

KINNITATUD
KAUR-i direktori
25. oktoobri 2018. a
käskkirjaga nr 1-1/18/47
Lisa 3

Statistiline metsainventeerimine Arvutusmetoodiline juhend

Sisukord

1.	Andmebaas.....	3
2.	Pindalade arvutamise alused	4
3.	Traktid.....	5
3.1.	Traktivõrk	5
3.2.	Proovitükid	8
4.	Arvutusteks vajalikud mudelid	10
4.1.	Kännu- ja rinnasdiameetri ülemineku mudel.....	10
4.2.	Kõrguskõvera mudel.....	10
4.3.	Hektaritagavara mudel.....	11
4.3.1.	Elusate puude tagavara.....	11
4.3.2.	Puistu aastane tagavara juurdekasv.....	11
5.	Takseertunnuste arvutamine	12
5.1.	Arvutuste järjekord osatükil	12
5.2.	Kasvuheaduse hinnangu arvutamine	12
5.3.	Puude kõrguste arvutamine	12
5.4.	Puu mahu arvutamine	12
5.5.	Puude tagavara grupid	12
5.6.	Juurdekasvu arvutamine	13
6.	Aruandluse koostamise põhimõtted	14
6.1.	Proovitükid	14
6.2.	Pindalalised tulemused	14
6.3.	Tagavarade summeerimine.....	15
6.4.	Keskmised tulemused	15
6.5.	Veahinnangud	15
6.5.1.	Pindalalised hinnangud	15
6.5.2.	Mahulised hinnangud.....	16
7.	Lisa 1. Mudelite arvutamise R-i skriptid	17
7.1.	Kõrguskõvera parameetrite arvutamine männile.....	17
7.2.	Kännudiameetrist rinnasdiameetrile ülemineku mudel	17
8.	Lisa 2. Takseertunnuste arvutamine PostgreSQL keskkonnas	18
8.1.	Ühe proovitüki arvutamise protseduur	18
8.2.	Proovitüki üldandmete arvutused kluppimisandmeteta.....	18
8.3.	Kluppimisandmetega tehtavad arvutused	19
8.4.	Takseertunnustega seotud proovitükkide arvutused.....	19

1. Andmebaas

Statistilise metsainventuuri (SMI) andmebaasiks on käesoleval hetkel PostgreSQL (versioon 9.4), millele on lisatud PostGIS laiendus.

Olulisemad andmetabelid on järgmised:

- atraktyld – trakti üldandmed,
- atrakt – trakti mõõtmisaasta andmed,
- aproovitykk – proovitüki asukoha andmed,
- aproovitykkosa – proovitüki (osatüki) mõõtmise andmed,
- aklupp – puude kluppimise andmed,
- amudelpuu – mudelpuude mõõtmise andmed,
- akoosseis – puistu koosseis proovitükil.

2. Pindalade arvutamise alused

Eesti maismaa piirid on Maa-ameti poolt täpsustatud 2015. aastal ning selle alusel on Eesti pindala 45 339,023 km² ehk 4 533,903 kha.

Arvutustes käsitletakse kahte erinevat kaardikihti: kogu Eesti maismaa (sisalduvad ka kõik järved) ja maakondadeks jagatud alad. Eesti pindala on piisavalt suur, mistõttu on vajalik kaardikihtide alusel selle pindala arvutada sfäärilise pindalana ehk pindala, mis arvestab maa kumerusega.

Maakondade piire täpsustatakse jooksvalt ning Maa-ameti kodulehelt on võimalik alla laadida kuu esimese päeva seisuga uuendatud maakondade kaardikiht. Seetõttu on vajalik selle uuendamine iga mõõtmisperioodi alguses (01.05 seisuga). Igale maakonnale arvutatakse välja selle sfääriline pindala (tuhandetes hektarites – kha), mis on PostgreSQL keskkonnas tehtav järgmise käsuga:

```
update gmaakond set pindala = st_area(st_transform(wkb_geometry, 4326)::geography)/1E7
```

Seisuga 01.05.2017 on maakondade summaarne pindala 4 346,795 kha. See pindala on aluseks edasistes arvutustes.

Kogu Eesti maismaa ja maakondade summaarse pindalade vahe on maakondade vahel jaotamata veekogude summaarne pindala. Maakondade vahel ei ole ära jaotatud Võrts-, Peipsi, Lämmi ja Pihkva järvi ning osaliselt ei ole maakondade sees Narva jõge ja Kulje lahte. Eelnimetatud veekogude pindalad on üldises statistikas loetud muude veekogude alla.

3. Traktid

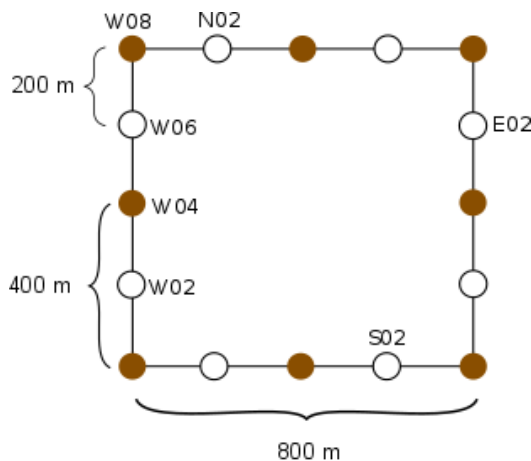
3.1. Traktivõrk

Traktivõrgu skeem on välja töötatud Eesti kaardisüsteemi teoreetilisel kaardilehel mõõtkavas 1 : 200 000. Lähte-kaardilehe loodenurga (Lambert-Est süsteemis) ristkoodinaatideks on valitud $X=6635$ km ja $Y=365$ km, mis tagab kõikide lääne- ja põhjasaarte kaasamise valimisse.

Traktivõrgu aluseks on 1 : 10 000 mõõtkavaliste põhikaardi lehtede raamidest moodustuv ruudustik. Sama aasta traktid paiknevad joonel, mille asimuut geograafilisest põhjasuunast on 117° . Selline suund on valitud vältimaks nn elliptilise korrelatsiooni ilminguid seoses Eesti rannajoone põhisuundadega.

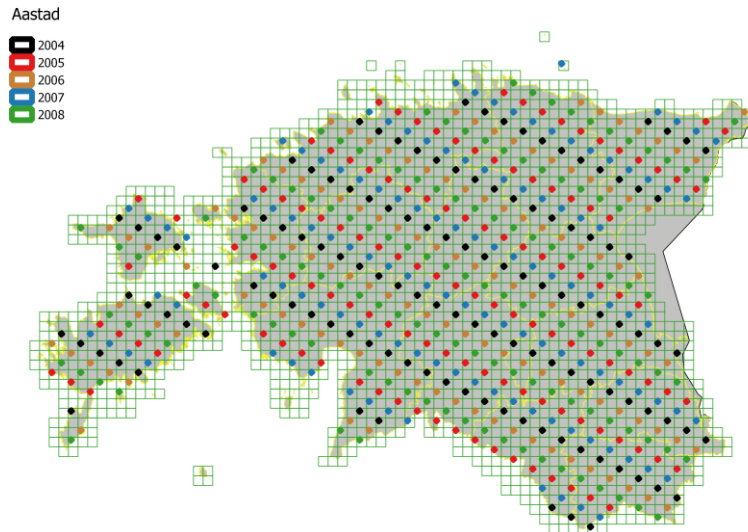
SMI traktid on jagatud alalisteks ja ajutisteks. Ajutisi mõõdetakse ainult üks kord. Alalisi trakte mõõdetakse uuesti iga viie aasta järel. Alaliste traktide mõõtmise alusel jaotatakse SMI mõõtmised viie aasta kaupa perioodideks. Esimene periood oli aastatel 1999–2003. Järgmised on nimetatud vastavalt: teine periood 2004–2008, kolmas periood 2009–2013 ning neljas periood 2014–2018.

Üks trakt on ruudukujuline (Joonis 1), mille iga külg on 800 m pikk (esimesel perioodil olid ajutised traktid ristküliku kujulised – 800 x 1200 m). Küljed on nimetatud ilmakaarte järgi – N on põhjakülje, E on idakülje, S on lõunakülje ja W on läänekülje tähis. Kaugused on nimetatud päripäeva liikumise alusel, esimene proovitükk on 200 m kaugusel nurgast ning selle number on kaugus sadades meetrites, nt E02 on idakülje proovitükk, mis on N ja E külje nurgast 200 m kaugusel. Trakt on ruudukujuline liikumise optimeerimiseks – trakti läbimisel on algus ja lõpp samas kohas.



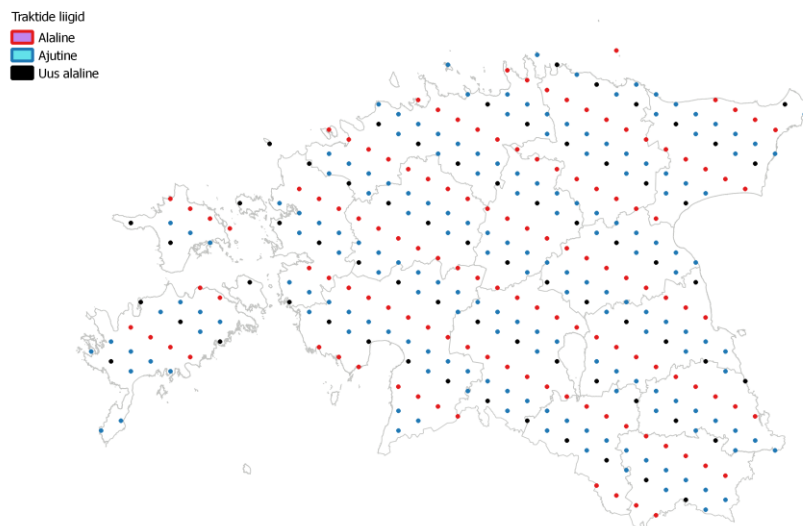
Joonis 1. Proovitükkide paiknemine traktis.

Alaliste traktide skeem (Joonis 2) on käesolevas juhendis esitatud SMI teise perioodi alusel. Alalise trakti nurk W08 on paigutatud kaardilehe ruudu loodenurgast 1 km ida suunas ja 1 km lõuna suunas.



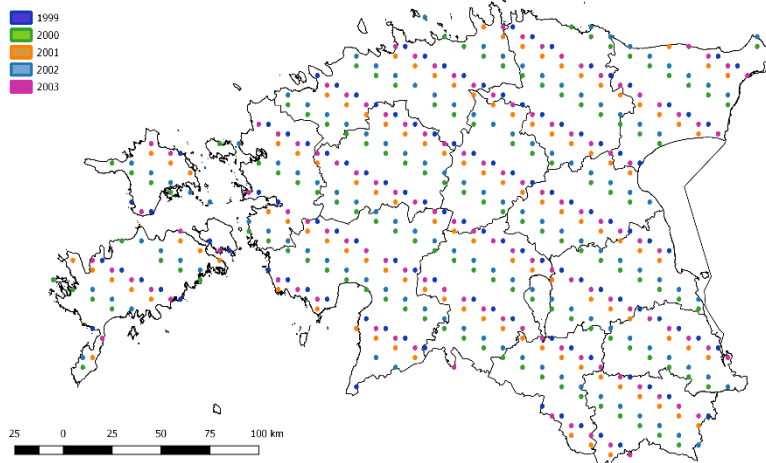
Joonis 2. Alaliste traktide paiknemise skeem.

Alates 2014. aastast suurendati alaliste traktide hulka, et saada rahvusvahelise aruandluse jaoks täpsemad hinnangud kõlvikuliste muutuste kohta. Joonisel 3 on esitatud 2017. aasta traktivõrk, kus on näha, kuidas uued alalised traktid on paigutatud vanade alaliste ja ajutiste traktide suhtes. Uute alaliste traktide rida on vanadest alalistest 22,2 km lõuna pool vaheldumisi ajutiste traktidega ning nendel on S08 nurk kaardilehe ruudu edela nurgast 1 km põhja ja 1 km ida suunas.



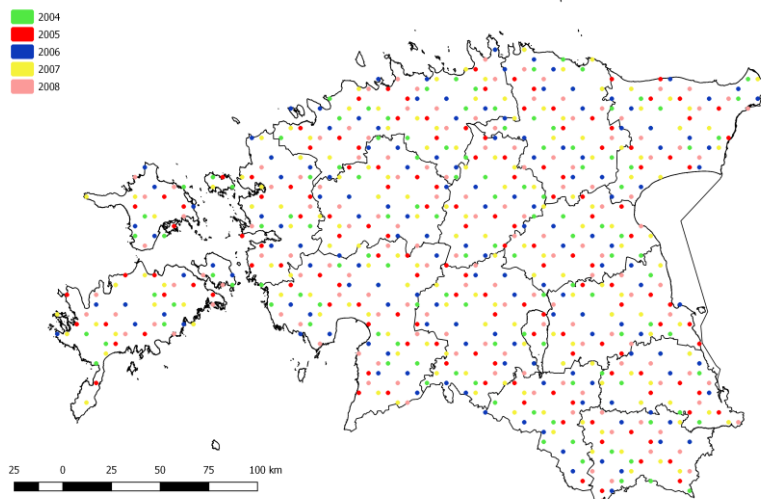
Joonis 3. Traktivõrk 2017. aastal.

Ajutistel traktidel on olnud erinevatel perioodidel erinevad paiknemise skeemid. SMI esimesel perioodil (Joonis 4) olid ajutised traktid paralleelselt alalistega.

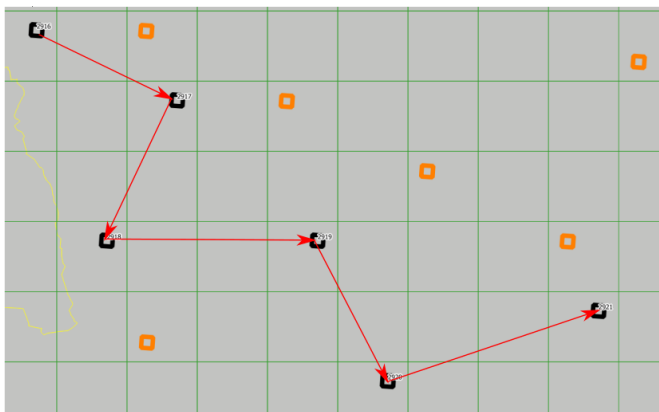


Joonis 4. Ajutiste traktide paiknemine aastatel 1999–2003.

Teisel ja kolmandal perioodil (Joonis 5) olid ajutised traktid hajutatult kahe alalise trakti rea vahele. Hajutatud skeemil ühe grupi moodustas viis trakti, mille kaugused eelmise grupi viimasest traktist (jrk on 0) on esitatud tabelis 1 ja skemaatiliselt joonisel 6.



Joonis 5. Ajutiste traktide paiknemine aastatel 2004–2008.



Joonis 6. Traktivõrgu hajutatud skeemi üks grupp.

Tabel 1. Ajutiste traktide hajutatud skeemi üks grupp.

Trakti jrk	X kaugus	Y kaugus
0	0 km	0 km
1	+10 km	-5 km
2	+5 km	-15 km
3	+20 km	-15 km
4	+25 km	-25 km
5	+40 km	-20 km

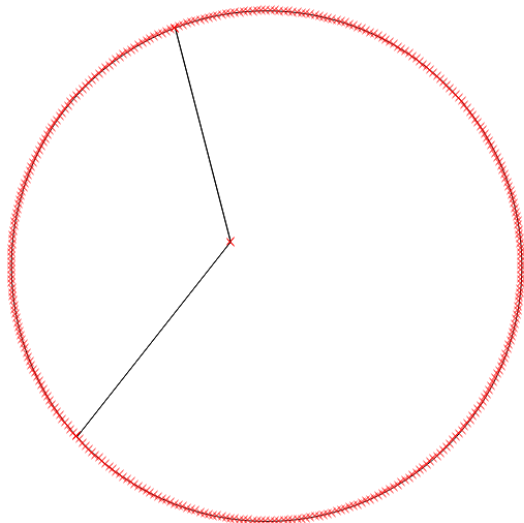
3.2. Proovitükid

Proovitükid on kahte tüüpi: kasvukoha ja tagavara proovitükid. Esimestel mõõdetakse/määratakse puistu ja kõlviku üldised tunnused ning teistel tehakse samad mõõtmised, kuid täiendavalt klupitakse metsas puud. Kasvukoha proovitükid on traktis nurgast 200 ja 600 m kaugusel (joonisel 1 seest tühjad ringid) ning tagavara proovitükid 400 ja 800 m kaugusel (joonisel 1 täidetud ringid).

Kõik proovitükid on ringikujulised ning nende raadiused on kas 7 või 10 meetrit. Üldiselt on raadius 7 meetrit, ainult alaliste traktide tagavara proovitükkidel on raadius 10 meetrit. Need on suuremad, kuna nendel tehakse mõõtmisi korduvalt ning siis on ka muutuste hinnangud täpsemad. Kui ühe proovitüki sisse jääb mitu erinevat kõlvikut või puistut, siis jagatakse see vastavalt vajadusele kuni neljaks osatükiks. Kaardipäringute tegemiseks on vajalik igast osatükist moodustada Lambert-Est koordinaatsüsteemis (EPSG kood (SRID) on 3301) kaardiobjekt.

Igale osatükile arvutatakse selle pindala. Proovitüki ja osatükkide kaardiobjektidele pindalad arvutatakse PostGIS funktsiooniga *st_area*. Igale jagatud osatükile moodustatakse kaardiobjekt vastavalt mõõdetud asimuutide ja kaugustele. Ringi sees olevate osatükkide piirid on sirgjoonelised ning väline piirjoon on kaar. Polügooni moodustamisel tehakse välisel piiril igale täiskraadile nurgapunkt (Joonis 7) ning selleks, et antud hulknurga pindala vastaks

ringipindalale on nurgapunkti kaugus keskkohast proovitüki raadius korda 1,00002539. Selline täpsus on vajalik, et osatükkide pindalade summa võrduks täpselt proovitüki pindalaga. Igale osatükile arvutatakse selle suhteline pindala (osatüki pindala jagatud proovitüki pindalaga) ning nende summa peab kokku olema 1,0000.



Joonis 7. Jagatud proovitüki kaardiobjektide nurgapunktid (punased kaldristid).

4. Arvutusteks vajalikud mudelid

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.

Täpsemate tulemuste saamiseks on õige igal aastal mudel- ja kordusmõõdetud puude hulga täienemisel mudelitele parameetrid üle arvutada. Tulemused ei muutu sellest oluliselt, kuna olemasolevate andmete hulk on juba piisavalt suur, aga hinnangute vead muutuvad järjest väiksemaks, kuna need on otseselt seotud valimi mahuga.

4.1. Kännu- ja rinnasdiameetri ülemineku mudel

Raiutud puudel on teada vaid selle kännu diameeter, mille rinnasdiameeter prognoositakse diameetrite ülemineku mudeliga. Rinnasdiameetri leidmiseks on vajalik eelnevalt luua ülemineku mudel, milleks kasutatakse mudelpuude andmeid. Kõikidel mudelpuudel on mõõdetud nii rinnasdiameeter kui ka kännudiameeter. Mudelpuude andmete analüüs näitas, et nende kahe diameetri vahel on olemas otsene seos, kuid statistiliselt oluliseks osutus täiendavalt vaid, kas puu asub Lääne-Eesti maakondades (Hiiu-, Saare- ja Läänemaa).

Kännu diameetrist rinnasdiameetrile ülemineku mudeli parameetrite arvutamise R-i skript on esitatud peatükis 7.2.

Rinnasdiameetri arvutamise mudel on järgmine:

$$d_{1,3} = a_1 + d_0 \cdot a_2 + OnSaar \cdot a_3, \quad (1)$$

kus $d_{1,3}$ on prognoositav rinnasdiameeter (cm), d_0 on kännu diameeter (cm), *OnSaar* on 1, kui proovitükk asub Hiiu-, Saare- või Läänemaal.

4.2. Kõrguskõvera mudel

Klupitud puudele tagavara arvutamiseks on vaja eelnevalt prognoosida selle kõrgus, milleks on kõrguskõvera mudeli olemasolu. Kõrguskõvera mudel arvutatakse mudelpuude mõõtmisandmete alusel.

Puuliigi põhisel kõrguskõveral on sisendiks vajalik puu diameeter ja kõrgusindeks ning tunnus, kas proovitükk asub Lääne-Eesti maakondades. 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.

Kõrguskõvera mudeli parameetrite arvutamise R-i skript on esitatud peatükis 7.1.

Kõrguskõvera mudel on järgmine:

$$h = 1,3 + (a_1 + a_2 \cdot H100 + a_3 \cdot OnSaar) \cdot \left(\frac{d}{d+b_1}\right)^{c_1+H100 \cdot c_2}, \quad (2)$$

kus h on puu kõrgus (m), $H100$ on puistu kõrgusindeks (m), $OnSaar$ on 1, kui proovitükk asub Saare-, Hiiu- või Läänemaal, 0 on puu diameeter (cm) ning a_1, a_2, a_3, b_1, c_1 ja c_2 on kõrguskõvera parameetrid.

4.3. Hektaritagavara mudel

Kõikidel summeerimistel on vaja arvestada ka nende proovitükkidega, millel ei ole puid klupitud. Üldine põhimõtte summaarse tagavara leidmisel on, et arvutatakse tagavara proovitükkide keskmine tagavara ning siis korrutatakse see kõikide proovitükkide summaarse pindalaga läbi. Sellisel juhul võivad tulemused erineda, kui grupeeritakse erinevate kriteeriumite alusel, kuna kasvukoha proovitükkide puuliigiline, vanuseline ja boniteediline jaotus ei ole võrreldes tagavara proovitükkide jaotusega identsed.

Puud on klupitud ainult tagavara proovitükkidel, seetõttu on vajalik kluppimata proovitükkidele prognoosida tagavara, mille mudel luuakse tagavara proovitükkide kluppimisandmete alusel.

Tagavara arvutamise metoodika analüüs näitas, erinevused gruppide vahel ei ole olulised ning ei erine oluliselt mudeliga prognoositud tulemusest, aga on piisavad, et vahe oleks märgatav. Seetõttu on vajalik igale proovitükile leida, milline on vastavalt selle vanuse ja boniteediga puistule kõige iseloomulikum „Eesti keskmine tagavara“, et igasugustel summeerimistel esindaks gruppi alati sama tagavaraga.

4.3.1. Elusate puude tagavara

Analüüsi tulemusena on selgunud, et keskmine hektari tagavara sõltub vanusest, boniteedist ja kas asub Lääne-Eestis ning on arvutatav valemiga (3).

$$M = (a_1 + a_2 \cdot \text{Boniteet} + a_3 \cdot \text{onsaar}) \cdot \left(\frac{\text{vanus}}{\text{vanus} + b_1} \right)^{c_1 + c_2 \cdot \text{Boniteet}} \quad (3)$$

4.3.2. Puistu aastane tagavara juurdekasv

Tagavara juurdekasvu on võimalik arvutada vaid nendele kordusmõõdetud proovitükkidele, millel on vähemalt kaks mõõtmist. Tagavara juurdekasvu mudel (4), millega prognoositakse proovitükkidele selle tagavara aastane juurdekasv.

$$Z_M = (a_1 + a_2 \cdot H100 + a_3 \cdot \text{OnSaar}) * \left(\frac{M}{A \cdot b_1 + M} \right)^{c_1}, \quad (4)$$

kus Z_M on puistu aastane tagavara juurdekasv hektari kohta, $H100$ on puistu kõrgusindeks, M on puistu kasvava metsa tagavara hektari kohta, A on puistu vanus ning a_1, a_2, a_3, b_1 ja c_1 on puuliigist sõltuvad mudeli parameetrid.

5. Takseertunnuste arvutamine

5.1. Arvutuste järjekord osatükil

Metsamaal oleval osatükil tehakse arvutused järjekorras:

- Kõrgusindeksi arvutus
- Klupitud puude arvutus
- Seisukorra leidmine
- Rinnasdiameetri arvutamine
- Kasvavatel puudel teisendamine sentimeetriteks
- Kändudel rinnasdiameetri tuletamine kännu diameetrist
- Kõrguskõvera mudeliga rinnasdiameetri alusel puu kõrguse arvutamine
- Rinnasdiameetri ja kõrguse järgi puu mahu arvutamine
- Alalise proovitüki kordusmõõtmisel puu juurdekasvu arvutamine
- Normaalpuistu rinnaspindala arvutamine
- Täiuse arvutamine inventeeritud ja normaalpuistu rinnaspindala alusel
- Hektaritagavarade (elus, surnud, raiutud jms) arvutamine
- Pindala osakaalu arvutamine
- Proovitükile aastase tagavara juurdekasvu arvutamine

5.2. Kasvuheaduse hinnangu arvutamine

Kasvuheaduse hinnanguteks on kõrgusindeks ja boniteet. Igale osatükile määratakse metsas hinnanguliselt boniteet. Puistule vanusega üle 15 aasta ning kõrgusega 6 meetri või üle, arvutada kõrgusindeksi väärtus metsa korraldamise juhendis oleva kõrgusindeksi mudeliga.

Kui puistu on 15 a või noorem või alla 6 meetri, siis arvutatakse kõrgusindeks metsa korraldamise juhendis oleva boniteedi arvutamise valemist.

5.3. Puude kõrguste arvutamine

Puude kõrgus arvutatakse varem mudelpuude alusel koostatud kõrguskõvera mudeliga (2). Raiutud puudele arvutatakse esmalt diameetrite ülemineku mudeliga (1) rinnasdiameeter ning seejärel kõrguskõvera mudeliga kõrgus.

5.4. Puu mahu arvutamine

Puude mahu arvutamiseks kasutatakse metsa korraldamise juhendis esitatud üksikpuu mahu arvutamise mudeleid, millest üks on alla 6 meetri ja teine kõrgemate puude mahu arvutamiseks.

5.5. Puude tagavara grupid

Üksikpuude mahud summeeritakse, mille tulemusi jagades proovitüki pindalaga saadakse tagavara hektari kohta. Kuna puud on erineva staatusega, siis määratakse igale puule millisesse tagavara gruppi maht summeeritakse. Grupid ja nende tähised andmebaasis on järgmised:

- Elusad ($d_{1,3} > 8$ cm) seisvad puud – ES
- Elusad väikesed ($d_{1,3} \leq 8$ cm) seisvad puud – EV
- Surnud seisvad puud – SS
- Surnud lamapuud – SL

Püstine kõdupuit – KP
Pikali kõdupuit – KL
Elusalt hooajal raiutud puud – ER
Surnult hooajal raiutud puud – SR
Varem raiutud puud – VR
Muud puud, mille mahtu ei arvestata – XX

Gruppide ES ja EV erinevus on mitme kordselt see mahtu arvestatakse. Üle 8 cm jämedused puud on kõik klupitud ning need on kõik arvestuses ühekordsena. Puud jämedusega 8 cm või peenemad on klupitud alalistel sektoris, mille pindala on 1/16 proovitüki pindalast ning ajutistel väiksemas ringis, mille pindala on ¼ proovitüki pindalast. Seetõttu on need puud arvestuses vastavat 16 või 4 kordselt.

Puud, mille mahtu ei arvestata, on kas varem raiutud või need puud, mille hilisemal mõõtmisel on selgunud, et ei ole tegelikult mõõdetava ala sees.

5.6. Juurdekasvu arvutamine

Alaliste proovitükkide kluppimisandmetes seotakse puu mõõtmise andmed eelmise mõõtmise andmetega. Selliselt on võimalik arvutada kahe mõõtmise vahena puu mahu juurdekasv.

6. Aruandluse koostamise põhimõtted

6.1. Proovitükid

Ühe aasta aruandluses kasutatakse viimase viie aasta mõõtmiste andmeid, st X aasta aruandluses kasutatakse X-4 kuni X aasta andmeid. Seetõttu on umbes 20% andmetest kuni neli aastat vanad. Metsade takseertunnused ei muutu selle lühikese perioodi jooksul nii palju, et oluliselt mõjutada saadavat tulemust.

Tunduvalt rohkem muutuvad selle ajaga omand, omavalitsuste piirid, kaitstavate objektide piirid jms. Seetõttu on vajalik kaardipäringutega täpsustada konkreetse aasta aruandluse jaoks järgmised tunnused:

maakond, Maa-ametist 01.05 seisuga maakondade kaardilt;
omand, katastrikaardilt II kvartali seisuga;
kaitsepõhjus, EELISE kaardikihtidelt.

Aruandluses kasutatakse vaid neid proovitükke, mis konkreetsel aastal jäävad maakondade kaardikihi alusel maakondade sisse. Iga proovitükk on tulemustes võrdse kaaluga. Kui proovitükk on jaotatud osatükkideks, siis iga osatükk on arvestuses oma suhtelise pindalaga ehk osatükkide suhteliste pindalade summa on 1.

6.2. Pindalalised tulemused

Proovitükid ei ole kõik täielikult maismaal, seetõttu kasutatakse arvutustes proovitükkide arvu asemel maismaale jäävate osatükkide suhteliste pindalade kogusummat 100% väärtusena, kõik muud jaotamised on sõltuvalt sellest väärtusest. Näiteks, aastatel 2012–2016 mõõdeti 25 053 proovitükki, mille osatükkide suhteliste pindalade summa oli 25 050,825.

Mistahes meid huvitava objekti (nt metsamaa) pindala leitakse antud objekti osatükkide suhteliste pindalade summa jagatud kõikide osatükkide suhteliste pindalade summaga ning korrutades maakondade summaarse pindalaga:

$$P_x = \frac{SP_x}{SP_k} \cdot P = SP_x \cdot \frac{P}{SP_k}, \quad (5)$$

kus P_x on meid huvitava objekti pindala, SP_x on meid huvitava objekti suhteliste pindalade summa, SP_k on kõikide osatükkide suhteliste pindalade summa ja P on maakondade summaarne pindala.

Ühe aasta arvutustes on P/SP_k konstantne suurus, seetõttu on see arvutuste lihtsustamiseks mõttekas välja arvutada. Näiteks 2016. aasta tulemuste arvutamisel oli see

$$Prtha = \frac{4346,795}{25050,825} = 0,173518746, \quad (6)$$

kus $Prtha$ on ühe (osa)proovitüki pindala hinnangu suurus, mis näitab, et üks proovitükk tähendab hinnangutes 0,1735 kha.

Näiteks 2016. aasta hinnangutes oli metsamaa osatükkide suhteliste pindalade summa 13327,37, seega metsamaa pindala on $13327,37 \cdot 0,173518746 = 2312,548$ kha.

6.3. Tagavarade summeerimine

Igale metsamaa proovitükile on arvatud mudeliga (3) selle tagavara sõltuvalt enamuspoolsusest, boniteedist ja vanusest. Meid huvitava objekti summaarne tagavara leitakse valimiga (6) leitud pindala hinnangu väärtus korrutatud osatüki suhtelise pindala ja osatüki hektaritagavaraga.

6.4. Keskmised tulemused

Keskmised tulemused arvutatakse kaalutud keskmisena (valem (7)), kus kaaluks on osatüki suhteline pindala.

$$Y = \frac{\sum X \cdot SP}{\sum SP} \quad (7)$$

6.5. Veahinnangud

SMI alusel ei ole võimalik arvutada välja absoluutarve. Iga esitatud tulemus on hinnang ning seetõttu on oluline arvutada hinnangu juurde ka selle viga. Igal esineval sündmusel on selle tõenäosuslik jaotus, vastavalt sündmuse liigile. Näiteks hinnang, millel on kaks võimalikku varianti: sündmus toimus või ei toimunud, vastab binoomjaotusele ning sellisel juhul antakse hinnangu viga ka vastavalt sellele jaotusele. 95% tõenäosus tähendab, et kui teha sõltumatult 100 katset, siis sellest 95 juhul jääks tulemus antud veapiiride sisse.

6.5.1. Pindalalised hinnangud

SMI hinnangute puhul vastavad pindalalised tunnused binoomjaotusele, kuna iga proovitüki puhul on küsimus, kas antud proovitükk on kindlas grupis (nt mets, põld vms) või mitte. Kuna proovitükk võib olla jaotatud, siis võib ühel proovitükil olla mitu kõlvikut. Selleks, et erinevate gruppide summad annaksid alati kokku 100%, arvutatakse vaatluste arvuks osatükkide suhteliste pindalade summa. Nt 2016. aastal kasutati hinnangutes 25 053 proovitüki andmeid, millest osatükkide suhteliste pindalade summa oli 25 050,83 ehk osatükid, mille suhteliste pindalade summa oli 2,17, jäid välja. Eesti maismaa piirile jäävad proovitükid jaotati ning osad jäid maismaast välja.

Standardsed binoomjaotuse usalduspiiride arvutamise funktsioonid erinevates tarkvarades eeldavad sisendina vaatluste arvuna täisarvulisi väärtusi. SMI puhul ei saa osatükkideks jaotamise tõttu kasutada täisarvulisi väärtusi. Seetõttu arvutatakse tulemused ise järgnevalt:

kindlale tunnusele vastavate osatükkide suhteliste pindalade summa (nvalim) ja kõikide osatükkide suhteliste pindalade summa (nkogu);
sündmuse esinemise tõenäosuse nihketa hinnang valemiga: $pp = (nvalim + 1.92) / (nkogu + 3.84)$;
standard viga valemiga: $se = \sqrt{pp \cdot (1 - pp) / nkogu}$;
sündmuse esinemise osakaal: $ke = nvalim / nkogu$;
summaarne pindala: väärtus = $nvalim \cdot 0,173518746$;
usalduspiirid (up):
 $up_{min} = (pp - se \cdot 1,96) / pp \cdot väärtus$ ja
 $up_{max} = (pp + se \cdot 1,96) / pp \cdot väärtus$
suhteline viga (%): $viga = (up_{max} - up_{min}) / väärtus \cdot 100$

Näiteks 2016. aasta hinnangutes leiti kogu metsade pindala suhteline viga järgmiselt:

osatükkide suhteliste pindalade summa (nvalim=) 13327,37 ning kõikide osatükkide (nkogu=) 25050,83

$pp = (13327,37 + 1,92) / (25050,83 + 3,84) = 0,532$

$se = \sqrt{0,532 * (1 - 0,532) / 25050,83} = 0,003152588$

$ke = 13327,37 / 25050,83 = 0,5320131$

$väärtus = 13327,37 * 0,173518746 = 2312,548$

$up_{min} = (0,532 - 0,003152588 * 1,96) / 0,532 * 2312,548 = 2285,689$

$up_{max} = (0,532 + 0,003152588 * 1,96) / 0,532 * 2312,548 = 2339,408$

suhteline viga = $(2339,408 - 2285,689) / 2312,548 / 2 * 100 = 1,16\%$

6.5.2. Mahulised hinnangud

Mahuliste hinnangute puhul arvutatakse kas summaarne või keskmine tulemus. Kui arvutatakse keskmine, siis leitakse kaalutud keskmine väärtus ning sellele normaaljaotuse alusel usalduspiirid.

Kui arvutatakse summaarsed tunnused, siis arvutatakse pindalalise väärtuse viga ning keskmise väärtuse viga ning nende vead summeeritakse valemiga:

$$SV = \sqrt{SV_p^2 + SV_k^2}, \quad (8)$$

kus SV on summaarse väärtuse suhteline viga, SV_p on pindalalise väärtuse suhteline viga ning SV_k on keskmise väärtuse suhteline viga.

7. Lisa 1. Mudelite arvutamise R-i skriptid

7.1. Kõrguskõvera parameetrite arvutamine männile

Näidis on toodud männi alusel, kuid samuti arvutatakse kõikidele puuliikidele.

Andmete sissetoomine andmebaasist

```
test.data <- dbGetQuery(con, "select o.arv_h100 as h100, onsaar, arv_bon, d13/10 as d13, korgus/10 as h, d0/10 as d0, vanus from
amudelpuud m, aproovitykkosa o where o.aproovitykk_id = m.aproovitykk_id and o.osa_nr = m.osa_nr and kahj_tyyp is null and
m.puuliik in ('MA','SD','LH')")
```

Ligilähedaste parameetrite leidmise funktsioon kõrguskõvera mudelile

```
kkpars<- function(b1, c1, c2, h, d, h100, onsaar)
{
  x <- d/(d+b1)
  y <- x^(c1+h100*c2)
  w <- (h-1.3)/y
  lm.t <- lm(w~h100+onsaar)
  cf <-<- coef(lm.t)
  1.3+(cf[1]+cf[2]*h100+cf[3]*onsaar)*(d/(d+b1))^(c1+h100*c2)
}
```

Kõrguskõvera parameetrite arvutamine kahe-astmelisena

```
cf <- NULL
nls.tul <- nls(korgus~kkpars(b1, c1, c2, h, d13, h100, onsaar), test.data, start=list(b1=4, c1=2, c2=0.1))

pars <- as.list(nls.tul$m$getPars())
pars$a1 = cf[[1]]
pars$a2 = cf[[2]]
pars$a3 = cf[[3]]

nls.tul.2 <- nls(korgus~1.3+(a1+a2*h100+a3*onsaar)*(d13/(d13+b1))^(c1+arv_h100*c2), test.data, start=pars)
```

7.2. Kännudiameetrist rinnasdiameetrile ülemineku mudel

Kännudiameetrist rinnasdiameetrile arvutamiseks kasutatakse sama andmestiku, mis kõrguskõveragi korras. Mudeli parameetrid arvutatakse lineaarse regressiooni funktsiooniga.

```
lm.x <- lm(diameeter~d0+onsaar, test.data)
```

8. Lisa 2. Takseertunnuste arvutamine PostgreSQL keskkonnas

8.1. Ühe proovitüki arvutamise protseduur

```
declare osarida RECORD;
declare sqlrida RECORD;

begin
for osarida in
select * from aproovitykkosa where aproovitykk_id = prtID
loop
RAISE NOTICE 'Arvutatakse osatykk: %', osarida.id;

-- Enne puude arvutusi tehtavad arvutused
for sqlrida in
select * from tarvutused where tabel = 'aproovitykkosaA' order by jknr
loop
execute sqlrida.paring || ' and ' || sqlrida.filter || ' = ' || osarida.id;

end loop;

-- Puudega tehtavad arvutused
for sqlrida in
select * from tarvutused where tabel = 'aklupp' order by jknr
loop
execute sqlrida.paring || ' and ' || sqlrida.filter || ' = ' || prtID;

end loop;

-- Parast puude arvutusi tehtavad arvutused
for sqlrida in
select * from tarvutused where tabel = 'aproovitykkosaB' order by jknr
loop
execute sqlrida.paring || ' and ' || sqlrida.filter || ' = ' || osarida.id;

end loop;

end loop;

return 1;
end;
```

8.2. Proovitüki üldandmete arvutused kluppimisandmeteta

```
select arvuta_osakaart(id) from aproovitykkosa

update aproovitykk y set maakond = smikood from gmaakond, aproovitykkosa x where st_within(keskkoht, wkb_geometry) and
x.aproovitykk_id = y.id

update aproovitykkosa x set qmaakond = mkood, onsaar=saared from gmaakond m where st_within(st_centroid(x.kaart_ala),
m.wkb_geometry)

update aproovitykkosa x set qkatnum = tunnus from gkataster where st_within(st_centroid(kaart_ala), wkb_geometry)

update aproovitykkosa set arv_h100 = 33.5 - to_number(inv_bon, '9')*4 where inv_bon in ('0','1','2','3','4','5','6') and not
(COALESCE(vanus,0) > 15 and COALESCE(inv_korgus, 0) >= 60)

update aproovitykkosa set arv_h100 = mdl_h100(peapuuliik, vanus, inv_korgus/10, 100) where vanus > 15 and inv_korgus >= 60

update aproovitykkosa set arv_bon = (33.5-arv_h100)/4 where arv_h100 > 0

update aproovitykkosa set arv_bon = to_number(inv_bon, '9') where inv_bon in ('0','1','2','3','4','5','6') and arv_bon is null

update aproovitykkosa set arv_epl = peapuuliik, kasvukohatyyp=kasvukoht

update aproovitykkosa set arv_epl = 'XX' where not peapuuliik in ('MA','KU','KS','HB','LV','LM') and not arv_epl is null
```

update aproovitykkosa set kasvukohatyyp = 'PU' where kasvukohatyyp in ('MP','TP')

8.3. Kluppimisandmetega tehtavad arvutused

update aklupp k set seisukord = null from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and seisukord = "

update aklupp k set inf_vp = null from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and inf_vp = "

update aklupp k set arv_grp = ", arv_d13 = null, arv_korgus = null, arv_tagavara=null from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id

update aklupp k set arv_grp = 'ES' from tpuuliik t, aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and k.d13 > 0 and seisukord is null and inf_vp is null and k.puuliik = t.kood and t.puu >= 1

update aklupp k set arv_grp = 'SS' from tpuuliik t, aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and k.d13 > 0 and seisukord = 'K' and inf_vp is null and k.puuliik = t.kood and t.puu >= 1

update aklupp k set arv_grp = 'ER' from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and inf_rh = 'H' and seisukord is null

update aklupp k set arv_grp = 'SR' from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and inf_rh = 'H' and seisukord in ('K','M','S')

update aklupp k set arv_grp = 'SL' from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and inf_vp is null and seisukord = 'M' and (inf_rh!='H' or inf_rh is null)

update aklupp k set arv_d13 = d13/10 from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and arv_grp in ('ES', 'SS', 'SL')

update aklupp k set arv_d13 = d_aste from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and arv_grp in ('EV')

update aklupp k set arv_d13 = a1+a2*(d0/10)+a3*o.onsaar from aproovitykkosa o, pdiameetrid p where k.aproovitykk_id = o.aproovitykk_id and k.osa_nr = o.osa_nr and arv_grp in ('ER','SR') and d0 != -1 and p.kaasliigid like '%' || k.puuliik || '%'

update aklupp k set arv_d13 = d13vana/10 from aproovitykkosa o where o.aproovitykk_id = k.aproovitykk_id and o.osa_nr=k.osa_nr and arv_grp in ('ER','SR') and d0 = -1

update aklupp k set arv_korgus = 1.3+(a1 + a2 * arv_h100+a3*o.onsaar) * (arv_d13/(arv_d13+b1))^(c1 + c2 * arv_h100) from aproovitykkosa o, pkorguskover p where k.aproovitykk_id = o.aproovitykk_id and k.osa_nr = o.osa_nr and not arv_d13 is null and p.kaasliigid like '%' || k.puuliik || '%'

update aklupp k set arv_tagavara = mdl_puumahy6(puuliik, arv_d13, arv_korgus) from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and arv_korgus >= 6

update aklupp k set arv_tagavara = mdl_puumahy6(puuliik, arv_d13, arv_korgus,1) from aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and arv_korgus < 6

update aklupp k set arv_juurdekasv = k.arv_tagavara - x.arv_tagavara from aklupp x, aproovitykk y where y.id=k.aproovitykk_id and x.id = k.em_id and k.arv_grp = 'ES' and k.em_id is not null

update aklupp y set suri = 1 from aklupp x, aproovitykk z where z.id=y.aproovitykk_id and x.id = y.em_id and x.arv_grp = 'ES' and y.arv_grp in ('SS','SL')

8.4. Takseertunnustega seotud proovitükide arvutused

update aproovitykkosa set arv_grel = (if(inv_g2>0, inv_g2, inv_g1)+inv_g1)/2 where inv_g1 > 0

update aproovitykkosa set arv_gnorm = mdl_gnorm(peapuuliik, inv_korgus/10) where inv_korgus >= 60

update aproovitykkosa set arv_taius = arv_grel/arv_gnorm*100 where arv_gnorm > 0

update aproovitykkosa x set teor_tagavara = null

update aproovitykkosa x set teor_tagavara = (a1 + a2 * arv_bon+a3*onsaar) * (vanus/(vanus+b1))^(c1 + c2 * arv_bon) from ptagavara p where p.puuliik = x.arv_epl and p.tyyp = 'E'

update aproovitykkosa set arv_maht_sl = sum_tagavara(id, 'SL'), arv_maht_ss = sum_tagavara(id, 'SS'), arv_maht_sr = sum_tagavara(id, 'SR'), arv_maht_es = sum_tagavara(id, 'ES')+sum_tagavara(id, 'EV'), arv_maht_er = sum_tagavara(id, 'ER'), arv_juurdekasv=sum_juurdekasv(id)

update aproovitykkosa set arv_maht_er = 0 where arv_maht_er is null and arv_rl is not null

update aproovitykkosa set arv_maht_sr = 0 where arv_maht_sr is null and arv_rl is not null

update aproovitykkosa set arv_rl = raie_liik where raie_aeg = '1'

update aproovitykkosa x set maakatgrp = maagrupp, maakatsgrp = subgrupp from tmaakategooria t where t.maakat = x.maakategooria

update akoosseis x set arv_tagavara = sum_tagavara(x.aproovitykkosa_id, y.osa_nr, 'ES', x.puuliik) from aproovitykkosa y where y.id=x.aproovitykkosa_id

update aproovitykkosa y set majandkategooria = rangekaitse from tul_tbl03 x where x.smi_kood = y.qkaitsepohjus

update aproovitykkosa y set teor_juurdekasv = (a1+a2*arv_h100+a3*onsaar)*(teor_tagavara/(vanus*b1+teor_tagavara))^(c1) from pjuurdekasv j where arv_epl = j.puuliik and vanus > 0 and teor_tagavara > 0