127	134

15131	65	1	1	114	90
		1	1	114	
		1	1	140	90
		1	1	74	
		1	1	164	102
		1	1	150	
		1	1	120	92

15131	71	3	1	93	
		3	1	44	64
		3	1	100	
		3	1	119	133
		3	1	112	
		3	1	76	123
		3	1	40	
		3	1	100	133
		3	1	115	
		3	1	132	135
		3	1	142	
		3	1	80	120
		3	1	84	
		3	1	110	125

15131	25	2	1	84	
		2	1	67	68
		2	1	121	
		2	1	95	
		2	1	116	89
		2	1	60	
		2	1	30	
		2	1	78	85
		2	1	116	
		2	1	120	97
		2	1	134	
		2	1	62	69
		2	1	112	
		2	1	23	
		2	1	24	32
		2	1	33	
		2	1	57	74
		2	1	101	

## LIITE 8 Näslundin pituusmallilla luodut mallit kertoimiseen, sijaintipaikkaunnittain ja puulajeittain

d (cm) mitattu läpimitta

h (m) = mitattu pituus

h' (malli) = mallin antama pituus

Luettelon alimmaisena ne pituudet, jotka on määritetty mallin avulla.

### Petäjävesi, mänty

kertoimet		keskivirhe	
a	1,296623045232880	0,195	r <sup>2</sup> 0,861
b	0,217455368110958	0,017	s/ey 0,205
		F	166,75
		df	27

d (cm)	h (m)	h' (malli)	h'-h
11,6	12,1	10,53	-1,57
11	11,6	10,19	-1,41
9,2	10,3	9,09	-1,21
12,3	11,2	10,89	-0,31
9	9,3	8,95	-0,35
11,2	10,7	10,31	-0,39
13,2	9,9	11,33	1,43
12,8	11,4	11,14	-0,26
14	11,5	11,70	0,20
11,2	10,4	10,31	-0,09
8,4	10	8,53	-1,47
12	11,1	10,74	-0,36
13,6	10,7	11,52	0,82
12,7	10,1	11,09	0,99
12,8	11,4	11,14	-0,26
12,4	10,6	10,94	0,34
11,4	9,1	10,42	1,32
12,1	10,5	10,79	0,29
9,5	10,1	9,28	-0,82
10,2	11	9,72	-1,28
5,4	5,5	6,08	0,58
10,7	10,3	10,02	-0,28
12,7	11,1	11,09	-0,01
15,4	12	12,29	0,29
15,5	12,2	12,33	0,13
12,4	11,1	10,94	-0,16
7,4	6	7,79	1,79
11,1	11,8	10,25	-1,55
8	7,2	8,24	1,04
7		7,47	
6,2		6,80	
8,4		8,53	



## Petäjävesi, rauduskoivu

kertoimet		keskivirhe	
a	0,568182311684208	0,115	r <sup>2</sup> 0,970
b	0,222390845402620	0,009	s/ey 0,073
			F 608,05
			df 19

d (cm)	h (m)
10,4	13,6
12,7	16,3
14,1	15,2
10,7	13,9
14,5	15,9
14	16,1
14,1	16,5
13,5	15,7
10,6	14,9
11,5	16,1
13,2	15,4
13,3	16,2
12,3	14,8
9,3	13
10,7	14,9
11,4	14
14,8	15,9
16,7	15,9
13,7	15,3
12,7	15,2
11,4	15,3
15	
13,2	
13	
14,1	
12,3	
5,3	
15	
6,2	

h' (malli)	h'-h
14,33	0,73
15,31	-0,99
15,79	0,59
14,48	0,58
15,92	0,02
15,76	-0,34
15,79	-0,71
15,60	-0,10
14,43	-0,47
14,84	-1,26
15,49	0,09
15,53	-0,67
15,16	0,36
13,74	0,74
14,48	-0,42
14,79	0,79
16,00	0,10
16,51	0,61
15,66	0,36
15,31	0,11
14,79	-0,51
16,06	
15,49	
15,42	
15,79	
15,16	
10,51	
16,06	
11,44	

## Petäjävesi Hieskoivu

kertoimet		keskivirhe	
a	0,826040332943808	0,280	r <sup>2</sup> 0,910
b	0,211345554963457	0,033	s/ey 0,100
			F 40,56
			df 4

d (cm)	h (m)
7,1	10,3
8,4	11,1
8,4	10,9
10,8	13,7
8,2	12,3
7,1	11,5
8,2	

h' (malli)	h'-h
10,61	0,31
11,73	0,63
11,73	0,83
13,37	-0,33
11,57	-0,73
10,61	-0,89
11,57	

## Toholampi Mänty

kertoimet		keskivirhe	
a	0,576675505876708	0,245	r <sup>2</sup> 0,973
b	0,320022256200005	0,020	s/ey 0,246
			F 256,18
			df 7

d (cm)	h (m)	h' (malli)	h'-h
10,2	7	8,35	1,35
12	8,2	8,68	0,48
12,4	8,9	8,74	-0,16
14,4	8,4	9,01	0,61
1	3,1	2,54	-0,56
11,4	9	8,58	-0,42
14	9	8,96	-0,04
16,4	10,2	9,23	-0,97
12	9,2	8,68	-0,52
16,4		9,23	
9,1		8,10	
1,7		3,60	
11		8,51	
13		8,83	
10,4		8,39	
11,4		8,58	
7,4		7,61	
15		9,08	

## Toholampi Kuusi

kertoimet		keskivirhe	
a	1,042558295917260	0,096	r <sup>2</sup> 0,965
b	0,262880881173495	0,010	s/ey 0,188
			F 629,50
			df 23

d (cm)	h (m)	h' (malli)	h'-h
6,7	6,8	7,01	0,21
11,6	8,9	9,34	0,44
7,8	8,5	7,66	-0,84
12	9,7	9,47	-0,23
6,2	6,9	6,68	-0,22
2,4	3,2	3,36	0,16
5,7	7,4	6,33	-1,07
6,7	5,6	7,01	1,41
3	3,9	3,98	0,08
8	8,7	7,77	-0,93
9	7,9	8,27	0,37
3,4	3,9	4,38	0,48
9,7	8,4	8,59	0,19

2,4	3
8,8	9
12	10,5
11,3	9,4
12,7	10
11,3	9,2
12,7	10
11,3	9,2
4,4	5,8
12,1	9,9
14,8	8,7
5,9	7
8,4	
12,1	
9,5	
6	
3	
11,6	
13,4	
11,2	
2,3	
3,3	
10,1	
3,4	
11,1	
2,5	
9,6	
11,9	
12,1	
10,7	
7,4	
13,8	
5,7	
16,5	
2,2	
4,4	
12	
10,2	
8,8	

3,36	0,36
8,18	-0,82
9,47	-1,03
9,23	-0,17
9,70	-0,30
9,23	0,03
9,70	-0,30
9,23	0,03
5,30	-0,50
9,51	-0,39
10,30	1,60
6,48	-0,52
7,98	
9,51	
8,50	
6,55	
3,98	
9,34	
9,92	
9,19	
3,25	
4,28	
8,76	
4,38	
9,15	
3,46	
8,55	
9,44	
9,51	
9,00	
7,43	
10,03	
6,33	
10,71	
3,14	
5,30	
9,47	
8,80	
8,18	

## Toholampi Koivu

kertoimet		keskivirhe	
a	0,646052721786730	0,131	r <sup>2</sup> 0,954
b	0,240216803831936	0,013	s/ey 0,119
			F 349,33
			df 17

d (cm)	h (m)	h' (malli)	h'-h
7,2	11,5	10,49	-1,01
10,3	11,9	12,20	0,30
10,2	11,5	12,15	0,65
9,4	11,9	11,78	-0,12
10,4	11,9	12,24	0,34
9,6	11,9	11,87	-0,03
9,7	12,2	11,92	-0,28
8,1	10,9	11,07	0,17
11,9	12,8	12,83	0,03
12,3	11,5	12,97	1,47
11,4	12,1	12,65	0,55
12,7	13,4	13,10	-0,30
4,4	6,4	7,98	1,58
11,9	13,3	12,83	-0,47
7,6	12,3	10,75	-1,55
10	13,3	12,06	-1,24
13,2	13,5	13,26	-0,24
8	12	11,01	-0,99
11	12,5	12,49	-0,01
7		10,34	
8,6		11,36	
11,4		12,65	
9,4		11,78	
7		10,34	
12		12,86	
12		12,86	
2,7		5,65	
11,2		12,57	
11,3		12,61	
3,6		6,98	
6,6		10,05	
3,9		7,37	
9,7		11,92	
11		12,49	
9,3		11,73	
10		12,06	
11,2		12,57	
4		7,50	
11,5		12,68	
14,2		13,55	
8,4		11,24	

## LIITE 9 Kokonaisbiomassat paikkakunnittain, puulajeittain, menetelmittäin ja koeruuduittain kg/ha

Pylväiden alareunassa ruutukohtainen runkotiheys kpl/ha.

