



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maehitusinstituut

**Marek Uri**

**SÜSINIKU VARUD ERINEVA VANUSEGA PALUMÄNNIKUTES  
CARBON STORAGES IN A PINE STANDS OF DIFFERENT AGES**

Bakalaureusetöö  
Metsanduse õppekava

Juhendaja: teadur Mats Varik, PhD

Tartu 2016

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Marek Uri		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Süsiniku varud erineva vanusega palumännikutes			
Lehekülgi:24	Jooniseid:4	Tabeleid:5	Lisaid:1
Osakond: Metsakasvatus Uurimisvaldkond: Metsakasvatus Juhendaja: Mats Varik Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu 2016			
<p>Töö eesmärgiks oli hinnata erineva vanusega palumännikute maapealse osa biomassi ja sellesse akumuliseerunud süsiniku kogust. Hinnanguid tehti erineva vanusega (4 a., 9 a., 25 a. ja 45 a.) puistutes. Uuritud puistud asuvad Lõuna- ja Kagu - Eestis. Puistu maapealse osa biomassi ja produktiooni hindamiseks kasutati mudelpuude meetodit ja välitööd viidi läbi 2015 aasta sügisel.</p> <p>Uuritud männikute maapealse osa biomassid olid 3,8, 12,2, 98,2 ja 185,2 t ha<sup>-1</sup> vastavalt 4-, 9-, 25- ja 45-aastastes puistutes. Tüve osakaal kogu biomassist suurenes puistu vananedes, tõustes kuni 85%-ni vanimas uuritud puistus. Keskmise maapealse biomassi süsiniku kontsentratsioon oli uuritud männikutes 47,3%. Puude maapealses biomassis talletatud süsiniku varud nendes puistutes olid vastavalt 1,8, 5,7, 46,3 ja 86,7 t C ha<sup>-1</sup>. Keskmised aastased tüvemassi juurdekasvud eespool toodud vanustes olid 0,9, 1,3, 3,9 ja 4,1 t ha<sup>-1</sup>.</p>			
Märksõnad: maapealne biomass, akumuliseerunud süsinik, <i>Pinus sylvestris</i> ,			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		<b>Abstract of Bachelor Thesis</b>	
Author: Marek Uri		Specialty: Forestry	
Title: Carbon storage in a pine stands of different ages			
Pages: 24	Figures: 4	Tables: 5	Appendixes: 1
Department: Silviculture Field of research: Silviculture Supervisors: Mats Varik Place and date: Tartu, 2016			
<p>The aim of this study was to estimate carbon accumulation in above ground biomass of pine stands in different ages. Four different stands (4 y., 9 y., 25 y and 45-year-old) were involved in present study. Studied stands are located in Southern and in Southeast Estonia. The model tree method was used for estimation of biomass of trees and field work was carried out in autumn 2015.</p> <p>Above ground biomass in studied stands were 3,8, 12,2, 98,2 and 185,2 t ha<sup>-1</sup> in 4-,9-, 25- and 45- year-old stands, respectively. The share of stems of whole biomass increased with stand age, reaching up to 85%. Carbon storage in above ground biomass of trees was 1,8, 5,7, 46,3 and 86,7 t C ha<sup>-1</sup> in 4-,9-, 25- and 45- year-old stands, respectively. The mean annual increment of stem mass was highest in oldest (45-year-old) stand being 4,1 t ha<sup>-1</sup> which can be considered quite good production.</p> <p>Carbon accumulation in aboveground parts of pine trees was 1,8, 5,7, 46,3 and 86,7 t C ha<sup>-1</sup> in 4-,9-, 25- and 45- year-old stands, respectively.</p>			
Keywords: Above-ground biomass, Carbon storage, <i>Pinus sylvestris</i>			

# Sisukord

<b>SISSEJUHATUS</b> .....	5
<b>1. METOODIKA</b> .....	7
<b>1.1 Puistute maapealse osa biomassi hindamine</b> .....	7
<b>2. TULEMUSED JA ARUTELU</b> .....	10
<b>2.1 Puistute maapealse osa biomass</b> .....	10
<b>2.2 Süsiniku akumulatsioon puistu biomassis</b> .....	14
<b>KOKKUVÕTE</b> .....	17
<b>SUMMARY</b> .....	18
<b>VIIDATUD ALLIKAD</b> .....	19
<b>LISAD</b> .....	23
<b>Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta</b> .....	24

## SISSEJUHATUS

Üheks väga aktuaalseks probleemiks tänapäeval on CO<sub>2</sub> ehk süsihappegaasi kontsentratsiooni pidev tõus atmosfääris, mis võib endaga kaasa tuua pöördumatuid keskkonnaprobleeme. Peamiselt tekitab CO<sub>2</sub> kasvuhooneefekti, mis omakorda võib põhjustada kliima muutusi. Kõrgem keskmine aastane temperatuur, aga võib põhjustada jääliustike sulamist, mille tagajärjel tõuseb merevee tase (Warrick *et al.* 1996). Seega ka vähene kliima soojenemine võib elu Maal muuta kardinaalselt. Eespool toodu taustal on väga oluline süsiniku sidumine erinevates ökosüsteemides, sealhulgas metsades. Hinnanguliselt seovad metsad ligi ühe kolmandiku õhku paisatavast CO<sub>2</sub>-st ja sisaldavad rohkem kui 77% kogu maismaa süsinikuvarust (Watson *et al.* 2000; Neumann *et al.* 2015). Eriti olulised on boreaalsed metsad, nende süsinikuvaru moodustab 49% kogu metsaökosüsteemide süsinikuvarust (Dixon *et al.* 1994). Absoluutarvuliselt seotakse metsades hinnanguliselt ligi 1150 Gt süsinikku (Dixon *et al.* 1994). Süsiniku seos kliimamuutustega on eriti oluline boreaalsetes ja hemiboreaalsetes metsades, kuna ennustatakse, et kliima soojenemine on enam tuntav just kõrgetel (>50 N) laiuskraadidel (Houghton *et al.* 1996a, b; Rind, 1999), kus kasvab umbes 1,4 miljardit hektarit metsa. Need metsad suudavad siduda oluliselt rohkem süsiniku võrreldes troopiliste metsadega, kus seotava süsiniku kogus on samas suurusjärgus biomassi lagunemisega.

Peamiselt satub CO<sub>2</sub> õhku fossiilsete kütuste põletamisest (transport, katlamajad, elektrijaamad jne.). Samas maakasutusest pärinev süsihappegaasi hulk moodustab umbes 35% CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni tõusust atmosfääris (Foley *et al.* 2005). Intensiivsem fossiilsete kütuste kasutamine algas eelmisel sajandil, kui hakati töötleva naftat ja samuti hakkas meeletu kiirusega arenema tööstussektor. Seoses väga kiire ja pideva CO<sub>2</sub> tõusuga atmosfääris on võetud vastu erinevaid otsuseid ja plaane kuidas erinevad riigid saaksid kasvuhoonegaaside õhku paiskumist vähendada. Üheks selliseks on Euroopa Liidu kliima- ja energiapakett, mis näeb ette, et kõik Euroopa Liidu liikmed vähendavad aastaks 2020 kasvuhoonegaaside heitkogused 20% võrra ja suurendavad taastuvenergia osakaalu üldises energiatarbimises 20%-ni (EL direktiiv 2009/28/EÜ). Ühtlasi peavad riigid raporteerima muutustest metsade süsinikuvarudes.

Paralleelselt süsinikuemissiooni vähendamisega on hakatud tähelepanu pöörama süsiniku efektiivsemale sidumisele, sealhulgas metsadesse. Mets on üks olulisi maismaa ökosüsteeme, mis efektiivselt seob süsiniku ja seega mängib väga olulist rolli globaalses süsinikuringes (Dixon *et al.* 1994; Goodale *et al.* 2002; Peng *et al.* 2008).

Eestis on väga palju erinevaid metsatüüpe, meie metsad on väga heterogeensed. Samas puuduvad enamuse metsatüüpide kohta vastavad uuringud, mis võimaldaksid meil hinnata neis seotavat süsiniku hulka.

Käesoleva töö peamiseks eesmärgiks oli hinnata nelja erineva vanusega (4-, 9-, 25-, 45 aastase) männiku (*Pinus sylvestris*) puistu maapealse osa biomassi ja sellesse seotud süsiniku kogust. Teema on oluline, kuna mänd on Eestis kõige levinum puuliik, moodustades 32,5% kogu metsamaa pindalast (Aastaraamat Mets 2014), seega on oluline selgitada, kui palju erineva vanusega männikud süsiniku seovad ja kuidas puude erinevate fraktsioonide osakaal biomassist muutub puistu vanusega. Euroopas katavad männikud rohkem kui 24% kogu metsamaast ja on seega mängivad männikud väga olulist rolli ka regionaalses süsinikubilansis (Stanners *et al.* 1995).

# 1. METOODIKA

## 1.1 Puistute maapealse osa biomassi hindamine

Käesolev uurimustöö on osa RMK poolt rahastatavast metsanduslikust uurimustööst „Kliimamuutuste ja majandamise mõju Eesti metsade süsinikuringele“. Uurimustöö alguse ajaks olid katsealad välja valitud, neisse rajati proovitükid, mis takseeriti (tabel 1). Puistute maapealse osa biomassi hinnati sügisel, kui puude juurdekasv oli lõppenud, selleks kasutati mudelpuude meetodit (Bormann & Gordon, 1984, Uri *et al.* 2012; 2014), mis on üsna täpne, kuid töömahukas meetod.

**Tabel 1.** Puistu takseerandmed

Prooviala vanus	4a	9a	25a	45a
Kvartali nr.	AH 079-7	KJ 036-7	IM 014-7	AH 069-10
Prt. Pindala [ha]	0,0025	0,0025	0,09	0,075
Puistu tihedus [puud/ha]	14617	7508	2744	1507
Keskmine diameeter [cm]		2	10,9	16,6
Keskmine kõrgus [m]	1,028	2,49	12,4	17,8
rinnaspindala [m <sup>2</sup> /ha]			25,8	32,6

Proovitükkidel mõõdeti kõikide puude rinnasdiameetrid kasutades täpsuskluppi 1 mm täpsusega. Vastavalt diameetri sagedusjaotusele valiti igalt katsealalt välja 5 mudelpuud. Mudelpuud valiti alati metsaservast kaugemalt, vältimaks servaepekti. Seejärel mudelpuud langetati, seda võimalikult maapinna lähedalt. Mõõdeti langetatud puu pikkus ja elusvõra algus ning jagati nii puu tüvi, kui võra erinevateks sektsioonideks. Esimene sektsioon oli vahemikus 0 kuni 1,3 meetrit, sellele järgnesid 2 meetri pikkused sektsioonid, kuni elusvõra alguseni. Puutüve ei jagatud sektsioonideks väga noortes (4- ja 9-aastastes) puitutes, kus tüvi kaaluti tervikuna.

Elusvõra jaotati omakorda kolmeks erinevaks sektsiooniks (taas v.a 4- ja 9-aastase katseala puhul, kus kogu võra mõõdeti ühe sektsioonina). Kõik tüve sektsioonid kaaluti katsealal. Peale kaalumist saeti igast sektsioonist ketas, et hinnata puidu ja koore fraktsiooni osakaalu. Samuti kaaluti metsas ära ka kõik võrasektsiooni oksad. Igast võrasektsioonist võeti üks keskmine mudeloks, et hinnata okste, vanade okste, jooksva aasta okste ning –võrsete biomassi. Kõik võetud mudeloksad pakiti kilekottidesse ja toimetati edasiseks töötlemiseks laborisse.

Mudeloksad fraktsioneeriti laboris, eraldati okkad, jooksva aasta võrsed ja oksad. Kõik eraldatud osad kaaluti eraldi ja igast fraktsioonist võeti kuivmassi ning toitainete sisalduse määramiseks alamproov (10-40 g). Alamproov kaaluti täpsusega 0,01 g ja kuivatati kuivatusahjus nädal aega 70 °C juures, kuni proov saavutas püsiva kaalu ehk proov oli absoluutkuiv. Proovide kuivaine sisalduse ning massiandmete põhjal arvutati mudelpuude fraktsioonide kuivmassid.

Välitöödel kogutud andmed sisestati MS Excel keskkonda, mille abil arvutati mudelpuude erinevate fraktsioonide kuivmassid puu kohta. Saadud tulemuste põhjal tuletati regressioonivõrrandid, mis kirjeldasid puude maapealse osa biomassi ja tüvemassi sõltuvust rinnasdiameetrist. Kasutati allomeetrilist seost üldkujul:

$$y=ax^b \quad (1)$$

kus, y – on puu maapealse osa biomass või tüvemass (g)

x – puu rinnasdiameeter (cm) või puu kõrgus (m).

a ja b – võrrandi parameetrid

Antud regressioon kirjeldab kõige paremini puu maapealse osa biomassi sõltuvust rinnasdiameetrist ja tüvemassist (kõigil juhtudel  $r > 0,9$ ). Allomeetrilist seost (1) kasutati erinevate maapealsete osade biomassi ja tüvemassi arvutamiseks. Okaste, okste primaar- ja sekundaarkasvu puhul polnud saadud mudelid statistiliselt olulised ( $p > 0,05$ ) ja seetõttu arvutati erinevate fraktsioonide biomass puistus mudelpuude vastavate fraktsioonide biomasside protsentjaotuse põhjal.

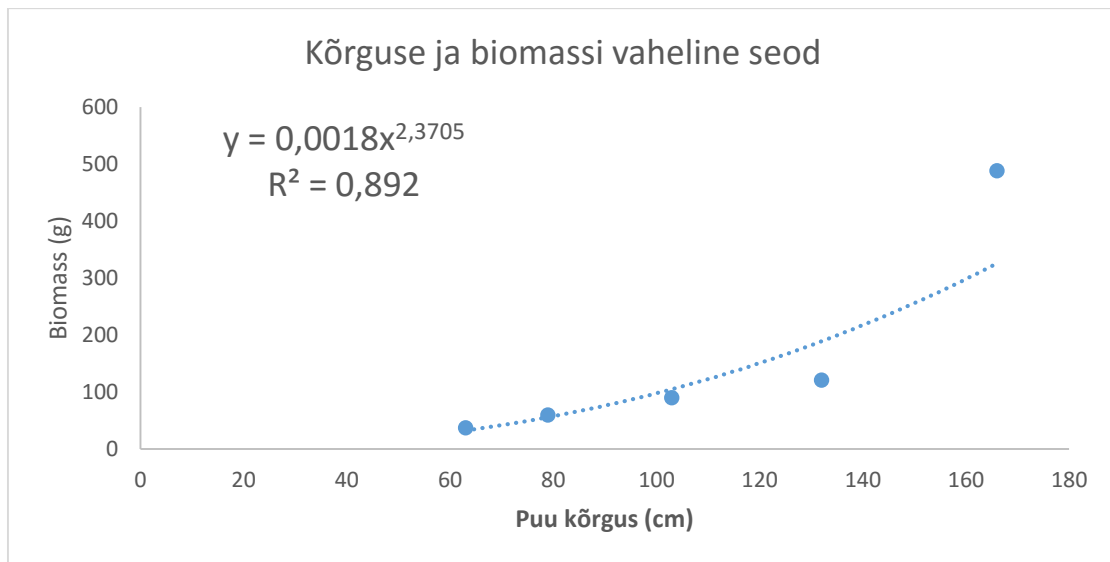
Välitöödel kogutud diameetrite andmed sisestati MS Excel keskkonda, mille abil arvutati igale proovitükil kasvavale puule diameetri põhjal tema hinnanguline maapealse osa biomass. Puude biomasside liitmisel leiti proovitükil kasvav summaarne puude biomass.

Süsiniku sisalduse määramiseks proovid kuivatati ja toimetati laborisse edasiseks analüüsiks. Analüüsid viidi läbi EMÜ Taimebiokeemia Laboratooriumis.

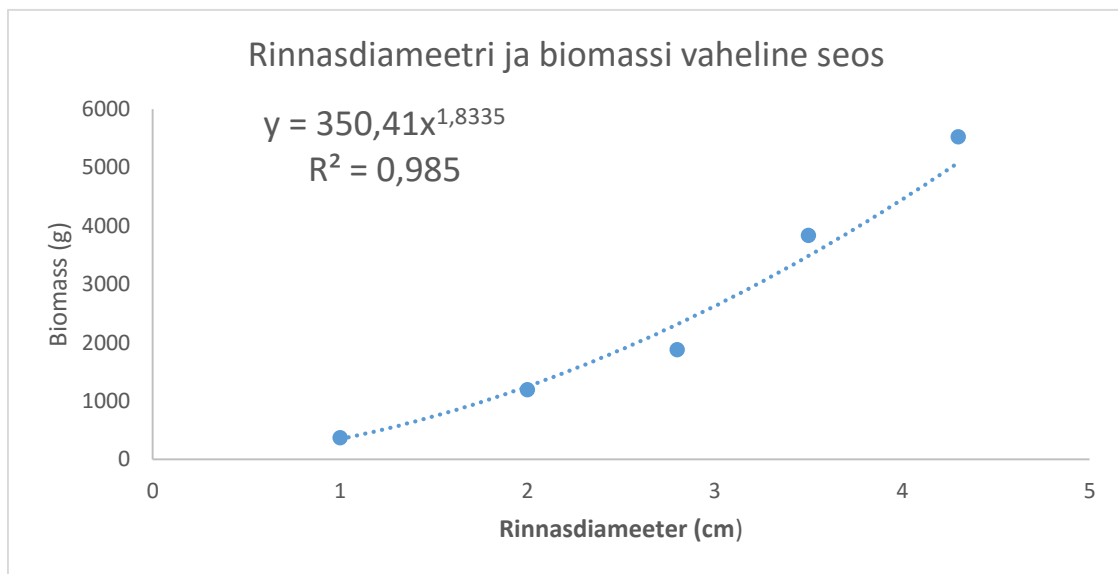
## 2. TULEMUSED JA ARUTELU

### 2.1 Puistute maapealse osa biomass

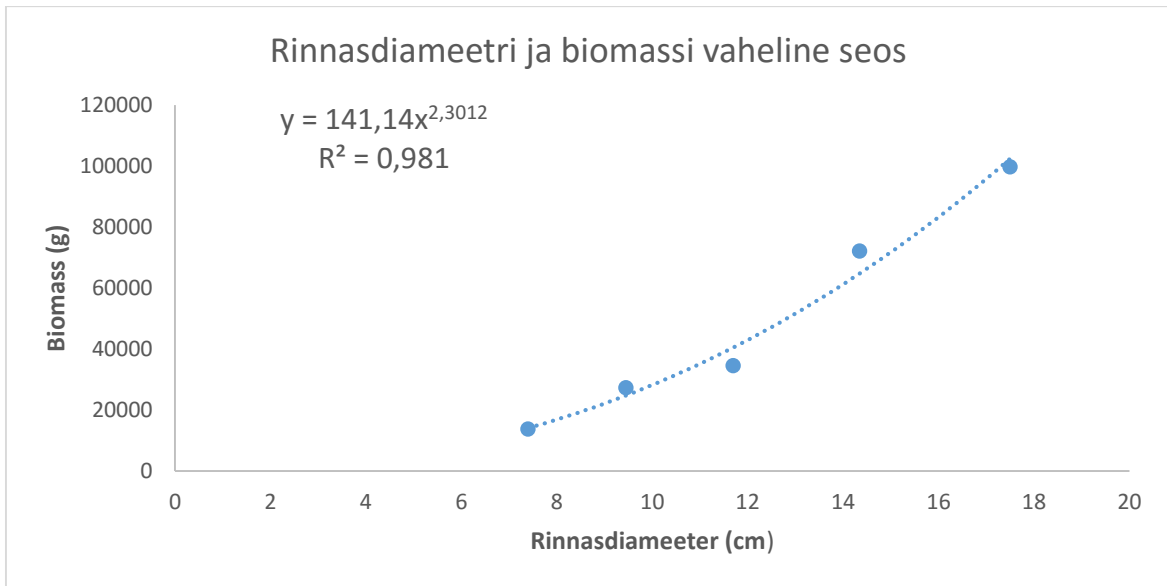
Käesoleva töö käigus hinnati nelja erineva vanusega (4-, 9-, 25- ja 45-aastase) palumänniku maapealse osa biomassi. Palumetsad asuvad viljakatel ja veega hästi varustatud mitmesugustel leedemuldadel, kus puude kasvu limiteerib lämmastiku vähesus. Lämmastiku suurenemine mõjutab otseselt mändide juurdekasvu. Mullad niiskusastmelt parasniisked kuni niisked. Alustaimestik domineerib puhmarinne, kasvavad pohl ja mustikas (Laas *et al.* 2011). Kõik allpool toodud tulemused on esitatud kuivaines. Antud töös kasutati biomassi maapealse osa arvutamiseks regressioonivõrrandeid, mis kirjeldab seost tüvemassi ja rinnasdiameetri vahel (joonis 2-4). Samuti kasutati regressioonivõrrandit kirjeldamaks puu kõrguse ja biomassi vahelist suhet (joonis 1). Seda tehti ainult kõige nooremas katsealal (4 aastane), kuna enamuse puude kõrgusest jäi alla 1,3 meetri. Käesolevas töös olid 9-, 25- ja 45-aastastel männikute kohta leitud võrranditel kõrged determinatsioonikordajad ( $R^2=0,98-0,99$ ). Natuke madalam oli puu kõrguse ja biomassi vahelist suhet kirjeldav determinatsioonikordaja ( $R^2=0,89$ ). Kõikidel juhtudel olid madalad olulisuse tsooniosused ( $p<0,001$ ). Reeglina on allomeetrilised seosed puude rinnasdiameetri ja biomassi erinevate fraktsioonide vahel tugevad (Johansson, 1999, 2007; Hytönen *et al.* 1995; Telenius 1999; Uri *et al.* 2007; Walle *et al.* 2007).



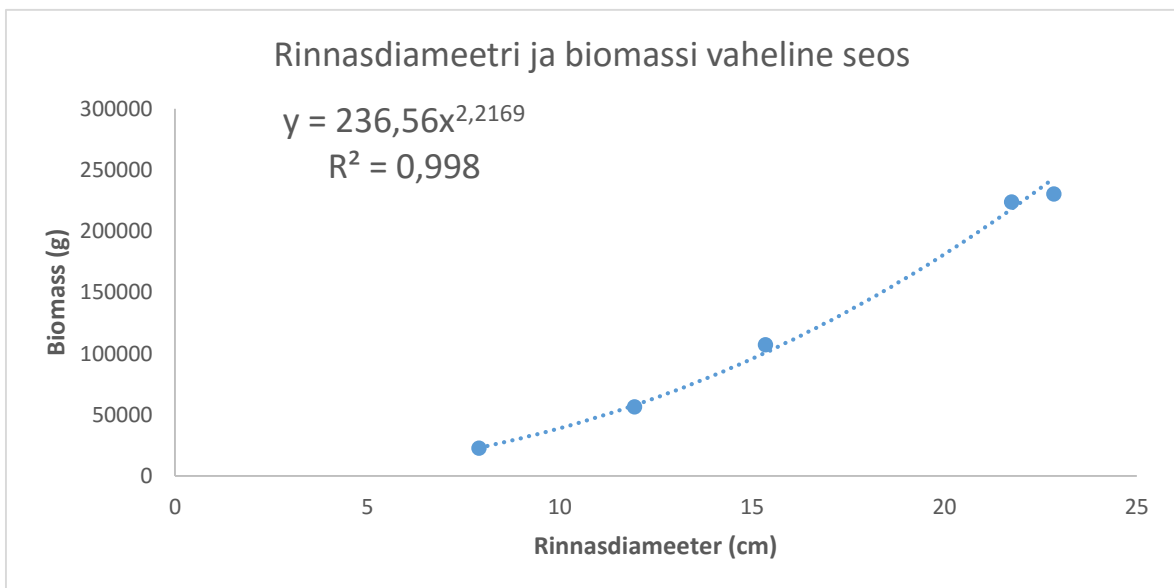
**Joonis 1.** Puu kõrguse ja maapealse biomassi vaheline seos 4- aastases männikultuuris



**Joonis 2.** Rinnasdiameetri ja biomassi vaheline seos 9- aastases männikus



**Joonis 3.** Rinnasdiameetri ja biomassi vaheline seos 25- aastases männikus



**Joonis 4.** Rinnasdiameetri ja biomassi omavaheline sõltuvus 45- aastases männikus

Kõige nooremas (4 a.) männikus moodustasid tüved (puit+koor) 34,8% kogu maapealse osa biomassist so. 1,34 t ha<sup>-1</sup>. 9-aastases männikus oli tüvede osa 4,87 t ha<sup>-1</sup> ehk 39,8% puude kogu maapealsest biomassist. 25-aastases puistus oli tüvemass 72,2 t ha<sup>-1</sup> ja kõige vanemas 45-aastases männikus 158,9 t ha<sup>-1</sup>, moodustades puude maapealsest biomassist vastavalt

73,5% ja 85,8% (Tabel 2). Koore osakaal kogu tüvemassist kahanes puude vananedes, olles 19,1%, 10,2%, 7,9% vastavalt 9-, 25-, 45 aastastes puistutes.

Jooksva aasta võrsete e. okste primaarkasvu osa maapealsest biomassist oli 4-aastases männikus 0,28 t ha<sup>-1</sup> ehk 7,3% kogu maapealsest biomassist ning 9-aastases puistus oli jooksva aasta võrseid 1,03 t ha<sup>-1</sup> mis moodustas 8,4% kogu maapealse osa biomassist. Ka okste primaarkasvu osakaal kogu maapealsest biomassist langes puude vanuse kasvades. Vanemates männikutes (25. a. ja 45. a.) oli see vastavalt 1,2% ja 0,45% maapealsest biomassist. Keskmise ühe puu maapealse osa biomass oli 4 a. noorendikus 260 g ja 9 a. noorendikus 1,6 kg. Vanemates männikutes (25. a. ja 45 a.) olid keskmised ühe puu biomassid vastavalt 35 kg ja 122 kg.

Arvutati puistu tüvemassi keskmised aastased juurdekasvud ehk MAI (mean annual increment) kõikide alade kohta. Keskmised aastased tüvemassi juurdekasvud suurenesid puistu vanuse suurenemisega olles 0,3, 0,5, 2,8 ja 3,5 t ha<sup>-1</sup> vastavalt 4, 9, 25 ja 45 aastases puistus.

Et üle minna metsanduses kasutatavatele mahuühikutele, kasutati ümberarvutusteks keskmist männipuidu tihedust 432 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Pikk ja Kask, 2014). Saadud tulemuste põhjal arvutatud keskmine aastane juurdekasv ( m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ) on vastavalt 2,2, 4,2, 9,1 ja 9,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Kirjanduse andmetel varieerub pohla- ja mustikamännikute maapealse osa produktsioon Soomes 2,4 - 6,4 t ha<sup>-1</sup> (Mälkonen, 1974). Eestis varasemalt läbiviidud uuringus on leitud 62 aastase pohlamänniku aastase biomassi produktsiooni suuruseks 4,5 t ha<sup>-1</sup> (Kurvits, 1999). Antud tulemus ei erine väga palju antud uurimustöös leitud. Eestis on männikute keskmine juurdekasv 4,35 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Aastaraamat Mets 2014).

Peamiselt mõjutab biomassi akumulatsiooni ja primaarproduktsiooni metsades kliima, mulla viljakus, liigiline koosseis ja vanus (Gower *et al.* 1994). Suure üldistusena hinnatakse boreaalsete metsade keskmiseks primaarproduktsiooniks 424 g C m<sup>2</sup> a<sup>-1</sup> (Gower *et al.* 2001).

**Tabel 2.** Maapealse biomassi osa jagunemine fraktsioonidesse t ha<sup>-1</sup>

Prooviala vanus	4a	9a	25a	45a
Tüvi	1,3	4,9	72,2	158,9
Vanad okkad	0,4	1,2	4,1	2,6
Oksad	0,8	2,4	8,3	15,1
1. aasta okkad	1	2,7	3,2	2,9
1. aasta võrsed	0,3	1	1,2	0,8
Kuivad oksad			9,3	4,7
Käbid				0,1
<b>Kokku:</b>	3,87	12,24	98,25	185,23

## 2.2 Süsiniku akumulatsioon puistu biomassis

Süsiniku sisaldus puude biomassi erinevates fraktsioonides võib varieeruda, olenevalt mitmetest teguritest (puuliik, kasvukoht, puistu tihedus jne). Mudelpuudel määrati C sisaldus kõikides fraktsioonides eraldi. Kõrgeim (49,6%) C sisaldus oli esimese aasta okstes ja kõige madalam (45,6%) oli see kooses (tabel 3).

**Tabel 3.** Süsiniku kontsentratsioon erivanuseliste männikute biomassi fraktsioonides

Fraktsioon	C%
Puit	46,8
Koor	45,4
Vanad okkad	48,6
Vanad oksad	45,6
1. aasta okkad	47,9
1. aasta oksad	49,7
Kokku keskmine:	47,3

Erinevate metsade süsinikuvarude arvutamiseks kasutatakse üldjuhul koefitsienti 0,5 ehk eeldatakse, et süsiniku osa on 50% kuivainest (Gower *et al.* 2001). Hiljuti avaldatud uurimustöödest aga selgus, et tegelikult võib süsiniku sisaldus puude erinevates osades ja

erinevate puuliikide vahel suuresti varieeruda, jäädes vahemikku 44-56% (Zhang *et al.* 2009; Bert ja Danjon, 2006; Laiho ja Laine, 1997). Antud töös arvatati süsiniku sisaldus igas fraktsioonis eraldi (tabel 4). Varasemas Eestis läbi viidud uurimustöös leiti keskmiseks süsiniku sisalduseks hariliku männi kooses 49,4% ja okastes 51,2% (Karu, 2005), mis on pisut suuremad, kui käesolevas uurimustöös leitud. Keskmiseks süsiniku sisalduseks saadi 47,3%.

**Tabel 4.** Erivanuseliste männikute maapealse biomassi fraktsioonides seotus süsiniku kogused

Prooviala vanus	4		9		25		45	
	t ha <sup>-1</sup>	%	t ha <sup>-1</sup>	%	t ha <sup>-1</sup>	%	t ha <sup>-1</sup>	%
Tüvi	0,6	34,2	2,3	39,8	33,8	72,9	74,4	85,7
Vanad okkad	0,1	10,3	0,5	10,1	1,9	4,2	1,2	1,4
Vanad oksad	0,3	19,9	1	19	3,7	8,1	6,8	7,9
1. aasta okkad	0,4	26,2	1,2	22,4	1,5	3,3	1,3	1,6
1. aasta oksad	0,1	9,2	0,5	8,6	0,6	1,2	0,4	0,4
kuivad oksad					4,6	10	2,3	2,7
käbid							0,05	0,06
<b>Kokku:</b>	1,8	100	5,7	100	46,3	100	86,7	100

Kõige rohkem süsinikku on salvestatud puude tüvedesse. Kuna vanemates puistutes on puude tüvemassi osakaal suurem, siis puu vanuse kasvades tõuseb ka tüves seotud süsiniku sisaldus. Kui noorimas (4 a. männinoorendik) uuritud puistus moodustas tüves akumulatsioon süsinik 34,3% kogu maapealse biomassi süsinikuvarust, siis vanimas (45 a. männik) oli see osakaal juba 85,8%. Esimese aasta okaste osakaal kogu süsinikust puistu vananedes vähenes, olles 4 aastast 24,3% ja 45 aastast ainult 1,6%. Sarnaselt väheneb ka 1 aasta okste osakaal.

Orgaanilistes ainetes seotud süsinik, mis jõuab maapinnale (varis) laguneb ja mineraliseerub, üks osa sellest seotakse mulda ja teine osa emiteerub süsihappegaasina tagasi atmosfääri. Sellist protsessi nimetatakse heterotroofiliseks mullahingamiseks (Berg *et al.* 2001). Kui orgaanilise süsiniku talletamine ületab heterotroofse mullahingamise voo, siis salvestatakse süsiniku mulda. Juhul kui need vood on võrdsed siis on mullasüsiniku bilanss tasakaalus. Boreaalset metsi peetakse üldjuhul süsiniku siduvateks, samuti on süsiniku varud viimase poolsajandi jooksul põhjapoolkeral oluliselt tõusnud (Schindler, 1999). Tegemist on puistutega mis suudavad siduda aastas 0,98 – 5,32 t ha<sup>-1</sup> süsiniku (tabel 5).

Tegelikkuses on palumännikute süsiniku varud veel suuremad, sest lisandub juurtesse ja mulda seotud süsinik, kuid seda aspekti pole antud töös uuritud. Teadaolevalt asub ainult 25% kogu metsa süsinikuvarudest maapealse osa biomassis (Snorrason *et al.* 2002). Vanusega muutub süsiniku akumulatsioon ja selle jaotus, see sõltub kumulatiivsetest süsiniku voogudest (Karjalainen, 1996; Wirth *et al.* 2002). Puistute biomassi suurenemise kiirus kasvab kuni võrade liitumiseni ja seejärel hakkab vähenema (Ryan *et al.* 1997). Männikutes okastiku mass alguses suureneb kuni saavutab maksimumi ja seejärel stabiliseerub või hakkab langema (Gower *et al.* 1994; Magnani *et al.* 2000; Kolari *et al.* 2004).

**Tabel 5.** Süsiniku sidumine erivanuseliste männikute maapealse biomassi aastases juurdekasvus t ha<sup>-1</sup>. Tüvemassi puhul kasutatud keskmise aastase juurdekasvu hinnangut.

Prooviala vanus	4a	9a	25a	45a
Tüvi	0,34	0,54	2,89	3,53
1. aasta okkad	0,49	1,29	1,53	1,39
1. aasta oksad	0,17	0,50	0,60	0,40
<b>Kokku:</b>	0,99	2,34	5,02	5,32

## KOKKUVÕTE

Käesolevas töös hinnati süsiniku varu erivanuseliste palumännikute maapeelses biomassis. Töö põhineb neljal katsealal, kus kasvasid erinevas vanuses palumännikud. Biomassi hinnangute saamiseks kasutati mudelpuude meetodit.

- Uuritud aladest oli kõige suurem maapealne biomass vanimas (45 a.) puistus, kus see ulatus  $185,2 \text{ t ha}^{-1}$ , kõige väiksem oli biomass noorimas (4 a.) puistus, kus selle suuruseks hinnati  $3,9 \text{ t ha}^{-1}$ . 9 aastases puistus oli maapealne biomass  $12,2 \text{ t ha}^{-1}$  ja 25 aastases  $98,3 \text{ t ha}^{-1}$ .
- Tüvemass moodustas uuritud puistute maapealsest biomassist kõige suurema osakaalu. Tüvemassi osakaalud 4-, 9-, 25- ja 45-aastastes puistutes olid vastavalt 34,7; 39,7; 73,45; 85,8%.
- Süsiniku varud puude maapeelses biomassis olid uuritud puistutes 1,8, 5,7, 46,3 ja  $86,7 \text{ t ha}^{-1}$  vastavalt 4 a., 9 a., 25 a. ja 45 aastases puistus. Kõigil juhtudel oli suurim süsiniku varu puude tüvedes.
- Aastas seoti süsinikku nendes puistutes 0,9, 2,3, 5 ja  $5,3 \text{ t ha}^{-1}$ , vastavalt eelpool nimetatud vanustele.

Puistute kogu süsiniku varu selgitamiseks on vaja hinnata ka puistu maa-aluses biomassis seotud ja mullas talletatud süsiniku hulka.

# CARBON STORAGE IN A PINE STANDS OF DIFFERENT AGES

## SUMMARY

In present study was estimated carbon storage in above ground biomass of pine stands of different age. Four different stands were involved in to present study. All studied stands were growing in *Myrtillus* site type according to local classification (Löhmus, 1984).

Model tree method was used for biomass estimation.

- In oldest stand (45-year-old) above-ground biomass was estimated at 185,2 t ha<sup>-1</sup>. Above ground biomass in 4-,9-, 25-year-old stands was 3,8, 12,2, and 98,2 t ha<sup>-1</sup>, respectively.
- The stems of trees formed a largest share of above-ground biomass, reaching up to 86 in oldest stand.
- Carbon storage in above ground biomass was estimated to be 1,8, 5,7, 46,3 and 86,7 t ha<sup>-1</sup> in 4-,9-, 25- and 45-year-old stands. Highest concentration was in tree stem in all cases.
- Yearly carbon accumulation in aboveground parts of pine trees was 0,9, 2,3, 5 and 5,3 t C ha<sup>-1</sup> in 4-,9-, 25- and 45- year-old stands, respectively.

To estimate whole carbon storage we need to estimate below-ground biomass and carbon accumulation in it. We also need to estimate carbon storage in the soil.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. **Berg, B., McClaugherty, C., De Santo, A. V., Johnson, D. 2001.** Humus buildup in boreal forests: effects of litter fall and its N concentration. – Canadian Journal of Forest research, 31, 988–998.
2. **Bert, D., Danjon, F. 2006.** Carbon concentration variations in the root, stem and crown of mature *Pinus pinaster*. Forest Ecology and Management 222, 279–295.
3. **Bormann, B. T., Gordon, J. C. 1984.** Stand density effects in young red alder
4. **Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J. (1994)** Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263, 185–190.
5. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ, 23. aprill 2009, taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta ning direktiivide 2001/77/EÜ ja 2003/30/EÜ muutmise ja hilisema kehtetuks tunnistamise kohta (Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC). URL <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF> [11 Mai 2016].
6. **Foley, J. A., De Fries, R., Asner, G. P. 2005.** Global consequences of land use. – Science, 309, 570–574.
7. **Goodale, C.L., Apps, M.J., Birdsey, R.A., Field, C.B., Heath, L.S., Houghton, R.A., Jenkins, J.C., Kohlmaier, G.H., Kurz, W., Liu, S.R., Nabuurs, G.J., Nilsson, S., Shvidenko, A.Z. 2002.** Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. Ecological Applications 12 (3), 891–899.
8. **Gower, S.T., H.L. Ghloz, K. Nakane & C. Baldwin. 1994.** Production and carbon allocation patterns of pine forests. Ecological Bulletins (Copenhagen) 43: 115–135.
9. **Gower, S.T., Krankina, O., Olson, R.J., Apps, M., Linder, S., Wang, C., 2001.** Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. Ecological Applications 11, 1395–1411.
10. **Houghton, J.T., Meira-Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kettenberg, A., Maskell, K. 1996.** Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Cambridge, England: Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

11. **Hytönen, J., Saarsalmi, A., Rossi, P.** 1995. Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. – *Silva Fennica*, 29(2), 117-139.
12. **Johansson, T.** 1999. Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescent birches growing on abandoned farmland and some practical implications – *Biomass and Bioenergy*, 16, 223-238.
13. **Johansson, T.** 2007. Biomass production and allometric above- and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland. – *Forestry*, 89, 41-52.
14. **Karjalainen, T.** 1996. Dynamics of the carbon flow through forest ecosystem and the potential of carbon sequestration in forests and wood products in Finland. *Tiedonantoja* 40, 31p.
15. **Karu, H.** 2005. Süsiniku akumulatsioon Narva karjääri männikultuuride aegreas, Tartu Ülikool, Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Tartu Ülikooli Ökoloogia- ja Maateaduste Instituut, Ökofüsioloogia õppetool.
16. **Kolari, P., J. Pumpanen, Ü. Rannik, H. Ilvesniemi, P. Hari & F. Berninger.** 2004. Carbon balance of different aged Scots pine forests in Southern Finland. *Global Change Biology* 10: 1106–1119.
17. **Kurvits, V.** 1999. Puurinde produktiooni määramine ja jaotus keskealises pohlamännikus. *Metsanduslikud uurimused*, 31, 84–89.
18. **Laas, E., Uri, V., Valgepea, M.** 2011. Metsamajanduse alused: õpik kõrgkoolidele. Lohkva: Greif. 862 lk.
19. **Laiho, R., Laine, J.** 1997. Tree stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 93, 161–169.
20. **Magnani, F., M. Mencuccini & J. Grace.** 2000. Age-related decline in stand productivity; the role of structural acclimation Under hydraulic constraints. *Plant, Cell and Environment* 23: 251–263.
21. Metsakaitse- ja metsauenduskeskus. (toim/koost). 2016. Aastaraamat Mets 2014. (Yearbook Forest 2014). Tartu: OÜ Paar. 242 lk.
22. **Mälkonen, E.** 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. – *Comm. Inst. For. Fenn.* 84 (5), 87 p.
23. **Neumann, M., Moreno, A., Mues, V., Härkönen, S., Mura, M., Bouriaud, O., Lang, M., Achten, W. M. J., Thivolle-Cazat, A., Bronisz, K., Merganič, J., Decuyper, M., Alberdi, I., Astrup, R., Mohren, F., Hasenauer, H.** (2015) Comparison of carbon estimation methods for European forests - *Forest Ecology and Management*. Vol 361, No 1, pp 397-420.

24. **Peng, Y., Thomas, S.C., Dalung, T., 2008.** Forest management and soil respiration: Implications for carbon sequestration. *Environmental Reviews* 16, 93–111.
25. **Pikk, J. ja Kask, R. 2014. Männipuidu ehitus ja omadused.** Mänd Eestis. Koost. M. Kurm, Vali Press. lk.154-188.
26. plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. – *Ecology*, 65, 394-402.
27. **Rind, D.** 1999. Climate and complexity. *Science* 284, 105–107.
28. **Ryan, M.G., D. Binkley & J.H. Fownes.** 1997. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research* 27: 213–262.
29. **Schindler, D. W.** 1999. The mysterious missing sink. – *Nature*, 398, 105–107
30. **Snorrason, A., Sigurdsson, B. D., Gudbergsson, G., Svavarsdottir, K., Jonsson, P. H.** 2002. Carbon sequestration in forest plantations in Iceland. – *Icelandic Agricultural Sciences*, 15, 79-91.
31. **Stanners, D., P. Bourdeau.** 1995. Europe's environment – the Dobbris assesement. European Enviroment Agency. Copenhagen. 676.
32. **Zhang, Q., Wang, C., Wang, X., Quan, X., 2009.** Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. *Forest Ecology and Management* 258 (5), 722–727.
33. **Telenius, B. F.** 1999. Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. – *Biomass and Bioenergy*, 16, 13-23.
34. **Uri, V., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Ligi, K., Padari, A., Kanal, A., Lõhmus, K.** 2014. The dynamics of biomass production, carbon and nitrogen accumulation in grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) chronosequence stands in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 327, 106–117.
35. **Uri, V., Lõhmus, K., Ostonen, I., Tullus, H., Lastik, R., Vildo, M.** 2007. Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young Silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand growing on abandoned agricultural land. – *European Journal of Forest Research*, 126(4), 495–506.
36. **Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** 2012. Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 267, 112–126.
37. **Walle, I. V., Camp, N. V., Castele, L. V., Verheyen, K., Lemeur, R.** 2007. Short rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I – Biomass production after 4 years of tree growth. – *Biomass and Bioenergy*, 31, 267–275.
38. **Vanninen. P., H. Ylitalo, R. Sievänen & A. Mäkela.** 1996. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees* 10: 231–238.

39. **Warrick, R., Le Provost, ca., Meier, M., Oerlemans, J., Woodworth,P., 1996.** Changes in sea level. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (Eds.), *Climate change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 359–405.
40. **Watson, R. T., Noble I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., Dokken D. J.** (2000) Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report: land use, land use change, agnd forestry. Cambridge: Cambridge university Press. 375 pp
41. **Wirth, C., E.-D. Schulze, B. Lühker, S. Grigoriev, M. Siry, G. Hardes, W. Ziegler, M. Backor, G. Bauer & N.N. Vygodskaya.** 2002. Fire and site type effects on the long-term carbon and nitrogen balance in pristine Siberian Scots pine forests. *Plant and soil* 242: 41–63.

## **LISAD**

## **Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Marek Uri,  
(sünnipäev pp/kuu/aa 19.02.1994)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Süsiniku varud erinevad vanusega palumännikutes, mille juhendaja on Mats Varik,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_ allkiri

Tartu, 19.05.2016

---

### **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_ (juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

\_\_\_\_\_ (juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)