Keskkonnateabe Keskus

KIK 2012 metsandusprogrammi projekt nr 3793 „Kasvuhoonegaaside heitkoguste inventuuri uuringud riikliku aruandluse täitmiseks maakasutuse ja metsandussektoris“

Sihtfinantseerimise lepingu nr 1632 01. oktoober 2012

ARUANNE

Endla Asi, Jane Frey, Ivika Ostonen-Märtin, Tiiu Timmusk

Tartu, 2013

Sisukord

Sissejuhatus 3

1. Materjal ja metoodika 4

1.1. Vaatlualade iseloomustus 4

1.2. Metoodika 8

1.2.1. Puude peenjuurte biomassi ning puude ja alustaimestiku peenjuurte aastase produktsiooni hindamine 8

1.2.2. Puistu peenvarise seire 9

1.2.3. Lagunduskatsed 9

1.2.4. Mulla CO_2 emissiooni mõõtmine 10

1.2.5. Alustaimestiku maapealne produktsioon 11

1.2.6. Mulla proovide võtmine 11

2. Tulemused 12

2.1. Puude peenjuurte biomassi ning puude ja alustaimestiku peenjuurte aastase produktsiooni hindamine 12

2.2. Puistu peenvarise seire 15

2.3. Lagunduskatsed 20

2.4. Mulla CO_2 emissiooni (hingamise) mõõtmine 23

2.5. Alustaimestiku maapealne produktsioon 27

2.6. Süsiniku akumulatsioon peenjuurtes ja peenvarises 27

3. Kokkuvõte 29

Kirjandus 31

Sissejuhatus

Vastavalt kliimamuutuste raamkonventsioonile ja Kyoto protokollile on Eesti kohustatud aru andma kasvuhoonegaaside heitkogustest ja sidumisest maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (LULUCF) ja KP LULUCF valdkondades. Heitkogused ja sidumine tuleb hinnata kõigi süsinikuvoogude, sealhulgas ka puistu varises ja mullas akumuleeruva süsiniku osas. Eesti muldkate on olnud varasematel aastatel üheks enamuuritud ökosüsteemi komponendiks, mille kohta on kogunenud palju empiirilisi andmeid nii mullakirjelduste kui ka mulla keemiliste ja füüsikaliste parameetrite näol. Varasemad ja ka hilisemad, üheksakümnendatel läbi viidud uuringud, on võimaldanud anda hinnangut Eesti muldade süsinikuvaru kohta. Tunduvalt kesisem on lähteandmete pagas nende näitajate osas, mis võimaldaksid korrektselt koostada ülalnimetatud rahvusvahelisi raporteid, kus nõutakse eelkõige andmeid mulla süsinikuvaru aastase muudu kohta. See puudutab nii süsiniku akumuleerumist mulda kui ka emissiooni mullast. Ka metsa peenvarise seire osas on andmed Eesti kohta suhteliselt napid hõlmates ainult üksikuid kasvukohatüüpe ja vanusegruppe (*ICP Forests* ja *Integrated Monitoring* proovialade okaspuupuistutes ning V. Uri uuringud lehtpuupuistute osas (Uri,2012)). Laiaulatuslikumad süstemaatiliselt kavandatud variseuuringud, mis võimaldaksid teha üldistusi kogu Eesti metsfondi kohta, puuduvad ja see on hetkel üks suuremaid vajakajäämisi kasvuhoonegaaside inventuuri LULUCF sektori osas. Käesoleva aruande sisuks on Keskkonnainvesteeringute Keskuse ja Keskkonnateabe Keskuse vahel sõlmitud sihtfinantseerimise lepingu nr 1632 01.oktoober 2012 „Kasvuhoonegaaside heitkoguste inventuuri uuringud riikliku aruandluse täitmiseks maakasutuse ja metsandussektoris“ raames täidetud tegevused. Töö eesmärgiks oli:

1. Puude peenjuurte biomassi hindamine ICP Forests metsaseire kuusikutes ja männikutes vastavalt 2+2 ning puude ja alustaimestiku peenjuurte aastase produktsiooni hindamine sissekasvuvõrkude meetodil (kuuel alal).

2. Aastaringne puistuvarise seire *ICP Forests* ja kuusikutes ja männikutes ning 2 seireala lisamine *ICP Forests* proovialadel (Karula männik ja Karepa kuusik).

3. Lagunemiskatsete paigaldamine varise ja peenjuurte kaudu aineringesse siseneva süsinikuhulga määramiseks erinevate metsakasvukohatüüpide kuusikutes ja männikutes.

4. Mullahingamise intensiivsuse määramine natroonlubja meetodil erinevate metsakasvukohatüüpide kuusikutes ja männikutes (pilootuuring meetodi testimiseks).

Projekt oli esialgu kavandatud kahe aasta peale, mis oleks võimaldanud jõuda juba esialgsete tulemusteni süsinikuringe voogude hindamisel (varis, peenjuured, lagunemiskatsed, mulla hingamine), kuid kahjuks kärbete tõttu nii projekti vahendite kui kestuse osas (kahelt aastalt aastale) oli käesoleva projekti raames võimalik lagunemiskatsed ainult paigaldada. Katsete ülesvõtmine ja esialgsete tulemuste saamine süsiniku voogude osas jääb 2013. aasta teise poolaastasse.

1. Materjal ja metoodika

1.1. Vaatlusalade iseloomustus

Uuringud viidi läbi neljal programmi *ICP Forests* püsivaatlusalal (Sagadi, Vihula, Tõravere, Vändra (Võidula)) ja kolmel *ICP IM* püsivaatlusalal (Saarejärve kuusiku ja männiku proovialal, Vilsandi). 2013. aasta kevadeks olid varisekogujad paigaldatud ka Karula ja Karepa püsivaatlusaladele (*ICP Forests*).

Püsivaatlusalade kirjeldused on toodud tabelis 1. Tabel 2 annab ülevaate vaatlusaladel läbiviidud uuringutest. Kuna kõik vaatlused on seotud mullaga, siis tabelis 3 on toodud ära ka rida mullakarakteristikuid, mis mõjutavad oluliselt mullas toimuvaid protsesse. Tabel 4 annab ülevaate *ICP Forests* vaatlusalade mulla süsiniku sisaldusest. Joonis 1 illustreerib Vändra (Võidula) prooviala mullatingimusi.

Joonis 1. **Leede-turvastunud muld (LG1) Võidula vaatlusalal**.

Leede-turvastunud mullad on alaliselt ehk tugevasti liigniisked metsa- liivmullad, mille pealmisele halvasti lagunenud turbahorisondile järgneb õhuke, mõne sentimeetri tüsedune toorhuumuslik üleminekukiht ja sellele omakorda leet- ning raud- või huumusilluviaalne horisont. Leede-turvastunud mullad on tüüpilised metsamullad ning neil esinevad sinika- ja karusamblatüüpi puistud. Alusmets tavaliselt puudub.

Vaatlusalade kirjeldused

Tabel 1

Vaatlusala	Asukoht			Vaatlusala kirjeldus					Muld				
	Maakond	Latit	Long	Peapuuliik	Vanus	Keskmine H (m) / D (cm)	Kasvukohatüüp		Huumus-tüüp	Soil Group	WRB Group*	Soil unit WRB_2006	Eesti spets.
L-I Vändra (Võidula)	Pärnumaa	58˚42'29"	25˚03'50"	kuusk	46	18 / 19	karusambla-mustika	KM	Moor	Podzol	PZ	Gleyic Podzol	LG
L_II Sagadi	Lääne-Virumaa	59˚33'42"	26˚02'46"	mänd	80	15 / 15	sambliku	SM	Moor	Podzol	PZ	Albic Podzol	LII
L_II Vihula	Lääne-Virumaa	59˚34'42"	26˚07'57"	mänd	88	20 / 19	mustika	MS	Moor	Podzol	PZ	Gley Podzol	LIIg
L_II Karula	Võrumaa	57˚42'02"	26˚31'03"	mänd	85	24 / 23	pohla	PH	Moder	Podzol	PZ	Umbric Podzol	Ls
L_II Karepa	Lääne-Virumaa	59˚31'44"	26˚24'03"	kuusk	52	20 / 21	kuiv.-jäneskapsa	JK	Moder	Podzol	PZ	Umbric Podzol	LkI(g)
L_II Tõravere	Tartumaa	58˚16'30"	26˚27'37"	kuusk	56	25 / 24	jäneskapsa	JK	Mull	Luvisol	LV	Haplic Luvisol	KI
IM Saarejärve	Jõgevamaa	58˚39'03"	26˚45'36"	kuusk	90	22,5 / 26	mustika	MS	Moor	Podzol	PZ	Haplic Podzol	LII
IM Vilsandi	Saaremaa	58˚23'13"	21˚50'38"	mänd	105	17 / 29	kastikuloo	KL	Mull	Leptosol	LP	Calcari-gleyic Leptosol	K'''
Kuusnõmme	Saaremaa	58˚19'	21˚59'	mänd/ kuusk	90	11 /	kastikuloo	KL	Mull	Leptosol	LP	Calcari-gleyic Leptosol	K''

*WRB 2006.a.

Vaatlusaladel läbiviidud uuringud.

Tabel 2

Vaatlusala	Peenvarise voog	Okka lagunduskatse	Peenjuurte lagunduskatse	α - tselluloosi lagunduskatse	Peenjuurte biomass	Peenjuurte aastane käive	Mulla hingamine	Alustaimestiku biomass	Peenvarise keemia	Mulla keemia
L-II SAGADI	X	X	X	X	X	X	X		X	
L-II VIHULA	X	X	X	X	X	X	X		X	
L-II TÕRAVERE	X	X	X	X	X	X	X		X	
L -I VÄNDRA(VÕIDULA)	X	X	X	X	X	X	X		X	X
IM VILSANDI	X*		X	X	X	X	X	X		
KUUSNÕMME							X			
IM SAAREJÄRVE KU	X**	X	X	X	X	X	X			
IM SAAREJÄRVE MÄ		X	X	X			X			
L-II KARULA	X									
L-II KAREPA	X									

* tööd on teostatud projekti "Kompleksseire Vilsandil" raames
** tööd on teostatud projekti "Kompleksseire Saarejärvel" raames

Vaatlusalade muldade iseloomustus

Tabel 3

Vaatlusala	Sügavus/ kiht (cm)	pH($CaCl_2$)	pH(H_2O)		Orgaa-niline süsinik	Üld-lämmastik	Alumii-nium	Kaltsium	Kaalium	Fosfor	Sulfaatne väävel
				$CaCo_3$	TOC	$N_{(üld)}$	Al	Ca	K	P	SO_4-S
				mg/kg	gC/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mgS/kg
L-II Sagadi	OL	3.6	4.2	-	512.2	9.5	347	6400	750	483	630
L-II Sagadi	OF	3.2	4.2	-	422.0	6.5	2167	3333	743	747	1200
L-II Sagadi	0-5	4.0	4.9	-	16.1	0.3	2267	387	207	253	35
L-II Sagadi	5-10	4.6	5.1	-	13.3	0.3	5600	360	220	620	67
L-II Sagadi	10-20	4.7	5.2	-	8.5	0.2		357	220	643	
L-II Sagadi	20-40	4.9	5.3	-	<10	0.1		530	297	560	
L-II Sagadi	40-80	4.9	5.2	-	<10	<0.10		810	223	557	
L-II Vihula	OL	3.7	4.3	-	492.3	11.1	333	7533	1000	580	690
L-II Vihula	OF	3.1	4.0	-	464.5	8.9	1700	4133	720	713	1367
L-II Vihula	OH	3.0	4.1	-	421.1	12.5	2100	4367	423	547	1367
L-II Vihula	0-5	3.4	4.5	-	6.4	0.2	773	200	137	30	30
L-II Vihula	5-10	3.6	4.6	-	7.0	0.2	1053	257	133	69	30
L-II Vihula	10-20	3.9	4.9	-	6.8	0.2		323	147	373	
L-II Vihula	20-40	4.7	5.2	-	<10	0.1		587	137	387	
L-II Vihula	40-80	4.8	5.6	-	<10	<0.10		720	160	350	
L-II Karula	OL	3.9	4.5	-	520.0	7.9	287	6033	850	540	580
L-II Karula	OF	3.0	3.7	-	477.7	13.0	1193	2667	823	793	1333
L-II Karula	OH	2.9	3.7	-	359.4	10.8	2100	2133	520	590	1210
L-II Karula	0-5	3.6	4.6	-	24.4	0.7	2533	157	240	373	58
L-II Karula	5-10	4.3	4.9	-	18.4	0.6	4667	163	233	650	52
L-II Karula	10-20	4.6	5.1	-	9.4	0.3		173	237	670	
L-II Karula	20-40	4.8	5.3	-	4.4	0.2		240	310	550	
L-II Karula	40-80	5.0	5.4	-	<10	<0.10		297	317	273	
L-II Karepa	OF	5.1	5.7	-	346.0	15.2	2833	15667	1147	1133	1500
L-II Karepa	0-5	4.4	5.2	-	29.8	1.4	4833	1317	567	537	140
L-II Karepa	5-10	4.3	5.1	-	24.7	0.8	4533	910	460	753	112
L-II Karepa	10-20	4.4	5.2	-	19.9	0.7		963	613	1020	
L-II Karepa	20-40	4.5	5.2	-	13.9	0.4		1900	1103	1900	
L-II Karepa	40-80	4.6	5.4	-	5.0	0.3		3533	2433	1663	
L-II Tõravere	0-5	4.8	5.7	-	33.0	1.9	7667	2267	1333	450	170
L-II Tõravere	5-10	4.5	5.5	-	23.1	1.5	7733	1300	1267	373	137
L-II Tõravere	10-20	4.6	5.5	-	15.2	0.9		1043	1170	347	
L-II Tõravere	20-40	4.9	5.8	-	9.4	0.5		997	1467	367	
L-II Tõravere	40-80	5.9	6.7	-	<10	0.2		3433	3533	537	
Kuusnõmme	Kõdu	5.4	5.8	<10	450	9.3	3800	18000	1500	450	2900
Kuusnõmme	Kõdu	5.9	6.2	<10	390	10	5300	22000	1600	410	3300
Kuusnõmme	Kõdu	6.4	6.6	<10	170	7.2	5700	21000	1500	340	3500
Kuusnõmme	0-5	7.2	7.7	150	68	4	9200	29000	2000	270	700
Kuusnõmme	5-10	7.4	7.8	<10	84	4	12000	31000	2500	320	1000
Kuusnõmme	10-20	7.4	7.8	<10	63	3	8300	24000	1600	190	860
L-I Vändra	OH	3.1	3.5	<10	420	16	3200	4800	710	880	2100
L-I Vändra	OF	3.8	4	<10	500	16	1100	8000	1200	970	1700
L-I Vändra	0-5	4.3	4.6	<10	15	0.62	3400	350	190	130	110
L-I Vändra	5-10	4.4	4.8	<10	<10	0.72	6600	800	300	140	97

Tabel 3 järg

Vaatlusala	Sügavus/ kiht (cm)	pH($CaCl_2$)	pH(H_2O)		Orgaa-niline süsinik	Üld-lämmastik	Alumii-nium	Kaltsium	Kaalium	Fosfor	Sulfaatne väävel
				$CaCo_3$	TOC	N (üld)	Al	Ca	K	P	SO_4-S
				mg/kg	gC/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mgS/kg
L-I Vändra	10-20	4.6	4.9	<10	<10	0.66	8100	1500	360	270	93
L-I Vändra	0-5	3.8	4.1	<10	<10	0.48	2800	300	210	110	75
L-I Vändra	5-10	4.3	4.7	<10	<10	0.6	4300	570	260	84	64
L-I Vändra	10-20	4.4	4.8	<10	<10	0.56	6600	890	320	150	83
L-I Vändra	0-5	3.4	3.9	<10	24	1.3	3500	350	290	180	130
L-I Vändra	5-10	3.6	4.1	<10	14	1.3	2800	290	250	180	120
L-I Vändra	10-20	3.7	4.2	<10	50	1.3	7000	480	250	270	270

Keskmine süsiniku sisaldus *ICP Forests L-II* vaatlusaladel (kg C/m^2)

Tabel 4

Vaatlusala	OL	OF	OH	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-80 cm	Kokku
L_II Sagadi	0.111	2.425		1.052	0.942	1.250	0.000	0.000	3.244
L_II Vihula	0.030	1.552	3.081	0.323	0.376	0.753	0.000	0.000	1.452
L_II Karula	0.061	1.140	0.936	1.532	1.227	1.360	0.330	0.000	4.448
L_II Karepa		2.267		1.756	1.653	2.291	4.405	0.000	10.105
L_II Tõravere				1.890	1.418	2.060	2.773	0.000	8.141
L-I Võidula		1.339	2.834	0.878	1.007	2.516	2.317	3.234	9.952

1.2. Metoodika

1.2.1. Puude peenjuurte biomassi ning puude ja alustaimestiku peenjuurte aastase produktsiooni hindamine

Peapuuliikide peente juurte (diameetriga <2 mm) biomass määrati mullamonoliitide meetodil. Igalt proovialalt koguti mullapuuriga (sisemine läbimõõt 40 mm) 15 monoliiti, mis jagati kohapeal sügavuskihiti järgmiselt: kõdu (kõdu paksus mõõdeti kohapeal, igale proovile eraldi), 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm. Proovid pakendati eraldi kilekottidesse ja ladustati TÜ geograafia osakonna labori külmikutesse. Osa proovidest sügavkülmutati töötlemiseni.

Peente juurte aastast netoprimaarproduktsiooni (NPP) mõõdeti juurte sissekasvuvõrkude abil (Hirano et al., 2009). Selleks paigaldati vastava installaatoriga igale proovialale 120-150 juurevõrku 2011. aasta sügisel. Neist 25-30 võrku koguti septembris-novembris 2012 käesoleva projekti raames.

Peenjuured monoliidiproovidest ja võrkudest pesti mullast välja manuaalselt, juured jagati mikroskoobi all elusateks ja surnud juurteks, sissekasvuvõrkudest eraldati ka rohujuured ning puujuured puuliigiti. Proovid kuivatati 65 kraadi juures 48 tundi ja kaaluti 0.05 mg täpsusega.

1.2.2.Puistu peenvarise seire

Puistu peenvarise seire toimub aastaringselt. Selleks on paigaldat *ICP Forests* püsivaatlusalale puude võrade alla 10 varisekogujat süstemaatilise asetusega ca 1,2 meetri kõrgusele maapinnast (joonis 2). Varisekogujate kogumispindala on 0,25 m^2. Variseproovide kogumine toimub lumevabal perioodil kuulise intervalliga, talveperioodil moodustab ühe kogumisperioodi lumikatte perioodi pikkus (novembrist aprillini). Varis kuivatatakse, kaalutakse ja sorteeritakse kaheks fraktsiooniks: peapuuliigi okkad ja muu varis (muud okkad, lehed, viljad, seemned, oksad ja muu varis). Mõlemast fraktsioonist koostati aasta kohta keskmine proov laboratoorseks analüüsimiseks. Peapuuliigi okastest määrati kõigepealt 1000 okka kaal ja seejärel saadeti proovid Keskkonnauuringute Keskuse laboratooriumisse keemiliseks analüüsimiseks.

Joonis 2. Varisekoguja Sagadi vaatlusalal

Variseproovist määrati N, P, K, Ca, S, Al, Mn ja org C rahvusvahelise seireprogrammi *ICP Forest*s poolt aktsepteeritavate meetodite järgi (*Manual...).* Analüüsiandmete tulemuste põhjal arvutati aastas peenvarisega puistu laguahelasse minev orgaanilise süsiniku hulk.

1.2.3.Lagunduskatsed

Nii juure- kui puistuvarise lagunemise käigus muundatakse orgaanilises vormis olevad toiteelemendid anorgaanilisse vormi. Lagunemise kiirust mõjutavad nii varise hulk, keemiline koostis kui ka keskkonnategurid (mulla keemilised karakteristikud, niiskus, temperatuur jne). Seetõttu on oluline viia läbi keemilisi analüüse nii varise (juure- ja puistuvarise) kui ka mulla osas.

Kekkonnategurite mõju hindamiseks ja erinevate kasvukohatüüpide lagunemiskiiruse võrdlemiseks kasutatakse lisaks puhta α-tselluloosi (mida sisaldavad kõigi kõrgemate taimede rakukestad) lagunduskatseid.

Kompleksseire metoodika kohaselt (*Manual*, 1998) kasutatakse lagundamiseks standardseid 1 mm paksuseid α-tselluloosi ribasid, mille suuruseks on ligikaudu 30 ×50 mm ja kaaluvad ligikaudu 1 g. Kõik ribad eelnevalt kaaluti, kuivatati 65° C juures, pakendati võrkkottidesse võrgusilmaga 1 mm ja asetati sügisel samblapinnale ning kaeti õrnalt värske varisega (paralleelselt variseproovidega 40 kotikest) ja kõdukihti (paralleelselt juurteproovidega 40 kotikest). Proovid installeeriti oktoobris 2012.

Varise lagundamiskatseteks kaaluti 1g sama puistu peapuuliigi okkavarist, õmmeldi ruudukujulistesse võrkkottidesse küljega 10 cm, asetati samblapinnale ja kaeti õrnalt värske varisega ─ 40 kotikest proovitüki kohta. Proovid asetati maha 8 seeriana, igas 5 kotti. Proovid installeeriti oktoobris 2012. Lagunduskatsed võetakse üles ühe, kahe ja kolme aasta pärast.

Peenjuurte lagunduskatseteks koguti kõikidelt proovialadelt peapuuliigi peenjuuri kaevates labidaga mitmest juhuslikust kohast. Juured pesti laboratooriumis, kuivatati esmalt õhkkuivaks, edasi 65 kraadi juures 48 tundi. Juured kaaluti 0,5 grammisteks proovideks, mis pakendati katse tarvis õmmeldud lagunduskottidesse (kaatetite mõõt 10cm) võrgusilmaga 0,1 mm. Iga prooviala jaoks valmistati ette 40 lagundusproovi. Proovid installeeriti oktoobris 2012.

1.2.4. Mulla CO_2 emissiooni mõõtmine

Mulla CO_2 emissiooni (mulla hingamise) mõõtmiseks katsetati natroonlubja meetodit, mis ei vaja kallist aparatuuri, kuid on edukalt rakendatav metsaaladel (Keith H., Wong S.C., 2006). Katsetatav meetod on kambermeetod, mille aluseks on natroonlubja võime absorbeerida süsihappegaasi. Meetod on lihtne ja odav ning seda on võimalik kasutada kõigi ilmastikutingimuste juures. Natroonlubja graanulid koosnevad NaOH, $Ca(OH)_2$ ja 20% absorbeeritud veest. Vesi on vajalik CO_2 keemiliseks sidumiseks Na_2CO_3 ja $CaCO_3$ moodustumisel. 50 g natroonlupja kaaluti petri tassidesse ja hoiti siis kuivatuskapis 105°C juures 14 tundi, misjärel kaaluti nii lubi kui tass. Seejärel petri tass suleti õhukindlalt PVC teibi abil. Välikatse alguses natroonlubi niisutati kõigepealt 8 ml pihustatud veega ja paigutati siis 24 tunniks kinniteibitud hingamiskambrisse pindalaga 0.0679 m^2. Peale inkubatsiooni petri tassid teibiti õhukindlalt ja transporditi laboratooriumi, kus need kuivatati (14 tundi 105°C juures) ja kaaluti. Kambrid jäid vaatlustevahelisel perioodil metsas avatuks. CO_2 emissioon väljendatakse ööpäevase ajaühiku kohta g C/m^2. Kuna kaalumise ja kuivatamise ajal võis natroonlubi saada mõjutatud ka atmosfääri CO_2-st või kambri lekkimisest, millel ei ole midagi tegemist mullast lähtuva CO_2-ga, siis nende tegurite võimaliku mõju hindamiseks kasutati kinnise põhjaga

kontrollkambreid. Käesoleva katse puhul kasutati prooviala kohta 8 mõõtmiskambrit ja 3 kontrollkambrit.

Paralleelselt natroonlubja meetodiga kasutati mullahingamise intensiivsuse mõõtmiseks ka suletud dünaamilise kambri meetodit (*PP Systems SRC-1* kamber koos gaasianalüsaatoriga *CIRAS-2 (Differential CO2 /H2O Infrared Gas Analyzers)).* Kambri ristlõikepindala on 78,5 cm^2 ja ruumala 1170 cm^3. Süsteem peatab mõõtmise automaatselt, kui kambris võrreldes lähteseisuga tõuseb CO_2 kontsentratsioon üle 60 ppm või kui mõõtmise algusest on möödunud 120 sekundit (Luo & Zhou, 2006). Selleks, et mõõta ainult mullast eralduvat CO_2, lõigati kambri alla jäävad rohelised taimeosad ära. Enamasti võimaldas kambri väike ristlõikepindala leida taimedest vaba mullapinda (Kukumägi *et al*, 2011).

1.2.5. Alustaimestiku maapealne produktsioon

Alustaimestiku maapealne produktsioon määrati Vilsandi kompleksseire alal. Selleks koguti alustaimestiku proovid kümnelt juhuslikult valitud 0,25 m^2 suuruselt ruudult augustis, maksimaalse biomassi saavutamise ajal. Taimede maapealne osa kuivatati, kaaluti ja arvutati produktsioon 1 m^2 kohta.

1.2.6. Mullaproovide võtmine

Välitööde käigus rajati Vändra(Võidula) vaatlusalale üks põhikaeve prooviala mulla täpsemaks iseloomustamiseks. Põhikaeve kohta koostati detailne mullaprofiili kirjeldus geneetiliste horisontide kaupa, igast horisondist võeti proovid keemiliseks analüüsimiseks ja lasuvustiheduse hindamiseks, kaeve fotografeeriti digitaalse kaameraga.

Lisaks põhikaevele tehti viies valitud punktis detailsed kõdu-uuringud ning rajati 4 abikaevat, millest võeti mullaproovid fikseeritud sügavuste kaupa. Kõdu jaotati kolmeks kihiks, mineraalmullast võeti proovid viiest erinevast kihist (0–5, 5–10, 10–20, 20–40, 40–80 cm). Keemiliseks analüüsimiseks võeti igast kihist ka lasuvustiheduse proovid. Proovid valmistati ette (kuivatati, sõeluti, jahvatati) nii mineraalmulla kui kõduproovid. Proovid saadeti keemiliseks analüüsimiseks OÜ Keskkonnauuringute Keskuse Tartu laboratooriumisse.

2. Tulemused

2.1. Puude peenjuurte biomassi ning puude ja alustaimestiku peenjuurte aastase produktsiooni hindamine

Allprojekti „Peenjuurte bio-ja nekromass ning aastane produktsioon kuusikutes ja männikutes *ICP Forests* ja *Integrated Monitoring*-u aladel“ käigus hinnati hariliku männi ja kuuse peenjuurte biomassi neljal alal, kahes kuusikus ja kahes männikus. Peenjuurte aastast produktsiooni hinnati kuues okasmetsas, kolmes männikus ja kolmes kuusikus. Kuna proovialad olid valitud piki keskkonnagradiente, uuritud puistud olid erineva produktiivsusega ja hõlmasid erinevaid metsakasvukohatüüpe, siis saadud tulemuste põhjal saab väita, et peenjuurte biomass, produktsioon ja käive on olulised mulla süsinikuringe mõjutajad ning erinevad kasvukohatüübiti.

Ülevaate töödeldud peenjuurte proovide arvust vaatlusalade kaupa annab tabel 5.

Projekti raames kogutud ja töödeldud peenjuurteproovide arv

Tabel 5

Prooviala	Töödeldud monoliidi-proovide arv	Töödeldud sissekasvuvõrgu-proovide arv
L-II Sagadi	131	85
L-II Vihula	75	80
IM Vilsandi	100*	82
L-II Tõravere	75	76
IM Saarejärve Ku	37	45
L-I Vändra	42	62
Kokku	**360**	**430**

* - tehtud ETF granti 7254 raames

Kokku töödeldi 790 proovi, sellest 360 monoliidi proovi ja 430 sissekasvuvõrguproovi.

Tabel 6 annab ülevaate peenjuurte biomassi ja esimese aasta sissekasvu hinnangutest püsivaatlusalade lõikes.

Keskmised (± SE) peenjuurte biomasside ja esimese aasta sissekasvu hinnangud

Tabel 6

Vaatlusala	Peenjuurte biomass g /m^2	Peenjuurte I aasta NPP g /m^2	Alustaimestiku juurte NPP g /m^2	Peapuuliigi peenjuurte käive*
Männikud				
L-II Sagadi	276 ±36	36 ±8	8 ±3	0,13
L-II Vihula	268 ±37	29 ±7	85 ±32	0,11
IM Vilsandi	171 ±24**	52 ±7	51 ±17	0,31
Kuusikud				
L-II Tõravere	197 ±44	44 ±9	10 ±4	0,22
IM Saarejärve	441 ±240	130 ±28	20 ±10	0,30
L-I Vändra	204 ±55	25 ±7	0,1	0,12

* esimese aasta sissekasvude kasutamisel saadakse puujuurte kohta tõenäoliselt alahinnang

** tehtud ETF granti nr 7452 raames

Peenjuurte biomass varieerus kuusikutes 197 g m^{-2} – 441 g m^{-2} ja männikutes 171 g m^{-2} – 276 g m^{-2} (Tabel 5). Peente juurte biomass mulla ülemises 30 cm kihis oli selgelt väiksem produktiivsemates puistutes.

Peapuuliigi peenjuurte aastane produktsioon varieerus kuusikutes ja männikutes esimese aasta sissekasvuvõrkude põhjal 25 g m^{-2} – 130 g m^{-2} ja alustaimestiku juurte NPP jäi vahemikku 0,1 g m^{-2} – 85 g m^{-2} (Tabel 5). Peapuuliikide peenjuurte suurim aastane NPP leiti Saarejärve mustikakuusikus ja Vilsandi maasika (kastikuloo E. Lõhmuse järgi) männikus, kus leiti esimese aasta produktsioonihinnangute alusel ka suurimad käibehinnangud. Kirjanduse põhjal loetakse esimese aasta okaspuude juurte sissekasvu alahinnatuks, ent Eesti kohta hinnangu andmiseks vajab see edasist kasvukohapõhist analüüsi.

Kogu juurte (puud+alustaimestik) produktsioon oli suurim mustika metsakasvukohatüübis, nii männikus (Vihula) kui kuusikus (Saarejärve) (Tabel 6). Alustaimestiku juurte sissekasvu osakaal kogu juurte NPP-st on suurem valgusküllastes ja kõrgema produktiivsusega puistutes. Alustaimestiku juurte sissekasv moodustas suurima osakaalu Vihula ja Vilsandi männikutes, vastavalt 75% ja 50% kogu peenjuurte NPP-st ja Saarejärve ja Tõravere kuusikutes, vastavalt 19 ja 13% kogu aastasest peenjuurte NPP-st.

Joonis 3. Juurevõrkude väljakaevamine Sagadi vaatlusalal.

Joonis 4. Mullamonoliitide kogumine Sagadi vaatlusalal.

Sellest järeldub, et sõltuvalt puistu tihedusest ja viljakusest, võib aastas alustaimestikku seotava süsiniku hulk olla meie okasmetsades täiesti märkimisväärne. Samas Sagadi samblikumännik on küll valgusküllane, ent seoses väga kuiva kasvukohaga alustaimestikku seal eriti ei kasva. Aastane peenjuurte produktsioon oli suurem produktiivsemates puistutes, seevastu okaspuude peenjuurte biomass oli kõrgem väheproduktiivsetes puistutes. Lisaks on metsamuldade süsinikuringes oluline arvestada ka alustaimestiku juurte produktsiooni, seda eriti valgusküllastes, hõredates ja viljakates metsades, sest aastasest juureproduktsioonist võib alustaimestiku juurte osa olla kuni 75%.

2.2. Puistu peenvarise seire

Peenvarisega mulda jõudvat süsinikuvoo hindamiseks on vaja uurida varisevoogusid erinevates puistutes. Peenvarise seiret viidi läbi kuuel vaatlusalal (Sagadi, Vihula, Tõravere, Vändra, Vilsandi, Saarejärve (Ku)) (tabel 7), neist kahe (Vilsandi, Saarejärve Ku) seirekulud kaeti projektide „Kompleksseire Vilsandil“ ja „Kompleksseire Saarejärvel“ vahenditest. Kahel vaatlusalal (Karula, Karepa) alustati variseseirega 2012. aasta novembrist. Kokku koguti *ICP Forests* püsivaatlusaladelt 380 variseproovi. Tabelist 6 selgub, et aastane varisevoog vaatlusaladel varieerub 2,81 kuni 5,09 tonnini hektari kohta. Kui männikutes on puistutevahelised erinevused märkimisväärsed (2,81─5,09 t/ha), siis uuritud kuusikutes on varieeruvus tunduvalt väiksem (4,10─4,88 t/ha). Kõige suurem oli varise voog Vilsandi männikus ─ 5,09 t/ha ja kõige väiksem Sagadi männikus ─ 2,81 t/ha. Kogu peenvarise voost moodustas okkavaris 44─65 %, kusjuures männikutes on see 44─56% ja kuusikutes 51─60 %. Kuna peenvarise keemiline koostis mõjutab ka mullas toimuvaid lagunemisprotsesse, siis variseproovid analüüsiti (Tabel 8). Tabelist nähtub, et varise keemiline koostis varieerub aasta jooksul küllaltki suures ulatuses. Näiteks kaaliumi, fosfori, alumiiniumi ja kaltsiumi kontsentratsioonid Vändra(Võidula) proovialal kevad-talvisel, suvisel ja sügisesel perioodil erinevad kuni 56 %. Ülevaate taimetoiteelementide kontsentratsioonist okkavarises ja elusates okastes annab joonis 5. Üldlämmastiku, fosfori ja kaaliumi kontsentratsioon on varises tunduvalt madalam kui elusates okastes, kuid süsiniku osakaal on suurem okkavarises.

Peenvarise massid okaspuupuistutes 2012.a. andmetel.

Tabel 7

Vaatlusala	Pea-puuliik	Kogutud aastane kogus		Varise voog g/m^2	Varise voog t/ha	Peapuuliigi okka %
L-II Vihula	mänd	**kogu kaal(g)**	765.6	306.2	3.06	
		okka kaal(g)	*372.3*	*148.9*	*1.49*	*49*
L-II Sagadi	mänd	**kogu kaal(g)**	703.1	281.2	2.81	
		okka kaal(g)	*396.5*	*158.6*	*1.59*	*56*
IM Vilsandi (*)	mänd	**kogu kaal(g)**		508.6	5.09	
		okka kaal(g)		*271.0*	*2.71*	*53*
IM Saarejärve (**)	mänd	**kogu kaal(g)**	848.7	340.0	3.40	
		okka kaal(g)	*374.3*	*150.0*	*1.50*	*44*
L-II Tõravere	kuusk	**kogu kaal(g)**	1024.6	409.8	4.10	
		okka kaal(g)	*612.2*	*244.9*	*2.45*	*60*
L-I Vändra(Võidula)	kuusk	**kogu kaal(g)**	1221.1	488.4	4.88	
		okka kaal(g)	*779.8*	*311.9*	*3.12*	*64*
IM Saarejärve (**)	kuusk	**kogu kaal(g)**	1866.1	470.0	4.70	
		okka kaal(g)	*952.0*	*240.0*	*2.40*	*51*

(*) - andmed võetud Riikliku keskkonnaseire aruandest "Kompleksseire Vilsandil, 2012 .a. "
10 varisekogujat Ø 0,8m

(**) - andmed võetud Riikliku keskkonnaseire aruandest "Kompleksseire Saarejärvel, 2012 .a."
proovialal 5 kogujat, koguv pindala 2,5m^2

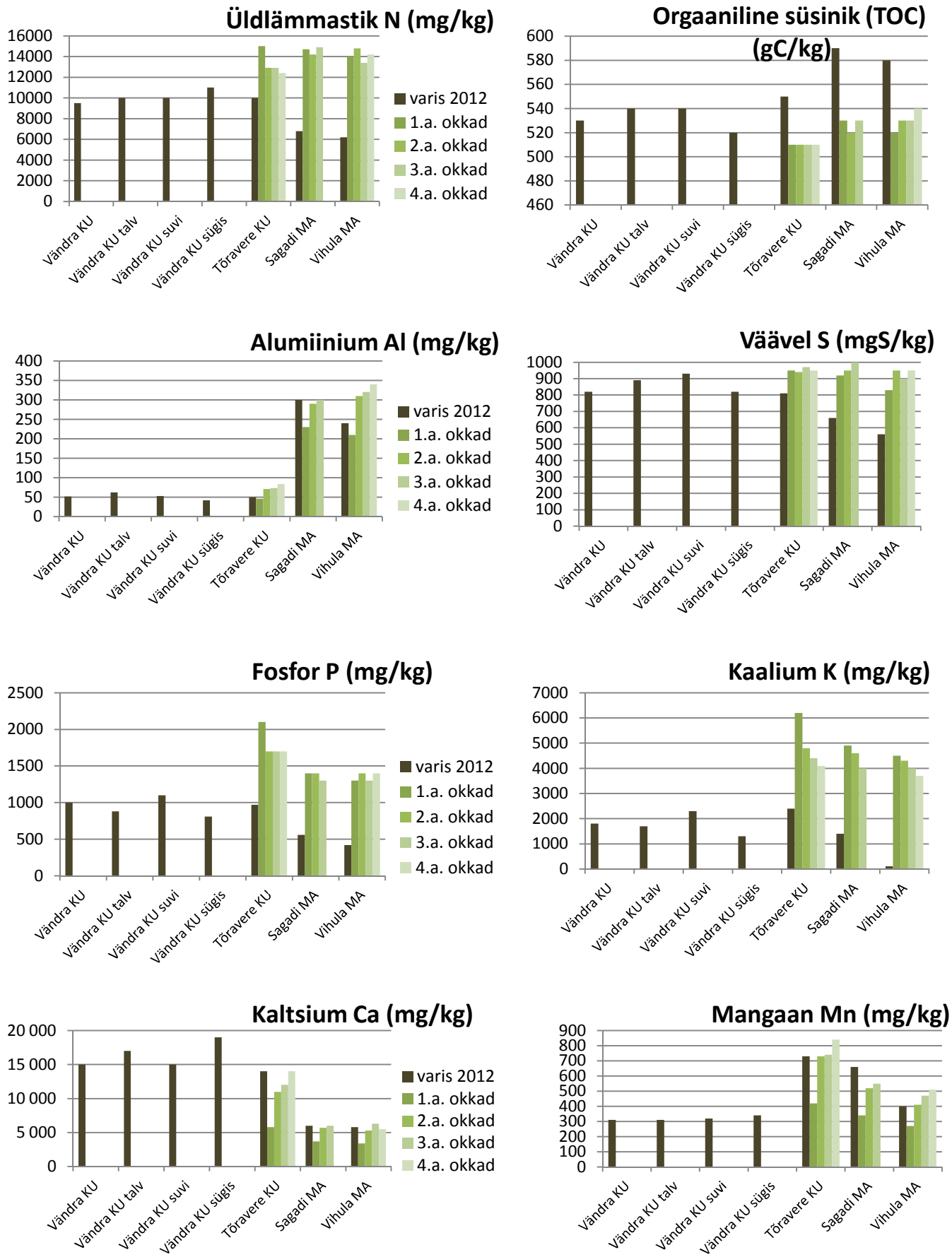
Peenvarise keemilise analüüsimise tulemused

Tabel 8

Vaatlusala	Proovi võtu aeg	Proovi kirjeldus	Pea-puuliik	Üld-lämmastik	Alu-miinium	Fosfor	Kaalium	Kaltsium	Mangaan	Sulfaatne väävel	Orgaaniline süsinik
				$N_{(üld)}$	Al	P	K	Ca	Mn	SO_4-S	TOC
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mgS/kg	gC/kg
L-II Tõravere	juuli.2012	okkavaris lagunemiskatseks	KU	13000	140	1200	2800	12000	650	910	510
L-II Tõravere	juuli.2012	muu varis	KU	17300	690	1300	2600	3800	230	930	510
L-I Vändra (Võidula)	juuli.2012	okkavaris lagunemiskatseks	KU	9400	52	1300	220	16000	340	930	510
L-I Vändra (Võidula)	juuli.2012	muu varis	KU	18800	160	1500	3000	4300	140	970	540
L-II Vihula	sept.2012	okkavaris lagunemiskatseks	MA	6700	240	320	940	6600	500	520	550
L-II Vihula	sept.2012	muu varis	MA	9000	260	910	1400	6900	380	860	530
L-II Sagadi	sept.2012	okkavaris lagunemiskatseks	MA	6100	300	380	1000	6600	640	540	560
L-II Sagadi	sept.2012	muu varis	MA	6100	320	360	630	4000	150	810	530
L-II Tõravere	kogu aasta 2012	okkavaris	KU	10000	50	970	2400	14000	730	810	550
L-II Tõravere	kogu aasta 2012	muu varis	KU	16000	260	1100	2200	6600	250	1100	570
L-II Sagadi	kogu aasta 2012	okkavaris	MA	6800	300	560	1400	6000	660	660	590

Tabel 8 järg

Vaatlusala	Proovi võtu aeg	Proovi kirjeldus	Pea-puuliik	Üld-lämmastik	Alu-miinium	Fosfor	Kaalium	Kaltsium	Mangaan	Sulfaatne väävel	Orgaaniline süsinik
				$N_{(üld)}$	Al	P	K	Ca	Mn	SO_4-S	TOC
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mgS/kg	gC/kg
L-II Sagadi	kogu aasta 2012	muu varis	MA	6200	290	220	360	6000	87	450	550
L-II Vihula	kogu aasta 2012	okkavaris	MA	6200	240	420	110	5800	400	560	580
L-II Vihula	kogu aasta 2012	muu varis	MA	9100	320	570	850	5300	120	710	550
L-II Vihula	kogu aasta 2012	kasevaris	MA	8500	58	840	970	12000	570	620	570
L-I Vändra (Võidula)	kogu aasta 2012	okkavaris	KU	9500	52	1000	1800	15000	310	820	530
L-I Vändra (Võidula)	kogu aasta 2012	muu varis	KU	16000	200	1200	2000	6500	160	1100	570
L-I Vändra (Võidula)	kogu aasta 2012	kasevaris	KU	13000	46	1500	1700	15000	300	980	570
L-I Vändra (Võidula)	nov.2011-apr. 2012	okkavaris	KU	10000	62	880	1700	17000	310	890	540
L-I Vändra (Võidula)	juuni-juuli 2012	okkavaris	KU	10000	53	1100	2300	15000	320	930	540
L-I Vändra (Võidula)	sept-okt 2012	okkavaris	KU	11000	42	810	1300	19000	340	820	520



Joonis 5. Toiteelementide kontsentratsioonid varises ja elusokastes ICP Forest proovialadel

2.3. Lagunduskatsed

Oktoobris 2012 paigaldati Sagadi, Vihula ja Saarejärve männkusse ning Tõravere, Vändra ja Saarejärve kuusikusse lagunduskatsed. Igale vaatlusalale paigaldati 40 okkavarise ja 40 juurevarise proovi, kokku 240 okka- ja 240 juurevarise proovi (Joonis 6). Paralleelselt nii okka- kui juurevarise lagundusproovidega paigaldati igale vaatlusalale ka 40 α-tselluloosi lagundusproovi, kokku 480 proovi. Vilsandi proovialale paigaldati 40 juurevarise ja 40 α-tselluloosi lagundusproovi. Esimesed 7 peenjuurte ja alfa-tselluloosi lagundusproovid koguti 1 kuu peale installeerimist, okaste lagundusproovid kogutakse esimest korda juunis 2013. Peenjuurte ja alfa-tselluloosi lagunemisproovide massikadu 1 kuu jooksul oli vastavalt 2,2 – 10,4 % ja 0 – 5,3 %. Peenjuurte keemilisest koostisest annab ülevaate tabel 9, kus on toodud keemilise analüüsimise tulemused nii paigaldatud juureproovide kui ka esimesel korjel kogutud juureproovide kohta. Nagu tabelist selgub on kõige suuremad muutused elementide kontsentratsioonis toimunud alumiiniumi, fosfori, kaaliumi, kaltsiumi ja mangaani osas. Fosfori ja kaaliumi osas on kontsentratsioonid tunduvalt alanenud, alumiiniumi, kaltsiumi ja mangaani osas on muutus olnud mõlemapoolne (joonis 7). Süsiniku osas on muutused olnud minimaalsed, v.a Saarejärve männik, kus C kontsentratsiooni tõus on olnud 6 protsendi punkti.

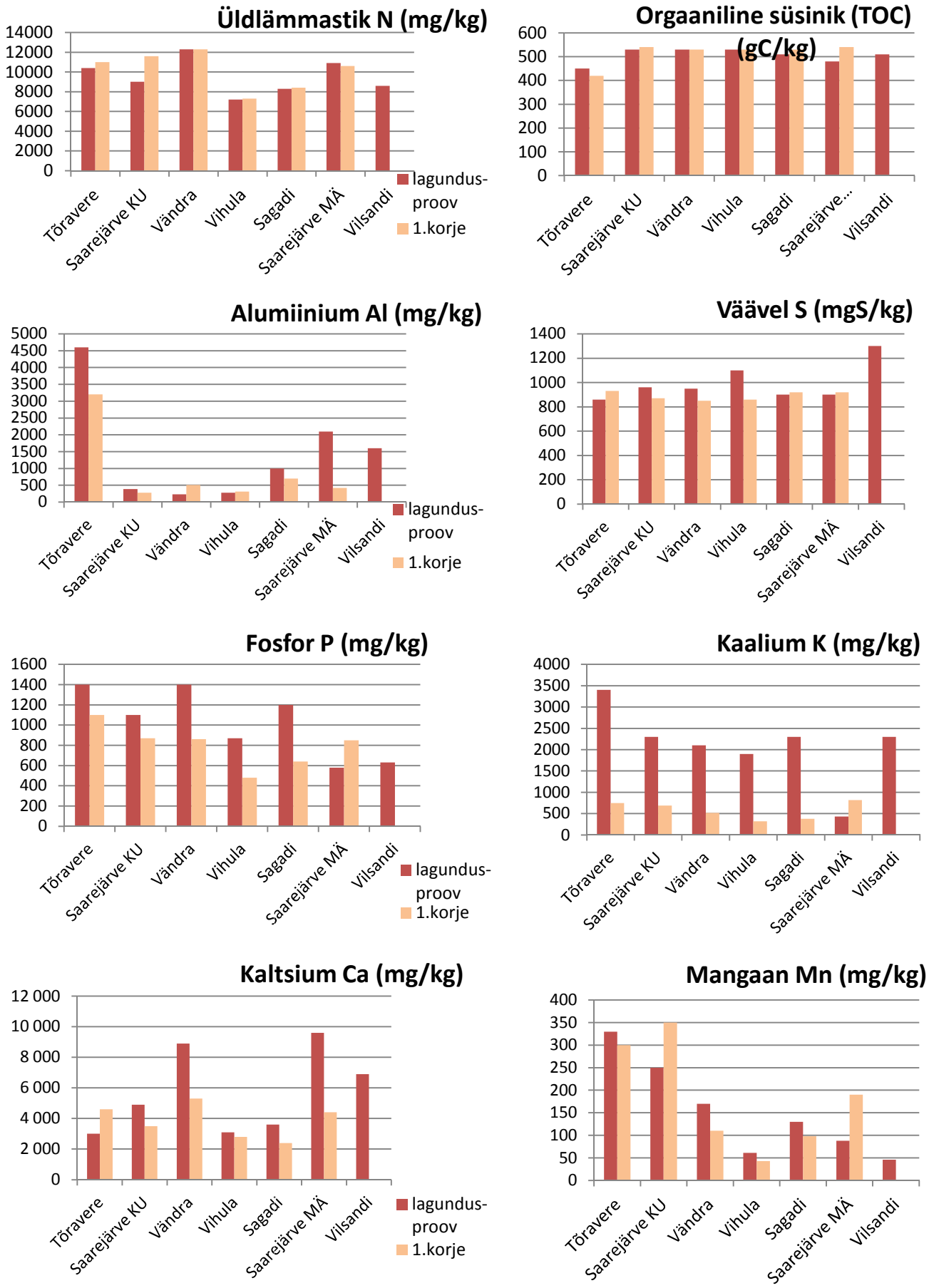
Varisekorjed ning järgmised juure- ja α-tselluloosi lagundusproovide korjed jäävad välja käesoleva projekti raamest nii ajaliselt kui rahaliselt. Lagunduskatsete lõpuleviimiseks on hädavajalik jätkuprojekt.

Joonis 6. Peenjuurte lagunduskatse paigaldamine Sagadi vaatlusalal.

Peenjuurte keemilise analüüsimise tulemused

Tabel 9

Vaaltusala	Proov	Pea-puuliik	Üld-lämmastik	Alumiinium	Fosfor	Kaalium	Kaltsium	Mangaan	Sulfaat/ väävel	Üld-orgaaniline süsinik
			$N_{(üld)}$	Al	P	K	Ca	Mn	SO4-S	TOC
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mgS/kg	%
L-II Tõravere	lagundusproov	KU	10400	4600	1400	3400	3000	330	860	45
L-II Tõravere	1. korje	KU	11000	3200	1100	750	4600	300	930	42
IM Saarejärve	lagundusproov	KU	9000	390	1100	2300	4900	250	960	53
IM Saarejärve	1. korje	KU	11600	280	870	690	3500	350	870	54
L-I Vändra (Võidula)	lagundusproov	KU	12300	230	1400	2100	8900	170	950	53
L-I Vändra (Võidula)	1. korje	KU	12300	510	860	520	5300	110	850	53
L-II Vihula	lagundusproov	MA	7200	280	870	1900	3100	61	1100	53
L-II Vihula	1. korje	MA	7300	310	480	320	2800	43	860	53
L-II Sagadi	lagundusproov	MA	8300	1000	1200	2300	3600	130	900	51
L-II Sagadi	1. korje	MA	8400	700	640	380	2400	98	920	53
IM Saarejärve	lagundusproov	MA	10900	2100	580	430	9600	88	900	48
IM Saarejärve	1. korje	MA	10600	420	850	820	4400	190	920	54
IM Vilsandi	maha minevad	MA	8600	1600	630	2300	6900	46	1300	51



Joonis 7. Peenjuurte lagundusproovide ja 1. korje keemilise analüüsimise tulemused.

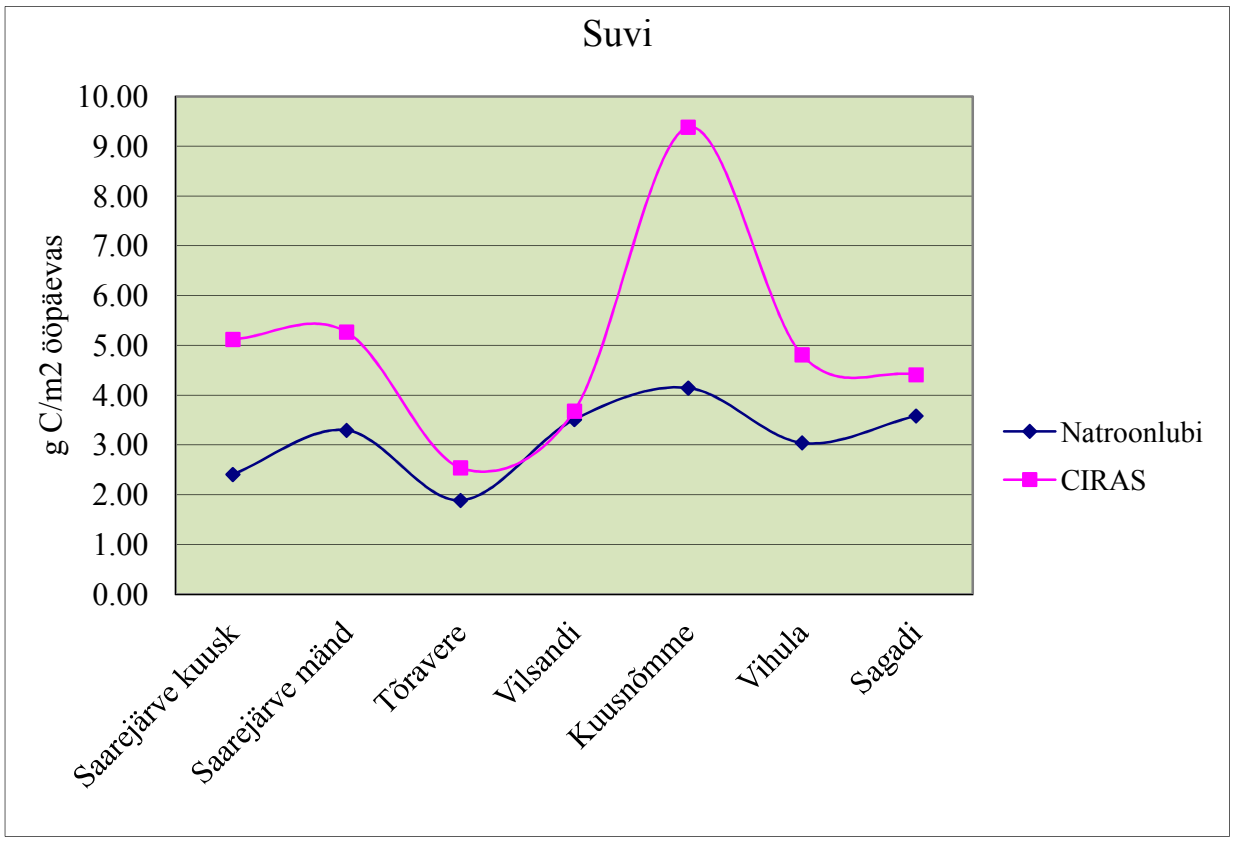
2.4. Mulla CO_2 emissiooni (hingamise) mõõtmine

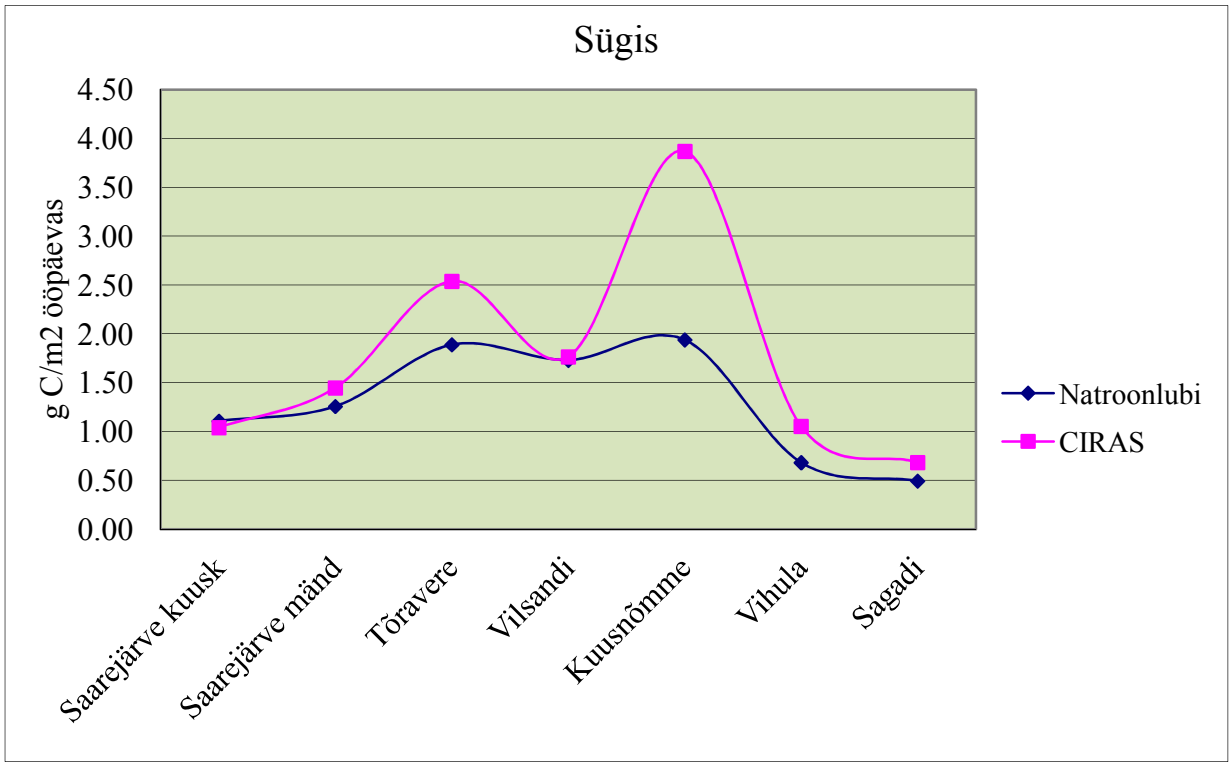
Fotosünteesiga seotava ja hingamisega eralduva CO_2 vahelisest tasakaalust sõltub, kas metsaökosüsteem on süsiniku salvestaja või emiteerimise allikas. Boreaalsed metsad on olulised süsiniku salvestajad, kuid nende metsade süsinikuringe bilanss on tundlik temperatuurimuutustele ning nad võivad muutuda süsiniku salvestajast süsiniku allikaks (Kukumägi *et al*, 2011). Vaatamata sellele, et mullahingamine on süsinikuringe üks suuremaid vooge, pole selle kohta metsades tehtud piisavalt uuringuid. Kuna käesoleva projekti ajaline piiratus ja rahalised vahendid ei võimaldanud ulatuslikke uuringuid, kavandati mullahingamise intensiivsuse mõõtmine natroonlubja meetodil erinevate metsakasvukohatüüpide kuusikutes ja männikutes pilootuuringuna natroonlubja, kui suhteliselt odava meetodi, testimiseks. Uuringud viidi läbi kaheksal vaatlusalal: Sagadi, Vihula, Vilsandi ja Saarejärve männikures ning Tõravere, Vändra (Võidula), Kuusnõmme ja Saarejärve kuusikutes. Pralleelsed uuringud nii natroonlubja kui ka suletud kambri meetodil (joonis 9, 10) viidi läbi seitsmel vaatlusalal kahes korduses ─ augustis ja novembris. Võidula vaatlusalal viidi paralleeluuringud läbi ainult augustis. Mulla hingamise mõõtmistulemustest annavad ülevaate tabel 10 ja joonis 8. Tabelist selgub, et praktiliselt kõigil vaatlusaladel on dünaamilise suletud kambri meetodil mõõdetud tulemused suuremad kui natroonlubja meetodit kasutades. Eriti suured on vahed suvekuul, kus hingamise intensiivsus on kõrgem. Seda on tõdenud ka teised uurijad (Keith, Wong, 2006, Kukumägi *et al*, 2011). Erinevused suvel ja sügisel tehtud mõõtmiste vahel viitavad mullahingamise intensiivsuse sesoonsusele.

Mulla hingamise intensiivsus gC/m^2/ööpäevas natroonlubja ja suletud dünaamilise kambri (CIRAS-2) meetodil.

Tabel 10

Vaatlusala	Suvi			Sügis		
	Natroon-lubi	CIRAS-2	CIRAS ─ natroonlubi	Natroon-lubi	CIRAS-2	CIRAS ─ natroonlubi
Saarejärve kuusik	2.41	5.12	2.7	1.11	1.04	-0.1
Saarejärve männik	3.30	5.27	2.0	1.26	1.45	0.2
Tõravere	1.89	2.54	0.7	1.89	2.54	0.7
Vilsandi	3.51	3.68	0.2	1.73	1.77	0.0
Kuusnõmme	4.15	9.38	5.2	1.94	3.87	1.9
Vihula	3.04	4.81	1.8	0.68	1.05	0.4
Sagadi	3.58	4.41	0.8	0.49	0.68	0.2
Võidula	3.89	6.36	2.5	1.78		



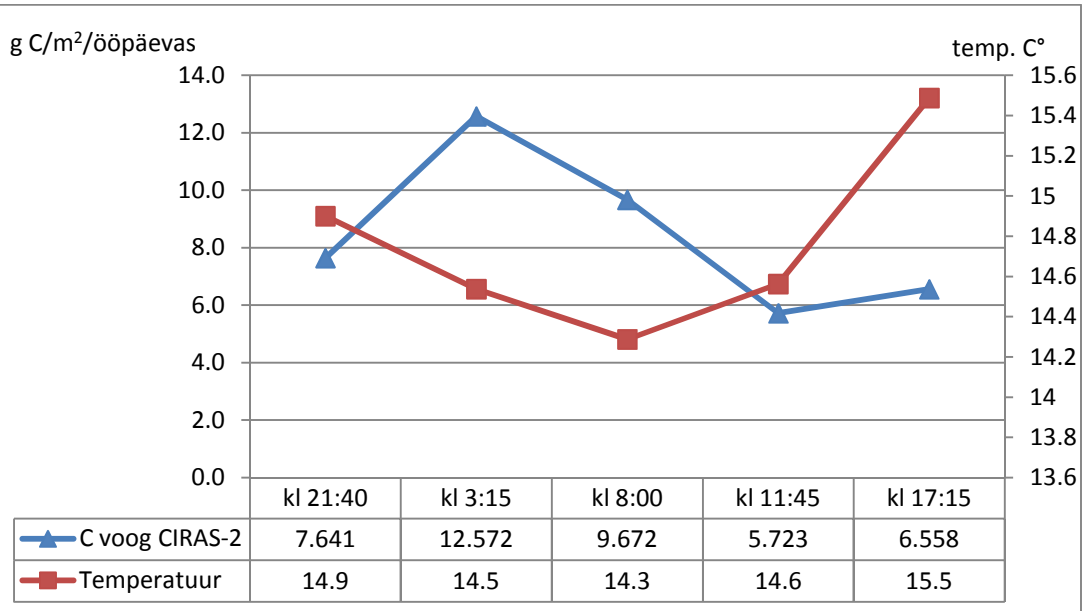


Joonis 8. Mulla hingamise intensiivsus gC/m^2/ööpäevas natroonlubja ja suletud dünaamilise kambri (CIRAS-2) meetodil.

Joonis 9. Mullahingamise intensiivsuse mõõtmine natroonlubja meetodil Sagadi vaatlusalal.

Joonis 10. Hingamiskambrid Vändra (Võidula) vaatlusalal mullahingamise intensiivsuse mõõtmiseks

Vilsandi vaatlusalal viidi suletud dünaamilise kambri meetodil (CIRAS-2) läbi mõõtmised ka mullahingamise intensiivsuse ööpäevaringse dünaamika jälgimiseks (Joonis 11). Hingamisintensiivsust mõõdeti viiel korral. (kell 21:40, 3:15, 8:00, 11:45 ja 17:15). Kõige intensiivsemaks osutus hingamine öösel kell 3:15 (12,67 g C/ööpäevas) ja kõige madalamaks kell 11:45 (5,72 g C/ööpäevas). Mõõtmistulemustest järeldub, et mulla hingamisel on selgelt ka ööpäevane käik.



	kl 21:40	kl 3:15	kl 8:00	kl 11:45	kl 17:15
C voog CIRAS-2	7.641	12.572	9.672	5.723	6.558
Temperatuur	14.9	14.5	14.3	14.6	15.5

Joonis 11 Vilsandi proovialal ööpäevaringselt mõõdetud mullahingamise intensiivsus

Nagu näitasid kahe meetodi paralleeluuringud, annab natroonlubja meetod süstemaatiliselt madalamaid väärtusi ning on väga aeganõudev ja töömahukas, mis seab selle edasise kasutamise kahtluse alla. Kuna mullahingamisel on selge sesoonne käik, mis korreleerub hästi mullatemperatuuriga (Kukumägi *et al*, 2011), siis on oluline teha mõõtmisi aastaringselt ja hankida selleks sobiv aparatuur.

Joonis 12 CIRAS-2 –ga mõõtmine Vändra (Võidula) proovialal.

2.5. Alustaimestiku maapealne produktsioon

Alustaimestiku maapealne produktsioon määrati Vilsandi kompleksseire alal. Selleks koguti alustaimestiku proovid kümnelt juhuslikult valitud 0,25 m^2 suuruselt ruudult 2012 aasta augustis, maksimaalse biomassi saavutamise ajal. Alustaimestiku maapealseks produktsiooniks oli 0,9 t/ha, millest järeldub, et aastas alustaimestikku seotava süsiniku hulk võib olla märkimisväärne. Kui siia lisada veel alustaimestiku peenjuurte aastane netoprimaarproduktsioon (NPP), mis Vilsandil oli 0,51 t/ha, siis kokku annab see alustaimestiku arvelt juba arvestatava tulemuse ─ 1,41 t/ha. Süsinikuna väljendatun on see 0.65 t C/ha.

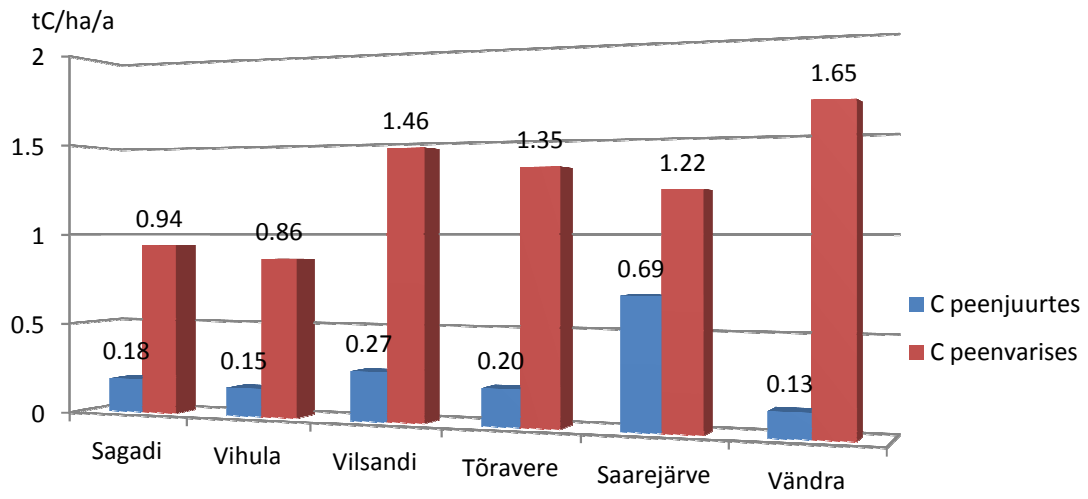
2.6. Süsiniku akumulatsioon peenjuurtes ja peenvarises

Peenjuurte ja –varise biomassi ning keemilise analüüsimise andmete põhjal on võimalik anda hinnangud ka süsinikuvoogudele (Tabel 11). Peenjuurte biomassis akumuleerunud süsiniku hulk on 0,87─2,34 t/ha, peenjuurte esimese aasta netoprimaarproduktsioonis 0,13─0,69 t/ha, alustaimestiku juurte esimese aasta netoprimaarproduktsioonis kuni 0,39 t/ha. Puistu peenvarises aasta jooksul akumuleerunud süsinikuvoog oli 0,86─1,65 t/ha. Kuna puistud on erivanuselised ja kasvukohatüübilt erinevad, siis ei ole korrektne teha ühe vaatlusala põhjal üldistusi puuliigi, vanusegrupi või kasvukohatüübi kohta. Vaatlusalade arvu on vaja kindlasti suurendada. Joonistel 13 on esitatud süsiniku akumulatsioon peenjuurte aastases netoprimaarproduktsioonis ja peenvarises. Alustaimestiku biomassis akumuleerunud süsiniku hulk 2012. a. Vilsandi vaatlusalal oli 0,65 t/ha.

Süsiniku akumulatsioon okaspuupuistute peenjuurtes ja peenvarises.

Tabel 11

Vaatlusala	Peapuuliik	Kasvukohatüüp	Vanus a.	C voog peenjuurte biomassis	C voog peenjuurte NPP-s	C voog alustaimestiku NPP-s	C voog peenvarises
				t/ha	t/ha/a	t/ha/a	t/ha/a
L-II Sagadi	MA	SM	80	1.41	0.18	0.04	0.94
L-II Vihula	MA	MS	88	1.42	0.15	0.39	0.86
IM Vilsandi	MA	KL	105	0.87	0.27	0.23	1.46
L-II Tõravere	KU	JK	56	0.89	0.2	0.05	1.35
IM Saarejärve	KU	MS	90	2.34	0.69	0.09	1.22
L-I Vändra (Võidula)	KU	KM	46	1.08	0.13	0.0005	1.65



Joonis 13 Süsiniku akumulatsioon okaspuupuistute peenjuurte aastases netoprimaarproduktioonis ja peenvarises (t C/ha).

Joonis 14. Okkavarise ja α-tselluloosi lagunduskatsed Vihula vaatlusalal

3. Kokkuvõte

1. Hariliku männi ja kuuse peenjuurte biomassi hinnati neljal alal, kahes kuusikus ja kahes männikus. Peenjuurte aastast produktsiooni hinnati kuues okasmetsas, kolmes männikus ja kolmes kuusikus. Kuna proovialad olid valitud piki keskkonnagradiente, uuritud puistud olid erineva produktiivsusega ja hõlmasid erinevaid metsakasvukohatüüpe, siis saadud tulemuste põhjal saab väita, et peenjuurte biomass, produktsioon ja käive on olulised mulla süsinikuringe mõjutajad ning erinevad kasvukohatüübiti. Aastane peenjuurte produktsioon oli suurem produktiivsemates puistutes, seevastu okaspuude peenjuurte biomass oli kõrgem väheproduktiivsetes puistutes. Lisaks on metsamuldade süsinikuringes oluline arvestada ka alustaimestiku juurte produktsiooni, seda eriti valgusküllastes, hõredates ja viljakates metsades, sest aastasest juureproduktsioonist võib alustaimestiku juurte osa olla kuni 75%.
Peenjuurte biomassis akumuleerunud süsiniku hulk on 0,87─2,34 t/ha, peenjuurte esimese aasta netoprimaarproduktsioonis 0,13─0,69 t/ha, alustaimestiku juurte esimese aasta netoprimaarproduktsioonis kuni 0,39 t/ha.

2. Peenvarise seiret viidi läbi kuuel vaatlusalal (Sagadi, Vihula, Tõravere, Vändra, Vilsandi, Saarejärve (Ku)), neist kahe (Vilsandi, Saarejärve Ku) seirekulud kaeti projektide „Kompleksseire Vilsandil“ ja „Kompleksseire Saarejärvel“ vahenditest. Kahel vaatlusalal (Karula, Karepa) alustati variseseirega 2012. aasta novembrist. Uuritud aladest kõige suurem oli varise voog Vilsandi männikus ─ 5,09 t/ha ja kõige väiksem Sagadi männikus ─ 2,81 t/ha. Kuusikuis jäi see vahemikku 4,10─4,88 t/ha. Kogu peenvarise voost moodustas okkavaris 44─65 %, kusjuures männikutes oli see 44─56 % ja kuusikutes 51─60 %.
Üheaastase katse korral jääb täielikult kirjeldamata varisevoogude ajaline (aastatevaheline) varieeruvus ning selle põhjal ei ole võimalik teha usaldusväärseid üldistusi.
Uuritud puistute peenvarises akumuleerunud süsiniku voog oli vahemikus 0,86─1,65 t/ha.

3. Lagunduskatsed paigaldati Sagadi, Vihula Saarejärve männikusse ning Tõravere, Vändra ja Saarejärve kuusikusse. Igale vaatlusalale paigaldati 40 okkavarise ja 40 juurevarise proovi, kokku 240 okka- ja 240 juurevarise proovi (joonis 4). Paralleelselt nii okka- kui juurevarise lagundusproovidega paigaldati igale vaatlusalale ka 40 α-tselluloosi lagundusproovi, kokku 480 proovi. Vilsandi ja proovialale paigaldati 40 juurevarise ja 40 α-tselluloosi lagundusproovi. Esimesed 7 peenjuurte ja alfa-tselluloosi lagundusproovi koguti 1 kuu peale installeerimist, okaste lagundusproovid kogutakse esimest korda juunis 2013. Peenjuurte ja alfa-tselluloosi lagunemisproovide massikadu 1 kuu jooksul oli vastavalt 2,2 – 10,4 % ja 0 – 5,3 %.

Varisekorjed ning järgmised juure- ja α-tselluloosi lagundusproovide korjed jäävad välja käesoleva projekti raamest nii rahaliselt kui ajaliselt. Lagunduskatsete lõpuleviimiseks on hädavajalik jätkuprojekt.

4. Kahe meetodi paralleeluuringud mulla hingamise intensiivsuse mõõtmisel näitasid, et natroonlubja meetod annab süstemaatiliselt madalamaid tulemusi kui CIRAS-2 ja on peale selle ka väga töömahukas. Seega ei ole natroonlubja meetodi kasutamine edasistel uuringutel eriti otstarbekas. Kuna mullahingamisel on selge sesoonne käik, mis korreleerub hästi mullatemperatuuriga (Kukumägi *et al*, 2011), ei piisa harvadest üksikmõõtmistest aastaringse CO_2 emissiooni kirjeldamiseks, vaid usaldusväärsete tulemuste saamiseks tuleb mulla hingamise intensiivsust mõõta aastaringselt.

5. Sesoonsetel väliuuringutel baseeruvad projektid tuleks planeerida vähemalt kahele või kolmele aastale, et projekti käigus jõuda tulemusteni. Üheaastase projekti puhul on paljusid uuringuid võimalik ainult alustada, mitte tulemusteni viia.

Kirjandus

Davidson, E.A., Belk, E., Boone, R.D., (1998). Soil water content and temperatureas independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Global Change Biology, 4, 217─227.

Hirano, Y., Noguchi, K., Ohashi, M., Hishi, T., Makita, N., Fujii, S., Finer. L., (2009). A new method for placing and lifting root meshes for estimating fine roor production in forest ecosystems. Plant Root, 3, 26─31.

ICP IM Programme Centre. 1998. Manual for Integrated Monitoring. Helsinki. Finnish Environment Institute.

Keith, H., Wong, S.C., (2006). Measurement of soil CO2 efflux using soda lime absorbtion: both quantitative and reliabl. Soil Biology & Biochemistry 38, 1121─1131.

Kompleksseire Saarejärvel. Aruanne 2012.
eelis.ic.envir.ee/seireveeb/aruanded/13977_Saarejärve_2012

Kompleksseire Vilsandil. Aruanne 2012.
eelis.ic.envir.ee/seireveeb/aruanded/14058_Vilsandi_aasta_2012

Kukumägi, M., Uri, V., Kull, Olevi., (2011). Mullahingamise sesoonne dünaamika kuusikute aegreas. Metsanduslikud Uurimused (Forestry Studies), 54, 5─17.

Luo, Y., Zhou, X., (2006). Soil respiration and the environment. Elsevier Academic Press, UK, 307 pp.

Lõhmus, E., (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. Eesti Loodusfoto ─ Tartu, 80 lk.

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, 2006.

Uri, V., (2012) KIK 2010 metsandusprojekt nr.1 "Metsanduse kliimaprogramm" Uuring metsakasvatuse komponendis: metsakasvatuslike võtete mõju süsiniku sidumisele puistute maapealses ja maaaluses osas ning mullas. Käsikiri

World reference base for soil resources. (2006). A framework for international classification, correlation and communication. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006. 128 p.