TÖÖVÕTULEPING
nr 2-1/27/2021
aruanne

8. veebruar 2023. a.

Töö number 1

KHG inventuuri LULUCF sektori heite arvutamiseks vajalike metsakasvumudelite väljatöötamine

1.1 Sissejuhatus

Eestis kasutatakse LULUCF aruandluse kokku panemiseks statistilise metsainventuuri (SMI) andmeid. See on proovitükkide põhine meetod, kus igal aastal mõõdetakse ca 5500 proovitükki, mis on paigutatud üle-eestiliselt. Metoodika kirjeldamisel on vajalik välja tuua põhjused, millest erinevad statistilised aspektid lähtuvad ning kuna SMI lähtub ise proovitükkide põhise metoodika põhimõtetest, siis on ka antud aruandes kirjeldatud erinevaid aspekte kui proovitükkide põhise metoodika aspektid. Vastasel korral võib tekkida segadus, kas mingi metoodiline aspekt on puhtalt SMI metoodikast lähtuv või on see üldine proovitükkide põhise metoodika eripära.

Pindalapõhise meetodi puhul on eeldus, et kogu riigi ala on 100% kaardistatud. Selliselt on võimalik igal alal hinnata täpsemalt sellel toimuvad muutused. Üheks võimaluseks on rasterkaart, kus iga piksel on klassifitseeritud vastavalt maakasutuse, maakasutuse muutuse ja metsanduse (edaspidi LULUCF) kategooriatele. Sellega on võimalik koos kasutada erinevaid rasterkaarte, millel on olemas pikslitel väärtused muude tunnuste kohta, näiteks kasvava metsa tagavara, kõrgus vms.

Töö eesmärgiks olevate metsakasvumudelite väljatöötamine ja rakendamine on eelduseks pindalapõhisele raporteerimisele üleminekuks kasvuhoonegaaside (edaspidi KHG) inventuuri LULUCF sektori heite raporteerimisel. Sellest tulenevalt on vaja analüüsida puude kasvu ja metsade dünaamikat ning luua mudelid, et SMI andmete alusel arvutada täpsemalt, milline on olnud igal aastal metsade kasv erinevates maakasutuse kategooriate muutuste gruppides (juurde tulnud, ära läinud ja samas kategoorias püsinud alad).

1.2 Eeldused tulemuste arvutamiseks

LULUCF aruandluses on vajalik hinnata ühe aasta jooksul toimunud muutusi. Metsas tuleb jaotada see kolmeks erinevaks grupiks: metsamaana püsinud ala, metsastunud ala ja raadatud ala. Seega on vajalik leida ühe aasta jaoks kokku viis erinevat tagavara (millest tuletatakse biomass ja süsinik) kogust, kuna ainult raadamise järgselt puudub alal biomass. Kuna metsastumine võib tekkide erinevatele maakategooriatele, siis on ka nendel erinev algne tagavara ning seega sõltub igal aastal metsastunud aladel kasvavate puude tagavara ka sellest, milline maakategooria on metsastunud. Ajutiste proovitükkide inven-

teerimisandmete alusel ei ole seda võimalik täpsemalt välja tuua, kuna on teada ainult muutuse järgne olukord ning alaliste proovitükkide puhul tuleb arvestada, et mõõtmised toimuvad viieaastase intervalliga. Seega kui muutus toimus kahe mõõtmise vahelisel perioodil, siis pärast eelviimast mõõtmist kasvas mets samuti ning maakasutuse kategooria muutumise aastaks oli mets juba pisut erinev. Samuti on ka ajutiste proovitükkidega, kuna muutus võis toimuda kuni viis aastat tagasi ning muutumise aastal oli olukord erinev sellest, mis on inventeerimise aastal.

Neid saab hinnata kahel erineval viisil. Üheks võimaluseks on arvutada ühe aasta kogu tagavara hulk ning teisel aastal kogu tagavara hulk ning nende kahe vaheline erinevus ongi muutus. Sellist meetodit nimetatakse varu erinevuse (*stock-difference*) meetodiks. See meetod ei arvesta nö aasta sisese produktsiooniga ehk kui palju on puid surnud või välja raiutud ning kui palju on juurde kasvanud. Varu erinevuse meetodi kasutamise puhul tuleb arvestada ka sellega, et iga mõõtmine sisaldab mõõtemääramatus ning kui selleks kasutada proovitükke, siis tuleb arvestada ka nö sõltumatute valimite valimiveaga. Kui kahe järjestikuse aasta valimid on erinevad (nt ajutised proovitükid), siis on nende vaheline erinevus ka suurem.

Valimiviga lähtub statistilisest tõenäosusest. Kui üleriigiliselt on paigutatud proovitükid, siis nendega ei mõõdeta kõiki puid üle, vaid ainult osaliselt ning nende alusel tehakse üldistus kogu riigi kohta. Kui teha näiteks 100 erinevat sõltumatut proovitükkidega valimit, siis iga ühega saadakse pisut erinev tulemus, kuna iga valimi puhul on paigutatud proovitükid erinevatesse kohtadesse ning seetõttu on mõõdetud ka erinevaid puid. Valimi usalduspiirideks loetakse väärtuste vahemik, millesse satub 95% erinevate valimitega saadud tulemustest. Kui kahel järjestikusel aastal mõõta proovitükid, mis on paigutatud erinevatesse kohtadesse, siis need kaks valimit on sõltumatud ning nende alusel ei saa täpselt öelda, milline on tegelik muutus ning milline on erinevus, mis on tingitud valimiveast.

Kui igal aastal mõõta samad proovitükid, siis tuleb arvestada ka mõõtemääramatusega. Viimane on tingitud nii mõõteseadme täpsusest, mõõdetava objekti omadustest kui ka mõõtja poolt seadme käsitsemise täpsusest. Kuna iga puu kasvab ühe aasta jooksul vähe, siis võib mõõtemääramatus olla oluliselt suurem, kui seda on tegelik muutus. Seetõttu ei suurenda ka iga-aastane mõõtmine oluliselt täpsust ning metsanduses on tavaks mõõta puid vähemalt viieaastase intervalliga. Pikemaajalise mõõtmisega on võimalik saada ka täpsemad hinnangud muutuste kohta. Näiteks mõõtes puid viie aastase vahega, saab anda hinnangu, kui palju keskmiselt on ühel aastal puud kasvanud.

Kui kasutada varu erinevuse meetodit, siis arvutatakse kahe järjestikuse aasta summaarne tulemus ning leitakse nende erinevus. See meetod aga ei arvesta sellega, et kahe järjestikuse aasta erinevus võib olla ka tingitud sellest, et muutunud on ala, mille kohta tulemus arvutatakse. Näiteks võib ühe aasta jooksul metsamaa pindala väheneda, kuna mingi osa metsamaast on raadatud ning järgmisel aastal see enam metsamaa ei ole. Samuti võib metsamaa pindala suureneda, kui mingid alad on aasta jooksul metsastunud. Kui sellist tulemust arvutada proovitükkide meetodil, siis toimub arvutamine keskmise hektaritagavara kaudu ning see võib olla erinev just selliste muutuste tulemusena. Kui aasta jooksul on suurenenud metsamaa pindala, siis järgmisel aastal on ka keskmine hektaritagavara väiksem, kuna on lisandunud väiksema hektaritagavaraga proovitükke. Sellisel juhul võib jääda ekslik mulje, nagu oleks puittaimestiku hulk metsamaal vähenenud.

Kasvu-kao (*gain-gain*) meetodi rakendamisel on vajalik iga maakasutuse muutuse grupi kohta leida hinnatava tunnuse (tagavara, biomass või süsinik) aastane muutus. Kasvu-

kao meetodi rakendamise puhul on eelduseks, et täpsemalt on teada erinevate muutuste gruppide hektaritagavarade aastane muutus. Erinevateks gruppideks metsamaal on aasta jooksul metsastunud alad, aasta jooksul raadatud alad ning 20 aasta jooksul metsamaana püsinud alad. Kuna esimese kahe grupi puhul on tegemist muutusega ning seda esineb harva, siis on nende pindalade määramatus ka suurem. Proovitükkidega meetodi puhul ei satuta kõikidele muutustega aladele ning igal valimisse sattunud alal on suur kaal. Kui kasutada pindalapõhist lähenemist, siis on võimalik ka täpsemalt tuvastada iga ala, kus on toimunud muutus ning ka selle ala pindala on võimalik täpsemalt kindlaks teha.

Pindalapõhise meetodi puhul hinnatakse kaugseire meetoditega kasvava metsa tagavara ja kõrgust. Kuna ka see meetod sisaldab mõõtemääramatust, siis kahe aasta erinevus ei anna veel täpset muutust. Kuid sellist tagavara ja kõrguse kaarte saab kasutada käesoleva tööga valmivate mudelite sisendina ning sellega hinnata täpsemalt aastast juurdekasvu. Lisaks eristatakse kaugseire meetoditega alad, kus on toimunud suuremad tagavara vähenemise muutused ehk nii raied kui ka looduslikud häiringud (torm, tuli jms). See võimaldab siis kokkuvõttes hinnata, kui suur on olnud aastane kasv ja kadu tagavaras.

1.3 Andmed

Käesoleva töö tulemused põhinevad SMI ja LIDARi andmetel.

SMI andmed on saadud Keskkonnaagentuurist. Mudelite loomiseks tehtud päringud on kirjeldatud aruandes.

LIDARi andmed on allalaaditavad Maa-ameti geoportaalist:

https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Korgusandmed/Laadi-korgusandmed-alla-p614.html

1.4 Mõõtmine

Proovitükkide mõõtmised tehakse ühesuguse metoodika alusel, mistõttu mõningate detailsemate mõõtmiste alusel teistele puu või puistu tasemel tunnustele väärtuste prognoosimine mudelitega ei tohiks anda süstemaatilist erinevust, nt mudelpuude diameetri ja kõrguse paaride alusel kõikidele mõõdetud puudele kõrguse prognoosimine peaks andma süstemaatilise veata tulemuse.

SMIs kasutatakse nii ajutisi kui ka alalisi proovitükke. LULUCF aruandluse jaoks märgitakse igale proovitükile, kas seal on toimunud viimase viie aasta jooksul ka maakasutuse kategooriate muutusi ning selle alusel pannakse kokku kogu muutuste aegrida kõikide aruande aastate kohta. Kuna ajutistel proovitükkidel on teada ainult muutuse järgne seisnud, ei ole täpsemalt teada, milline oli selle seisunud enne muutust. Samas on see oluline täpsemaks biomassi muutuse hindamiseks. Seetõttu ei ole näiteks täpsemalt teada, kui suur hulk biomassi eemaldati raadamiste käigus ning kui suur oli rohumaade metsastumisel eelnevalt biomassi hulk.

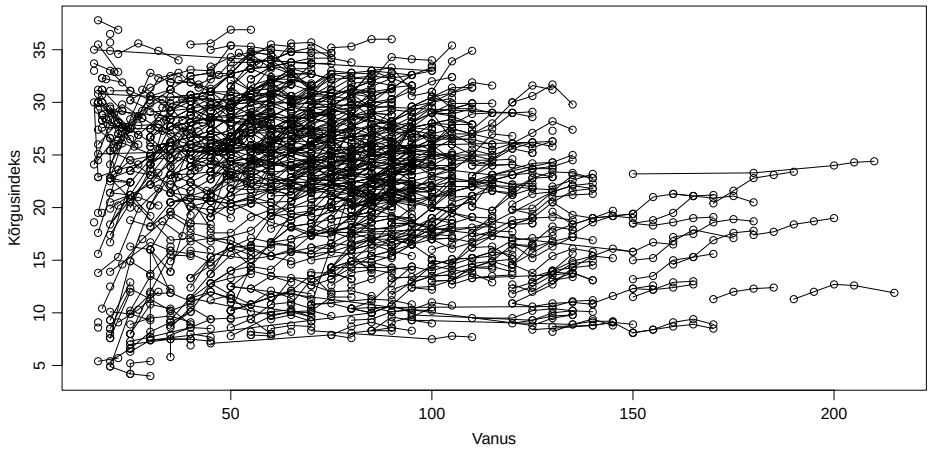
1.5 Kõrgusindeks

Kõrgusindeks (valem 1.2) on kasvuheadust näitav tunnus, mille sisenditeks on puistu keskmine kõrgus ja vanus. Mudel ise on mitukümmend aastat vana ning andmed, millel see välja töötati, oli juba siis ca sajand vanad. Viimase poole sajandi jooksul on korduvalt teadustöödes välja toodud, et metsade kasvukiirus on ajas muutunud. Seetõttu ei kirjelda see mudel enam nii täpselt puistu kasvuheadust ning on ajas varieeruv tunnus (joonis 1.1). See tingimus muudab puistute kasvu modelleerimise keerukamaks, kuna erinevatel aegadel kasvama hakanud metsad kasvavad erinevalt ning enam ei ole võimalik seda kirjeldada ühe universaalse mudeliga. Joonisel on samuti näha, et kõiki vanuse ja kõrgusindeksi kombinatsioonid ei ole ühtlaselt esindatud. Kuna see aga muutub ajas, siis võib olla, et on vaja prognoosida tulevikku selliste puistute kasvu, milliseid meil täna ei eksisteerigi. Seetõttu oleks tegemist mudeli ekstrapoleerimisega, millel on üldiselt ka suuremad prognoosimise vead.

$$h50 = \frac{H \cdot \left(1 + c_1 \cdot \left(\frac{50}{A}^{c_3} - 1\right)\right)}{1 - c_2 \cdot H \cdot \left(\frac{50}{A}^{c_3} - 1\right)} \tag{1.1}$$

$$H100 = \frac{h50}{1 + (c_1 + c_2 \cdot h50) \cdot (0.5^{c_3} - 1)} \tag{1.2}$$

kus c_1, c_2 ja c_3 on metsa korraldamise juhendis toodud mudeli parameetrite väärtused; H ja A on vastavalt puistu keskmine kõrgus ja vanus ning H100 on kõrgusindeks ja h50 on kõrgus 50 aastaselt, mida kasutatakse mudeli siseselt.



Joonis 1.1. Männikute kõrgusindeksi muutumine ajas.

Kõrgusindeksi mudelit on vaja täiendavalt analüüsida, et täpsemalt hinnata selle ajas muutumist. Tulemus võimaldab hinnata täpsemalt metsade juurdekasvu. Antud analüüsi tegemine ei ole olnud antud töö eesmärgiks, aga KIK on finantseerinud projekti "Ülakõrgusele tugineva puistute boniteerimismudeli loomine", millega üritatakse neid probleeme lahendada (https://kik.ee/et/projektid/ulakorgusele-tugineva-puistute-boniteerimismudeli-loomine).

1.6 Kõrguskõver

Klupitud puudele tagavara arvutamiseks on vaja eelnevalt prognoosida selle kõrgus, milleks on vajalik kõrguskõvera mudeli olemasolu. Kõrguskõvera mudel arvutatakse mudelpuude mõõtmisandmete alusel. SMI proovitükkidel mõõdetakse üksikutel puudel kõrgused ning seetõttu ei saa puistupõhist kõrguskõverat koostada ning selleks kasutatakse SMI-s üldistatud kõrguskõverat.

Kõrguskõvera mudeli jaoks andmed saadi SMI andmetest järgmise päringuga:

```
select k.*, t.aasta, y.tr_tyyp, maakategooria, inv_korgus, arv_h100,
vanus, peapuuliik
from atraktyld y, atrakt t, aproovitykk p, aproovitykkosa o,
tpuuliik x, amudelpuud k
where y.id = t.atraktyld_id and t.id = p.atrakt_id and
p.id = o.aproovitykk_id and
p.id = k.aproovitykk_id and k.osa_nr = o.osa_nr
and k.puuliik = x.kood and x.puu = 2 and kahj_aste is null
```

Andmeid analüüsiti R keskkonnas funktsioonidega *nls* ja *nlmer*. Viimast kasutati vanuse mõju analüüsimiseks parameetrile a_1. Igale puuliigile arvutati eraldi kõrguskõvera parameetrid ning selleks tehti igale puuliigile eraldi andmetest väljavõte.

```
# Puuliik ja selle kaasliigid
> plgrp <- list(
  "MA" = c("MA","LH","SD"),
  "KU" = c("KU","NU","TO"),
  "KS" = c("KS","PN","TL"),
  "HB" = c("HB","PP","EL"),
  "LM" = c("LM"),
  "LV" = c("LV"),
  "XX" = c("TA","SA","VA","JA","KP")
  )

# Mudeli funktsioon nlmer funktsiooni jaoks
> kkmud <- deriv(
  ~(a0 + a1 * h100)* (diam / (diam + 5))^(c0 + c1 * h100),
  function.arg = c("diam","h100", "a0","a1","c0","c1"),
  namevec = c("a0","a1","c0","c1")
)

# valimi tegemine puuliigile
# andmebaasi päring on muutujas "andmed"
> valim <- subset(andmed,
puuliik %in% plgrp[[xpl]] &
peapuuliik  %in% plgrp[[xpl]]  &
vanus > 15 & maakategooria %in% c("M","MM") &
!is.na(arv_h100) & diam > 5
)

# vanuse grupeerimiseks 5 aastasteks klassideks
> valim$vangrp <- round(valim$vanus/5)

# Parameetri a1 arvutus
> nlm.mud <- nlmer(korg~kkmud(diam, arv_h100, a0, a1, c0, c1)~(a1|vangrp),
         valim,
```

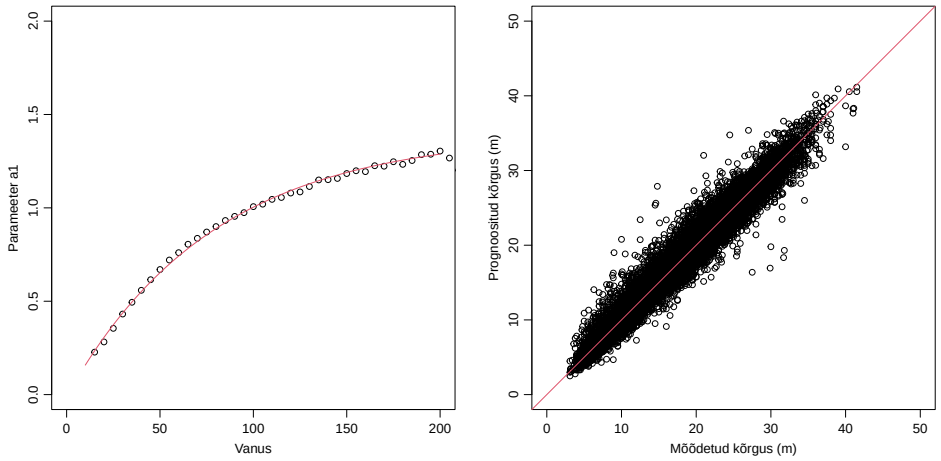
```
          start = c(a0 = 1, a1 = 1, c0 = 1, c1 = 0.1)
)

> vanef <- ranef(nlm.mud)$vangrp
> vanef$vanus <- as.numeric(row.names(vanef)) * 5
> vanef$a1x <- vanef$a1 + fixef(nlm.mud)[["a1"]]

# mudeli lähendamine parameetritele a1
> nls.init <- nls(a1x~b0 + b1 * (1-exp(-b2 * vanus/100)), vanef,
 start = list(b0 = 1, b1 = 1, b2 = 1))
> valim$a1x <- predict(nls.1, valim)

# mudeli lähendamine teistele parameetritele
> nls.final <- nls(korg~
(a0 + a1x * arv_h100)* (diam / (diam + 5))^(c0 + c1 * arv_h100),
    valim,
    start = as.list(fixef(nlm.mud)[c("a0","c0", "c1")]),
    weights = diam*diam*korg
 )
```

Andmete analüüs näitas, et puuliigi põhisel kõrguskõveral (valem 1.4) on sisendiks vajalik puu diameeter, kõrgusindeks ja maksimaalne kõrgus, mis sõltub vanusest (valem 1.3, joonis 1.2). Kõrguskõvera parameetrite uuendamisel kasutatakse kõikide aastate mudelpuid, kuna analüüs näitas, et aastate vahel olulisi erinevusi ja trende ei ole. Seetõttu on võimalik kasutada kõiki mudelpuid ning mudeli hinnangud on selle võrra täpsemad.



Joonis 1.2. Mändide kõrguskõvera parameeter a1 ja mõõdetud ja prognoositud kõrguste vaheline seos.

Kõrguskõvera mudel on järgmine:

$$a_1 = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(1 - exp\left(-\beta_2 \cdot \frac{A}{100}\right)\right) \tag{1.3}$$

$$h = a_0 + a_1 \cdot H100 \cdot \left(\frac{dbh}{dbh + 5}\right)^{c_0 + c_1 \cdot H100} + \epsilon \tag{1.4}$$

kus β_0, β_1, β_2, a_0, c_0, c_1 on mudeli parameetrid, mille väärtused on toodud tabelis 1.1; dbh ja h on vastavalt puu rinnasdiameeter, kõrgus ning A ja $H100$ puistu vanus ja kõrgusindeks.

Tabel 1.1. Kõrguskõvera parameetrid (valemid 1.3, 1.4) SMI proovitükkidel kõrguste arvutamiseks.

Puuliik	Kood	b_0	b_1	b_2	a_0	c_0	c_1	Arv	St. viga
Mänd	MA	-0,010	1,408	1,272	3,446	1,609	-0,033	16 603	1,50
Kuusk	KU	0,083	1,277	1,232	7,722	2,649	-0,031	7 059	2,15
Kask	KS	0,351	0,838	2,699	1,335	1,408	-0,007	11 161	1,74
Haab	HB	0,360	0,834	2,145	1,473	2,389	-0,048	1 119	1,75
Sanglepp	LM	0,319	1,004	2,137	-1,367	1,189	-0,008	1 272	1,66
Hall-lepp	LV	0,279	1,002	2,271	-0,483	2,292	-0,047	3 054	1,55
Muud liigid	XX	0,148	1,143	1,681	1,222	1,102	-0,005	311	1,70

1.7 Kasvava metsa tagavara

Klupitud puudele arvutatakse kõrguskõvera alusel selle kõrgus ning metsa korraldamise juhendis tootud üksikpuu mahu valemitega arvutatakse neile tagavarad.

Mudeli jaoks andmed saadi SMI andmetest järgmise päringuga:

```
select * from rkoondtabel
where aasta >= 1999 and aasta <= 2021
and prtliik = 1 and pindala > 80 and
maakategooria in ('M','MM')

valim <- subset(andmed, peapuuliik %in% plgrp[[xpl]] & vanus > 0)

nls.maht <- nls(arv_maht_es~
    (a0 + a1 * arv_h100) * (vanus / (vanus + 10))^(a2 + a3 * arv_h100),
     valim,
     start = list(a0 = -100, a1 = 10, a2 = 1, a3 = .1),
     weights = pindala

  )
```

Analüüsi tulemusena selgus, et keskmine hektari tagavara sõltub vanusest ja kõrgusindeksist ning on arvutatav valemiga (1.5) ja selle parameetrite hinnangud on esitatud tabelis 1.2.

$$M = (a_1 + a_2 \cdot H100) \cdot \left(\frac{A}{A+10}\right)^{c_1 + c_2 \cdot H100} \tag{1.5}$$

kus M on hektaritagavara tihumeetrites hektari kohta (tm/ha), A ja H100 on vastavalt vanus ja kõrgusindeks ning a_1, a_2, c_1 ja c_2 on mudeli parameetrid, mis on toodud tabelis 1.2.

Tabel 1.2. Kasvava metsa tagavara mudeli (valem 1.5) parameetrid.

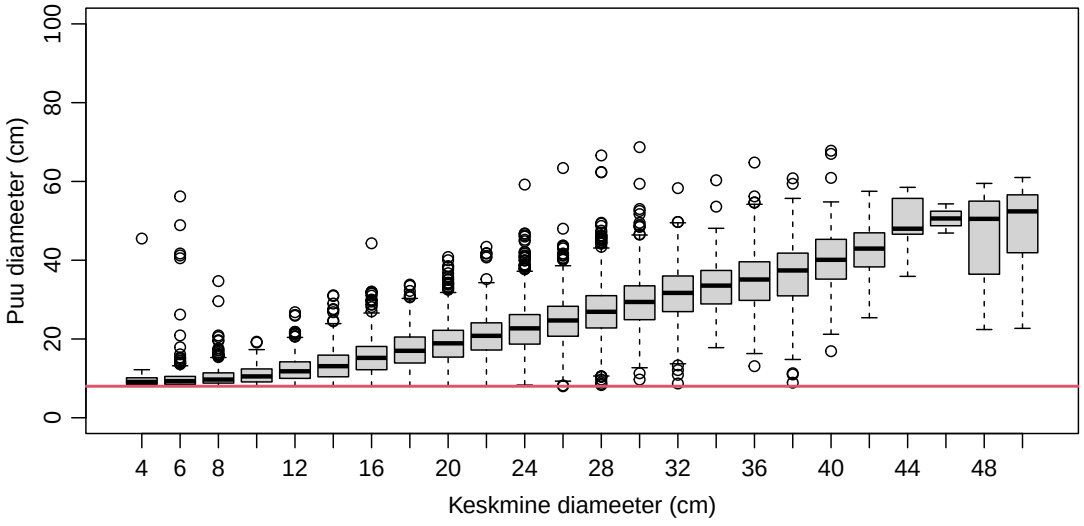
Puuliik	$a1$	$a2$	$c1$	$c2$	Arv
MA	-64,010	26,028	9,536	-0,140	8096
KU	33,428	20,416	10,122	-0,155	4318
KS	-244,511	29,635	7,512	-0,082	7347
HB	-66,902	24,167	10,522	-0,206	1405
LM	-169,461	27,666	6,960	-0,102	878
LV	-343,222	33,316	4,212	-0,006	2096
XX	230,518	6,243	8,336	-0,169	235

1.8 Juurdekasv

Tagavara aastasel juurdekasvul eristatakse kolme erinevat kasvu:

- **kogujuurdekasv** - ühe aasta jooksul kõikide kasvavate puude tagavara muutus;
- **netojuurdekasv** - kogujuurdekasvust on lahutatud maha aasta jooksul surnud puude maht;
- **muut** - kahe järjestikuse aasta tagavara vahe, mis arvestab nii kasvavate puude juurdekasvu, suremust kui ka raieid.

Tagavara juurdekasvu on võimalik arvutada vaid nendele kordusmõõdetud proovitükkidele, millel on vähemalt kaks mõõtmist. SMI proovitükkidel on eesmärgiks arvutada juurdekasv ka proovitükkidele, millel ei ole puid klupitud ning on mõõdetud ainult puistu keskmised näitajad. Seega ei saa mudelis olla sisendiks väga detailsed andmed. SMI proovitükkidel mõõdetakse kordusmõõdetavad puud alates diameetrist 8 cm, mistõttu nendel proovitükkidel, millel keskmine diameeter on alla 15 cm, on puude jaotusest väiksemad puud kordusmõõtmata ning jaotus on puudulik (joonis 1.3). Käesoleva töö käigus analüüsiti diameetrite jaotusi ning modelleeriti jaotuse puuduv osa ning arvutati proovitükkidele kõikide puude juurdekasv.



Joonis 1.3. Männikute diameetrite jaotuse karpdiagramm sõltuvalt proovitüki keskmisest diameetrist. Punane horisontaalne joon on 8 cm peal.

Puistu diameetrijaotusest on puudu peenemad puud, kui on mõõdetud alates 8 cm. Seega on puudu diameetrijaotuse peenem osa. Mida suuremaks kasvavad puud, seda väiksem on nende puude osakaal, mis on jaotusest välja jäänud. Mudeli loomisel võib arvestada sellega, et nii noorte puudega proovitükk ei satu valimisse, mille puude diameetrid on alla 8 cm. Sellest tulenevalt on vajalik leida ainult nendele proovitükkidele jaotusest välja jäävate puude osakaal, mis jõuavad valimisse. Arvestades jaotuse kuju, on võimalik leida välja jäävate puude mahuline osakaal. Analüüsi käigus leiti, et keskmiselt jääb noorematest proovitükkidest välja ca 30% puude juurdekasvust ning see väheneb keskmiselt 0,3% võrra igal aastal.

```
> valim <- subset(andmed,
peapuuliik %in% plgrp[[xpl]] &
vanus > 10 & prtliik == 1 &
!is.na(juurdekasv))

# Juurdekasvumudel funktsioonina
z.mudel <- function(vanus, arv_h100, a1a, a1b, b1, c1a, c1b)
{

  par.a1 <- a1a + a1b * arv_h100
  par.b <- b1
  par.c <- c1a + c1b * arv_h100

  par.a1 * ((vanus/(vanus + par.b))^(par.c - 1) *
     (par.c * (1/(vanus + par.b) - vanus/(vanus + par.b)^2)))
}


# Puudu oleva juurdekasvu kompenseerimine ja viieaastase juurdekasvu
# teisendamine ühele aastale
> valim$jrdk <- (valim$juurdekasv / 5) * (1.3 - valim$vanus * 0.003)

> nls.tulem <- nls(jrdk~z.mudel(vanus, arv_h100, a1a, a1b, b1, c1a, c1b),
   jrdk.agr,
   start=list(a1a = -100, a1b= 100, c1a = 10, c1b = -0.1)
)
```

Enamuspuuliigi järgi juurdekasvu prognoosimine on keeruline, kuna kõik puistud ei ole puhtpuistud, kuid kaaspuuliikide juurdekasv samade puude mõõtmete juures on erinev. Tabelis 1.3 on toodud enamesinevate puuliikide osakaalud enamuspuuliikide kaupa.

Tabel 1.3. Kaaspuuliikide tagavara osakaalud (%) enamuspuuliigi alusel puistutes.

Enamus	Kaaspuuliik					
puuliik	MA	KU	KS	HB	LM	LV
MA	77,94	21,35	16,36	17,44	7,00	8,76
KU	32,44	67,60	22,72	23,79	14,98	13,67
KS	30,02	24,14	62,93	22,37	21,49	17,17
HB	21,60	30,18	22,70	58,25	12,31	15,52
LM	32,46	21,26	21,03	19,56	65,08	12,29
LV	39,64	29,13	27,21	27,72	31,65	69,15

Käesoleva analüüsi tulemusena uuendati tagavara juurdekasvu mudel (1.6,1.7,1.8), millega prognoositakse proovitükkidele selle tagavara aastane juurdekasv.

$$a1 = a1a + a1b \cdot H100 \tag{1.6}$$

$$c1 = c1a + c1b \cdot H100 \tag{1.7}$$

$$Z_M = a1 \cdot \left(\frac{A}{A+15}\right)^{c1-1} \cdot c1 \cdot \left[\frac{1}{A+15} - \left(\frac{A}{(A+15)^2}\right)\right] \tag{1.8}$$

kus parameetrite $a1a$, $a1b$, $c1a$, $c1b$ väärtused on esitatud tabelis 1.4; H100 on kõrgusindeks ja A on vanus.

Tabel 1.4. Juurdekasvu mudeli (valemid 1.6 ja 1.7) parameetrid.

Puuliik	$a1a$	$a1b$	$c1a$	$c1b$
MA	-522,336	89,532	11,539	-0,164
KU	-1000,827	111,419	11,991	-0,151
KS	-732,752	85,309	11,404	-0,184
HB	-2330,356	164,673	17,028	-0,362
LM	329,640	60,027	12,959	-0,231
LV	-735,493	88,808	11,406	-0,193
XX	1024,600	17,013	3,737	0,078

1.9 Tagavara dünaamika

Ühe aasta jooksul muutub tagavara mitmel põhjusel.

Kasvavate puude kasvu tulemusena suureneb ühe aasta jooksul metsade tagavara. Igal aastal ei ole kasv ühesugune, kuna see sõltub ilmastiku tingimustest. Seetõttu arvutatakse proovitükkidel juurdekasv viie aasta keskmisena.

Puude suremuse tõttu väheneb kasvava metsa tagavara. Suremus ei toimu puistus ühtlaselt igal aasta, vaid pigem vahelduvad suurema ja väiksema suremuse perioodid. Seetõttu ainult lühemal perioodil puistu jälgimisel võidakse sattuda perioodile, mil suremus oli väiksem ning jääb ekslikult mulje väikesest suremusest antud vanuses puistutel. Suremuse võib jagada kaheks: 1) regulaarne suremus, mis on tingitud puistus puude konkurentsist ja 2) ebaregulaarne suremus, mille põhjustavad juhuslikud suuremad häiringud nagu tormid, üraskite ründed vms.

Raie tulemusena vähendatakse metsades puude arvu, et vähendada puude looduslikku suremust.

Kui tagavaralt minna üle biomassile, siis aastate vaheline muutus on väiksem võrreldes aasta jooksul toimunud muutustega. Näiteks ei saa aastate vahelise muutuse puhul arvestada aasta jooksul tekkinud ja ära läinud puude lehtede, okaste jms varisega.

Ühe vanuseklassi puistute keskmine tagavara on kujunenud varasemate aastate puistute juurdekasvust, suremusest ja raietest. Seetõttu on vanuseklassi keskmine tagavara väiksem, kui oleks kõikide varasemate aastate kogujuurdekasvu summa.

Sama vanuse ja kasvuheadusega puistute tagavara varieerub tiheduse tõttu. Näiteks, I boniteedi 100 aastaste männikute hektaritagavara varieerub vahemikul 150 ja 700 tm vahel. Samuti varieerub sellest lähtuvalt ka juurdekasv ja suremus. Vanuseklassi keskmine suremus võib seetõttu erineda oluliselt puistu suremusest. Tabelis (1.5) on esitatud männikute vanuseklasside keskmised suremused protsentides. See näitab, mitu protsenti sureb keskmiselt antud vanuseklassis. Kuni 100 aastani püsib keskmiselt suremus väga ühtlane, kuna osaliselt on see mõjutatud ka hooldusraietest, mille käigus on eemaldatud puistust need puud, mille kasvuruum on väikseks jäämas ning mis võivad lähiaastatel ka ära surra. Nooremates metsades on tagavara väiksem kui vanemates, seetõttu on ka nooremates metsades ühel tihumeetril surnud puidul suurem osakaal kasvavasse metsa kui vanemates metsades. Seetõttu võib küll nooremates metsades olla suurem suremus protsentides, aga oluliselt väiksem maht tihumeetrites. Metsade kogu suremus sõltub metsade vanuselisest jagunemisest. Kasvuheadusest suremuse protsent oluliselt ei sõltu, seetõttu on tabelites esitatud suremuse protsent kasutatav erinevate boniteetidega kuid samas vanuses.

Vanemate metsade osakaal on küll suur (küpseid metsi ca 25% kogu metsadest), aga

vanemates metsades on hektaritagavara tunduvalt suurema varieeruvusega ning sellega seoses ka juurdekasv ja suremus. SMI proovitükid võimaldav küll anda suremuse ülevaadet vanuseklassi keskmiste kohta, aga täpsem sõltuvus juba täiusest sõltuvana eeldab proovitükke rohkemates vanemates puistutes.

Tabelis (1.5) näitab muutuse osakaal, kui palju juurdekasvust jääb keskmiselt alles kui raied ja suremus on maha arvestatud. Muutuse osakaal on arvutatud käesoleva töö tagavara mudeli ja juurdekasvu mudeli alusel. Tagavara mudel näitab, kui palju mingis vanuses on keskmiselt puistute tagavara ning sama mudeliga on võimalik arvutada, kui palju on aasta vanemate puistute keskmine tagavara. Nende kahe numbri erinev näitab kui palju muutub aastas antud vanuses keskmiselt tagavara. Sama vanusega puistute juurdekasvu mudeliga arvutatud tulemus näitab, kui palju on keskmiselt antud vanuses puistute kogujuurdekasv. Nende kahe numbri erinevus näitab, kui palju aasta jooksul tagavarast väheneb kas suremuse või hooldusraiete tagajärjel. Tabelis toodud suremuse protsent on saadud arvestades klupitud kordusmõõdetavate puude seisukorda järgmisel mõõtmisel. Suremuse osakaal sõltub hooldusraiete intensiivsusest, kui neid tehakse õigeaegselt, siis on ka suremus väiksem. Hooldusraiete üldist protsenti ei saa välja tuua, kuna see on olnud viimase kahekümne aasta jooksul olnud varieeruv ning sõltub ka omandivormist (riik vs era). Nooremates ja vanemates metsades on suremuse hinnangud suurema määramatusega kuna vanemates metsades on küll suremus suurem, aga kuna proovitükkidel on vähem puid ning arvuliselt sureb vähem puid võrreldes noorte metsadega.

```
#Päring andmebaasist
select k.*, t.aasta, y.tr_tyyp, maakategooria, inv_korgus, arv_h100,
    vanus, o.pindala, peapuuliik
from atraktyld y, atrakt t, aproovitykk p, aproovitykkosa o,
    tpuuliik x, aklupp k
where y.id = t.atraktyld_id and t.id = p.atrakt_id and
    p.id = o.aproovitykk_id and
    p.id = k.aproovitykk_id and k.osa_nr = o.osa_nr
    and k.puuliik = x.kood and x.puu = 2 and
    t.aasta >= 1999 and t.aasta <= 2021

# Kahe järjestikuse mõõtmise kokku panemine puude kaupa
kl.j <- andmed %>% left_join(kl %>%
  select (em_id, arv_d13, arv_grp, arv_tagavara, aproovitykk_id, osa_nr),
    by = c("id"="em_id")) %>%
  filter(!is.na(arv_grp.y))

#Eraldamine igale puuliigile
kl.j.pp <- kl.j %>% filter(puuliik == peapuuliik)

# Puude esimese korra tagavara jagunemine vanuseklasside ja
#  teise korra seisundi järgi
# arv_grp.y = teise korra seisukord
with(kl.j.pp, tapply(arv_tagavara.x, list(vg, puuliik, arv_grp.y),
    sum, na.rm=T, default = 0))


# Puude teise korra tagavara jagunemine vanuseklasside ja
#  teise korra seisundi järgi
with(kl.j.pp, tapply(arv_tagavara.y, list(vg, puuliik, arv_grp.y),
    sum, na.rm=T, default = 0))
```

Tabel 1.5. Tagavara dünaamika männikutes (I boniteet, H100 = 29,5 m).

Vanus	M (tm/ha)	Z (tm/ha/a)	Muutuse osakaal (%)	Suremus (%)
10	17	1,8	90,0	1,40
20	79	7,2	90,0	1,20
30	149	10,4	63,8	0,60
40	211	11,5	49,2	0,70
50	263	11,3	41,5	1,10
60	306	10,6	36,8	1,13
70	342	9,7	33,6	1,15
80	372	8,9	31,3	1,18
90	398	8,0	29,6	1,20
100	420	7,3	28,3	1,20
110	440	6,6	27,2	1,20
120	457	6,0	26,3	1,10
130	471	5,4	25,6	1,00

Kuusikud on küll varjutaluvad ning seetõttu konkurentsi tõttu on seal suremus ka väiksem. Samas on kuusikutes tunduvalt suurem põdrakahjustuse ja juurepessu osakaal ning selle tõttu on suremus ka suurem. SMI andmetel on kahjustustest enamlevinud põdra- ja juurepessu kahjustused (pindalaliselt vastavalt 36,8% ja 13,5%).

Tabel 1.6. Tagavara dünaamika kuusikutes (I boniteet, H100 = 29,5 m).

Vanus	M (tm/ha)	Z (tm/ha/a)	Muutuse osakaal (%)	Suremus (%)
10	14	1,0	90,0	1,30
20	67	5,4	90,0	1,20
30	129	9,0	65,7	0,90
40	184	10,7	47,6	0,80
50	231	11,0	38,5	1,30
60	270	10,7	33,1	1,60
70	303	10,1	29,6	1,70
80	331	9,3	27,2	1,80
90	354	8,6	25,3	1,70
100	375	7,8	23,9	1,70
110	392	7,2	22,8	1,51
120	408	6,6	22,0	1,35
130	421	6,0	21,2	1,21

Tabel 1.7. Tagavara dünaamika kaasikutes (I boniteet, H100 = 29,5 m).

Vanus	M (tm/ha)	Z (tm/ha/a)	Muutuse osakaal (%)	Suremus (%)
10	18	2,7	90,0	1,50
20	80	8,1	84,1	1,10
30	145	10,5	58,3	0,50
40	202	10,8	47,0	0,60
50	249	10,3	40,8	0,80
60	287	9,4	36,8	1,10
70	319	8,4	34,1	1,30
80	346	7,5	32,2	1,80
90	368	6,7	30,7	1,70
100	388	6,0	29,5	1,60
110	404	5,4	28,6	1,50
120	419	4,9	27,8	1,40

Tabel 1.8. Tagavara dünaamika haavikutes (I boniteet, H100 = 29,5 m).

Vanus	M (tm/ha)	Z (tm/ha/a)	Muutuse osakaal (%)	Suremus (%)
10	30	2,9	90,0	1,50
20	107	9,8	79,7	1,10
30	180	13,6	48,5	1,00
40	240	14,5	36,3	1,00
50	287	14,0	30,1	1,00
60	326	13,0	26,3	1,10
70	357	11,8	23,8	1,20
80	383	10,6	22,0	1,30
90	404	9,6	20,7	1,40

Sanglepikute ja hall-lepikute vanused tabelites 1.9 ja 1.10 on lähtuvalt vastavalt nende esinemisele SMI andmestikus. Sanglepikutest 95% on kuni 85 aastased ning hall-lepikutest vastavalt kuni 55 aastased.

Tabel 1.9. Tagavara dünaamika sanglepikutes (I boniteet, H100 = 29,5 m).

Vanus	M (tm/ha)	Z (tm/ha/a)	Muutuse osakaal (%)	Suremus (%)
10	42	2,8	90,0	1,50
20	130	8,9	90,0	1,30
30	208	11,9	56,8	1,10
40	268	12,4	42,0	0,90
50	315	11,9	34,5	0,90
60	352	10,9	30,0	1,00
70	382	9,9	27,0	1,10
80	406	8,9	24,9	1,30
90	426	7,9	23,4	1,40

Tabel 1.10. Tagavara dünaamika hall-lepikutes (I boniteet, H100 = 29,5 m).

Vanus	M (tm/ha)	Z (tm/ha/a)	Muutuse osakaal (%)	Suremus (%)
10	39	3,4	90,0	1,50
20	125	9,4	88,1	1,50
30	200	11,8	56,4	1,50
40	260	11,9	43,5	1,50
50	306	11,1	36,7	1,50
60	343	10,0	32,5	1,50

1.10 Metsade tagavara

SMI-ga alustati 1999. aastal, mistõttu alates sellest ajast on ühe metoodikaga võimalik täpsemalt anda ka iga-aastased metsade tagavarad ning need on esitatud ka Aastaraamatus "Mets". Käesoleva töö eesmärgiks on analüüsida olemasolevaid andmeid ning täpsustada metsade tagavara alates 1990. aastast.

Aastatega muutub metsade vanuseline jaotus ning sellest tulenevalt ka metsade tagavara. Metsade tagavara prognoosimine tulevikku on lihtsam, kuna uuendusraiete järgselt on teada, et kasvava metsa tagavara on nulli lähedane ning see sõltub jäetud säilik- ja seemnepuude hulgast. Minevikku prognoosimisel aga ei ole teada, milline võis olla tagavara enne uuendusraiet. Samuti tuleb arvestada ka sellega, et uue metsa põlve tekkimisega ei pruukinud alal metsa eelnevalt ollagi. Seega kui proovitükil on mõneaastased puud, siis võis olla sellel alal enne nii vana mets kui ka muu maakasutuse kategooria.

Kasvu-kao meetodiga täpsema tagavara muutuse prognoosimiseks on vajalik teada iga-aastaseid raiete ja suremuse andmeid, mida on raskem prognoosida, kui ei ole täpseid mõõtmise andmeid. Eelpoolt toodud juurdekasvu ja suremuse andmeid saab kasutada täpsemalt siis, kui meil on täpsemalt teada metsade vanuseline jagunemine. Käesoleva töö käigus analüüsiti SMI mõõtmisandmete alusel saadud tagavara, raieid, suremust ja juurdekasvu.

Alates 1999. aastast on mõõdetud ja hinnatud iga aasta kohta metsa pindala, kasvava metsa tagavara, raiemaht, juurdekasv ja hinnanguline suremus. Nende tunnuste puhul tuleb arvestada, et ükski tunnus ei ole absoluutväärtus ning sisaldab ka määramatust. Näiteks, kui kasvava metsa tagavara on 450 miljonit tihumeetrit ning hinnangu täpsus on 1,1%, siis tegelik tagavara peaks olema vahemikul 445 - 455 miljonit tihumeetrit. Mõne tunnuse kogu tulemus on väiksem kui teise tunnuse määramatus. Näiteks, kasvava metsa tagavara määramatus ületab kogu aastase suremuse hinnangut. Teoreetiliselt peaks saama ühe aasta tagavara lisades eelmisel aasta tagavarale juurdekasvu ning lahutama sellest maha raie ja suremuse. KUi eelpoolt toodud tagavara näite puhul oleks aastane juurdekasv 15 miljonit tihumeetrit, raie 8 miljonit ja suremus 2 miljonit, siis järgmisel aastal peaks tagavara olema teoreetiliselt 5 miljonit tihumeetrit suurem ehk 455 miljonit. Arvestada tuleb sellega, et igal nendest tunnustest on sees ka määramatus. Lähtuvalt statistilise juhuslikuse printsiibist on mõnel aastal saadud hinnang tegelikust väärtusest suurem ja mõnel aastal väiksem. Mitme tunnuse puhul tuleb arvestada ka sellega, et mõnel aastal võivad nende hinnangute summaarsed määramatused olla kas üksteist tasandavad või võimendavad. Üldiselt sama tunnuse puhul mitme järgestikuse aasta hinnangu määramatused kahanevad, näiteks Keskkonnaagentuur on varasemalt välja toonud võrdluse SMI raiemahu ja kaugseirega saadud raiemahu eksperdihinnangu kohta, kus ühe aasta erinevus

kõigub ca 10%, aga 10 aasta summaarne erinevus oli ainult 1%. Mitmete tunnuste koos analüüsimisega minimeeritakse valimist lähtuvat statistilist juhuslikkust ning saadud tulemust võib teoreeriliselt pidada küll nö tõele lähemaks tulemuseks, aga neid numbreid ei saa siiski käsitleda kui absoluutarve, sest lisaks valimi statistilisele juhuslikkusele on andmetes sees ka mõõtemääramatusega jms juhuslikkus. Eelkõige tuleb arvestada sellega, et metsade tagavara ei ole võimalik mõõta otseselt ning seetõttu see tuletatakse kaudselt teiste mõõdetavate tunnuste kaudu (kõrgus, diameeter) ning see lisab samuti tulemustesse määramatust.

Varasemasse perioodi on hinnatud tagavara vanuselise jagunemise nihutamisega noorematesse vanuseklassidesse. Testimiseks võrreldi, milline oleks vanuseline jagunemine kasutades võrdlevalt SMI kahe esimese perioodide sõltumatut nihutamist. Nende tulemusel oli võimalik hinnata, milline on uuendusraiete ja metsastamise mõju tagavara muutusele ning selle alusel anti hinnanguline metsade tagavara aastateks 1990 ja 1995. Vahepealsetele aastatele on see arvutatud lineaarse muutusena. Perioodi 1990 - 1999 tulemus on kokku pandud eksperdihinnanguna, seetõttu ei saa sellele täpsemalt välja arvutada hinnangu määramatuse täpset suurust.

Nende tulemuste alusel koostati tagavara aegrida (tabel 1.11).

Tabel 1.11. Metsade tagavara (miljonit tihumeetrit).

Aasta	Tagavara	Aasta	Tagavara	Aasta	Tagavara
1990	385				
1991	389	2001	419	2011	470
1992	393	2002	422	2012	472
1993	397	2003	424	2013	474
1994	401	2004	429	2014	477
1995	405	2005	433	2015	479
1996	408	2006	440	2016	481
1997	411	2007	447	2017	481
1998	414	2008	455	2018	481
1999	417	2009	462	2019	482
2000	419	2010	466	2020	484

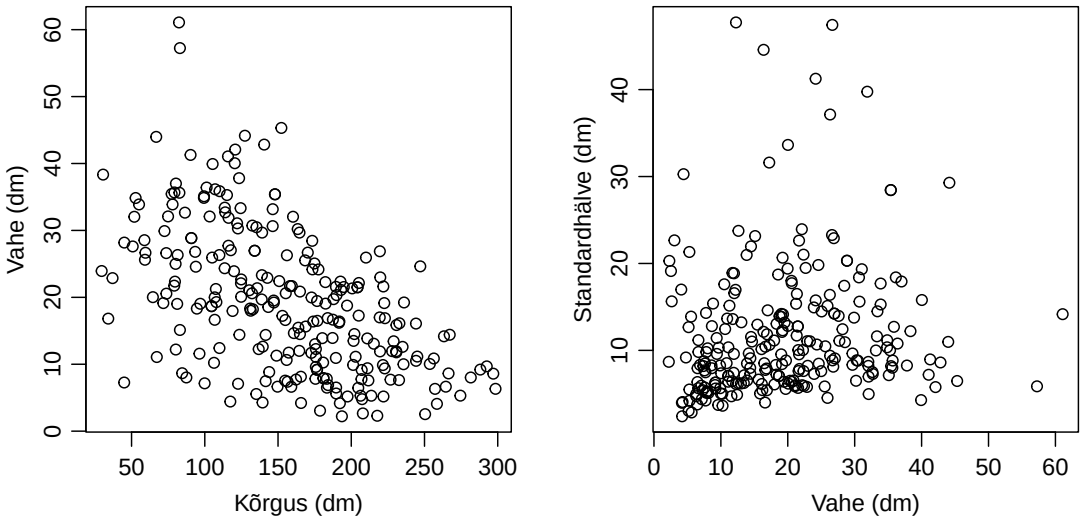
1.11 Kaugseire andmed

Kaugseire andmetest loodud metsade kaartide kasutamisel on mitmeid eesmärke. Enamlevinud eesmärgiks on saada infot eraldisepõhiselt selle majandamise jaoks. Sellisel juhul ei ole oluline eraldiste piiritlemisest tulenev täpsus, kuna metsaomaniku jaoks on oluline teha otsus, kus teha majanduslikke töid, mitte milline on täpne eraldise tagavara, kõrgus vms. Kui aga soovitakse ülepinnalist tulemust kogu riigi kohta, siis on oluline ka piiride täpsus.

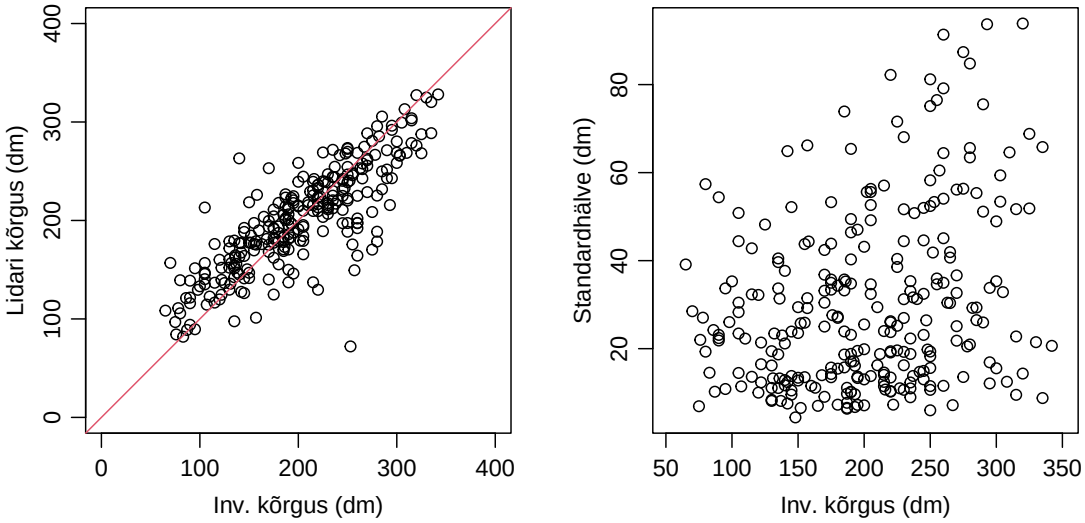
Kaugseire andmetest tuletatud metsa kaardid on üldiselt koostatud rasterkaartidena (puuliik, kõrgus, tagavara), mistõttu tuleb nende kasutamisel arvestada pikslitega piiritlemise probleemiga. Kaugseire andmete kasutamisel tuleb arvestada, et 10-meetrise piksli puhul on ca 20% pikslitest piiripealsed ehk on kas metsamaa ja mitte-metsamaa piiril või siis erinevate eraldiste piiril, millest tulenevalt on ca 20% alade kohta hinnang suurema määramatusega. Need alad võivad muutuse hinnangule avaldada suuremat mõju, kui tegelik muutus ise on.

Puistu või proovitüki kohta hinnatakse üldiselt üks keskmine kõrgus. Igale pikslile hinnatakse lidari andmete alusel eraldi kõrgus ning sellest tulenevalt varieerub ühele proovitükkidele sattunud pikslite väärtused. Käesolevaks tööks koostati iga proovitüki alale 10-meetrise pikslite kaupa lidari meetrikud. Piksleid analüüsiti 20 m raadiusega alalt, et proovitüki sisse jääksid täielikult ka need pikslid, mis 10 m raadiusega jääks ainult osaliselt. Meetrikud arvutati R paketi *lidR* funktsiooniga *pixel_metrics*. Nende meetrikute alusel hinnati proovitüki sisest varieeruvust ning arvutati nende andmete alusel ka proovitüki keskmised väärtused.

Joonisel (1.4) on esitatud kase enamusega proovitükkidel paiknevate pikslite keskmine kõrgus ja selle muutus aastatel 2017 ja 2021. Lisaks on seal esitatud ka samal proovitükil paiknevate pikslite väärtuste standardhälve. See iseloomustab, kui varieeruvad on metsas naaberpikslid (joonis 1.5).

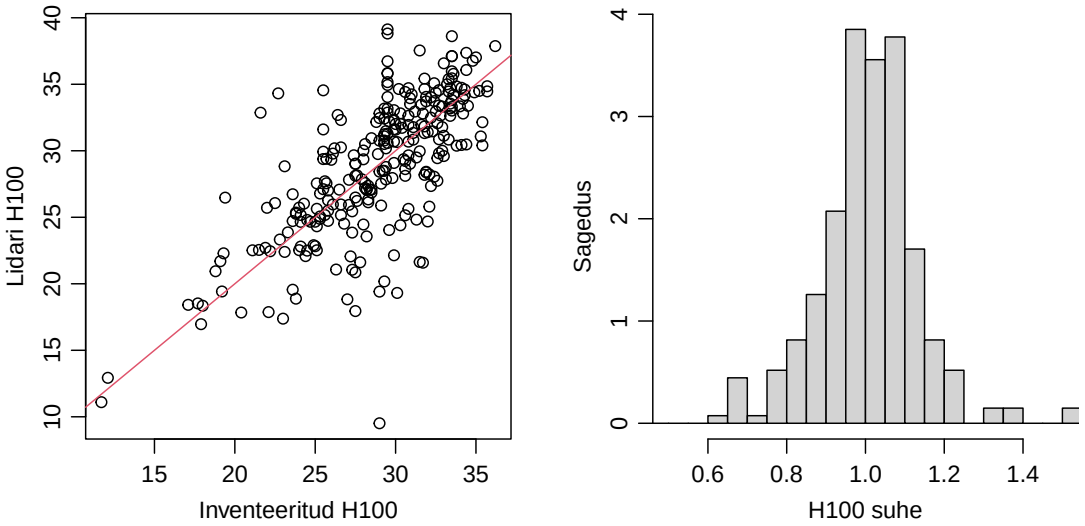


Joonis 1.4. SMI kase enamusega proovitükkidel puistu kõrguste vahe aastate 2017 ja 2021 lidari andmetel ning proovitükil paiknevate pikslite erinevuse standardhälve.



Joonis 1.5. SMI kase enamusega proovitükkidel kõrgus aasta 2021 lidari andmetel ning proovitükil paiknevate pikslite kõrguse standardhälve.

Metsas ei paikne puud ühtlaselt ja on erineva suurusega, siis võib näiteks üks piksel olla puistu kõige kõrgema puu kohal ning selle kõrval paikneb ka häil, mistõttu naaber piksli kõrguse väärtuseks võib olla ka null. Nende pikslite väärtused on sisendiks mudelitele, millega tulemusi arvutatakse. Joonisel (1.6) on esitatud kase enamusega puistute inventeeritud andmete alusel arvutatud ja lidari andmete alusel arvutatud kõrgusindeks. Kuna lidari andmete alusel arvutatud keskmine kõrgus on arvutatud mudeliga, mis lähtub lidari meetrikutest ning mudel on koostatud SMI proovitükkide andmete alusel, siis keskmiselt on kõrgus ja seoses sellega ka kõrgusindeks samad, aga nende kõrgusindeksite suhtelise erinevuse standardhälve on 13%.



Joonis 1.6. SMI kase enamusega proovitükkidel inventeerimisandmete kõrgusindeks (H100) ja aasta 2021 lidari andmetel arvutatud kõrgusindeks ning nende suhtelise erinevuse jaotus.

Käesoleva töö käigus testiti, kas kaugseire andmetest on võimalik tuletada piisava

täpsusega metsa andmed, mis võimaldaks arvutada juurdekasvu. Saadud andmed proovitükkide kohta on küll varieeruvad, aga süstemaatilist viga tulemustes ei esinenud. Metsa servas või eraldise piiril asuvad vähesed SMI proovitükid, mistõttu metsa serva mõju antud juhul analüüsida ei ole võimalik. Kuna umbes 20% pikslitest asuvad kas metsa serval või eraldise piiril, siis nende kohta käesoleva analüüsi käigus hinnangud anda ei saa.

Piiritlemise mõju analüüsimiseks on kaugseire andmete kasutamiseks vajalik välja töötada täpsem metoodika nende kaartide loomiseks, mille puhul on minimeeritud aastatevahelised määramatused kaugseire andmetes.

1.12 Kokkuvõte

Metsade dünaamika erineb kui vaadata seda kas ühe puistu tasemel või paljude sarnaste puistute keskmisena. Ühes puistus toimuvad hooldusraied vastavalt vajadusele mitme aastakümne vahega ning suremus lainetena, kus mõnel aastal toimub looduslikult suurem väljalangevus, kuna puistu keskmisena on tihedam ning pärast seda on alles jäänud puudel rohkem ruumi kasvamiseks ning mitme aasta jooksul on suremus väiksem. Paljude puistute keskmisena toimub igal aastal mõnes puistus suremus ning hooldusraied on aastate vahel ära jaotatud.

Metsade dünaamikast on puistute keskmine tagavara ja aastane kogujuurdekasv kõige stabiilsemad numbrid, kuna need põhinevad kasvavatel puudel. Peamisteks olulisemateks muutusteks on raied ja suremus, mis osaliselt sõltuvad ka teineteisest. Kui puistutes on hooldusraied õigeaegselt tegemata, siis suureneb suremus ning õigeaegselt tehtud hooldusraiete tulemusena väheneb suremus. Puistute piirtihedus ja sellega ka puistute tagavara jagunemine samas vanuseklassis sõltub looduslikest protsessidest.

Kasvu-kao meetod eeldab kõikide komponentide täpsete muutuste teadmist. Tagavara aastast juurdekasvu on võimalik hinnata piisava täpsusega. Puude suremus jaguneb aga kaheks: 1) süstemaatiline suremus ehk konkurentsi tõttu toimuv suremus ja 2) juhuslik suremus ehk häiringute tõttu suremine. Viimast on keerulisem prognoosida ja ülepinnaliselt mõõta, kuna eeldab ressursimahukaid mõõtmisi. Iga-aastast raiemahtu on samuti võimalik piisavalt täpselt mõõta. Samas tuleb arvestada, et keskealistes metsades, kus raie ja suremus on teineteisega seotud, on nende eristamine tagavara muutuses keerulisem (raiutakse ka surnud puid). Raie sõltub metsaomaniku huvist ning omandite lõikes varieerub oluliselt, näiteks riigimetsas toimub metsade õigeaegne hooldamine kogu metsa ulatuses, eramets on aga jaotunud paljude omanike vahel ning igal omanikul on erinevad soovid. Hinnates suremust ja hooldusraiet sõltumatult, võivad nende hinnangute määramatused summeeruda ning saadud tulemus on suurema veaga. Seetõttu on riigitasemel aruandluses kasvu-kao meetodi puhul isegi täpsem suremust ja hooldusraied käsitleda ühe komponendina.