



[www.emu.ee](http://www.emu.ee)

**Eesti Maaülikool**

Estonian University of Life Sciences

Metsandus- ja maaehitusinstituut  
Institute of Forestry and Rural Engineering

# Lehisepuistute kordusmõõtmine Järveljal ja lehiste kasvu analüüs

Maris Hordo

Tartu 2020

# Sisukord

Sissejuhatus.....	3
Tegevuste kirjeldus .....	4
Ülevaade proovialadest ja takseerandmetest.....	6
Esmane ülevaade andmetest .....	8
Diameetrite mõõtmised ringproovitükkidel ja vanadel katsealadel .....	8
Kõrguste mõõtmised ringproovitükkidel ja vanadel katsealadel .....	9
Juurdekasv ringproovitükkide andmeil .....	10
Diameetrite jaotused alade kaupa.....	11
Kõrguskõverate testimine mõõtmisandmeil.....	13
Kokkuvõte .....	18
Allikad .....	19
Lisa 1. Eelmise mõõtmiskorra arvatatud takseertunnused. ....	20
Lisa 2. LH1 proovitüki puude skeem.....	21
Lisa 3. LH2 proovitüki puude skeem.....	22
Lisa 4. LH3 proovitüki puude skeem.....	23
Lisa 5. LH4 proovitüki puude skeem.....	24
Lisa 6. LH5 proovitüki puude skeem.....	25
Lisa 7. LH6 proovitüki puude skeem.....	26
Lisa 8. LH7 proovitüki puude skeem.....	27
Lisa 9. LH8 proovitüki puude skeem.....	28
Lisa 10. LH9 proovitüki puude skeem.....	29

## Sissejuhatus

Teatavasti on metsa kasvu uurimisel traditsiooniliseks andmeallikaks katsealade või proovitükkide mõõtmistulemused. Viimase saja aasta jooksul on rajatud erinevate uurijate poolt tuhandeid proovitükke, kuid üsna väike osa neist on säilinud või korrektselt dokumenteeritud (Kiviste ja Hordo 2002). Eristatakse ajutisi ja püsiproovitükke, vastavalt sellele, kas proovitükid või katsealad on looduses kordusmõõtmiseks leitavad või mitte. Soome Metsainstituudi kogemustest (Hynynen *et al* 2002) saab järeldada, et usaldusväärsete kasvumudelite loomiseks peaks proovitükke mõõtma vähemalt 15-20 aasta jooksul 3-4 korda. Järveljal on rajatud pikaajalisi katsealasid rohkem kui 100 aastat, kuid paraku pole kõiki mõõtmisandmeid säilinud või on nende kvaliteet küsitav. Seega on oluline metoodiline pool, et tagada usaldusväärsem andmestik metsanduslike mudelite loomiseks.

Teatavasti peetakse metsa püsiproovitükkide kordusmõõtmiste andmeil saadud takseertunnuste aegridu kõige usaldusväärsemateks. Selleks on oluline metsanduslike teadusuuringute järjepidevus. Lisaks spetsiaalselt puistu kasvukäigu (üksikpuude mõõtmisandmed) uurimiseks rajatud püsiproovitükkidele saab metsa kasvu uurimiseks kasutada muudel eesmärkidel rajatud metsa katsealade andmeid.

Eestis on rajatud hulgaliselt lehise kultuure, mis on leidnud meie kliimas ja mullas endale head kasvutingimused. Metsamehi on paelunud lehis oma kiire kasvu, ilusa puidu tekstuuri ja tugevate puidu omadustega. Õige lehise liigi ja kasvukoha valikul ületavad nad kasvukiiruselt kodumaiseid puuliike. Mitmed katsed on aga näidanud, et ebasobivates kasvutingimustes puud hukkuvad. Seda on eriti hästi näha Elmar Kaare rajatud lehise metsastamise katsealadel ammendatud põlevkivikarjääris, kus mõnikümme aastat vanad lehisepuud on mingil põhjusel surnud. Võõrliikide kultiveerimisega alustati Järveljal 19. sajandi teises pooles ning esimesteks võõrpuuliikideks olid euroopa ja vene lehis (Kasesalu 1999). Seega on lehise kultiveerimine Järveljal kestnud juba ligi 140 aastat. Hetkel on säilinud kaheksa lehise katseala, kus on tehtud järjepidevalt mõõtmisi ja märkmeid. Lehise katsealadel varasemaid mõõtmisi ei ole tehtud järjepidevalt, vaid ebakorrapärase intervalliga, samuti puuduvad üksikpuude mõõtmisandmed varasematest perioodidest.

Käesoleva projekti peamiseks eesmärgiks oli jätkata kordusmõõtmistega lehise puistutes (kaheksa vana prooviala ja üheksa uut ringproovitükki, mis mõõdeti 2014. aasta sügisel), et andmeseeriad oleksid järjepidevad. Samuti analüüsida ja modelleerida lehise kasvu ning võrrelda eelmiste mõõtmistega. Esmased ülevaated kogutud andmetest on esitatud ka käesolevas aruandes.

## Tegevuste kirjeldus

Käesoleva projekti raames teostati järgmised tegevused:

- 2019. aasta sügisel mõõdeti teist korda viis aastat tagasi rajatud üheksa ringproovitükki (tabel 1), vastavalt Kiviste *et al.* 2015 metoodikale. Välitöödel osalesid Maris Hordo ja Vivika Kängsepp.
- Samuti kordus mõõdeti kaheksa vana lehiste katseala (table 1) SA Järvelja Öppe- ja Katsemetskonnas. Välitöödest võttis osa ka loodusvarade kasutamise ja kaitse eriala tudeng Siim Laur.

Ringproovitükidel tehtud tööd:

- Ringproovitükkidelt on määratud GPS koordinaadiga proovitükki tsepter ning paigaldatud tsepteripost.
- Iga kordusmõõtmisele kuuluva ringproovitüki jaoks koostati blankett, mis on osaliselt täidetud eelmise mõõtmise andmetega ja mida välitööde käigus parandati ja täiendati uute mõõtmistega.
- Proovitüki tsepter oli leitav eelmisel mõõtmisel puudele tehtud värvimärkide järgi. Värvimärgid puudel on tseptri suunas.
- Mõõtmiseks ettevalmistamise käigus seadistati bussool magnetilisele põhjasuunale, iga päev enne mõõtmisi kontrolliti Vertexi kaugusmõõdu õigsust (10 m lindi abil) ja 1,3 m kõrguse mõõdu märki riietusel, klupi ja värvipulverisaatori töökorras olekut. Proovitüki tseptris lülitatakse tööle Vertexi vastaja (transponder). Puude mõõtmismärkideks kasutatav värv peaks erinema eelmise mõõtmise värvist.
- Enne mõõtmiste alustamist kontrolliti erinevates suundades mõne juhuslikult valitud puu koordinaatide õigsust.
- Iga puu jaoks kontrolliti või mõõdeti uuesti järgmisi tunnuseid: rinne, puuliik, asimuut (ringproovitükkidel), kaugus (ringproovitükkidel), diameeter kahes suunas (d1 ja d2, tseptri suunas ja sellega risti; diameetri mõõtmise koht märgitakse värvitäpiga proovitüki tseptri suunas), rikked ja märgused.
- Mõõtmise teises etapis mõõdetakse mudelpuud, kus “kirjutaja” võtab blanketilt puude loetelust järjekordse mudelpuu, otsib selle proovitükil üles ja kinnitab puu tüvele 1.3 m kõrgusele Vertexi vastaja (transponderi). Mudelpuud märgitakse kahe kõrvuti oleva värvitäpiga. Mudelpuudeks reeglina on võetud iga 5. puu, ülevalitsevad ja valitsevad puud ning proovitükil harvaesinevate puuliikide esindajad. Kameraaltööde käigus võib olla tehtud korraldus kordusmõõtmisel täiendavate mudelpuude mõõtmiseks. Puu kõrguse mõõtmine on problemaatiline viltuste puude puhul.
- Mõnedel proovitükkidel on tehtud raiet või järelkasv ulatub alusmetsa või vastavalt 2. rindesse. Nendel proovitükkidel mõõdetakse lisanduvad puud või vajadusel laiendatakse proovitükki 20, 25 või 30 m raadiuseni nii, et proovitükile jääks vähemalt 100 esimese rinde puud. Uute puude numeratsioon jätkub eelmise mõõtmise puude arvust edasi ja mõõtmistulemused kirjutatakse uuele blanketile.

Vanadel lehiste katsealadel tehtud tööd:

- Katsealad oli leitavad GPS koordinaatide järgi ning nurgapostid on märgistatud ja kergesti leitavad. Eelmisest mõõtmiskorrast olid puud juba värvitäpiga märgitud. Seega teostati märgistustööd teise värviga, et mõõtmisi mitte segamini ajada.
  - Iga katseala jaoks valmistati ette blankett mõõtmisandmete ülesmärkimiseks.
  - Iga puu jaoks mõõdeti järgmisi tunnuseid: rinne, puuliik, diameeter kahes suunas (d1 ja d2, jämedamatel puudel mõõdeti diameeter talmeetriga ja märgiti üks mõõtmine), rikked ja märkused.
  - Vähemalt 10 protsendil lehistest mõõdeti ka kõrgused Vertexiga. Seega on need mudelpuud, millel on toodud nii kõrguse kui ka diameetri mõõtmisandmed puu kohta.
  - Vanu katsealasid ei laiendatud, kuid võis täheldada, et mõnedel aladel on nurgapostid maas ning seega on vajalik uued postid paigaldada.
- 
- Kokku seitsmeteistkümmel proovialal tehti üksikpuude mõõtmised, mille andmed sisestati Exceli tabelitesse. Lisatud Exceli fail mõõtmisandmetega *Lebised2019\_2020andmed.xlsx*.
  - Sisestatud mõõtmisandmete põhjal arvutati vabavara R (R Core Team 2019) abil takseertunnused, teostati esmane andmetöötlus, mille tulemused on toodud käesolevas aruandes.
  - Lehiste andmeil on valmimas bakalaureusetöö teemal „Kõrguse-diameetri mudelite analüüs Järvelja lehisepuistute andmeil“, töö autor Siim Laur. Töö tuleb kaitsmisele august 2020.

## Ülevaade proovialadest ja takseerandmetest

Käesoleva projekti käigus kordus mõõdeti üheksa 2015. aastal rajatud ringproovitükki ning kaheksa Heino Kasesalu poolt rajatud vana lehiste katseala (Tabel 1). Tabelis 1 on näha, et ringproovitükid on rajatud noorematesse lehise enamusega puistutesse, kuid kolmel alal on vastavalt enamuses kased, kuused ja teised okaspuud Metsaregistri andmeil. Lehis eelistab kasvukohana jänese kapsa või jänese kapsa-mustika kasvukohatüüpi, kuid edaspidi oleks vajalik täpsustada kasvukohta alustaimestiku ja mullanäitajate järgi.

Ringproovitükid rajati vastavalt Andres Kiviste jt (2015) poolt välja töötatud metoodikale, mis võimaldab üksikpuu tasemel puude kasvu monitoorida. Proovitükid on tehtud vastavalt 15, 20 või 25 meetrise raadiusega (Tabel 1), seega tihedamas ja nooremas puistus tehti proovitükk väiksema raadiusega ning vanemas ja hõredamas puistus suurema raadiusega (Kiviste ja Hordo 2002). Vanade katsealade pindalad varieeruvad 0,100 kuni 0,280 hektarini, eeldatavasti rajati proovialad vastavalt lehisepuistu suurusele (Kasesalu 2014). Nooremate lehiseproovialade liigid ei ole määratud, kuid eeldatavasti on tegemist hübriidlehistega. Vanematel katsealadel on ajaloost teada lehise liigid, seega kasvavad Järveljal viiel alal kuriili lehised ning lisaks on teada, et teistel aladel on tegemist jaapani, vene ja euroopa lehistega.

Tabel 1. Proovialade üldandmed.

Alad	PrtNr	Kvartal	Eraldis	Pe	Kkt	Vanus (a.r)	Liik	Pindala ha	Raadius m
Ringproovitükid	1	JS061	42	LH	JK	49	Hübriid	0,196	25
	2	JS323	43	LH	JP	53	Hübriid	0,126	20
	3	JS105	9	KS	JP	33	Hübriid	0,126	20
	4	JS160	6	LH	JM	36	Hübriid	0,071	15
	5	JS279	7	LH	JK	42	Hübriid	0,071	15
	6	JS035	31	LH	JM	48	Hübriid	0,071	15
	7	JS045	19	LH	JO	54	Hübriid	0,126	20
	8	JS274	14	KU	JM	59	Hübriid	0,126	20
	9	JS050	15	TO	JM	33	Hübriid	0,071	15
Vanad katsealad	JS017-15	JS017	15	LH	JK	71	Jaapani	0,280	-
	JS043-9	JS043	9	LH	JK	104	Vene	0,100	-
	JS045-18	JS045	18	LH	JM	89	Kuriili	0,088	-
	JS263-5	JS263	5	MA	JM	90	Kuriili	0,097	-
	JS273-14	JS273	14	MA	JM	91	Kuriili	0,098	-
	JS286-18	JS286	18	LH	MS	88	Kuriili	0,052	-
	JS304-7	JS304	7	LH	JK	79	Euroopa	0,150	-
	JS308-12	JS308	12	KU	JK	89	Kuriili	0,100	-

Tabelis 2 on toodud ringproovitükkide mõõtmiste andmeil leitud peamised takseertunnused alade kaupa. Suurima tagavaraga (555,7 tm/ha kogutagavara; 494, 6 tm/ha lehisel) puistu on proovitükk 1 ning väikseima tagavaraga proovitükid 3 (103,7 tm/ha lehisel) ja 9 (120,5 tm/ha lehisel) vastavalt, kus peapuuliigina on kask ja teised okaspuud. Lehiste takseerkeskmised diameetrid jäävad vahemikku 22,0 kuni 37,6 cm ning keskmised kõrgused vahemikku 19,1 kuni 33,0 meetrit.

Tabel 2. Üheksa ringproovitüki takseerandmed (arvutatud viimase mõõtmise andmeil).

PrtNr	Kvartal	Eraldis	Puid prt'l	LH puude arv prt	LH N (tk/ha)	N tk/ha	LH G (m <sup>2</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	LH D(cm)	LH H(m)	M (tm/ha)	LH M (tm/ha)
1	JS061	42	73	61	311	372	34,6	38,8	37,6	33,0	555,7	494,6
2	JS323	43	62	36	286	493	30,2	40,5	36,7	31,0	541,6	412,6
3	JS105	9	109	26	207	867	10,2	24,0	25,0	21,4	229,9	103,7
4	JS160	6	62	45	637	877	31,2	36,7	25,0	24,4	410,6	351,4
5	JS279	7	54	44	622	764	26,6	29,7	23,3	25,8	349,7	314,8
6	JS035	31	67	40	566	948	40,1	51,0	30,0	30,1	664,9	540,4
7	JS045	19	78	23	183	621	18,1	42,0	35,5	28,0	500,1	229,1
8	JS274	14	69	48	382	549	33,5	41,9	33,4	32,1	584,6	471,3
9	JS050	15	39	24	340	552	13,0	16,3	22,0	19,1	147,8	120,5

Tabelis 3 on esitatud vanade katsealade mõõtmisandmeil arvutatud takseertunnused alade kaupa. Suurim lehise tagavara on katsealal JS043-9 (817,7 tm/ha) ning väikseim alal JS045-18 (467,0 tm/ha). Takseerkeskmine diameeter lehistel jääb vahemikku 31,0 kuni 56,9 cm ning keskmine kõrgus on vahemikus 26,2 kuni 38,3 meetrit.

Tabel 3. Kaheksa vana lehisekatsealade takseerandmed (arvutatud viimase mõõtmise andmeil).

PrtNr	Puid prt'l	LH puude arv prt	LH N (tk/ha)	N tk/ha	LH G (m <sup>2</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	LH D(cm)	LH H(m)	M (tm/ha)	LH M (tm/ha)
JS017-15	76	76	271	271	36,3	36,3	41,2	38,3	590,7	590,7
JS043-9	22	22	220	220	55,9	55,9	56,9	34,2	817,7	817,7
JS045-18	52	26	295	591	32,6	44,8	37,5	32,6	615,3	467,0
JS263-5	82	50	515	845	41,7	47,0	32,1	30,5	625,7	572,3
JS273-14	129	49	500	1316	42,3	54,8	32,8	31,4	727,1	582,2
JS286-18	37	37	712	712	55,0	55,0	31,4	28,4	695,7	695,7
JS304-7	205	74	493	1367	52,8	70,0	36,9	34,9	1015,9	802,4
JS308-12	177	60	600	1770	45,1	53,2	31,0	26,2	600,4	536,5

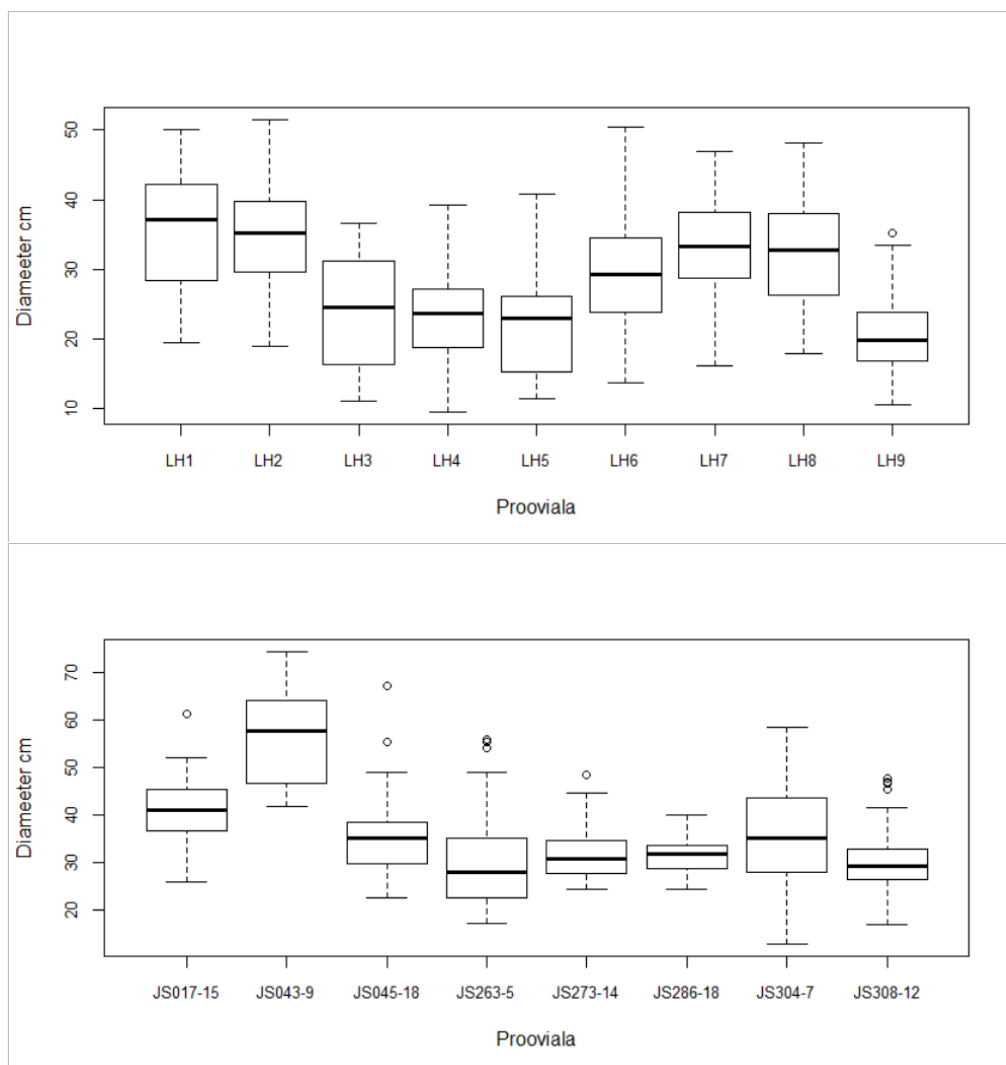
Eelmise mõõtmiskorra takseerandmed on toodud võrdluseks Lisas 1. Ringproovitükil nr 1 on lehiste tagavara vähenenud 64,3 tm/ha võrreldes eelmise mõõtmisega, seda tehtud harvenduse tõttu puistus. Üldiselt on lehiste tagavara viie aastaga suurenenud vahemikus 9,5 (JS017-15) kuni 114,8 tm/ha (JS045-18), rinnaspindala keskmine muut 3,1 (min -9,4; max 10,4), diameetri keskmine muut 1,8 cm (min -0,5 cm; max 4,2 cm), keskmine kõrguse muut 2,2 m (min -1,0 m; max 4,2 m). Lisades 2 kuni 10 on toodud ka ringproovitükkidel üksikpuude asukoha joonised, mis võimaldab edaspidi teostada puistu struktuuri uuringut. Negatiivne muut on selgitatav proovialal tehtud raiega, mistõttu puistu on hõredam ning seetõttu tuleb näiteks arvutatud puistu keskmine diameeter 2019. aasta mõõtmiste andmeil 0,5 cm väiksem kui eelmisel 2014. aasta mõõtmisel.

## Esmane ülevaade andmetest

Järgnevas peatükis on toodud ära esmased analüüsi tulemused, seega ülevaade mõõdetud diameetrite jaotusest alade kaupa ja puuliigiti, kõrguse jaotused, diameetri juurdekasv võrreldes eelmise mõõtmisega ning lehiste andmeil lähendatud kõrguskõverate testimine.

## Diameetrite mõõtmised ringproovitükkidel ja vanadel katsealadel

Joonisel 1 on toodud karpdiagrammid lehiste viimaste mõõtmiste andmeil diameetrite kohta alade kaupa. Ringproovialadest LH9 on väikseima keskmise diameetriga ning LH1 suurim. Vanal katsealal JS043-9 on jämedamad puud, kuid suhteliselt sarnase väiksema diameetriga on pooled vanad katsealad.

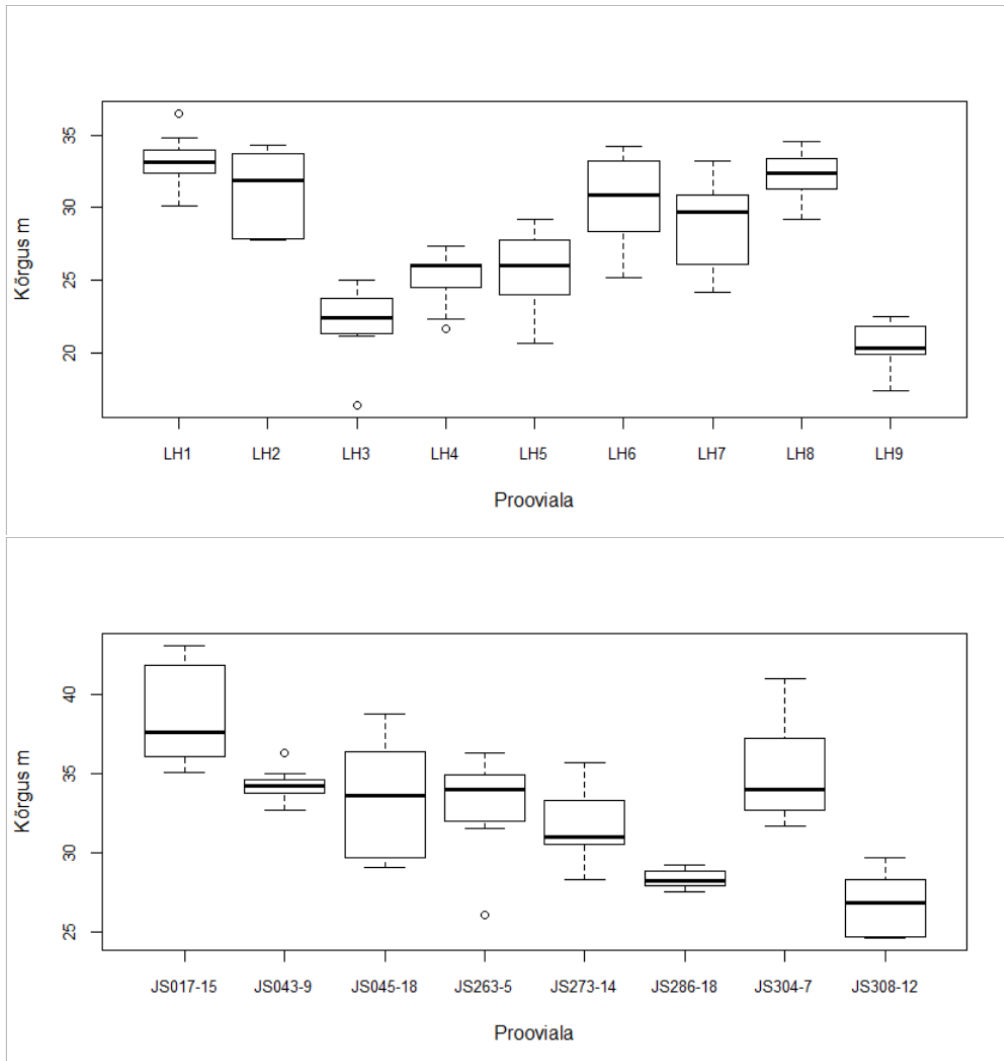


Joonis 1. Proovialade mõõtmiseandmeil leitud diameetrid karpdiagrammil. Diameetri keskmisi tulemusi tähistavad joonisel horisontaalsed kriipsud; ekstreemsemad väärtused on joonisel kujutatud tähisega °; risküliku kujulised kastid tähistavad ülemise ja alumise kvantiili vahemikku.



## Kõrguste mõõtmised ringproovitükkidel ja vanadel katsealadel

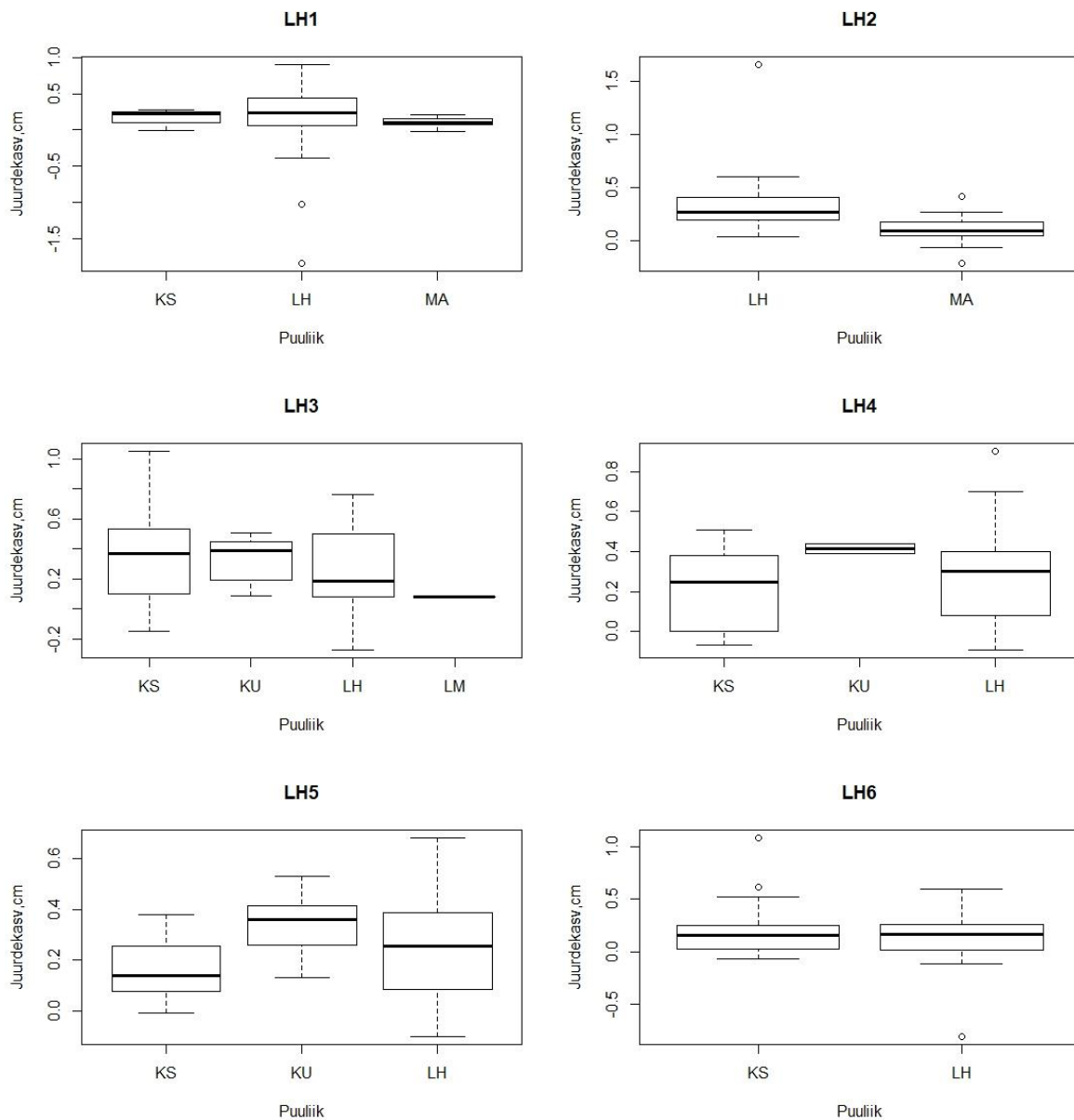
Joonisel 2 on toodud ülevaade mõõdetud kõrgustest alade kaupa, lehiste kohta. Ringproovitükkidest LH1 ja LH2 on keskmine kõrgus suurem võrreldes teiste aladega ning LH9 on madalaima keskmise kõrgusega. Vanadest katsealadest on suurim keskmine kõrgus alal JS017-15 ning madalaim keskmine kõrgus on alal JS308-12.

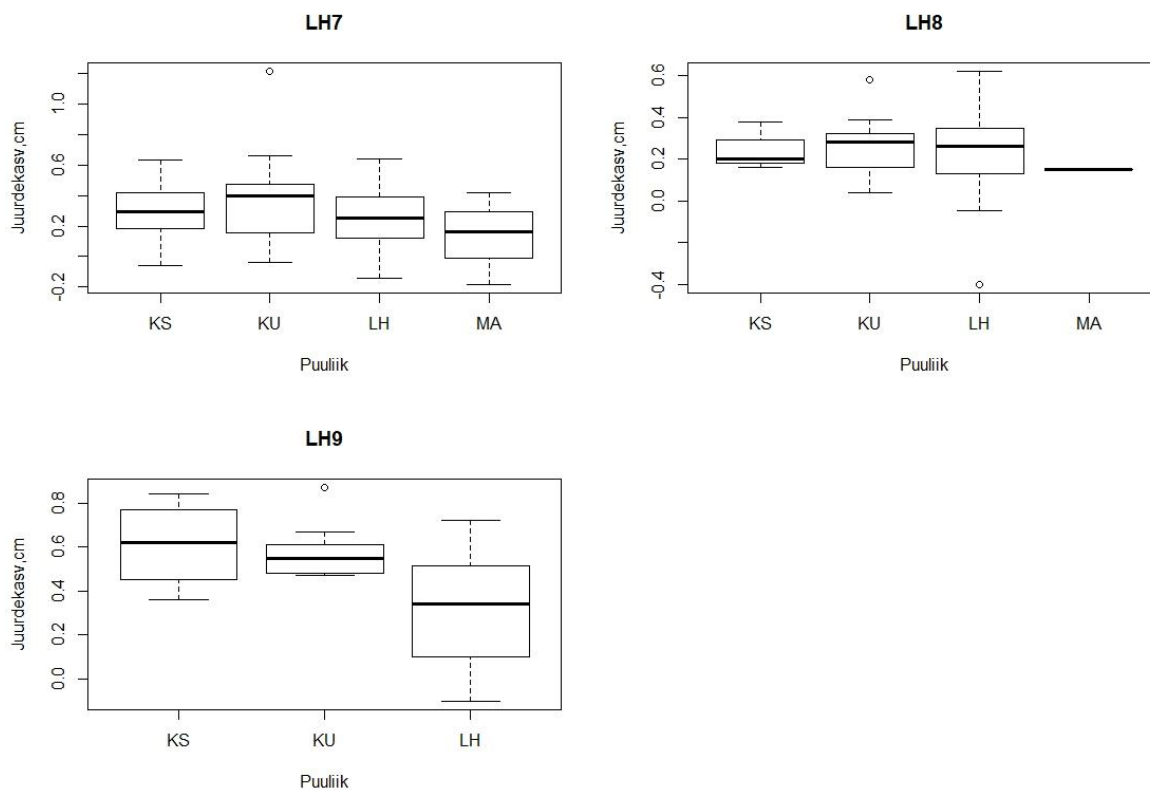


Joonis 2. Mudelpuude kõrgused proovialade kaupa. Kõrguse keskmisi tulemusi tähistavad joonisel horisontaalsed kriipsud; ekstremsemad väärtused on joonisel kujutatud tähisega °; risküliku kujulised kastid tähistavad ülemise ja alumise kvantiili vahemikku.

## Juurdekasv ringproovitükkide andmeil

Hetkel on mõõdetud ringproovitükid kaks mõõtmiskorda. Tuginedes elusate puude andmetele leiti puuliigiti diameetrite aastased juurdekasvud iga proovitüki kohta (Joonis 3). Esimene ringproovitükkide mõõtmiskord oli 2014. aasta sügisel ning teine mõõtmiskord 2019. aasta sügisel, seega on kahe mõõtmise vahe viis kasvuperioodi. Seega sai arvutada puuliikide kaupa üksikpuude andmeil aastane juurdekasv mõõtmisandmeil. Joonistelt on näha, et lehiste diameetri keskmine aastane juurdekasv on ligikaudu 0,3 cm aastas.



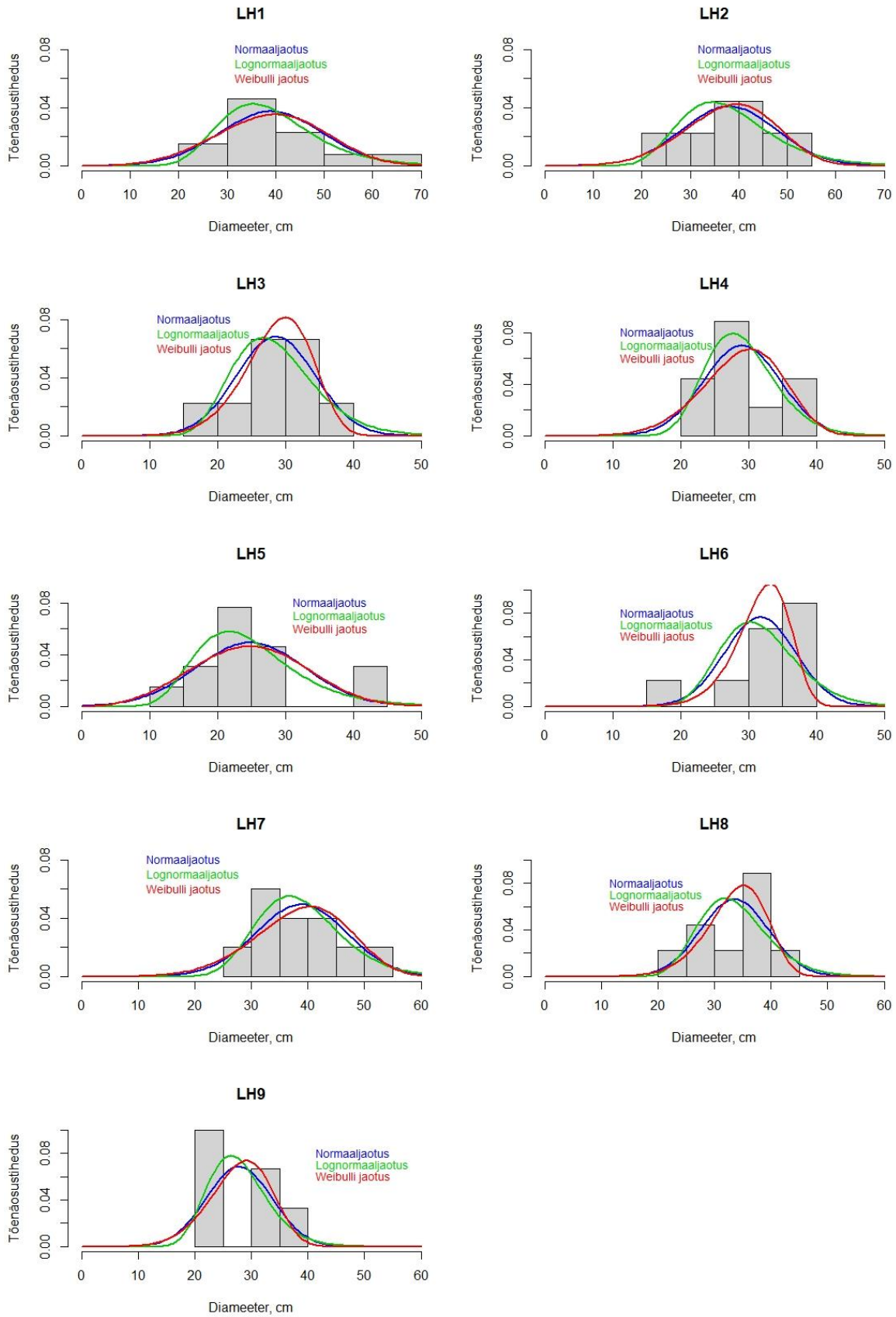


Joonis 3. Puuliigiti leitud aastased diameetri juurdekasvud cm. Diameetri juurdekasvu keskmisi tulemusi tähistavad joonisel horisontaalsed kriipsud; ekstreemsemad väärtused on joonisel kujutatud tähisega °; ristküliku kujulised kastid tähistavad ülemise ja alumise kvantiili vahemikku.

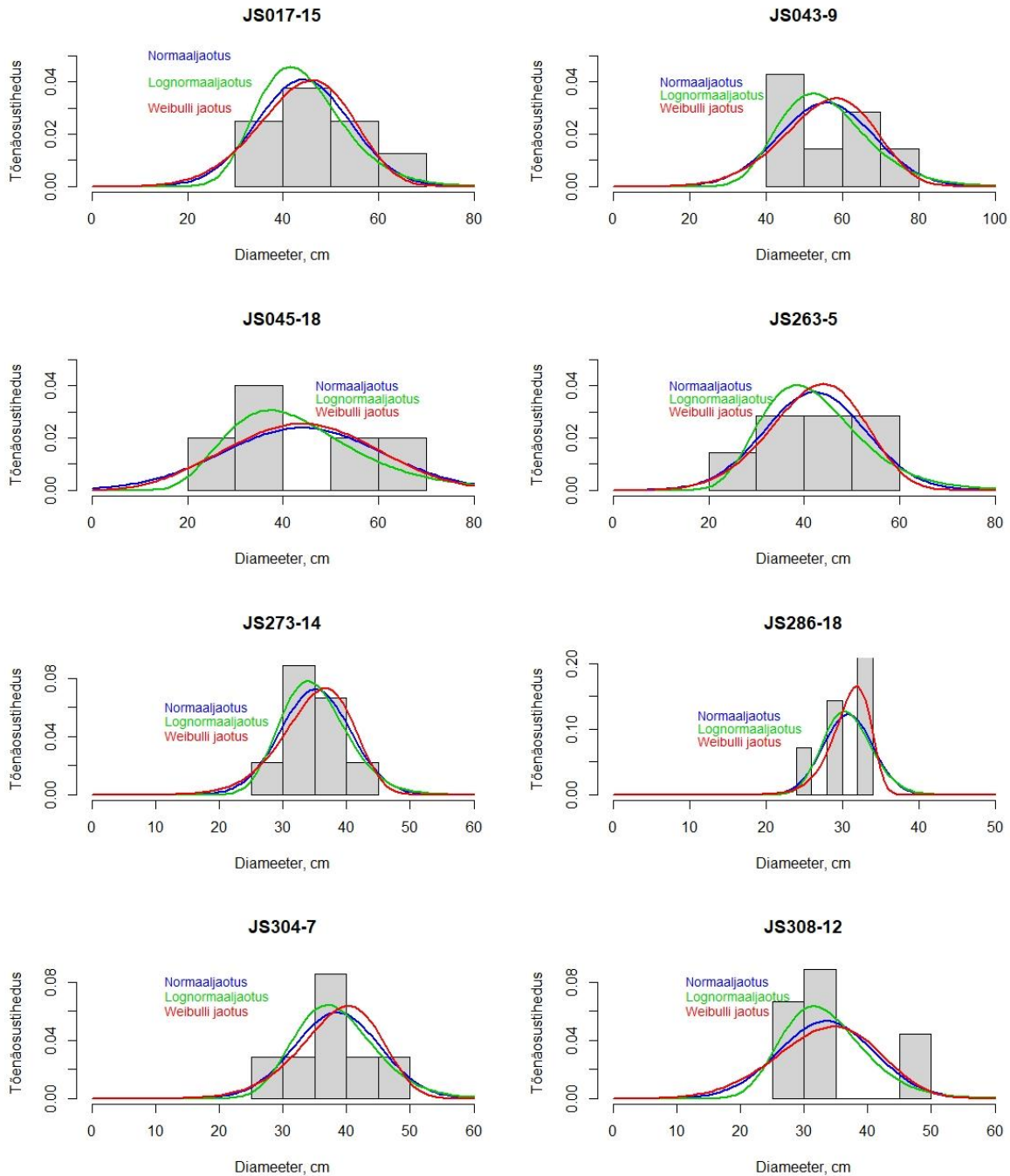
Kuna vanade katsealade andmeil ei ole võimalik viia kokku üksikpuude andmeid (puud ei ole puistus ka märgistatud üksikpuu tasemel), siis nende andmeil ei leitud aastast diameetri juurdekasvu.

## Diameetrite jaotused alade kaupa

Rinnasdiameetri jaotuste uurimine on metsaurijatele pakkunud huvi aastakümneid, kuid lehiste kohta on need Eestis olnud suhteliselt tagasihoidlikud. Teades puude rinnasdiameetri jaotust on võimalik prognoosida puistu tüvemahtu ja selle jagunemist sortimentideks. Samuti on rinnasdiameetri jaotus oluline lisainfo puistu struktuuri kirjeldamisel ja puistu kasvu modelleerimisel ning muude oluliste metsanduslike otsuste tegemisel. Rinnasdiameetrit kui juhuslikku suurust iseloomustab jaotus, mis näitab erinevate väärtuste esinemise tõenäosust, siis on diameetri jaotuse modelleerimisel laialdaselt kasutusel, kus rinnasdiameetri jaotust kirjeldatakse teatud teoreetilise tõenäosusjaotusega (Merenäkk 2006). Teoreetiliseks jaotuseks valitakse selline tihedusfunktsioon, mis lähendab rinnasdiameetri empiirilist jaotust kõige täpsemini. Diameetri jaotuse lähendamiseks on erinevaid meetodeid ning esmane testimine sobiva jaotuse leidmiseks on tehtud (Joonis 4, Joonis 5). Joonistel on hinnatud normaal-, lognormaal- ja Weibulli jaotuste sobivust proovialade kaupa lehiste andmeil. Edasise andmetöötamise käigus on plaanis selgitada välja sobivaim jaotus lehiste rinnasdiameetrile ning testida veel teisi jaotusseadusi.



Joonis 4. Ringproovitükkide lehiste diameetrijootused lähendatud normaal-, lognormaal- ja Weibulli jaotusega.



Joonis 5. Vanade katsealade lehiste diameetrijaotused lähendatud normaal-, lognormaal- ja Weibulli jaotusega.

## Kõrguskõverate testimine mõõtmisandmeil

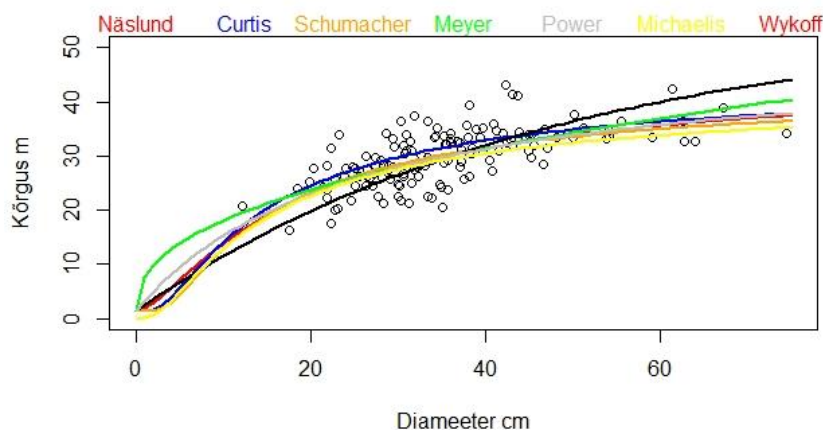
Teatavasti on puistu kasvu modelleerimiseks loodud palju kasvumudeleid, kuid neist igapäevane uurimine oleks lootusetu ülesanne. Siiski on kasulik tuvastada sarnasusi ja võtta arvesse mõningaid näiteid igast mudeliklassist. Mudeleid võib hinnata kas puistu, suuruseklassi (vanuseklassi) või üksikpuu tasemel – sõltub, kui täpset infot vajatakse (Tagen 2009).

Kõrguskõverate testimisega alustati käesolevate proovialade mõõtmisandmeil. Neil andmeil alustati 16. kõrguskõvera testimisega (Tabel 4), mis on soomlase Mehtätalo *et al* (2015) poolt edukalt testitud ka Soome kuuse, kase ja männi puistute andmeil.

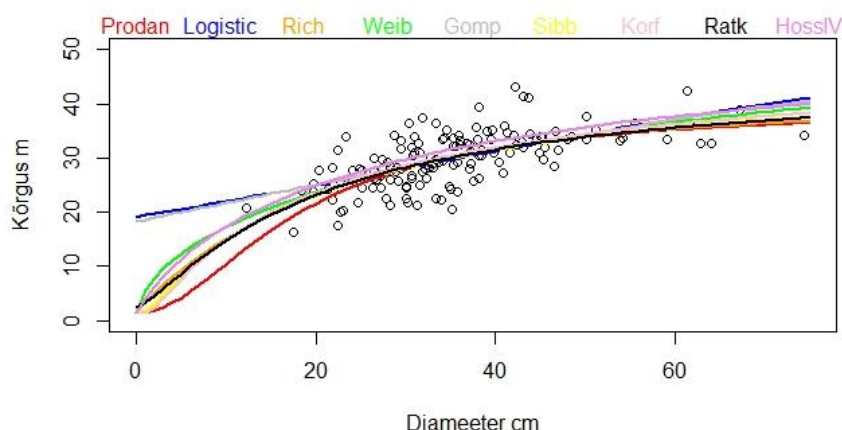
Tabel 4. Lehiste andmeil testitud kõrguskõverad (Mehtätalo *et al* 2015), kus on toodud 2- ja 3-parameetrilise kõrguse-diameetri mudelid. Lühendid: H – kõrgus m; D – rinnasdiameeter cm; a, b, c – mudeli parameetrid.

Number	Function name	Equation
<b>2-parameter functions</b>		
1	Näslund	$H(D) = BH + \frac{D^2}{(aD + b)^2}$
2	Curtis	$H(D) = BH + \frac{aD}{(1 + D)^b}$
3	Schumacher	$H(D) = BH + a \exp(-bD^{-1})$
4	Meyer	$H(D) = BH + a(1 - \exp(-bD))$
5	Power	$H(D) = BH + aD^b$
6	Michaelis-Menten	$H(D) = BH + aD/(b + D)$
7	Wykoff	$H(D) = BH + \exp(a - b(D + 1)^{-1})$
<b>3-parameter functions</b>		
8	Prodan	$H(D) = BH + \frac{D^2}{aD^2 + bD + c}$
9	Logistic	$H(D) = BH + \frac{a}{1 + b \exp(-cD)}$
10	Chapman-Richards	$H(D) = BH + a(1 - \exp(-bD))^c$
11	Weibull	$H(D) = BH + a(1 - \exp(-bD^c))$
12	Gomperz	$H(D) = BH + a \exp(-b \exp(-cD))$
13	Sibbesen	$H(D) = BH + aD^{bd^{-c}}$
14	Korf	$H(D) = BH + a \exp(-bD^{-c})$
15	Ratkowsky	$H(D) = BH + a \exp\left(\frac{-b}{D + c}\right)$
16	Hossfeld IV	$H(D) = BH + \frac{a}{1 + \frac{1}{bD^c}}$

Joonistel 6 ja 7 on lähendatud vastavalt 2- ja 3-parameetrilise kõrguskõverad lehiste andmetele. Joonisel 6 on näha, et enamus mudeleid läbivad punktiparve suhteliselt hästi. Tuginedes tabelis 5 toodud statistikutele on sobivaim Meyer'i kõrguskõver.



Joonis 6. 2-parameetrilised kõrguskõverad lähendatud kõrguse-diameetri andmetele.



Joonis 7. 3-parameetrilised kõrguskõverad lähendatud kõrguse-diameetri andmetele.

Joonisel 7 on näha, et ka enamus 3-parameetrilisi mudeleid läbivad punktiparve suhteliselt hästi, välja arvatud Prodani ja Gomperzi mudel peenemate puudega. Tuginedes tabelis 6 toodud statistikutele on sobivaim Chapman-Richards'i kõrguskõver 3-parameetrilistest lehiste andmeil.

Tabel 5. 2-parameetriliste mudelite parameetrid ning mudeli headuse näitajad.

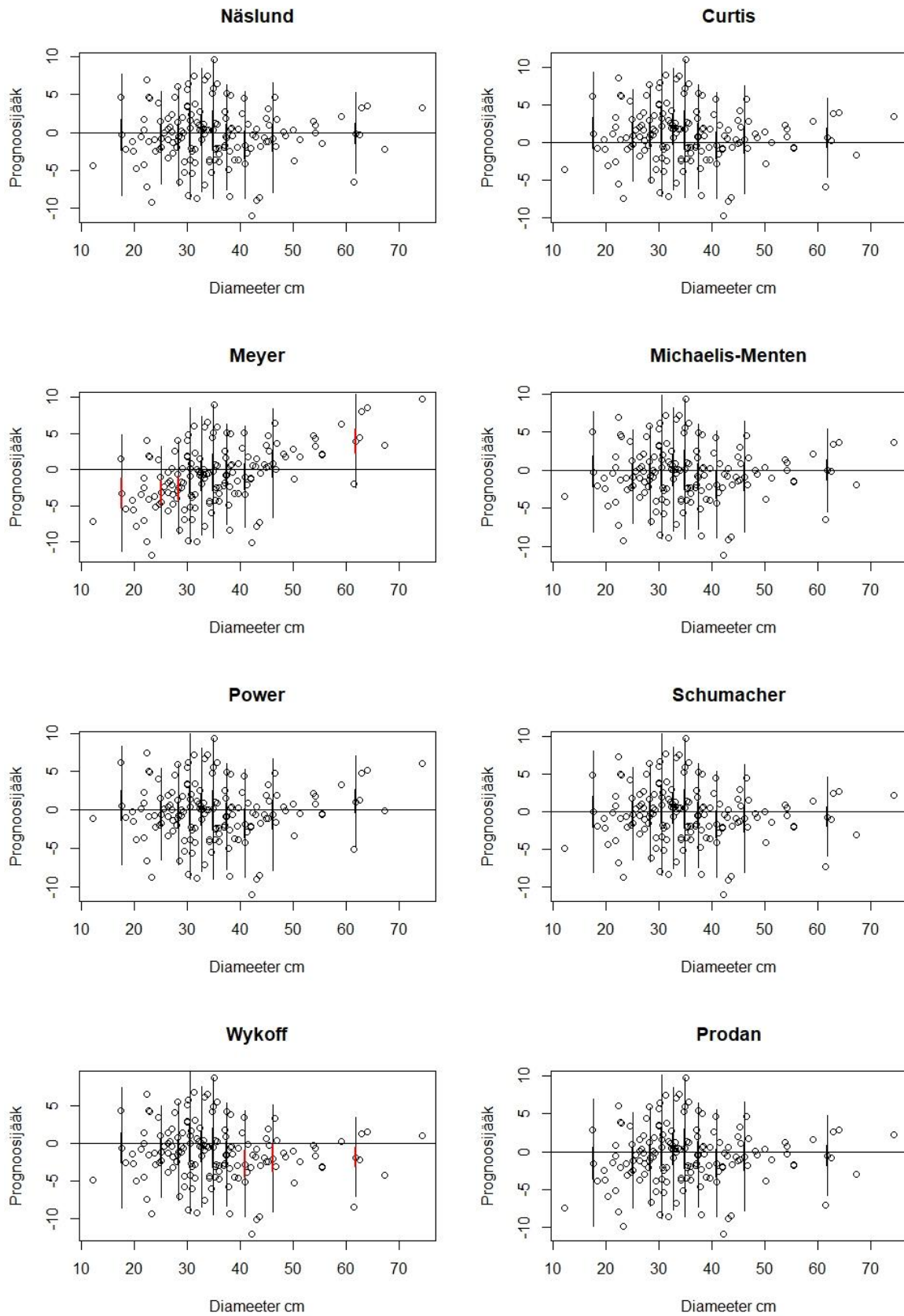
Mudel	Parameetrid		AIC	BIC	logLik	RSE
	a	b				
Näslund	1,345	0,148	807,612	816,563	-400,806	3,793
Curtis	43,259	12,794	808,442	817,393	-401,221	3,804
Schumacher	41,748	12,926	808,643	817,594	-401,322	3,807
Meyer	54,340	0,021	807,086	816,036	-400,543	3,786
Power	6,373	0,420	810,043	818,994	-402,022	3,825
Michaelis-Menten	48,846	25,126	807,351	816,302	-400,676	3,790
Wykoff	3,732	-12,926	808,395	817,346	-401,198	3,803

Tabel 6. 3-parameetriliste mudelite parameetrid ning mudeli headuse näitajad.

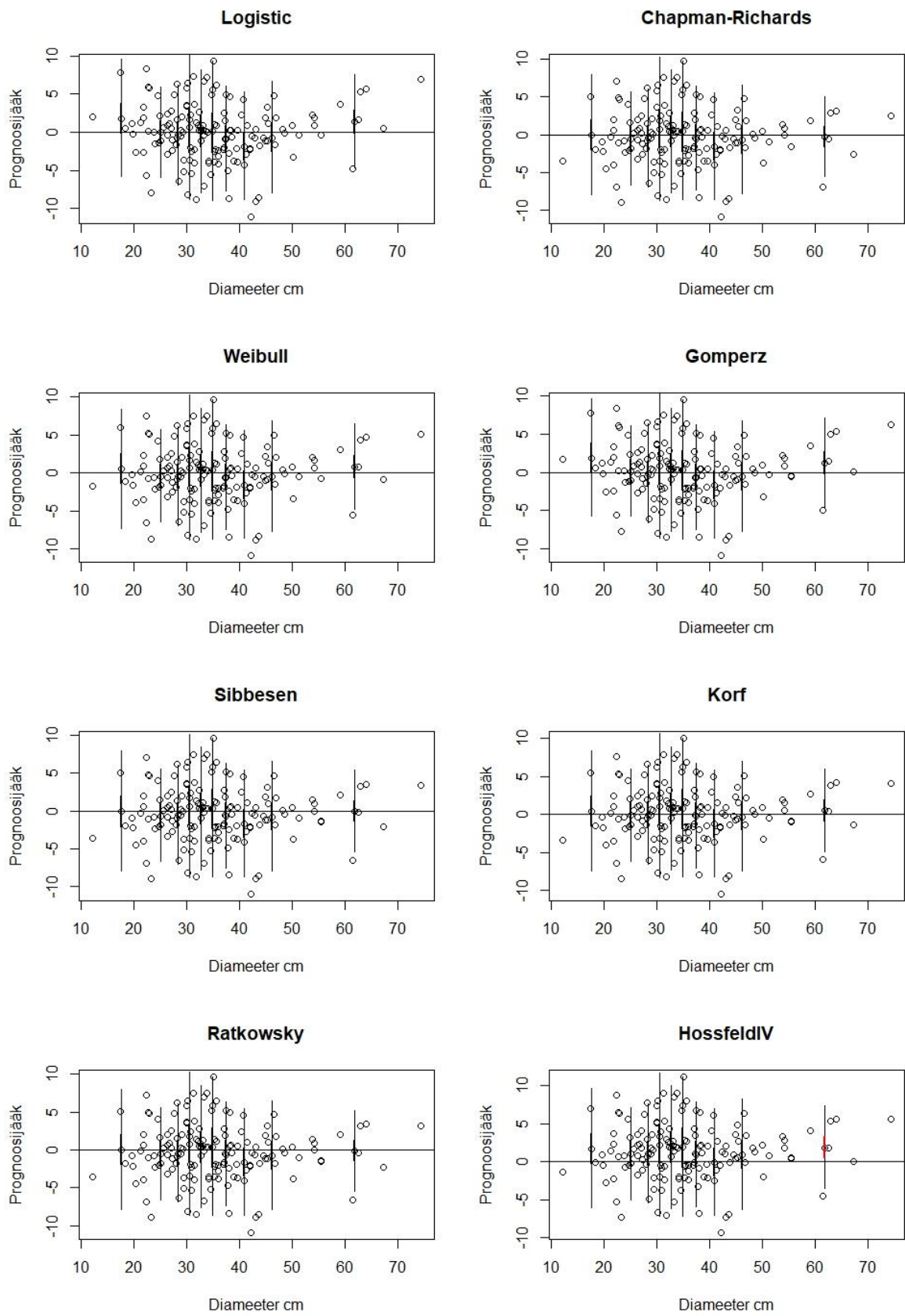
Mudel	Parameetrid			AIC	BIC	logLik
	a	b	c			
Prodan	7,388	0,100	0,026	706,559	721,477	-348,280
Logistic	54,340	2,051	0,023	690,843	705,761	-340,422
Chapman-Richards	37,090	0,040	0,891	690,741	705,659	-340,370
Weibull	54,340	0,083	0,618	690,914	705,832	-340,457
Gomperz	54,340	1,163	0,017	690,761	705,679	-340,381
Sibbesen	0,500	2,166	0,181	811,358	826,276	-400,679
Korf	54,340	6,059	0,640	809,638	821,573	-400,819
Ratkowsky	45,348	18,209	5,000	809,247	821,181	-400,623
HossfeldIV	54,340	0,055	0,880	809,311	821,246	-400,656

Parema ülevaate saamiseks prognoositi kõikide kõrguskõveratega ka uued kõrgused ning leiti prognoositud ja mõõdetud kõrguse vahe (prognoosijääk). Joonisel 8 toodud prognoosijääkide graafikutelt on näha, et enamus mudeleid üle- või alahindavad lehiste kõrgusi, seega on edasised

uuringud ja mudelite võrdlus oluline, et leida lehistele sobivaim mudel kõrguste prognoosimiseks erinevas vanuses ning kasvukohas.







Joonis 8. 2- ja 3-parametrisiliste kõrguskõverate prognoosijäägid.

## Kokkuvõte

- Välitööde käigus kordusmõõdeti kaheksa ringproovitükki (teine mõõtmiskord, vastavalt Andres Kiviste jt 2015 metoodikale) ning kaheksa vana katseala (Heino Kasesalu rajatud).
- Välitöid teostasid dotsent Maris Hordo, nooremteadur Vivika Kängsepp ning loodusvarade kasutamise ja kaitse eriala tudeng Siim Laur.
- Andmed sisestati Exceli keskkonda (andmed lisatud failis *Lebised2019\_2020andmed.xlsx*).
- Teostati esmane andmetöötlus programmis R takseertunnuste arvutamiseks (tabelid 1 kuni 3) ning mõõtmisandmetest graafikute tegemiseks, jaotustega lähendamiseks ning kõrguskõverate testimiseks.
- Lehiste puursüdamike andmetele on ilmunud artikkel autoritelt Hordo, M., Kängsepp, V., Kannimäe, T., Kask, P. 2015. Annual growth trends and response to weather of larch trees at Järvelja Training and Experimental Forest Center stands (Estonia). *Metsanduslikud Uurimused* 63, 111–129.
- Koostamisel on bakalaureusetöö teemal „Kõrguse-diameetri mudelite analüüs Järvelja lehisepuistute andmeil“, töö autor Siim Laur. Töö tuleb kaitsmisele augustis 2020.
- Seni kogutud lehisepuude andmeid on plaanis põhjalikumalt analüüsida ning publitseerida teadusartikkel *Silva Fennica*'s.
- Edaspidiste tööde planeerimisel ringproovitükkidel või katsealadel tuleks uuendada tsentri või nurgapostid.
- Täpsemalt tuleks määrata prooviala kasvukohatüüp ning vajadusel/võimalusel teha mulla ja alustaimestiku uuringud.
- Mõõtmisi tuleks taas teha viie aasta möödumisel, seega hiljemalt 2024 sügisel/ 2025 talvel.

## Allikad

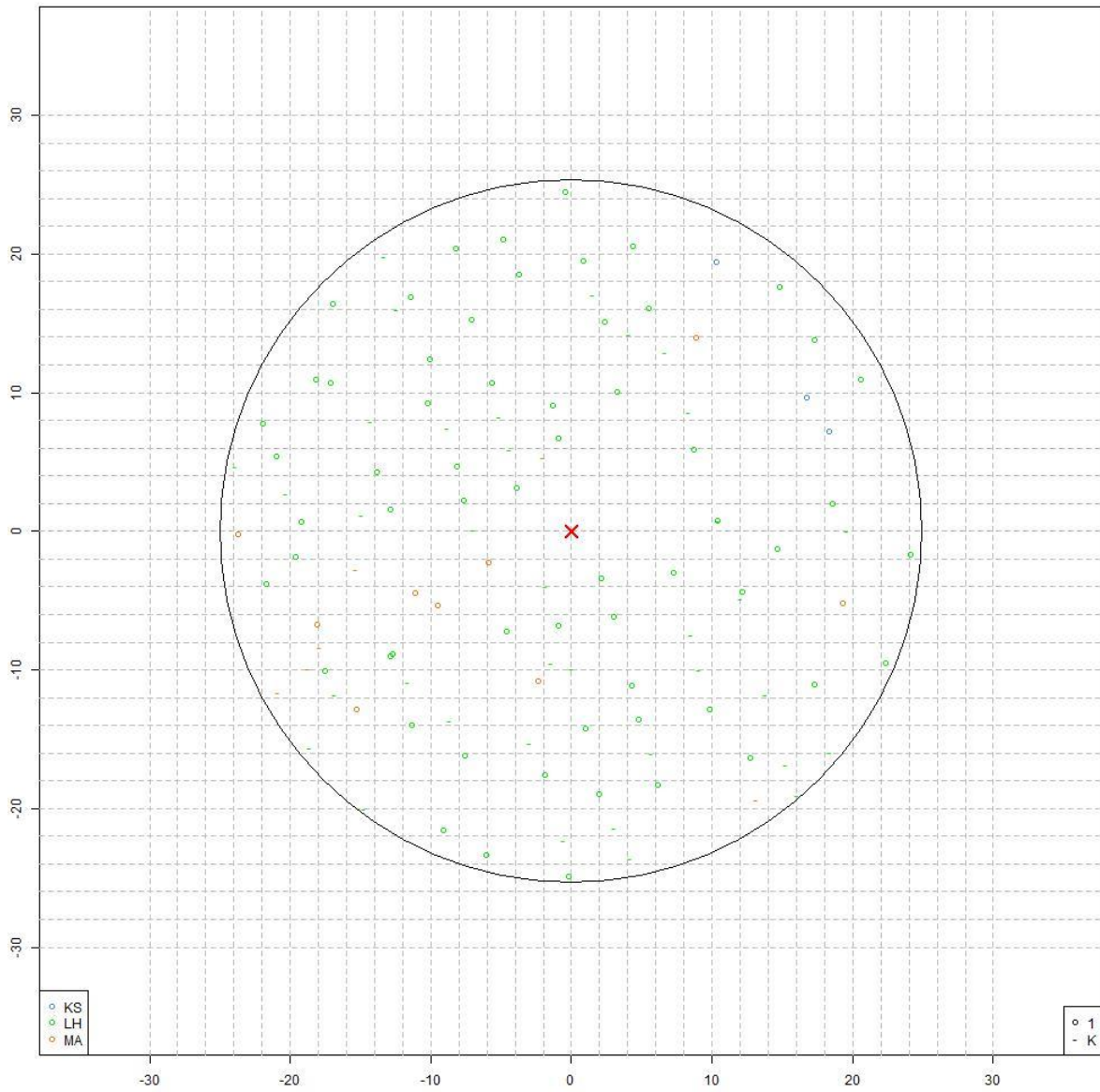
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja 835. Vantaa, 116 p.
- Kasesalu, H. 1999. Lehiste kasvatamise tulemusi Järveljal. Metsanduslikud uurimused XXXI, 124–130.
- Kasesalu, H. 2014. Märkmel vanade võõrliikide katsealade kohta. Tartu, 15.07.2014
- Kiviste, A., Hordo, M. 2002. Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustik. Forestry Studies 37: 43-58.
- Kiviste, A., Hordo, M., Kangur, A., Kardakov, A., Laarmann, D., Lilleleht, A., Metslaid, S., Sims, A., Korjus, H. 2015. Monitoring and modeling of forest eco-systems: the Estonian Network of Forest Research Plots. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 62, 26–38.
- Mehtätalo, L., de-Miguel, S., Gregoire, T.G. 2015. Modeling height-diameter curves for prediction. Canadian Journal of Forest Research, 45(7): 826-837.
- Merenäkk, M. 2006. Rinnasdiameetri jaotuste lähendamine Johnsoni SB jaotusega. Eesti Maaülikool. Magistritöö.
- R Core Team (2019) R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Tagen, A. 2009. Männi diameetri ja kõrguse kasvu modelleerimine männikutes puistu kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku andmeil. Eesti Maaülikool, magistritöö. Tartu, 88 lk.

## Lisa 1. Eelmise mõõtmiskorra arvutatud takseertunnused.

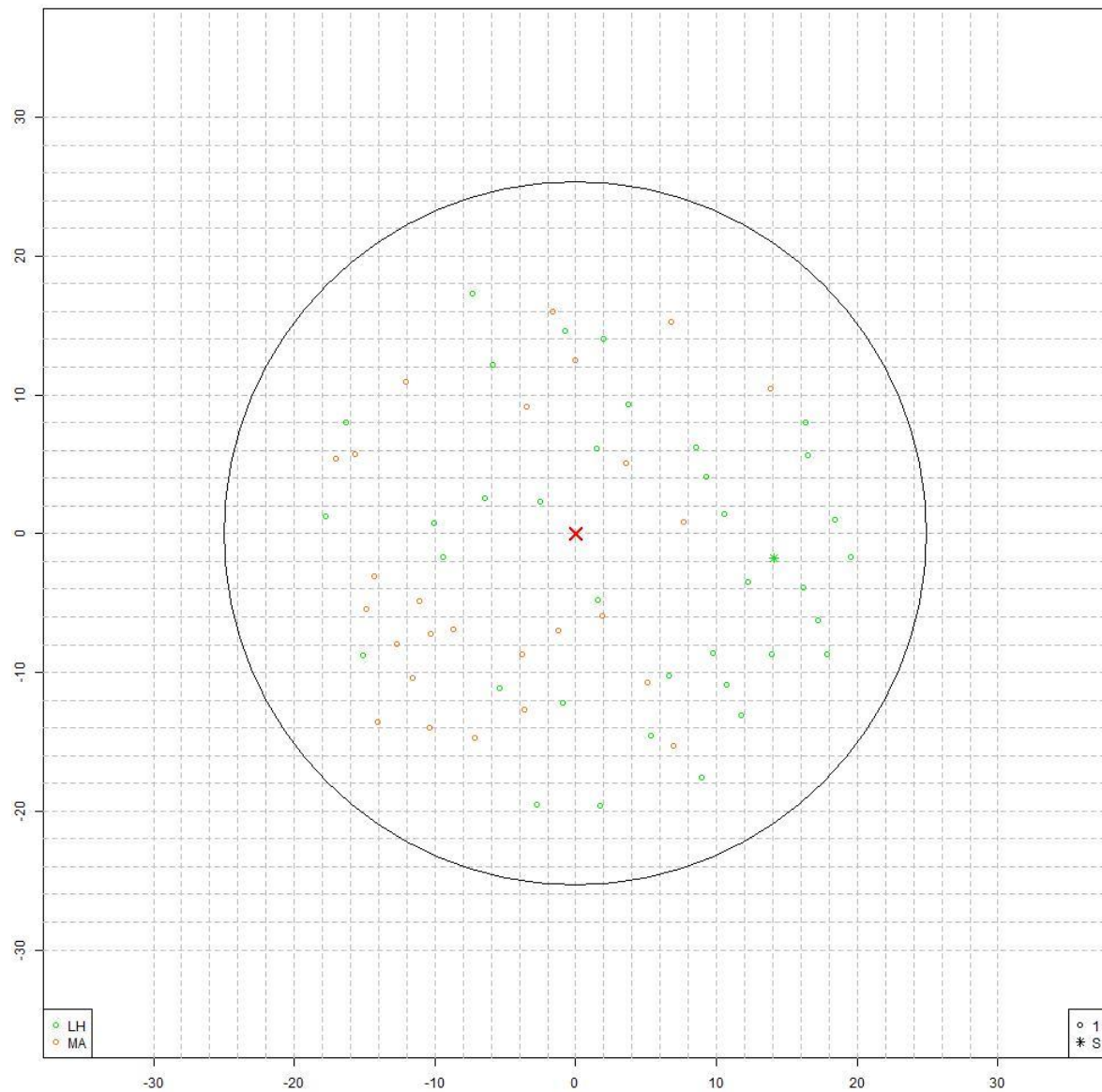
Tabel 1. 2014. aasta sügisel tehtud mõõtmiste andmeil arvutatud takseertunnused.

2014. a. Mõõtmine	PrtNr	Puid prt'l	LH puude arv prt	LH N (tk/ha)	N tk/ha	LH G (m <sup>2</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	LH D(cm)	LH H(m)	M (tm/ha)	LH M (tm/ha)
Ringprooviüksikud	1	114	97	494	581	43,4	48,2	33,4	29,0	621,0	558,9
	2	63	37	294	501	27,2	37,0	34,3	27,6	449,5	336,5
	3	114	28	223	907	9,3	20,1	23,1	18,4	173,0	83,7
	4	66	49	693	934	28,4	33,2	22,8	20,3	319,6	278,4
	5	82	56	792	1160	27,0	34,5	20,8	23,3	374,8	297,4
	6	70	43	608	990	38,8	48,3	28,5	26,6	571,0	469,1
	7	70	23	183	557	16,6	36,8	34,0	24,6	397,0	189,1
	8	69	49	390	549	31,5	38,5	32,1	29,6	501,8	411,7
	9	40	27	382	566	11,4	13,4	19,5	16,1	107,4	94,1
Vanad katsealad	JS017-15	90	90	321	321	39,1	39,1	39,4	34,5	581,1	581,1
	JS043-9	23	22	220	230	51,1	53,3	54,4	34,6	786,5	754,4
	JS045-18	47	26	295	534	26,6	37,0	33,8	29,9	477,6	352,2
	JS263-5	55	50	515	567	39,2	40,2	31,1	30,4	541,1	529,1
	JS273-14	122	48	490	1245	38,7	49,6	31,7	31,1	664,7	529,5
	JS286-18	36	36	692	692	51,1	51,1	30,6	29,5	666,6	666,6
	JS304-7	127	69	460	847	50,7	61,7	37,5	31,9	837,3	713,0
	JS308-12	60	60	600	600	42,8	42,8	30,1	26,3	508,2	508,2

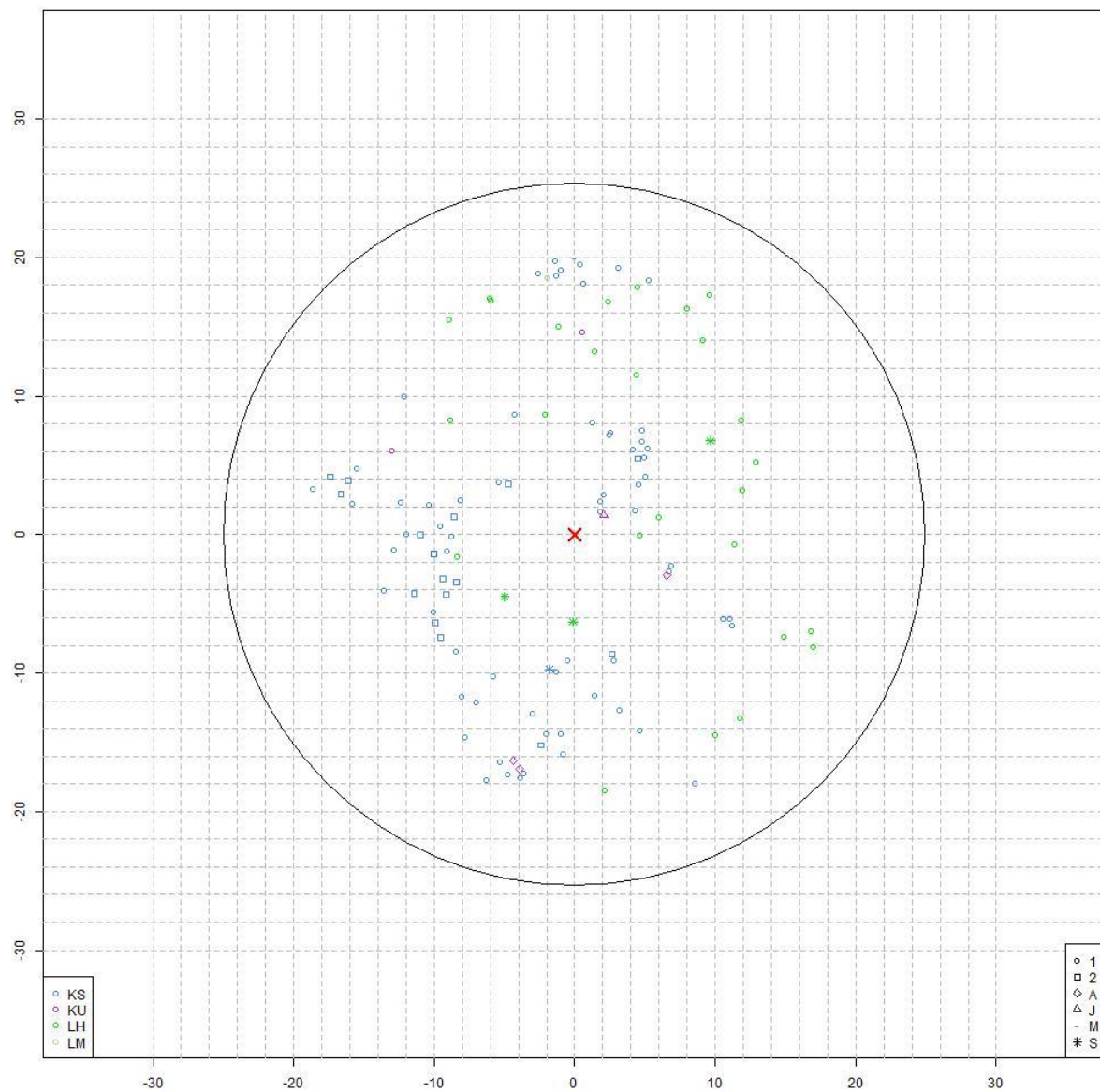
## Lisa 2. LH1 proovitüki puude skeem



### Lisa 3. LH2 proovitüki puude skeem



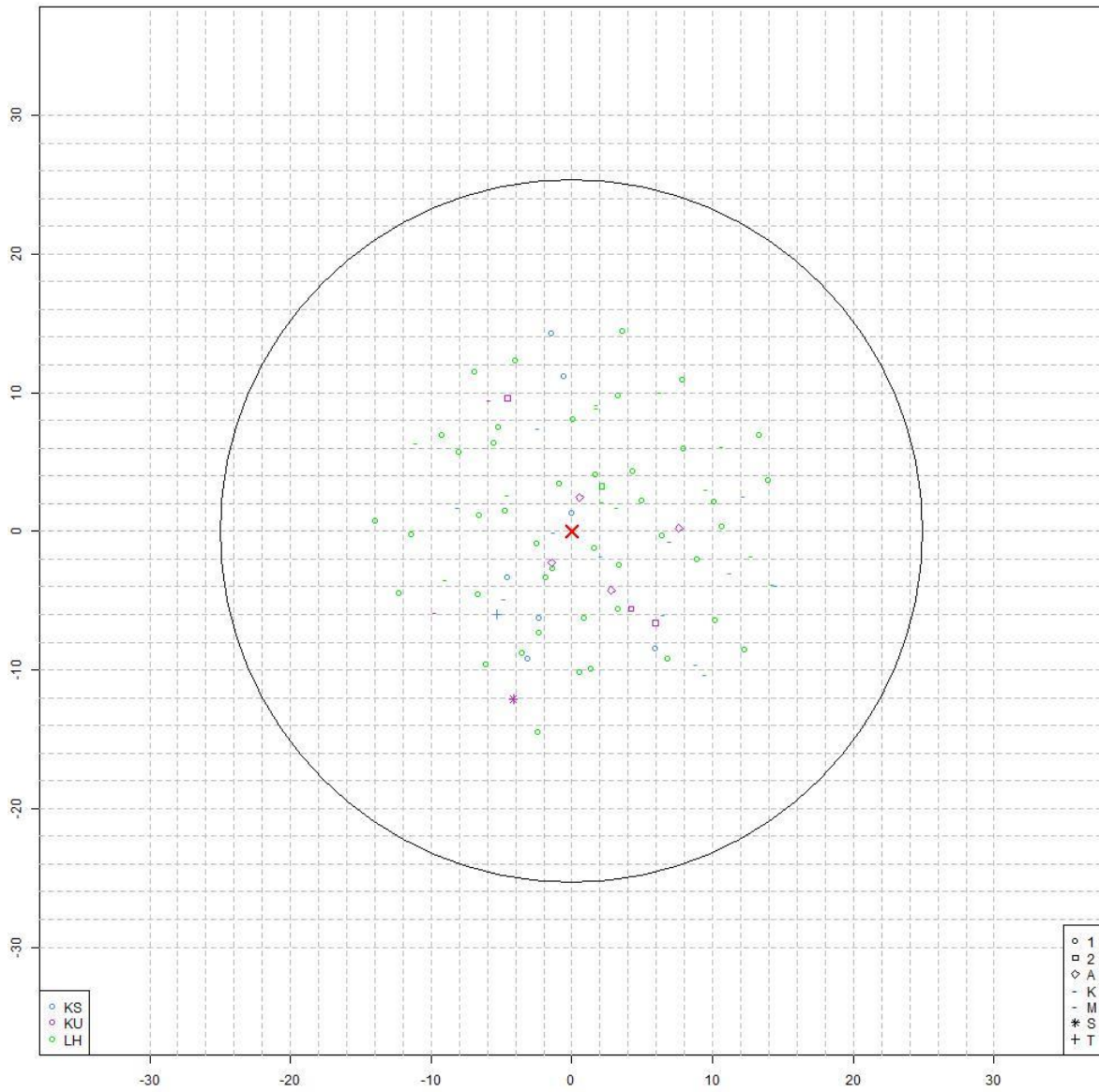
# Lisa 4. LH3 proovitüki puude skeem



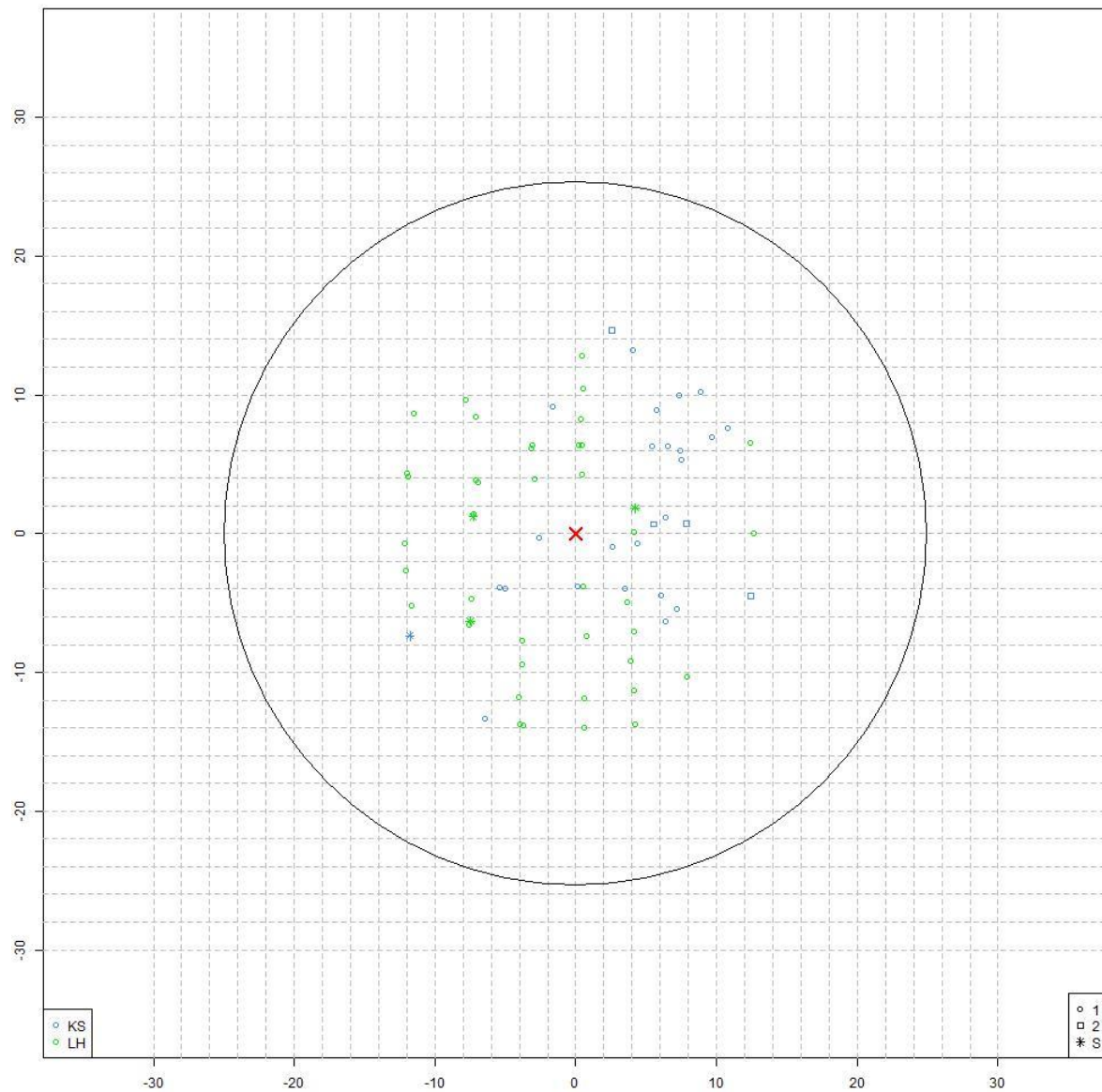




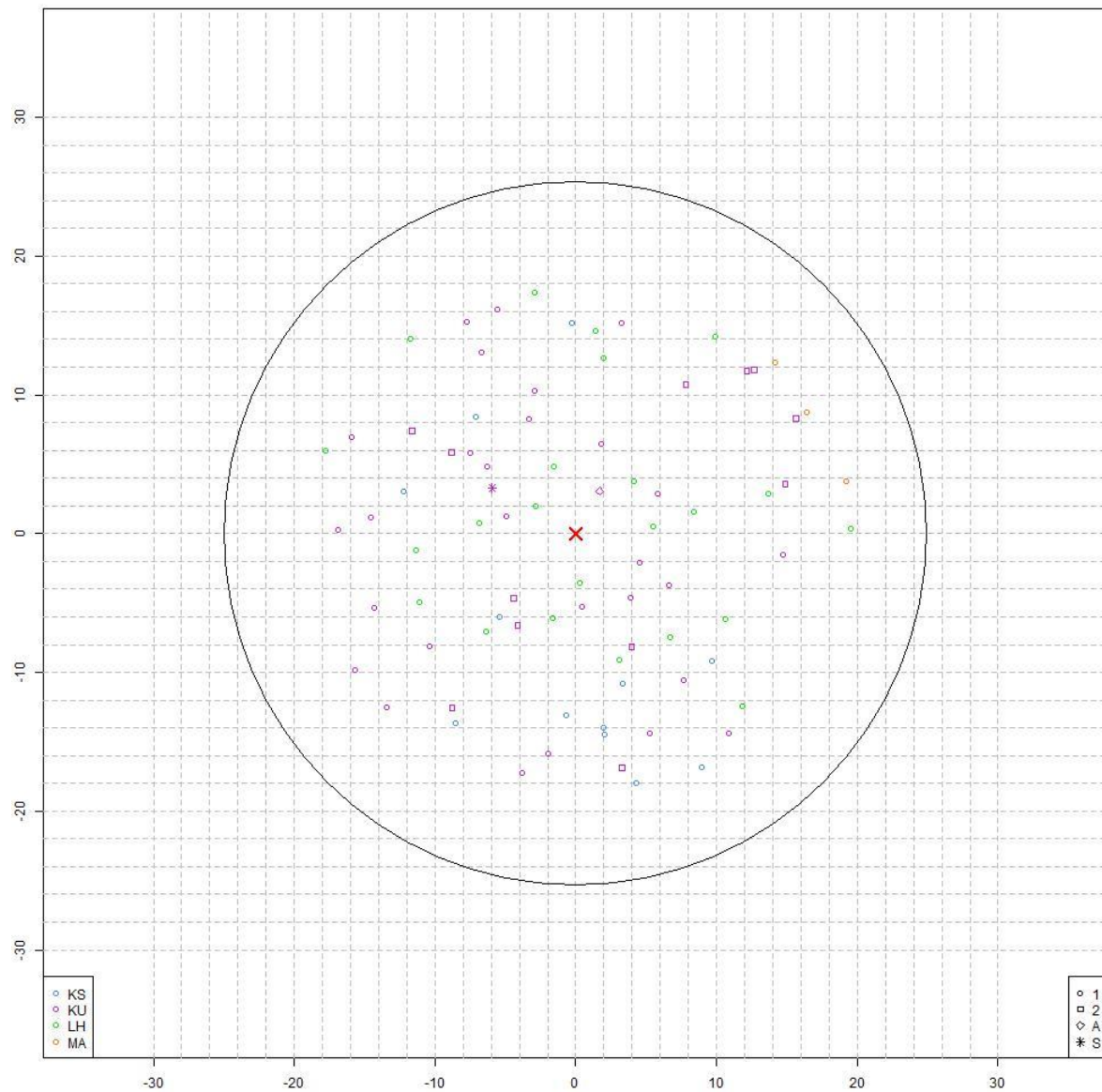
# Lisa 6. LH5 proovitüki puude skeem



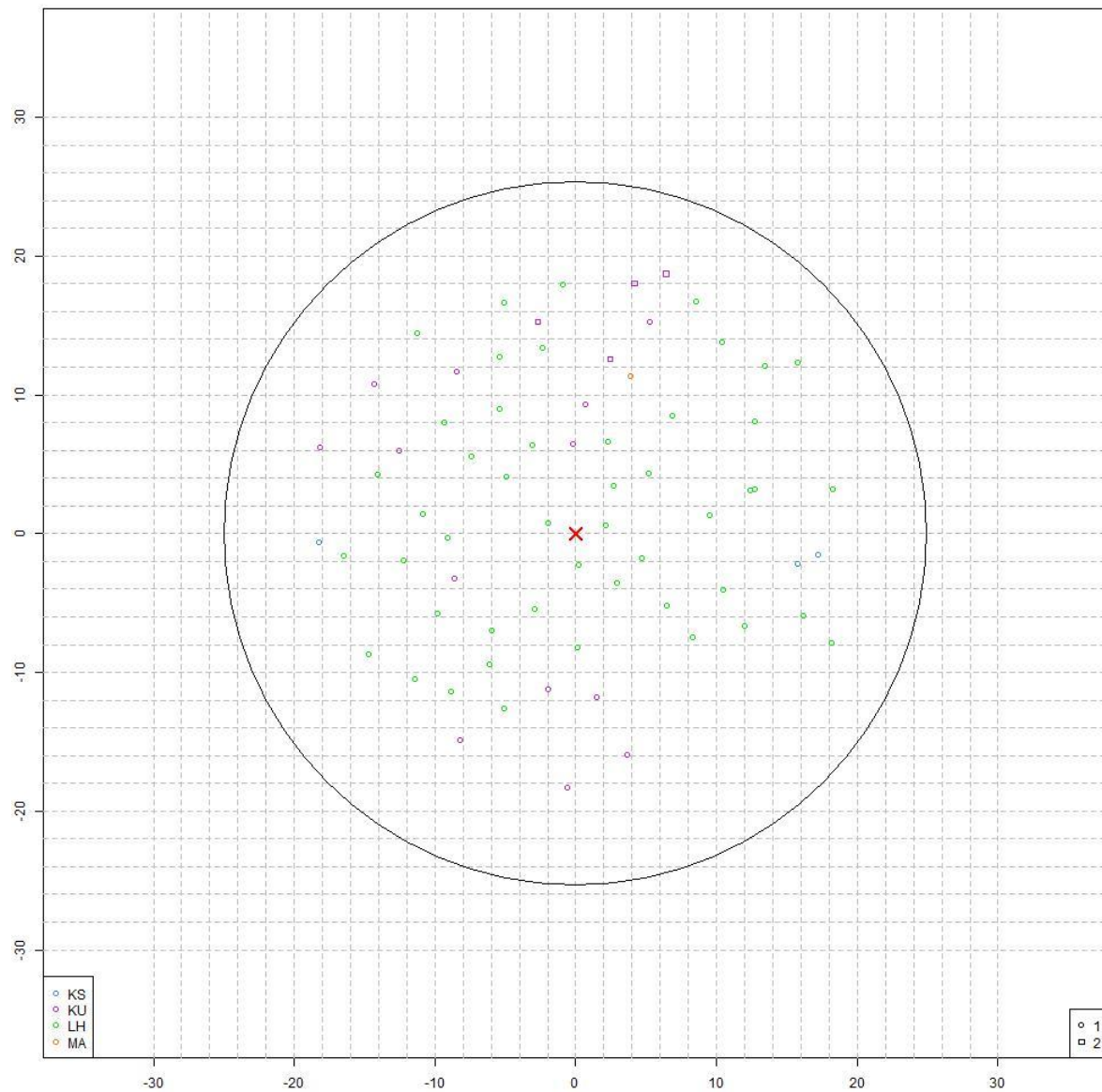
# Lisa 7. LH6 proovitüki puude skeem



# Lisa 8. LH7 proovitüki puude skeem



# Lisa 9. LH8 proovitüki puude skeem



Lisa 10. LH9 proovitüki puude skeem

