

# SEGAPUISTUTE UUENDUSRAIE VANUSE DIFERENTSEERIMISE VAJADUSE JA VÕIMALUSTE ANALÜÜS

Eesti Vabariigi (Keskkonnaministeeriumi vahendusel) kui tellija ja  
Artur Nilsoni isikukood 33109192729 (täitja)  
vahelise töövõtulepingu 01.06.2010. Nr 4-1.2/138  
aruanne

Lepingu täitja: Artur Nilson

Tartu, 2010

**Sisukord**

Eessõna	3
1. Metsa (raie)küpsusest ja raievanusest	5
2. Metoodika ja materjal	11
3. Puistute kahjustused ja hind	24
4. Metsamaa ja puistu kui kompleksi hinnaküpsus ehk normküpsus segapuistutes	30
5. Hinnaküpsuse arvutamine vahetult metsaregistri andmetest	44
6. Hinnaküpsuse arvutused riigimetsa 1983-1998a takseerikirjelduste andmeist	57
7. Puistute hinna kasvu ja hinnaküpsuse simuleerimine kasvukäigu tabelite andmetest	61
8. Segapuistute uuendusraie vanuse diferentseerimise vajaduse ja võimaluste analüüs	69

## Kokkuvõte

## Viited

## Lisad

1. Olulisim numbriline lühikokkuvõte töövõtulepingu 01.06.2010. a nr 4-1.2/138 täitmise tulemustest
2. Allar Padari puistute hinna ja hinnaküpsuse simulatsioonidest

## Eessõna

Käesolev aruanne on koostatud Artur Nilsoni poolt Keskkonnaministeeriumi tellimisel sõlmitud töövõtulepingu 01.06.2010. a Nr 4-1.2/138 täitmiseks. Lepingu raames tuli teha uuring "Segapuistute uuendusraie vanuse diferentseerimise vajaduse ja võimaluste analüüs."

Uuringu raames tuli lahendada järgmised alateemad:

1. Koostatada programm enamus- ja seguliikide hinna kasvu imiteerimiseks erinevais kasvukohatüüpides.
2. Arvutatada eraldistele hinna keskmise muudu ja jooksva juurdekasvu suhe
  - i) reaalse segu korral ja
  - ii) eeldades enamuspuuliigi puhtpuistut hinnaküpsuse saavutamise momendi hindamiseks metsaregistri andmetel.
3. Võrrelda saadud tulemusi omavahel ja uuendusraie kehtiva minimaalse vanusega.
4. Koostada lihtsustatud algoritmid segapuistute hinnaküpsuse hindamiseks.

Kõik kavandatud ülesanded täideti. Hinna kasvu ja selleks vajalike puistu takseertunnuste kasvu imiteerimise programme koostati mitmeid, millistega arvutati eraldistele hinna keskmise ja jooksva muudu ja hooldusraiate lihtsa arvestamise korral ka hinna keskmise ja jooksva juurdekasvu suhe. Viimaste alusel leiti metsregistri koondandmetele metsatüübi (kasvukohatüüp koos enamuspuuliigiga) ja seguliigi lõikes kännuhinna küpsuse vanused. Saadud tulemused üldistati segapuistute hinnaküpsuse arvutamise kompaksemateks võrranditeks regressioonivõrrandite kujul.

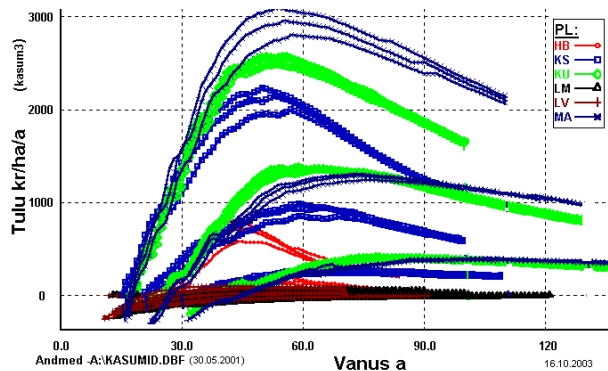
Viimase ajal on hakatud üha enam tähelepanu pöörama keerukate nähtuste teadvustamise visuaalsete kujundite toel. Arvestades aruande probleemi erakordset paljutahulisust ja keerukust püüti aruande koostamise käigus saada uuritavatest nähtustest visuaalset pilti jooniste najal ja mürdosa tehtud joonistest lülitati ka aruandesse.

### **Küpsusvanuse foonist ja tagasivaade lähiminevikku.**

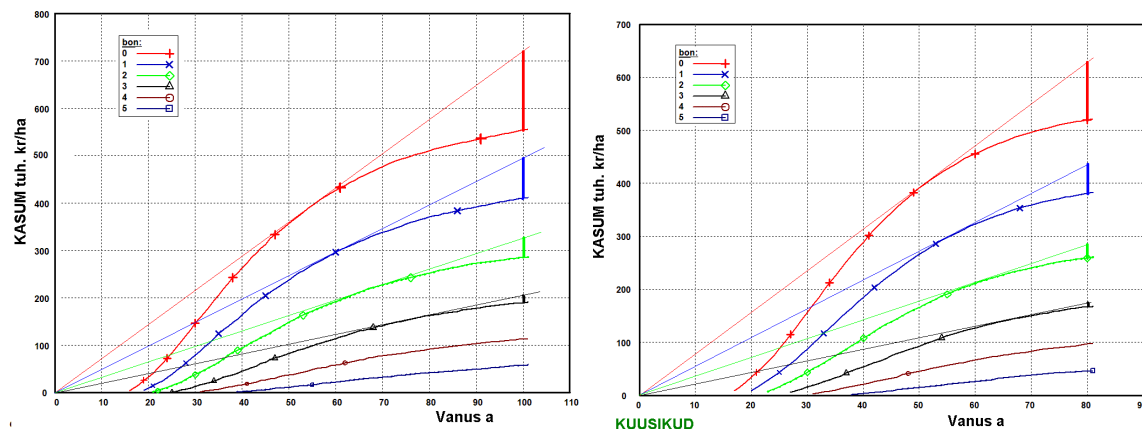
Puistute küpsusvanuse arvutamise katseid olen teinud alates 1975 aastast, mil olin astrofüüsikast metsandusse tagasi tulnud ja uuesti sisse elanud metsanduse aktuaalsetesse probleemidesse. See teema oli nõukogude ajal tegelikult „Moskva rida” ja hell, kuna oli vaja vältida Eesti metsade lagastamist raievanuste alandamisega ebaefektiivse liidulise alluvusega metsatööstuse huvides. Pealegi olid tollased kasvava metsa hinnad (taksihinnad) majandusliku sisuta.

Tõsisemalt sai hindade ja küpsusvanuse teemaga tegelema hakata Eesti taasiseseisvumisest alates. Turumajanduse mehhanismide nõrkuse ja kaose vältimise vajaduse tõttu tuli kohe kujundada ajutised normatiivsed kasvava hinnad, milliste alusel sai teha esimesi katseid ka küpsusvanuse hindamiseks. RMK infosüsteemi koordinaatorina tekkis vajadus luua süsteemile raiete kavandamise moodul, milleks oli vaja küpsusvanuse arvutamise algoritmi. Tõhusaks abiks selle loomisel oli Allar Padari, kes realiseeris koordinaatori ideed ladusasti arvutiprogrammideks.

Arvutis säilinud näiteid tollastest esimestest katsetest tollases vormingus:



Joonis E1. Aastane puhastulu kr/ha/a arvestades kuludena vaid raiekulusid erinevate puuliikide erineva boniteedi (H100=33,5; 25,5 ja 17,5m) ja mulla erineva niiskuse (OHOR = 2, 10 ja 20cm) tingimustes. Esitatud kõverate maksimumi koht vanuse teljel ongi kännuhinna küpsusvanus. Arvutused tehti mai kuul aastal 2001 Allar Padari poolt Artur Nilsoni juhendamisel.



Joonis E2. Kännuhinna keskmine muut männikutes (vasemal) ja kuusikutes (paremal). Hinnaküpsuse vanus on sirgete ka kõverate puutepunktis. Sirgete ja kõverate vahe näitab vastava raieringi pikkuse (jämedad vertikaaljooned tollase minimaalse lageraie vanuse) kohta maatükilt (1ha) saamatajäänud kännuhinda. Joonis vormistati aprillis 2005.

Raieküpsuse (hinna- ja kasumiküpsuse) teemaga sai tegeleda katkendlikult kuni aastani 2005, mil sai selgeks, et Eesti tollasesesse metsapoliitikasse ei mahu eriala tehnoloogilised arvutused ja kaalutlused. Ülaltoodud tüüpi jooniste esitamine ametlikel ja teaduslikel üritustel ei muutnud otsustajate seisukohti. Seadusega poliitilise otsusena kehtestatud minimaalsed lageraie vanused muutsid edasised küpsusvanuse uuringud praktika tarvis mõttetuks.

Aastal 2005 jõudsimme uuringutes tasemeni, mis lubas Allar Padaril suurt osa tehtust kasutada Vabariigi Valitsuse määruses 09.10.2008 nr 150 kasvava metsa hinna arvutamiseks riigi tehingute rahaliseks hindamiseks. Ka käesoleva aruande koostamise üldine skeem on sama, nagu see oli aastal 2005. Lisandunud on puistute koosseisu arvestamine ja meetodika on detailides täpsustatud. Koos paljude uute detailidega sai selgeks, et metsa küpsusvanuste hindamine on teemaatika, millega tuleb tegeleda pidevalt, et kiiresti muutuvast kaasaegses maailmas ei saa leida pikaks ajaks tulevikus sobivaid küpsusvanuseid ja et küpsusvanuse hinnangute vead kuuluvad paratamatult metsa tunnuste vigade hulgas suurimate sekka.

Kõige olulisem on teadvustada, et metsanduslikud otsustamisprotsessid ei saa tugineda traditsioonilistele jäikadele reeglitele ja et kahe sajandi vanune normaalmeta teooria on tänaseks muutunud anakronismiks. See põhimõtteliselt ilusa sisuga teooria on dünaamilises ja mitmekesisuses maailmas reaalsete rakenduste tarvis tegelikult väärteooria – ilus vale. Seda teooriat asendavad teaduses ja suurfirmades matemaatilise programmeerimise meetodid ja

simulatsioonid, milliste sisu on laiale üldsusele hoomamatu. Normaalmetsa teooria elemendid on aga sedavõrd lihtsad ja primitiivsed, et on arusaadavad kõigile metsanduse jätkusuutlikkuse eest võitlejatele. Neid agaraid lihtsameelseid on tuhandeid kordi enam kui metsanduse asjatundjaid ja hüpertrofeerunud demokraatia tingimustes on juhtunud ja võib edaspidigi juhtuda, et kehtima jääb ilus ja lihtne vale aga tülikalt keerukas tõde võib leida koha vaid asjatundjate avalikkusele ebameeldivates trükistes ja esinemistes.

Normaalmetsa teooria põhieesmärk – jätkusuutlikkus on õige ja jääb kehtima seniks kuni inimkond säilitab arukuse. Teadvustanud metsa ja majandusliku keskkonna seoste mitmekesisust ja dünaamilisust jõutakse paratamatult järelduseni, et metsanduse kavandamine peab olema samuti dünaamiline, peab olema võimeline kohanema muutuva mitmekesisusega.

Aastail 1975 kuni 1980 (Нильсон, 1975, 1979, 1980) arendasin välja suhteliselt lihtsa põhimõtte, mis võimaldab säilitada normaalmetsa teooria püüdluse jätkusuutlikkuse eesmärgile, kui väldib normaalmetsa teooriale omase vajaduse hävitada mitmekesisust ja luua ühetaolisust. Seda uut teooriat võib nimetada pidevusele ja mitmekesisusele tuginevaks normaalmetsa teooriaks. Praeguseks kolmandiksajandi vanuse teooria uudsus ja võimsus seisneb peamiselt selles lihtsas põhimõttes, et suundumus nn majandustele ühtlase vanuselise jaotusega vahemikus null kuni raieküpsus on asendatud püüdlusega puistute raievanusega normeeritud vanuse (jagatise) ühtlasele jaotusele vahemikus 0...1. Kuigi klassikalise normaalmetsa teooria eesmärgist reaalsem, on seegi eesmärk ebareaalne ja kasutatav vaid suundumusena, mis diferentseeritud raievanuste korral ja ainult diferentseeritud raievanuste korral lubab säilitada kuitahes suurt mitmekesisust. Seda suundumust realiseeritakse arvutusvalemite kaudu, millistest mõned on kehtestatud arvestuslangi arvutamise valemitega kehtivas metsakorralduse juhendis. Senisest detailsemat küpsus- ja ühtlase raievanuste diferentseerimist saabki rakendada vaid taolist laadi lähenemise raames.

Käesoleva aruande tulemustel on praktilist väärtust vaid siis, kui selle lugejad ja kasutajad suudavad vabaneda klassikalise normaalmetsa teooria lummusest ja metsade mitmekesisust tunnustada mitte ainult sõnades vaid ka metsa raie kavandamisel. Asjaolu, et küpsusvanuse diferentseerimise teema telliti, annab lootust.

## **1. METSA (RAIE)KÜPSUSEST JA RAIEVANUSEST**

Metsa küpsusevanuseks nimetatakse puistu sellist vanust, millises raiumise korral saadakse puistu majandamise aja kohta parimad majanduslikud tulemused. Puistu või puu raiumisel enne või pärast küpsusvanust kaotatakse midagi puistu toodangus, kusjuures kaotus sõltub ainult raiumise ajastamise veast -- seega kavandamise ja otsustamise veast. **Ebaõigest raievanusest tulenev kaotus on metsamajandusliku otsustamisprotsessi praak, mille tagajärjed on pöördumatud nagu muudegi puistute majandamisel tehtud vigade tagajärjed.** Teatud tinglikkusega võib öeldud rakendada nii puistu, puistuelemendi kui iga üksiku puu suhtes ja seda nii lõpp- kui vaheraiete korral. Iga puu või puistu raiumiseks on olemas parim ajahetk ja see ongi puistu või puu küpsusvanus.

Raievanuseks nimetatakse metsanduses tavaliselt küpsusvanuse alusel määratud lõppraie vanust. Raievanus kinnitati varemadel aegadel sarnaste puistute kogumikele (nn. majandustele või majandussektioonidele) metsanduse juhtimise tiptasandil suuremate territooriumide (nt.

Eesti või Skandinaavia maades sageli maa 3 osa: põhja-, kesk- ja lõunaosa tarvis). Primitiivsete andmetöötluse võimaluste korral ei peetud otstarbekaks raievanuseid kuigi peenelt diferentseerida, ning piirduiti sageli vaid enamuspoolsi alusel määratud majandusega. Vaid väga laia ökoloogilise amplituudi ja vastavalt ka suure tootlikkuse varieeruvusega liikidel nagu mänd või sama perekonna (nt. kask) lähedastel liikidel (aru- ja sookask), milliseid praktikas ei eristatud, eraldati tootlikkuse järgi kaks erinevate raievanustega majandust. Sellise, kaasajal primitiivse lähenemise tingimustes loodigi metsanduse pideva toogi (jätkusuutlikkuse) tagamise arvutusliku vahendina **normaalmetsa teooria** ja sellele tuginevad sobiva raimahu arvutamise võtted.

Metsa küpsusvanuse hindamine on metsanduse praktika ja teaduse vast kõige olulisem ja kriitilisem küsimus. Sellealastest eestikeelsetest üldistavatest publikatsioonidest tuleks emajoones märkida Andres Mathieseni raamatut Metsakorraldus (1997) ja Paaavo Kaimre raamatut (2000) ning väitekirja (2002). Metsa klassikaliste küpsusvanuste põhjalik loend, kirjeldus ja mõjutegurid on antud neis kõigis. Tükati on seda teemat käsitletud ka k. o. aruande autori eesti- ja venekeelsetes kirjutistes, millistest ajaliselt viimased on püütud vormistada populaarselt ja arusaadavalt ka laiemale lugejaskonnale (Nilson, 1978-2009, Нильсон, 1975-1980). Eriti oluliseks küpsusvanuste teema jaoks tuleb lugeda venekeelset kirjutist (1980), millise põhisisu on hiljem ka eesti keeles avaldatud (1997).

Nende kirjutiste peamine sisu on

1. Klassikalisele, anakronismiks muutunud, normaalmetsa teooriale kaasaegse sisu ja vormi andmine, seega „uue elu” andmine.
2. Moderniseeritud teooriale vastavate raiemahu (arvestuslangi) arvutamise algoritmide koostamine, millistele sobivate kaalufunktsioonide valikuga saab tagada soovitud kompromissi raiemahu stabiilsuse ja adaptiivsuse vahel säilitades kuitahes paindliku võimaluse puistute raiemääramise pingerea koostamiseks.
3. Eelmistest punktidest tulenevalt puistutele individuaalsete küpsus- ja raievanuste rakendamise võimaldamine ja selle vajaduse põhjendamine.

Tegelikult **loodi pidev normaalmetsa teooria** vastandina senisele rühmitamisele tuginevale. Kuigi 1/3 sajandit vanad, on need tulemused klassifitseerimismeetodite kultusega harjunud metsanduslikule üldsusele sedavõrd „uudsed”, et isegi enamus metsanduse spetsialistidest ei adu uuenduste sisu, rääkimata diletantidest, kes üht või teist moodi sekkuvad metsa küpsuse ja raiemahtude hindamise protsessidesse.

Majandusteaduse traditsioone järgides kiputakse diskonteerima – ajaldama ka metsa tulevast hinda. Pean seda metsanduse majandusliku jätkusuutlikkuse põhimõttega vastuolus olevaks. Ajaldatud hinna rakendamine vähendab küll esialgu raievanust ja lühendab raieringi avades sellega täiendava koguse raieõlbulikke puistuid. Kasutanud ära raievanuse alandamisega lisandunud ressursi, jääb tulevikus alatiseks kehtima vähendatud ressursi voog.

Riigi ja ühiskonna jätkusuutliku majanduse kriteeriumidest lähtudes ei tohiks metsa hinda ajaldada, kuid väikeomaniku majanduslikes huvides võib ajaldamine olla igati kohane. See pole metsanduses ainus aspekt, kus riigi ja metsaomaniku huvid võivad lahkned. Briti majandusteadlane Colin Price on loodusressursside ajaldamise põhimõtte absurdsust kritiseerinud paljudes töödes (1996a, 1996b jt). Price rõhutab, et tegelik jätkusuutlikkus saavutatakse siis, kui keskkonna väärtused jäetakse diskonteerimata. Ta on küll üks vähestest sellise lähenemise toetajatest, kuid kaugelki mitte ainus.

Küpsusvanused on aluseks metsa raiete kavandamisele ja seega kogu metsanduslike toimingute tsüklile ning toodangu kvaliteedile ja kvantiteedile. Peamised huvipakkuvad majanduslikud küpsused on mahu-, hinna- ja kasumiküpsus. Hinnaküpsus on arvutuslikult enam kui poolel teel mahuküpsusest kasumiküpsuseni. Kasumiküpsus on tavaliselt raievanuse määramise peamine alus.

Metsamaa ja sellel kasvava puistu kompleksi hinnaküpsuseks ehk normküpsuseks loeme puistu vanust, millal maatükil kasvava puistu hinna jooksev muut selle kahanemise faasis langeb allapoole maatükile normiks võetud suurust.

Oleme puistute küpsusest korduvalt kirjutanud (Nilson, 1975, 1978, 1979, 1980, ..., 1997). Neis töodes on esitatud metsa küpsuse hindamise ja raiete kavandamise loogilised alused ja mitmed neist kirjutistest (1978, 1997, 2008, 2009) on hästi kättesaadavad kõigile Eesti lugejatele. Tsitaat ammusest kirjutisest (1978):

„Viimase näitena vaatleme **puistute määramist peakasutuse raiesse**. Lähtume seejuures järgmistest eeldustest (Hильсон, 1975):

- 1) Igale kasvukohatingimuste kompleksile vastab antud metsamajanduse intensiivsuse tingimustes mingi keskmine tootlikkus ( $E$ ) optimaalses raievanuses.
- 2) Iga konkreetse puistu kohta on võimalik prognoosida tema maksimaalne oodatav tootlikkus  $\max_n(Z_n/n)$  üle tulevase prognoosilõigu pikkuse  $n$ .
- 3) Iga raiitud puistu asendatakse puistuga, millise keskmine tootlikkus raiumise momendiks on keskmiselt võrdne kasvukohatingimustest sõltuva suurusega  $E$ .

Toodud eeldustest saame teha järelduse, mille kohaselt **kasvutingimuste realiseerimist toodanguna maksimeerib puistute määramine raiesse avaldise  $\max_n(Z_n/n)/E$  kasvamise järjekorras**.

Raiekava koostamise selline printsiip on sedavõrd universaalne, et hõlmab peale peakasutusraiate automaatselt ka puistute rekonstrueerimise küsimused. Rakendatuna üksikuile puistuelementidele või nende osadele saab samalaadi avaldist kasutada ka hooldusraiate projekteerimiseks. Samuti sobib avaldis raiekava efektiivsuse hindamiseks.”

Nimetame tähega  $E$  tähistatud suurust edaspidi toogi normiks või normtoogiks ja selle alusel hinnatud küpsust normküpsuseks. **Täpsustame veel järeldust sellega, et loeme puistu normküpsuseks, kui sellel ei leidu arvestuse momendist algavat perioodi, mille kestel perioodi keskmine took küüniks normini**. Joonisel 2 kestab esimene normküpsuse periood puistu tekkest kuni ligikaudu vanuseni 17a. Selgitame seda detailsemalt edasises.

Kui rakendada eeltoodud kriteeriumi puistutele ka harvendusraie aspektist, siis võime kõnelda puistute harvendusküpsusest (Kojola jt. 2005) ja harvendusvalmivaist, harvendusküpsetest ja harvendusüleseisnud puistutest. Kuid võib minna veelgi detailsemaks ja rääkida neist tasemetest ka puistuelemendi või koguni üksikpuude tasemel. Üksikud madalakvaliteedilised puud saavad harvendusküpseteks sageli mitmeid aastaid enne seda kui harvendusküpseks saab terve puistu.

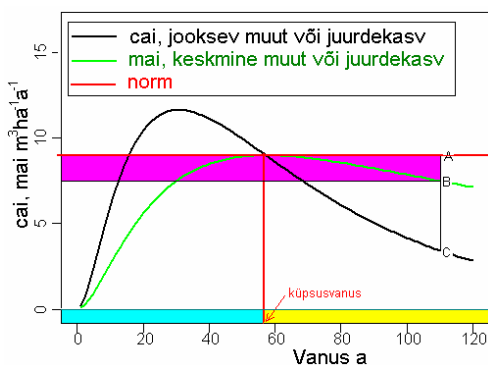
Ülaltoodud arutelu uuendusraie küpsusest kuni harvendusküpsuseni puu tasemel ei ole metsanduses mingi põhimõtteline uudis. See on vaid metsanduslike tavade selline sõnastus, mis aitab neid tavalisi metsanduslike reeglite kujundamise protsessis senisest mõnevõrra selgemini teadvustada. Puu või puistuelement, mis prognoosi kohaselt kasutab antud puistu kasvutingimusi normist kehvemini (harvenduse puhul kasutati normina enamasti allesjääva puistu loodetavat tooki), kuulus eemaldamisele.

Esimese lähenemisviisi kohaselt tuleb taotleda igalt olemasolevalt puistult keskmiselt aasta kohta suurimat toodangut sõltumata sellest, kas puistu kasutab maatüki toogivõimet hästi või halvasti. Teise lähenemisviisi kohaselt peab aga puistust saadava tulu keskmine juurdekasv küpsusvanuses olema võrdne suurem maatüki toogivõimele vastavast kriteeriumiks valitud suurusest. Kui tegemist on konkreetse metsaomaniku majanduse lühiajalise optimeerimise ülesandega, siis on võib olla otstarbekas rakendada esimest lähenemisviisi. Kui aga tegemist on riigi majanduse pikaajalise optimeerimise ülesandega, siis näib otstarbekam olevat rakendada teist lähenemisviisi ja taotleda tulevikus igalt maatükilt aasta kohta keskmiselt suurimat toodangut. **Metsamajanduse tõeline jätkusuutlikkus riigi tasandil eeldab orienteerumist just teisele lähenemisviisile – metsa kasvuressursside tõhusaimale kasutamisele**.

Metsa küpsuse määramiseks on kasutatud peamiselt kaht erinevat lähenemisviisi, millised tuginevad püüdele parimal viisil kasutada kas

1. puistut (puude kogumit) või
2. metsa (puude kogumit koos maatükiga, millel puud kasvavad).

Esimesel juhul ei osutata tähelepanu puistu kvaliteedile, ühtmoodi kasvatatakse puistut kuni puistu enese küpsusvanuseni sõltumata sellest, kas tegemist on kasvukohta küpsusvanuse aluseks võetud tunnuse (mahu, hinna, kasumi) mõttes täiuslikult kasutava saarikuga või remmelga, halli lepa, pajude jt põõsasliikide võpsikuga. Puistu on selle põhimõtte järgi küps siis, kui valitud tunnuse jooksev juurdekasv või muut oma kahanemise faasis saab väiksemaks keskmisest juurdekasvust või muudust – tunnuse väärtuse jagatisest puistu vanusega.



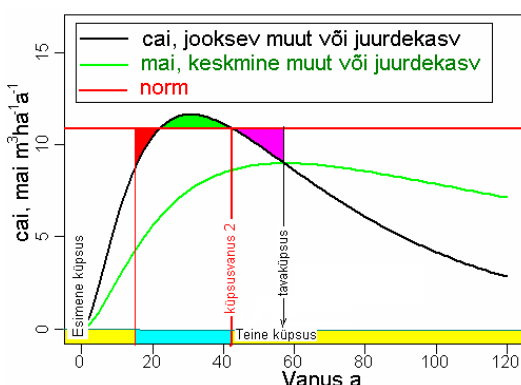
Joonis 1.1. Puistu küpsusvanuse määramine, kui normiks kasutada tema enese vanuse järgi maksimaalset keskmist juurdekasvu. Küpsusvanuses (ca 55a) lõikuvad jooksva ja keskmise juurdekasvu (või muudu) jooned. Lõigu AB pikkus joonisel näitab keskmist aastast vähemtooki normi suhtes kasvu algusest kuni vanuseni 110a, lõigu AC pikkus aga konkreetselt just puistu 110-ndal eluaastal saadavat aastast vähemtooki (siin enam kui pool normi). Lillaks toonitud risküliku pindala näitab raievanuse

110a korral kokku saamata jäänud toodangut võrreldes kahekordse raiega vanuses 55a. Taolise kaotuse põhjuseks on üksnes otsustaja mõttelaiskus.

Teise lähenemise korral hinnatakse küpsusvanust võrreldes puistu praegust ja prognoositavat tooki maatüki normtoogiga. Maatüki normtooki seniste majandamisvõtete, majandamise intensiivsuse ja hinnatingimuste foonil saab määrata paigatüübis kasvavate hinnaliste puistute keskmise toogi järgi puistute hinnaküpsuse vanuses. Normi kehtestamisel tuleks tingimata arvestada riski ja määramatusega (vt. Kaimre, 2000, lk. 72-78). Tuleviku metsamajandamise taseme suhtes optimistliku prognoosi korral võiks norm olla praegusest keskmisest hinnangust kõrgem, pessimistliku korral madalam. Kuna Eesti metsade keskmine majandamise tase on viimastel kümnenditel reformide tuultes olnud madalavõitu, siis praeguste keskmiste kasutamine normina võiks olla vastuvõtteavaks lahenduseks. Normi kehtestamine sõltub metsaomaniku hoiakutest: keskmisele toogile orienteeritud metsaomaniku jaoks on see madalam, maksimaalse taotlejale kõrgem.

Kui puistu praegune jooksev took on väiksem normist ja normini ei küüni ka antud hetkest alates arvutatav mistahes pikkusega tulevase perioodi keskmine took, siis loeme puistu küpseks. Kui normini ei küüni ka jooksev juurdekasv, siis on puistu maatüki kasutamise seisukohast küps (õigemini üleseisnud) sünnist alates. Selline puistu tuleks raiuda mistahes vanuses ja asendada paremaga (rekonstrueerida).

Juhtu, kui puistu vanuse järgi maksimaalne keskmine juurdekasv küll normini ei küüni kuid jooksev juurdekasv mingil tulevasel ajavahemikul ületab normi, selgitab järgnev joonis.



Joonis 1.2. Puistu küpsusvanuse määramine, kui puistu vanuse järgi maksimaalne keskmine juurdekasv on normist väiksem (roheline kõver ei küüni punase horisontaaljooneni), kuid jooksev juurdekasv (must joon) mingil ajavahemikul ületab normi. Puistu on sel juhul „küps“ kuni vanuseni,



millest alates ennustatav perioodi keskmine juurdekasv saab võrdseks normiga, st. joonisel normi joonest allpool olev punane ja ülalpool olev roheline pindala saavad võrdseks. Sellest vanusest edasi puistu ei ole küps (perioodi 15-42a keskmine toodang vastab normile) senikaua kuni jooksev juurdekasv langevas faasis saab uuesti võrdseks normiga. Teine küpsus algab momendist, mil jooksva juurdekasvu joon teistkordselt lõikab normi nivood (joonisel ligikaudu 42a). Sellest mõnevõrra hiljem saabub taolise puistu tavaküpsus (joonisel ligikaudu 56a).

Taolise puistu raiumine „esimese küpsuse perioodil” (joonisel kuni vanuseni 15a) on sageli toimunud puistu rekonstrueerimisena nt koridorkultuuride abil. Joonisel kujutatud omadustega puistu kasvatamine on õigustatud ligikaudu vanusevahemikus 15-42a. Kui sellist puistut raiuda tavaküpsuse vanuses (siin ligikaudu 56a), siis vanuse vahemikus 42-56a kantaks kahju, mis on võrdeline normi ja jooksva juurdekasvu joone vahelise lillaks toonitud pindalaga.

Käesolevas töös ei ole arvatud hinna jooksva muudu esimest lõikumispunkti normi tasemega hinna jooksva muudu suurenemise faasis. Pärast seda vanust enamasti eksisteerib ajalõik, mille jooksul perioodi keskmine hinna muut ületab normi. Enne seda vanust leidub ajalõik, mille jooksul saadav hinna vähemtoodang normi suhtes kompenseeritakse esimese lõikumispunkti järgse enamtoodanguga. Traditsioonilise lähenemise kohaselt kuuluks puistu enne selle ajalõigu algust rekonstrueerimisele. Puistu kuuluks rekonstrueerimisele ka siis, kui prognoositav hinna jooksev muut üldse ei küüni normini. Kuid seejuures tuleb arvestada ka puistu koosseisu loodusliku muutumise ja hooldusraietega muutmise võimalust.

„Raievanus konkreetsele puistule tuleks ... määrata mitte puistu klassikalise küpsusvanusena, vaid vanusena, millises puistu väärtuse aastane juurdekasv langeb allapoole antud maatüki normist. Taoline projekteerimine on täielikult tulevikku suunatud, kuna minevikku me ju enam muuta ei saa! Lisaks annab ta loogilise aluse igasugusele raiele, olgu see siis nimetatud vahe- või lõppkasutuseks. Antud puistuelemendi või puu seisukohalt ongi mistahes raie alati lõppraie sõltumata sellest, mida ta kujutab puistu kui terviku suhtes. Puistu ennustatava toodangu normiga võrdlemise põhimõte rõhutab veel kord vajadust raievanuse või raieni jäänud aja määramisel lisaks napile formaliseeritud takseerkirjeldusele kasutada puistu vahetu vaatluse vahest küll subjektiivsemat, kuid kindlasti detailiderohkemat hinnangut.” (Nilson, 1997, lk. 103)

Ülaltoodud tsitaadi sisu on alati olnud ja on metsa mistahes raie jätkusuutliku kavandamise vaikumisi aluseks, tsitaat on vaid selle sõnastus. Kõik metsa raided moodustavad seotud süsteemi ja hooldusraietega mõjustatakse väga olulisel määral nii uuendusraiest saadavaid sortimente ja tulu kui parimat lõppraie momenti (vanust). Harvendusraied alameetodiga vähendavad jämedamate ja kallimate sortimentide saamise vanust ning kiirendavad parima raievanuse saabumist, harvendusraied ülameetodiga vastupidi, aeglustavad neid protsesse. Selektiivsete hooldusraietega saab muuta puistu koosseisu ja sageli muuta segapuistu lõppraie hetkeks isegi puht- või peaaegu puhtpuistuks. Tsiteerime väljavõtet 14.dets. 1994.a. kirjutatud täiendustetpanekust uutesse raie-eeskirjadesse:

"Puu või puistu raiumise või raiumata jätmise, raie tehnoloogia valiku, lankide suuruse, liitumise, lubatud raiemahu (arvestuslangi) jmt. valiku peamiseks kriteeriumiks kõigi raieliikide korral on raiumise või raiumata jätmise ning sellega kaasnevate ja sellest tulenevate tegevuste kompleksi tulukus arvestatuna ligikaudu raieringi pikkuse perioodi kohta."

ja pisut edasi: "Valikraiate ja hooldusraiate pingereas asuvad ... esikohal liigtihedad (isehõrenemise lähedases seisundis olevad) oluliselt erineva hinna juurdekasvuga puudest koosnevad puistud ja puudegrupid. Eriti kiire on raiega puistutes, kus koosseisus on hulgi peatselt küttepuudeks muutuvaid kahjustatud või juba küttepuu kvaliteediga puid...".

Lõppraie kavandamine pikaks ajaks ette võib küll pakkuda huvi strateegilise kavandamise jaoks, kuid on üpris kaheldava väärtusega tegevus konkreetse puistu suhtes.

Mingi puistu (või puistuelemendi) lõppraie tõeline hetk tuleb otsustada alles vahetult enne raiet osutamata seejuures liigset tähtsust kunagistele kavatsustele. **Jätkusuutlik kavandamine on suunatud tulevikku.**

Kui eeldada, et loodusesõbraliku majandamise üheks põhimõtteks on lasta loodusel teha võimalikult palju jättes inimesele vaid looduse toodangu viimistlemise ülesande, siis tuleks soodustada majandamisviise, mille korral looduslikud protsessid annavad lõpptoodangu hinda (väärtusse) võimalikult suure panuse. Puistute raiumise õige ajastamine on ka selle ülesande täitmisel üheks tõhusaimatest vahenditest. Selle ülesande täitmiseks ei vajata ei raskeid masinaid ega kallist kütust. Vajatakse vaid mõtteerksust ja arvutit.

## 2. Metoodika, materjal ja vigade arutelu

### 2.1 Andmed ja töövahendid

Puistute kasvu simuleerimist ja selleks kasutatud andmeid kirjeldatakse detailselt käsunduslepingu nr 3-24/Trt-23 16.11.2009. aruandes.

Aruande koostamiseks kasutati põhiliselt järgmisi andmekogusid:

1. Riigimetsa takseerkirjeldused aastaist 1983, 1987, 1988, 1990-1998 (koostas Eesti Metsakorralduskeskus, korrastas andmebaasi A. Nilson). Edasises tähistatud RM83-98.
2. Riigimetsa takseerkirjelduste (1984-1993) prof. Andres Kiviste poolt loodud tsenseeritud koondandmete ja vahetulemuste faile (RM84-93)
3. Eesti Metsaregistri andmeid seisuga 01. sept. 2008 (MR)
4. EMÜ kasvukäigu püsiproovitükkide andmeid. Projekti juht professor Andres Kiviste (KKPRT)
5. Euraasia parasvöötme peamiste puuliikide kasvukäigu tabeleid Artur Nilsoni andmebaasist (KKTAB)
6. Eesti statistilise metsainventeerimise (edasises SMI) andmeid aastaist 2003-2007 (Metsakaitse- ja Metsauuenduskeskus)
7. Vabariigi Valitsuse määrus 09.10.2008 nr.150 (metsa väärtuse hindamise algoritmid)
8. Erialast kirjandust (vt. kirjanduse loend)

**Andmeohjeks ja aruande vormistamiseks kasutati MS Office<sup>®</sup>, MS VisulFoxPro<sup>®</sup> ja tarkvara süsteemi R vahendeid. Andmeid hoiti andmebaasi süsteemi MS VisulFoxPro<sup>®</sup> keskkonnas ja töödeldi samas ning süsteemis R. Mõlemas süsteemis koostati rida üldisi (nt regressioonanalüüsi) ja ka aruandespetsiifilisi andmetöötluse ja graafika programme.**

Puistute tootlikkuse iseloomustamiseks erinevais paigatüüpides kasutame kõrgusindeksit (puistu kõrgust valitud baasvanuses 50a või 100a), milline on Eesti metsanduses viimastel aastatel järjest edukamalt asendanud puistu boniteeti.

### 2.2 Mudelid

Lisaks puistute kasvu simuleerimisel kasutatud ja varem kirjeldatud mudelitele tuli hinna küpsuse arvutamisel täiendavalt kasutada järgmisi mudeleid:

1. puude arvu seos puistute keskmise diameetri ja kõrgusega,
2. kahjustatud puude protsendi seos puistu vanusega puuliigiti,
3. puistu ühikuhinna seos puistute keskmise diameetriga, kõrgusega ja kahjustatud puude protsendiga

Töö algaasis kasutati Vabariigi Valitsuse määruses 09.10.2008 nr.150 toodud metsa väärtuse hindamise algoritme (Autor Allar Padari). Hiljem koostati puude hinda alandavate tüvekahjustuste sageduse modelleerimiseks puuliigi ja vanuse funktsioonina uus realistlikum funktsioon, milline tugineb enam kirjanduse ja vaatlusandmetele ja vähem ekspertarvamusele. Täpsustati ka mudelit puude arvu seostamiseks puistute keskmise diameetri ja kõrgusega.

### 2.2.1. Puude arvu ja tagavara mudelid

Hinna keskmise muudu maksimumi koha vanuse teljel (hinnaküpsuse vanuse) määrab seda mõjustavate tunnuste (tagavara, ühikuhind; viimast omakorda kahjustused, diameeter ja kõrgus) **suhtelise** muutumise kiirus. Seega tuleks mudelite valikul eelistada selliseid, millistel tõenäolise küpsusvanuse piirkonnas on võimalikult originaalilähedane mõjufaktorite muutumise kiirus. Pole oluline kas tagavara selles piirkonnas muutub väärtuse 100 või 800 tm/ha ümber. Oluline on mõjufaktorite tegeliku suhtelise muutumise õige kajastamine.

Käesolevas aruande kasvumudeleid kasutavais variantides modelleeritakse puistu tagavara  $V$  kasvu kõrguse  $H$  ja diameetri  $D$  väärtuste seose kaudu puude arvuga  $N$ . Neid kolme suurust teades saame võrrandiga  $V = \pi ND^2 HF / 40000$  arvutada hektaritagavara. Puistu vormiarvu  $F$  seost puistu keskmise kõrgusega kirjeldame nii siin kui edasises Metsa korraldamise juhendi (Keskkonnaministri 16. jaanuari 2009. a määrus nr 2) järgi. Vabariigi Valitsuse määruse nr. 150 09.08.2008 lisa 2 tabelis 2.1 metsa kasvatamise algoritmis on toodud (väidetavalt k. o. aruande autori poolt koostatud) võrrandi  $L = a + bD^2/H$  kordajad puistute moodhõreduse määramiseks koos kordajatega tabelis 2.1. Selles ei arvestata ei puistu kõrgusindeksi ega kasvupaiga mulla mõjuga. See võrrand on küll piisava täpsusega viidatud VV määruse eesmärgi tarvis, kuid küpsusvanuse hindamiseks sobiks täpsemad mudelid. Spetsiaalselt hooldusraie eelse ja järgse hõreduse mudelina kasutatakse määruses võrrandit  $L = a + bD + cH_{100}$  (kordajatega määruse lisa 3 tabelis 3.1), kuid seegi pole sobiv puistu kasvatamiseks, sest on orienteeritud harvendusraiate kavandamisele ja võiks samuti olla veidi täpsem.

Käesolevas aruandes orienteerutakse nn moodpuistute hõredusele, mille modelleerimiseks on kasutamiskvaliteet alandmetena sobivad Andres Kiviste (1995, 1997) hoolikalt filtreeritud takseerikirjelduste tingkeskmiste silumata vanuseread. Nendest leidsime programmiga SAMMREG.PRG alltoodud lähendid.

Hõreduse  $L$  võrrandid A. Kiviste (1995, 1997) silumata algandmeist tingimusel  $D > 6$

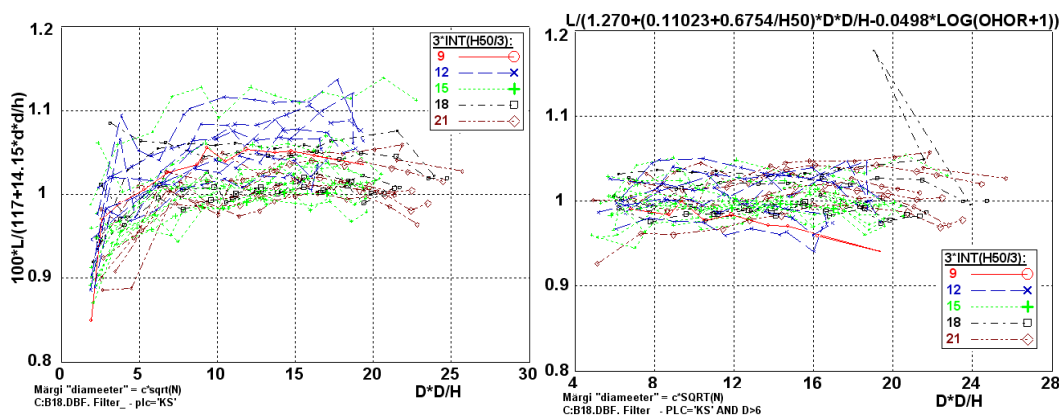
PL	R	RMSE	VÖRRAND	
HB:	0.99168	0.0865	$L = 1.172 + (0.08349 + 0.77899/H50) * D * D / H$	(2.1)
KS:	0.99338	0.0726	$L = 1.124 + (0.12474 + 0.43859/H50) * D * D / H$	
KU:	0.99771	0.0716	$L = 0.7451 + (0.11950 + 0.3482/H50) * D * D / H$	
LM:	0.98832	0.0713	$L = 0.9041 + (0.1048 + 0.7266/H50) * D * D / H$	
LV:	0.99348	0.0425	$L = 0.9063 + (0.1144 + 0.5108/H50) * D * D / H$	
MA:	0.99721	0.0722	$L = 0.7169 + (0.13814 - 0.0733/H50) * D * D / H$	
SA:	0.99330	0.1155	$L = 0.9055 + (0.1048 + 0.5139/H50) * D * D / H$	
TA:	0.97766	0.2365	$L = 0.6289 + 0.1110 * D * D / H + 9.932 / H50$	
MA:	0.99723	0.0719	$L = 0.7368 + (0.13738 - 0.0632/H50) * D * D / H - 0.00798 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	(2.2)
KS:	0.99492	0.0636	$L = 1.270 + (0.11023 + 0.6754/H50) * D * D / H - 0.0498 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	
KU:	0.99817	0.0641	$L = 0.826 + (0.1114 + 0.4763/H50) * D * D / H - 0.0386 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	
HB:	0.99196	0.0850	$L = 1.205 + (0.07709 + 0.9180/H50) * D * D / H - 0.0239 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	
LM:	0.99158	0.0606	$L = 1.075 + (0.08924 + 1.010/H50) * D * D / H - 0.0597 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	
LV:	0.99358	0.0422	$L = 0.8939 + (0.1218 + 0.3685/H50) * D * D / H + 0.01022 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	
SA:	0.99429	0.1067	$L = 1.012 + (0.08362 + 0.8683/H50) * D * D / H - 0.0718 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	
TA:	0.97734	0.2382	$L = 1.590 + (0.09670 + 0.1896/H50) * D * D / H - 0.282 * \text{LOG}(OHOR + 1)$	

Aruande programmides on sageli kasutatud nn makrokorraldusi kujul  $y = \&(valem)$  või funktsioone, kus konstantide omistamise asemel CASE valiku järgi käivitatakse valikule vastav võrrand. Makrokorraldusi kasutasime siis, kui võrrandeid oli väga palju (nt. tuhandeid nii enamus- kui seguliigi kõrgusele ja diameetrile igas seguvariandis ja igas metsatüübis). Sel juhul omistati mälumuutujale *valem* tekstimuutjana võrrand võrrandite faili väljast FORMULA, sest MS VisualFoxPro® makrokorraldus käivitab vaid mälumuutujaid.

Käesoleva aruande tarvis kasutasime ülaltoodud võrrandest viimast komplekti (2.2) valmis funktsioonina. Toome näitena fragmendi seda kasutavast funktsioonist Lmood:

```
FUNCTION Lmood
PARAMETERS PL, H, D, H50, OHOR
DO CASE
CASE PL='MA'
RETURN 0.7368+(0.13738-0.0632/H50)*D*D/H-0.00798*LOG(OHOR+1)
CASE PL='KS'
RETURN 1.270+(0.11023+0.6754/H50)*D*D/H-0.0498*LOG(OHOR+1)
...
ENDCASE
ENDFUNC
```

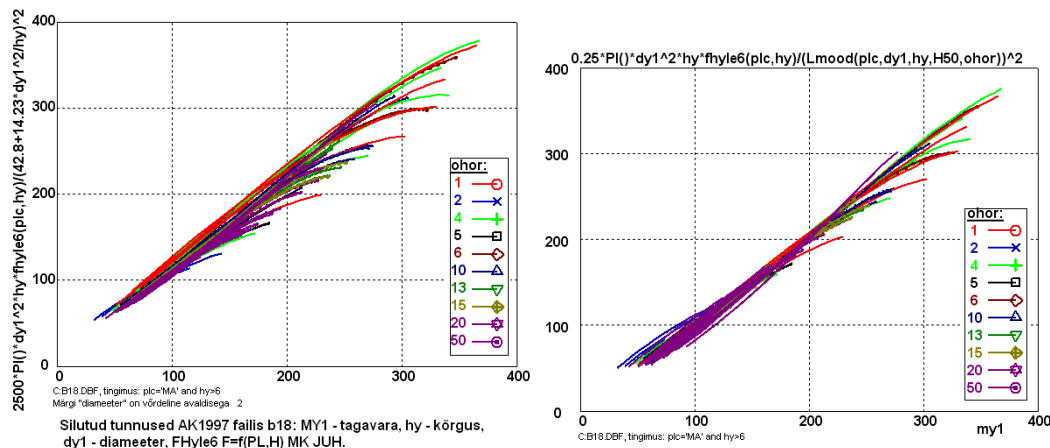
Alljärgneval joonisel kõrvutame kaasikute hõreduse väärtuse suhet Andres Kiviste algandmete failist prognoositud väärtustega VV määruse nr 150 ja ülaltoodud mudeli järgi.



Joonis 2.1. Hõreduse suhe Andres Kiviste (1995, 1997) kaasikute silumata tingkeskmiste ridadest mudelhõredusse. Vasemal mudel VV määruse nr 150 ja paremal funktsiooni Lmood järgi. Parempoolsel joonisel on pikk y-telje tähistus paigutatud joonise kohale. Väljalöök parempoolsel joonisel on üksainus erandlik sinilille kaasik. Avaldis  $3 \cdot \text{int}(H50/3)$  tähistab tunnuse H50 boniteediklassi laiuse intervalli algust.

Vasakpoolsel joonisel on märgatavad süstemaatilised erinevused nii avaldise  $D \cdot D/H$  muutumise kui boniteedi järgi. Ka on andmepunktide üldine hajuvus suurem kui ülaltoodud mudeli järgi. Kasutasime edasises oma mudelit. Kuna tagavara andmed olid metsaregistri andmetes sedavõrd vigased, et nende kasutamiseks tulnuks teha andmete põhjalik filtreerimine, siis arvutasime tagavara puude keskmise kõrguse, diameetri ja puude arvu järgi kasutades vormiarvu mudelit kehtivast metsakorralduse juhendist. Puistu tagavara arvutati VV määruse nr 150 meetodika järgi kasutades eeltoodud viisil leitud puude arvu.

Tagavara leidmine sel viisil siiski ei taga ega ei saagi tagada tagavara täpset hinnangut esmaste algandmete tunnuste kolmikust  $H, D, V$ , kuna see seos on statistiline.



Joonis 2.2. Tagavara suhe Andres Kiviste (1995, 1997) kaasikute silumata tingkeskmiste ridadest mudeltagavarasse. Vasemal mudel VV määruse nr 150 ja paremal funktsiooni Lmood järgi. Parempoolsel joonisel on pikk y-telje tähistus paigutatud joonise kohale. Funktsiooni Lmood kasutavas mudelis on tagavara muutumine kõrguse ja diameetri muutudes küpsusvanuse hindamise kriitilises piirkonnas vähem süstemaatilisi hälbeid kui VV määruse nr 150 järgivas mudelis. Viimases on joonte tõsusud lõpuosas märgatavalt väiksemad arvust 1 ja seega hälbivad suhtelise muutumise originaalkiirusest.

Kahjustatud puude protsendi puuliigist ja puistu vanusest sõltuvuse mudeleid vaatleme jaotises 3.

Käesoleva aruande ja Allar Padari simulatsioonides kasutati peamiselt kasvufunktsioonide parameetrite hindamist takseerikirjelduste andmekogumitest või Andres Kiviste poolt 1997 hinnatud kasvufunktsioonide parameetrite väärtusi (A. Padari, 2010). Edasi nende parameetrite kaudu „kasvatati” puistute takseertunnuste väärtusi. Selles protseduuris on rida vigade tekkimise võimalusi, kuid samas ka võimalus puhastada mudelit metsa tegeliku mitmekesisuse hajutavast mõjust. Need tulemused on nihketa, kui

1. Kõrguse ja diameetri kasvatamise mudelid vastavad tegelikule kasvule.
2. Puude arvu seos kõrguse ja diameetriga vastab tegelikule.
3. Puistute koosseisu muutumine vanusega vastab tegelikule.

Sel viisil leitud küpsusvanused (nimetame neid edasises teoreetilisteks) võivad olla mõjustatud ükskõik millise tingimuse kolmest rikkumisest mudelites.

Leitud teoreetiliste küpsusvanuste võrdlemiseks vahetult metsaregistri andmetest leitud küpsusvanustega arvutasime metsaregistri igale puistule hinna keskmise muudu MAIHND võrrandiga

$$\text{MAIHND} = \text{Vha} * \text{Y\_hind} / \text{Ape},$$

kus Vha – tagavara tm/ha

Y\_hind – puidu ühikuhind kännul kr/tm

Ape – enamuspuuliigi vanus a.

Andmed rühmitasime enamuspuuliigi PE, kasvukohatüübi KKT ja vanuse Ape järgi leides igale rühmale tunnuse MAIHND eraldiste arvuga kaalutud keskmise väärtuse. Kasutasime vaid vanuseid, mis on arvu 5 kordsed, sest vahepealsetes vanustes oli väga napilt andmeid ja keskmised hajusid liialt palju. Esmalt leidsime saadud vanuseridadest hinna keskmise muudu maksimumi ja sellele vastava vanuse väärtuse. Seejärel silusime andmereal maksimumväärtuse ümbruses funktsiooniga

$$\text{Hind} = \text{Ape}^2 / (\text{b0} + \text{b1}/\text{Ape} + \text{b2}/\text{Ape}^2).$$

Sellest lähendfunktsioonist leiti omakorda juba täpsem hinna muudu maksimumi vanus (küpsusvanus). Kännuhind arvutati RMK 2005a hindade mudeli ja funktsiooniga rth.crs (Nilson, 2002) lähendatud SMI kahjustatud mudelpuude protsendi järgi. Lõpptulemuste

vastandamiseks teoreetilistele leidsime algandmetest igale enamuspuiuliigi ja kasvukohatüübile ka vastavate kõrgusindeksite H50 ja H100 keskmised väärtused.

Tuleb arvestada, et sel viisil leitud tulemused kajastavad peale puistute kasvu veel nende majandamise ajalugu, muutunud või muudetud kasvutingimuste mõju ja neist tulenevat koosseisu ja täiuse dünaamikat.

Lisaks tuleb arvestada metsaregistri andmetes massiliselt esinevate hektaritagavara vigade mõju. Kahjuks olid need vead erinevais andmegruppides erinevad ja nende filtreerimiseks ei õnnestunud leida head algoritmi.

**Esimeses simulatsioonis** kasutasime tingimust

$$0,015 \leq (Vha/Ape)/H50^{1,33} \leq 0,15.$$

Faili MR\_HIND.dbf edasisteks arvutusteks tegime algandmete failist EREL08.dbf alltoodud korraldustega faili MR\_HIND.dbf:

```
SET PROCEDURE TO \mregly_hind
SELECT id,pe,bon,kkt,ohor,ape,vha, SUM(koef*y_hind(pl,a,h,d)) as sumhind, SUM(koef) as sumkoef FROM ;
\mreglalglerel08 WHERE ape>9 AND H50>0 AND BETWEEN(VHA/H50^1.33/APE,0.015,0.15) ;
AND dpe>9 AND a>9 and h>6 AND d>9 AND rn='1' GROUP BY id INTO dbf MR_HIND
Empiiriliste keskmiste silumiseks kasutati funktsiooni
Hind = 1/(a + b*Ape + c*Ape2).
```

**Teises simulatsioonis** eraldasime algandmetest kõik metsaelemendid, milliste kõrguse ja 100% osalusele teisendatud tagavara järgi hinnatud täius ei mahtunud vahemikku 0.5-1.4. Lisaks eraldasime andmevalimid, millistes esines sageli hektaritagavara väärtusi üle 1500 tm. Tegime seda tunnuste KOR\_ID ja YKS\_D järgi järgmiselt:

KOR_ID	YKS_ID viimased 3 numbrit
10152580	265, 278, 286
10241963	251, 259, 278, 284
70001254	111
70004459	111
10363353	249

Selle filtriga kustutati 184550 eraldise kirjed. Võimalik, et mõnes andmestikus oligi tegelikult mõni puistu tagavaraga üle 1500tm/ha. Nt KOR\_ID = 10363353 korral esines tagavara üle 1500tm/ha vaid 2 korda ja KOR\_ID = 70004459 korral 8 korda. Lihtsuse ja kindluse mõttes eraldasime siiski ka need andmegrupid.

Peale viimase ja täiuse filtri rakendamist jäi töötlusse 623210 kirjet.

Edasine andmetöötlus oli sarnane esimese simulatsiooni omale, vaid selle erinevusega, et hinna keskmise muudu vanuseridasid silusime erialgse maksimumi naabruses funktsiooniga

$$Y = a * \text{th}(Ape/c) - b * Ape,$$

kus a, b, c – võrrandi kordajad,

th – hüperbooltangens (vahest tähistatakse tanh),

Ape – puistu enamuspuiuliigi vanus a.

Sellise funktsiooni valik tugines visuaalsele pildile, kus hinna keskmise muudu joon langevas osas läheneb sirgele (vt joonis 3.13).

## 2.3 Puistute küpsusvanuse hindamisvigadest

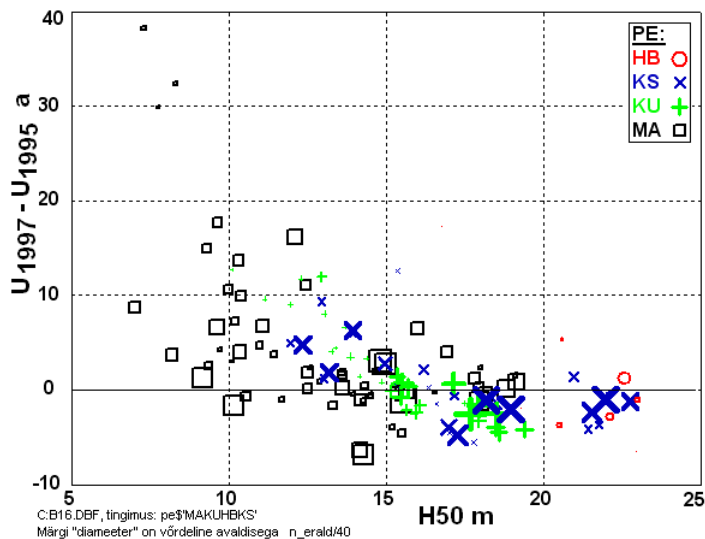
Puistute küpsusvanus meid huvitava tunnuse (maht, hind, kasum, ...) kohta on üks majanduslikult olulisemaid puistu omadusi. Selle omaduse hindamine on kahjuks tema olulisega samavõrdselt keerukas ja üldreegli kujul saadavate hinnangute vead jäävad ebameeldivalt suurteks. Simulatsioonidest selgus (Nilson, 2002), et lisades puistu kasvu algandmetele (maht vanuse järgi) suhtelise vea  $\varepsilon$ , kandus see mahuküpsuse vanuse suhteliseks

veaks ligikaudu 0,354ε, kuid mahu keskmise muudu suhteliseks veaks 0,148ε. Seega on algandmete vigadest tulenev küpsusvanuse suhteline viga enam kui 2 korda suurem keskmise muudu suhtelisest veast küpsusvanuses. **Küpsusvanuse hinnang on tundlik algandmete vigade suhtes.**

Teiseks oluliseks vea allikaks on andmete silumiseks valitud funktsiooni või selle parameetrite hindamise protseduuri mittevastavus tegelikule kasvule. Andres Kiviste (1995, 1997) silus Eesti riigimetsa takseerikirjelduste andmeist puistute mahu ja vanuse seost esmalt Mitscherlichi funktsiooniga (1995) ja hiljem Hossfeldi funktsiooniga (1997). Mõlemat kasvufunktsiooni peetakse parimate hulka kuuluvaiks ja mõlemad lähendid on praktiliselt võrdtäpsed (jäähälbed vastavalt 15,4 ja 17 tm/ha) ning esialgu tühiseks peetud süstemaatiliste vigadega.

Hindan neid mudeleid kõrgelt ja pean Eesti puistute kasvu modelleerimise alal õnnestumiseks. Need mudelid sobivad küpsusvanuse võimalike vigade analüüsiks näidatena ka sellepärast, et 1997a kasvu mudelit on sageli kasutatud hinnaküpsuse vanuse mudelites. Kui juba 1997a kasvu mudeliski leidub küsitavusi, siis hinnaküpsuse vanuse mudelites leidub veel mitmeid allmudeleid, mis annavad tulemuste vigadesse oma panuse.

Juba puistute mahuküpsuse vanus erineb 1995 ja 1997a lähendite järgi ootamatult palju.

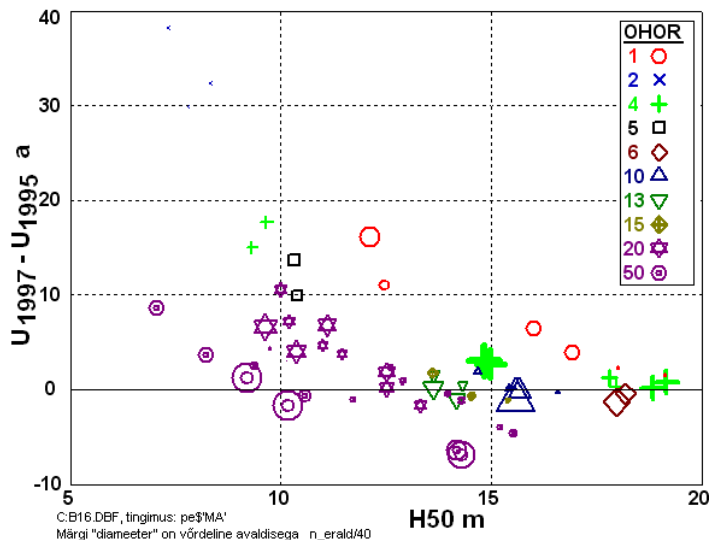


Joonis 2.3. UVHoMiXX. Puistute mahuküpsuse vanuse lahknevus Andres Kiviste (1995, 1997) mudelite järgi enamuspuuliigi (PE) ja kõrgusindeksi (H50) järgi.

Näeme, et 1997a mudeli järgi hinnatud mahuküpsus võib kehvemais boniteediklassides (loomännikud) olla isegi enam kui 30 a suurem 1995a mudeli järgi hinnatust. Üldiselt saadi Mitscherlichi funktsiooniga (1995) kehvemais boniteediklassides pisut (kuni 8a) kõrgem küpsusvanus kui Hossfeldi funktsiooniga (1997). Parimais kasvukohtades on suhe vastupidine. Lahknevust männikuis iseloomustab pisut detailsemalt järgmine joonis.

1997a mudelis kõrgusindeksi väärtus kujuparameetrite hinnangutes ilmutatud kujul ei osale, kuid kõverate kaju sõltub tugevasti tunnusest OHOR. 1995a mudelis osalevad tunnused OHOR ja H50 mõlemad mahu kasvukõvera käänupunkti avaldises vahetult (Kiviste, 1995, lk. 142 võrrand (11)). 1995a mudelis on mahuküpsuse väärtuse haare kõrgusindeksi fikseeritud väärtuse korral alla 10a, kuid 1997a mudelis isegi üle 20a. 1997a mudel näitab kasvukõvera kaju tugevat sõltuvust mulla niiskusest. Arvestades, et tunnuse OHOR suurenedes suureneb ka omaaegse kuivenduse mõju kasvukõvera kujule, võib eeldada

ühikordse mõõtmisega saadud kasvukõvera kuju moonustumist märgades tüüpides vastassuunas - kiirenev kasv moonduv mudelis aeglustuvaks (Nilson ja Kiviste, 1984). Seetõttu võib eeldada, et tegelikule lähedasem on pigem 1995a mudel.



Joonis 2.4. UVHoMiMA. Männikute mahuküpsuse vanuse lahknevus Andres Kiviste (1995, 1997) mudelite järgi mulla organogeense horisoni tüseduse (OHOR) ja kõrgusindeksi (H50) järgi. Jooniselt ilmneb selgelt tunnuste OHOR ja H50 mõju mahuküpsuse hinnangu lahknevuse pildile.

Mahu keskmise muudu ja eraldiste arvu korrutise järgi kaalutud küpsusvanuse keskmine väärtus on männikutes 1997a mudeli järgi ligikaudu 1a võrra suurem ja kuusikutes ning kaasikutes samavõrra väiksem kui 1995a mudeli järgi, kuid nende erinevuste standardhälve on ligikaudu kaks korda erinevusest suurem. Seega keskmiselt on mudelid justnagu üsna sarnased. Kuid usaldatav erinevus esineb, kui arvestada erinevuse seost tunnustega H50 ja OHOR. Männikutele leitud samal viisil kaalutud regressioonivõrrandi

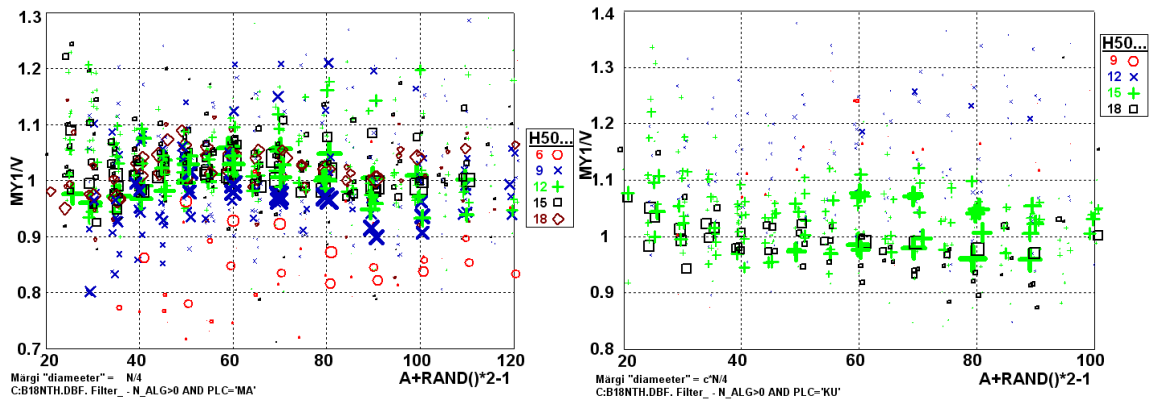
$$U_{1997} - U_{1995} = 35.70 - 5.122 \cdot \log(\text{ohor} + 1) - 1.519 \cdot \text{H50},$$

kordajad on usaldatavad nivool alla 1% ja mitmene korrelatsioonikordaja  $R = 0,92944$ . Tähis  $U$  võrrandis märgib küpsusvanust. Kahe mudeli erinevus on oluline ja on selgelt seotud tunnuste H50 ja OHOR erineva arvestamisega mudelileis.

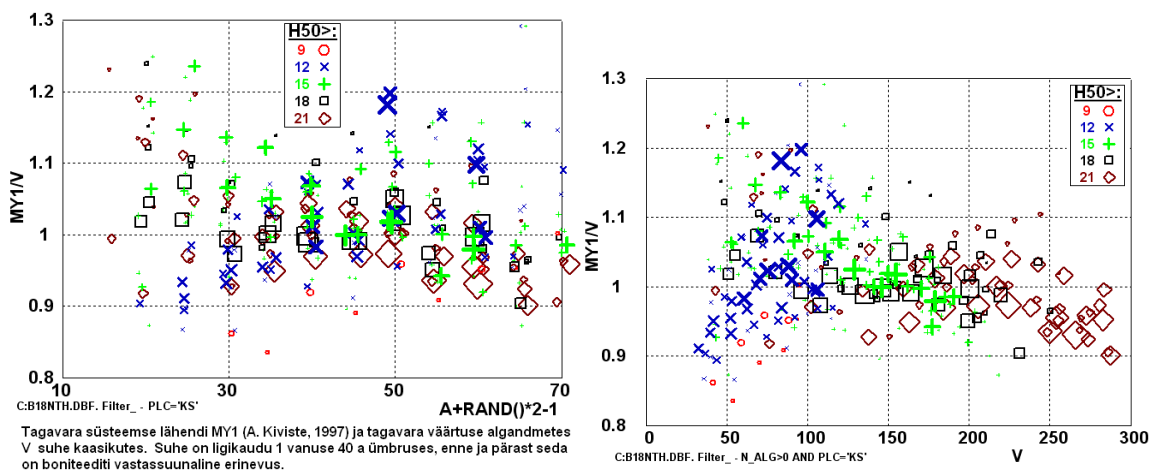
Sellise lahknevuse põhjuseks saab olla puistute tagavara mudelite vea<sup>1</sup> sõltuvus puistu vanusest. Toome mõned näited.

<sup>1</sup> Siin ja edasises tuleks taolistel juhtudel termini „viga” asemel kasutada terminit „lahknevus” või „erinevus” või vähemalt mõista „viga” sellisena, sest ei olegi kindel, kumb peegeldab tegelikkust õigemini – kas andmed oma vigadega või mudel, mis peegeldab vigaseid andmeid vigadega. Pole välistatud, et Andres Kiviste mudelid (1995, 1997), peegeldades kasutatud silmamõõduliste takseerikirjelduste kogumit vigadega, peegeldavad tegelikkust paremini, kui takseerikirjelduste kogum. See on paradoks, mis sageli jääb märkamatuks, sest statistika rutiin loeb tavaliselt algandmeid õigeteks ja veaks loetakse mudeli lahknevust algandmetest. Siia ja kogu aruande konteksti sobib ka tsiteerida Kanada metsateadlaselt: „Milline on täpsem lähend, on matemaatiline otsus, milline on parim kasutamiseks, see on professionaali otsustada.” (Kim Iles, 2003, p. 704).





Joonis 2.5 Mudeli tagavara suhe algandmete tagavarasse Andres Kiviste 1997a kasvumudelil, vasemal männi enamusega ja paremal kuuse enamusega puistud.



Joonis 2.6 Mudeli tagavara suhe algandmete tagavarasse Andres Kiviste 1997a kasvumudelil kase enamusega puistute kohta, vasemal vanuse ja paremal tagavara teljel.

Andres Kiviste (1995, 1997) töö eesmärgiks oli koostada võimalikult hea ja käepärane mudel Eesti puistute kõrguse, diameetri ja mahu andmeridade seostamiseks vanusega. See sai tehtud ja kuni tänaseni pole Eestis selleks paremaid süsteemseid mudeleid tehtud. Kui isegi neis mudelites võivad mahuküpsuse vanuse hinnangud lahknedä üle 30a, siis pole põhjust loota, et nt palju enamatest teguritest sõltuvat segapuistute hinnaküpsuse vanust suudetaks modelleerida väiksema kui 10% veaga. Kui vahest õnnestubki algandmeid lähendada väiksema veaga, siis ei tohi sellest järeldada, et see oleks ka tegelikult parima küpsusvanuse hinnangu viga.

Andres Kiviste mudelites taotleti kaht vastandlikku eesmärki: ühest küljest kasvumudelite süsteemsust, teisest lihtsust. Metsa kasvule sarnaselt keerukate süsteemide modelleerimisel tuleb paratamatult teha mõõndusi ühe või teise eesmärgi osas. Saadud kompromiss osutus sobivaks üldiste metsanduse ülevaadete ja lihtsama statistika tarvis. Küpsusvanuste modelleerimisel tuli mudelite analüüsiga paratamatult minna enam süvitsi ja nii selgusidki mitmed segavad asjaolud.

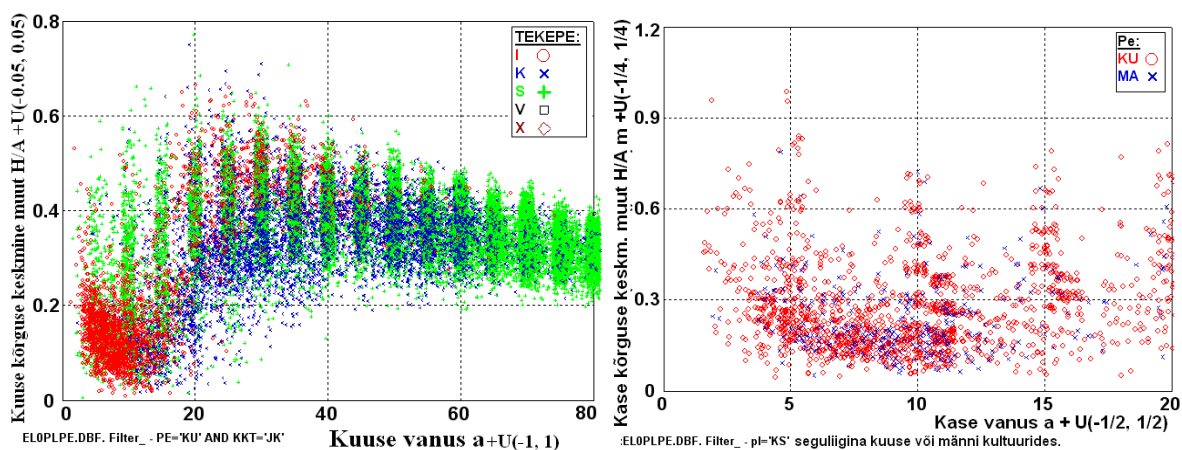
Metsaregistrist saadud ja muud sarnased hinna keskmise muudu hinnangud on sedavõrd suure hajuvusega, et algandmete muutumisvahemiku erinevate valikute korral võib lähendfunktsiooni maksimumi koht (hinnaküpsuse hinnang) üksikjuhul (nt väheesindatud metsatüübis) kümnekond aastat nihkuda. Selline viga pole siiski eriti ohtlik süsteemse lähendi jaoks, kui see hinnatakse kaalutuna algandmete arvuga. See on analoogiline olukord

varem analüüsitud termini „viga” tõlgendamisega. Nt regressioonivõrrand kajastab väikese andmevalimi (metsatüübi) andmeid suurema veaga, kui sellele tüübile eraldiseisvana leitud väikese lähendamisveaga leitud hinnang, kuid tegelikult võib regressioonivõrrandi prognoos olla viimasest märgatavalt parem tegelikkuse lähend.

Eriti tundlikuks muutub küpsusvanuse hinnang juhul kui andmevalimisse sattub väga erinevate omaduse ja erineva hinnaga puistuid. Sel juhul muutub hinna kõver maksimumi ümber üksikpuistutele omasest märgatavalt lamedamaks ja küpsusvanuse hinnang ebastabiilsemaks. See on takseerikirjelduste kogumite korral tüüpiline olukord. Sellises olukorras võib sageli realistlikumaid hinnanguid saada analüütiliste ja eksperthinnangute kombineerimisega.

### **Puistute küpsusvanuse hinnang on tundlik kasvu modelleerimise meetodite suhtes.**

Kuid eeltoodud algandmete ja mudelite lahknevuses ei tohi näha ainult mudelite vea võimalust. Vead võivad olla ja ongi ka sellistes algandmetes nagu metsa valdavalt silmamõõdulised takseerikirjeldused. Toome näite kuuse kõrguse keskmise muudu kohta erineva tekkeviisiga kuusikutes.



Joonis 2.7. Kuuse kõrguse keskmine muut (H/A m/a) sõltuvalt vanusest ja tekkeviisist (vasemal): I – istutus, K – külv, S – seemnetekkeline looduslik, V – võrsetekkeline (KU!), X – teadmata. Paremalt kase kõrguse keskmine muut (H/A m/a) kuuse ja männi kultuurides sõltuvalt vanusest.

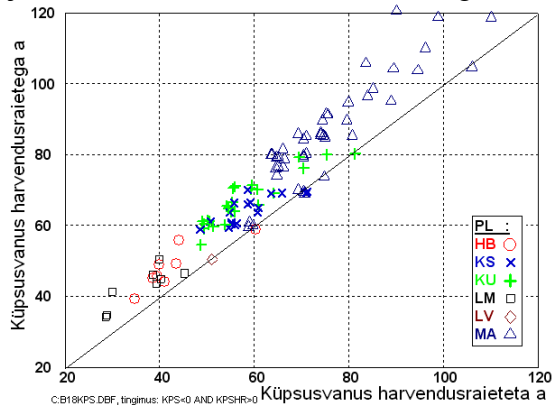
Vaevalt saab sellist pilti tekkeviiside kaupa modelleerida mingi tüüpilise kasvufunktsiooniga ja vaevalt see pilt kajastab normaalset kasvu. Kuuse istutuskultuuride kõrguse keskmise juurdekasvu langustendents kuni vanuseni ligikaudu 15 viitab pigem hooldamatusele kui normaalsele kasvule. Ebausutav on kase kõrguse keskmise juurdekasvu langus 10a vanuse ümbruses. Oletatavasti on see vanuse hinnangu vea tagajärg. Tegelikult kask on „noorendatud” eelnevate kultuuri hooldamistega ja valgustusraietega, kuid vanus on jäetud endiseks.

**Puistute küpsusvanuse hinnang on tundlik nii algandmete vigade kui kasvu modelleerimise meetodite suhtes.**

### **Lisategurite mõju puistu hinnaküpsuse vanusele**

**Harvendusraiate režiimi mõjust:** Harvendusraietega muudetakse nii üldisi metsakasvatamise ja –varumise kulusid kui tulusid otseselt raiete enestega ja nende tagajärjel muutub ka säilinud puistu tunnuste (puude dimensioonid, ühikuhind) kasv. Selektiivsete

harvendusraietega muudetakse nii puistu liigilist koosseisu kui kahjustustega puude suhtelist sagedust. Samuti muutub oluliselt puude keskmise diameetri seos vanusega – alameetodi kasutamisel keskmine diameeter suureneb enam ja ülameetodi korral vähem kui suureneks ilma harvendusraieta. See kõik muudab hinnaküpsuse arvutamise noorematele puistutele sõltuvaks prognoositavast harvendusraiete režiimist. Need prognoosid ei saa olla eriti kindlad ja järelikult ei saa olla kindlad ka kaugesse tulevikku arvatud hinnaküpsuse väärtused.



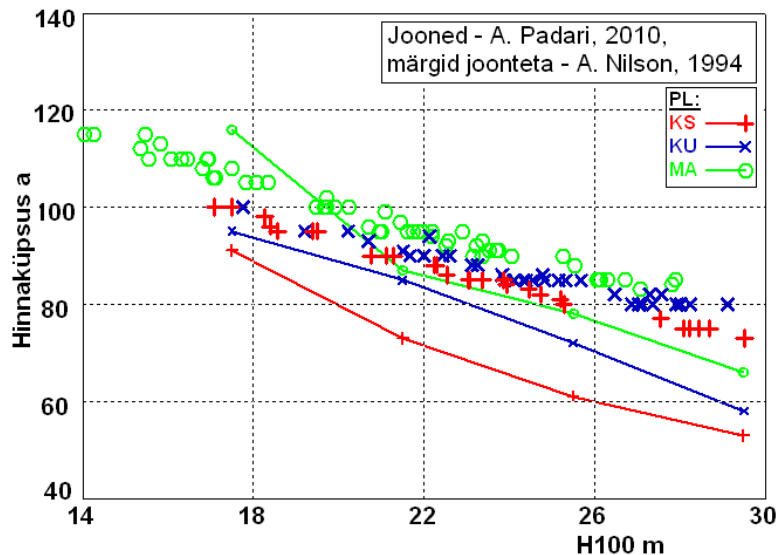
Joonis 2.8. Tavapäraste süstemaatiliste harvendusraiete mõju puistute hinnaküpsuse vanusele arvestades vaid harvendusest saadava hinna tõusvat summeerumist arvestamata takseertunnuste kasvu muutusi. Kasvu andmed võeti Andres Kiviste 1997a mudelist. Küpsusvanust harvendusraietega võib nimetada ka kogutoogi küpsusvanuseks.

**Sortimentide hinnad puiduturul ja metsavarumise kulud:** Ümarpuidu ühikuhinna kujunemise protsess saab alguse nõudmise ja pakkumise vahekorrald ümarpuidu esmatöötleva töötlemiskohas. Suure transpordikaugusega seotud transpordikulud vähendavad ühesuguselt nii kallite kui odavate sortimentide vahelaohinda. Tarbija eelistab väiksemaid kulusid ja võib lähedalasuvas vahelaos nõustuda transpordi hinnavahe võrra kõrgema hinnaga kui kaugelasuvas. Sellega muutub ka sortimentide hinna suhe, mis on oluline hinnaküpsust mõjustav tunnus. Suurte transpordikulude korral odavamate sortimentide suhteline hind kallimate suhtes väheneb. Samal viisil mõjutavad puidu kättehinda ka kokkuvoekulud langilt vahelattu.

Mida suuremad on üldised transpordikulud, seda suurema suhtelise kaalu omandavad keskmise kättehinda kujunemisel kallimad sortimendid ja seda olulisem on püüda harvendusraiete jt metsakasvatustlike võtetega kallimate sortimentide osa suurendamise suunas.

Mõjusaks teguriks ümarpuidu hinna kujunemisel on puidutöötlemise tehnoloogia muutused. 1994 puidu hinna mudelite kujunemisel arvestati veel sellega, et jämpapalk on peenpalgist oluliselt kallim ja seetõttu puidu keskmise ühikuhinna väärtus kasvas puude suurenedes pigem kiirenevalt kui aeglustuvalt. Praeguseks ajaks, kui saetööstuses domineerib peenpalgile orienteeritud põhjamaade tehnoloogia, on jämpapalgi ühikuhind on peenpalgi omast vaid pisut suurem ja puidu keskmine ühikuhind kasvab aeglustuvalt - ligikaudu lineaarses sõltuvuses puistu keskmise diameetri topeltlogaritmist.

Tulemuseks on see, et 1994a mudeleis saadi 2010a omadest märgatavalt kõrgemad hinnaküpsuse väärtused.



Joon. 2.3. UAP10AN94. Puistu hinnaküpsuse väärtused enamuspuuliigiti Allar Padari 2010a käsikirjaliste andmete ja Artur Nilsoni 1994a mudeli järgi.

Eriti suur on erinevus kase hinnaküpsuse väärtuses, sest 1994a mudeli hinnakujunduses arvestati kase vineeripaku suure nõudluse ja kõrge hinnaga, mis Allar Padari 2010a andmete aluseks võetud RMK 2009a realiseerimishindade kokkuvõttes kuigivõrd ei kajastu. 1994a mudelis ei arvestatud ka vanusega suurenevate puidukahjustuste mõjuga, mis 2010a mudelis on arvestatavaks hinnaküpsuse vanust vähendavaks teguriks.

**Raiekohalt varutava puidu kogus:** Arvestatava osa varumiskuludest võivad moodustada raske metsavarumistehnika toimetamine raiekohale ja sealt järgmisele ning tööde alustamise ja lõpetamise kulud. Need kulud ühe tihumeetri puidu kohta on seda suuremad, mida väiksem on raiekohalt varutava puidu kogus ja mida kaugemal oli eelmine ning on järgmine raiekoht. Puidu koguse mõju sortimentide kättehinnade suhtele on üldjoontes sarnane, kuid vastassuunaline, üldiste transpordikulude mõjule. Mida suurem on kogus, seda väiksem on mõju.

**Puistu koosseis, kahjustused ja täius:** Tüverikked muudavad puude ja puistu sortimentatsiooni sarnaselt erineva ühikuhinnaga puuliikide esinemisega puistu koosseisus. Harvendusraietega on võimalik puistu koosseisu muuta paremaks või vahest ka halvemaks nii liigilise koosseisu kui kahjustuste ja rikete mõttes. Sellega muudetakse ka hinnaküpsuse väärtust. Puistute liigilise koosseisu kohta on takseerikirjeldustes üsna usutav andmestik, kuid kahjustuste ja rikete andmed on väga lünklikud ja vigased. Kahjustuste dünaamika kohta napib usaldatavaid üldistatavaid andmeid ka teaduskirjanduses.

Puistu täius mõjustab oluliselt peamiste hinnaküpsust mõjustavate puistu tunnuste – diameeter ja tagavara väärtuse muutumist aga ka tüve vormi ja rikkeid (nt. okslikkust). Leedu metsateadlaste (Кенставичюс и Кулешис, 1976) uurimuses näidati, et lisaks erinevustele boniteedi järgi on küpsusvanus puistutele täiusega 0,6 ligikaudu 5a väiksem kui puistutele täiusega 0,8.

#### Tagasivaate ja prognoosi vahekorra

Hinnaküpsust kujundavate tegurite väärtusi hinnatakse enamasti mineviku järgi, kuid hinnaküpsust vajatakse prognoosi, tuleviku kavandamise tarvis. Seega eeldatakse enamasti, et tegurite väärtused minevikust jäävad samadeks ka tulevikus. Tegelikult enamasti neist tegureist (isegi puistute kasvukõverate kuju) on ajas muutuvad. Mida pikaajalisem on prognoos, seda

kaheldavamaks see muutub. Seetõttu ei oleks õige teha küpsusvanuste lihtviisilist prognoosi noorendikele ja keskealistele puistutele või siis sellisesse prognoosisse tuleks suhtuda vajaliku skepsisega.

Karlsson jt (1997) väidavad (viidates teistele), et sama kõrgusindeksi ja raieringi (50-80a) korral on kuusikute toot endistel põllumajanduskõlvikutel 50-100 tm/ha suurem kui põlisel metsamaal. Väidetakse ka, et endistel põllumajandusmaadel esimese raieringi (eriti alguse) on alustaimestik ebakindel viljakuse indikaator ja kajastab paljuski endist põllumajanduslikku tegevust (lk. 261).

Eesti metsadest on praegu ligikaudu 1/3 esimese raieringi puistud endistel põllumajanduskõlvikutel. Valdavalt on need nooremad metsad. Seda tegurit ei tohi unustada ka küpsusvanuste arvutamisel ja puistute klassifitseerimisel kasvukoha tüüpidesse. Sellegi teguri mõjul, sarnaselt kasvutingimuste paranemise või parandamise mõjule, võib mudelites kasvukõverate kujud muutuda (Nilson ja Kiviste, 1984). Koos sellise muutumisega nihkub ka küpsusvanuse hinnang.

Lisaks on ligikaudu 1/3 meie puistutest mõjustatud viimase poolsajandi jooksul tehtud maaparandustöödest, mistõttu sellel ajavahemikul parandatud maadele rajatud või tekkinud noorendikud on edasises kogu aja, või vähemalt kasvu esimesed kümnendid, kasvanud paremustatud tingimustes. Mõlema viimatinimetatud teguri mõjul kujuneb ühekordse mõõtmisega saadud andmekogumitest (takseerikirjeldused) samuti tegelikku kasvu moonutav pilt – kiirenenud kasv kajastub andmete vanuseridades aeglustuvana (Nilson ja Kiviste, 1984). See peaks ettevaatlikuks muutma suhtumise kasvumudelites (nt. Kiviste, 1997) avalduva soometsade aeglustuva kasvu ilmingutesse võrreldes arumetsadega.

Lõpuks lisandub veel ka kasvutingimuste muutumise mõju globaalsete kliimamuutuste ja saasteväetiste tagajärjel.

Kõik see muudab staatilise minevikupildi (nt takseerikirjelduste vanuseridade) alusel tehtava kasvuprognoosi väga kaheldavaks ja suurendab kõigi küpsusvanuste hinnanguvigu veelgi.

Olukorras, kus turumajanduslikud hinnakujunduse mehhanismid ei olnud Eestis veel välja kujunenud (Toppinen jt, 2005) ja tuli rakendada normatiivseid hindu, püüdis aruande autor ülaltoodud tegureist olulisemaid normatiivsete hindade kujundamisel põhjamaade eeskujul ka arvestada (Metsa hinna ..., 1994).

Kõige eeltoodu põhjal võib oletada, et küpsusvanuse hinnangu viga iga üksiku puistu kohta hinnatud küpsusvanuse ja puistu vanuse mõõduka erinevuse korral võiks olla 10% suurusjärgus. Noortes tavalistes puistutes hinnatud küpsusvanuse hinnangu viga on märgatavalt suurem ja selle kasutamine võimaldab teha vaid väga ligikaudseid prognoose. Küll aga on usaldatavad ja olulised aruandes leitud ja modelleeritud tendentsid ja seosed: alanemine viljakuse paranedes, seos puuliigiga ja puistu koosseisuga jt. Neid tendentside ja seoseid saab ja tuleks kasutada üldiste prognooside tegemiseks, k. a. raiemahtude projekteerimiseks.

### **Kokkuvõte**

**Puistute küpsusvanuse hinnangu viga on metsa tunnuste üldiselt suurte hinnanguvigade hulgas üks suurematest ja neisse hinnangutesse tuleb suhtuda vajaliku skepsisega.** Puistute küpsusvanuse täpne prognoos on praktiliselt võimatu. Isegi konkreetse puistu valitud küpsustunnuse (maht, hind, kasum vmt) äsjase jooksva muudu võrdlemine keskmisega ei ole kindel hinnangu alus ilmastiku- ja majandustingimuste perioodiliste muutuste tõttu. Sellegipoolest on vähemalt üldistuste tasandil küpsusvanuste arvutuslik hindamine paratamatult vajalik.

Arvutusliku hindamise eelis puhtarvamusliku ees on vaieldamatult see, et suur osa arvamuslikke tegureid on asendatud tunnetatud mudelitega, mistõttu **vead arvutuslikes tulemustes jäävad oluliselt väiksemateks puhtarvamuslike omadest.**

Rõhutame lõpuks veel üht väga olulist aspekti. **Kuigi küpsusvanuse regressioonivõrrandite jääkhälve võib olla arvestatavalt suur, on need võrrandid reeglina ka metsatüübiti tegelikkuse paremaks lähendiks, kui metsatüüpidele leitud üksikhinnangud.**

**Regressioonivõrrandid on käesoleva aruande osa, mida võib ja tuleks kasutada küpsusvanustega seonduvate otsuste langetamisel.**

### 3. Puistute kahjustused ja hind

Puude hind sõltub peale nende dimensioonide ka puiduriketest, milleks või lugeda okslikkust, kõverust, liialt suur koonet ja ühe olulise rikkena ka tüvemädanikest tingitud rikkeid. Üht-teist puidurikete esinemise üldiste seaduspärasuste selgitamise kohta leidub ka kirjanduses. Eriti tuleks esile tõsta dotsent Teodor Kriguli uurimusi (1961, 1962, 1965), milliseid kasutati puude sortimenteerimise algoritmi koostamisel. Uuematest uurimustest väärib märkimist Uusitalo J. ja Kivinen V.-P. uurimus (1998) okslikkuse prognoosimiseks mändide kõrguse ja diameetri järgi. Venemaal oli puude takseerkirjelduste põhjal sortimenteerimise uuringute liidriks Leningradi koolkond A. G. Moškaljovi juhtimisel (vt nt Мошкaлeв и др, 1982). Haavataeliku kahjustuse kohta oli võimalik kasutada põhjalikke andmeid prof. Ülo Tamme töödest (1978, 2000), samuti Leedu uuringuid (Микалайкевичус, 1959)

Kahjustatud puude protsendi määramiseks puuliigi ja selle keskmise vanuse (A) järgi kasutasime esmalt Vabariigi Valitsuse määruse 09. okt. 2008 nr 150 lisas 4 antud algoritmi: *Tsitaadi algus:*

6. *Leitakse kahjustatud puude osakaal. Soovitav on võtta kahjustatud puude osakaal takseerandmetest. Kui seda takseerandmetes ei ole, tuleb kasutada vanusega seotud kahjustatud puude osakaalu mudelit. Kahjustatud puude osakaalu leidmiseks on valem:*

$$kah\% = 100 * ((A/(A+1))^{(a_1/A)^{a_2}})$$

*kus kah% – kahjustatud puude osakaal, %*

*A – vanus, (a)*

*a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> – parameetrid tabelist 4.6*

**Tabel 4.6. Kahjustatud puude osakaalu leidmise valemi parameetrid**

	MA	KU	KS	HB	LM	LV	Kõvalehtpuud
a <sub>1</sub>	9000000	1300000	700	145	250	60	10000000
a <sub>2</sub>	0,5	0,5	2	3,5	3	6	0,5

*Tsitaadi lõpp.*

Algoritmi tegelikuks koostajaks on EMÜ teadur Allar Padari. Ülesande püstitajana ja juhendajana osales k. o. aruande autor. Kõige usaldusväärsemaks algandmestikuks oli prof. Ülo Tamme (1978, 2002) haavataeliku viljakehade leviku andmestik haavikutes.

Kahjustustena vaadeldakse peamiselt mudelis vanusest sõltuvaid puidu hinda alandavaid tüvemädanikke ja tüvesse levivaid juuremädanikke. Nt põdrakahjustus (koorimine) koheselt puidu hinda oluliselt ei alanda, kuid teeb seda mõni aasta hiljem kooritud osa kasvu seiskumisest tingitud tüve kuju moonandumise ja hiljem tüvemädanike tekkimise tõttu.

Kirjeldatud algoritm realiseeriti funktsioonina Kahj (lisatud).

```
FUNCTION Kahj
PARAMETERS pl,a_p
DO CASE
CASE pl='MA'
  B1_=9000000
  B2_=0.5
```

```
CASE pl='HB'
  B1_=145
  B2_=3.5
CASE pl='KU'
  B1_=1300000
  B2_=0.5
```

```

CASE pl='KS'
  B1_=700
  B2_=2
CASE pl='LM'
  B1_=250
  B2_=3
CASE pl='LV'
  B1_=60
  B2_=6
CASE pl$'TASAVAJAKP'
  B1_=10000000
  B2_=0.5
ENDCASE
RETURN (A_P/(A_P+1)**((B1_/A_P)**B2_))
ENDFUNC

```

Nimetatud määruse kohaselt korrigeeritakse edasises puude hinda määruse lisa 4 tabelis 4.7 toodud sortimentide muutuse kaudu kahjustatud puudes.

Käesolevas töös sortimenteerimist ei simuleeritud ja puuliigi ühikuhind arvutati kaheastmelise üldistusena. Esmalt modelleeriti kahjustamata puude ühikuhind puuliigi, selle vanuse, kõrguse ja diameetri funktsioonina kasutades selleks Allar Padari poolt sortimenteerise ja hindamisega genereeritud andmeid. Saadud võrrandid on arusaadaval kujul esitatud funktsioonina Yhind.prg.

```

FUNCTION YHind
PARAMETERS pl_,H_,D_
!* Alg tulemused Mudel1.dbf: mudnr=27677-27700, tingimus D>11 and bon<4
DO case
CASE pl_='HB'
  RETURN -63.6+249.3*log(log(D_))+7.033*H_/D_      &&HB e=2.77
CASE pl_='KS'
  RETURN -349+251.5*log(D_)+17.93*H_/D_          &&KS e=2.72
CASE pl_='KU'
  RETURN -96.9+ 1084*log(log(D_))+49.49*H_/D_ -178*log(D_) &&KU e=2.23
CASE pl_='MA'
  RETURN -382+ 2752*log(log(D_)) -700*log(D_)+33.11*H_/D_ &&MA e=3.46
CASE pl_='LM'
  RETURN -109+613.3*log(D_)-1399*log(log(D_))+15.11*H_/D_ &&LM e=3.09
CASE pl_='LV'
  RETURN -65.3+ 1204*log(log(D_)) -367*log(D_)+37.84*H_/D_ &&LV e=7.48
CASE pl_='SA'
  RETURN 1557+934.8*log(D_) -675*log(log(D_))          &&SA e=30.67
CASE pl_='TA'
  RETURN -1974+ 5122*log(log(D_))-1048*log(D_)+96.52*H_/D_ &&TA e=24.08
ENDCASE
ENDFUNC

```

Tähistus &&PL e=XX.XX võrrandi järel näitab lähendi juhuslikku viga kr/tm tingimusel  $D > 11$  and  $bon < 4$ . Suurem osa veast on tingitud algse hinna väikestest murrangutest uute sortimentide lisandumisel seoses puude diameetri ja kõrguse suurenemisega.

Seejärel lähendati ühikuhinna langust kahjustatud puudel. Selgus, et enamusele puuliikidest sobis korrigeerimiskordajaks avaldis  $(1 - 0.5 * KahjustOsa(PL, A))$  ainult kasele saadi lähend, kus kordaja 0.5 asemele tuli avaldis  $1.3 * D/A$  ja kuusele  $1.7 * D/A$ , seega kasele  $(1 - 1.3 * D/A * KahjustOsa(PL, A))$  ja kuusele  $(1 - 1.7 * D/A * KahjustOsa(PL, A))$ .

Nii siintoodud parandi kui Vabariigi Valitsuse määruse nr 150 lisa 4 tabeli 4.7 nõrgaks küljeks on see, et seal ei arvestata kahjustuse vanuse mõju. Nt haavataeliku vana kahjustus võib haaviku või ühe puu hinna muuta isegi negatiivseks – raiega saadud toodang ei kata enam varumiskulusid, kuid äsja alanud kahjustuse mõju võib osutada tühiseks.

Ühe võimalusena mudeli arendamiseks kahjustuse vanuse arvestamise suunas võiks kaaluda nt korrigeerimiskordaja kasutamist kujul

$$(1 - a * KahjustOsa(PL, A) - b * KahjustOsa(PL, A - c)),$$

kus kordajate a ja b ning lahutatava c valikuga võib loodetavasti saada tegelikele andmetele piisavalt hea lähendi. Praegusel hetkel andmeid parameetrite a, b ja c hindamiseks ei ole.

Puistu hinna arvutuste aluseks olid vahelao hinnad kui ainsad usaldusväärsed ja kasutamiseks sobivad. Metsakasvatuse optimeerimiseks oleks vaja teada kasvava metsa hinda, mistõttu viimase parandina lahutati tihumeetri hinnast varumiskulu kannult vahelaoni. Täpsemaks raiekulude arvutamiseks saab kasutada Vabariigi Valitsuse määruses 09. okt. 2008 nr 150 lisas 6 antud algoritmi:

1. Raiekulu arvutamise valem

Likviidset metsamaterjali andvate metsaraiete raiekulu arvutatakse järgmise valemiga:

$$RK = (a_1 + 2/(0,01 + v)) + a_2 \times KVK \times (1 + HR_k + TR_k)$$

kus:  $RK$  – raiekulu  $kr/m^3$

$v$  – keskmine raiutav tüvemaht,  $m^3$

$KVK$  – keskmine kokkuveokaugus,  $m$

raiekulu arvutusvalemi kulukonstandid:

$a_1$  – minimaalne ülestöötamiskulu = 120  $kr/m^3$ ;

$a_2$  – 1  $m^3$  materjali keskmine veokulu meetri kohta = 0,06  $kr/m$

$HR_k$  – harvendusraie kulukonstant = 0,25

$TR_k$  – talvise raie kulukonstant = 0,1.

Simuleeritud raie korral meie lähteandmetest kokkuveokauguse andmed puudusid. Seega oli võimalus see fikseerida mingil keskmisel tasemel ja kuna harvendusraiet ei simuleeritud, siis ka harvendusraie parandit ei arvestatud. Keskmiseks kokkuveo kauguseks võtsime 400m ja loobudes ka sesooni parandist, saame lihtsustatud võrrandi, kus ainsa muutuva suurusena arvestatakse keskmist tüvemahtu  $v$

$$RK = 144 + 2/(0,01 + v).$$

Varem (2005a) kasutatud varumiskulule 165 $kr/m^3$  vastaks kokkuveo kauguse 400m korral keskmine tüvemaht 0.085  $m^3$ .

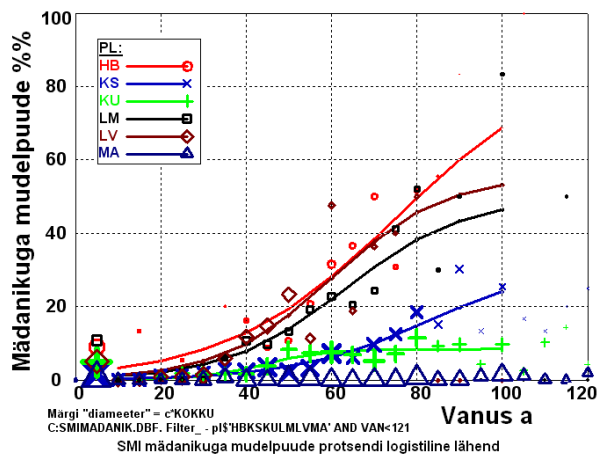
### **VV Määruse nr. 150, 09. okt. 2008 kahjustuste mudeli (edasises mudel AP) kõrvutamine SMI kahjustatud mudelpuude arvu andmete lähendiga (edasises mudel SMI).**

Mudeli AP koostamisel RMK infosüsteemi tarvis oli võimalik tugineda Ülo Tamme andmetele haavataeliku viljakehadega haabade protsendi sõltuvusest haaviku vanusest. Lähendil pole arvestatavat süstemaatilist viga. Käesoleva aruande jaoks saime lisaks kasutada veel V. M. Mikakaikevičuse (1959) andmeid, millised samuti sobisid AP mudeli andmetega. Algandmed kajastasid viljakehade ilmumist tüvele, kuid südamemädanik algab aastaid varem.

Kahjustatud haava mudelpuude protsent SMI andmeis osutus viidatud eriuurimuste omast ligikaudu 2 korda väiksemaks, kuid selle funktsiooniga rth.crs modelleeritud kahekordne suurus osutus väga sarnaseks mudeli AP omaga ületades viimast vanuses alla 30 aasta ja kajastades seega oletatavalt viljakehade teket ennetavat mädanikukahjustuse esinemissagedust mudeli AP omast paremini. Kuna selline kahekordne SMI mudel (edasises SMI2) sobis hästi haavikute eriuurimuste andmetega ja AP mudel oli teiste puuliikide osas vaid eksperthinnanguile tuginev, siis peame mudelit SMI2 realistlikumaks mudelist AP. Mudel SMI2 on paremas kooskõlas ka A. G. Moškaljovi jt (Мошкалев и др., 1982) andmetega kahjustatud puude ja mahu protsendist Loode-Venemaa proovitükkidel.

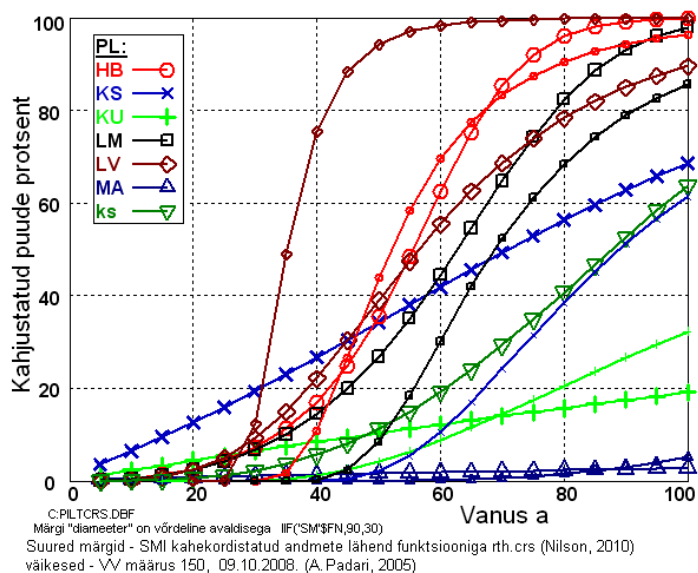
Illustreerime SMI andmeid alltoodud joonisega.





Joonis 3.1. Kahjustatud mudelpuude protsent (sümbolid) SMI andmeis ja selle logistiline lähend (jooned).

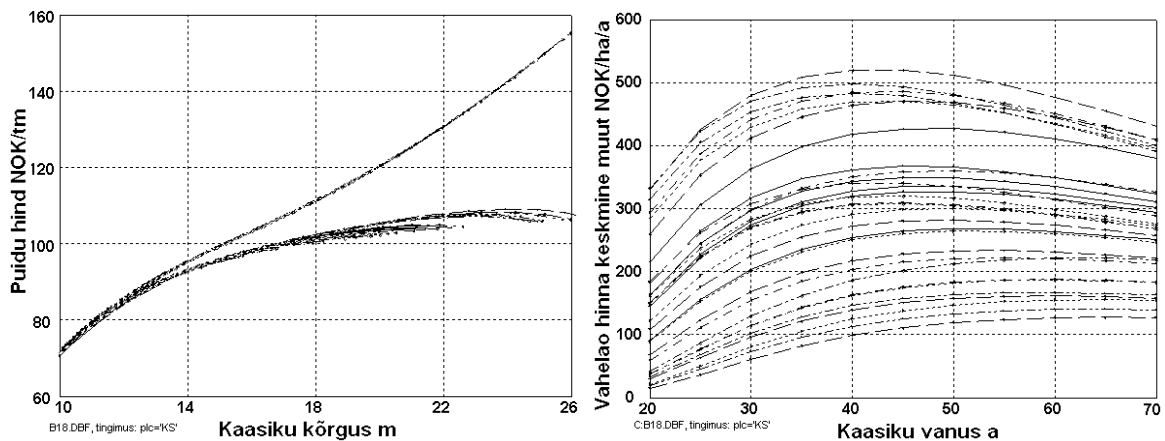
Mudelite AP ja SMI2 võrdlemiseks toome järgmise joonise.



Joonis 3.2. Kahjustatud puude protsendi võrdlus AP (väikesed tähised) ja SMI2 (suured tähised) hilisemas tekstis mudelite lisatähisena „crs” mudelite järgi. Kase kohta on joonisel 2 lähendit: sinise kaldristidega - Loode-Venemaa (Мошкалев и др., 1982 ja tumerohelise kolmnurkadega – SMI kolmekordsete) andmete lähendid. Eelistada tuleks viimast (või kasutada kahe keskmist).

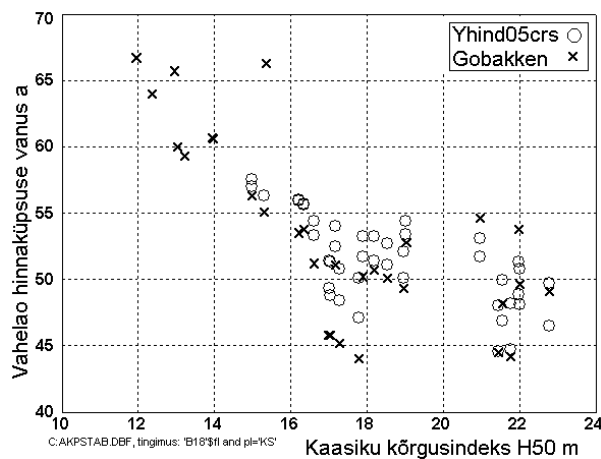
Kõige enam erinevad mudelid leppade osas, kus mudelid SMI2, võrreldes mudeliga AP, osutusid märgatavalt sarnasemaks haava kahjustuste pildile.

Kaasikute hinna ja hinnaküpsuse võrdlemiseks oli võimalik kasutada T. Gobakkeni (2000) võrrandit, kus puidu ühikuhind sõltus vaid kaskede kõrgusest. Korrigeerisime seda jagades alltoodud kahjustuse mudeli SMI2 järgi kahjustatud puudel sortimentide (grade) 1 ja 2 hinda kahega (kahjustatud puudel sisuliselt nihe taseme võrra allapoole).



Joonis 3.3. Kaasikute puidu ühikuhind (vasemal) T. Gobakkeni (2000) võrrandi järgi (ülemine joon) ja korrigeerituna SMI2 kahjustuse mudeliga (alumine joonte põimik) Andres Kiviste 1997a mudeli andmeil. Paremal hinna keskmine muut Norra kroonides samadel andmetel.

Andres Kiviste 1997a mudeli andmeist saime joonise 3.3 parempoolses osas toodud vahelao hinna keskmise muudu kõverad, milliste kulminatsioon on paremais ja keskmise viljakusega kasvukohatüüpides enamasti 40 ja 50a vahel ja vaid kõige kehvemates ületab 65a. Täpsem kaasikute vahelao hinnaküpsuse vanus Gobakkeni korrigeeritud funktsiooni järgi on esitatud joonisel 3.4. Tulemus paremaboniteediliste kaasikute osas praktiliselt ei erine meie hinna funktsiooni ja funktsiooni SMI2 (kahjuers) kombinatsiooniga Yhind05crs saadust. Gobakkeni funktsiooniga on täiendavalt lisatud tulemused kuue väheesindatud madalaboniteedilise kaasiku kohta.

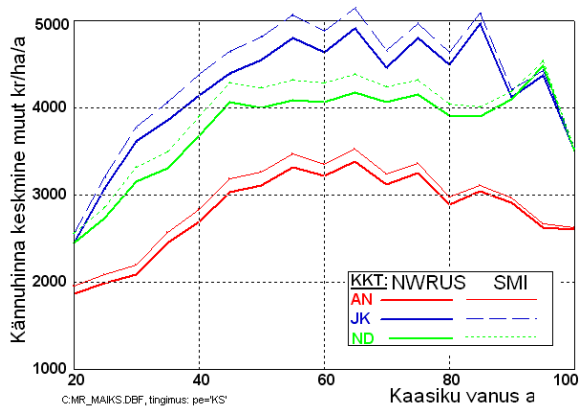


Joonis 3.4. Kaasikute vahelao hinnaküpsus T. Gobakkeni (2000) kahjustuste arvel korrigeeritud hinna funktsiooni ja funktsiooni Yhind05crs järgi arvatuna Andres Kiviste 1997a mudeli andmeist.

Gobakkeni originaalfunktsioon sobiks vaid täiesti tervetele kaasikutele, milliseid on hooldatud vineeripaku, kui sihtsortimendi, saamiseks. See tähendab, et suhe D/H peaks küpsusvanuses olema ligikaudu 1,25. Meie kaasikutes on see suhe keskmiselt alla 0,95. Gobakkeni originaalfunktsiooni järgi kaasikute hinnaküpsuse vanust meie algandmete piirkonnas veel ei saabugi.

**Funktsioon SMI2 kahjustatud puude kahekordse protsendi arvutamiseks.**

```
FUNCTION kahjucls
PARAMETERS pl_,a_
DO case
CASE pl_='MA'
  c_=42.75
  r_=123.38
  s_=0.4907
CASE pl_='KU'
  c_=496.6
  r_=0.9974
  s_=0.9683
CASE pl_='KS'  &&SMI3x
  c_=110.83
  r_=0.5897
  s_=3.310
CASE pl_='ks'  &&NWRus
  c_=16.86
  r_=14.42
  s_=0.7004
CASE pl_='HB'
  c_=33.85
  r_=15.299
  s_=2.071
CASE pl_='LM'
  c_=49.46
  r_=4.870
  s_=2.399
CASE pl_='LV'
  c_=151.85
  r_=0.029
  s_=3.596
ENDCASE
RETURN 1-r_/(exp((a_/c_)^s_)+r_-1)
ENDFUNC
```



Joonis 3.5. Känuhinna keskmine muut (mai) kase vanuse järgi kase kahjustatud puude sageduse erinevate mudelite korral funktsioonis YHIND05crs: Loode-Venemaa proovitükkide andmete järgi (joonisel tähis NWRUS) ja SMI andmete (joonisel tähis SMI) järgi. Lahknevus pole suur. Küpsusvanuse ümbruses on känuhinna keskmise muut ise SMI andmete järgi suurem, kuid muudu suhteline langus kiirem. Küpsusvanus kujuneb SMI mudeli järgi keskmiselt aasta-paari võrra väiksemaks, kuid hinna muudu väärtus suuremaks.

Kahjustatud puude sageduse suurenemine vanusega on SMI andmete järgi loogilisem. Edasises kasutasime SMI andmeile tuginevat mudelit.

## 4. Metsamaa ja puistu kompleksi hinnaküpsus ehk normküpsus segapuistutes

### 4.1. Normküpsuse mõistest

Alljärgnevas peatükis on näidised kriitilise vanuse kohta, mil hinna jooksev muut kahanemise faasis langeb alla normiks valitud keskmise muudu. Pärast seda vanust puistu hakkab maatüki hinnatoogi võimet alakasutama (raiskama). Nimetame edasises sellise meetodiga hinnatud küpsust norm-hinnaküpsuseks või lühemalt normküpsuseks.

Hinnatoogi normi kehtestamine on võimalik puhtformaalselt ja justnagu objektiivselt – suurima toogiga puistu hinna keskmine muut küpsusvanuses. Kuid selline lähenemine ei sobi praktiliselt. Tegelikult normtoogiks võiks võtta valitud struktuuriga tulevase asenduspuistu hinna keskmise muudu küpsusvanuses, millest tuleks lahutada sellise puistu rajamiseks tehtavate lisakulutuste jagatis küpsusvanuse väärtusega. Nende valikute taga on paratamatult metsaomaniku subjektiivne otsustamine. Normküpsuse rakendamine on õigustatud vaid siis, kui otsustajal on piisavalt usku positiivse prognoosi realiseerumisse.

### 4.4. Normküpsuse arvutamine süsteemsete kasvumudelite baasil

Normiks võtsime esialgu okaspuu enamusega või seguga puistutele 90% vastava okaspuu hinna keskmisest muudust hinnaküpsuse vanuses. Ainult lehtpuude segude korral võeti aluseks kase hinna keskmine muut hinnaküpsuse vanuses. Okaspuude normi kasutamisel enamuse lehtpuu segude jooksev hinna muut ei küündinuks üldse normini. Sellest ka veidrad erinevused. Kui üldiseks normiks võtta okaspuude hinna muut, siis erinevused väheneksid ja ainult lehtpuude segu korral langeks nende segude aluse maa hinnaküpsuse vanus 30 aasta ümbrusse.

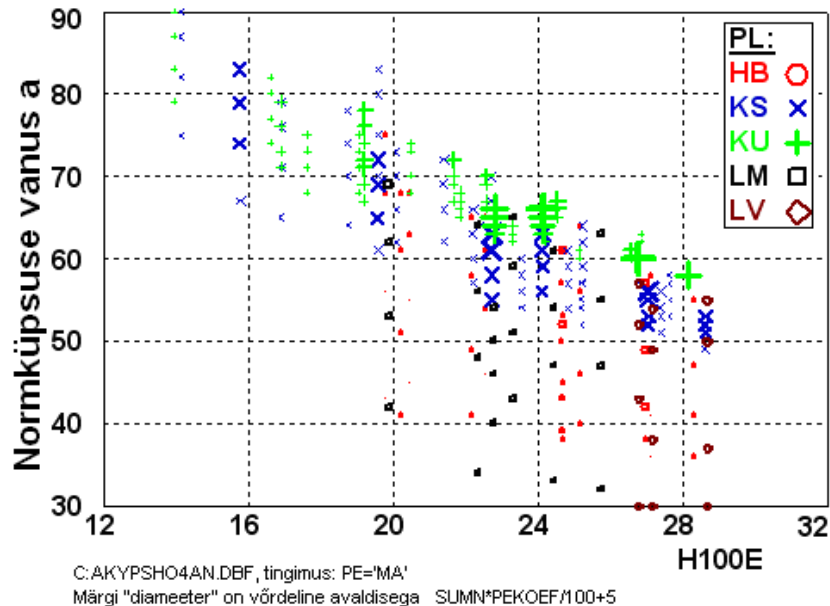
Normi  $\text{kr} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  võrranditena kasutasime esialgu:

$$\text{KS: norm} = -368.074 + 15.765351 \cdot h50e^{1.5}$$

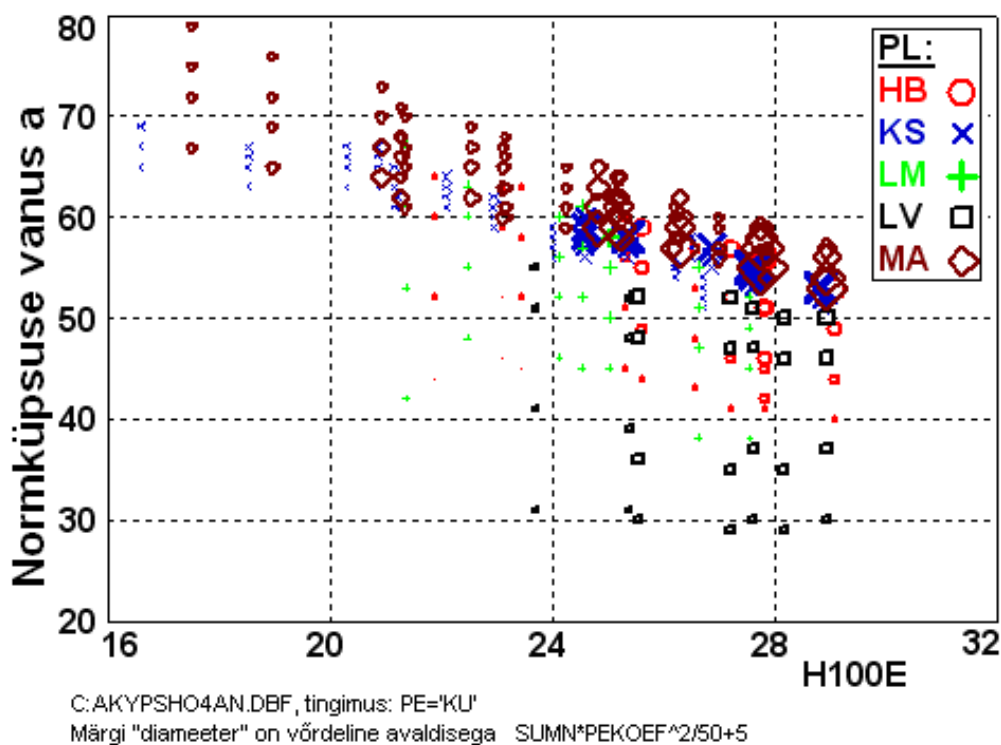
$$\text{KU: norm} = 0.9 \cdot (-203.700 + 28.190921 \cdot h50e^{1.5})$$

$$\text{MA: norm} = 0.9 \cdot (-35.1591 + 24.205552 \cdot h50e^{1.5})$$

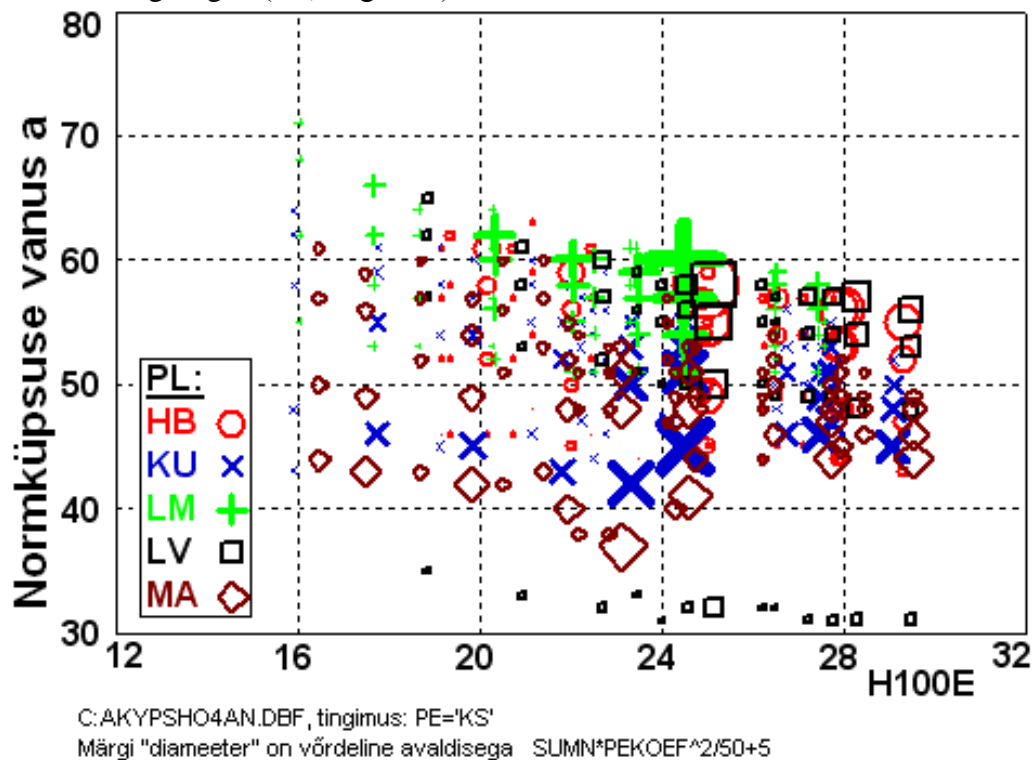
Seguliigi PL märkide suurus järgnevalt joonistel 4.1..4.6 kajastab kaht tunnust – esiteks on vertikaalse märgirea suurima märgi suurus võrdeline segu modelleerimisel kasutatud kirjete arvuga SUMN ja kajastab seega vastavate segude esinemissagedust metsaregistri andmetes. Vertikaalset tulpa pidi on märkide suurus võrdeline enamuspuliigi osaga puistu koosseisus. Puuliikide märgistus erinevalt joonistel ei ole sama, seda tuleb jälgida iga joonise legendilt.



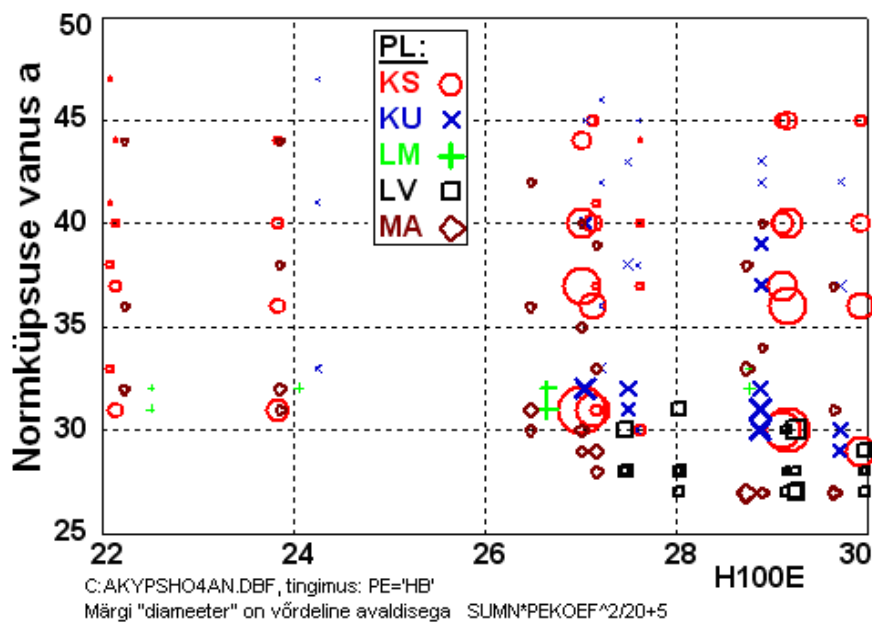
Joonis 4.1. Normküpse vanus männikutes sõltuvalt männi kõrgusindeksist H50E, osast koosseisus (märgi suurus vertikaalseis märgitulpades kahaneb männi osa vähenemisega) ja sõltuvalt seguliigist (PL, tingimärk)



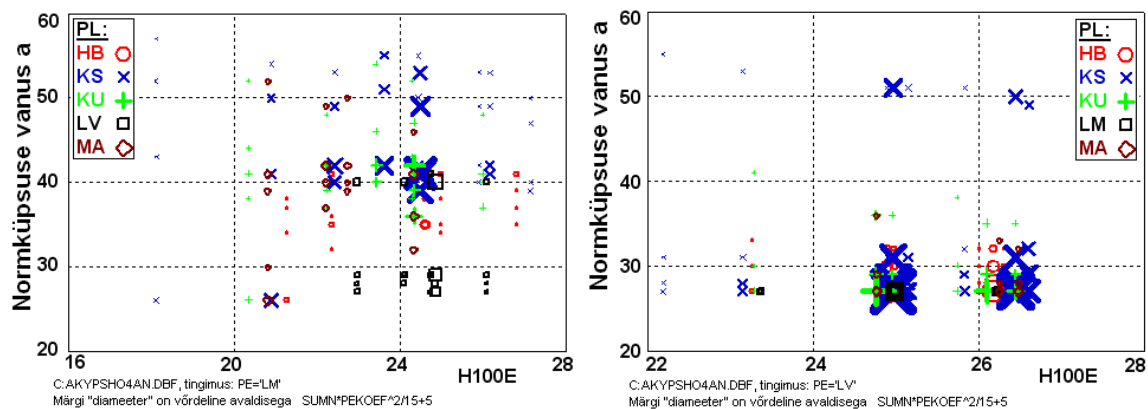
Joonis 4.2. Normküpseuse vanus kuusikutes sõltuvalt kõrgusindeksist H50E, kuuse osast koosseisus (märgi suurus vertikaalseis märgitulpades kahaneb kuuse osa vähenemisega) ja sõltuvalt seguliigist (PL, tingmärk)



Joonis 4.3. Normküpseuse vanus kaasikutes sõltuvalt kõrgusindeksist H50E, kase osast koosseisus (märgi suurus vertikaalseis märgitulpades kahaneb kase osa vähenemisega) ja sõltuvalt seguliigist (PL, tingmärk)



Joonis 4.4. Normküpseuse vanus haavikutes sõltuvalt kõrgusindeksist H50E, haava osast koosseisus (märgi suurus vertikaalseis märgitulpades kahaneb haava osa vähenemisega) ja sõltuvalt seguliigist (PL, tingmärk)



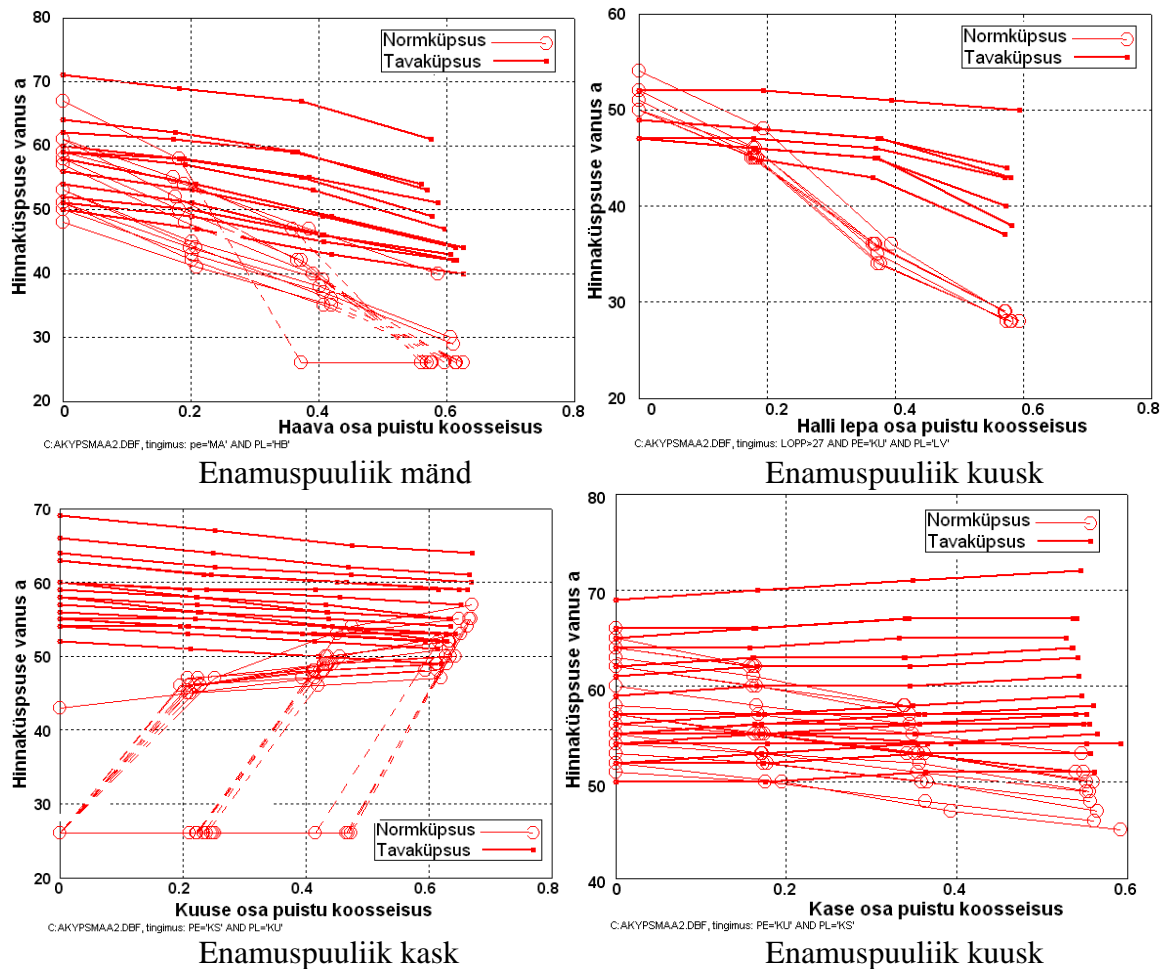
Joonis 4.5. Normküpseuse vanus sanglepikutes sõltuvalt kõrgusindeksist H50E, sanglepa osast koosseisus (märgi suurus vertikaalseis märgitulpades kahaneb sanglepa osa vähenemisega) ja sõltuvalt seguliigist (PL, tingmärk)

Joonis 4.6. Normküpseuse vanus hallilepikutes sõltuvalt kõrgusindeksist H50E, halli lepa osast koosseisus (märgi suurus vertikaalseis märgitulpades kahaneb halli lepa osa vähenemisega) ja sõltuvalt seguliigist (PL, tingmärk).

Joonistest 4.1-4.6 selgub, et normküpseuse vanus sõltub sarnaselt puistu enese hinnaküpseusega peamiselt puistu kõrgusindeksist ja enamuspuliigi (või seguliigi) osast puistus. Sõltuvus on erinev erinevate segude (enamspuuliik ja seguliik) korral. Odavate puuliikide (haava ja leppade) segu alandab küpsusvanust tugevasti, kase segu okaspuu puistutes mõnevõrra vähem. Kuuse segu männikutes alandab küpsusvanust pisut vähem kui tõstab männi segu kuusikuis.

Üllatavalt madal normküpseuse pilt puhtais kaasikuis jt potentsiaalselt okaspuu seguga lehtpuuenamusega puistutes võrreldes teiste potentsiaalse lehtpuuseguga puhtkaasikutega tuleneb sellest, et lehtpuu segude korral kasutati etalonina kase normi, okaspuu segude korral aga vastava okaspuu normi (joonised 4.4-4.7).

Enamusliigi osa mõju segapuistuga hõlvatud maa normküpseusele selgub ilmekamalt jooniselt 4.7. Sellelt selgub, et metsamaa normküpseuse vanus muutub peamistel enamuspuliikidel (MA, KU, KS, HB) ligikaudu lineaarses seoses enamuspuliigi osa muutumisega.

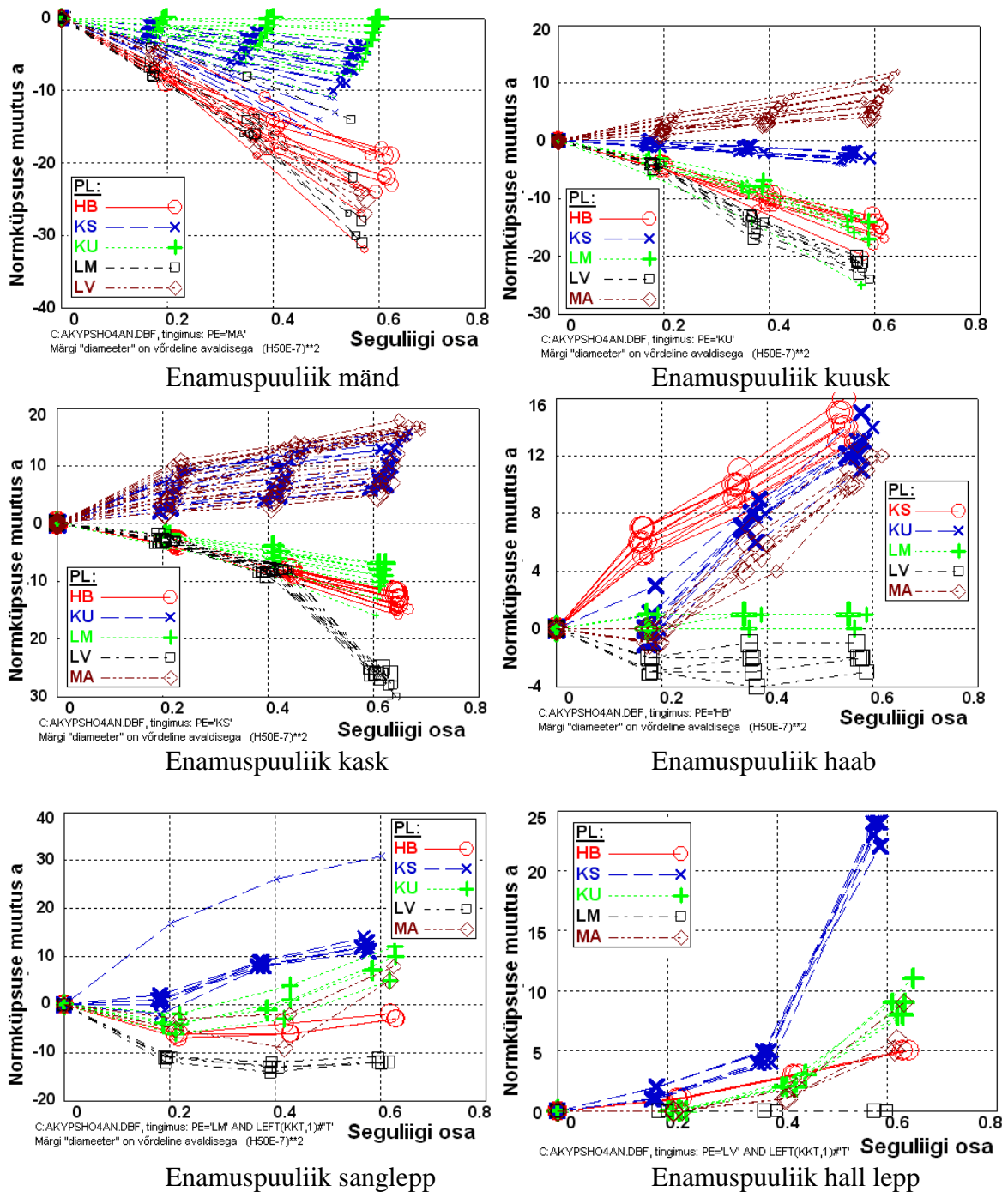


Joonis 4.7. Metsamaa norm- ja tavaküpsuse sõltuvus sellel kasvava puistu koosseisust (siin segupuuliigi osast. Normiks võeti 90% kuuse ja männi puhtpuistute kõrgusindeksi järgi lähendatud hinna keskmise muudu poolsummast.

Osal kase enamusega kuuse seguga viljakamatest puistutest (all vasemal) ei jõua hinna jooksev muut normini alates simulatsiooni algusest (27 a). See on ilmikas näide olukorrast, kus arvutuslik tulemus ei pruugi olla otstarbekas. Kuuse ja kase 27a vanuses segapuistus saab selles kuuse osalust selektiivsete harvendusraietega veel oluliselt suurendada. Sellisel juhul saab lahenduseks olla nt kuuse tegeliku osaluse asemel selle realistlik prognoos. Tühine kuuse osa suurendamine või normi tühine alandamine võib viia normküpsuse väärtuse hüppeliselt 50a lähistele. Trajektoor sinna ei ole reaalne ja on seepärast tähistatud katkendjoontega. Raiuda viljakaid kuuse seguga kase enamusega puistuid uuendusraietega 27a vanuses või varem oleks absurdne. Antud juhul on põhjuseks ebaõnnestunud normi valik okaspuude järgi.

Seguliikide mõju erinevate enamuspuliikide korral tuleb veelgi ilmekamalt esile joonisel 4.7., kust selgub, et seguliikide mõju normküpsuse vanusele on sõltuv ka puistu kõrgusindeksist (boniteedist).





Joonis 4.8. Metsamaa normkõpsuse sõltuvus sellel kasvava puistu koosseisust (siin segupuuliigi osast) enamuspuliigiti sõltuvalt seguliigist PL. Joonte lahknevuse peamiseks põhjuseks on kõrgusindeksi (boniteedi) erinevus. Siin kasutati erinevat normi enamus- ja segupuuliigiti (vt 3 võrrandit k. o. jaotise alguses). „Odavatele” lehtpuudele (HB, LM, LV) valitud norm oli ilmselt ebasobiv.

Vahekokkuvõtteks:

Normkõpsuse mõningane tõus mõnedes okaspuu puhtpuistutes võrreldes tavakõpsusega tuleneb kriteeriumi vähendamisest 10% võrra.

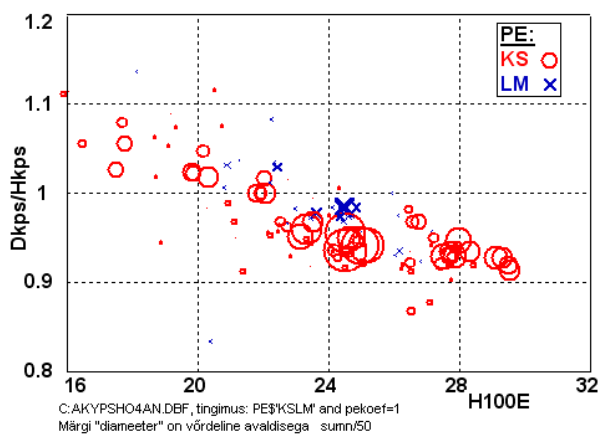
Halli lepa osaluse korral tuleb arvestada, et nt halli lepa 50% osalus puistus täiusega 100% on hinna ja metsa kasvu mõttes tunduvalt halvem kui lihtsalt täius 50%, sest halli lepa müügihind meie mudelite järgi enamasti ei kata raiekulusid, kuid ta kasutab poolt maatüki

kasvuressurssidest. Vaid naadi ja sinilille tüübis ületab halli lepa müügihind vahelaos napilt varumiskulusid.

Kui aga halli lepa 50% osalus on puistus täiusega 70%, siis hinna toogi mõttes on puistu täius ligikaudu 35%. Üldjuhul on hall-lepik normhinnaküps alates tekkimise momendist. Halli lepa enamusega segapuistute korral lõikab jooksva muudu joon kase normi taset 50a ümbruses vaid siis, kui kase segu moodustab koosseisust ligikaudu pool. Kuuse ja männi segu korral osutub okaspuude järgi määratud norm sedavõrd kõrgeks, et halli lepa enamasti negatiivse kännuhinna mõjul lõikab jooksva muudu joon normi taset vaid jooksva muudu kulminatsiooni lähistel. Okaspuude normi järgi on hall-lepik ka segu olemasolul hinnaküps vaid mõni aasta hiljem puhthall-lepikust. Samalaadsed ilmingud avalduvad ka sanglepa enamusega puistutes.

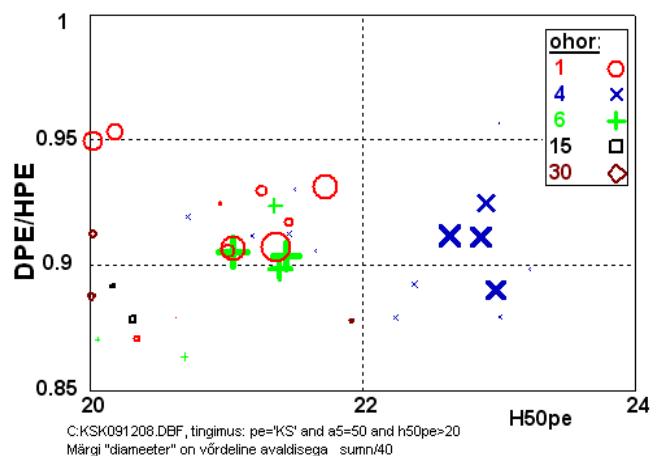
Kõigis toodud näidetes on lehtpuude hinnatootlikkus okaspuude omaga võrreldes sedavõrd madal, et lehtpuude kasvatamine tundub rahaliselt mõttetuna. Nii see ongi meie metsade majandamise traditsioonide tingimustes. Arvutused on tehtud Eesti puistute vanuse ja puude dimensioonide tingkeskmiste (moodpuistute) seoste alusel. Lehtpuu puistuid on vähe hooldatud, mistõttu puude diameetri kasv on suhteliselt aeglane ja enne väärtsortimentide (nt. vineeripaku) dimensioonideni jõudmist hakkavad vanusega jõudsasti suurenema südamemädaniku kahjustused.

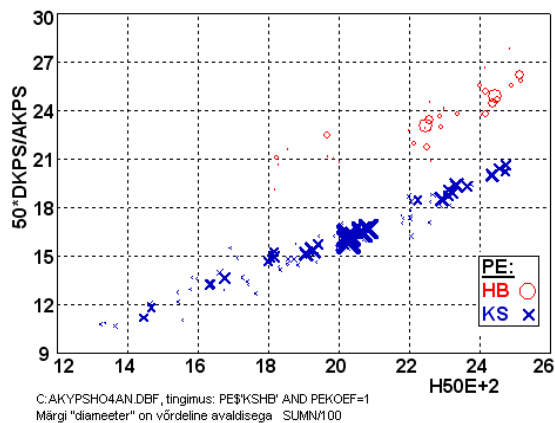
Rootsi kolleegide koostatud sisukas brošüüris Sammhaaval äratasuva lehtpuumetsani (1999) kirjeldatakse rahaliselt lootusetut olukorda, mis tekitab, kui nt. kase suhteline võra pikkus, mis peaks olema vähemalt  $\frac{1}{2}$ , on jäänud lühemaks kui  $\frac{1}{3}$  puu kõrgusest. Viimatinimetatu ongi meie kaasikuile tüüpiline seisund. Illustreerime öeldut järgmiste joonistega.



Joonis 4.10. Paremaste ( $H_{50} > 20m$ ) kaasikute diameetri ja kõrguse sajakordne suhe ( $DPE/HPE$ ) vanuses 50a kõrgusindeksi  $H_{50E}$  funktsioonina otse metsaregistri algandmetest.

Joonis 4.9. Kaasikute ja sanglepikute diameetri ja kõrguse sajakordne suhe ( $Dkps/Hkps$ ) hinnaküpsuse vanuses kõrgusindeksi  $H_{100E}$  funktsioonina meie simulatsioonimudelil. See suhe peaks brošüüri Sammhaaval... (1999) järgi parimais boniteediklassides olema ligikaudu 1,25, meil on aga vähem kui 0,95.





Joonis 4.11. Kaasikute ja haavikute keskmine rinnasdiameeter taandatuna hinnaküpsuse vanusest vanusele 50a ligikaudse ülakõrguse H50E+2 funktsioonina.

Brošüüri Sammhaaval ... (1999) joonise 7a kohaselt peaks ka meie parimate kaasikute (ülakõrgusega 26m) diameeter 50a vanuses olema 30cm. Meie kaasikute märgirea pikendus ülakõrguse 26m väärtuseni annab sellest väärtusest vähem kui 75%. Joonistel 4.9 ja 4.10 näidatud suhe peaks sama brošüüri järgi parimais

boniteediklassides olema ligikaudu 1,25, meil on aga vähem kui 0,95.

Juhul, kui kaasikuid ja sanglepikuid hooldada viidatud brošüüri soovitude kohaselt, oleks diameetri kasv jõudsam ja kaasikute ning sanglepikute hinnatootlus läheneks okaspuude omale. Kaasikute uurija prof. Olev Henno on väitnud, et Eesti kaasikud kuuluvad maailma parimate hulka. *Seega peaks meie kaasikute näol olema eeldus väärtusortimentidele tuginevate, edasises töö- ja lisaväärtuse mahukate töötlemisprotsesside arendamiseks, mis oleks kasulik mitte üksnes metsaomanikele vaid riigi kogu majandusele.*

Selliste soovitude rakendamisele on oluliseks takistuseks meie riiklikud harvendusraie normatiivid, mis sunnivad soovitusi järgida püüdvat metsaomanikku või –majandajat balansseerima seadusrikkumise (st. kuriteo) piiril. See olukord ei ole kuigi atraktiivne, eriti kui arvestada, et tulemuseni jõutakse alles aastakümnete pärast aga seadusrikkuja häbi ja karistus võib saabuda koheselt.

Siinkohal tasub uuesti meenutada ka halli lepa kohta tehtud kommentaare. Majanduslikult võib olla tark otsus raiuda puistust 50KS 50LV täiusega 80% esimese harvendusraiega välja kogu hall-lepp (kui see paikneb enam-vähem ühtlaselt) ja viia puistu täius ajutiselt tasemeni 40% või lähtudes mingist teisest algseisundist koguni täiuseni 30-35%. Muidugi tuleks taolist väärtusortimentide kasvatamisele orienteeritud majandamist alustada juba puhastusraietega, kuid tänaseks on meile pärandatud teistsugune mets!

Pole välistatud, et ka k. o. töös kasutatud mudel annaks diameetri kasvu kiirenemise korral lehtpuudele küll samalaadsed küpsusvanused, kuid märgatavalt suurema küpsusdiameetri ja hinna suurema keskmise muudu.

***Metsamaa hinnaküpsus sõltub puistu koosseisust tunduvalt tugevamini, kui varem soovitatud (Nilson, 1979, 1980, 2002) koosseisu järgi kaalutud keskmise raievanusena. Ettepaneku ignoreerimine tähendas ligikaudu 30a pikkust silmade sulgemist ilmselge nähtuse suhtes ja väärotsuste tegemist ning seadustamist.***

### 4.3. Normküpsuse arvutamine detailsete kasvumudelite järgi

Puistute kasvu modelleerimiseks katsetati ka meetodit, kus kõrguse ja diameetri kasvuvõrrandite kõik 3 parameetrit hinnati metsatüübi (KKT+PE) ja seguliigi (PL) kõigi kombinatsioonide tarvis eraldi. Saadi kokku 3448 võrrandit, millistest väga defektseteks osutusid 920 (ligikaudu ¼). Nende defektsete juhtude korral oli tegemist enamasti väga väikese valimiga (igal keskmiselt 5 kirjet algandmete baasis). Edasistes arvutustes kasutasime vaid 862 võrrandit valimi mahtudega igal vähemalt 2000 kirjet. See võrrandite komplekt ei kata kogu tunnuste komplekti KKT+PE+PL varieeruvust ja seda ei saa ilma täiendavate meetmeteta kasutada üldise mudelina. Küll aga sobib taoline algandmeid hästi järgiv võrrandite komplekt metsa hinnaküpsuse vanuse hinnangute testimiseks maa parima kasutamise kriteeriumi järgi.

Alljärgnevas kirjeldatakse katsetusi segupuuliikide mõju kohta puistu hinnaküpsusele selle tundlikuma meetodi järgi, kui hinnaküpsust määrata maatüki parima kasutamise põhimõtte kohaselt. Hinna muudu etaloniks või normiks võeti sama kõrgusindeksiga puhtpuistu hinna keskmise muudu ja kõrgusindeksi seose võrrand, millest lahutati võrrandi kolmekordne jääkstandardhälve.

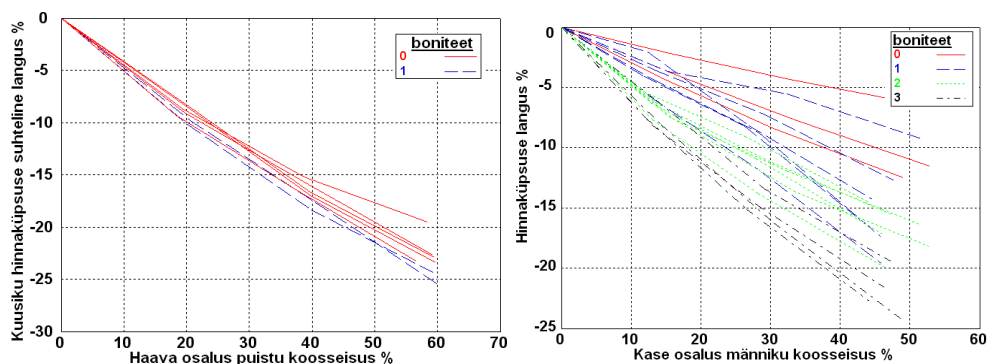
Puistute hinna Y keskmise muudu maiY hinnaküpsuse vanuses sõltuvuse võrrand enamupuuliigi PE kõrgusindeksist H50E seguliigi puudumisel keskmiselt üle kõigi metsatüüpide ja võrrandi jääkstandardhälve RRMSE

Tabel 4.1 Võrrandid puistute hinnatoogi normi arvutamiseks

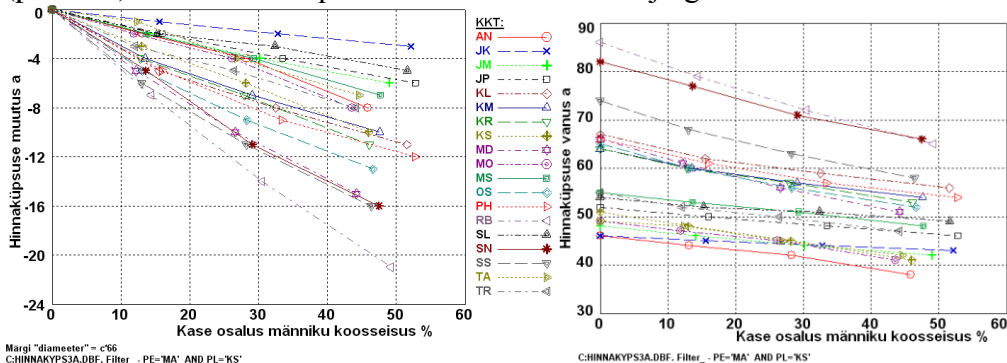
PE	võrrand	RRMSE
MA:	$mai_y = 75.57 + 5.1301 * H50E^2$	95.5084
KU:	$mai_y = -20.6 + 5.0962 * H50E^2$	65.8146
KS:	$mai_y = -173 + 2.7855 * H50E^2$	28.7524
HB:	$mai_y = 199.6 + 0.7408 * H50E^2$	61.3586
LM:	$mai_y = -68.7 + 1.5483 * H50E^2$	9.4280
LV:	$mai_y = -145 + 1.9919 * H50E^2$	7.6805

Parandi ( $3 \times RRMSE$ ) lahutamine võrrandi väärtusest on vajalik selleks, et vältida liigoptimistlikku oletust järgneva metsapõlve hinna muudu suhtes. Küpseks loeti puistu siis, kui tema hinna jooksev muut langes allapoole etaloni väärtust. Sellise hinnangu aluseks on lootus, et järgnev metsapõlv kujundatakse selliseks, et selle hinna muut küpsusvanuses vastaks etalonile.

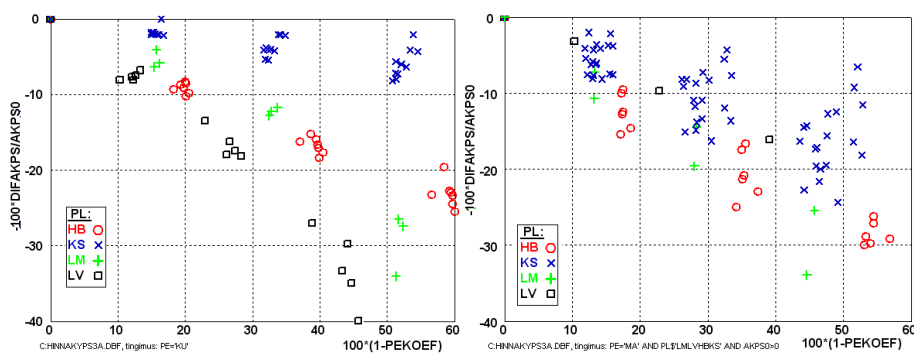
Edasises mõned normküpsuse näited joonistena. Osal joonistest on hinnaküpsuse suhteline langus tähistatud kujul  $100 * DIFAKPS / AKPS_0$  (hinnaküpsuse diferents jagatud puhtpuistu algväärtusega) ja seguliigi osalus % kujul  $100 * (1 - PEKOEf)$ .



Joonis 4.14. Haava osaluse mõju kuusiku (vasemal) ja kase osaluse suhteline mõju männiku (paremal) norm-hinnaküpsusele boniteediklasside järgi



Joonis 4.13. Kase osaluse mõju männi enamusega puistute norm-hinnaküpsusele aastates metsatüübiti.



Joonis 4.14. Lehtpuude osaluse suhteline mõju kuuse (vasemal) ja männi (paremal) enamusega puistute norm-hinnaküpsusele segu puuliigiti seguliigi osaluse protsendi 100\*(1-PEkoef) järgi.

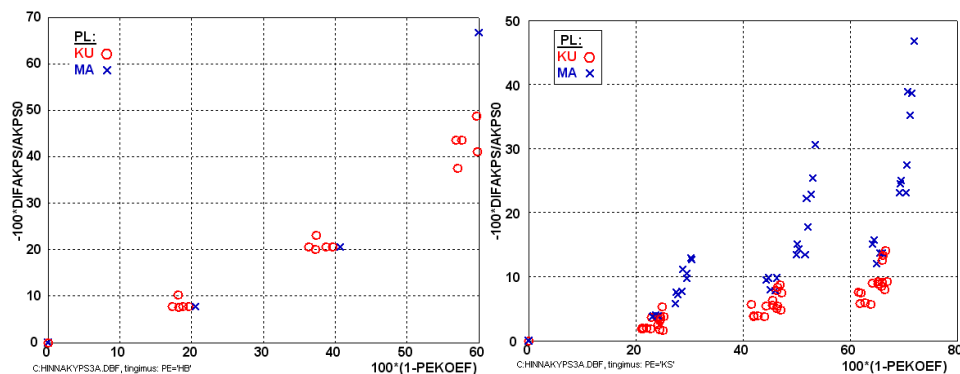
Jooniselt 4.14 saame teha tuletada lihtsad reeglid tarvis lehtpuude osaluse arvestamiseks okaspuuenamusega puistutes. Esitame normküpse vanuse suhtelise languse protsentides seguliigi osa suurenemise ühe protsendi kohta tabelina:

Tabel 4.4. Normküpse vanuse suhtelise langus protsentides seguliigi osa suurenemise ühe protsendi kohta.

Enamusliik	Kuusk				Mänd			
	KS	HB	LM	LV	KS	HB	LM	LV
Seguliik								
Langus %%	1/5	2/5	3/5	3/4	2/5	3/5	3/4	(3/4)

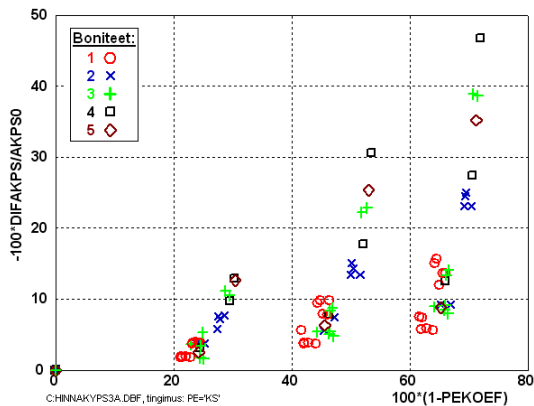
Halli lepa osa mõju männi enamusega puistute norm-hinnaküpsusele ei saa jooniselt 4.14 usaldatavalt välja lugeda, sest sellist segu piisaval arvul eraldistel leidis liialt vähe. Kasutasime kuuse enamusega puistute andmeid. Tabelit võib kasutada ka pööratavana vahetades enamus- ja seguliigi nimed ning muutes languse tõusuks.

**Kõige kriitilisem ongi just lehtpuude segu okaspuu enamusega puistutes. Andmetest saaks tuletada ka „täpsemaid” reegleid, kuid see oleks enese ja aruande kasutajate petmine. Kogu see võimalike vigade jada, mis lõpuks kajastub normküpse arutamise tulemustes, muudab täpsemad arvutused mõttetuks.**

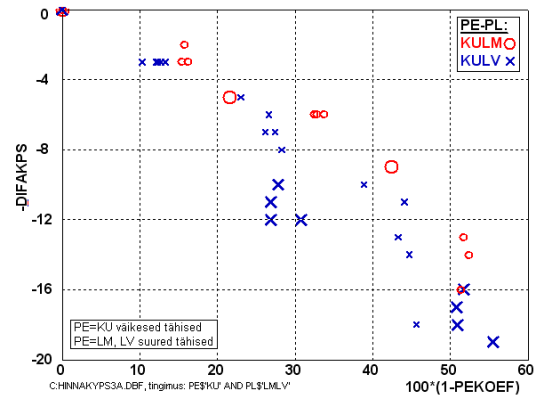


Joonis 4.15. Okaspuude osaluse suhteline mõju haava (vasemal) ja kase (paremal) enamusega puistute norm-hinnaküpsusele seguliigiti seguliigi osaluse protsendi 100\*(1-PEkoef) järgi.

Haava enamusega puistute norm-hinnaküpsust tõstab iga lisandunud okaspuude protsent ligikaudu 4/3 protsendi võrra. Kase enamusega puistutes lisab kuuse iga lisandunud protsent ligikaudu 1/5 protsenti, kuid männi osaluse mõju varieerub kase enamusega puistutes metsatüübiti vahemikus 2/5 kuni 3/5 % männi osaluse iga lisandunud protsendi kohta.



Joonis 4.16. Lehtpuude osaluse suhteline mõju kase enamusega puistute norm-hinnaküpsusele boniteediti seguliigi osaluse protsendi  $100 * (1 - PEkoef)$  järgi.



Joonis 4.17. Kuuse ja leppade segu mõju puistute norm-hinnaküpsusele aastates, kui enamusepuuliigiks on kuusk (väikesed tähised) või lepad (suured tähised, küpsusvanuse muutumine on vastasmärgiline).

Kõrvutades joonise 4.15 parempoolset osa ja joonist 4.16, saame järeldada, et männi ja kase segu korral sõltub seguliigi osaluse mõju puistu boniteedist ja on seda suurem mida kehvem on puistu kasvukoht. Jooniselt 4.8 võime teha järelduse, et selline tendents avaldub üsna selgesti mõlemal laia ökoloogilise areaaliga puuliigi (mänd ja kask) segudes omavahel ja teiste puuliikidega.

Joonistel kujutatud tulemused on üldiselt loogilised ja mõistusepärased andes tunnistust sellest, et normküpsuse arvutuslik hindamine on reaalne. Kui selle juures tuleb olla hoolikas normi valikul ja rakendamisel. Eriti ettevaatlik tuleb olla olukordades, kus noorte puistute normküpsus on saanud või saabumas. Nende seisund muutub oluliselt suksessiooni käigus ja seda saab oluliselt muuta ka raietega. Hetke seisundi ekstrapoleerimine kaugesse tulevikku ei sobi metsanduse teooriasse ega praktikasse.

Seguliigist tingitud normküpsuse langus osutus näiteks segus kuusk ja lepad või kuusk ja haavad odava puuliigi osatähtsuse muutumisega kuuse enamusega puistutes praktiliselt võrdseks normküpsuse tõusuga nende odavate puuliikide enamusega puistutes kuuse osaluse suurenedes. Sama kehtib ka teiste segude kohta. Ootuse- ja mõistusepärased on ka teised tulemused. Millised praktilised järeldused neist teha, see on juba järgmine küsimus.

Igale segukombinatsioonile hinnatud parameetrite ja viimati valitud normide korral saadi küll stabiilsemad ja argumentide järgi sujuvalt muutuvad tulemused suhteliselt sileda muutumisega graafikutes, kuid need tulemused ei kata kogu Eesti metsade varieeruvust.

Esitame lõpuks näidisenäidised kordajad tava- ja normküpsuse arvutamiseks täpsemal kujul, kuid neid tuleb võtta pigem näidisetüüdina kui reeglina.

Koondvõrrand segapuistute hinnaküpsuse arvutamiseks on järgmine

$$U = b_0 + bh_{50} * H_{50} + \sum_i (b_i * koef_i),$$

Kus U – küpsusvanus a,

$b_0, bh_{50}$  – võrrandi kordajad,

$H_{50}$  – kõrgusindeksi väärtus m,

$b_i$  – i-nda seguliigi kordaja loendist ( $b_{ma}, b_{ku}, b_{ks}, b_{hb}, b_{lm}, b_{lv}$ )

$koef_i$  - i-nda seguliigi osa puistu koosseisus kümnendmurruna.

Juhul, kui koosseisu koefitsient on antud protsentides, saab võrrand kuju

$$U = b_0 + bh_{50} * H_{50} + \sum_i (b_i * koef_i) / 100.$$

Näiteks puistule kõrgusindeksiga  $H_{50} = 20$  koosseisuga 70HB20KU10KS on küpsusvanuse võrrand tavaküpsuse arvutamiseks

$$U_{tava} = 44.9 - 0.2 * 20 + (9.16 * 20 + 9.79 * 10) / 100 = 41.7$$

ja normküpsuse jaoks

$$U_{norm} = 49 - 0.41 * 20 + (9.69 * 20 + 10.85 * 10) / 100 = 43.8.$$

Toodud kordajate tabelite tulbas tähisega pl on märgitud seguliik, millisega koos arvutati võrrandiga kordajad tulpadesse  $b_0$  ja  $bh_{50}$  tingimisel, et seguliiki ei ole. Kuna normiks valiti nt okaspuu enamusega puistutele nende eneste puhtpuistu toogi mudeli kolme jääkhälbe võrra alandatud kännuhinna tase, siis kujunebki normküpsus tavaküpsusest paari aasta võrra kõrgemaks.

Tabel 4.3. Traditsioonilise kännuhinna (tava)küpsuse võrrandi kordajate read enamupuuliigiti (PE).

PE	pl	b0	bh50	bkoef	sumn	bma	bku	bks	bhb	blm	blv
HB	KS	42,9	-0,2	9,79	25430	6,57	9,16	9,79	0	2,33	-11,5
KS	KU	79,8	-1,2	-5,44	90192	-3,83	-5,44	0	-14,7	-7,54	-13,7
KU	KS	86	-1,9	2,77	53433	4,11	0	2,77	-11,2	-4,63	-11,5
LM	KS	51,3	-0,3	8,57	16896	7,55	3,51	8,57	-9,28	0	-24,5
LV	KS	65,4	-2	27,89	32562	9,12	12,04	27,89	5,32	3,48	0
MA	KU	91,9	-2	-6,51	85833	0	-6,51	-1,72	-18	-11,3	-10

Tabel 4.4. Kännuhinna normküpsuse võrrandi kordajate read enamuspuliigiti (PE).

PE	pl	b0	bh50	b2	sumn	bma	bku	bks	bhb	blm	blv
HB	KS	49	-0,41	10,85	25430	5,91	9,69	10,85	0	2,32	-14,04
KS	KU	88,1	-1,49	-9,32	90192	-8,68	-9,32	0	-18,19	-11,92	-13,46
KU	KS	90	-1,99	1,05	53433	2,44	0	1,05	-13,31	-6,23	-8,07
LM	KS	66,4	-0,76	1,82	16896	1,82	1,95	1,82	-18,29	0	-29,62
LV	KS	108,1	-4,13	37,7	32562	10,5	15,28	37,7	5,59	4,79	0
MA	KU	97,9	-2,14	-10,54	85833	0	-10,54	-4,46	-22,04	-14,8	-8,51

Tabeleis 4.3 ja 4.4 toodud kordajate järgi saaksime puistutes kõrgusindeksi H50=19m korral järgmised tulemused:

Koosseis	100MA	70MA30HB	50MA30LM20HB	100HB	60HB40KS	
Tavaküpsus	54,1	48,7		47,1	39,1	45,0
Normküpsus	57,2	50,6		48,4	41,2	47,7

Kordame, et toodud tabeleid 4.3 ja 4.4 ja võrrandeid tuleks võtta metoodika näidistena ja **praktildas võiks kasutada tabelis 4.2 esitatud ligikaudseid reegleid.**

Kokkuvõttes võime väita, et metsamaa tõhusaima ja jätkusuutliku kasutamise huvides on raievanuste ligikaudne diferentseerime normküpsuse alusel vajalik ja võimalik, kuid ei ole võimalik täpselt. Täpne diferentseerimine ei saa iial võimalikuks.

#### 4.4. Puistute hinna perioodi keskmise jooksva muudu ja normküpsuse vanuse hindamise võimalustest hinna keskmise muudu graafikutelt

Võtmetunnuseks hinnaküpsuse vanuse leidmisel on hinna aastase keskmise muudu graafik vanuse teljel ja seepärast näitlikustatakse aruannet peamiselt hinna aastase keskmise muudu graafikutega. Kõiki neid graafikuid saab kasutada ka vaadeldava puistu jooksva muudu hindamiseks ja edasises normküpsuse hindamiseks võrreldava normpuistu suhtes.

Aastase jooksva muudu leidmiseks tuleb hinna aastase keskmise muudu graafiku lõiku pikendada lõigu lõpu vanuse ( $A_1$ ) kohalt kohale  $A_1 + \text{samm}^2/A_0$ , kus  $A_0$  on vanus lõigu alguses ja  $\text{samm} = A_1 - A_0$ . Sellelt kohalt ( $A_1 + \text{samm}^2/A_0$ ) saame lugeda aastase jooksva muudu keskmise väärtuse lõigul  $A_0, A_1$ . Kui lõigu ots kohal  $A_1 + \text{samm}^2/A_0$  on madalamal etalonmuudu tasemest (väiksem) ja on seda ka edasistel sammudel, siis võib puistu lugeda normküpsuks.

Aruandes on hinna keskmise muudu graafikud enamasti esitatud 5a sammuga ja  $\text{samm}^2 = 25$ . Kui lõigu alguse vanus  $A_0 = 25$  ja lõpu vanus  $A_1 = 30$ , siis jooksva muudu keskmise väärtuse leidmiseks lõigul  $A_0, A_1$  tuleb keskmise muudu lõiku pikendada kohani  $30 + 25/25 = 31$ a. Kohalt  $A_1=55$  tuleb lõiku pikendada kohani  $55 + 25/50 = 55,5$ , kohalt 80a kohani  $80 + 25/75 = 80,33$  jne.

Arvutuslikult saame hinna jooksva muudu perioodi keskmise leida võrrandiga

$$cai_{01} = (\text{mai}_1 * A_1 - \text{mai}_0 * A_0) / (A_1 - A_0).$$



Jooksva muudu või juurdekasvu hindamisel on enamasti mõte vaid keskmise muudu suurenemise piirkonnas. Keskmise muudu stabiilsuse piirkonnas on jooksev muut võrdne keskmisega ja keskmise muudu languse piirkonnas on jooksev muut keskmisest väiksem. Kui keskmine muut enam ei suurene ja on väiksem normist, siis on puistu lõplikult normküps või normüleseinud.

## **5. Hinnaküpsuse arvutamine vahetult metsaregistri andmetest**

Nii k. o. aruandes kui Allar Padari hinnaküpsuse mudelites oli üheks meetodiks hinna muudu modelleerimine puistute kasvu imiteerimise vahendusel. Modelleeriti puht- või segapuistute kõrguse ja diameetri kasvu vastavate kasvumudelitega, simuleeritud kõrguse ja diameetri järgi leiti puude arv ja tagavara ning alles neist tuletatud tunnustest alustati hinna arvutamiseks. Need simulatsiooni protseduurid võivad tulemustesse lisada arvestatavaid vigu.

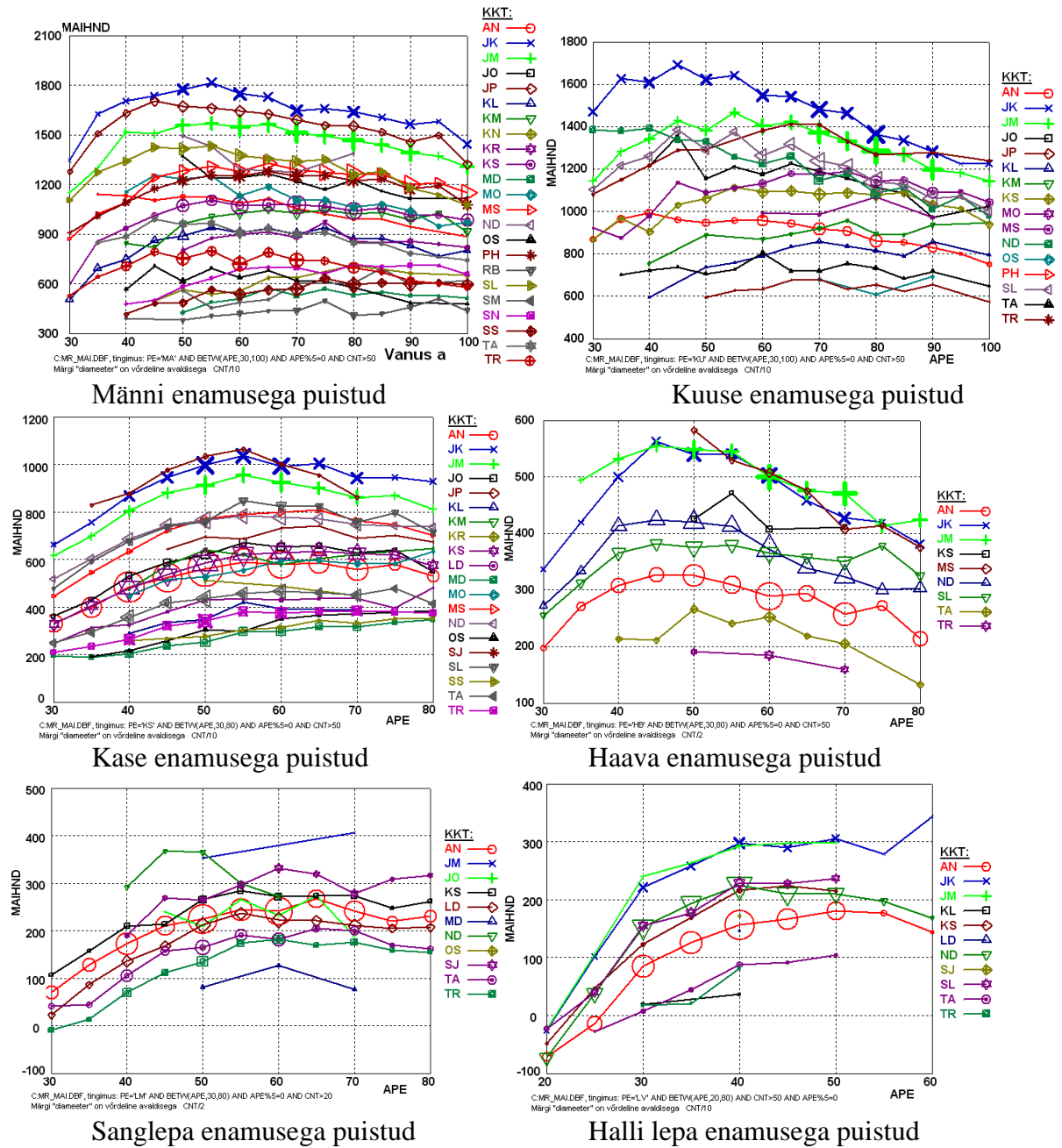
Metsaregistri andmeist vahetult hinna arvutamist ja saadud andmeridade silumise meetodikat kirjeldatakse täpsemalt jaotises 2. Metsaregistri andmetes oli hulgi hektaritagavara väärtuste vigu. Kasutasime kaht hinna dünaamika simuleerimise varianti, millistest esimeses püüdsime tagavara vigu elimineerida üsna lihtsa takseertunnuste seose testiga ja teises rakendasime rangemat testi ja kõrvaldasime töötlusest vigaderohked andmekogumid. Võrdlusmaterjali saamiseks kasvufunktsioonide vahendusel saadud tulemustaga ei püütud leida parimaid küpsusvanuste hinnanguid kõigile metsatüüpidele, vaid piirduti enamesindatutega.

Kirjeldame esmalt **esimese simuleerimise** variandi tulemusi.

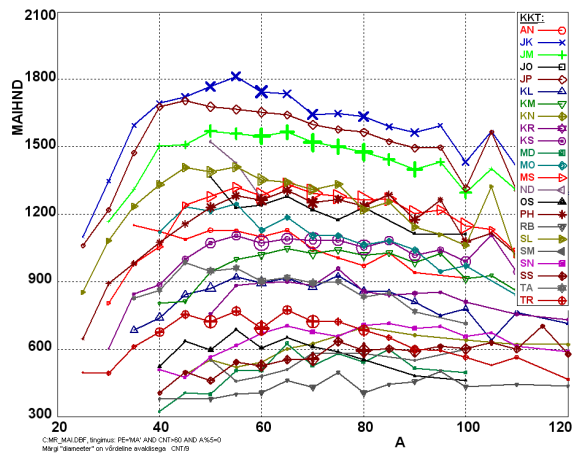
Väga erinevate objektide gruppidesse ühendamisel väheneb andmeridade kõverus (kumerus või nõgusus). Alltoodud joonistelt näemegi, et sageli on hinna keskmise muudu väärtus ridades isegi 20 - 40a pikkusel lõigul ligikaudu konstant. Näiteks männi enamusega puistute kättehinnas keskmine muut kastikuloo kasvukohatüübis on vanuses 50-80a ühtmoodi ligikaudu 900kr/ha/a. Sageli on hinna muudu graafikutes pikad lõigud lähedased tõusvale või langevale sirgele. Sedalaadi kõverate lähendamiseks on raske leida häid analüütilisi mudeleid. Sellises protseduuris sattuvad samadesse rühmadesse erineva koosseisu ja täiusega puistud, mis muudab hinna kõvera üksikpuistute omast tunduvalt sirgemaks. Hinna muudu kõver kahaneb maksimumist eemaldudes ühesuguste puistute omast tunduvalt aeglasemalt. Selle mudeli järgi saadakse õigeaegsest raiumisest hälbimise kahjude hinnang tegelikust tunduvalt väiksem.

Võrdlusmaterjali saamiseks me ei püüdnud leida parimaid küpsusvanuste hinnanguid kõigile metsatüüpidele vaid piirdusime enamesindatutega.

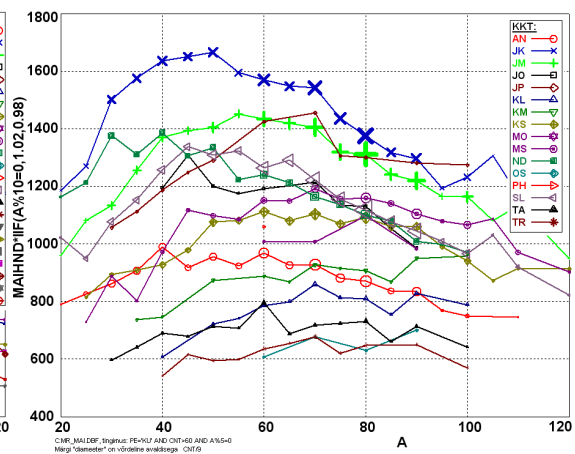
Hinna keskmise muudu seaduspärasustest ülevaate saamiseks on k. o. jaotises peamised tulemused esitatud joonistena.



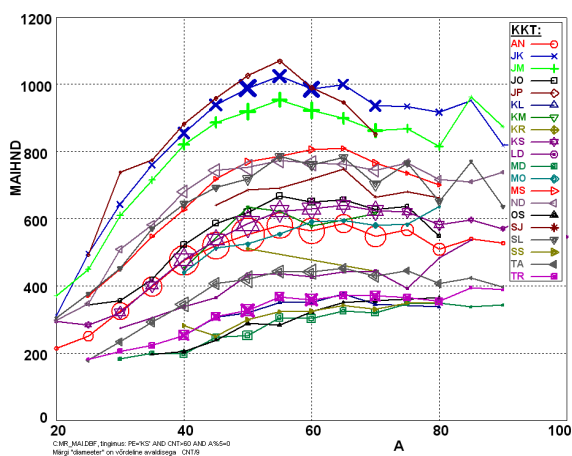
Joonis 5.1. Hinna keskmise muudu (joonistel faili välja nimena MAIHND) sõltuvus vanusest peale hektaritagavara eksete eraldamise katset.



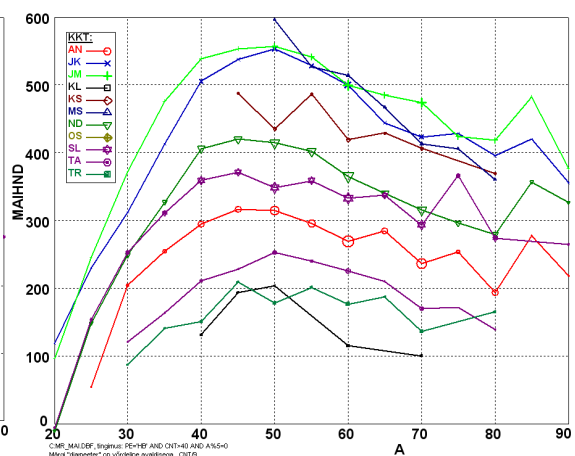
Männi enamusega puistud



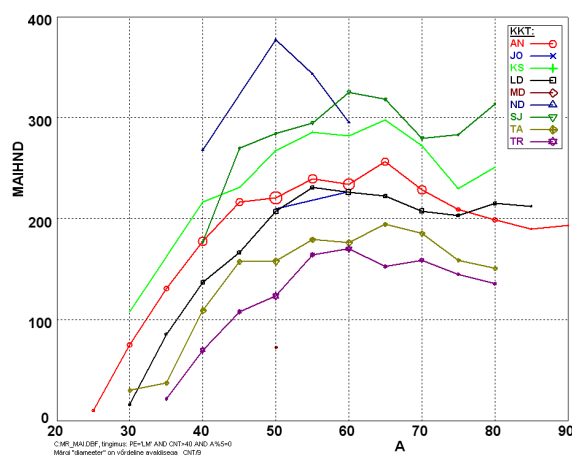
Kuuse enamusega puistud



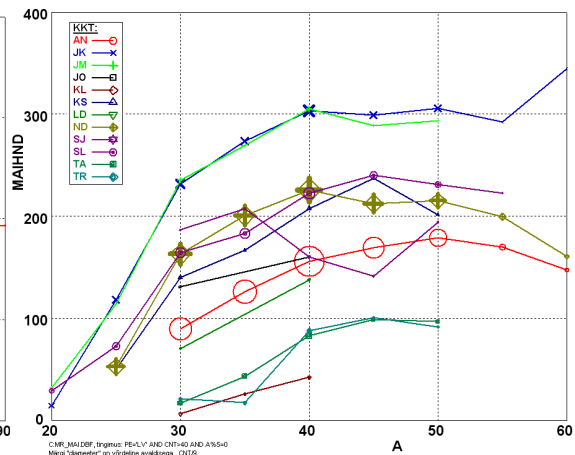
Kase enamusega puistud



Haava enamusega puistud

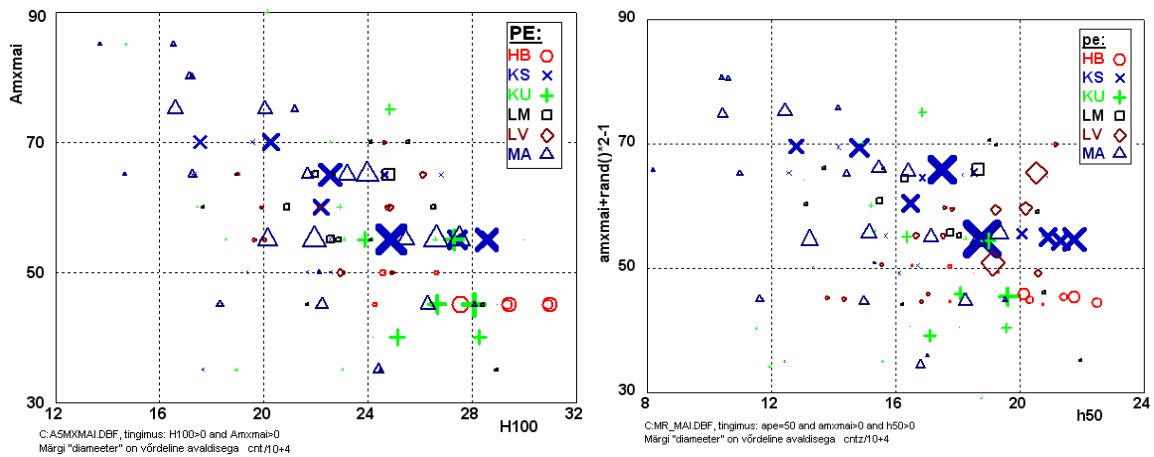


Sanglepa enamusega puistud



Halli lepa enamusega puistud

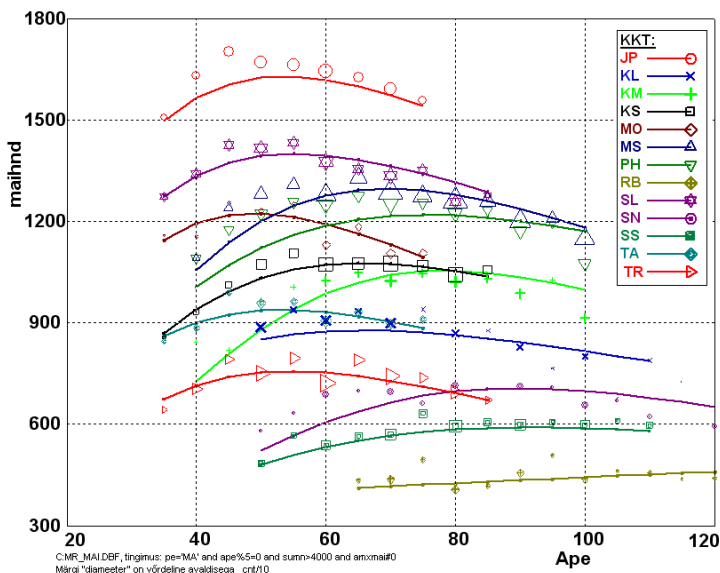
Joonis 5.2. Hinna keskmise muudu (joonistel faili välja nimena MAIHND) sõltuvus vanusest enne hektaritagavara eksete eraldamise katset. Kuuse joonisel püüti viiega lõppevates vanustes reeglipäraselt suuremast tagavarast tulenevaid võnkeid siluda korrigeerimiskordajatega.



Joonis 5.3. Hinna keskmise muudu maksimumile silumata andmetes 5a sammuga vastavad vanused kännuhinna küpsuse vanused Amxmai (vt ka joonis 5.1) erinevate kõrgusindeksite (H100 ja H50) järgi. Parempoolsel pildil on märkide kattuvuse vähendamiseks vanusele lisatud ühtlase jaotusega (-1...+1) juhuslik arv.

Mõned erakordselt madalad kännuhinna küpsuse vanused kuuse enamusega puistutes on tingitud lehtpuude lisandi suuruselt antud kasvukohatüübis (nt naadi ja angervaksa tüübid, vt joonis 5.1). Kuuse enamusega puistutes küünib küpsusvanuse esialgsete hinnangute erinevus tunnuse H100  $\approx$  25m korral isegi 35 aastani. **Taalised ilmingud vahetult takseerikirjeldustest leitud küpsusvanuse hinnangutes on veelkordseks ja veenvaks tunnistuseks küpsusvanuse diferentseerimise vajadusest puistu koosseisu järgi.**

Esitame alljärgnevas joonise männikute algandmetest viiega jagunevate vanuste kohal ja lähendkõveratest lähendamiseks kasutatud ajalõikudel. Lähendkõverate leidmiseks kasutati ka väärtusi viiega mittejagunevaid vanuste kohal.

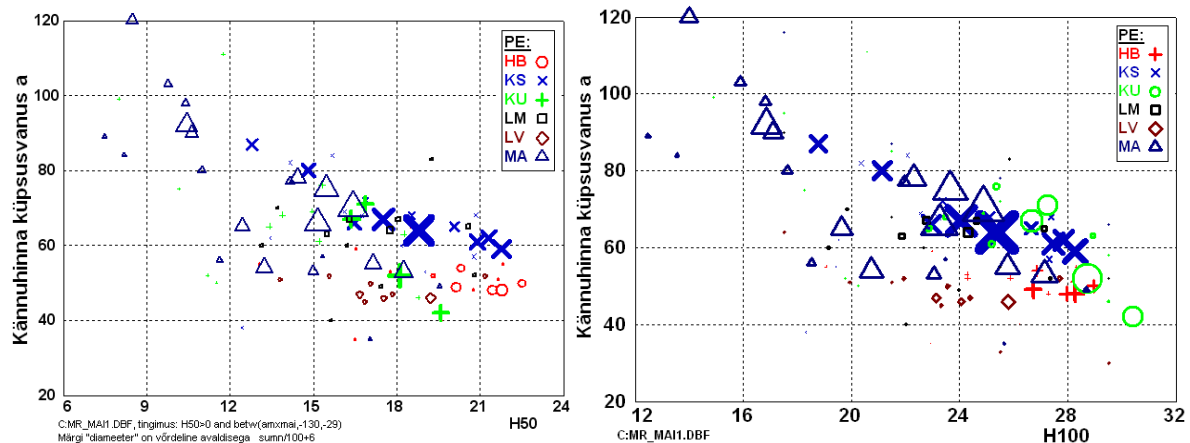


Joonis 5.4. Hinna keskmise muudu silumise näide esialgse maksimumi ümbruses männi enamusega puistutes. Algkeskmised - märgid ja lähendid - jooned.

Joonisel 5.4 on näidatud algandmeid vaid viiega jagunevate vanuste kohta. Vahepealsetes vanustes oli hinna keskmine muut enamasti madalam, millest võib osaliselt olla tingitud lähendite mõningane nihe (allahindamine nt JP tüübis) ja maksimumi

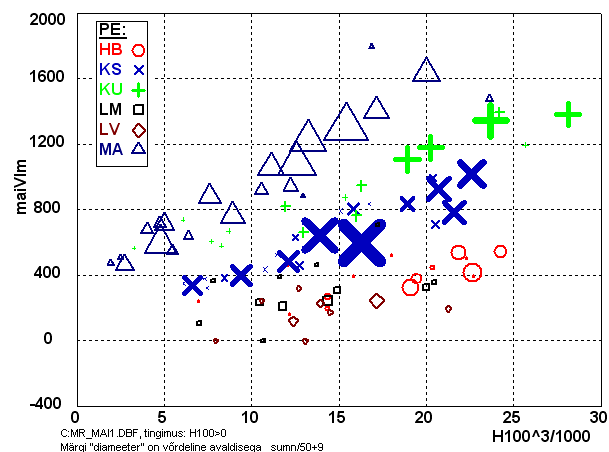
(küpsumvanuse) näiv nihe suurenemise suunas. Lähendid on küpsumvanuse ümbruses siiski kasutatavad, sest vead jäävad üldiste modelleerimisvigade piiresse (arvestades nt ühikuhinna ja kahjustuste mõju vigu).

Joonis kinnitab raievanuse täpsustamise olulisust tootlikumais kasvukohtades (salu- ja laanemetsad) ja võimalust üsna suvaliselt valida raievanus madala tootlikkusega kasvukohtades (rabametsad). Rõhutame veel kord – selliste keskmiste vanuseread on üksikpuistute omadest sirgemad ja küpsumvanusest hälbumisega seotud kahju on allahinnatud.



Joonis 5.5. Känuhinna küpsumvanus metstüübiti (KKTPE) enamuspuliigist (PE) ja kõrgusindeksist (H50 vasemal ja H100 paremal) sõltuvana leituna vahetult metsaregistri andmetest.

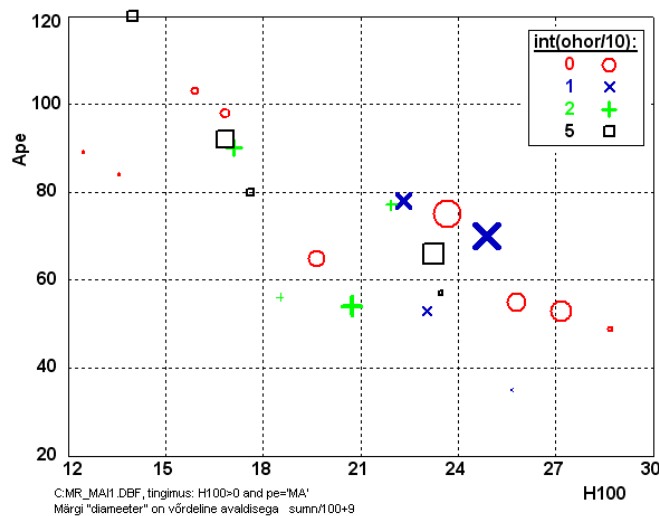
Parimate kaasikute ja haavikute suhteliselt kõrge küpsumvanus on ilmselt põhjustatud okaspuude segust ning eriti kuuse osatähtsuse suurenemist vanuse kasvades. Üldistest tendentsidest hälбивad peamiselt väheesindatud metsatüübid.



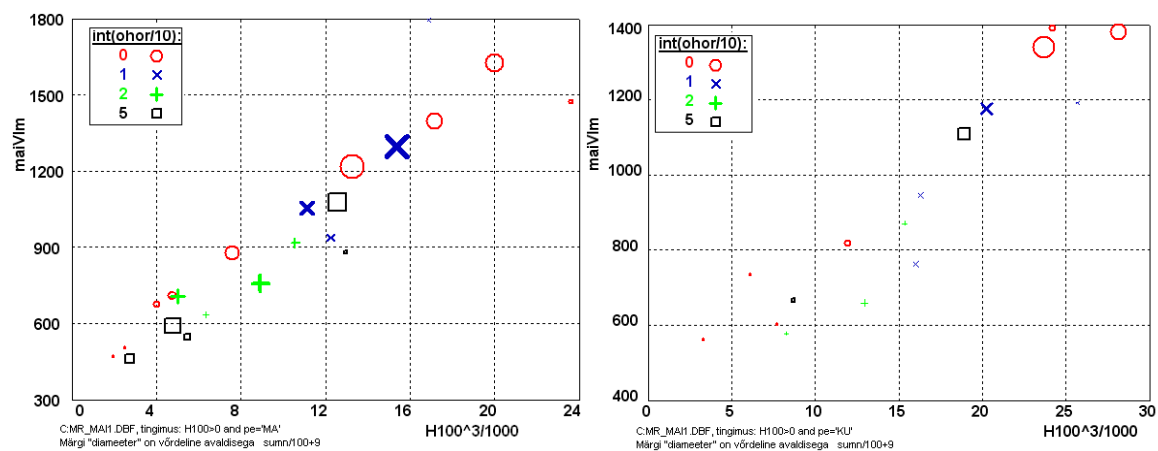
Joonis 5.6. Känuhinna keskmine muut hinnaküpsumuse vanuses võrrandite järgi (siin maiVlm) metstüübiti (KKTPE) enamuspuliigi (PE) ja kõrgusindeksi (H100) järgi leituna vahetult metsaregistri andmetest.

Känuhinna keskmine muut hinnaküpsumuse vanuses sõltub ligikaudu sirgjooneliselt kõrgusindeksi kuubist. Väärtuste lahknevus enamuspuliigiti on ilmekas. Männikute

hinnamuudu suhteliselt kõrge väärtus on osaliselt seletatav sellega, et männikutes on reeglina vähem odavate lehtpuude segu kui kuuse enamusega puistutes, millistes on lehtpuude segu esineb männikute omast enam. Kasvukohatüübi kaudse indikaatorina saab joonistel nende ülekoormamise vältimiseks kasutada organogeense horisondi tuseduse ümardatud väärtust.

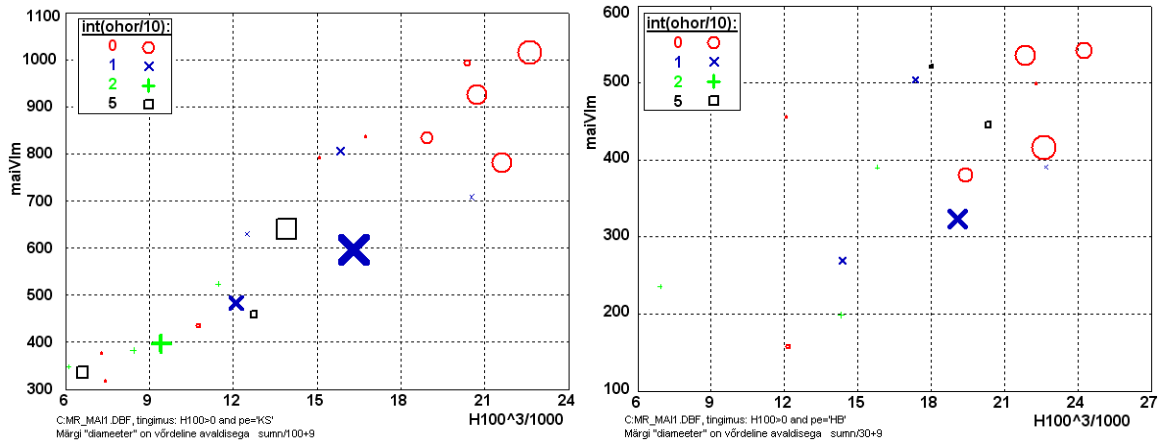


Joonis 5.7. Männi enamusega puistute kännuhinna küpsusvanuse (siin Ape) sõltuvus metstüübiti (KKTPE) kõrgusindeksi (H100) ja tunnuse OHOR ümardatud väärtusest leituna vahetult metsaregistri andmetest. Siin ja edasi OHOR väärtus kõdusoo tüüpides on tinglik (MO - 30 ja JO - 20). Sõltuvus tunnusest OHOR näib ebaselgena.



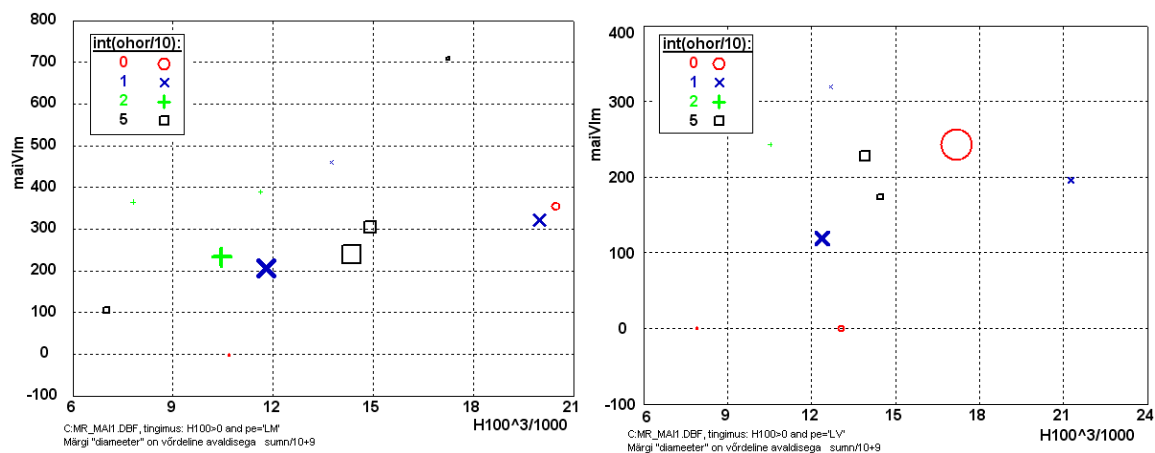
Joonis 5.8. Männi enamusega (vasemal) ja kuuse enamusega (paremal) puistute kännuhinna silutud keskmise muudu küpsusvanuses (siin maiVlm) sõltuvus kasvukohatüübiti kõrgusindeksi (H100) kuubist ja tunnuse OHOR ümardatud väärtusest leituna vahetult metsaregistri andmetest.

Tulemuse ligikaudu sirgjooneline sõltuvus kõrgusindeksi kuubist on selge, kuid lisandub ka tunnuse OHOR tajutav mõju: arumetsades on hinna muut kõrgusindeksi sama väärtuse korral ligikaudu 100kr/ha/a võrra suurem kui soostunud ja soometsades (OHOR>19 cm).



Joonis 5.9. Kase enamusega (vasemal) ja haava enamusega (paremal) puistute kännuhinna silutud keskmise muudu küpsusvanuses (siin maiVlm) sõltuvus kasvukohatüübiti kõrgusindeksi (H100) kuubist ja tunnuse OHOR ümardatud väärtusest leituna vahetult metsaregistri andmetest.

Okaspuu puistutele sarnast tajutavat seost joonisel 5.9 ei näi olevat. Haavikutes hälbivad üldisest tendentsist peamiselt vähe esindatud tüübid. Selle peamiseks põhjuseks on arvatavasti algandmete valimi väiksusest tingitud juhuslikud vead.

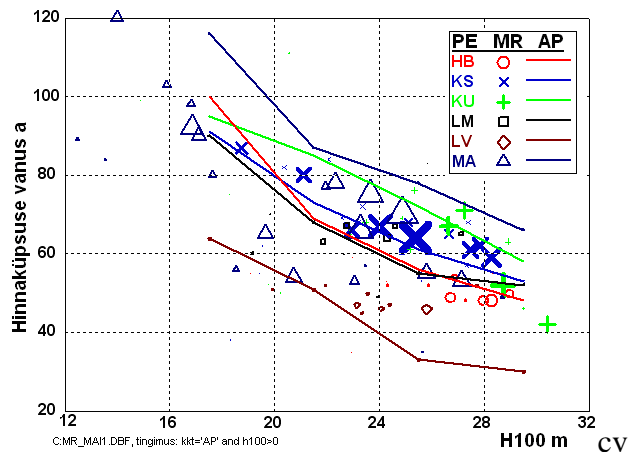


Joonis 5.10. Sanglepa enamusega (vasemal) ja halli lepa enamusega (paremal) puistute kännuhinna silutud keskmise muudu küpsusvanuses (siin maiVlm) sõltuvus kasvukohatüübiti kõrgusindeksi (H100) kuubist ja tunnuse OHOR ümardatud väärtusest leituna vahetult metsaregistri andmetest.

Suurem osa leppade enamusega puistutest paikneb kõrgusindeksi lühikeses vahemikus (ca 6m). Seos kõrgusindeksiga joonisel 5.10 siiski avaldub. Sarnaselt haavikutega hälbivad ka siin üldisest tendentsist peamiselt väheesindatud tüübid.

Näib, et puistute kännuhinna maksimaalse keskmise muudu modelleerimisel on tunnuse OHOR kasutamine mõttekas vaid okaspuu enamusega puistute tarvis.

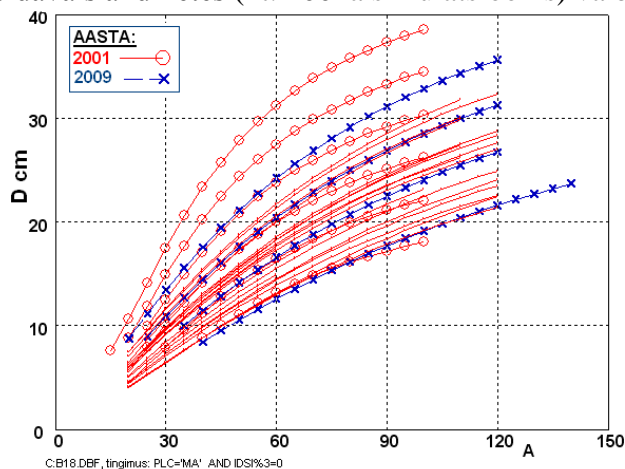
Vahetult metsaregistrist leitud küpsusvanuste võrdluse Allar Padari poolt rõhutatult ülameetodiga harvendusraiate korral simuleeritud puhtpuistute küpsusvanusega esitame joonisel 5.11



Joonis 5.11. Vahetult metsaregistrist leitud metsatüüpide (KKTPE) küpsusvanuste (MR) võrdlus Allar Padari poolt simuleeritud puhtpuistute küpsusvanusega (AP).

Kokkulangevus lehtpueenamusega puistute osas on oodatust parem. Mäni enamusega puistute osas on Allar Padari poolt simuleeritud puhtmännikute küpsusvanus siiski vahest isegi üle 20 a kõrgem vahetult metsaregistrist leitud küpsusvanusest mäni enamusega puistutes keskmiselt. Kuuse osas on joon Allar Padari järgi või selle pikendus metsregistri keskmistest parimais boniteetides ( $H100 > 28$ ) ligikaudu 10-15a võrra kõrgemal.

Peamiseks lahknevuse põhjuseks on ülameetodiga harvendus. Lisaks võib lahknevusi seletada ka seguliikide mõjuga metsaregistri andmetes ja asjaoluga, et diameetri kasvukõver männikutes Allar Padari simulatsioonis järgib hästi A. Kiviste 1997a mudelit, kuid võrreldavais andmetes (nt. 2001a simulatsioonis) vaibub diameetri kasv kiiremini.



Mäni kõrguse kasv A. Padari 2001 ja 2009a mudelis  
Jooned tähisteta - A. Kiviste 1997a mudeli järgi

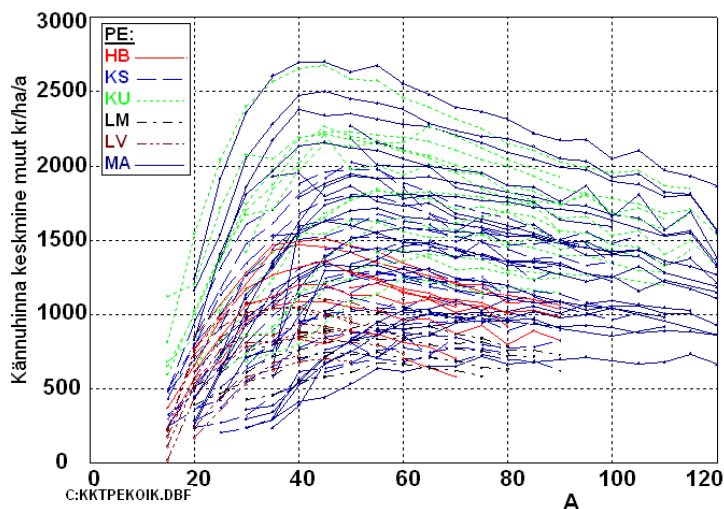
Joonis 5.12. Männikute diameetri kasv Allar Padari 2001 ja 2009a simulatsioonis ning Andres Kiviste 1997a mudelis (tähisteta jooned). Lahknevuse põhjusteks võib olla Andres Kiviste 1995a kasvumudeli kasutamine aastal 2001, sest neis kahes mudelis on just sedalaadi erinevused.

Peamiselt põhjustab erinevusi siiski asjaolu, et Allar Padari simulatsioonis arvestati iga-aastaselt väljaraiutavate keskmiste puude hinda täies mahus, mis ülekantuna tavalisele perioodilisele harvendusele tähendab tugeva ülameetodi rakendamist. Ülekantuna perioodilisele tavaharvendusele raiuti A. Padari simulatsioonis välja poole kordusperioodi kasvu võrra puistu keskmisest suuremad puud. Taolise harvendusega suurendatakse küpsusvanust ligikaudu paarikümne aasta võrra. Allar Padari selle simulatsiooni tulemusi ei saa kasutada orientiirina puistute küpsusvanuse hindamiseks tavaharvenduse tingimustes.



Vahetult metsregistrist leiti säiliva puistu hinnaküpsus väljaraiutavate puude hinda arvestamata.

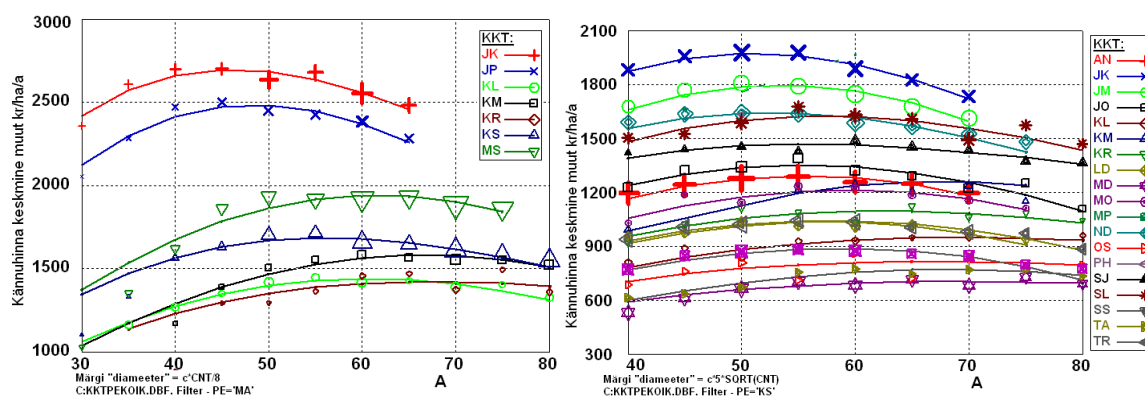
**Teises simulatsioonis** püüdsime metsaregistrist eemaldada võimalikult palju vigaste hektaritagavara väärtustega kirjeid. Saadud tingkeskmiste read osutusid esimese katse omadest pisut siledamateks.



Joonis 5.13. Känuhinna keskmine muut metsatüübiti vanuse funktsioonina metsaregistri keskmiste andmete järgi.

Joonisel 5.13 avaldub ilmekalt hinna keskmise muudu ja vanuse seose lähenemine sirgele varsti peale kulminatsiooni. Hinna keskmise muudu ja vanuse seose lähenemine sirgele avaldub esimese simulatsiooni vähem tsenseeritud andmestikus mõnevõrra vähem ilmekalt (joonised 5.1, 5.2).

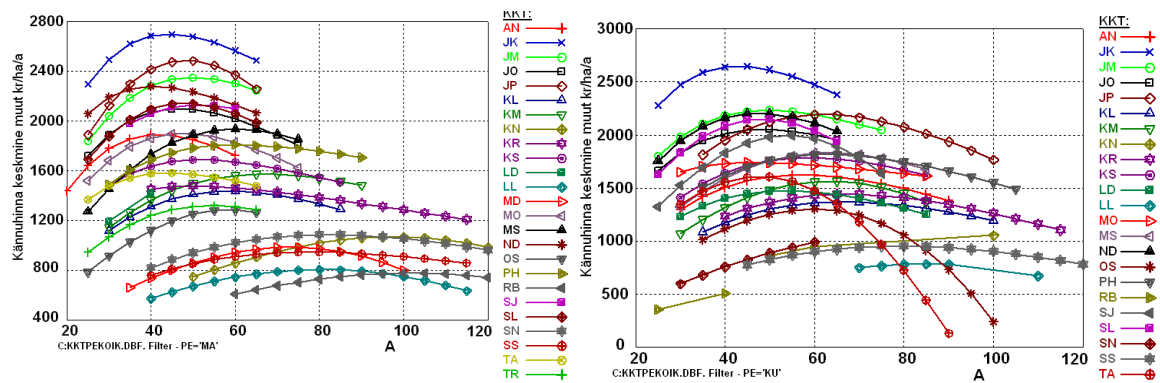
Valisime lähendamisfunktsiooniks hüperboolse tangensi ja sirge kombinatsiooni, milline kas lähendas algandmeid hästi (joon. 5.14) või autori programmis tekkis „halbade” andmete korral tõrge. See lähendamisfunktsiooni valik näib olevat õnnestumine.



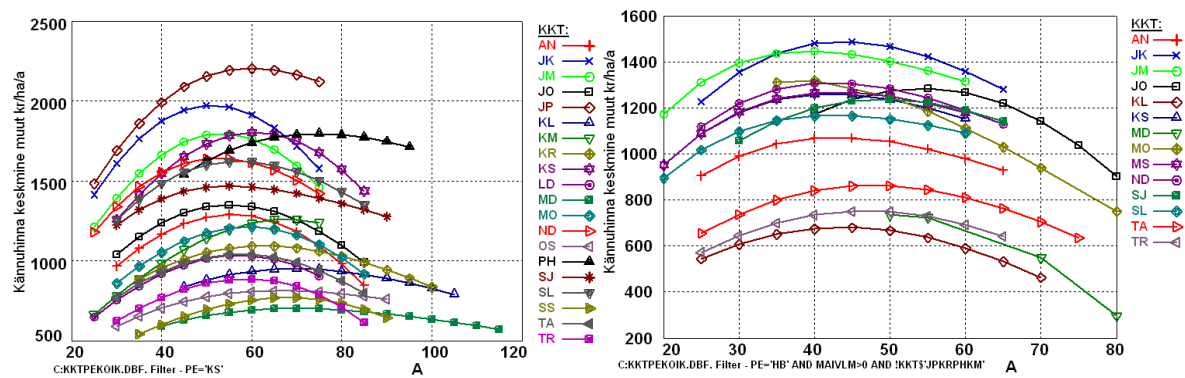
Joonis 5.14. Känuhinna keskmise muudu vanuseridade (märgid) lähendamistulemusi (jooned) männi (vasemal) ja kase(parem) enamusega puistutes.

Algandmete tähtseline suhteline hajuvus lähendjoone ümber joonisel 5.14 jääb mõne protsendi piiridesse. Küpsusvanuse hinnangu suhteline viga on ligikaudu 1/3 algandmete suhtelisest veast (Nilson, 2002). Seega küpsusvanuse hinnangute suhteline viga oleks analüütiliselt nagu vaid protsent või paar. Tegelikult on see illusioon, sest arvestamata on kahjustuste ja ühikuhinna mudelite ja takseerikirjelduste eneste süstemaatilised vead.

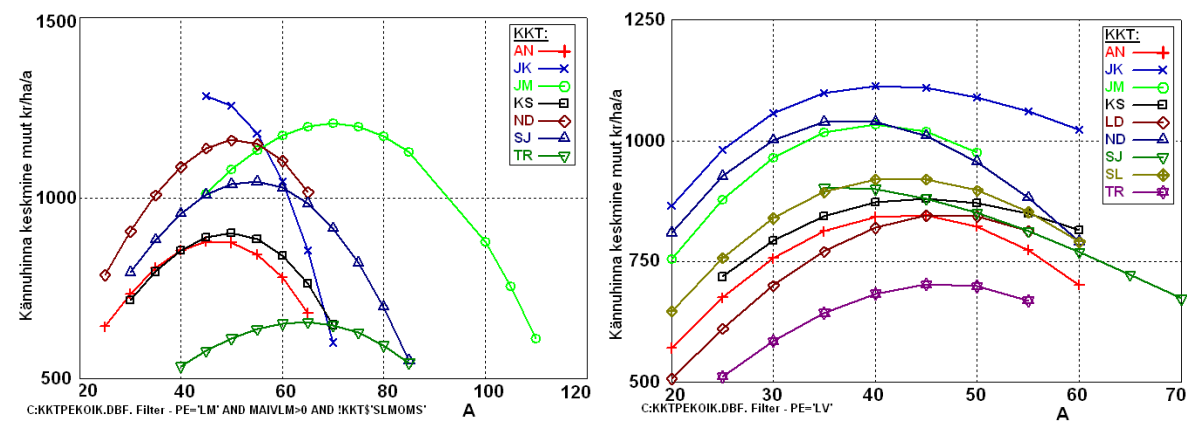
Vähendamaks jooniste ülekoormamist esitame järgnevas ainult lähendjoonte joonised algandmete märke lisamata.



Joonis 5.15. Känuhinna keskmise muudu vanuseridade lähendamistulemusi männi (vasemal) ja kuuse (paremal) enamusega puistutes.



Joonis 5.16. Känuhinna keskmise muudu vanuseridade lähendamistulemusi kase (vasemal) ja haava (paremal) enamusega puistutes.

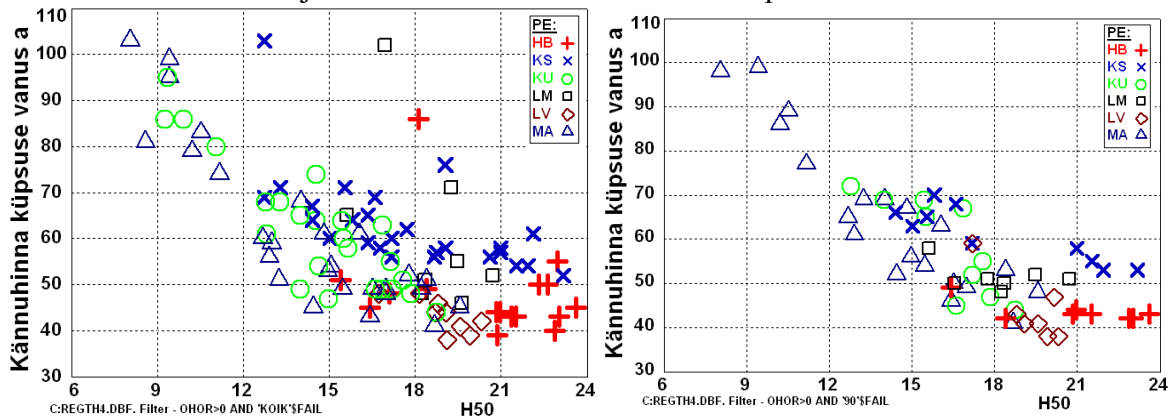


Joonis 5.15. Känuhinna keskmise muudu vanuseridade lähendamistulemusi sanglepa (vasemal) ja halli lepa (paremal) enamusega puistutes.

Vanuse muutumisvahemik joonistel 5.13-5.15 vastab ligikaudselt lähendamiseks kasutatud vanuse vahemikule. Lähendamise eesmärgiks oli kõverate maksimumi punkti (hinnaküpsuse vanuse) täpsustamine silumata keskmiste ridades esialgse maksimumi ümbruses. Rõhutame veekordselt, et joonte lamedus küpsusvanuse naabruses on tingitud

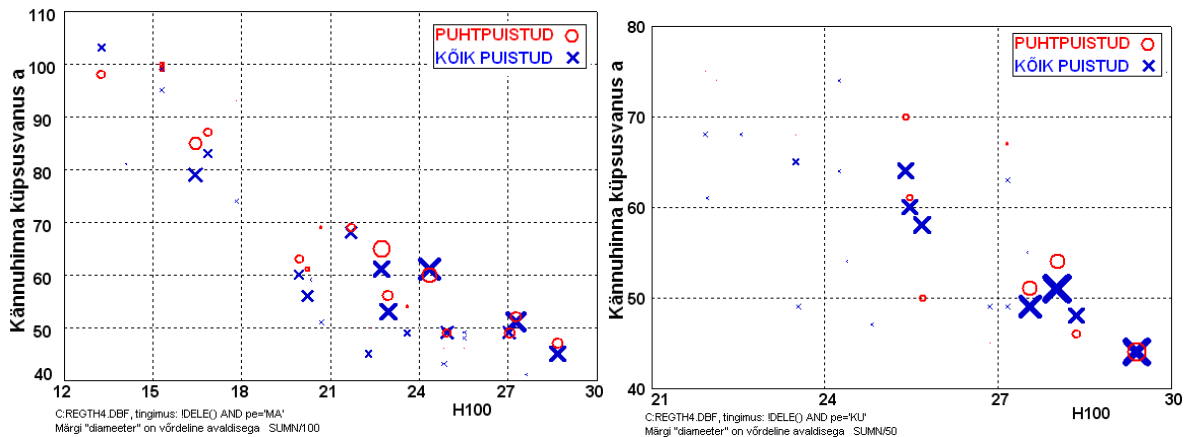
puistute mitmekesisusest nii boniteedi kui seguliikide, täiuse jmt tunnuste osas. Üsikuistu jaoks on hinna keskmise muudu kõver tunduvalt teravatipulisem.

Esitame edasises joonised silutud andmetest leitud küpsusvanuste kohta.

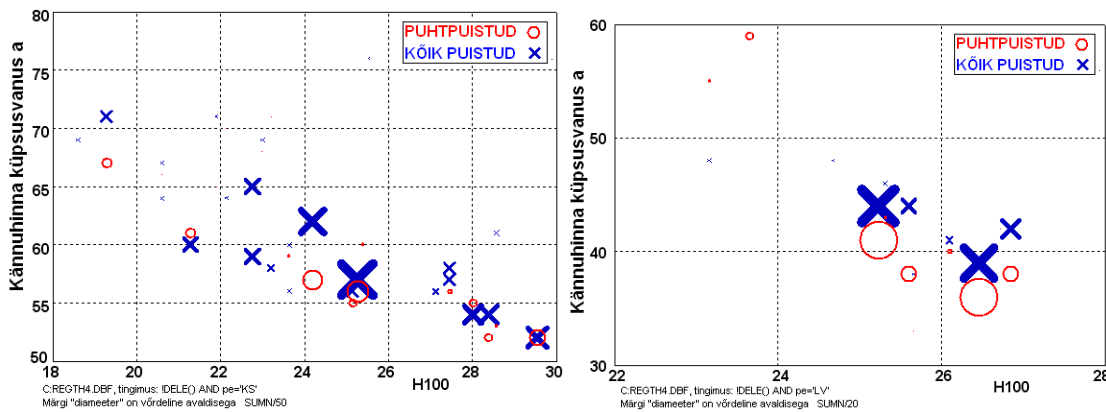


Joonis 5.16. Känuhinna küpsusvanus kõigis puistutes (vasemal) ja enamuspuliigi vähemalt 90% osaluse korral (paremal). Märkiparvest ligikaudu 20a võrra kõrgemal paiknevad märgid on väheesindatud metsatüübid, kus lähendfunktsioon andis andmerea hüplikkuse tõttu ebarealsed tulemused (HB: 86a, LM: 71 ja 102a, KS: 103a).

Ilmestame seguliikide mõju veel joonistega männi, kuuse, kase ja halli lepa enamusega puistutes samal joonisel puht- ja segapuistute kohta.



Joonis 5.17. Hinnaküpsuse vanus männi (vasemal) ja kuuse (paremal) enamusega puistutes. Puhtpuistuteks loetutes oli enamuspuliigi osalus vähemalt 90%.



Joonis 5.18. Hinnaküpsuse vanus kase (vasemal) ja halli lepa (paremal) enamusega puistutes. Puhtpuistuteks loetutes oli halli enamuspuliigi osalus vähemalt 90%.

Kuigi sageli on kuusikute seguliigiks mänd ja männikutes kuusk, on lehtpuude osaluse küpsusvanust langetav mõju selgelt märgatav ka siis, kui kõigi puistute hulka lisati ka puhtpuistud. Joonisel 5.18 näeme, et kõigis halli lepa enamusega puistutes keskmiselt (sega ja puhtpuistud koos) on kõrgema küpsusvanusega väärtuslikumate puuliikide segu mõjul hinnaküpsuse vanus kõrgem, kui puhthall-lepikutes.

**Kordame kokkuvõtteks, et ilmingud vahetult takseerkirjeldustest leitud küpsusvanuse hinnangutes on veelkordseks ja veenvaks tunnistuseks küpsusvanuse diferentseerimise vajadusest puistu koosseisu järgi.**

**Samas ei kajasta ajas muutumatu koosseisuga puistute andmetest moodustatud segapuistute andmereal ega nende töötlemistulemused puistute koosseisu reaalsel dünaamikal, sest puistu koosseis on ajas muutuv ja muudetav. Seetõttu ei saa segude järgi hinnatud küpsusvanust kasutada kuigi pika prognoosi tarvis.**

Kokkuvõtlikud tulemused vahetult metsaregistrist teise simulatsiooniga hinnatud kättehinnaga küpsusvanuse ja hinna keskmise muudu arvutamiseks kõrgusindeksi H100 järgi on regressioonivõrranditena esitatud tabelis 5.1. Leppade suur küpsusvanuse tõus kõrgusindeksi langedes ei ole eriti usaldatav, kuid arvestades leppade kõrgusindeksi suhteliselt väikest muutumisvahemikku, ei ole see praktiliselt võrrandite kasutamise takistuseks. Muud tulemused on loogilised ja sarnanevad muudest allikatest või muude meetoditega saadud tulemustega: mahu, hinna või kasumi küpsusvanus tõuseb oluliselt kõrgusindeksi vähenemisega. Kõigi puistute kohta koostatud võrrandid kajastaksid tulevikku õigesti, kui tulevik nii kasvutingimuste kui majandamise osas piisavalt hästi sarnaneb minevikuga.

Regressioonivõrrandid on kasutatavad puuliikide kõrgusindeksi tüüpilises muutumisvahemikus. Kindlasti ei sobi neid kasutada madalama kõrgusindeksi H100 väärtuse juures kui jagatis  $-b_0/b_1$  hinna muudu ridades, seega ligikaudu HB, LV - 20, KU, LM, KS - 16, MA - 10m. Kase segapuistutes segus männiga võib tulla kõne alla ka piir 11m. Need on ühtlasi kõrgusindeksi H100 ligikaudsed väärtused, kus kättehinnad regressioonivõrrandite järgi ei saa enam positiivset väärtust.

Tabel 5.1. Võrrandi  $y=a+b \cdot H100$  kordajad vahetult metsaregistrist teise simulatsiooniga hinnatud küpsusvanuse ja hinna keskmise muudu arvutamiseks kõrgusindeksi H100 järgi üle kõigi antud enamuspuuliigi puistute (tähis Kõik) ja puistutes, kus enamuspuuliigi osalus oli vähemalt 90% (tähis Puht). Kaaluks regressioonanalüüsis oli eraldiste arv.

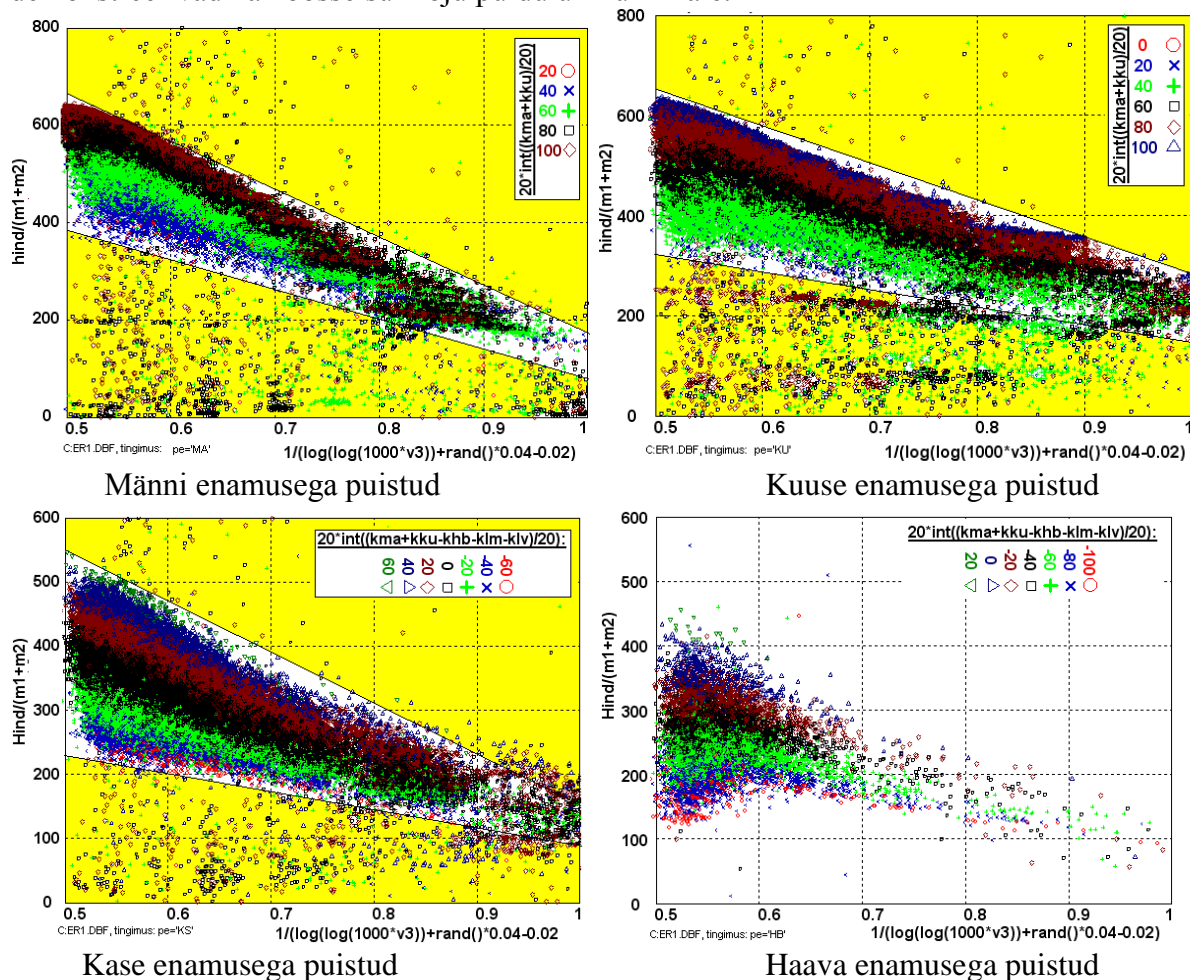
y	Puuliik	Parameetrid		Puistud
		a	b	
Küpsusvanus	HB	64.0	-0.775	Puht
Küpsusvanus	HB	64.6	-0.747	Kõik
Küpsusvanus	KS	89.9	-1.313	Puht
Küpsusvanus	KS	94.5	-1.433	Kõik
Küpsusvanus	KU	165.1	-4.100	Puht
Küpsusvanus	KU	147.8	-3.499	Kõik
Küpsusvanus	LM	105.9	-2.328	Puht
Küpsusvanus	LM	131.2	-3.244	Kõik
Küpsusvanus	LV	162.2	-4.764	Puht
Küpsusvanus	LV	119.0	-2.978	Kõik
Küpsusvanus	MA	143.0	-3.493	Puht
Küpsusvanus	MA	128.1	-2.975	Kõik
Hinna keskm. muut	HB	-2293	121.30	Puht
Hinna keskm. muut	HB	-2238	122.83	Kõik
Hinna keskm. muut	KS	-2304	144.23	Puht
Hinna keskm. muut	KS	-1139	102.86	Kõik
Hinna keskm. muut	KU	-3283	208.80	Puht
Hinna keskm. muut	KU	-3036	189.44	Kõik
Hinna keskm. muut	LM	-1415	87.33	Puht
Hinna keskm. muut	LM	-1471	95.61	Kõik
Hinna keskm. muut	LV	-2386	124.59	Puht
Hinna keskm. muut	LV	-2972	151.73	Kõik
Hinna keskm. muut	MA	-1286	139.41	Puht
Hinna keskm. muut	MA	-1196	130.84	Kõik

## **6. Hinnaküpsuse arvutused riigimetsa 1983-1998a takseerkirjelduste andmeist**

Riigimetsa takseerkirjeldused aastaist 1983, 1987, 1988, 1990-1998 (edasises tähistatud RM83-98) olid koostati Eesti Metsakorralduse keskuse poolt ühtse meetodika järgi ja neile rakendati suhteliselt tõhusat andmekontrolli. RM83-98 takseerkirjeldused olid üldiselt kvaliteetsed. Seepärast sobivad nendest hinnatud küpsusvanused hästi võrdlemiseks suhteliselt heterogeense metsaregistri andmeist arvatutega. Need andmed sisaldavad arvukalt ka praeguseks erastatud metsade takseerkirjeldusi.

Arvutuste tegemisel ei kasutatud diameetri miinimumi tingimust. Filtrit  $D > 10$  ja  $H > 6$  tulnuks rakendada enne ühikuhinna arvutamist. Funktsiooni YHIND05CRS empiirilised hinna valemid andsid tunnuste (eriti diameetri) väikeste väärtuse korral ebarealseid tulemusi. Ebarealsed tulid sel juhul ka vormiarvu mudeli vahendusel leitud keskmise tüvemahu hinnangud. Punktid joonise 6.1 kollasel alal on eksete testi hilinemisest tulenev praak.

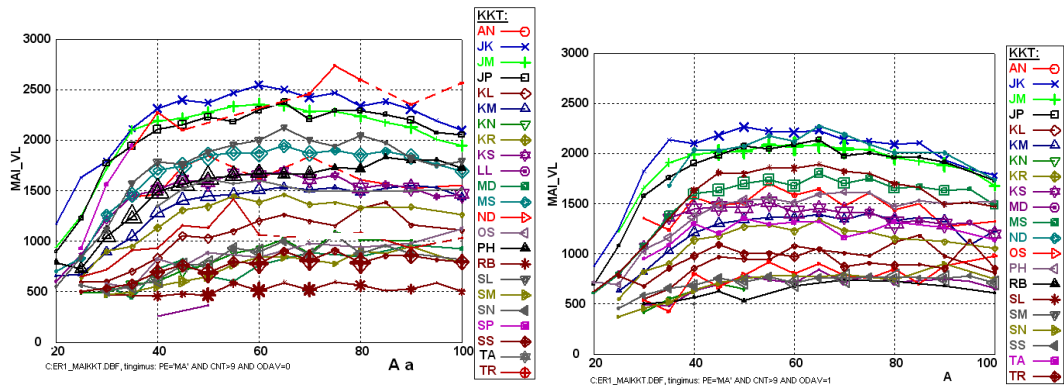
Lisasime täiendava filtrina ühikuhinna ja tüvemahu seose kontrolli. Esitame järgnevalt puidu vahelao ühikuhinna ja keskmise tüvemahu seose joonised, millised ühtaegu demonstreerivad ka koosseisu mõju puidu ühikuhinnale.



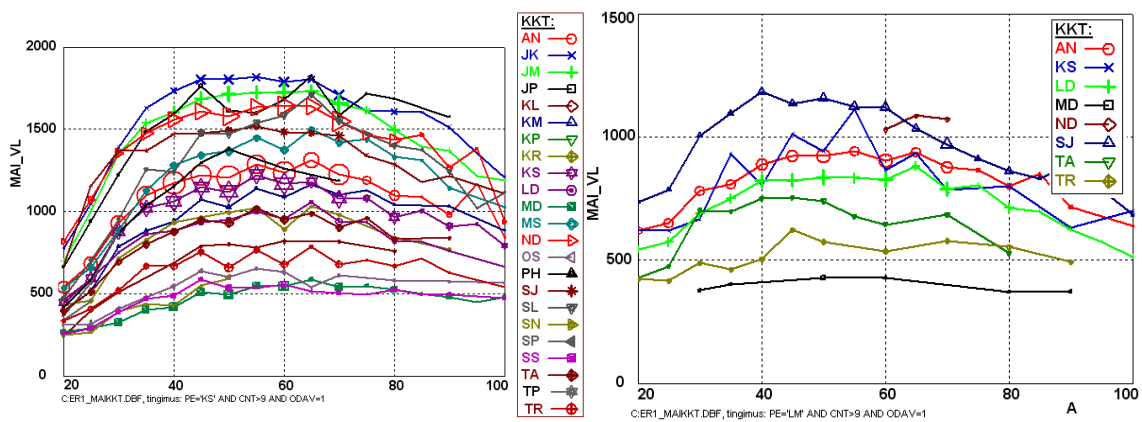
Joonis 6.1. Puidu ühikuhind ( $\text{Hind}/(\text{m1}+\text{m2})$ ) vahelao arvatuna RM83-98 takseerikirjeldustest keskmise tüvemahu teisenduse ja puistu koosseisu järgi. Okaspuude enamusega puistutes sõltub märkide värv okaspuude summaarsest osalusest puistus, lehtpuu enamusega puistutes okaspuude ja odavate lehtpuuliikide (HB, LM, LV) osaluse vahest. Arvtähis legendis tähistab vastava intervalli algust. Kollaseks on toonitud ligikaudsed alad, millistesse sattunud tulemused eemaldati edasisest analüüsist.

Kirjete eemaldamisel ei kasutatud juhusliku arvu lisamist tüvemahu teisendusele nagu seda tehti punktide kattumise vähendamiseks joonisel 6.1. Joonise 6.1 tõlgendamisel tuleb arvestada, et keskmine tüvemaht argumenti teljel kohal 1 on 0,015tm ja kohal 0,5 1,62tm. Tüve maht joonisel kasvab paremalt vasemale.

Piirdusime vahelao hinna keskmise muudu graafikute koostamisega enamesinevate metsatüüpide või boniteetide kohta. Esitame alljärgnevas joonistena valimi tulemustest.

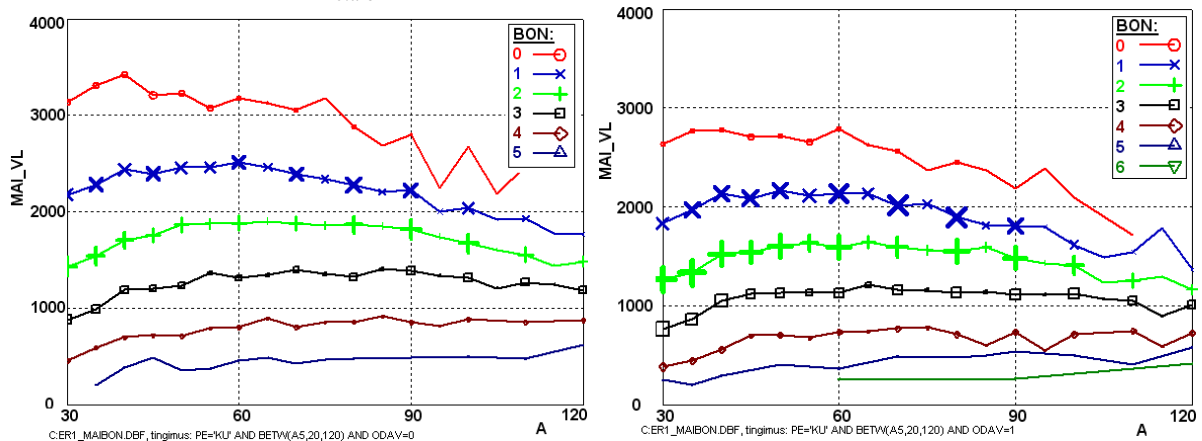


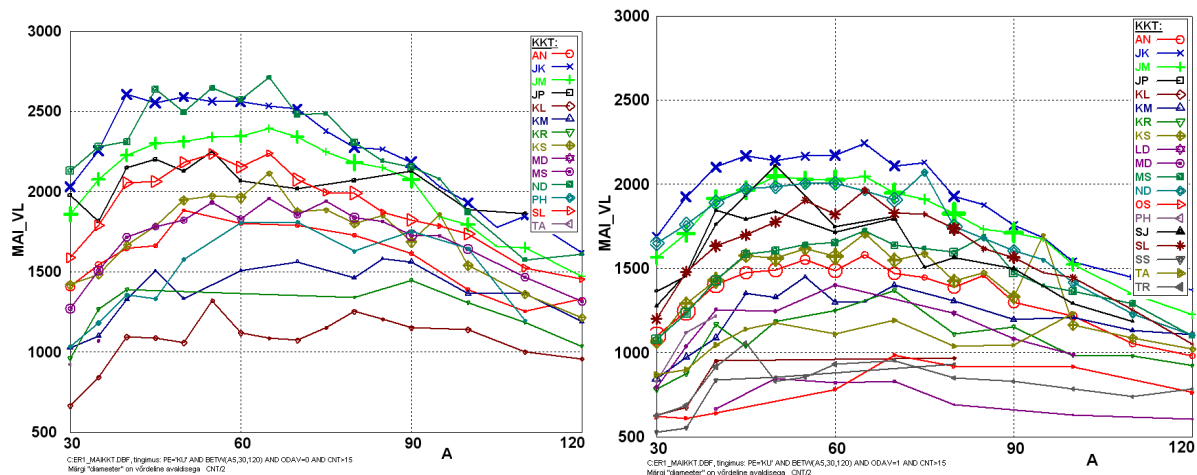
Joonis 6.2. Puidu hinna keskmine muut (Hind/(m1+m2)) vahelaos (kr/ha/a) arvutatuna RM83-98 takseerikirjeldustest männi enamusega puistutes puistu vanuse (A) ja metsatüübi (KKT) järgi vasemal okaspuude osaluse korral vähemalt 80%, paremal alla 80%.



Joonis 6.3. Puidu hinna keskmine muut (MAL\_VL) vahelaos (kr/ha/a) arvutatuna RM83-98 takseerikirjeldustest kõigis kase enamusega (vasemal) ja sanglepa enamusega (paremal) puistutes puistu vanuse (A) ja metsatüübi (KKT) järgi.

Ülaltoodud joonistelt saab välja lugeda samades kasvutingimustes, kuid hinna keskmise muudu väiksema väärtusega, puistu normküpsuse vaieldamatu alguse – see on vanus A, kus avaldis  $(mai_1 * A_1 - mai_0 * A_0) / (A_1 - A_0)$  saab väiksemaks etaloniks valitud puistu hinna keskmise muudu maksimumist  $mai_{etalon}$ .





Joonis 6.4. Puidu hinna keskmine muut (MAI\_VL) vahelaos (kr/ha/a) arvutatuna RM83-98 takseerikirjeldustest kuuse enamusega puistutes puistu vanuse (A) ja boniteediklassi (ülal) või metsatüübi (KKT) järgi all. Vasemal on kuuse enamusega puistud, kus okaspuude osa on vähemalt 80% (tinglikult puhtkuusikud) ja paremal alla 80% (tinglikult segakuusikud).

Joonisel 6.4. on ülemiste, boniteedi järgi rühmitatud ja alumiste, metsatüübi järgi rühmitatud puistute algandmestik paarikaupa täpselt ühesugune. Erinevus on vaid andmete rühmitamises. Joonis on aruande teema jaoks õpetlik mitmes mõttes.

**Esiteks** on hinna muudu graafikute kuju väga erinev. Boniteediklasside järgi rühmitatud andmete jooned on ootamatult sirged, kulminatsiooni ümbruses lamedad. Metsatüübiti rühmitatud andmete graafikud on palju kumeramad.

**Teiseks** on hinna muudu amplituud boniteediklassiti ligikaudu 1,5 korda suurem amplituudist metsatüübiti.

Millest sellised erinevused?

1. Metstüübi keskmine boniteet on ligikaudu 3-4 boniteediklassi laiuse intervalli keskmine ja ei saa seetõttu üheski metsatüübis küündida 1a boniteedi tasemeni või langeda 5a boniteedi tasemeni.
2. Kuusikute boniteerimisel tollal kasutatud prof. M. Orlovi üldiste okaspuu tabelite järgi hinnati nooremate puistute boniteeti alla. Tegelikult 1 boniteediklassi arvatud nooremad puistud võisid oma kasvukõvera mõttes olla kuuluvad 1a klassi. Seega boniteedi klasside lõikes kujunevad nooremate puistute takseertunnused üle hinnatuteks. See kajastub ka hinna keskmise muudu kõrgetes väärtustes noortes puistutes.
3. Kuigi andmete rühmitamisel metsatüübiti võib eeldada normatiivide moonutava mõju vähesust võrreldes boniteerimistabelite mõjuga, kandub boniteerimistabelite mõju mingil määral ka metsatüübiti rühmitamisse tüüpide tüpoloogilistes kirjeldustes tüübiti antud boniteedi intervalli vahendusel.
4. Ka siis, kui p. 3 nimetatud mõju puudub, ei pruugi metsatüübiti moodustatud andmete vanuseread õigesti kajastada puistute tegelikku kasvu vanuse intervalliga kaetud minevikus. Meenutame võimalikke moonutusi staatiliste (ühekordse mõõtmisega saadud) andmete töötamise tulemustes (Nilson ja Kiviste, 1984):
  - a. Nooremate puistute, eriti kuusikute, kasvupaigaks on sagedamini kui vanadel endised põllumajandusmaad, kus esimese põlvkonna kuusikud on sama kõrgusindeksi korral isegi 100-200 tm/ha võrra tootlikumad põlistel metsamaadel kasvavaist (Karlsson jt, 1997).



- b. Arvestada tuleb ka kliima muutustega kaasnevat võimalikku kasvu kiirenemist (Kiviste, 1998, 2001).
- c. Soostuvais ja soometsades tuleb arvestada eelmise poolsajandi jooksul tehtud metsakuivenduse mõjuga.
- d. Lisandub metsamajandustööde tegemise või tegemata jätmise mõju.

Küsimusele „kumba rühmitamisega saadi tegelikku kasvu **õigemini** kajastavad andmete vanuseread” tuleb nähtavasti vastata – arvatavasti metsatüübiti rühmitamisega.

Küsimusele „kumba rühmitamisega saadi tegelikku kasvu **õigesti** kajastavad andmete vanuseread” tuleb nähtavasti vastata – ei kummagagi!

Eeltoodud arutelu ei ole küpsusvanuse hindamise spetsiifiline probleem. See on osa puistute kasvu modelleerimise üldisest probleemistikust.

Metsa majandajatel ja reeglite koostajatel on valida kahe alternatiivi vahel:

- kas laskuda täielikku agnostitsismi väites, et õiget kasvu me ei tea ega saagi teadma ning järeldada, et metsandus on reegliteta kunst, või
- arvestada, et osaline teadmine on parem täielikust teadmatusest ning kasutada seda, mida me teame lisades metsanduse kunstile teaduse elemente.

Tuginedes ülaltoodud arutelule loobusime boniteediklassidesse rühmitatud andmete edasisest kasutamisest ja ei kasutanud boniteediklassidesse rühmitamist ka metsaregistri andmete analüüsimisel. Kuid see ei sega metsatüübiti rühmitatud andmetest saadud seaduspärasuste üldistamist kõrgusindeksi või boniteedi funktsioonina. Sel viisil saab vältida suurt osa hinna muudu kõverate rühmitamisega seotud moonutustest. Ei tule segi ajada rühmitamisprotsessiga kaasneva andmeridade keskmiste võimalikku moonutamist ja suhteliselt väikeste moonutustega andmeridadest saadud tulemuste üldistamist.

Otsustades jooniste 6.2-6.4 ja ptk. 5 analoogiliste jooniste visuaalse võrdlemise järgi võib öelda, et RM83-98 takseerkirjeldustest saadud tulemused ei erine oluliselt metsaregistri takseerkirjeldustest saadud tulemustest. Pisierinevused tulenevad arvatavasti andmete töötlemise erinevustest.

## **7. Puistute hinna kasvu ja hinnaküpsuse simuleerimine puistute kasvukäigu tabelite andmetest**

Metsa takseerkirjeldused metsaregistris oli põhiliseks andmestikuks, mille baasil tellija esindajad ootasid hinnaküpsuse hinnangute leidmist. Selgus, et selles andmestikus oli hulgi jämedaid hektaritagavara andmete vigu, milliste kõrvaldamiseks ei õnnestunud koostada head algoritmi.

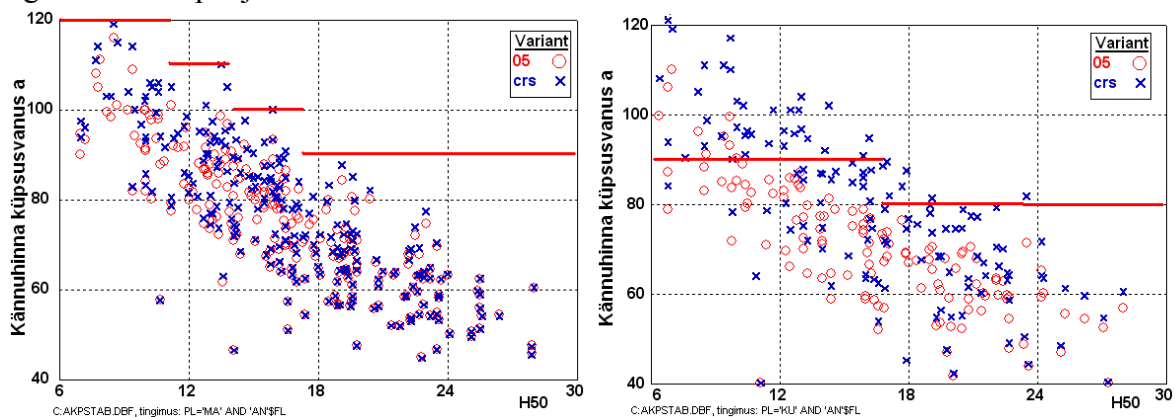
Aruandes (Nilson, 2009b) kirjeldatakse puuliikide kasvu eripära segapuistutes sõltuvalt segust puuliikide kahekaupa analüüsitud kombinatsioonides. See osutus metsatüübiti ja segukombinatsiooniti märgatavalt erinevaks liikide kasvu keskmistest andmetest enamupuuliigi järgi (nt Kiviste, 1995 ja 1997). Me ei ole praegu pädevad üheselt hindama, kui suur osa sellest erinevusest tuleneb mürast andmehõive ja esmase töötamise kanalites ja kui suur osa sellest kajastab reaalselt erinevust. Tuginemine valdavalt silmamõõduliste andmetele nii olulise küsimuse, nagu küpsusvanuste hindamine, on pisut riskantne. Seepärast kasutasime paralleelselt ka puistute kasvukäigu tabeleid, millistel on mingil määral teadustulemuste objektiivsuse mainet.

Puidu hind arvutati Allar Padari puistute sortimenteerimise ja hindamise simulatsiooni tulemustest (Padari, 2005) aruande autori poolt tuletatud ühikuhinna mudelitega otse

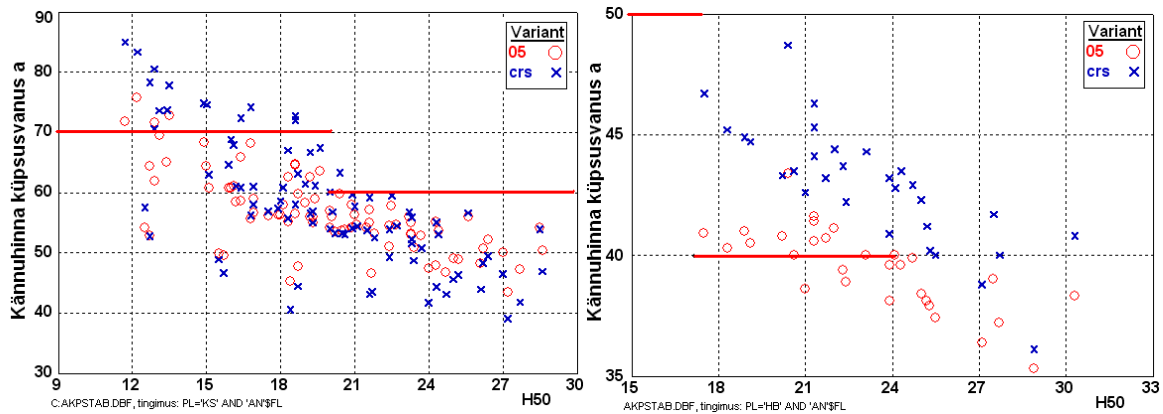
kasvukäigu tabelleist saadud puistu vanuse, kõrguse, diameetri ja tagavara järgi. Erinevaid funktsioone sisaldav programm Y\_HIND.PRG on esitatud lisas. Programmi funktsioonid arvutavad ühikuhinna erinevalt:

- YHIND05(puuliik, vanus, kõrgus, diameeter) tugineb 2005a simulatsiooni (Padari, 2005) andmetest ko aruande autori poolt tuletatud võrrandele ja kasutab kahjustatud puude protsendi prognoosimiseks VV määruse nr 150 algoritmi (koost. A. Padri) Viimane on programmis realiseeritud kasutajafunktsioonina Kahj(puuliik, vanus).
- YHIND05CRS(puuliik, vanus, kõrgus, diameeter) on nagu YHind05, kuid kahjustatud puude protsent hinnatakse SMI mudelpuude kahjustustest tuletatud võrrandiga, mis kasutab funktsiooni rth.crs. Viimane on programmis realiseeritud kasutajafunktsioonina kahjuhrs(puuliik, vanus).
- Funktsioonid YHIND09 ja YHIND09A leiavad ühikuhinna Allar Padari poolt RMK 2009a müügiandmetest tuletatud hinna simulatsiooni järgi. Funktsioonid annavad kasutamiskõlbuliku tulemuse okaspuudele, kuid lehtpuudele annavad ebarealsed tulemused, kui funktsiooni argumentide suhe väljub simulatsioonis kasutatud suhte piirkonnast. Neid funktsioone aruande koostamisel ei kasutatud.

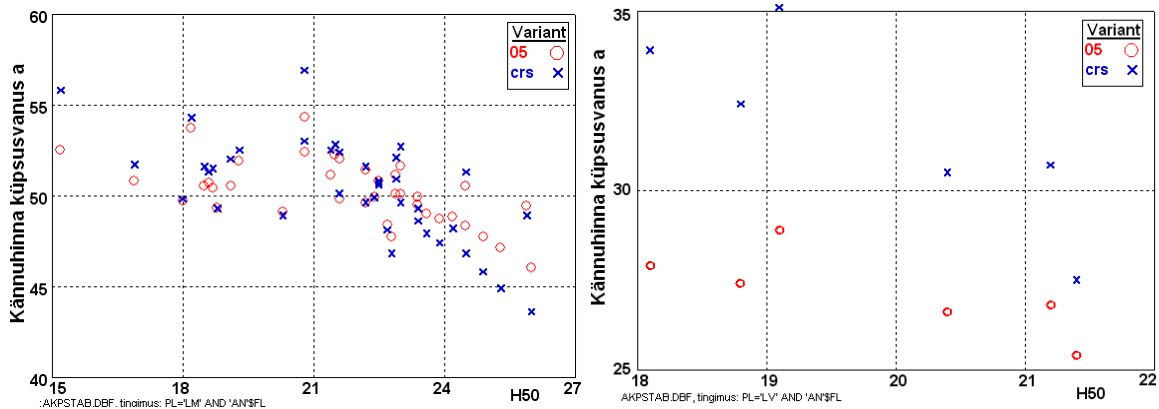
Aruande koostamiseks kasutasime funktsioone YHIND05 ja YHIND05CRS. Hinda alandavate tüvekahjustuste või rikete sõltuvust vanusest ja puuliigist modelleeritakse esimeses Allar Padari poolt k. o. aruande autori osalusel ja juhendamisel aastail 2001 ka 2005 eksperthinnangute (va haava osas) põhjal koostatud mudelit, mis on kinnitatud kehtiva normatiivina VV määrusega Erinevused avaldusid peamiselt lehtpuu liikide ja kuuse hinnas ning küpsusvanuses. Esitame alljärgnevas võrdluse Euraasia kasvukäigutabelite andmetel, mis ühtlasi on ka küpsusvanuse väärtuste hinnangu demonstratsiooniks eeldatavalt soliidsed algandmestiku põhjal.



Joonis 7.1. Säiliva puistu känuhinna küpsusvanus männikutes (vasemal) ja kuusikutes (paremal) Euraasia kasvukäigutabelite andmeil kahjustatud puude protsendi erinevate variantide korral. Tähistus: crs – funktsiooniga rth.crs SMI kahjustatud mudelpuude protsendi järgi, 05 – VVM, 2008 (A. Padari ja A. Nilsoni eksperthinnangute alusel). Jämeda punase joone lõikudega on tähistatud minimaalne lubatud lageraie vanus.



Joonis 7.2. Säiliva puistu kännuhinna küpsusvanus kaasikutes (vasemal) ja haavikutes (paremal) Euraasia kasvukäigutabelite andmeil kahjustatud puude protsendi erinevate variantide korral. Tähistus nagu joon. 7.1.



Joonis 7.3. Säiliva puistu kännuhinna küpsusvanus sanglepikutes (vasemal) ja hall-lepikutes (paremal) Euraasia kasvukäigutabelite andmeil kahjustatud puude protsendi erinevate variantide korral. Tähistus nagu joon. 7.1.

Eeldatavalt on funktsiooni YHIND05CRS tulemused oluliselt realistlikumad funktsiooni YHIND05 omadest. Mõlema funktsiooni järgi on männikutes kahjustatud puude protsent väike ja sarnane ning sarnased on ka kännuhinna küpsusvanuse hinnangud.

Kuusikutes on küpsusvanuse hinnangud funktsiooni YHIND05CRS paremates boniteetides mõne kuni kehvemates boniteetides mõneteistkümne protsendi võrra suuremad funktsiooni YHIND05 omadest.

Kaasikutele saadakse funktsiooni YHIND05CRS kasutades võrreldes funktsiooni YHIND05 omadega paremates boniteetides paari aasta võrra väiksemad ja kehvemates kasvukohtades suuremad kännuhinna küpsusvanuse hinnangud. Sanglepikutes on erinevuste pilt analoogiline kaasikute omaga.

Hall-lepikutes annab funktsiooni YHIND05CRS kasutamine ca 5a võrra kõrgemad küpsusvanuse hinnangud kui funktsioon YHIND05.

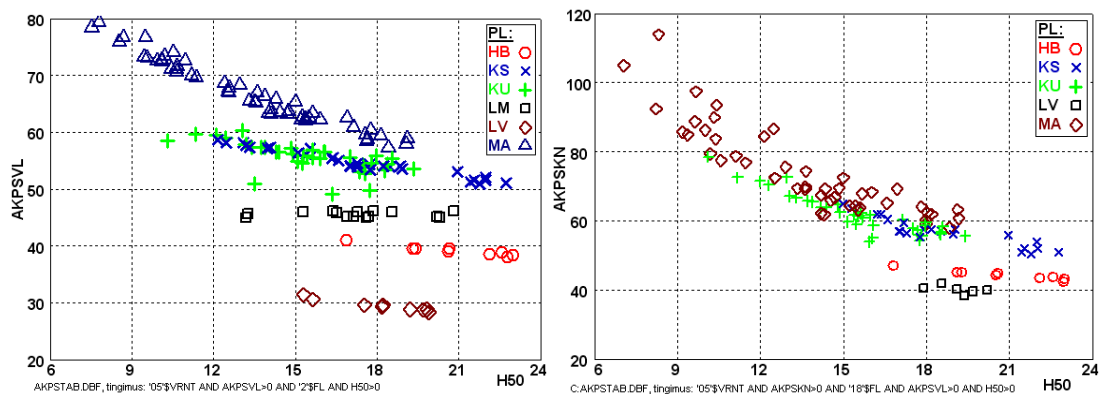
Lepikute kohta võib kasvukäigu tabelite pildist teha järelduse: sanglepikutes on kännuhinna küpsusvanus ligikaudu 50a mõningase langusega parimates boniteetides. Hall-lepikute kännuhinna küpsusvanus on ligikaudu 30a.

Teistel puuliikidel on joonistelt näha kännuhinna küpsusvanuse selge suurenemine boniteedi järjekorranumbri suurenedes või kõrgusindeksi väärtnes. See

suurenemine küünib kõrgusindeksi H50 esitatud muutumisvahemikus männikutes ja kuusikutes keskmiselt 60, kaasikutes 30 ja haavikutes 10 aastani.

Kännuhinna küpsusvanuse võrdlemise tulemused kehtivate lageraie minimaalsete lubatud väärtustega on tunnistuseks absoluutsest voluntarismist metsanduse normatiivide kehtestamisel. Parimais okaspuu puistutes on minimaalne lubatud lageraie vanus ligikaudu 30a võrra suurem hinnaküpsuse vanuse keskmisest väärtusest. Arvestada tuleb, et tegelik keskmine raievanus kujuneb minimaalsest lubatust praktiliselt ligikaudu 5a võrra suuremaks ja kasvukäigu tabeleist hinnatud suurused kehtivad suhteliselt saledate normaalpuistute kohta. Sõltuvalt reaalse puistu tunnuste väärtusest (segakoosseis, madal täius jmt.) võib selle hinnaküpsuse vanus osutada oluliselt väiksemaks siintooduist. Seega sunnib normatiiv kõige tootlikumaid puistuid hinnaküpsuse mõttes vahest isegi ligikaudu 40a võrra üle seisma. Kahju kannab metsaomanik, riigi metsaklaster ja riik tervikuna.<sup>2</sup> Olukord okaspuude, kaasikute ja sanglepikute minimaalse raievanuse osas on sedavõrd absurdne, et selle soliidne kommenteerimine tundub võimatu. Olukord on talutav ainult haavikute osas.

Lisame jooniseid ka Andres Kiviste (1995 ja 1997) kasvumudelitest tuletatud hinnangute kohta



Joonis 7.4. Vahelao hinnaküpsus A. Kiviste (1995) mudeli ja funktsiooni YHIND05 järgi (vasemal) ja kännuhinna küpsus A. Kiviste (1997) mudeli ja funktsiooni YHIND05crs järgi (paremal).

Andres Kiviste 1995 ja 1997 a mudeleist arvatud mahuküpsuse võrdlus on toodud peatükis 2 (vt joon. 2.3 ja 2.4). Ühe ja sama meetodika järgi leitud hinnaküpsuste erinevused nende kahe mudeli järgi on sarnased mahuküpsuste erinevustele. Suurem osa punktide hajuvusest joonistel 7.1-7.3 tuleneb arvatavasti kasvukäigu tabelite koostamise meetodika erinevusest, mingi osa sõltub harvendusraiate režiimist, mingi osa sellest, kas tegemist on normaal- või moodpuistute tabelitega jne. Kui ühe ja sama autori tabelid ühendada joontega, siis saaksime joonistele 7.1-7.3 enamasti sirgelähedased langevad jooned. Mõnel üksikul autoril on jooned ka märgatava languseta. Selliste tabelikomplektide koostamise meetodika analüüs on enamasti lõppenud meetodika defektide leidmisega.

Ühtse meetodikaga kogutud ja analüüsitud andmete töötlemistulemused kinnitavad, et küpsusvanus tõuseb kasvutingimuste paranemisega. Hajusa andmestiku regressioonanalüüsi

<sup>2</sup> Metsa normatiivide äpardumise tõttu voolas arvestatav kogus valuutat toormehaigetele naabermaadesse (peamiselt Venemaale) ja tehti naabermaadesse ka saetööstusena investeeringud. Samal ajal jätkus Eestis puistute üleseismise protsess. Vähenes kohalik tööhoive ja kärbus raharinglus. Aeglustus ka puidu edasisele vääristamisele orienteeritud lõpptootmise tööstuse arendamine. Aruka metsapoliitika tagajärjel oluks lisandunud lõpptootjate turusituatsioon ilmselt ka majanduslanguse tingimustes praegusest toormetootjate omast parem ja paindlikum.

tulemusena saadakse reeglina seosejoone tõusunurga absoluutväärtus (nt tabelleis 7.1 ja 7.2) väiksem tegelikust, andmekomplektide kaupa eraldi leitud tõusude keskmisest.

Esitame järgnevas säiliva puistu hinnaküpsuse vanuse ja vanuse järgi maksimaalse hinna muudu võrrandite kordajad (tabelid 7.1-7.4) kõrgusindeksi H50 funktsioonina Euraasia kasvukäigutabelite komplekti (ligi 1000 kasvurida) järgi ja Andres Kiviste 1995 ja 1997a kasvumudelite järgi. Kasvukäigu tabelite andmetest koostatud võrrandid annavad moodpuistute vastavaist tunnustest mõnevõrra kõrgemad hinnangud, sest suurem osa kasvukäigu tabelleist on koostatud normaalpuistute kohta. Võrrandite kasutamisel tuleb seda kindlasti arvestada.

Andres Kiviste mudelite kõrvutamisel vahetult metsaregistrist leitud tulemustega tuleb arvestada, et tema andmed kuulusid tüüpi „kõik puistud” ja sisaldasid ka tugeva seguga segapuistuid. Seega tema mudelid ei ole männi, kuuse jt puuliikide puhtpuistute, vaid on vastavalt männi, kuuse jt puuliikide enamusega sega- ja puhtpuistute ühendatud vanuseridade üldistatud mudelid.

Kasvukäigutabeleid on enamasti püütud koostada puhtpuistute või tinglikult puhtpuistute andmetele tuginedes.

Tabel 7.1 Euraasia puistute kasvukäigu tabelleist leitud kännuhinna küpsusvanuse ja vahelao hinnaküpsuse vanuse võrrandite küpsusvanus =  $b_0 + b_1 * H50$  kordajad puuliigiti (PL) kahjustatud puude protsendi arvutamisel VV määruse 150 reeglite (var = 05) ja SMI mudelpuude andmete (var = crs) järgi

PL	Var	B0	B1	Võrrand
Kännuhinna küpsuse vanus a				
HB	05	48.8	-0.40	48.837295-.404028*H50
KS	05	78.4	-1.10	78.399100-1.09808*H50
KU	05	100.2	-1.94	100.248824-1.94317*H50
LM	05	58.4	-0.38	58.402478-.376794*H50
LV	05	40.8	-0.69	40.827089-.688761*H50
MA	05	121.2	-2.79	121.233199-2.79197*H50
HB	crs	57.7	-0.64	57.696257-.638152*H50
KS	crs	94.3	-1.84	94.345410-1.84390*H50
KU	crs	111.9	-2.24	111.927473-2.23683*H50
LM	crs	65.6	-0.70	65.575990-.701367*H50
LV	crs	65.2	-1.69	65.241390-1.69200*H50
MA	crs	129.1	-3.13	129.056842-3.13392*H50
Vahelao hinna küpsusvanus a				
HB	05	46.8	-0.38	46.813709-.381997*H50
KS	05	73.9	-1.03	73.937209-1.03258*H50
KU	05	99.5	-1.94	99.527455-1.94300*H50
LM	05	51.4	-0.21	51.355069-.212410*H50
LV	05	41.6	-0.89	41.573271-.886888*H50
MA	05	113.1	-2.55	113.055216-2.54885*H50
HB	crs	54.6	-0.63	54.568171-.630462*H50
KS	crs	82.4	-1.52	82.388846-1.51706*H50
KU	crs	110.6	-2.27	110.636209-2.26997*H50
LM	crs	46.9	-0.12	46.855604-.122831*H50
LV	crs	53.5	-1.47	53.490346-1.47262*H50
MA	crs	118.8	-2.81	118.781895-2.80782*H50

Kahjustuste arvestamisel SMI mudelpuude andmeist tuletatud mudeli järgi saadakse reeglina tugevam sõltuvus kõrgusindeksist H50 (kordaja b1 absoluutväärtus on suurem). See kompenseerib mingil määral eelpool mainitud regressiooni võrranditele omast sõltuvusjoone tõusunurga vähenemist hajusa andmestiku korral. Lisaks on variandi crs aluseks enam objektiivseid andmeid kui valitsuse määruse nr 150 algoritmil. Seega kasutamiseks on soovitatav eelistada ridu, kus var=crs.

Tabel 7.2 Euraasia puistute kasvukäigu tabeleist leitud kännuhinna ja vahelao hinna keskmise muudu kulminatsiooni väärtuse võrrandite

$$\text{hinna muut} = b_0 + b_1 * H50$$

kordajad puuliigiti (PL) kahjustatud puude protsendi arvutamisel VV määruse 150 reeglite (var = 05) ja SMI mudelpuude andmete (var = crs) järgi

PL	Var	b0	b1	Võrrand
Kännuhinna keskmine muut kr/ha/a küpsusvanuses				
HB	05	-1112.2	64.82	-1112.16+64.816810*H50
KS	05	-1680.4	148.49	-1680.43+148.490608*H50
KU	05	-2008.4	293.43	-2008.40+293.429409*H50
LM	05	-1389.8	87.10	-1389.84+87.104537*H50
LV	05	-1343.8	77.04	-1343.77+77.038905*H50
MA	05	-1456.6	229.05	-1456.57+229.046543*H50
HB	crs	-969.1	56.71	-969.075+56.713074*H50
KS	crs	-1347.7	115.90	-1347.70+115.903945*H50
KU	crs	-1645.2	271.97	-1645.19+271.971930*H50
LM	crs	-1177.8	70.82	-1177.82+70.822467*H50
LV	crs	-1028.4	61.09	-1028.41+61.087896*H50
MA	crs	-1409.6	225.30	-1409.60+225.303253*H50
Vahelao hinna keskmine muut kr/ha/a küpsusvanuses				
HB	05	-1510.0	131.52	-1509.98+131.519044*H50
KS	05	-1959.5	197.73	-1959.48+197.732033*H50
KU	05	-2318.8	372.46	-2318.84+372.461157*H50
LM	05	-2401.5	179.55	-2401.47+179.546139*H50
LV	05	-2561.9	206.99	-2561.94+206.988473*H50
MA	05	-1783.1	295.49	-1783.12+295.493242*H50
HB	crs	-1401.7	124.38	-1401.71+124.377193*H50
KS	crs	-1686.1	168.54	-1686.11+168.543594*H50
KU	crs	-1912.1	348.42	-1912.08+348.420837*H50
LM	crs	-2227.0	165.48	-2227.00+165.482867*H50
LV	crs	-2539.4	204.27	-2539.43+204.265130*H50
MA	crs	-1749.3	292.33	-1749.26+292.326941*H50

Tabel 7.3 Andres Kiviste (1995, 1997) mudelist leitud kännuhinna küpsusvanuse ja vahelao hinnaküpsuse vanuse v rrandide

$$\text{küpsusvanus} = b_0 + b_1 * H_{50}$$

kordajad puuliigiti (PL) kahjustatud puude protsendi arvutamisel VV m aruse 150 reeglite (var = 05) ja SMI mudelpuude andmete (var = crs) järgi mudeli aastate lõikes

PL	Var	b0	b1	Võrrand	Aasta
Kännul					
HB	05	56.0	-0.56	56.047537-.555716*H50	1997
KS	05	84.1	-1.46	84.128691-1.46242*H50	1997
KU	05	87.0	-1.64	86.996539-1.63635*H50	1997
LV	05	50.0	-0.51	50.001053-.507269*H50	1997
MA	05	122.4	-3.38	122.449398-3.38344*H50	1997
HB	crs	56.0	-0.56	56.047537-.555716*H50	1997
KS	crs	84.1	-1.46	84.128691-1.46242*H50	1997
KU	crs	87.0	-1.64	86.996539-1.63635*H50	1997
LV	crs	50.0	-0.51	50.001053-.507269*H50	1997
MA	crs	122.4	-3.38	122.449398-3.38344*H50	1997
Vahelaos					
HB	05	50.0	-0.53	50.041096-.525828*H50	1997
KS	05	65.4	-0.69	65.399240-.694267*H50	1997
KU	05	81.3	-1.62	81.264250-1.61897*H50	1997
LV	05	25.3	0.19	25.339998+.1916959*H50	1997
MA	05	106.0	-2.69	106.044991-2.69475*H50	1997
HB	crs	61.6	-0.92	61.565202-.924765*H50	1997
KS	crs	70.1	-1.04	70.124015-1.04471*H50	1997
KU	crs	89.9	-1.99	89.922855-1.99426*H50	1997
LV	crs	18.8	0.85	18.769157+.8547768*H50	1997
MA	crs	110.6	-2.97	110.550115-2.96817*H50	1997
Kännul					
HB	crs	34.7	0.38	34.664202+.3782785*H50	1995
KS	crs	42.7	0.69	42.719023+.6879533*H50	1995
KU	crs	72.1	-0.64	72.087934-.639611*H50	1995
LV	crs	73.0	-1.75	72.990335-1.74575*H50	1995
MA	crs	119.1	-3.68	119.054569-3.68002*H50	1995
Vahelaos					
HB	crs	54.5	-0.58	54.476293-.581347*H50	1995
KS	crs	73.1	-1.11	73.133347-1.11163*H50	1995
KU	crs	69.0	-0.65	69.000589-.654135*H50	1995
LV	crs	52.6	-0.88	52.608154-.879834*H50	1995
MA	crs	92.3	-1.83	92.315201-1.83470*H50	1995



Tabel 7.4. Andres Kiviste (1995, 1997) mudeleist leitud kännuhinna ja vahelao hinna keskmise muudu maksimumväärtuse võrrandite

$$\text{hinna muut} = b_0 + b_1 \cdot H_{50}$$

kordajad puuliigiti (PL) kahjustatud puude protsendi arvutamisel VV määruse 150 reeglite (var = 05) ja SMI mudelpuude andmete (var = crs) järgi mudeli aastate lõikes

PL	Var	b0	b1	Võrrand	Aasta
Kännul					
HB	05	-426.1	28.88	-426.063+28.884455*H50	1997
KS	05	-966.0	83.64	-965.996+83.639510*H50	1997
KU	05	-897.1	151.05	-897.150+151.052138*H50	1997
LV	05	-398.7	22.65	-398.653+22.650264*H50	1997
MA	05	-714.4	140.76	-714.418+140.764782*H50	1997
HB	crs	-426.1	28.88	-426.063+28.884455*H50	1997
KS	crs	-966.0	83.64	-965.996+83.639510*H50	1997
KU	crs	-897.1	151.05	-897.150+151.052138*H50	1997
LV	crs	-398.7	22.65	-398.653+22.650264*H50	1997
MA	crs	-714.4	140.76	-714.418+140.764782*H50	1997
Vahelaos					
HB	05	-1404.3	111.79	-1404.33+111.788215*H50	1997
KS	05	-1651.7	159.58	-1651.72+159.576707*H50	1997
KU	05	-1821.9	243.83	-1821.91+243.828302*H50	1997
LV	05	-488.3	64.04	-488.295+64.041185*H50	1997
MA	05	-857.8	184.14	-857.761+184.143045*H50	1997
HB	crs	-1296.4	105.24	-1296.38+105.241842*H50	1997
KS	crs	-1407.8	134.89	-1407.76+134.886929*H50	1997
KU	crs	-1691.3	232.54	-1691.27+232.537647*H50	1997
LV	crs	-636.7	73.38	-636.710+73.376637*H50	1997
MA	crs	-840.4	182.05	-840.385+182.053558*H50	1997
Kännul					
HB	crs	-151.6	16.68	-151.575+16.683277*H50	1995
KS	crs	-730.6	71.54	-730.572+71.539231*H50	1995
KU	crs	-1127.2	164.71	-1127.22+164.710373*H50	1995
LV	crs	-578.9	32.42	-578.880+32.421640*H50	1995
MA	crs	-440.5	111.08	-440.527+111.077702*H50	1995
Vahelaos					
HB	crs	-688.0	77.19	-688.030+77.193868*H50	1995
KS	crs	-1195.5	123.74	-1195.51+123.744973*H50	1995
KU	crs	-1308.0	210.62	-1308.02+210.621409*H50	1995
LV	crs	-635.3	73.23	-635.332+73.234643*H50	1995
MA	crs	-1140.9	201.46	-1140.86+201.457523*H50	1995

## 8. Segapuistute uuendusraie vanuse diferentseerimise vajaduse ja võimaluste analüüs

Metsanduse helgemad pead on aastakümnete jooksul ühel või teisel moel avaldanud seisukohta, et valmis retseptide aeg metsanduses on möödanik. Metsa ja metsanduse mitmekesisusele tuleb võimalikult hästi sobitada otsuste mitmekesisus. Puistute uuendusraie

momendi õige ajastamine (raievanuse määramine) on selles protsessis üks võtmeprobleemidest.

Käeoleva aruande eelmistest peatükkidest selgus, et metsa kasvu kajastavate mistahes andmete analüüsiga jõutakse alati enam-vähem ühesugusele tulemusele: puistu hinnaküpsus tootmismetsas sõltub puistu ehitusest ja vastavusest kasvu- ja majandustingimustele. Puistu kui puude kogumi küpsuse moment võib alata kasvu- ja majandustingimustele täiesti sobimatul puistul selle tekkimise momendist ja lõppeda erakordselt õnnestunud puistul tunduvalt hiljem talle üldjoontes sarnaste puistute keskmisest küpsusvanusest. Äpardumine tuleb võimalikult kiiresti parandada ja õnnestumine võimalikult täiel määral ära kasutada. Puistu on küps siis, kui selle prognoositav toodang enam ei küündi tulevase asenduspuistu prognoositava toodangu keskmise muudu või juurdekasvu maksimumini aja teljel.

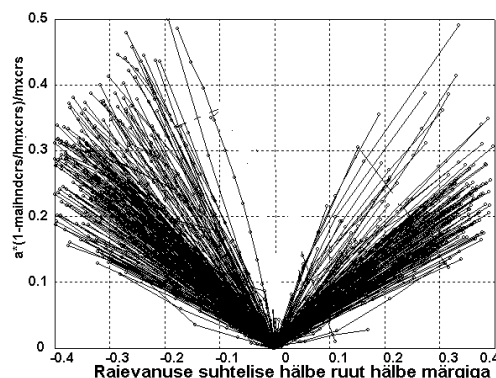
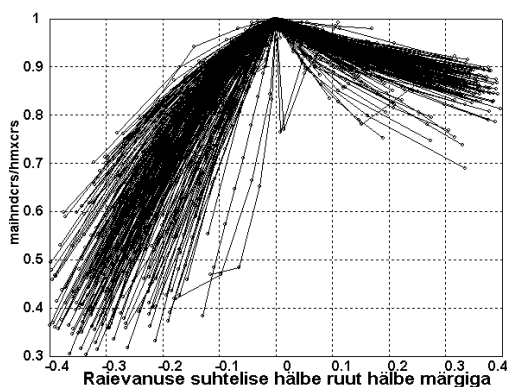
Tegemist on kahe prognoosiga:

1. olemasoleva puistu toogi prognoos tulevikus, nn valmivate puistute korral vaid lähiaastateks või –kümneteks,
2. asenduspuistu keskmise toogi maksimumi prognoos üle aja (keskmine took küpsusvanuses).

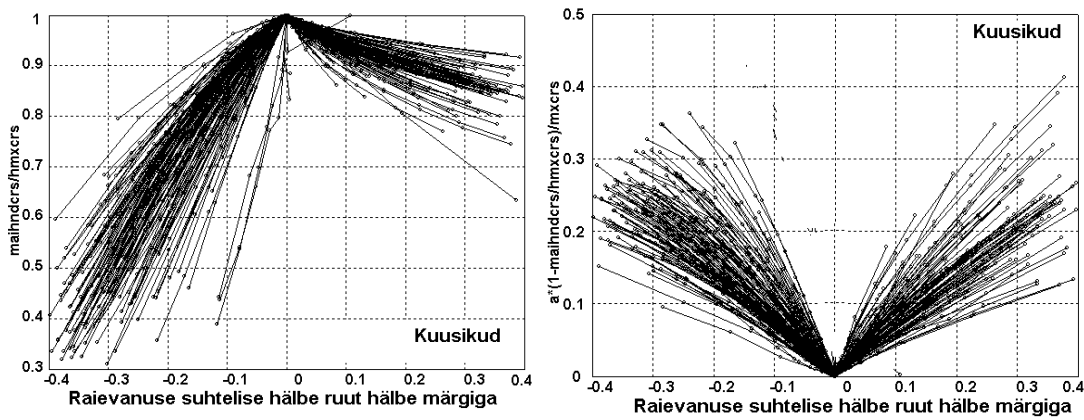
Olemasoleva puistu tulevast toogi saab üsna hästi prognoosida mitmesuguste metsanduslike kogemuste, mudelite ja andmestike alusel. Aruande eelmised peatükid olidki just sellele pühendatud. Asenduspuistu toogi prognoosimine on aktiivse metsamajanduse tingimustes hoopis keerukam ülesanne, sest asenduspuistu toogivõime ei sõltu üksnes looduslikest tingimustest vaid ka puistu tulevases majandamisest. Tulevase majandamise prognoos on suures osas subjektiivne otsustus ja selle vastavus reaalsusele sõltub otsustaja pädevusest ja reaalsuse tajust. Üheks väljapääsuks on kehtestada kasvutingimuste kompleksile antud majandustingimuste foonil lihtsustatud meetoditega toogi normi väärtus ja võrrelda olemasoleva puistu prognoositavat toogi selle normiga. Ka seda võimalust analüüsiti eelnevais peatükkides.

Eelnevates peatükkides näidati puistute uuendusraie vanuse diferentseerimise **võimalusi**. Püüame järgnevas põhjendada uuendusraie vanuse diferentseerimise **vajadust**.

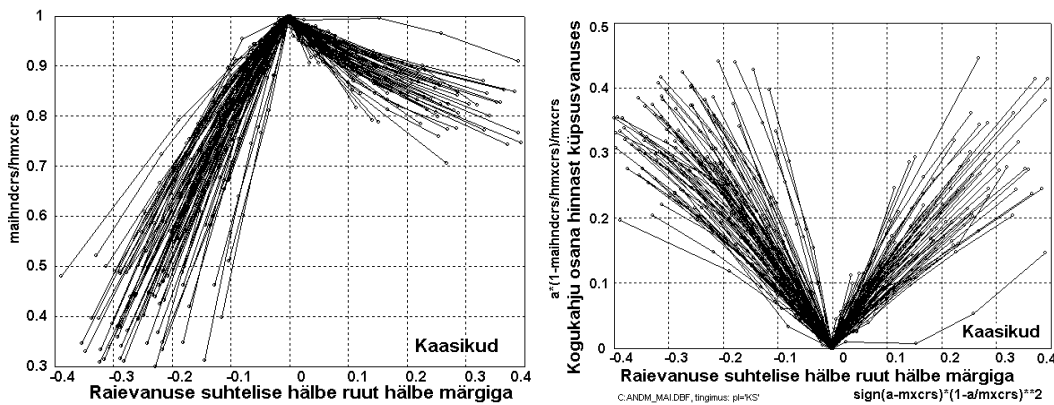
Kui eksisteerib puistute parim raievanus, siis mistahes muu raievanus on sellest halvem ja hälbimine parimast toob enesega kaasa kahjud. Pidevad sihifunktsioonid on oma optimumi - maksimumi või miinimumi ümbruses vastavalt kumerad või nõgusad. Optimumi lähistel (mõõdukate hälvete korral) on need kumerused või nõgusused piisavalt hästi lähendatavad ruutfunktsioonidega. Uuendusraie raievanuse optimeerimise korral on käesoleva aruande teema kohaselt sihifunktsiooniks keskmine hinna took, mida maksimeeritakse raievanuse valikuga. Vaatleme, mis juhtub meie sihifunktsiooni väärtusega selle optimumi naabruses. Aruande eelmises osas näitasime, et hajusa andmestiku keskmiste kasutamise korral meie sihifunktsioon lameneb ja selle kasutamine kahju hindamiseks ei oleks korrektne. Kasutame oma empiiriliste andmete asemel kasvukäigu tabelite andmeid, millistes sellist lamenumist peaks eelduste kohaselt olema vähem.



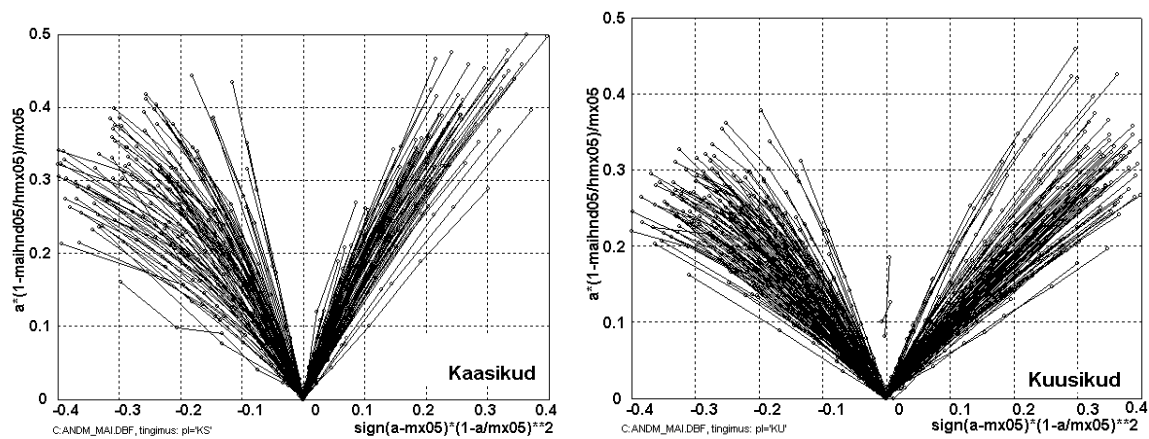
Joonis 8.1. Aasta keskmine suhteline k채nnuhinna took (vasemal) aastase suurima keskmise toogi osana ja kogu suhteline kahju (paremal) kupsusvanuses saadava kogu toogi osana Euraasia m채nnikute kasvuk채igu tabelite j채rgi raievanuse suhtelise vea ruudu funktsioonina. Kahjustatud puude protsenti modelleeriti SMI mudelpuude andmeist tuletatud funktsiooniga.



Joonis 8.2. Aasta keskmine suhteline k채nnuhinna took (vasemal) aastase suurima keskmise toogi osana ja kogu suhteline kahju (paremal) kupsusvanuses saadava kogu toogi osana Euraasia kuusikute kasvuk채igu tabelite j채rgi raievanuse suhtelise vea ruudu funktsioonina. Kahjustatud puude protsenti modelleeriti SMI mudelpuude andmeist tuletatud funktsiooniga.

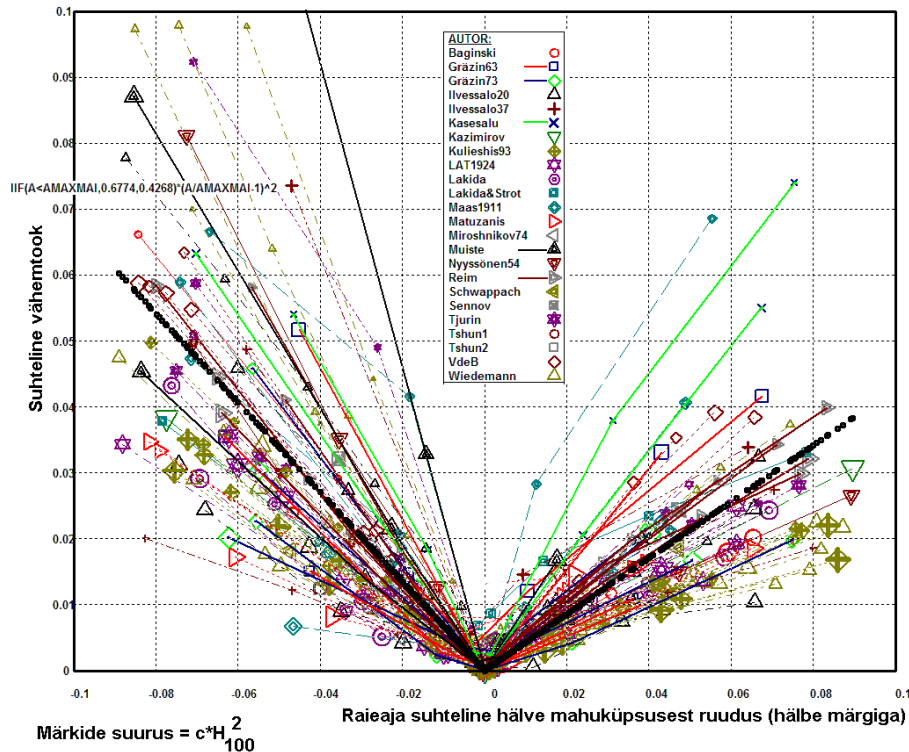


Joonis 8.3. Aasta keskmine suhteline k채nnuhinna took (vasemal) aastase suurima keskmise toogi osana ja kogu suhteline kahju (paremal) kupsusvanuses saadava kogu toogi osana Euraasia kaasikute kasvuk채igu tabelite j채rgi raievanuse suhtelise vea ruudu funktsioonina. Kahjustatud puude protsenti modelleeriti SMI mudelpuude andmeist tuletatud funktsiooniga.



Joonis 8.4. Kogu suhteline kännuhinna kahju (paremal) küpsusvanuses saadava kogu toogi osana Euraasia kaasikute (vasemal) ja kuusikute (paremal) kasvukäigu tabelite järgi raievanuse suhtelise vea ruudu funktsioonina. Kahjustatud puude protsenti modelleeriti Vabariigi Valitsuse määruse 09.10.2008 nr 150 funktsiooniga.

Joonistel 8.1-8.4 näeme kännuhinna suhtelist vähemtooki. Analoogilisi jooniseid tagavara vähemtoogi kohta on aruande autor demonstreerinud viimase kümnekonna aasta jooksul. Esitame järgnevalt ühe aastast 2004 pärineva.



Joonis 8.5. Aasta keskmine suhteline tagavara vähemtook aastase suurima keskmise toogi (küpsusvanuses saadava aastase toogi) osana Euraasia männikute kasvukäigu tabelite järgi raievanuse suhtelise vea ruudu funktsioonina. Keskmine vähemtoogi lähend on tähistatud musta jämeda punktiir-katkendjoonena ja esitatud ka võrrandina (tekst risti üle vertikaaltelje).

Näeme joonistelt, et nii aastane kui raieringi kogu vähemtook on hästi lähendatav raievanuse suhtelise vea ruudu funktsioonina. See on pidevate sihifunktsioonide tavaline omadus. Tavalise eelarvamusliku lähenemise kohaselt on parima raievanuse ennetamine ohtlikum raiega hilineemisest ja see on tõepoolest nii, kui pidada silmas keskmist aastast kahju (vasakpoolsed graafikud joonistel 8.1-8.3 ja joonis 8.5). Kui aga arvestada kogu raieringi vältel saamatajäänud toodangut (parempoolsed graafikud joonistel 8.1-8.3 ja joonis 8.4), siis on mõlemad vead enam-vähem ühesuguste tagajärgedega.

Kui kahjustatud puude protsenti modelleerida Vabariigi Valitsuse määruse 09.10.2008 nr 150 funktsiooniga, siis nt. kaasikutes ja kuusikutes on kännuhinna kogukahju raiega hilineamise korral pisut suurem ennetava raiega kaasnevast kahjust.

Joonistelt peaks ilmekalt selguma vajadus sobitada raievanus igale konkreetsele puistule (diferentseerida) vastavalt puistu toogivõime muutustest ajas (vanusega). Eelmistes peatükkides selgus, et hinna mõttes parim raievanus (hinnaküpsuse vanus) sõltub puistu ja loodusliku ning majanduskeskkonna paljustest tunnustest ja selle võimalikud väärtused algavad ühest aastast. Raievanuse kui otsuse sobitamine puistute mitmekesisusele eeldab

raievanuse enese väärtuse mitmekesisust. Tegemist on raievanuse kui otsuse mitmekesisuse sobitamisega puistute mitmekesisusele.

Pole raske jooniste 8.1-8.4 andmetest tuletada üldist kahju funktsiooni sarnaselt joonisel 8.5 esitatule ja arvutada, mida rahaliselt tähendab puistute raievanuse hälbimine hinnaküpsuse vanusest üldiselt kogu Eestis ja igas üksikpuistus eraldi.

Raievanuste diferentseerimise vajaduse põhjendamiseks peaks ülaltoodu olema piisav.

## Kirjandus

- Eid T. 2001. Models for prediction of basal area mean diameter and number of trees for forest stands in south-eastern Norway. SJFR 16: 467-479
- Gobakken T. 2000. Models for assessing timber grade distribution and economic value of standing birch trees. Scand. J. For. Res. 15, No.5, 570-578
- Karlsson, A., Albrektson, A. and Sonesson, J. 1997. Site index and productivity of artificially regenerated *Betula pendula* and *Betula pubescens* stands on former farmland in southern and central Sweden. SJFR, 12, No. 3, 256-263.
- Hooldusraiate normatiivid (harvendusaste, järjekord, sortimendid). 1980. Koost. E. Tappo. Eesti Metsakorralduskeskus. Tallinn. 45 lk.
- Iles, K. 2003. A Sampler of Inventory Topics: a practical discussion for resource samplers, concentrating on forest inventory techniques. Kim Iles & Associates Ltd. 2003. Canada. 869 p & CD.
- Kaimre, P. 2000. Metsanduse ökonomika. Eesti Metsaselts. 156 lk.
- Kaimre, P. 2002. Metsanduse ökonomika. Väitekiri põllumajandusteaduse doktori teaduskraadi taotlemiseks metsanduse erialal. Eesti Põllumajandusülikool. 197 lk.
- Karlsson, A., Albrektson, A. and Sonesson, J. 1997. Site and productivity of artificially regenerated *Betula pendula* and *Betula pubescens* stands on former farmland southern and central Sweden. SJFR, Vol. 12, No. 3, 256-263.
- Kiviste, A. 1995. Eesti riigimetsa puistute kõrguse, diameetri ja tagavara sõltuvus puistu vanusest ja kasvukohatingimustest 1984.-1993. a. metsakorralduse takseerikirjelduste andmeil. – EPMÜ teadustööde kogumik, 181. Tartu, 132-148.
- Kiviste, A. 1997. Eesti riigimetsa puistute kõrguse, diameetri ja tagavara vanuseridade diferentsimudel 1984.-1993. a. metsakorralduse takseerikirjelduste andmeil. – EPMÜ teadustööde kogumik, 189. Tartu, 63-75.
- Kojola, S., Penttilä, T. and Laiho, R. 2005. First Commercial Thinnings in Peatland Pine Stands: Effect of Timing on Fellings and Removals. Baltic Forestry, 11 (2): 51-58
- Krigul, T. 1961. Männi- ja kuusepuistute laasimine. Eesti Loodusteaduste Arhiiv. 18 köide. Bioloogiline seeria. Tartu 193 lk.
- Krigul, T. 1962. Haavapuistute laasimisest – EPA teaduslike tööde kogumik, 23. Tartu, 181-190.
- Krigul, T. 1965. Rinnasdiameetri jaotusest puistus. – EPA teaduslike tööde kogumik, 41. Tartu, 98-105.
- Leskinen P. and Kangas J.: Modelling and simulation of timber prices for forest planning calculations. Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 13-4: 469-476.
- Metsa hinna määramise matemaatilised mudelid. Keskkonnaministri määrus nr.18, 31.05.1994 lisa 2
- Nilson, A. 1978. Mõnedest metsakorralduse aktuaalsetest probleemidest. - "Mets, Puit, Paber", 7, 13-19
- Nilson, A. 1979. Kommentaare metsakorraldustööde ja raielankide hindamise täpsuse alase diskussiooni kohta. - "Mets, Puit, Paber", 9, 5-10.
- Nilson, A., Kiviste A. 1984. Männikute "kasvukäigu" mudel tüpiseerimata kasvutingimuste järgi. - EPA teaduslike tööde kogumik. 151.-Tartu, 50-59.
- Nilson A. 1994. Metsamaa ja sellel kasvava metsa hindamisest maade asendamisel ja ostueesõigusega erastamisel. Kommenteerib Eesti Põllumajandusülikooli professor Artur Nilson.. - "Maa", Riigi Maa-ameti Kuukiri, 1994, nr.6, lk. 108-109.
- Nilson, A. 1996. Social and Environmental Role of Forest Management Plan and Its Implementation.. Integrating Environmental Values into Forest Planning - Baltic and Nordic Perspectives. EFI Proceedings, 13. European Forest Institute, Joensuu, 9-21.
- Nilson, A. 1997a. Metsa raiete kavandamisest Eestis arvutisajandil. EPMÜ Teadustööde Kogumik, 189, Tartu, 103-131.
- Nilson, A. 1997b. Models for Adaptable Planning of Forest Cut. Revival of the Theory of Normal Forest. (Summary). Forest and tree resources. Proceedings of the XI World Forestry Congress, 13-22 October 1997. Antalya. Vol.1. 48.
- Nilson, A. 1999. Pideva metsakorralduse võtete sundkatsest raiete kavandamisel ja metsanduse arengusuundadest. – Pidev metsakorraldus. EPMÜ Metsandusteaduskonna toimetised. 32. Tartu 96-105.
- Nilson, A. 2002. Fragmente puistu kasvu ja ehituse mudelitest. Metsanduslikud Uurimused. XXXVII. Tartu. 9-20.
- Nilson, A. 2008. Raie kavandamise kunstist. - Eesti Mets, 3. 23-27.
- Nilson, A. 2009a. Metsa mahuküpsuse leidmine kui kohtuprotsess. - Eesti Mets, 1. 22-28.
- Nilson, A. 2009b. Segapuistute enamus- ja seguliikide kõrguse ja diameetri kasvu simulaatorid. Metsakaitse ja Metsauuenduskeskuse (käsundiandja) ja Artur Nilsoni (käsundisaaja) vahel 16. novembril 2009 aastal sõlmitud käsunduslepingu nr 3-24/Trt-23 aruanne. 15 lk + Lisad: 1: Koostisliikide kõrgusindeksi H50

- väärtuse jaotus paigatüüpides Metsaregistri andmetel (seisuga 01.09.2008) 32 lk, 2: Puistute kõrguse, diameetri ja mahu ridade silumisvõrrandite parameetrid EMI teadurite Peeter Kollisti ja August Ördi koostatud algridadest. 1 lk. 3: Segapuistute puuliikide kõrguse suhte sõltuvus mulla OHOR horisondi tusedusest ja puistu vanusest tingkeskmiste silumata ja silutud ridades 12 lk., 4: Programm maiVAK säiliva puistu mahu keskmise muudu hindamiseks mahuküpsuse vanuses. 2 lk., 5: Segu- ja enamuspuuliikide kõrguse ja diameetri vanuseridade karakteristikud lähendfunktsioonide kaudu. 11 lk., 6: koopia kirjutisest Nilson, A., Kiviste A. 1984. Männikute "kasvukäigu" mudel tüpiseerimata kasvutingimuste järgi. - EPA teaduslike tööde kogumik. 151.-Tartu, 50-59. (res. vene ja ingl. k.), 7: Kõrguse ja diameetri muudu mudelite kontrollimine
- Næsset, E. Gobakken, T. and Hoen, H. F. 1997. Economic analysis of timber management practices promoting preservation of biological diversity. SJFR, Vol. 12, No. 3, 264-272.
- Padari, A. 2005. Puistute arvutusliku sortimenteerimise ja hindamise tulemused (fail raied11.dbf, 18.04.2005)
- Pukkala, T. & Kangas, J. 1996. A method for integrating risk and attitude towards risk into forest planning. For. Sci. 42: 198-205.
- Price, C. 1996. Discounting the Environment – A Critique. Integrating Environmental Values into Forest Planning - Baltic and Nordic Perspectives. EFI Proceedings, 13. European Forest Institute, Joensuu, 89-98.
- Price, C. A Critical Review of Environmental Economics as Applied in Forest Planning. Integrating Environmental Values into Forest Planning - Baltic and Nordic Perspectives. EFI Proceedings, 13. European Forest Institute, Joensuu, 99-119.
- Sammhaaval äratasuva lehtpuumetsani. 1999. Projekt: Lehtpuupuidu efektiivsem kasutamine arvestades selle edaspidist töötlemist. SkogForsk. Tartu. 43 lk.
- Tamm, Ü. 1978. Haavataeliku kahjustuse prognoos Eesti NSV-s. EPA . Kursusetöö MEMAJUS-i alal. Tartu, 1978. Masinkiri 9 lk., lisad 13 lk, (sh algandmed)
- Tamm, Ü. 2000. Haab Eestis. Eesti Loodusfoto. 257 lk.
- Toppinen, A., Vitanen, J., Leskinen, P. and Toivonen, R. 2005. Dynamics of Roundwood Prices in Estonia, Finland and Lithuania. Baltic Forestry, 11 (1): 88-96
- Uusitalo J., Kivinen V.-P. 1998. Constructing bivariate dbh/dead-branch height distribution of pines for use in sawing production planning. Scand. J. For. Res. 13-4: 509-514.
- Vaus, M. 2003. Puistute küpsusvanusest. Arvutitrukk. 8 lk.
- (VVM, 2002) Vabariigi Valitsuse määrus 09.10.2008 nr 150.
- Кенставичюс И. И., Кулешис А. А. 1976. Изучение спелостей леса при районировании возрастов рубок. Усовершенствование устройства леса на почвенно-типологической основе. «Мокслас», Вильнюс. 79-85.
- Микалайкевичус В. М. 1959. Сердцевинная гниль осины в лесах Литовской ССР исследование споруляции и некоторых других вопросов биологии ее возбудителя (*Phellinus tremulae* Bond. et Boriss.). Вильнюсский государственный университет им. В. Капсукаса. Вильнюс. 21 с.
- Мошкалева А. Г., Книзе А. А., Ксенофонтов Н. И., Уланов Н. С. 1982. Таксация товарной структуры древостоев. Москва. «Лесная промышленность». 157 с.
- Нильсон А. М. 1975. Основы расчетного назначения насаждений в главную рубку. Вопросы лесопользования. Каунас, 1975. 42-45
- Нильсон А. М. 1979. Дифференцирование возраста главной рубки в пределах хозсекции. Методические рекомендации и указания для лесного хозяйства. Вып. 4. «Мокслас» Вильнюс. 55-57.
- Нильсон А. М. 1980. Об общей теории назначения насаждений в рубку. Сб. научн. трудов эст. с/х академии № 128. Тарту. с. 127-137
- Судачков, Е. Я. 1957. Спелость леса. Гослесбумиздат. М.-Л. 52 с.
- Трубников М. М. 1969. Экономическая спелость леса и организация лесохозяйственного производства. «Лесная промышленность». Москва. 176 с. (*Metsa majanduslik küpsus ja metsamajandusliku tootmise organiseerimine. Kremseri rmtk. 220 mm kk.*)

**Lisa 1. Olulisim numbriline lühikokkuvõte töövõtulepingu  
01.06.2010. a nr 4-1.2/138 täitmise tulemustest**

Tabel L1.1. Võrrandi  $y=a+b \cdot H100$  kordajad vahetult metsaregistrist teise simulatsiooniga hinnatud küpsusvanuse ja hinna keskmise muudu arvutamiseks kõrgusindeksi H100 järgi kõigis antud enamuspuliigi puistutes (tähis kõik) ja puistutes, kus enamuspuliigi osalus oli vähemalt 90% (tähis puht). Kaaluks regressioonanalüüsis oli eraldiste arv.

**y = Kännuhinna küpsuse vanus**

<u>Puuliik</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>Segu</u>
HB	64.0	-0.78	puht
HB	64.6	-0.75	kõik
KS	89.9	-1.31	puht
KS	94.5	-1.43	kõik
KU	165.1	-4.10	puht
KU	147.8	-3.50	kõik
LM	105.9	-2.33	puht
LM	131.2	-3.24	kõik
LV	162.2	-4.76	puht
LV	119.0	-2.98	kõik
MA	143.0	-3.49	puht
MA	128.1	-2.97	kõik

**y = Kännuhinna keskmine muut  
küpsusvanuses**

<u>Puuliik</u>	<u>a</u>	<u>b</u>	<u>Segu</u>
HB	-2293	121.30	puht
HB	-2238	122.83	kõik
KS	-2304	144.23	puht
KS	-1139	102.86	kõik
KU	-3283	208.80	puht
KU	-3036	189.44	kõik
LM	-1415	87.33	puht
LM	-1471	95.61	kõik
LV	-2386	124.59	puht
LV	-2972	151.73	kõik
MA	-1286	139.41	puht



Tabel L1.2. Normküpsuse vanuse suhteline langus protsentides seguliigi osa suurenemise ühe protsendi kohta.

Enamusliik	KU	KU	KU	KU	MA	MA	MA	MA
Seguliik	KS	HB	LM	LV	KS	HB	LM	LV
Langus %%	1/5	2/5	3/5	3/4	2/5	3/5	3/4	(3/4)

Tabelit võib kasutada ka pööratavana vahetades enamus- ja seguliigi nimed ning muutes languse tõusuks. Seguliikide parandit saab kasutada aditiivselt st. seguliikide mõju osalusega kaalutult summeerida.

Toodud kordajaid saab kasutada järgmiselt:

1. Tabel L1.1 kordajaid kasutades arvutakse puhtpuistu küpsusvanus
2. Punkt 1 järgi saadud tulemust korrigeeritakse tabeli L1.2 kordajate järgi.

Näide: Kuuse enamusega puistu koosseisuga 60KU30HB10LM kõrgusindeksiga  $H_{100} = 25\text{m}$ .

1.  $U_{\text{puht}} = 165.1 - 4.10 \cdot 25 = 62.5$
2. korrigeerimiskordaja =  $1 - (30 \cdot 0.4 + 10 \cdot 0.6) / 100 = 0.82$ , segapuistu küpsusvanus  
 $U_{\text{sega}} = 62.5 \cdot 0.82 = 51.25\text{a}$ .

Taoliste arvutuste tulemusi on arukas ümardada 5 või 10 aastase sammuga, seega puistu hinnaküpsuse vanuseks loeme 50 aastat.

Sarnaselt ülaltooduga saab kasutada ka aruande tabeleis 4.3 ja 4.4 toodud tabeleid.

Tabel L1.3. Võrrandi  $y=a+b*H100$  kordajad arvutatuna erinevaist kasvukäigu tabeleist funktsiooni yhind05crs abil (2005a müügihindade ja SMI kahjustatud mudelpuude korrigeeritud protsendi andmete alusel)

Allikad:

KKtab - Euraasia kasvukäigu tabelid

AK1997 - Andres Kiviste 1997a mudel (Kiviste, 1997)

AK1995 - Andres Kiviste 1995a mudel (Kiviste, 1995)

Allikas	Puuliik	a	b
<b>y = Küpsusvanus kännul</b>			
KKtab	HB	57.7	-0.64
KKtab	KS	94.3	-1.84
KKtab	KU	111.9	-2.24
KKtab	LM	65.6	-0.70
KKtab	LV	65.2	-1.69
KKtab	MA	129.1	-3.13
AK1997	HB	56.0	-0.56
AK1997	KS	84.1	-1.46
AK1997	KU	87.0	-1.64
AK1997	LV	50.0	-0.51
AK1997	MA	122.4	-3.38
AK1995	HB	34.7	0.38
AK1995	KS	22.5	1.80
AK1995	KU	72.1	-0.64
AK1995	LM	12.4	0.43
AK1995	LV	73.0	-1.75
AK1995	MA	119.1	-3.68
<b>y = Küpsusvanus vahelaos</b>			
KKtab	HB	54.6	-0.63
KKtab	KS	82.4	-1.52
KKtab	KU	110.6	-2.27
KKtab	LM	46.9	-0.12
KKtab	LV	53.5	-1.47
KKtab	MA	118.8	-2.81
AK1997	HB	61.6	-0.92
AK1997	KS	70.1	-1.04
AK1997	KU	89.9	-1.99
AK1997	LV	18.8	0.85
AK1997	MA	110.6	-2.97
AK1995	HB	54.5	-0.58
AK1995	KS	73.1	-1.11
AK1995	KU	69.0	-0.65
AK1995	LM	-100.2	8.06
AK1995	LV	52.6	-0.88
AK1995	MA	92.3	-1.83

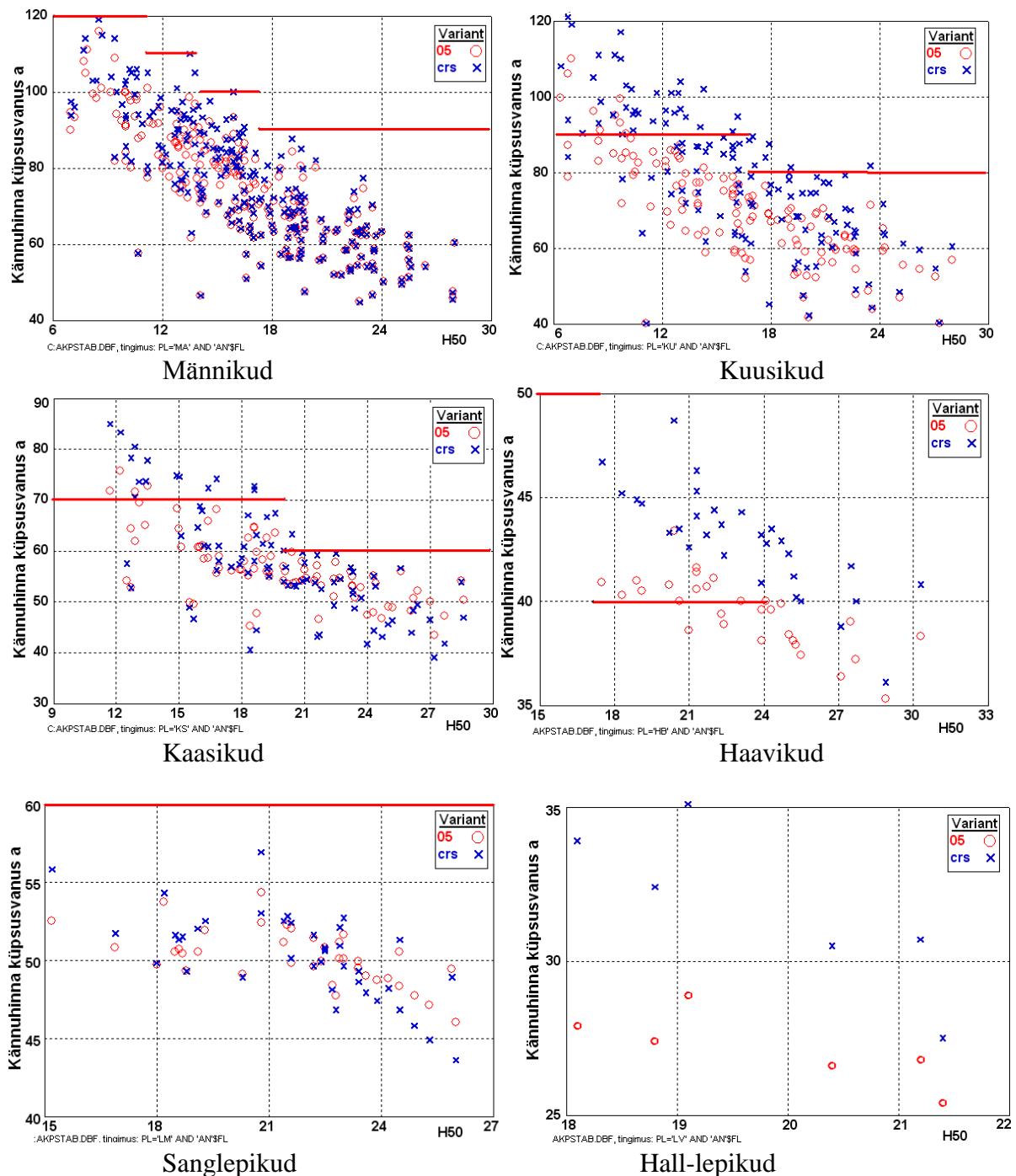
Tabel L1.3. järg

Allikas	Puuliik	a	b
y = Känuhinna keskmine muut küpsusvanuses			
KKtab	HB	-969.1	56.71
KKtab	KS	-1347.7	115.90
KKtab	KU	-1645.2	271.97
KKtab	LM	-1177.8	70.82
KKtab	LV	-1028.4	61.09
KKtab	MA	-1409.6	225.30
AK1997	HB	-426.1	28.88
AK1997	KS	-966.0	83.64
AK1997	KU	-897.1	151.05
AK1997	LV	-398.7	22.65
AK1997	MA	-714.4	140.76
AK1995	HB	-151.6	16.68
AK1995	KS	-730.6	71.54
AK1995	KU	-1127.2	164.71
AK1995	LM	2691.1	-123.84
AK1995	LV	-578.9	32.42
AK1995	MA	-440.5	111.08

y = Vahelao hinna keskmine muut küpsusvanuses

KKtab	HB	-1401.7	124.38
KKtab	KS	-1686.1	168.54
KKtab	KU	-1912.1	348.42
KKtab	LM	-2227.0	165.48
KKtab	LV	-2539.4	204.27
KKtab	MA	-1749.3	292.33
AK1997	HB	-1296.4	105.24
AK1997	KS	-1407.8	134.89
AK1997	KU	-1691.3	232.54
AK1997	LV	-636.7	73.38
AK1997	MA	-840.4	182.05
AK1995	HB	-688.0	77.19
AK1995	KS	-1195.5	123.74
AK1995	KU	-1308.0	210.62
AK1995	LM	759.7	-9.77
AK1995	LV	-635.3	73.23
AK1995	MA	-1140.9	201.46

## Vahetult kasvukäigutabeleist arvatud hinnaküpsuse ja kehtiva minimaalse lubatud lageraie vanuse võrdlus



Joonis 1. Kännuhinna küpsusvanus Euraasia kasvukäigu tabelitest arvatuna funktsiooniga YHIND05 (kahjustatud puude protsent 2001/2005/VVmäärus nr 150 2008a – joonisel tähis 05) ja funktsiooniga YHIND05crs (kahjustatud puude protsent modelleeritud SMI kahjustatud mudelpuude suhtearvu järgi, joonisel tähis crs). Jämedad punased joonelõigud tähistavad kehtivat minimaalset lageraie vanust. Kehtiv **minimaalne** lageraie vanus mäni, kuuse, kase ja sanglepa enamusega puustutele on hinnaküpsuse **keskmise** vanuse arvutuste tulemustega sedavõrd absurdses vastuolus, et selle siiras kommenteerimine ei mahuks soliidses väljendusviisi raamesse!

## **Lisa 2. Allar Padari puistute hinna ja hinnaküpsuse simulatsioonidest**

Käesoleva aruande koostamisel oli võimalik kasutada ka Allar Padari (2010) simulatsioone, mis on realiseeritud tema mudeli (VV Määrus nr. 150, 09.10.2008), RMK 2009 a müügihindade ja Andres Kiviste (1997) kasvumudeli järgi harvendusraiate intensiivsuse korral, kus kopeeritakse puude arvu muutumist Eesti moodpuistutes kõrguse ja diameetri muutumise (Kiviste, 1997) järgi ja välja raiutakse keskmise suuruse ja vahelao hinnaga puud.

Andres Kiviste mudel on koostatud mistahes segude ühendamise põhjal enamuspuliigiti ja kasvukohatüübiti, st metsatüübiti. Erinevused segukombinatsiooniti selles mudelis ja selle rakendustes Allar Padari mudelile ei kajastu. Suhe D50/H50 sõltub mudelis vaid tunnustest puuliik, H50 ja OHOR. Käesoleva aruande eeltööna seguliigiti koostatud kasvumudelis on erinevate segude järgi arvutatud suhte D50/H50 tunnuste puuliik, H50 ja OHOR järgi arvutatud tinghaare sageli enam kui 0,1 ja liikide kasvukõverate kuju erineb metsatüübi Allar Padari poolt kasutatud mudeli (Kiviste, 1997) metsatüübi keskmise omast.

Simulatsioonides realiseeriti harvendusraiet erineval viisil ja erinevalt arvestati ka tunnuse OHOR väärtust ning seguliike. Ühes simulatsioonidest kasutati kõiki võimalikke boniteedi ja tunnuse OHOR väärtuste kombinatsioone, millistest mõned tegelikult puuduvad või on üliharva esindatud.

Ühes simulatsioonidest „raiutakse” (k. o. aruande autori soovitusel siledate andmeridade saamiseks) harvendusraie tavaintervalli asemel iga-aastaselt välja keskmise suuruse ja keskmise vahelao hinnaga puud. Iga-aastase raie korral on väljaraiutavate puude suhteline suurus reaalse intervalliga raiumise (edasise tavaharvenduse) omast märgatavalt suurem ja ületab harvendusraie tavaintervalli lõpus intervalli alguse keskmise tüvemahu suurust intervalli jooksul toimunud kasvu võrra. Sellise simulatsiooni korral saadakse tulemused, mis on oletatavasti sarnased harvenduse ülameetodi omadele.

Harvendusraiate simuleerimine oleks iga-aastase raie korral reaalsele lähedane juhul, kui väljaraiutava tüve maht oleks ligikaudu 0,6 ja diameeter 0,8 (Hooldusraiate ... 1980) vastavalt säiliva puu mahust ja diameetrist ligikaudu poole tavapärase harvendusraie intervalli võrra arvutuse momendist varem.

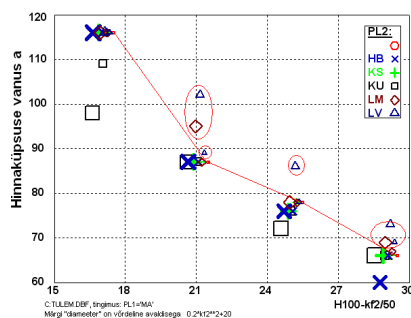
Mida lühem valitakse simulatsioonides harvendusraie arvutuslik intervall, seda suuremaks kujuneb harvendusraietest saadav tagavara, hind ja mõju hinnaküpsuse vanuse hinnangutele.

Tabelis L2.1 on toodud hinnaküpsuse vanuseni puhtpuistute harvendusraietelt saadava tagavara, vahelao hinna ja kättehinna suhe uuendusraiega hinnaküpsuse vanuses saadavasse vastavasse suurusse iga-aastase raie korral. Mõnedel juhtudel küündis see suhe okaspuudel ja haaval tagavara osas isegi arvu 1,5 lähedusse. See on meie harvendusraiate traditsioone ja kogemusi arvestades täiesti ebareaalne. Kuna harvendusraiest saadava hinna arvestamisega tõuseb hinnaküpsuse suurus, siis tuleb lugeda ebareaalselt kõrgeks ka selle simulatsiooniga saadud küpsusvanuse väärtused.

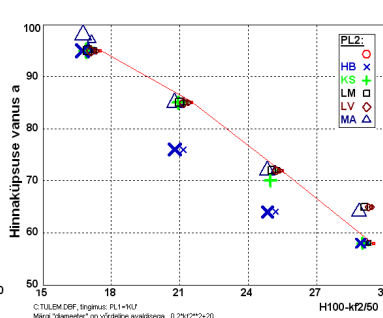
Allar Padari simulatsioonide edasisest analüüsist võib selguda täiendavaid detaile puistute hinnaküpsuse vanuse määramiseks.

Tabel L2.1 Hinnaküpsuse vanuseni puhtpuistute harvendusraietelt saadava tagavara, vahelao hinna ja kännuhinna suhe uuendusraiega hinnaküpsuse vanuses saadavasse Allar Padari iga-aastase harvenduse simulatsioonis (2010)

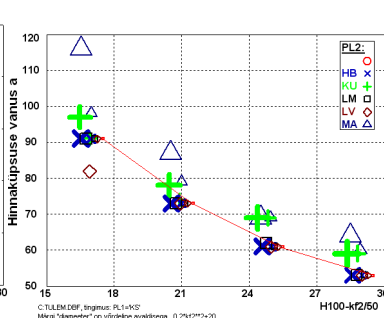
Enamuspuuliik	Harvendusraietelt saadava suuruse suhe uuendusraiega saadavasse hinnaküpsuse vanuses		
	Tagavara	Hind vahelao	Hind kännul
Haab	0.9522	0.8738	0.3897
Kask	0.7945	0.6721	0.4640
Kuusk	1.0907	0.9050	0.7369
Sanglepp	0.7011	0.6074	0.2322
Hall lepp	0.4469	0.4234	0.1590
Mänd	1.3354	1.0437	0.8570



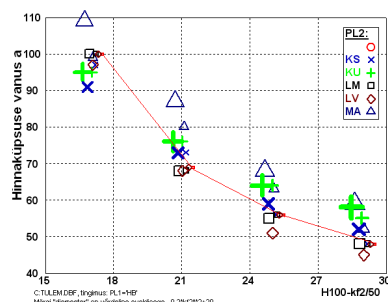
Mäni enamusega puistud



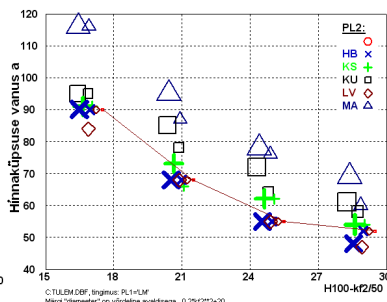
Kuuse enamusega puistud



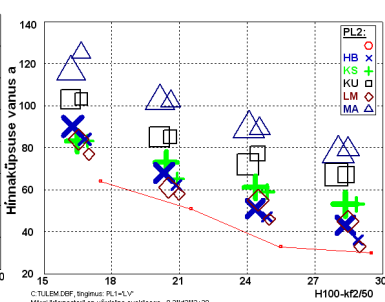
Kase enamusega puistud



Haava enamusega puistud



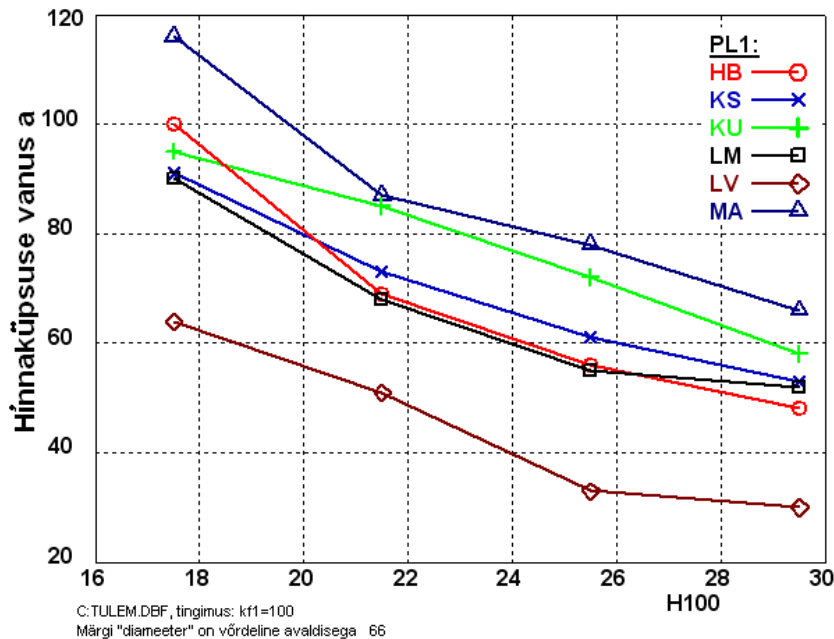
Sanglepa enamusega puistud



Halli lepa enamusega puistud

Joonis L2.1 Eesti moodsuistute hinnaküpsuse vanus boniteedi (H100) ja seguliigi osa järgi arvatuna Allar Padari poolt tema mudeli (VV Määrus nr. 150, 09.10.2008), RMK 2009 a müügihindade ja A. Kiviste (1997) kasvumudeli järgi tingimusel  $OHOR \equiv 4\text{cm}$  iga-aastase harvendusraiate intensiivsuse korral, kus kopeeritakse puude arvu muutumist Eesti moodsuistutes kõrguse ja diameetri muutumise järgi.

Märgirühmad joonisel L2.1 paremalt vasemale tähistavad 1, 2, 3 ja 4 boniteediklassi puistuid. Märkide suurus on ligikaudu võrdeline seguliigi (PL2) osaluse ruuduga (osalus on enamasti kuni 50%, väga harva enam, leppade osas enamasti oluliselt vähem). Märkid on nihutatud vasakule võrdeliselt seguliigi osalusega. Punase joonega on seotud puhtpuistu küpsusvanuse väärtused. Esitatud on otsesed arvutustulemused ilma neid filtreerimata (va leppade osaluse kitsendus). Mäni enamusega puistute joonisel on punase ovaaliga ümbritsetud eriti kahtlased tulemused. Leppade osaluse ootamatu mõju mäni enamusega ja kuuse 1 boniteedi puistute küpsusvanusele viitab algoritmi defektile leppade mõju osas.



Joonis L2.2. APPuhtKüps Puhtpuistute kännuhinna küpsus Allar Padari simulatsioonis (2010) kõrgusindeksi H100 funktsioonina puuliigiti. Boniteediklass märkide kohal vasemalt paremale on 4, 3, 2, 1.

Sellegipoolest saab ka Allar Padari iga-aastase harvenduse simulatsiooni tulemusi kasutada trendide uurimisel. Hinnaküpsuse tõus boniteedi langusega osutus sarnaseks teiste simulatsioonidega nagu ka okaspuude mõju haava ja leppade enamusega puistute küpsusvanusele. Äpardunud on aga leppade mõju simuleerimine okaspuu enamusega puistute küpsusvanusele (mänd, kuuse paremad boniteetid) samuti leppade mõju oodatule vastupidine erinevus kase ja haava enamuse korral. Viimaste nähtuste üheks põhjustest võib olla koostisliikide puhtpuistute järgi simuleeritud reaalsest erinev kasv segudes. Segudes eeldati, et seguliigid kasvavad enamuspuliigiga võrdse kõrgusindeksi H100 väärtuse järgi. See eeldus on mitmete segude jaoks väga ebareaalne. Pole näiteks põhjust loota, et koos kuusega H100 = 35m kasvaks sama H100 väärtusega hall-lepp. Meie varasemad mudelid kinnitavad, et metsaregistri andmetel erinevad segudes oluliselt isegi seguliikide kõrgusindeksi H50 väärtused.

Viimase asjaolu tõttu on Allar Padari simulatsioonides mitmete segude korral ebareaalne ka segapuistu küpsusvanuse muutumine seguliikide mõjul.

Eriliste kitsendusteta peaks olema kasutatavad puhtpuistute kasvu simulatsioonid tavaintervalliga tehtavate harvendusraiate korral, kus harvendusraiate ajastamiseks ja intensiivsuse määramiseks kasutati puistu diameetri ja hõreduse seost (teoreetiline alus Nilson, 1973, algoritm VV määrus 150, jaotis „Harvendusraiate määramine ja teostamine”).