



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Mikk Kadak

**JÄNESEKAPSA-KÕDUSOO KASVUKOHATÜÜBI
SOOKAASIKUTE MAAPEALNE BIOPRODUKTSIOON**

**ABOVE-GROUND BIOMASS PRODUCTION IN DOWNY
BIRCH STANDS IN DRAINED PEATLAND**

Magistritöö
Metsamajanduse õppekava

Juhendajad: spetsialist Mats Varik, *PhD*
teadur Jürgen Aosaar, *PhD*

Tartu 2015

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Mikk Kadak		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Jänese kapsa-kõdusoo kasvukohatüübi sookaasikute maapealne bioproduksioon			
Lehekülgi: 30	Jooniseid: 5	Tabeleid: 4	Lisaid: -
Osakond:	Metsakasvatuse		
Uurimisvaldkond:	Metsakasvatus		
Juhendaja(d):	Mats Varik, Jürgen Aosaar		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2015		
<p>Kaseenamusega puistud moodustavad peaaegu kolmandiku Eesti metsamaast. Arukaasikute kasvukäigu ning biomassi produktsiooni kohta on valminud erinevaid uurimusi, kuid sookaasikute kohta taolised andmed puuduvad. Käesoleva töö eesmärk oli uurida sookaskede maapealse osa biomassi produktsiooni viies erivanuselises puistus (15-, 25-, 35-, 40- ja 70 aastases) jänese kapsa-kõdusoo kasvukohatüübis.</p> <p>Uuringuandmete aluseks on Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnas asumatelt proovitükkidelt tehtud mõõtmised. Puistute maapealse biomassi leidmiseks kasutati mudelpuude meetodit.</p> <p>Uuritud sookaasikute maapealse osabiomassid (puit+koor kuivaines) olid: 45,9, 68,7, 76,3, 118,6, 107,0 t ha⁻¹ vastavalt 15-, 25-, 35-, 40- ja 70-aastastes puistutes. Tüvemassi osakaal oli kõigis puistutes üle 80%. Biomassi keskmised aastased juurdekasvud (MAI) varieerusid vahemikus 1,5 kuni 3,1 t ha⁻¹. Puidu tihedus jäi vahemikku 0,5 kuni 0,6 t m⁻³, kasvades puistu vanusega. Võrreldes O. Henno (1975) kasvukäigutabelitega arukase kohta Eesti põhilistes kasvukohatüüpides, kasvasid sookaasikud uuritava alal noores eas isegi kiiremini, kui arukaasikud mõnes kasvukohas. Saadud andmed sookaskede maapealse osa bioproduksiooni kohta on Eestis uudsed ning sookaasikute bioproduksiooni uurimist erinevates kasvukohatüüpides tuleks kindlasti jätkata.</p>			
Märksõnad: <i>Betula pubescens</i> , biomassi produktsioon, kõdusoo, maapealne biomass			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Mikk Kadak		Specialty: Forest Management	
Title: Above-ground biomass production in downy birch stands in drained peatland			
30 pages	5 figures	4 tables	- appendixes
Department:	Silviculture		
Field of research:	Silviculture		
Supervisor(s):	Mats Varik, Jürgen Aosaar		
Place and date:	Tartu, 2015		
<p>Birch-dominated stands account for nearly one third of Estonian forests. Various research projects have been conducted about silver birch stand development and biomass production, but relevant data on downy birch stands in Estonia are not available. An objective of present paper was to investigate the above-ground biomass production of downy birch in five different aged stands (15-, 25-, 35-, 40- and 70-year old) in drained peatland.</p> <p>The research was based on measurements performed in sample plots located in the Järvelja educational and experimental forest district. The model tree method was used to calculate the above-ground biomass of the stand.</p> <p>The above-ground biomass values (timber + bark, dry weight) of the downy birch were: 45,9; 68,7; 76,3; 118,6; 107,0 t ha⁻¹ in 15-, 25-, 35-, 40- and 70- year old stands, respectively. The proportion of stem biomass in all stands was higher than 80%. Mean annual increment (MAI) varied from 1.5 to 3.1 t ha⁻¹. The stand density was in the range of 0.5 to 0.6 t m⁻³, increasing with ageing of the stand. In comparison with O. Henno's (1975) silver birch stand yield table in the main site types in Estonia, downy birch stands in the investigated territory were growing even faster in young age than silver birch stands in some site types. The findings regarding the above-ground biomass production of downy birch are new in Estonia and the biomass production of downy birch stands in different site types should be investigated further.</p>			
<p>Keywords: <i>Betula pubescens</i>, biomass production, drained peatland, above-ground biomass</p>			

Sisukord

SISSEJUHATUS	5
1. TEOREETILINE ÜLEVAADE	7
1.1. Sookase (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.) üldiseloomustus	7
1.2. Kõdusoo kasvukohatüüpide üldiseloomustus	8
2. METOODIKA	11
3. TULEMUSED JA ARUTELU	15
KOKKUVÕTE	24
VIIDATUD ALLIKAD	25

SISSEJUHATUS

Metsanduse panust Eesti majanduse ja ühiskonna jaoks ei saa kuidagi alahinnata. Ligikaudu pool meie riigi pindalast on kaetud metsaga ning see osakaal on võrreldes eelmise sajandiga praeguse tasemini järjepidevalt kasvanud (Aastaraamat Mets 2013, 2014). Selline ühe kõlvikuliigi pindala suurenemine on võimalik ainult muude kõlvikuliikide arvelt, mis iseloomustab väga suurte alade kasutusest välja jätmist teatud perioodil, kuid tõenäoliselt ka teadlikku maade metsastamist ehk metsamaa eelistamist söötis ning kasutusest välja jäänud põllu- ja rohumaaadele. Sellel, pea 2,2 miljoni hektari suurusel metsamaal, kasvab aastas juurde ca 12 000 000 m³ puitu, samas on raiemahud ületanud 11 000 000 m³ piiri esimest korda alles 2013. aastal, enne seda on need veelgi väiksemad olnud. 2013. aastal eksporditi Eestist töötlemata kujul ümarpuitu 2,7 miljonit m³, ehk pea veerand kogu raiemahust (*Ibid.*). Eesti metsanduse arengukava aastani 2020 (2010) järgi toob iga kuupmeeter metsasektoris töödeldud kodumaist puitu erinevate maksude näol riigile sisse 8,9 eurot ning ühe miljoni kuupmeetri puidu varumine, transport ja töötlemine tekitab vähemalt 2350 töökohta (*Ibid.*). Eeltoodut arvestades on Eesti metsasektoril küllaltki stabiilne ning oluline panus riigi majanduse toimimiseks.

Metsast raiutav puitmaterjal on kasutuses paljudes valdkondades – elektritootmine, ehitus, paberitööstus jne. Kuigi peamiselt on leidnud kasutust tüvepuit, on hakatud üha enam ära kasutama ka ülejäänud biomassi, mida puud lisaks tüvedele toodavad (Johansson, 1999). Põhjuseid, miks biomassi täielik ärakasutamine on suurenenud, on mitmeid. Kuna metsa majandamine noorendikust lageraieealiseks saamiseni on meil kasvavate peamiste puuliikide kasvua ja seadusandluse tõttu väga pikk protsess, on maaomanikel soov raiete käigus saadavat puitu maksimaalselt turustada. Ka puidutöötlemise tehnoloogiate areng ja pidev tootearendus on loonud järjest paremaid võimalusi ümarmaterjali töötlemiseks ning raiējätmetele lisandväärtuse andmiseks. Suur mõju puude biomassi täielikumale ärakasutamisele on ka energiamajandusel, sest võimalik kliimasoojenemine, erinevad rahvusvahelised kokkulepped ja samuti fakt, et taastumatud energiaallikad saavad ühel päeval otsa, on alternatiivsete energiaallikate kasutusele võtmise muutnud üha aktuaalsemaks (Hytonen & Saarsalmi, 2009; Pyörälä *et al.* 2012).

11. detsembril 1997. aastal võeti Jaapanis Kyotos kliimamuutuste raamkonventsiooni osapoolte kolmanda konverentsi raames vastu Kyoto protokoll, millega liitunud riigid võtsid endale kohustuse vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid (Eesti ratifitseeris Kyoto protokoll 2002. aastal). Suurima osa õhku paisatavatest kasvuhoonegaasidest moodustab süsihappegaas, mistõttu hakati üha enam otsima võimalusi CO₂ õhku paiskamise vähendamisele ning selle sidumisele. Kirjanduse andmetel moodustab süsinik puidu kuivmassist pea 50% (Zhang *et al.* 2009) ning selle põletamisel vabaneva süsihappegaasi seovad taimed läbi fotosünteesi uuesti (Stupak *et al.* 2007). Seega on metsaressursi kui olulise süsiniku sidujaga arvestamine üks võimalus globaalsete kliimamuutuste leevendamiseks (Myneni *et al.* 2001, Bonan 2008, Global Forest ... 2010, State of the World's Forests ... 2012 ref Lutter 2013) nagu ka puitkütuste eelistamine fossiilsetele kütustele.

Lisaks Kyoto protokollile, mis reguleerib kasvuhoonegaaside emissiooni, on Euroopa Liit direktiiviga 2009/28/EÜ seadnud Eestile eesmärgiks tõsta taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osakaalu lõpptarbitavast energiast 25%-ni. Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020 järgi peetakse meil suurima potentsiaaliga biokütuseks puitu. Puidu kõrget potentsiaali ja selle kasutamise populaarsust biokütusena näitab ka asjaolu, et võrreldes 1999. aastaga, mil Eestis kasutati elektrijaamade soojuse tootmiseks 10 000 m³ puitu, on see 2013. aastaks kasvanud 2 670 000 m³-ni ning on Eestis juba praegu üks olulisemaid bioenergia allikaid (Statistikaamet, 2015). Puidu kasutamise suur eelis kahest põhilisemast biomassist kütuste väärindamise tehnoloogiast – tooraine otsene põletamine ning tooraine anaeroobne lagundamine biogaasiks – on see, et puidust energia saamiseks ei ole vajadust teostada väga keerulisi muundamisprotsesse (Biomassi kasutamine... 2013).

Selleks, et katta fossiilsete kütuste puudust tulevikus ning anda puidutöötlejatele ja metsakasvatajatele ülevaade erinevate puuliikide produktiivsuse kohta, on oluline uurida erinevate puuliikide produktiivsust eri kasvukohtades ning vajadusel suunata ja anda praktilisi nõuandeid metsakasvatajatele. Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida sookaasikute maapealse osa biomassi produktsiooni viie erivanuselise puistu põhjal jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüübis. Tulemused on Eestis uudsed ning on kasutatavad sookaasikute kasvukäigumudelite koostamisel ning ka süsinikubilansimudelite koostamisel.

1. TEOREETILINE ÜLEVAADE

1.1. Sookase (*Betula pubescens* Ehrh.) üldiseloomustus

Sookask kuulub kaseliste (*Betulaceae*) sugukonda, kuhu kuulub enam kui 260 liiki kuuest perekonnast (Laas, 1987). Uuritav puuliik paikneb kaseliste sugukonna perekonnas kask (*Betula* L.). Perekonda kuulub ligikaudu 60 liiki heitlehiseid puid ja põõsaid, mille looduslik levila on Euraasia ja Põhja-Ameerika parasvöötmes (Roht, 2007). Noorelt on kased kiirekasvulised, kuid 50-60 aasta vanuses juurdekasv lakkab peaaegu täielikult. Eluiga on neil enamasti 100-120 aastat (Laas, 1987). Eestis kasvab looduslikult neli kaseliiki – lisaks sookasele ka arukask, vaevakask ning madal kask. Puistusid moodustavad neist kaks esimest (Roht, 2007). Looduses on esinenud ka sookase ja arukase hübriide, kuid need on üsna haruldased (Jonsell, 2000). Sookask ja arukask on ühtlasi ka Põhja-Euroopas suurimat majanduslikku väärtust omavad lehtpuud (Hytonen *et al.* 2013).

Sookased on enamasti teise kõrgusjärgu puud, mis võivad kasvada kuni 20 (22) meetri kõrguseks (Laas, 1987). Tüve koor on valge ka vanemas eas, arukasele iseloomulik krobeline must korp tekib neile tüve alaosasse alles vanas eas (*Ibid.*). Võrsed on noorelt tihedalt hallikarvased nagu ka pungad, mis on ühevärvilised, rohekalt või hallikalt punakaspruunid ning natuke kleepuvad (*Ibid.*). Lehed on munajad ning lehealus on ümardunud, vesivõsude lehed on isegi südajad. Lehe pikkus on enamasti 4-6 cm ning laius 3-4 cm, leheservad on saagjad ning tipp tömpjas. Vesivõsudel ning noortel võrsetel on lehtedel karvad. Vanematel lehtedel on karvad ainult all külgroodude nurgas. Leheroots on 1,2-2,5 cm pikk ning karvane. Sookase puitu kasutatakse tema jändriku tüve tõttu peamiselt paberitööstuses, kuid viljakatel aladel võib lisaks saada ka hinnalist kasepakku ja palki (Hynynen *et al.* 2010).

Sookased õitsevad mais. Emasurvad on kuni 3 cm pikkused ja läbimõõduga kuni 1 cm. Viljad valmivad suve lõpul. Urvad ei pudene korraga, vaid jäävad puudele sageli hilissügiseni. Viljatiib on seemnega ühelaiune või kuni 1,5 korda laiem. Uueneb väga hästi vegetatiivselt, annab kannuvõsu ka vanemate puude raiumisel (Laas, 1987).

Sookask on levinud Euroopa ja Aasia põhjapoolses osas, eelistades kasvuks soostuvaid muldasid. Kuivemates kasvukohtades jääb sookask kasvult arukasest tunduvalt maha, kuid

on varjataluvam (Hytonen *et al.* 2013; Laas 1987), kasvab tihti IV ja V boniteedi kasvukohtadel segus harilikku männiga ning on väga külmakindel. Sookased on küllaltki vähenõudlikud kasvukoha suhtes, mistõttu on palju konkurentsivõimelisemad mitmete teiste puu-ja põõsaliikidega võrreldes. Tänu heale seemnekandvusele ning kiirele kasvule noores eas on kased ka pioneerliigid – asustavad ühena esimestest häiringust mõjutatud maad (Hynynen *et al.* 2010).

Kuna Eesti metsakorraldusandmetes käsitletakse nii soo- kui ka arukaske ühiselt kasena, on raske öelda, millistel pindaladel võib üks või teine liik levinud olla. Aastaraamatu Mets 2013 (2014) järgi moodustavad kase enamusega puistud 31,2 % Eesti metsamaast ning pindalaliselt on seda 697 400 hektarit kogutagavaraga 126 465 000 m³. Suuremal pindalal kasvab Eestis ainult männienamusega puistusid. Maakondade võrdluses kasvab kase enamusega puistusid kõige rohkem Jõgeva- ja Tartumaal (*Ibid.*).

Ka meie lähinaabrite (Soome, Rootsi, Venemaa, Läti) metsades on kased nelja suurima tagavaraga puuliigi seas (Global Forest... 2010), kusjuures ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni 2010. aasta raportite põhjal kasvab Rootsis ning Soomes sookaske rohkem kui arukaske. Eesti ja Läti raportites ei ole erinevate kaseliikide tagavara välja toodud, nii soo- kui arukaske on käsitletud ühiselt kasena, Venemaa raportis on kajastatud 10 kaseliigi tagavara ühiselt kasena (Global Forest... 2010).

1.2. Kõdusoo kasvukohatüüpide üldiseloostus

Eesti metsades moodustavad alaliselt või siis periooditi liigniisked erinevad metsatüübid küllaltki suure osa. Eesti metsamaast on ligi 2/3 puude heaks kasvuks kas ajutiselt või püsivalt liiga märg (Seemen, 1998). Liigniisketes tingimustes on metsakasvatamine raskendatud, kuna mullas tekib hapnikupuudus ja puud võivad seeläbi hukkuda. Üheks abinõuks liigniiskuse tõrjumiseks on kuivendamine. Eestis algas metsamaade kuivendamine 19. sajandil (Seemen, 1998). Tänapäevaks on kuivendamisest mõjutatud metsa rohkem kui 650 000 ha. (Timmusk, 2007). Soomulla kuivendamisel alaneb põhjavee tase ja mulla ülemine horisont muutub parasniiskeks. Üleliigse vee kadumise puhul pääseb hapnik mulda ning selle olemasolul hakkab turvas lagunema, moodustades kõduturbakihi (Laas *et al.* 2011). Kõdusoometsad ongi tekkinud pikaajase intensiivse soomuldade kuivendamise teel (Lõhmus, 2004; Laas *et al.* 2011).

Kõdusoo tüübiriühm on levinud üle kogu Eesti, ent teatud piirkondades, nagu saartel, Pandiveres, Loode-, Ida-, ja Kagu Eestis, esineb neid vähe (Laas *et al.* 2011). Kõdusoometsadele on iseloomulik nähtus, mis on põhjustatud turba kokku vajumisest kuivendamise mõjul: puude juurekael ja juured on sageli tüvealgusest maapinnast kõrgemal, mistõttu on nad tihti ka tundlikumad tormidele. Seetõttu tuleks vältida kõdusoo kasvukohatüüpides tuule tegevust soodustavaid metsamajanduse võtteid.

Eestis eraldatakse kõdusoo metsatüübis kahte kasvukohatüüpi – jänsekapsa-kõdusoo ning mustika-kõdusoo (*Ibid.*). Metsamajandusliku eripärana on mõlemas kõdusoometsade kasvukohatüübis lageraielangi maksimaalne suurus 5 hektarit, välja arvatud juhul, kui nimetatud raielank jääb ühe metsaeraldise piiresse (Metsaseadus 2006, § 29 lg 11 p 2¹).

Jänsekapsa-kõdusoo kasvukohatüüp on tekkinud peamiselt pärast pikaajast intensiivset kuivendamist viljakamas siirdesoo, madal-soos või lodus põhjavee alanemisest põhjustatud pikka aega toimunud taandsoostumise protsessi tulemusel. Mullad on väga viljakad või keskmiselt viljakad ning happelised. Metsakõduhorisondi tüsedus on 3 kuni 10 (12) cm ning sellele järgneb 10-20 cm kõduturvast. Jänsekapsa-kõdusoometsade boniteet jääb enamasti vahemikku Ia-II ning seal kasvavad väga tootlikud metsad, enamspuuliigiks on enamasti kuusk, kuid väga hästi kasvavad seal ka arukask ning mänd (Laas *et al.* 2011). Alusmetsas võib jänsekapsa-kõdusoo kasvukohatüübis enamasti kasvada harilik paakspuu, toomingas, pihlakas, vaarikas, kuslapuu ning lodjapuu. Alustaimestik on küllaltki sarnane jänsekapsa kasvukohatüübi omaga, kuid on liigivaesem. Tüüpilisi sootaimi on vähe või need puuduvad üldse. Samblarindes esineb laanik, kaksikhambad, palusammal, metsakäharik jt (*Ibid.*).

Mustika-kõdusoo kasvukohatüüp on tekkinud väheviljakate alade, nagu siirdesoo ning raba, kuivendamise tulemusel. Mulla reaktsioon on tugevasti happeline, boniteet jääb peamiselt vahemikku II-III ning puistutest domineerivad männikud ja kaasikud (*Ibid.*). Metsakõduhorisondi tüsedus on 5-12 (15) cm ning sellele järgneb 5-10 cm sõmerja struktuuriga kõduturvast, mille järel tuleb keskmiselt kuni hästi lagunenu turbahorisont. Alusmets on mustika-kõdusoo kasvukohatüübis küllaltki hõre, peamiselt võib kasvada erinevaid pajuliike ning paakspuud. Alustaimestikus esineb peamiselt samu liike mis mustika kasvukohatüübis, kuid leidub ka kanarbikku, sookailu, sinikat tupp-villpead jt. Samblarindes palusammal, laanik ja kaksikhambad, laiguti võib madalamates kohtades esineda ka turbasamblaid (*Ibid.*).

Kõdusoometsad on Eestis väga levinud, metsatüüpidest kasvab suurematel pindaladel ainult palumetsasid, laanemetsasid ning soovikumetsasid (Aastaraamat Mets 2013, 2014). Kõdusoometsade pindala on 2011. aasta seisuga 328 300 hektarit, mis moodustab üle 10% meie metsamaast. Puuliikidest on selles metsatüübis on enamlevinud mänd, kuusk ja kask - kase enamusega puistude pindala on suurim ning nende kogupindala kõdusoo metsatüübis on 149 800 hektarit (*Ibid.*).

2. METOODIKA

Käesoleva uurimistöö andmete aluseks on Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnas asuvatelt proovitükkidelt tehtud mõõtmised. Andmestiku tekitamiseks rajati viis proovitükki puistutesse vanuses 15 – 70 aastat. Proovitükid rajati ruudukujulistena, suurusega 25 x 25 meetrit (tabel 1). Proovitükid asuvad kõik jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüübis. Uuring põhineb sookaasikute biomassi ja produktsiooni leidmisel, kasutades mudelpuude meetodit (Bormann&Gordon, 1984; Löhmus *et al.* 1996; Uri *et al.* 2012).

Tabel 1. Proovitükkide andmed

	JS280	JS279	JS124	JS191	JS131
Vanus (a)	15	25	35	40	70
Keskmine rinnasdiameeter (cm)	7,9	11,5	11,9	13,7	17,9
Keskmine kõrgus (m)	12	14,7	14,6	15,2	19,3
Rinnaspindala (m ² ha ⁻¹)	13,5	19,6	18,8	24,5	19,4
Puistu tihedus (tk ha ⁻¹)	2752	1888	1696	1664	768

Katsealade maapealse osa biomassi hinnati sügisel, ajal kui vegetatsiooniperiood ja puude juurdekasv oli lõppenud ning puistu maapealse osa biomass saavutanud aastase maksimumi. Keskmesed diameetrid on arvatud pärast ülepinnalist klappimist. Saadud tulemuste põhjal jagati puud viide diameetriklassi ning vastavalt arvatud diameetrite sagedusjaotusele valiti igast proovitükist välja viis mudelpuud.

Mudelpuud langetati võimalikult maapinna lähedalt ning pärast langetamist mõõdeti nende kõrgus. Lisaks mõõdeti elusvõra algus, selle pikkus ja rinnasdiameeter. Mõõtmisele järgnes mudelpuu jaotamine sektsioonidesse: 1. sektsioon 0-1,3m, 2. sektsioon 1,3m kuni elusvõra alguseni; elusvõra jaotati kolmeks võrdseks sektsiooniks (v.a 15-aastaselt katsealal, kus võra käsitleti ühe sektsioonina). Elusvõral eemaldati kõik oksad ning kogu tüvi kaaluti erinevate sektsioonidena kohapeal, samuti kaaluti kohapeal kõik oksad. Hilisema analüüsimise jaoks saeti pärast kaalumist igast sektsioonist kaks ketast: üks ketas saeti sektsiooni alumisest osast (radiaaljuurdekasvu mõõtmiseks) ja teine sektsiooni keskelt (puidu ja koore osakaalu määramiseks). Okste ning jooksva aasta võrsete biomassi hindamise jaoks valiti igast võrasektsioonist välja üks keskmine mudeloks, mis toimetati laborisse edasiseks fraktsioneerimiseks.

Välitöödele järgnes tegevus laboris, kus kõigepealt fraktsioneeriti mudeloksad: eemaldati lehed, jooksva aasta võrsed (primaarkasv) ja vanemad võrsed (sekundaarkasv). Eraldatud osad kaaluti sektsioonide kaupa ning igast osast eraldati kuivaine määramiseks vajalikud alamproovid (10-40g). Kuivmassi määramiseks vajaminevad alamproovid eraldati ka tüvesektsioonidelt võetud ketastelt, millest eraldati nii koore kui puidu alamproovid. Kõik alamproovid kaaluti 0,01 g täpsusega, seejärel asetati proovid kuivatuskappi, kus need 70°C temperatuuri juures kuivasid konstantse kaalu saabumiseni. Absoluutkuivad proovid kaaluti alamproovide kuivmassi leidmiseks taas 0,01 g täpsusega. Saadud andmestiku abil arvutati tüvepuidu ning -koore ja jooksva aasta võrsete ning okste kuivmassid mudelpuude kaupa.

Arvutuslike andmete alusel tuletat imudelpuude erinevate fraktsioonide kohta regressioonvõrrandid, mis kirjeldasid seost mudelpuude rinnasdiameetri ja maapealse osa biomassi vahel ning rinnasdiameetri ja tüvemassi vahel. Selleks kasutati allomeetrilist seost üldkujul:

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

kus

y – on puu maapealse osa biomass (g);

x – puu rinnasdiameeter (cm);

a ja b – võrrandi parameetrid.

Kõige paremini kirjeldas nimetatud regressioon tüvemassi ja maapealse osa biomassi sõltuvust rinnasdiameetrist (kõigil juhtudel $r^2 > 0,98$). Võrrandi parameetrid erinevate proovitükkide kohta on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Mudelpuude maapealse osa biomassi ja tüvemassi hindamiseks kasutatud regressioonvõrrandi (1) parameetrid: r^2 – determinatsioonikordaja, olulisuse tõenäosus kõigil juhtudel $p < 0,001$, argumenttunnuseks (x) kõigil juhtudel rinnasdiameeter

Proovitükk	Maapealse osa biomass		r^2
	a	b	
15	76,976	2,564	0,994
25	84,512	2,457	0,950
35	81,731	2,519	0,992
40	71,619	2,607	0,986
70	248,080	2,190	0,980
Tüvemass			
15	79,225	2,474	0,992
25	67,529	2,490	0,953
35	69,127	2,518	0,991
40	66,335	2,585	0,981
70	395,310	1,980	0,968
Tüvemassi jooksev juurdekasv			
15	0,735	3,618	0,994
25	0,342	3,456	0,905
35	1,876	2,727	0,908
40	4,510	2,422	0,969
70	55,390	1,343	0,503

Tüvepuudu viimase aasta juurdekasvu leidmiseks kasutati proovikettaid, mis võeti mudelpuude iga sektsiooni kõige alumisest osast. Juurdekasvu leidmiseks kettad kuivatati ning lihviti piisava kvaliteediga, et oleks võimalik määrata aastarõngaste laiused. Kõigilt ketastelt mõõdeti viimase kolme aasta aastarõngaste laiused ning iga mudelpuu kannult võetud ketastelt mõõdeti kõikide aastarõngaste laiused. Aastarõngaste laiuse mõõtmised tehti programmiga TSAP-WinTimeSeriesAnalysis and PresentationforDendrochronology and RelatedApplicationsVersion 0.53 for Microsoft Windows (Copyright © 2003 Frank Rinn, Heidelberg, RinnTech), mis võimaldas mõõtmisi teostada 0,001 mm täpsusega. Mudelpuude erinevate sektsioonide iga-aastane juurdekasv arvutati Whittaker&Woodwell valemi (2) järgi (1968):

$$W_t = W_n (r^2 - (r - 1))^2 r^{-2}, \quad (2)$$

kus,

W_t – puidu kuivaine aastane juurdekasv (g);

W_o – puidu kuivmass (g);

r – analüüsitava ketta raadius (mm);

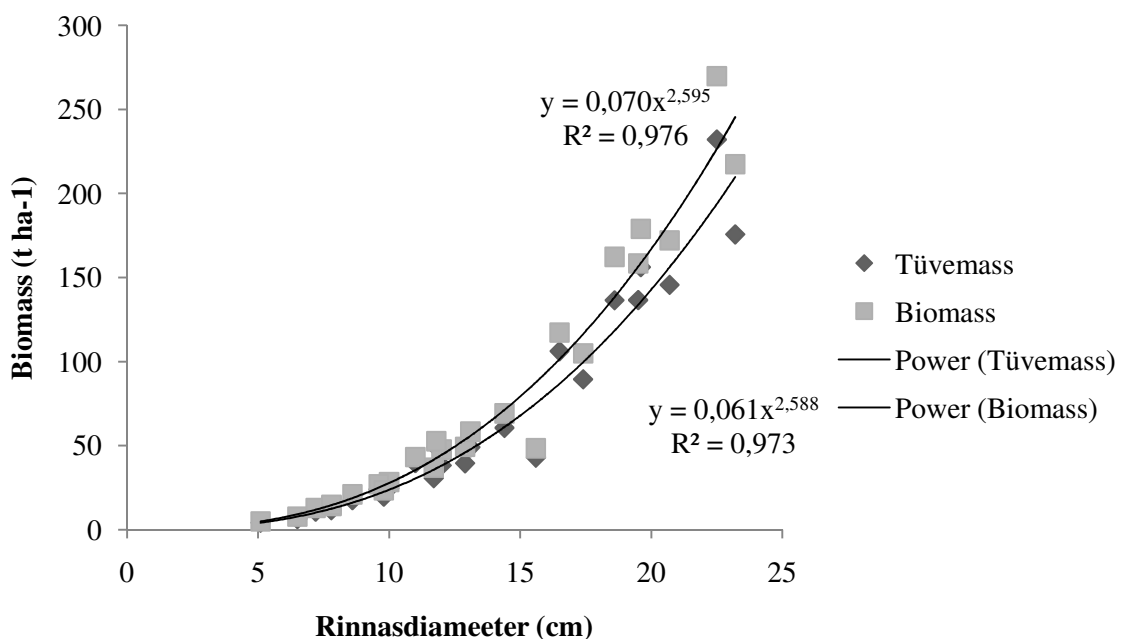
l – kolme viimase aasta keskmine aastarõnga laius (mm).

Mudelpuude viimase aasta produktsiooni leidmiseks liideti mudelpuu kõikide sektsioonide produktsioonid, misjärel tuletati allomeetriline seos (valem 1) puu rinnasdiameetri ning tüvepuidu produktsiooni vahel. Kõigil katsealadel olevate puude tüvemassi juurdekasv summeeriti ning arvutati tüvepuidu viimase aasta juurdekasv hektari kohta. Tüvekoore produktsiooni leidmisel eeldati, et tüvepuidu ja koore juurdekasv on proportsionaalne.

3. TULEMUSED JA ARUTELU

Käesoleva töö tulemused sookaasikute maapealse osa bioproduksiooni kohta on saadud viiest erineva vanusega (15-, 25-, 35-, 40- ja 70- a.) proovitükist langetatud mudelpuude analüüsimise põhjal. Kõik alljärgnevad tulemused on väljendatud kuivaines.

Reeglina on allomeetrilised seosed puude rinnasdiameetri ($D_{1,3}$) ja biomassi erinevate fraktsioonide vahel tugevad (Hytonen *et al.* 1995; Telenius 1999; Uri *et al.* 2007; Walle *et al.* 2007; Uri *et al.* 2012). Nagu eelnevalt viidatud uurimustes, olid ka antud töös puistu maapealse osa biomassi ja tüvemassi sõltuvust rinnasdiameetrist kirjeldavatel regressioonvõrranditel kõrged determinatsioonikordajad ($r^2=0,97$) ning madalad olulisuse tõenäosused ($p<0,001$) (Joonis 1).



Joonis 1. Mudelpuude tüvemassi ja biomassi seosed rinnasdiameetriga.

Tabel 3. Sookaskede biomass, tüvemass, tüvemassi jooksva aasta juurdekasv (CAI) ja biomassi keskmine aastane produktsioon (MAI) proovitükkide kaupa (kõik tulemused puit+koor)

Vanus (a)	Biomass (t ha ⁻¹)	Tüvemass (t ha ⁻¹)	CAI (t ha ⁻¹)	MAI (t ha ⁻¹)
15	45,9	38,6	4,9	3,1
25	68,7	59,9	4,0	2,8
35	76,3	64,3	3,1	2,2
40	118,6	103,3	2,7	3,0
70	107,0	91,8	2,0	1,5

Biomassi produktsioon sõltub erinevatest teguritest (kasvukohatüüp, puistu tihedus jne) ning varieerub erinevate uuringute järgi üsna suurtes piirides. Tabelis 3 toodud tulemused näitavad, et antud uurimuses olid sookaskede maapealse osa biomassid 15-, 25-, 35-, 40- ja 70-aastastes puistutes 45,9 t ha⁻¹ kuni 118,6 t ha⁻¹, olles suurim 40-aastases puistus. Kuid sealjuures oli 40-aastases puistus keskmise puu massiks 71,3 kg ning 70-aastases vastavalt 139,3 kg, seega on 40-aastase puistu suurem biomass tingitud selle oluliselt suuremast tihedusest.

Soomes on mõõdetud turbaaladel 10-aastase tiheda (üle 20 000 puu hektarile) sookaasiku biomassiks 40 t ha⁻¹ (Björklund & Ferm, 1982) ning 14-aastase arukaasiku maapealse osa biomassiks 59 t ha⁻¹ (Ferm & Kaunisto, 1983). T. Johanssoni (1999) 6 kuni 20-aastaste sookaskedega Rootsisis tehtud katsetes varieerus biomassi suurus endisel põllumaal kasvavates sookaasikutes 6,5 kuni 60,8 t ha⁻¹, kusjuures suurima bioproduktiooniga katsealal (12 a, puistu tihedus 32 400 tk ha⁻¹) oli ühe puu keskmine maapealse osa biomass 1,9 kg ja väikseima bioproduktiooniga (11 a, puistu tihedus 5000 tk ha⁻¹) alal 1,3 kg. 20-aastases puistus (tihedusega 2737 tk ha⁻¹) saadi maapealse biomassi koguproduktiooniks 46,1 t ha⁻¹ (koos lehtedega) ning tüvemassiks 37,9 t ha⁻¹ (*Ibid*), mis on küllaltki sarnane käesoleva uurimuse tulemusele 15-aastases puistus. Sama autor on 2007. aasta uurimuses võrrelnud biomassi produktsiooni kahes erinevas kasvukohas endistele põllumaadele rajatud nelja erineva vahekaugusega istutatud 12-aastastes soo-, ja arukaasikutes (Johansson, 2007). Kõigil juhtudel oli keskmise puu suurim maapealse osa biomass väikseima algtihedusega (2,6 x 2,6 m) rajatud katsekultuuris, ehkki kogu puistu maapealse osa biomass oli liivmullale rajatud kultuurides suurim kõige suurema (1,3 x 1,3 m) algtihedusega kultuuris ning savimullal 1,5 x 1,5 m algtihedusega kultuuris (*Ibid*).

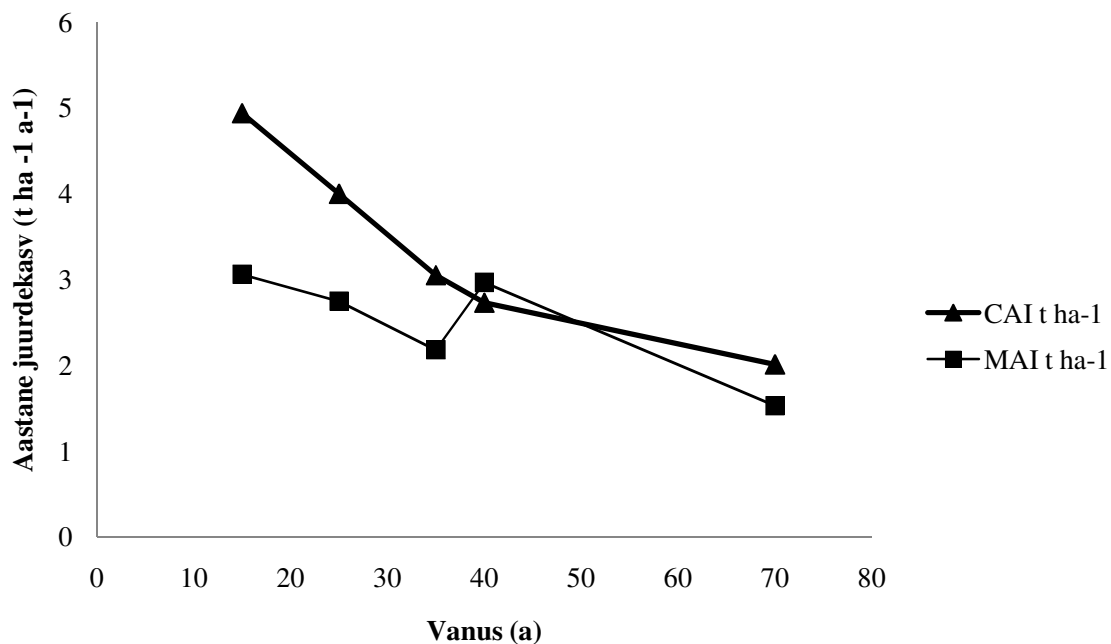
Kirjanduse andmetel on biomassi produktsioonile väga oluline mõju ka raieringide pikkusel ning väetamisel (Hytonen & Issakainen, 2000; Hytonen & Kaunisto, 1999; Huotari *et al.* 2008; Hytonen & Saarsalmi, 2009; Hytonen & Aro, 2012). Huotari *et al.* (2008) leidsid katsetes, mis olid rajatud endisele turbakogumisalale, et väetamine erinevate tuhähendite või PK väetistega pärast külvi suurendab märgatavalt taimede kasvamaminekut ning ka nende kõrguskasvu. Nimetatud katses läks erinevate tuhähenditega väetatud sookase kultuurides pärast esimest aastat kasvama üle 230 000 taime, PK-ga väetatud alal pisut üle 100 000 taime ning väetamata aladel alla 16 000 taime. Pärast kolmandat kasvuhooaega oli väetatud aladel alles 80% esialgu kasvama läinud taimedest ning taimede koguarv oli veelgi kasvanud loodusliku uuenduse tõttu, väetamata aladel oli samal ajal alles kõigest 14% esimesel kasvuaastal kasvama läinud taimedest (*Ibid.*). Ka taimede kõrgus oli väetatud aladel oluliselt kõrgem. Kui pärast neljandat kasvuhooaega olid väetatud aladel taimede keskmised kõrgused üle 40 cm, siis väetamata aladel kõigest 11 cm (*Ibid.*).

NPK-ga väetatud endisel turbakogumisalal väetamine sookase kultuuri kasvamaminekut ei mõjutanud ja suremus oli väetamata ja väetatud aladel üsna sarnane, kuid biomassi produktsioon oli väetatud proovitükil pärast 19. kasvuhooaega 14,3 t ha⁻¹ kõrgem kui väetamata alal (Hytonen & Saarsalmi, 2009). Hytonen & Kaunisto (1999) said endisele turbakogumisalale rajatud proovitükkidel tuha ja PK väetistega väetatud 14-aastases võsutekkelise sookase enamusega puistus oluliselt suurema biomassi kui väetamata puistus, vastavalt 61,4 t ha⁻¹, 61,8 t ha⁻¹ ja 37,6 t ha⁻¹. Sama katse 16- aastases emapuistus oli maapealse osa biomass sarnane väetatud aladel saadud tulemustega. Ka Hytonen & Aro (2012) said 16+21 aastase katseperioodi jooksul sarnaselt eelnevalt viidatud uurimusele väetatud turbaaladel märgatavalt suurema biomassi produktsiooni, samas oli kõige suurem biomass hoopis 37-aastases väetamata emapuistus.

Seega on lühikese raieringiga majandades võimalik sookaasikute bioproduktsiooni väetades oluliselt mõjutada. Kusjuures tuhaga väetades võib turvasmuldadel olla väetamise positiivne mõju pikem olla kui PK väetistega (Silfverberg & Huikari 1985). Sookaasikuid ei ole siiski otstarbekas lühikeste raieringidega majandada, sest nende uuenemisvõime ning bioproduktsioon väheneb lühikese raieringiga oluliselt ning aasta keskmise juurdekasvu (MAI) suurus võib erineda 1- ja 16-aastase raieringiga majandades peaaegu 20-kordselt (Hytonen & Issakainen, 2000). Puistute väetamine eeldab küllaltki suuri väljaminekuid ja

kuigi efekt on väetamisel pigem positiivne, on erinevad katsed näidanud, et suurimat bioproduksiooni on võimalik saada väetamata sookase puistutes, mida majandatakse pika raieringiga. Eriksson & Johansson (2006) jõudsid erinevate lehtpuude bioproduksiooni ja nende süsinikuringeid uurides järelduseni, et kui aasta keskmine juurdekasv (MAI) on puistu noores eas väiksem kui 4 t ha^{-1} , tuleks selliseid puistuseid majandada pikemate raieringidega, sest lühikese raieringi ja madala aasta keskmise juurdekasvuga puistud ei suuda siduda eriti palju süsinikku ning ei oma seeläbi ka erilist potentsiaali asendamaks fossiilseid kütuseid.

Tüvemassi jooksva aasta juurdekasvud käesolevas uurimuses (CAI) vähenesid puistute vananedes, jäädes vahemikku $2,0$ kuni $4,9 \text{ t ha}^{-1}$, saavutades maksimaalse aastase juurdekasvu enne 15-aasta vanuseks saamist ning sealt vanemaks saades järjest vähenesid. Biomassi keskmised aastased produktsioonid (MAI) olid uuritud puistutes $1,5$ kuni $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ (Joonis 2).



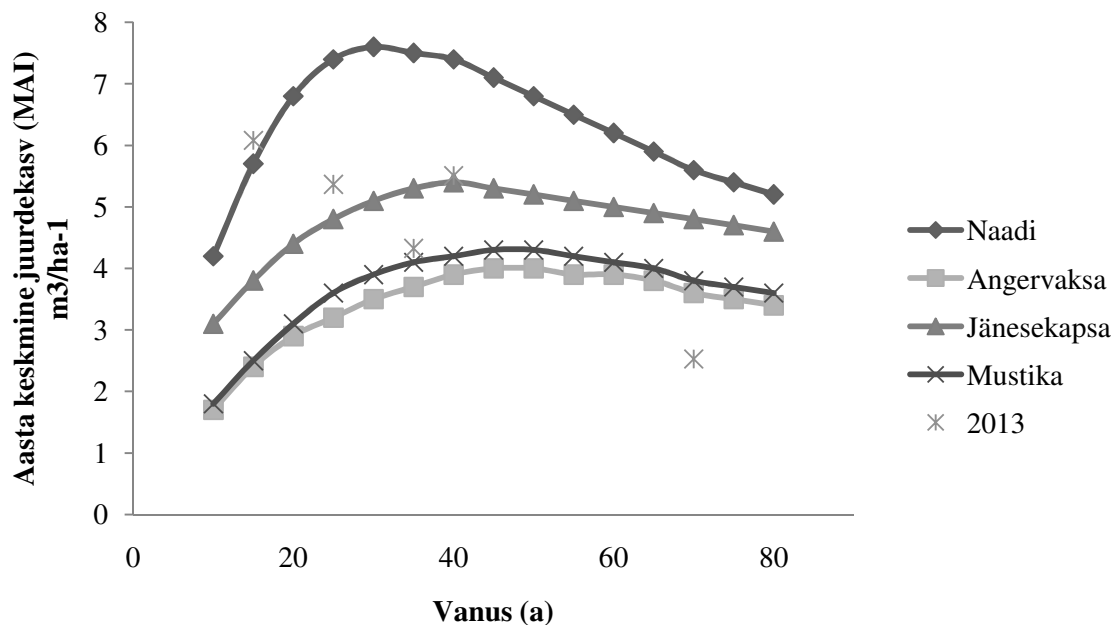
Joonis 2. Erivanuseliste sookaasikute jooksva aasta (CAI) ja keskmine aastane produktsioon (MAI).

Võrdlemaks käesoleva uuringu tulemusi Eesti kaasikute keskmise juurdekasvuga, mida praktilises metsanduses kasutatakse, tuleb need teisendada massiühikutest mahuühikuteks. Selleks on vaja teada puidu tihedust, mis sõltub erinevatest teguritest nagu geograafiline asukoht, kasvukoht, puistu tihedus, puu vanus, asukoht puus jne. (Saarman & Veibri, 2006,

Repola 2006, Johansson 2007). Rootsis on saadud noorte sookaskede tiheduseks endistele põllumaadele rajatud kultuuridel liivakale mullale $429 \pm 5 \text{ kg m}^{-3}$ ning savimullal $434 \pm 5 \text{ kg m}^{-3}$ kohta (Johansson 2007), Soomes on saadud täiskasvanud sookase tiheduseks 442-478 kg m^{-3} (Björklund & Ferm, 1982; Herajarvi, 2004). Eestis ei ole sookaskede tihedust eriti uuritud, E. Saarmani ja U. Veibri (2005) andmetel jääb sookase ja arukase tihedus õhukuivalt vahemikku 630 kuni 670 kg m^{-3} kohta ning arukase tihedus absoluutkuivalt 600 kg/m^3 . Antud uurimuses jäid sookaskede tihedused vahemikku 500 kuni 600 kg m^{-3} , kasvades puistu vanemaks saades. Puidu tihedused saadi kasutades uputamismeetodit.

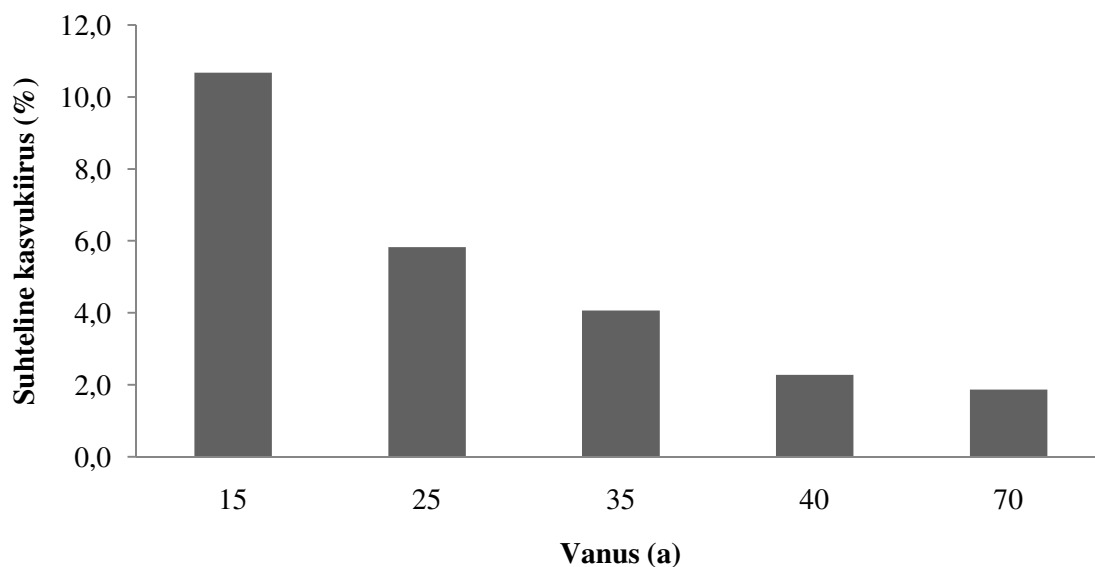
Viimase aasta jooksvad juurdekasvud uuritud puistutes vahemikku 3,3 kuni 9,8 m^3ha^{-1} ning maapealse osa biomassi aasta keskmised juurdekasvud (MAI) 2,5 kuni 6,1 m^3ha^{-1} , proovitükkide tagavarad ulatusid 77,2 m^3ha^{-1} kuni 194,9 m^3ha^{-1} . Aastaraamat Mets 2013 (2014) järgi on Eesti kaasikute keskmine juurdekasv 5,1 $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ning keskmine hektari tagavara 189 m^3 . Kui võrrelda käesolevas uurimuses saadud tulemusi O. Henno (1975) kasvukäigutabelitega arukase kohta, on näha, et nooremas eas ületab sookase aastane keskmine juurdekasv jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüübis isegi viljakatel muldadel kasvavate arukaskede oma, kuid raieküpses metsas jääb arukasele siiski oluliselt alla (Joonis 3).

Ehkki antud uurimuses ületasid sookaskede keskmised juurdekasvud mõnede viljakamatel kasvukohtadel kasvavate arukaasikute omasid, ei saa selle põhjal lõplikke järeldusi teha. Hiljutised uurimused jänesekapsa kasvukohatüübis (Uri, *et al.* 2012) ning ka endistel põllumaadetel kasvavate arukaasikute kohta (Lutter, 2013) näitavad, et Eestis kasutusel olevad kasvukäigutabelid ei pruugi olla kõige täpsemad viljakate alade puistute kirjeldamisel ning tegelik produktioonivõime võib olla tunduvalt suurem.



Joonis 3. Aasta keskmise juurdekasvu (MAI) võrdlus O. Henno (1975) kasvukäigutabelitega arukase kohta.

Suhteline kasvukiirus – mis iseloomustab jooksva aasta juurdekasvu osatähtsust puistu kogu biomassist, väheneb enamasti puistu vananedes. Seda põhjusel, et vanemates puistutes, kus biomass on suurem, moodustab juurdekasv kogu biomassist suhteliselt väiksema osa (Uri, 2000). Sarnaselt viidatud uurimusele, vähenesid suhteliselt juurdekasvud ka käesolevas uurimuses (joonis 4).



Joonis 4. Suhteline kasvukiirus erivanuselistes sookaasikutes.

Nii Eestis kui mujal maailmas on teostatud erinevaid uuringuid võrdlemaks soo- ja arukase kasvamaminekut ning bioproduktiooni sarnastes tingimustes. Eestis on täheldatud, et kui kuivendatud siirdesoodes soo- ja arukaasikute diameetri kasvuperiood on suhteliselt sarnane, (Kollist, 1965) siis mineraalmaal on arukaskede diameetri kasvuperiood märgatavalt pikem ning diameetri juurdekasv ulatub üle 2 korra sookase näitajaid (Henno, 1963). O. Henno leidis ka, et arukaskede parem kasv ei ole tingitud üksnes pikemast kasvuperioodist, vaid ka diameetri päevane juurdekasv ületab sookaskede oma (*Ibid.*).

Rootsis produtseerisid endisele põllumaale rajatud erinevate algtihedustega arukaasikud pea kõigil juhtudel (savimullal oli sookaasiku maapealse osa biomass 1,5x1,5m vahekaugustega kultuuris pisut kõrgem kui liivmullal) oluliselt rohkem maapealset biomassi, kui sookaasikud (Johansson, 2007). Hytonen *et al.* (2013) täheldasid, et nii mineraal- kui orgaanilisel mullal on 22-aastase istutatud arukaasiku suremus olnud (vastavalt 45,4% ja 25,5% istutatud taimedest) tunduvalt suurem kui sookaasikul (32,4% ja 18,4%), sama kehtis ka nende segakultuuris. Ehkki mineraalmaal oli arukase kultuuri suremus üsna kõrge, oli arukaasiku tagavara ca 32% kõrgem kui sookaasiku oma. Orgaanilisel mullal olid nende tagavarad üsna sarnased, sookaasikul isegi natuke kõrgem ($73,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja $73,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), kuid seda siiski sookaasiku suuremast tiheduse tõttu, sest mõlemas kasvukohas ületasid arukaskede diameeter ning kõrgus sookaskede vastavaid näitajaid (*Ibid.*). Sama katse tulemuste järgi oli sookaskede kõrgus, diameeter ning keskmise puu tagavara suurem orgaanilisel mullal kui mineraalmullal (*Ibid.*). Sama täheldati ka 2004. aastal (Saramäki & Hytonen) katsetes 20. aastastes soo- ja arukase segakultuurides, mis olid rajatud endisele põllumaale kahe erineva turbatüsedusega orgaanilisele mullale ning mineraalmullale. Viimatimainitud katses leiti muuhulgas, et suurem orgaanilise aine osakaal kasvukohas parandab sookaskede kasvu, kuid arukaskede kasvu orgaanilise aine sisalduse tõus mullas pigem pärsib (*Ibid.*). Lõuna- ja Kesk-Rootsis tehtud uuringus leiti, et niisketel muldadel on sookaskede kasvupotentsiaal enam-vähem võrdne arukaskede omaga (Karlsson *et al.* 1997).

Eelnevat arvestades võib väita, et arukaasikud on sarnastes tingimustes kasvades enamasti produktiivsemad kui sookaasikud, kuid turvasmuldadel, kus käärid nende kahe puuliigi kasvuvõime vahel ei ole nii suured, võib eelistada ka sookaasikute rajamist, kuna nende suurem vitaalsus võimaldab järgnevat metsapõlve odavamalt rajada. Sookaasikute majandamise lõppsaaduseks tema enamikes kasvukohtades on küttepuit ning paberipuit.

Mineraalmuldadel on võimalik sookaasikute õige majandamise korral saada ka sae-, või spoonpalki (Hynynen *et al.* 2010), sellisel juhul tuleks harvendusraietega viia puistu tihedus ca 400...500 puuni hektari kohta. Majanduslikult suurema kasu saamiseks tuleks viljakatel aladel siiski eelistada pigem aru-, kui sookase kasvatamist.

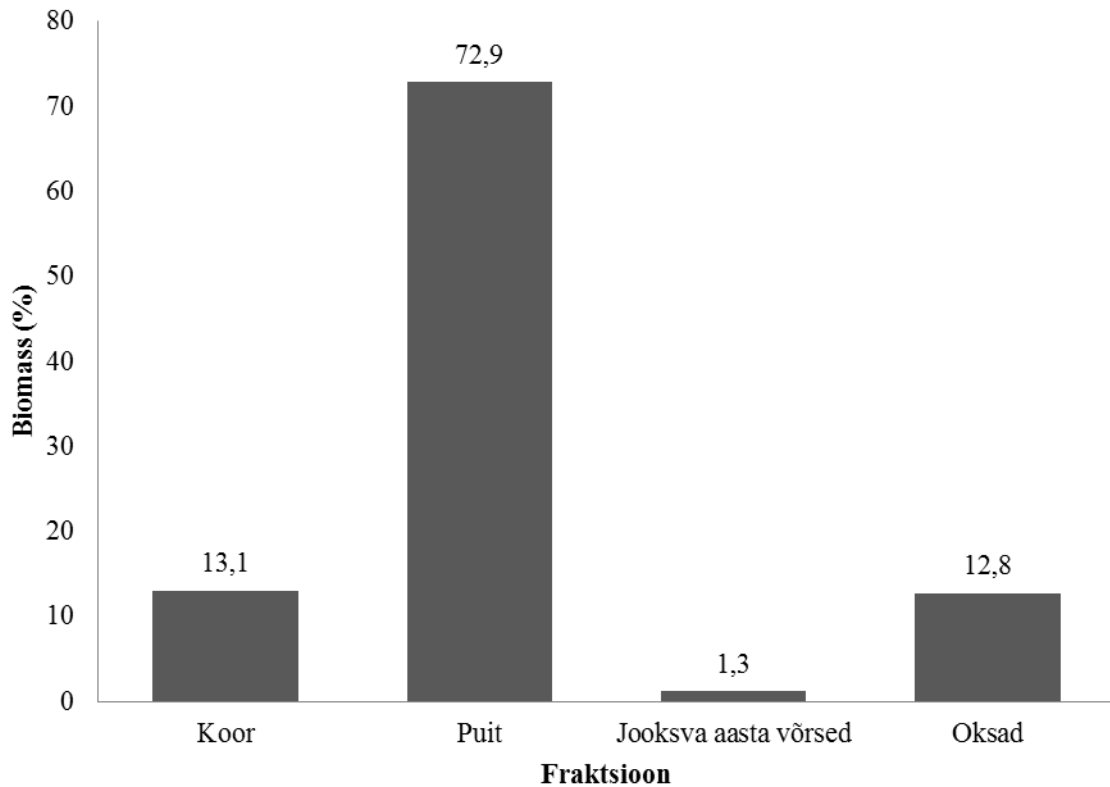
Üldiselt ei soovitata noortes sookaasikutes harvendusraieid teha (Niemistö, 1991; Ferm, 1993). Niemistö (2013) andmetel on võimalik suure kraadiga tehtud harvendusraietega kasvatada küll keskmise puu mahtu, kuid harvendamata või väga nõrga kraadiga harvendusraietega majandatud puistud ei jää neile kasvult oluliselt alla. Eelnevalt mainitud katses leiti, et suurima maapealse osa biomassi kõdusoos suudavad produtseerida just harvendamata või nõrga harvenduskraadiga majandatud puistud (*Ibid.*). Seega sookaasikute majandamisel tema põhilistes kasvukohtades tuleks harvendusraieid pigem vältida ning seeläbi puistu suurema tiheduse tõttu maksimaliseerida paberi- ja küttepuidu produktsiooni.

Tabel 4. Puistute maapealsete osade jaotus.

Prooviala, vanus	15		25		35		40		70	
	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%
Koor	5,8	12,6	9,0	13,1	10,4	13,6	13,9	11,7	15,3	14,3
Puit	32,9	71,6	50,4	73,4	54,0	70,8	89,8	75,7	78,0	72,9
Jooksva aasta võrsed	0,92	2,0	1,0	1,4	0,8	1,1	1,3	1,1	0,7	0,69
Oksad	6,3	13,8	8,3	12,1	11,1	14,5	13,6	11,5	12,9	12,1
Kokku	45,9	100	68,7	100,0	76,3	100,0	118,6	100,0	107,0	100,0

Tabelist 4 on näha, et suurima osa puude maapealse osa biomassist moodustavad tüved. Lisaks tüvemassile on antud töös käsitletud ka koore ning okste osakaalu suurust biomassist (Joonis 3.). Koor moodustas uuritud puistutes 12,6%, 13,1%, 13,6%, 11,7% ning 14,3% vastavalt 15-, 25-, 35-, 40- ja 70-aastaste puistute biomassist. Tüvemasside (koos koorega) suhe kogu maapealse osa biomassi varieerus vahemikus 84,2 kuni 87,4%, olles suurim 40-aastases puistus. Kõige vanemas puistus (70. a) moodustas tüvemass 87,3% kogu maapealsest biomassist. Jooksva aasta võrsete (primaarkasvu e auksiblastide) osakaal vähenes puistute vananedes, olles vahemikus 0,7 kuni 2,0%, mis näitab ilmekalt puistu juurdekasvu vähenemist puistu vananedes. Vanemate okste osakaalu suurus käesolevas uurimuses mingit trendi ei näidanud, olles suurim 35-aastases puistus (14,5%) ning väikseim 40-aastases puistus (11,5%). Saadud tulemused on küllaltki sarnased.

Niemistö (2013) katse tulemustega kõdusoos uuritud sookaasikus, kus koore osakaal maapealse osa biomassist moodustas 12%, tüvepuit 65-77% tõustes puistu vanuse kasvades ning okste osakaal 11 kuni 23%, vähenedes puistu vananedes, kuid olles sõltuvuses ka puistu tihedusest. Sookaasikute maapealse osa biomassi erinevatest fraktsioonide osakaaludest 15-70-aastaste sookase puistute kohta annab ülevaate joonis 5.



Joonis 5. 15-70 aastaste sookaskede biomassi jaotus fraktsioonide järgi.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli uurida sookaasikute bioproduksiooni jänesekapsa-kõdusoo kasvukohatüübi vanusereas. Saadud tulemused on järgnevad:

1. Maapealse osa kuivaine biomass uuritud sookaasikutes oli $45,9 \text{ t ha}^{-1}$, $68,7 \text{ t ha}^{-1}$, $76,3 \text{ t ha}^{-1}$, $118,6 \text{ t ha}^{-1}$ ning $107,0 \text{ t ha}^{-1}$ vastavalt 15-, 25-, 35-, 40- ja 70- aastases puistus.
2. Keskmised biomassi produktsioonid aastate lõikes (MAI) jäid vahemikku 1,5 kuni $3,1 \text{ t ha}^{-1}$.
3. Jooksva aasta tüvemassi produktsioonid (CAI) olid vahemikus 2,0 kuni $4,9 \text{ t ha}^{-1}$.
4. Tüvepuidu tihedused ulatusid $0,5\text{-}0,6 \text{ t m}^{-3}$ -ni suurenedes puistu vananedes.

Sookaasikute bioproduksioon ja juurdekasv võib noores eas olla kõrgem kui seda on O.Henno (1975) kasvukäigutabelite järgi mõningates kasvukohatüüpides (mustika, angervaksa, jänesekapsa) arukaasikute oma, kuid üldiselt jääb raieküpses sookaasikus tagavara neile oluliselt alla. Töö tulemused sookaasikute bioproduksiooni kohta kõdusoometsades on Eestis uudsed ning on edaspidi kasutatavad sookase puistute kasvumudelite modelleerimisel ja süsinikubilansi mudelite koostamisel. Kindlasti tuleks sookaasikute bioproduksiooni uurimist erinevates kasvukohatüüpides jätkata.

VIIDATUD ALLIKAD

Aastaraamat Mets 2013. (2014) Tartu: Keskkonnateabekeskus. [WWW]
http://www.keskkonnainfo.ee/failid/Mets_2013.pdf (04.03.2015).

Biomassi kasutamine energeetikas Lõuna-eeesti regioonis. (2013). Tartu: Tartu Regiooni Energiaagentuur. [WWW]
<http://www.trea.ee/pagas/Biomassi%20kasutamine%20energeetikas%20L%C3%B5una-Eesti%20regioonis.pdf> (06.04.2015)

Björklund T, Ferm A. (1982). Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomass ja tekniset ominaisuudet. Summary: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. - *Folia Forestalia*. No.500, pp. 1-37.

Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feed backs, and the climate benefits of forests. - *Science*. No. 320, pp. 1444-1449, viidatud: Lutter, R. (2013). Noorte kaasikute kasvukäik endisel põllumajandusmaal. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu, lk ... vahendusel.

Bormann, B. T., Gordon, J. C. (1984). Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. - *Ecology*. No. 65, pp. 394-402.

Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020. (2010). Tallinn: Eesti Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. [WWW]
http://www.mkm.ee/public/nreap_EE_final_101126.pdf (20.04.2014).

Eriksson, E., Johansson, T. (2006). Effects of Rotation Period on Biomass Production and Atmospheric CO₂ Emissions from Broadleaved Stands Growing on Abandoned Farmland. - *Silva Fennica*. No. 40 (4), pp. 603-613.

Ferm, A. (1993). Birch production and utilization for energy. - *Biomass and Bioenergy* . No. 4 , pp. 391- 404.

Ferm, A., Kaunisto, S. (1983). Luontaisesti synyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. - *Folia Forestalia*. No. 558, pp. 1-32.

Global Forest Resources Assessment 2010. (2010). Rome: Country reports. FAO. [WWW] <http://www.fao.org/forestry/fra/67090/en/> (20.04.2014)

Global Forest Resources Assessment 2010. (2010). Rome: Main report. FAO. [WWW] <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf> (04.04.2014), viidatud: Lutter, R. (2013). Noorte kaasikute kasvukäik endisel põllumajandusmaal. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu, lk ... vahendusel.

Henno, O. (1963). Soo- ja arukase diameetri juurdekasvu erinevusest mineraalmaal. - *Eesti Põllumajanduse Akadeemia teaduslike tööde kogumik 33*. Tartu: Eesti Põllumajanduse Akadeemia, lk 143-146.

Henno, O. (1975). Arukaasikute kasvukäigutabelid põhiliste kasvukohatüüpide järgi Eesti NSV-s. - *Eesti Põllumajanduse Akadeemia teaduslike tööde kogumik 128*. Tartu. Eesti Põllumajanduse Akadeemia, lk 29-40.

Herajarvi, H. (2004). Variation of basic density and Brinell hardness within mature Finnish *Betula pendula* and *B. Pubescens* stems. - *Wood and Fiber Science*. No. 36(2), pp. 216-227.

Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Pasanen, J., Kubin, E. (2008). Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cut-away peatland. - *Forest Ecology and Management*. Vol. 255 (7), pp. 2870-2875.

Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S., Velling, P. P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. - *Forestry*. No.83, pp. 103-119.

Hytönen, J., Aro, L. (2012). Biomass and Nutrition of Naturally Regenerated and Coppiced Birch on Cutaway Peatland During 37 Years. - *Silva Fennica*. No. 46 (3), pp. 377-394.

Hytönen, J., Issakainen, J. (2000). Effect of repeated harvesting on biomass production and sprouting of *Betula pubescens*. - *Biomass and Bioenergy*. No. 20, pp. 237-245.

Hytönen, J., Kaunisto, S. (1999). Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. - *Biomass and Bioenergy*. No. 17, pp. 455-469.

Hytönen, J., Saarsalmi, A. (2009). Long-term biomass production and nutrient uptake of birch , alder and willow plantations on cut-away peatland. - *Biomass and Bioenergy*. No. 33, pp. 1197-1211.

- Hytönen, J., Saarsalmi, A., Rossi, P.** (1995). Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. - *Silva Fennica*. No. 29 (2), pp. 117-139.
- Hytönen, J., Saramäki, J., Niemistö, P.** (2013). Growth, stem quality and nutritional status of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in pure stands and mixtures. - *Scandinavian Journal of Forest Research*. No. 29, pp. 1-11.
- Johansson, T.** (1999). Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescent birches growing on abandoned farmland and some practical implications. - *Biomass and Bioenergy*. No. 16, pp. 223-238.
- Johansson, T.** (2007). Biomass production and allometric above- and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland. - *Forestry*. No. 80, pp. 41-52.
- Jonsell, B.** (2000). Flora Nordica. Volume 1. Lycopodiaceae to Polygonaceae. Stockholm: The Bergius Foundation, the Royal Swedish Academy of Sciences. 344 pp.
- Karlsson, A., Albrektson, A., Sonesson, J.** (1997). Site index and productivity of artificially regenerated *Betula pendula* and *Betula pubescens* stands on former farmland in southern and central Sweden. – *Scandinavian Journal of Forest Research*. 12-3, pp. 256-263.
- Kollist, P.** (1965). Kuivendatud siirdesool kasvavate aru- ja sookaskede diameetri suurenemisest vegetatsiooniperioodi jooksul. - *Loodusuurijate Seltsi Aastaraamat*. 57. Köide. Tartu: Eesti NSV Teaduste Akadeemia. Lk 72-81
- Kyoto protocol.** (1997). Kyoto: United Nations Framework Convention on Climate Change. [WWW] http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/1678.php (17.04.2014).
- Laas, E.** (1987). Dendroloogia. Teine, ümbertöötatud trükk. Tallinn: Valgus. 823 lk.
- Laas, E., Uri, V., Valgepea, M.** (2011). Metsamajanduse alused: õpik kõrgkoolidele. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. 863 lk
- Lutter, R.** (2013). Noorte kaasikute kasvukäik endisel põllumajandusmaal. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.
- Lõhmus, E.** (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. Tartu: Eesti Loodusfoto. 80 lk.

- Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K.** (1996). Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. In: Perttu, K., Koppel, A. (eds.). Short rotation willow coppice for renewable energy and improved environment. Uppsala, pp. 95-105.
- Metsaseadus.** (vastu võetud 07.06.2006, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 14.03.2015). – Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/104032015010?leiaKehtiv> (29.03.2015).
- Myneni, R. B., Dong, J., Tucker, C. J., Kaufmann, R. K., Kauppi, P. E., Liski, J., Zhou, L., Alexeyev, V., Hughes, M. K.** (2001). A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. - *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. No. 98(26), pp. 14784-14789, viidatud: Lutter, R. (2013). Noorte kaasikute kasvukäik endisel põllumajandusmaal. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu, lk ... vahendusel.
- Niemistö, P.** (1991). Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland. - *Folia Forestalia*. Vol 782, pp. 1-36.
- Niemistö, P.** (2013). Effect of growing density on biomass and stem volume growth of downy birch stands on peatland in Western and Northern Finland. - *Silva Fennica*. Vol. 47, No. 4, pp. 1-24.
- Pyörälä, P., Kellomäki, S., Peltola, H.** (2012). Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use. - *Forest Ecology and Management*. Vol. 275, pp. 87-97.
- Repola, J.** (2006). Models for vertical wood density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch stems and their application to determine average wood density. - *Silva Fennica*. No. 40(4), pp. 673-685.
- Roht, U.** (2007). Lehtpuud I osa. Tartu: AS Atlex. 380 lk.
- Saarman, E., Veibri U.** (2006). Puiduteadus. Tartu: Vali Press. 560 lk.
- Saramäki, J., Hytönen, J.** (2004). Nutritional Status and Development of Mixed Plantations of Silver Birch (*Betula pendula* Roth) and Downy Birch (*Betula pubescens* Ehrh.) on Former Agricultural Soils. - *Baltic Forestry*. No. 10 (1), pp. 2-11.
- Seemen, S.** (1998). Metsaparandus ja soometsandus I osa. Tartu: Eesti Põllumajandusülikooli Kirjastus. 141 lk.

- Silfverberg K., Huikari O.** (1985). Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla [Summary: Wood-ash fertilization on drained peatlands]. - *Folia Forestalia*. No. 633, pp. 1-25.
- State of the World's Forests 2012. (2012). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. [WWW] <http://www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf> (04.04.2014), viidatud: Lutter, R. (2013). Noorte kaasikute kasvukäik endisel põllumajandusmaal. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu, lk ... vahendusel.
- Elektrijaamades energiatootmiseks tarbitud kütus. (andmed uuendatud 05.09.2014). - *Statistikaamet* [WWW] <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/Saveshow.asp> (04.04.2015).
- Stupak, I., Asikainen, A., Jonsell, M., Karlton, E., Lunnan, A., Mizaraite, D., Pasanen, K., Pärn, H., Raulund-Rasmussen, K., Röser, D., Schroeder, M., Varnagiryte, I., Vilkriste, L., Callesen, I., Clarke, N., Gaitnieks, T., Ingerslev, M., Mandre, M., Ozolincius, R., Saarsalmi, A., Armolaitis, K., Helmisaari, H.-S., Indriksons, A., Kairiukstis, L., Katzensteiner, K., Kukkola, M., Ots, K., Ravn, H.P., Tamminen, P.** (2007). Sustainable utilisation of forest biomass for energy - Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. - *Biomass and Bioenergy*. No. 31, pp. 666-684.
- Telenius, B. F.** (1999). Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. - *Biomass and Bioenergy*. No. 16, pp. 13-23.
- Timmusk, T.** (2007). Eesti riikliku arengukava raames maaparanduslike abinõude uuring kuivendatud maatulundusmaalt pärineva hajureostuse vähendamiseks. Tartu: Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. [WWW] http://www.agri.ee/sites/default/files/public/juurkataloog/MAAPARANDUS/Maaparanduslikud_abinoud.pdf (15.05.2014)
- Uri, V.** (2000) Halli ja hübriidlepa kultuurid endisel põllumaal ja nende biomassi produktsioon. - *Metsanduslikud Uurimused* 32. Lk. 78-90.
- Uri, V., Vares, A., Tullus, H., Kanal, A.** (2007). Above-ground biomass production and nutrient accumulation in young stands of Silver birch on abandoned agricultural land. - *Biomass and Bioenergy*. No. 31, pp. 195-204.
- Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile Silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. - *Forest Ecology and Management*. No. 267, pp. 117-126.

- 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*. No. 31, pp. 267-275.
- Whittaker, R.H., Woodwell, G.M.** (1968). Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forests. - *Ecology*. No. 56 (1), pp. 1-25.
- Zhang, Q., Wang, C., Wang, X., Quan, X.** (2009). Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. - *Forest Ecology and Management*. No. 258(5), pp. 722-727.