

OPINNÄYTETYÖ

Juha Mikkola 2013

**LASERKEILAUSPOHJAISESTA PUUSTOTULKINNASTA JOHDETTUIJEN
PUUSTOTUNNUSTEN JA HAKKUUESITYSTEN LUOTETTAVUUS
KITILÄN LASERKEILAUSALUEEN YKSITYISMETSISSÄ**



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

METSÄTALouden KOULUTUSOHJELMA

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

LUONNONVARA-ALA

Metsätalouden koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**LASERKEILAUSPOHJAISESTA PUUSTOTULKINNASTA
JOHDETTUIJEN PUUSTOTUNNUSTEN JA
HAKKUUESITYSTEN LUOTETTAVUUS KITTILÄN
LASERKEILAUSALUEEN YKSITYISMETSISSÄ**

Juha Mikkola

2013

Toimeksiantaja Suomen metsäkeskus

Ohjaajat

Sirkka Jokela ja Pekka Pennanen, RAMK
Anssi Juujärvi, Suomen metsäkeskus

Hyväksytty _____ 2013 _____

Työ on kirjastossa lukusalikappale.

Tekijä	Juha Mikkola	Vuosi	2013
Toimeksiantaja Työn nimi	Suomen metsäkeskus Laserkeilauspohjaisesta puustotulkinnasta johdettujen puustotunnusten ja hakkuuesitysten luotettavuus Kittilän laserkeilausalueen yksityismetsissä		
Sivu- ja liitemäärä	76 + 123		

Metsänhoitotöiden suunnittelu on perinteisesti ollut aikaa vievää ja kallista maastotyötä. Metsäinventoinnin kehittämisessä pyritään minimoimaan maastotyön osuus, koska se on yleensä inventoinnin kallein vaihe. Viime vuosikymmenenä on tutkittu kaukokartoitusmenetelmien hyödyntämistä metsähoitotöiden suunnittelussa.

Uutena inventointimenetelmänä Suomeen on tullut kaukokartoitusperusteinen laserkeilaus ja aluepohjainen laserkeilaus. (LiDAR, Light Detection And Ranging; ALS, Airborne Laser Scanning). Laserkeilaus on kaukokartoitusmenetelmä, jossa laserkeilain tuottaa pulssin ja rekisteröi paluukaiut. Kaiut eli laserpisteet muodostavat kolmiulotteisen mallinnuksen metsästä. Aluepohjainen laserkeilaus on osoittautunut lupaavaksi metsien inventointimenetelmäksi. Laserkeilausta kehittävät mm. TAPIO ja Suomen Metsäkeskukset. Suomen Metsäkeskuksella on tavoitteena lisätä inventointi määriä ja alentaa inventoinnin aiheuttamia kustannuksia.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää aluepohjaisen laserkeilausmenetelmän (ABA, Area-Based Approach) soveltuvuutta puustotunnusten, hakkuiden ja niiden ajoituksen määrittelyyn. Tutkimuksessa vertaillaan keilausaineiston perusteella tulkittuja toimenpide-ehdotuksia ja puustotunnuksia maastomittauksilla saatuihin referenssituloksiin. Aineistona on käytetty Kittilässä vuonna 2010 keilattua laserpisteaineistosta laskettuja puustotunnuksia ja maastossa mitattuja referenssikuvia, joille on tehty toimenpide-ehdotus.

Tutkimus tuotti asetetut rajoitteet huomioiden luotettavaa informaatiota, mutta laserkeilauspohjaiset tulokset eivät yltäneen tavoitetasolle. Puuston iän suhteellinen RMSE-% oli 25,27 prosenttia, pohjapinta-alan oli 28,93 prosenttia, runkoluvun 100,61 prosenttia ja tilavuuden 26,4 prosenttia, jotka ylittivät Solmu-perusteisella metsien arvioinnilla saavutettavien puustotietojen keskivirheprosentin, alle 20 prosenttia. Kun taas keskiläpimitan suhteellinen keskivirhe 16,7 % ja keskipituuden 12,9 % alittivat asetetut kriteerit. Eri kehitysluokkien hakkuutavoissa ja –kiireellisyyksissä oli havaittavissa selviä poikkeamia laseraineistosta johdettuihin hakkuutapoihin ja niiden kiireellisyyksiin.



Author	Juha Mikkola	Year	2013
Commissioned by	The Finnish Forest Centre		
Subject of thesis	Reliability of Airborne Laser Scanning (ALS) based forest interpretation on tree dimensions and felling needs in private forests of Kittilä's ALS area.		
Number of pages	76 + 123		

The planning of forestry work is time-consuming and expensive field work. Due to high expenses, it is often worthwhile to try to keep field measurements to a minimum when carrying out a forest inventory. During the last decade the utilizing of remote sensing methods in the planning of forestry work has been studied.

The new forest inventory system in Finland is based on remote sensing Airborne Laser Scanning (ALS, Airborne Laser Scanning). ALS is a method of remote sensing in which laser device produces a pulse and registers the returning echoes. Echoes or so called laser points form a three-dimensional model of the forest. The promising remote sensing technique for forest inventory purposes is ALS. TAPIO and Finnish Forestry Centre are developing laser scanning. The aim of the Forestry Centre is to increase the amount of inventory and to reduce the cost of inventing.

The purpose of this research was to clear up the suitability of the area based lidar method (ABA, Area-Based Approach) in the definition of three dimensions, felling operations and of their timing. The results that have been measured in the field are in the study compared with the results measured by lidar. The determination of tree dimensions and of felling needs was done to the reference plots. Material used in the research was obtained from airborne laser scanning performed year 2010 in Kittilä, in northern Finland.

This research produced taking into account the limits reliable information, but the results of airborne laser scanning does not have reached the target level. The RMSE-% (Root Mean Square Error) for the tree age was 25.28 percent, basal area was 28.9 percent, number of stems was 100.61 percent and for the volume of timber were 26.4 percent. The standard errors of those tree marks exceeded standard error for SOLMU based forest evaluation, fewer than 20 percent. On the other hand RMSE-% of standard diameter was 16.70 percent and standard height 12.90 percent. A picture from three dimensions and felling operations and their timing which is reliable was not completely obtained with lidar method in Kittilä.

Key words

Forest planning, Airborne Laser Scanning, Root Mean Square Error, bias, felling plan, the reliability of the plans

SISÄLLYSLUETTELO

KUVIO JA TAULUKKOLUETTELO	1
1 JOHDANTO	4
2 METSÄSUUNNITTELUN KEHITYS	8
2.1 PERINTEINEN METSÄSUUNNITELMAN TEKO	9
2.2 LASERKEILAUS METSÄSUUNNITELMIEN TEOSSA	11
2.1.1 <i>Laserkeilauksen periaate</i>	12
2.1.2 <i>Yksinpuintulkinta</i>	15
2.1.3 <i>Aluepohjainen laserkeilaus</i>	17
3 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	21
3.1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA	22
3.2 TUTKIMUSONGELMAN ESITTE	22
3.3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	23
4 KITTILÄN LASERKEILAUSHANKE	25
4.1 LASERKEILAUS- JA DIGI-ILMAKUVAUSLENNOT	25
4.2 HANKKEEN TAVOITTEET	27
5 AINEISTON KOONTI, KÄSITTELY JA LASKENTAMENETELMÄ	29
5.1 MAASTOAINEISTO	29
5.2 LASERKEILAUSAINEISTO	29
5.3 AINEISTOJEN YHDISTÄMINEN	30
5.4 HAKKUUTOIMENPIDE-EHDOTUKSET	32
5.4.1 <i>Maastoaineistosta kerätyt</i>	33
5.4.2 <i>Laseraineistosta johdetut</i>	33
5.5 TULOSTEN LASKENTA	34
5.5.1 <i>Numeeriset eroavaisuudet</i>	34
5.5.2 <i>RMSE-analyysit</i>	35
5.5.3 <i>Harha</i>	36
5.5.4 <i>Ali- ja yliarvioiden keskiarvot</i>	36
6 TUTKIMUSTULOKSET	38
6.1 KEHITYSLUOKKA	38
6.2 PÄÄPUULAJI	40
6.3 HAKKUUTAPA	42
6.4 HAKKUUN KIIREELLISYYS	44
6.5 SUMMATUNNUKSET	47
6.6 MÄNNYN PUUSTOTUNNUKSET	50
6.7 KUUSEN PUUSTOTUNNUKSET	53
6.8 LEHTIPUUSTON PUUSTOTUNNUKSET	56
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	60
8 POHDINTA	65
LÄHTEET	
LIITTEET	

KUVIO JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIO 1. PERINTEINEN METSÄTALOUSSUUNNITELMAKARTTA. TAPION TASKUKIRJA 1986. s. 353. GUMMERUS Oy:n KIRJAPAINO 1986.....	10
KUVIO 2. LASERKEILAUSMITTAUKSEN PERIAATE. KUVA: BANGE DESING. PIHLAVA, M. 2008. LASERKEILAUS MITTAA METSÄT YHDEN PUUN TARKKUUDELLA. TEKNIikka JA TALOUS. OSOITTEESSA: <a href="http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/laserkeilaus+mittaa+metsat+yhden+puun+tarkkuu
della/a77320">http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/laserkeilaus+mittaa+metsat+yhden+puun+tarkkuu della/a77320 . PÄIVITETTY 18.4.2008.....	13
KUVIO 3. LENTOLASEKEILAUKSEN PERIAATE. KUVA: LAAKSONEN, H. 2009. MAAN- MITTAUSLAITOKSEN UUSI VALTAKUNNALLINEN KORKEUSMALLI LASERKEI- LAAMALLA: HYÖTY JA MAHDOLLISUUDET. PRO GRADU. MAANTIETEEN LAI- TOS. HELSINGIN YLIOPISTO. HELSINKI 2009.....	14
KUVIO 4. KOLMIULOTEINEN LASERPISTEPARVI METSIKKÖKOEALALTA. KUVA: PACKALÉN, P. 2007. LASERKEILAUKSELLA TEHOA JA TARKKUUTTA METSÄN INVENTOINTIIN. POSITIO 2/2007: 8.....	14
KUVIO 5. ESIMERKKI LENTOLASERKEILAUKSELLA MITATUSTA METSÄKÖKOEALASTA, EVO. METSÄTEHON SEMONAARI 24.5.2011. LASERKEILAUS OSANA PUUHUOLTOA. DIASARJA S. 3. KUVAN © RISTO VIITALA (HÄMEEN AMK), MARKUS HOLOPAINEN (HY) & JUHA HYYPPÄ (FGI).....	15
KUVIO 6. KIINTEIDEN MAASTOKOEALOJEN SIOITTELUA KEILATTAVALLE ALUEELLE JUJÄRVI, A. 2010. METSÄVARATIEDON TUOTTAMINEN NYT JA LÄHITULEVAISUUDESSA LAPIN YKSITYISMETSISTÄ. PP-ESITYS.....	18
KUVIO 7. ESIMERKKI HILARUUDUKOILLE (16X16 METRIN HILARUUTU) MUODOSTE- TUISTA KUVIOISTA JA ERÄÄN KUVION PUUSTOTUNNUKSISTA JUJÄRVI, A. 2010. METSÄVARATIEDON TUOTTAMINEN NYT JA LÄHITULEVAISUUDESSA LAPIN YKSITYISMETSISTÄ. PP-ESITYS.....	18
KUVIO 8. MIKROKUVIOINTI SUORITETTUNA ILMAKUVIEN, LASERAINIESTON AVULLA JUJÄRVI, A. 2010. METSÄVARATIEDON TUOTTAMINEN NYT JA LÄHITULEVAISUUDESSA LAPIN YKSITYISMETSISTÄ. PP-ESITYS.....	19
KUVIO 9. KEILAUSLENNON LENTOSUUNNITELMAKARTTA JA KEILAUSPARAMETRIT RATILAINEN, A. 2010. TERRATEC OY.....	26
KUVIO 10. DIGI-ILMAKUVAUSLENNON LENTOSUUNNITELMAKARTTA RATILAINEN, A. 2010. TERRATEC OY.....	27
KUVIO 11. KESKINELIÖVIRHEEN NELIÖJUURI, RMSE JA SUHTEELLINEN KES- KINELIÖVIRHE, RMSE- %.....	35
KUVIO 12. ABSOLUUTTINEN HARHA, BIAS JA SUHTEELLINEN HARHA, BIAS- %.....	36
KUVIO 13. LASERKEILAUKSESTA JOHDETUT KEHITYSLUOKKAKAUMAT VERRATTUNA MAASTOLUOKITTELUUN KEHITYSLUOKASSA 02.....	38
KUVIO 14. LASERKEILAUKSESTA JOHDETUT KEHITYSLUOKKAKAUMAT VERRATTUNA MAASTOLUOKITTELUUN KEHITYSLUOKASSA 03.....	39
KUVIO 15. LASERKEILAUKSESTA JOHDETUT KEHITYSLUOKKAKAUMAT VERRATTUNA MAASTOLUOKITTELUUN KEHITYSLUOKASSA 04.....	39
KUVIO 16. LASERKEILAUKSESTA JOHDETUT PUULAJIJAKAUMAT JA PÄÄPUULAJIN OIKEELLISUUS KEHITYSLUOKASSA 02.....	40

KUVIO 17. LASERKEILAUKSESTA JOHDETUT PUULAJIJAKAUMAT JA PÄÄPUULAJIN OIKEELLISUUS KEHITYSLUOKASSA 03.....	41
KUVIO 18. LASERKEILAUKSESTA JOHDETUT PUULAJIJAKAUMAT JA PÄÄPUULAJIN OIKEELLISUUS KEHITYSLUOKASSA 04.....	41
KUVIO 19. HAKKUUEHDOTUSTEN VERTAILU KEHITYSLUOKASSA 02.....	43
KUVIO 20. HAKKUUEHDOTUSTEN VERTAILU KEHITYSLUOKASSA 03.....	43
KUVIO 21. HAKKUUEHDOTUSTEN VERTAILU KEHITYSLUOKASSA 04.....	44
KUVIO 22. HAKKUUKIIREELLISYYDEN VERTAILU KEHITYSLUOKASSA 02.....	45
KUVIO 23. HAKKUUKIIREELLISYYDEN VERTAILU KEHITYSLUOKASSA 03.....	45
KUVIO 24. HAKKUUKIIREELLISYYDEN VERTAILU KEHITYSLUOKASSA 04.....	46
KUVIO 25. SUMMATUNNUSTEN KESKITILAVUUDEN VIRHEARVOT KEHITYSLUOKASSA 02 MITATUN KESKITILAVUUDEN FUNKTIONA.....	49
KUVIO 26. SUMMATUNNUSTEN KESKITILAVUUDEN VIRHEARVOT KEHITYSLUOKASSA 03 MITATUN KESKITILAVUUDEN FUNKTIONA.....	49
KUVIO 27. SUMMATUNNUSTEN KESKITILAVUUDEN VIRHEARVOT KEHITYSLUOKASSA 04 MITATUN KESKITILAVUUDEN FUNKTIONA.....	49
KUVIO 28. MÄNNYN KESKITILAVUUDEN KUVIOITTAINEN VAIHTELU KEHITYSLUOKASSA 02.....	52
KUVIO 29. MÄNNYN KESKITILAVUUDEN VIRHEARVOT MITATUN KESKITILAVUUDEN FUNKTIONA KEHITYSLUOKASSA 02.....	52
KUVIO 30. KUUSEN RUNKOLUVUN VIRHEARVOT MITATUN RUNKOLUVUN FUNKTIONA KEHITYSLUOKASSA 02.....	55
KUVIO 31. KUUSEN RUNKOLUVUN KUVIOITTAINEN VAIHTELU KEHITYSLUOKASSA 02.....	55
KUVIO 32. LEHTIPUUN KESKITILAVUUDEN VIRHEARVOT MITATUN KESKITILAVUUDEN FUNKTIONA KEHITYSLUOKASSA 03.....	58
KUVIO 33. LEHTIPUIDEN KESKITILAVUUDEN KUVIOITTAINEN VAIHTELU KEHITYSLUOKASSA 03.....	58
TAULUKKO 1. ESIMERKKI KEHITYSLUOKAN 02 SUMMATUNNUKSIEN EXCEL-TAULUKOINNISTA.....	32
TAULUKKO 2. KEHITYSLUOKKA-, HARVENNUS- JA UUDISTAMISRAJAT.....	34
TAULUKKO 3. LASERKEILAUKSESTA JOHDETTUJEN SUMMATUNNUSTEN HEHTAARIKOHTAISET LUOTETTAVUUSARVOT KEHITYSLUOKITTAIN VERRATTUNA MAASTOMITTAUKSIIN.....	48
TAULUKKO 4. SUMMATUNNUSTEN YLI- JA ALIARVIoidEN KESKIARVOT.....	50
TAULUKKO 5. LASERKEILAUKSESTA JOHDETTUJEN MÄNNYN PUUSTOTUNNUSTEN HEHTAARIKOHTAISET LUOTETTAVUUSARVOT KEHITYSLUOKITTAIN VERRATTUNA MAASTOMITTAUKSIIN.....	51
TAULUKKO 6. MÄNNYN YLI- JA ALIARVIoidEN KESKIARVOT.....	53

TAULUKKO 7. KUUSEN HEHTAARIKOHTAISET LUOTETTAVUUSARVOT KEHITYLUOKITTAIN.....	54
TAULUKKO 8. KUUSEN YLI- JA ALIARVIoidEN KESKIARVOT.....	56
TAULUKKO 9. LEHTIPUUSTON HEHTAARIKOHTAISET LUOTETTAVUUSARVOT KEHITYSLUOKITTAIN.....	57
TAULUKKO 10. LEHTIPUUSTON YLI- JA ALIARVIoidEN KESKIARVOT.....	59
TAULUKKO 11: KEHITYSLUOKITTAIN LASKETTujen LUOTETTAVUUSTUNNUSTEN VERTAILU UPM-KYMMENE OY:N JA KITTILÄN TULOsten VÄLILLÄ.....	60
TAULUKKO 12. PUUSTO-OSITTEIDEN JA KUVIOIDEN SUMMAPUUSTOTUNNUSTEN KESKIVIRHEIDEN (RMSE) JA HARHAN VERTAILU HAARA & KORHOSEN TUTKIMUKSEN JA TÄMÄN TUTKIMUKSEN VÄLILLÄ (SULUISSA SUHTEELLISET KESKIVIRHEET JA HARHAT).....	62

1 JOHDANTO

Suomen metsätalouden historiassa on merkittäviä uudistuksia tullut verkkaiseen tahtiin. Palstoilla siirryttiin pokasahasta ja kirveestä moottorisahaan, pystymittauksesta puutavaranmittaukseen, ensiksi teiden varsilla ja sittemmin tehtailla. Nykyään metsävaratietoa tuotetaan jo kaukokartoitusmenetelmin. Puutavaran kuljetuksen kehitys taas on oma merkittävä tarinansa. Lähikuljetuksessa rehulla käyviä hevosvoimia tulivat korvaamaan koneelliset hevosvoimat. Puutavaran kaukokuljetuksessa perinteinen jokuitto loppui ja siirtyi rautakiskolle ja kumipyörille. Nippu-uitto on toki vielä käytössä kaukokuljetusmuotona Etelä-Suomen suurilla järviolueilla sekä merivesistöissä. Edellinen suuri muutos tapahtui, kun hakkuukoneet ilmestyivät palstoille ja metsurien heimo väheni merkittävästi Suomen metsistä. Vuosien varrella on myös inventointimenetelmiä kehitelty yhä kiihtyvämpään tahtiin, etenkin tultaessa kohti 2000-lukua. On kehitetty yhä tarkempia ja luotettavampia menetelmiä, samanaikaisesti huomioiden myös kustannustekijät sekä työn nopeutuminen ja helpottuminen.

Suomen metsiä on inventoitu määrätietoisesti jo lähes sadan vuoden ajan ja metsävarojen inventointi onkin yksi suomalaisista metsätieteiden menestystarinoista. Yleisesti sanotaankin, että Suomen metsät on maailman tarkimmin inventoitu. Suunnannäyttäjänä suomalaiselle metsävaratiedon keruulle on ollut Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) teettämä valtiorahoitteinen valtakunnan metsien inventointi (VMI), joista ensimmäinen VMI 1 tehtiin 1920-luvulla (1921–1924). Tämä oli ensimmäisiä tilastolliseen otantaan pohjautuvia inventointeja maailmassa. Siitä lähtien ovat inventoinnit toistuneet säännöllisesti noin 5 – 10 vuoden välein ja tällä hetkellä on menossa VMI 11, jonka maastotyöt valmistuvat 2013 mennessä. Uusimmat metsävaratilastot perustuvat VMI 11:sta saatuihin tuloksiin. Valtakunnan metsien inventointien tuloksia käytetään valtakunnallisten metsäohjelmien perustietona ja niistä raportoidaan myös maailmanlaajuisesti. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)

Metsävaroista kerätään mahdollisimman tarkkaa tietoa myös metsänomistajan päätöksenteon tueksi. Tärkeimmät metsikön käsittelyyn liittyvät päätökset liittyvät harvennusten ajoitukseen, voimakkuuteen ja toteutustapaan sekä uudistushakkuun ajoitukseen. Mikäli metsänomistaja tavoittelee metsiköstään taloudellista kannattavuutta, ovat hakkuut toteutettava siten, että tulevien net-

totulojen nykyarvo maksimoituu. Tällöin metsikön suunnittelussa haettaisiin sellaista hakkuuvuosien, harvennusvoimakkuuksien sekä -tapojen yhdistelmää, joka maksimoisi nykyarvon. Toki metsien käsittelyllä on tänä päivänä monia muitakin rahallisesti mittaamattomia arvoja kuten esimerkiksi maise-malliset arvot, virkistyskäyttö ja luonnon arvot.

Metsävaratietoa hyödynnetään niin metsäsuunnitelmien teossa kuin myös alueellisten metsäohjelmien laadinnassa. Metsävaratieto itsessään on metsään sidottua paikkatietoa eli tiettyyn paikkaan esimerkiksi metsikkökuvioon, metsikköön kohdennettua tietoa, joka kuvaa yleisesti itse metsiä, metsien tilaa, niiden hoitoa ja käyttöä. Näitä tietoja ovat esimerkiksi kasvupaikka- ja puustotiedot, metsien terveys- ja erilaiset tuhotiedot, lakisääteisesti suojeltavat luontokohteet sekä muut metsien erityispiirteet kuten myös tiedot metsille suoritetuista ja suoritettavista hakkuu- ja hoitotoimenpiteistä sekä hakkuukertymistä.

Metsävaratiedon tuottaminen on perinteisesti ollut hidasta ja kallista työtä, koska menetelmät ovat perustuneet runsaaseen maastotyöhön sekä koe-alamittauksiin, usein pitkienkin päivätaipaleiden päässä. Nämä työt vaativat runsaasti työvoimaa aiheuttaen täten myös korkeita kustannuksia sekä tiedon hyödyntämisen hitautta. Tarve tehostaa metsien mittaamista ja vähentää siihen tarvittavaa työvoimaa synnytti 1970-luvulta alkaen metsien inventoinnin kaukokartoitustutkimuksen. Käyttöön ryhdyttiin ottamaan ilma- ja satelliittikuvia paikkatietojärjestelmissä metsäsuunnittelun tueksi.

Suomalaiset ovat olleet 1990-luvun alusta lähtien edelläkävijöitä metsäinventoinnin eteenpäin viemisessä kehittäessään keskiresoluution optisen aallonpituusalueen satelliittikuviin perustuvan monilähdeinventointimenetelmän, jolla pystyttiin kartoittamaan metsävaroja. (Vastaranta 2012, 232.) Satelliittikuvien tuomasta merkittävästä lisäarvosta huolimatta niitä ei ole pystytty ainakaan Suomen olosuhteissa hyödyntämään suuralueiden inventoinneissa, yksityiskohtaisessa kartoituksessa eikä operatiivisessa metsäsuunnittelussa, koska keskiresoluution satelliittikuvien numeerisessa tulkinnessa ei ole päästy riittävään kuvio- ja koealatasen tarkkuuteen. Toinen merkittävä ongelma tähän liittyen on ollut kuvien hankinta pilvisissä olosuhteissa, koska Suomessa ei ole joka vuosi saatavilla koko maan kattavaa pilvetöntä satelliittikuva-

mosaiikkia. Tämä muodostuu ongelmaksi etenkin, kun halutaan nopeuttaa inventointitiedon kiertoa ja käyttöönottoa. (Holopainen – Tuominen – Karjalainen – Hyyppä – Hyyppä – Vastaranta – Hujala – Tokola 2009, 309.)

Viimeisenä merkittävänä uudistuksena on tullut lentolaserkeilausmenetelmän (ALS, Airborne Laser Scanning) tulo korvaamaan työvoimavaltaisen maastoinventoinnin metsävaratiedon tuottamisessa sekä täten myös varsinaisessa metsäsuunnittelussa. Laserkeilauksen vahvuutena pidetään sen kustannustehokkuutta, etenkin suuralueinventoinnissa, mutta myös varsinaisessa metsäsuunnittelussa. Laserkeilaus vähentää inventoinnin kustannuksia keskimäärin noin 40 - 60 prosenttia. Myös puustotietojen objektiivisuutta ja tarkkuutta on korostettu. Säännöllisesti toteutetulla laserkeilauksella saadaan ajantasaisempi metsävaratieto hyötykäyttöön huomattavasti nopeammin. Laserkeilaus on synnyttänyt metsävarojen inventointiin uuden sanan, puustotulkinta. Se on inventoinnin lopputulos, joka koostetaan laserkeilauksen, ilmakuvien ja referenssikoealojen mittaustulosten tiedoista.

Suomessa metsävaratietojen inventointimenetelmät voidaan jakaa kahteen eri strategiseen tasoon; laajojen alueiden strategiseen suunnitteluun sekä operatiiviseen metsä- ja leimikkosuunnitteluun. Valtakunnan metsien inventointi on esimerkki strategisen tason suuralueinventoinnista, joka tuottaa maastokoealoja ja tänä päivänä myös kaukokartoitusaineistoja hyödyntäen työkaluja strategiselle suunnittelulle koko valtakunnan tasolla muun muassa metsien kasvun, terveydentilan, hoidon ja käytön päätöksenteon tueksi. Strategiseen suunnitteluun tarkoitettussa inventoinnissa on tärkeää tiedon harhattomuus sekä se, että pienetkään ositteet eivät katoa tiedonkeruun aikana.

Toinen inventoinnin taso on operatiivinen metsäsuunnittelu, eli varsinainen metsikkökuvioittainen inventointi, jota käytetään pääasiassa taktisessa ja operatiivisessa suunnittelussa. Sitä suorittavat eri metsäalan organisaatiot, muun muassa Suomen metsäkeskus, metsänhoitoyhdistykset, metsäyhtiöt, metsähallitus ja muutamat yksityiset metsätaloutta harjoittavat metsäalan ammattilaiset.

Operatiivisen suunnittelun päätarkoituksena on metsikön hakkumahdollisuuksien, hakkuukertymän sekä tarvittavien toimenpiteiden kartoitus. Kuvioitaisessa inventoinnissa metsikkö jaetaan kasvupaikaltaan ja puustoltaan ho-

mogeenisiin metsäkuvioihin, joilta tänä päivänä perinteisen metsäinventointimenetelmien sijaan saadaan metsä- ja puustotiedot lähinnä kaukokartoitusmenetelmin, käyttäen apuna lentolaserkeilausta, ilmakuvia, kiinteitä koealamittauksia sekä kohdennettua maastoinventointia. Kuvioittaisen arvioinnin perusteella voidaan metsänomistajalle laatia suunnitelma metsiköihinsä päätöksenteon tueksi. (Holopainen – Hyypä – Vastaranta – Hyypä 2011, 128.)

Opinnäytetyössäni tutkin perinteisen maastossa suoritettavan kuvioittaisen metsäsuunnittelun tuottamien puustotunnusten ja hakkuuehdotusten eroavaisuuksia laserkeilauspohjaisesta puustotulkinnasta johdettuihin vastaaviin tunnuksiin ja ehdotuksiin. Tutkimus kohdistuu Kittilän laserkeilausalueen yksityismetsissä vuonna 2011 tehtyihin tilakohtaisiin metsäsuunnitelmiin. Kittilä alueen laserkeilaus toteutettiin vuonna 2010. Tutkimus keskittyy metsikkökuvioittaiseen puustotunnusten vertailuun ja hakkuutarpeen sekä hakkuukiireellisuuden määrittämisen eroavaisuuksiin ja mahdollisiin syihin, tuoden tietoa laserkeilauksen toimivuudesta metsävaratiedon tuottamisessa.

Vastaavia muitakin laserkeilaukseen liittyviä tutkimuksia on tehty jo useita etenkin Etelä- ja Itä-Suomen alueella. Ensiharvennustarpeen määrittämistä laserkeilausaineiston pohjalta ovat aiemmin tutkineet mm. Vastaranta ym. (2010) ja harvennustarpeen ennustamista laserkeilauksen pohjalta mm. Vastaranta ym. (2011). Lapin läänissä on tehty yksi opinnäytetyö koskien laserkeilausmenetelmää metsävarojen inventoinnissa, siinä vertailtiin eri laserkeilausta tekevien yritysten tuottamien puustotunnusten luotettavuutta kiinteistä koealoista saatuihin mittaustuloksiin Rovaniemen alueella. (Raaterova 2009.) Laserkeilaukseen perustuva metsävaratiedon inventointimenetelmä onkin otettu käytäntöön varsin nopeasti heti ensimmäisten lupaavia tutkimustuloksia tuoneiden julkaisujen jälkeen (Næsset 1997, 49 – 56; Maltamo – Eerikäinen – Packalén – Hyypä 2006, 217 – 227; Hyypä – Hyypä 1999, 5 – 15.) Sen sijaan tämä tutkimus on ensimmäinen, joka kohdistuu Lapin alueella jo tuotantovaiheeseen päätyneeseen ensimmäiseen laserkeilaushankkeeseen.

2 METSÄSUUNNITTELUN KEHITYS

Suomalaisen metsävaratiedon keruu ja metsäsuunnittelun ensi askeleet on ottanut Metsäntutkimuslaitos 1920-luvulla aloittamiensa valtionrahoitteisten valtakunnan metsien inventointien myötä, joita yhä säännöllisin väliajoin toteutetaan. Tästä voidaan katsoa alkaneeksi tilastolliseen otantaan pohjautuvat inventoinnit maailmassa.

Suomessa yksityismetsien metsäsuunnittelua alueellisen suunnittelumallin mukaisesti on tehty 1970-luvun alkupuolelta alkaen tavoitellen 10 – 20 vuoden suunnittelukiertoa. Alueellinen metsäsuunnittelu oli nykymuotoisen metsäsuunnittelun alullepanija ja alku suunnittelutyön tehostamiselle. Ennen tätä vaihetta tehtiin metsäsuunnitelmia lähinnä käsityömaisesti suurille tiloille ja metsälösuunnitelmia pienemmille tiloille. Tällä alueellisella metsäsuunnittelulla tavoiteltiin alueellista kattavuutta, jatkuvuutta ja tehokkuutta sekä eri tason suunnitelmien yhteensovittamista, integrointia. Metsäsuunnittelun työvaiheet pikkuhiljaa eriytyivät ja tietotekniikan kehittymisen myötä mahdollistui tehostuminen ja tilakohtaisia metsäsuunnitelmia ryhdyttiin ”irrottamaan” tietokannasta metsänomistajien hyväksi. (Hokajärvi 2010, 488.)

Alueellisessa metsäsuunnittelussa voidaan erotella erilaisia kehityskausia eri vuosikymmeninä. Metsänomistajien henkilökohtaista neuvontaa painotettiin erityisesti 1980-luvulla, 1990-luvulla metsäsuunnitteluun vaikuttivat metsään kohdistuvien tavoitteiden monipuolistuminen ja neuvonnan lisääntyminen. Luotettavuutta parannettiin, lisättiin ja monipuolistettiin tietosisältöä sekä mukaan otettiin uusia suunnitelmatyyppejä. Uusien tietojärjestelmien käyttöönotto (TASO, SOLMU/Luotsi) vauhditti ja ohjasi metsäsuunnittelun kehitystä. Nämä ohjelmat mahdollistivat tehokkuuden tuottaa erilaisia metsäsuunnitelmia metsänomistajien mieltymysten mukaisesti. Tätä asiakaskunnan erilaisiin tarpeisiin vastaamista kuvataan työn kehityksen mallissa massaräätälöinninimellä. Käytännössä kuitenkin aina näihin päiviin asti on metsänomistajille tuotettu lähes samanlainen standardisuunnitelma, joten tätä ”massaräätälöinnin”-vaihetta ei ole vielä saavutettu. (Hokajärvi 2010, 488.)

Vuosituhaten vaihteessa eri metsäorganisaatioissa ryhdyttiin siirtymään jatkuvan parantamisen aikakauteen erilaisten laatujärjestelmien rakentamisen ja käyttöönoton myötä. Vuoden 2005 jälkeen metsäsuunnittelussa ryh-

dyttiin esittämään asiakkaiden ryhmittelyä sekä kehitettiin eriytettyjä suunnittelupalveluita, jotka ovat jo merkkejä vähittäisestä siirtymisestä massaräätälöinnin vaiheeseen, eli asiakkaan muuttuviin tarpeisiin vastataan massatuotannon periaattein. Uudessa inventointimenetelmässä on 2000-luvulla nousut kaukokartoitus tärkeään rooliin. Laserkeilaus ja siihen liittyvä kiinteiden, paikannettujen koealojen mittaus sekä kohdennettu maastoinventointi epäselville metsikkökuvioille tuottaa perustiedon määrääjain. Tietoja ylläpidetään ilmakuvauksen, erilaisten metsässä tapahtuvien toimenpiteiden sekä maastossa tapahtuvan tiedonhankinnan ja tietojen tarkistusten avulla. (Hokajärvi 2010, 489.)

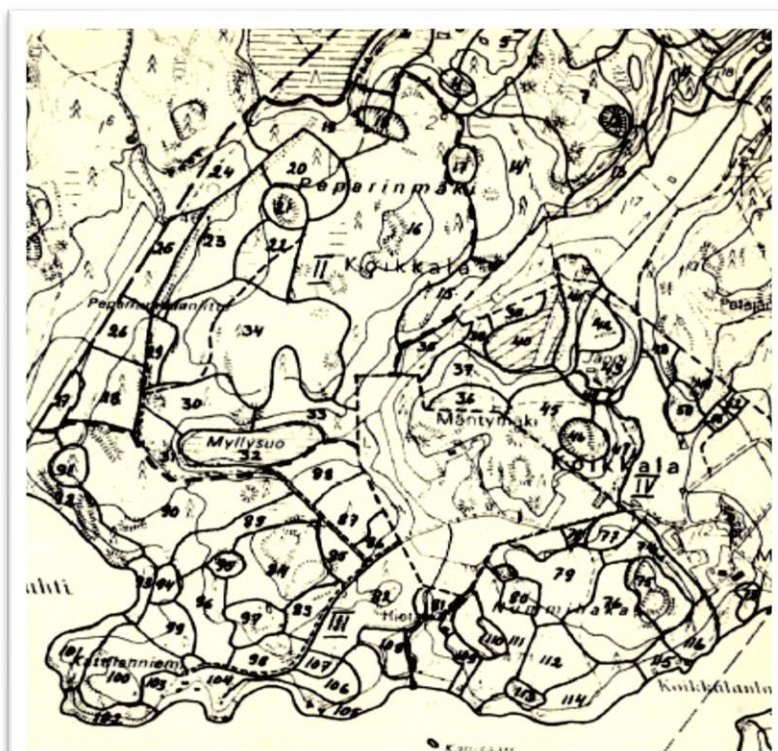
Nykyään metsävaratiedon tuottamisessa on tapahtumaisillaan merkittävä muutos ja muun muassa Suomen metsäkeskuksen julkiset palvelut ovat vuodesta 2010 ryhtyneet käyttämään laserkeilausta metsävaratiedon tuottamisessa, tiedon jakamisessa sekä tiedon ylläpitämisessä. Tätä metsävaratietoa lisätään myös internetin metsään.fi -palveluun, joka on metsänomistajia ja samalla myös metsäalan toimijoita auttava asiointipalvelu. Tämä palvelu tarjoaa ajantasaista tietoa metsänomistajalle metsiensä metsävaratiedoista ja kartoista.

2.1 Perinteinen metsäsuunnitelman teko

Metsäsuunnitteluinventoinnit on kerätty jo lähes 50 vuotta aina tähän vuosikymmeneen saakka kattavasti maastotyönä visuaaliseen ilmakuvatulkintaan ja metsikkökuvioittaiseen arviointiin perustuen pääosin ”miestyönä” ja suurmalta osin metsäkeskusten toimesta. Myös metsänhoitoyhdistykset sekä metsäyhtiöt ovat pienissä määrin tehneet yksityismetsien metsäsuunnitelmia. Yksinkertaisten perinteisen 1970-luvulta alkunsa saaneen alueittaisen kaukokartoitus pohjaisen metsäsuunnitelman teko lähti liikkeelle siitä, että metsäorganisaation saatua metsänomistajalta tilauksen metsäsuunnitelman teolle metsätilalleen/-tiloilleen on metsäsuunnittelijan aika astua esiin.

Metsäsuunnittelija, ennen kenttätöiden aloittamista, suoritti ennakkokuvioinnin metsätilan karttapohjalle maastotöiden helpottamiseksi. Ennen tietokoneiden aikakautta oli paras työalusta tuore 1:10 000 mittakaavainen ilmakeu stereoparina, josta tasku- tai peilistereoskooppia apuna käyttäen pystyttiin rajaamaan kuvat ilmakeuille. Ilmakeu kuu kseen käytettiin infrapunaherkistetty-

jä filmejä. Hyvälaatuisilta kuvilta kykeni kokenut metsäsuunnittelija rajaamaan 80 – 90 prosenttia metsiköistä, ennen maastotöiden aloittamista. Lopullinen metsätaloussuunnitelmaan liittyvän kartan valmistus tapahtui siten, että metsikkökuvioiden rajat piirrettiin ilmakuvien päälle asetetulle muovikalvolle, jonka avulla ne siirrettiin 1:10 000 mittakaavaiselle peruskarttapohjalle (Kuvio 1). Tietotekniikan kehittyessä tässä vaiheessa ryhdyttiin yhä enenevässä määrin siirtymään myös sen hyödyntämiseen. (Ranta 1986, 352.)



Kuvio 1. Perinteinen metsätaloussuunnitelmakartta
Tapion Taskukirja. 1986

Perinteisen metsäsuunnitelman tekoon liittyvä seuraava toimenpide oli kenttätöihin ryhtyminen, jossa muun muassa tarkastettiin lopulliset metsikkökuvioiden rajat. Tärkeimpinä kuvioiden erotteluperusteina pidetään yhä kehitysluokkaa, metsikkökuvion käsittelyn toimenpidetarvetta ja toimenpidetarpeen kiireellisyyttä sekä kangas ja turvemaan rajaa. Muita tärkeitä erotteluperusteita ovat metsätyypin muutokset, erot puuston määrissä tai puulajisuhteissa sekä metsän terveydentila. Kuvioiden minimikokona pyritään pitämään 0,5 hehtaaria, eikä sitä pienempiä käsittelykuvioita suositella tehtäväksi. Kun kuviointi oli valmis, voitiin jokaiselle metsikkökuviolle suorittaa tarvittavat puustotunnusten mittaukset/arvioinnit tarvittavia mittavälineitä apuna käyttäen sekä määrittää toimenpide-ehdotukset kiireellisyysjärjestyksittäin. Samalla

myös tarkasteltiin kuvioittaisia puutavarajakaumia, ja muita merkittäviä seikkoja, jotka myös kirjattiin ylös. (Ranta 1986, 352.)

Kun tiedot oli saatu talletettua alkuaikoina maastolomakkeelle, myöhemmin maastotallentimelle, siirryttiin maastosta toimistotehtäviin. Toimistoissa talletettu tieto purettiin eri aikakausien mukaisille kulloinkin käytettävissä oleville laskentaohjelmille. Metsälaskentaohjelmat suorittivat varsinaiset kuvioittaiset ja tilakohtaiset metsälaskelmat puusto- ja puutavaramäärineen sekä hakkuusuunnitteineen. Näin tiloille, joille metsänomistajat olivat tilanneet metsäsuunnitelman, koostettiin tilakohtaiset metsäsuunnitelmat metsätalouuskarttoineen ja toimenpide-ehdotuksineen tiettyä sillä hetkellä voimassa olevaa korvausta vastaan.

2.2 Laserkeilaus metsäsuunnitelmien teossa

Lentokoneesta tehtävä laserkeilaus on jo arkipäivää metsävaratiedon tuottamisessa. Suomen metsistä on laserkeilaamalla kartoitettu jo melkein puolet. Vuosittain inventoidaan yksityismetsiä laserkeilausmenetelmällä noin 10 – 15 aluetta eri puolilta Suomea kokonaistavoitteena 1,5 miljoonaa hehtaaria. Inventointikierto olisi tällöin 10 vuotta. (Suomen metsäkeskus 2012a.) Entiset kaukokartoitusmenetelmät eivät pystyneet selvittämään muun muassa puiden pituutta. Laserkeilaamalla sen sijaan saadaan puustosta kolmiulotteista, pisteistä koostuvaa kuvaa, josta pystytään estimoimaan puuston pohjapinta-alat hehtaarille, pituudet, läpimitat, tilavuudet, latvuspeittävyys ja puuston sijainnit. Ainoastaan puulajien tunnistamiseksi tarvitaan vielä ilmakuvatulkintaa. Tällä hetkellä laserkeilausta hyödynnetään kehitysluokkien 02, 03 ja 04 metsiköiden puustotietojen tuottamiseen ja toimenpiteiden suunnitteluun sekä esimerkiksi kasvupaikan määrittäykseen. Taimikot T1 ja T2 sekä aukeat Y1 ja S0 ovat nykyisen laserpohjaisen inventointimenetelmän ulkopuolella. (Vastaranta 2012, 232.) Tosin tutkimusta ja kehitystoimintaa tapahtuu koko aika ja varsinkin taimikoiden laserkeilausta on tutkittu viimeaikoina enenevässä määrin (Laine 2010, 7 – 71; Närhi – Maltamo – Packalén – Peltola – Soimasuo 2008, 5 – 15.)

Toisena merkittävänä tekijänä säännöllisesti suoritettavassa laserkeilauksessa on sen tuoma uusi ulottuvuus metsävaratiedon käsittelyssä, nimittäin aika. Vertailtaessa vaikkapa kahden eri kuvausjakson tuottamaa laseraineistoa,

pintamalla, voidaan kuvat päälletysten asetettuna nähdä esimerkiksi puuston korkeusmuutokset, puun biomassan muutokset, mahdolliset tehdyt toimenpiteet ja metsätuhot. Tarvittaessa maastokäynnein voidaan vielä tietyt asiat käydä tarkistamassa paikan päällä. Kun laserkeilaukseen perustuvaa informaatiota saadaan samoilta kohteilta säännöllisin väliajoin, voidaan metsikön historiatietojen sekä erilaisten mallinnuksien ja simulointien avulla ennustaa jopa metsien tulevaa puuntuottoa tai metsätuhojen riskejä. Myös metsäkiinteistöjen arvo voidaan määrittää nykyistä tarkemmin tuottoarvolaskennan avulla, joka tehdään samanaikaisesti metsäsuunnittelun yhteydessä.

Laserkeilausmenetelmän etuja verrattuna perinteiseen miestyönä tehtävään kuvioittaiseen arviointiin on sen edullisuus. Aiemmin metsävaratiedon hankkiminen maksoi valtiolle noin 10 euroa hehtaarilta, kun laserkeilausmenetelmällä hinta on vain noin nelisen euroa hehtaarille. Säästöä kertyy siis tämän tiedon pohjalta noin 60 prosenttia aiempaan verrattuna. (Holopainen 2013, 10 – 11.) Puunhankkijoiden toiveena taas on ennen kaikkea saada laserkeilauksesta ajantasaista ja kohtuullisen luotettavaa tietoa, mistä syystä laserkeilauksen säännöllisyys olisi tarpeellista. Laserkeilaus on kuitenkin nopeampaa ja edullisempaa verrattuna perinteiseen metsätalouden suunnittelu-prosessiin. (Pajuja 2013, 11.)

Ensimmäisen Suomessa tuotetun laaja-alaisen käytännön laserkeilausprojektin metsäsuunnittelun tarpeisiin suoritti vuonna 2008 metsäyhtiö UPM yhtiön omiin metsiinsä, joita keilattiin 450 000 hehtaaria. Vuonna 2010 siirryttiin vaiheittain Metsäkeskuksen toimesta laserkeilaamaan myös yksityismetsiä metsäinventoinnin tarpeisiin. Yksittäisten tilojen laserkeilaus erikseen ei ole mielekäästä, mutta kun laserkeilaus suoritetaan keskitetysti suurehkoille alueille, esimerkiksi yhden Metsäkeskuksen alueelle, niin myös pienmetsänomistajat hyötyvät tarkemmista kartoitusmenetelmistä. Metsähallitus, suurmetsänomistajana, voi jo nyt hoitaa kokonaan omia keilausprojektejaan. (Vastaranta 2012, 232.)

2.1.1 Laserkeilauksen periaate

Laserkeilaus (LIDAR, Light Detection And Ranging) ja lentolaserkeilaus (ALS, Airborne Laser Scanning) inventointimenetelmä perustuu aktiiviseen kaukokartoitukseen eli laserkeilain mittaa lentävästä aluksesta lähettämään-

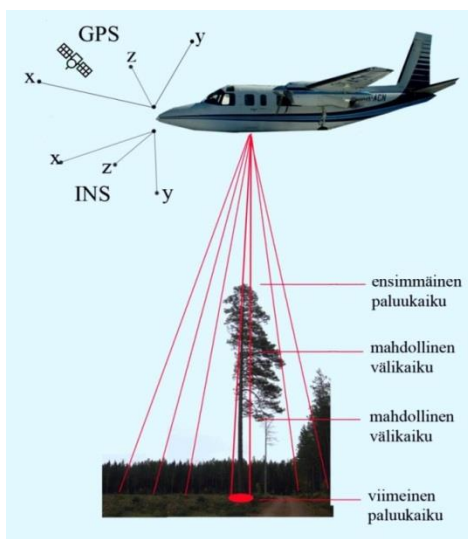
sä säteilyä lähi-infrapunan aallonpituusalueella. Laserkeilain rakentuu itse keilainosasta, laserpulssin tuottavasta lasertykistä sekä ilmaisinosasta, joka vastaanottaa ja tulkitsee maahan lähetettyjen pulssien vastakaiut. Laserkeilaimen ja kohteen, johon laserpulssi on lähetetty, välinen etäisyys määritellään pulssin kulkuajan perusteella. Lentokoneeseen sijoitetun GPS-paikantimen avulla voidaan mitattu tieto sitoa tarkasti tiettyyn paikkaan. Näin laserkeilaus muodostaa mitattavasta kohdealueesta kolmiulotteisen pisteaineiston, jossa jokaisella pisteellä on x- ja y-koordinaatit sekä korkeus merenpinnasta, z. Metsäkohteiden laserkeilauksessa lentokorkeudet vaihtelevat 400 – 4000 metrin välillä maanpinnasta, jolloin yhden laserpulssin muodostaman keilan koko maanpinnan tasolla on laserkeilaimesta riippuen 0,1 – 2,0 metrin välillä. Yleisimmin käytetään keilauksen avauskulmana nadiirista lentosuuntaa vastaan noin 15 astetta. Lentolinjan leveys maastossa on 100 – 1000 metrin välillä ja lentopintojen välillä on tavallisimmin 10 – 50 prosentin sivuttaispeitto. (Holopainen ym. 2011, 130.)

Keilauskaistaleen leveys riippuu lentokorkeudesta. Mitä korkeammalta keilaetaan, sitä leveämpi kaistale saadaan tarkasteluun. Kahden kilometrin korkeudella lentävä lentokone pystyy keilaamaan noin kilometrin levyistä kaistaletta (Kuvio 2). (Pihlava 2008.)



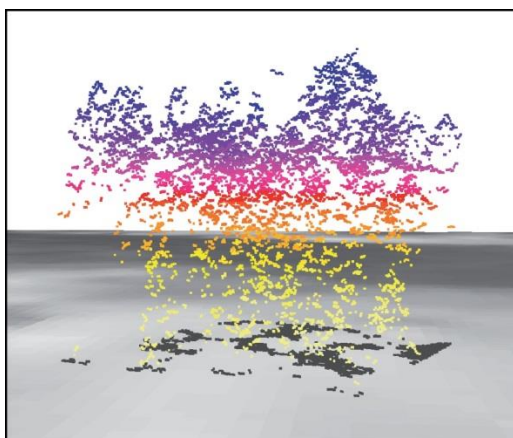
Kuvio 2. Laserkeilausmittauksen periaate. Kuva: Bange Design

Laserpulssien heijastuminen puustosta ja maastosta takaisin laserkeilaimelle näkyy kuviossa kolme. Kohde paikannetaan tarkasti maastoon x-, y- ja z-koordinaattien avulla (Kuvio 3), jolloin saadaan muodostettua kolmiulotteinen pistepilvi kohteesta. (Laaksonen 2009.)



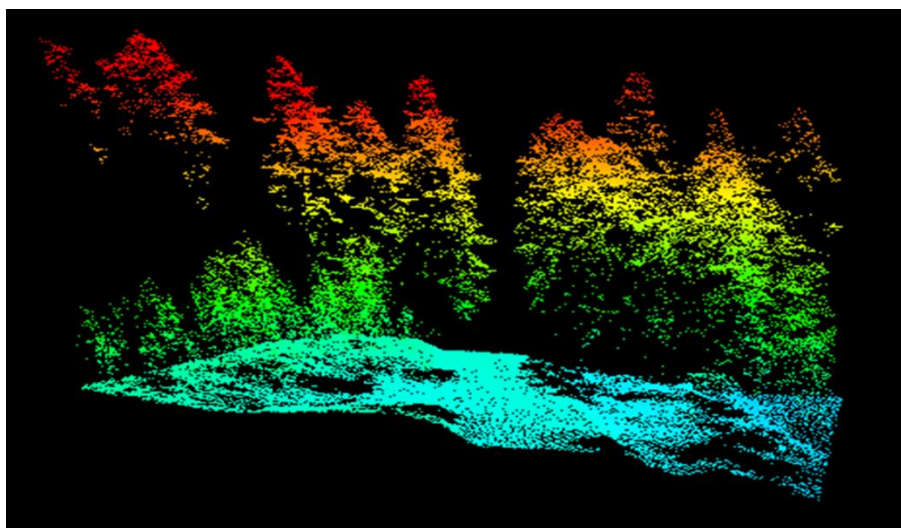
Kuvio 3. Lentolaserkeilauksen periaate
Kuva: Laaksonen H.

Metsien inventoinneissa käytetään yleensä harvapulssisia pulssitiheyksiä, jotka vaihtelevat 0,5 – 2,0 laserpulssia neliömetrillä johtuen kustannustekijöistä. Näiden pulssitiheyksien on todettu olevan riittävän tarkkoja vastaamaan metsien inventoinnille asetettuja tarkkuusvaatimuksia. Vastaavasti tiheäpulsseissa laserkeilauksessa pulssitiheydet maanpinnalla vaihtelevat tutkimustarpeen ja tarvittavan tarkkuuden mukaan 5 – 30 pulssin välillä, tällöin myös kustannukset kohoavat, mutta tuotettu aineistokin on tarkempaa. (Holopainen ym. 2011, 128 – 130.) Kuviossa neljä nähdään laserkeilainaineistosta muodostettu kolmiulotteinen pistepilvi metsikkökoealalta. Puustosta saadaan hyvä kolmiulotteinen kuva. (Maltamo ym. 2007, 8.)



Kuvio 4. Kolmiulotteinen laserpisteparvi metsikkökoealalta
Kuva: Packalén P.

Kuviossa viisi voidaan havaita laserpisteistä tehty mallinnus Evon koemetsikössä laserkeilauksella mitatusta metsikkökoealasta.



Kuvio 5. Esimerkki lentolaserkeilauksella mitatusta metsikkökoealasta, Evo. 2007. Kuvan © Risto Viitala (Hämeen AMK), Markus Holopainen (HY) & Juha Hyyppä (FGI)

Lentolaserkeilauksessa on nykyään käytössä kaksi päätekniikkaa puustotietojen tuottamiseen: yksinpuintulkinta (ITD, Individual tree detection) sekä aluepohjainen regressiotekniikkaan perustuva menetelmä (ABA, Area-based approach). Näillä menetelmillä puu- tai puustotiedot tuotetaan mittaamalla puiden fysikaalisia ominaisuuksia suoraan 3D-pistepilvestä tai hyödyntämällä ennustettavien tunnusten ja pistepilvestä laskettujen piirteiden tilastollisia riippuvuussuhteita. (Hyyppä – Inkinen 1999, 27 – 42; Næsset 1997, 49 – 56; Maltamo ym. 2006, 217 – 227; Hyyppä ym. 1999, 5 – 15; Holopainen ym. 2011, 128 – 130.)

2.1.2 Yksinpuintulkinta

Yksinpuintulkinta (ITD, Individual tree detection) on yksi vaihtoehtoinen menetelmä tunnistaa laserkeilausaineistosta suoraan yksittäisiä puita. ITD-menetelmällä laserkeilausaineistosta tunnistetuista puista saadaan suoraan arvio puun pituudesta. Tämä edellyttää tiheäpulsisempaa (5 – 30 pulssia/m²) laserpisteaineistoa, joka on tällä hetkellä vielä kustannuksiltaan aluepohjaista laserkeilaus-menetelmää huomattavasti kalliimpaa. Kehitystyötä kuitenkin tapahtuu koko ajan ja eri menetelmillä tuotettujen laserkeilausaineistojen hinnat tulevat tulevaisuudessa yhä laskemaan, jolloin kustannusta-

so ei enää ole niin suurena kynnyskysymyksenä valittaessa eri laserkeilausmenetelmiä. (Maltamo ym. 2008, 309.)

Yksittäisten puiden kolmiulotteista mittausta voidaan tehdä kahdella tavalla. Ilmakuvamittaukseen eli digitaaliseen fotogrammetriaan perustuvalla menetelmällä, jossa sama latvapiste osoitetaan usealta kuvalta ja sijainti lasketaan avaruuskolmiona. Tässä menetelmässä ilmakuvan puut on mitattu ns. monoplotting-menetelmällä, jossa latvapisteiden sijainti osoitetaan ilmakuvasta ja latvan x-, y, ja z-koordinaattien sijainti ratkaistaan syntyvän avaruuskuvasuoran ja kohteeseen osuneiden laserpisteiden avulla. (Korpela 2011.)

Toinen menetelmä perustuu laserpistepilviin. Tässä menetelmässä yksittäisten puiden tulkinta perustuu useimmiten latvuston pintamallin (CHM, Canopy Height Model) lokaalien maksimien etsimiseen, jonka jälkeen puun latvuksen rajat erotetaan segmentoimalla, jakamalla ryhmiin. Tällä menetelmällä tuotettuun latvuston pintamallin tarkkuuteen vaikuttaa etenkin laserpulssin tiheys. (Korpela 2004, 5 - 85.)

Yksinpuintulkinnan (ITD, Individual tree detection) edellytyksenä pidetään noin 5 – 6 laserpulssia neliömetrillä. Mutta, jopa alle 2 laserpulssin pulssitiheydellä voidaan laseraineistosta laskea samaa tekniikka käyttäen yksittäisten puiden tai puuryhmien piirteitä. ITD-menetelmällä voidaan puusta mitata suoraan puun pituus, joka on latvuston pintamallin lokaali maksimi, jonka sijainti määrää myös puun sijainnin. Tällä tavoin määritetyn puun pituuden on todettu olevan systemaattinen aliarvio. (Vastaranta ym. 2011a, 4.)

Tekemällä maastomittauksia voidaan kalibroida puun laserpituutta. Puun läpimitta joudutaan ennustamaan, koska sitä ei voida mitata suoraan laserpistepilvestä. Ennustamiseen käytetään mm. yleisiä allometrisiä malleja, allometrinen-analyysi tarkoittaa menetelmää, jossa pyritään löytämään matemaattinen regressioyhteys tunnetun suureen ja ennustettavan parametrin välille. Ennustamisen voidaan käyttää myös lokaaleja regressiomalleja tai NN-menetelmää (Nearest Neighbour) eli lähimmän naapurin menetelmää. (Kalliovirta – Tokola 2005, 227 – 248; Maltamo ym. 2009, 507 – 521; Yu – Hyyppä – Holopainen - Vastaranta 2010, 1481 – 1495.)

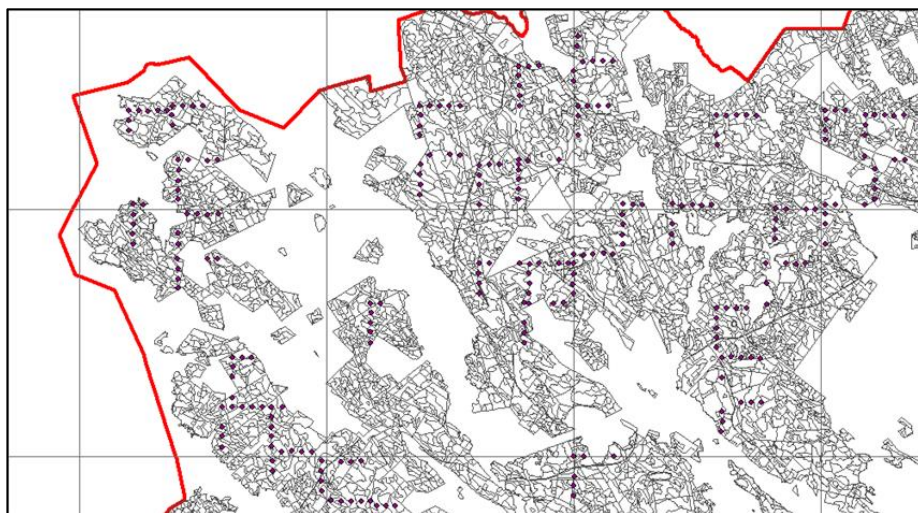
Yksinpuintulkinnassa (ITD) puustotunnusten ennustamisessa ovat yleistyneet myös muut geometriset piirteet, kuten myös laserkorkeusjakauman hyödyntäminen. (Vauhkonen 2009, 1 – 27; 2010, 9 – 36; Villikka – Maltamo – Packalén – Vehmas - Hyyppä 2007, 33 – 42.) Ilmakuvia, laserin intensiteettiä sekä NN-menetelmää hyödynnytetään usein apuna määriteltäessä puulajia. (Korpela – Ørka – Maltamo – Tokola – Hyyppä 2010, 319 - 339.) Ennustettaessa puutunnuksia NN-menetelmällä tarvitaan ennustamiseen puukohtainen opetusaineisto, jonka tulee kattaa useita havaintoja jokaisesta ennustettavasta puulajista ja koko puuluokasta. Yksinpuintulkinnalla suoritettavaa metsien inventointia varten ei maastomittauksia välttämättä tarvita, jos puutunnukset mitataan laserpistepilvestä ja puuttuvat tunnukset ennustetaan jo olemassa olevilla malleilla. Yksinpuintulkinnassa on kuitenkin määrättyjä ongelmia, jotka on ratkaistava ennen menetelmän hyödyntämistä käytännössä. Nämä virhelähteitä aiheuttavat tekijät ovat puiden ja puuryhmien tunnistaminen, puuttuvien puutunnusten, erityisesti läpimitan, mallintaminen sekä puulajin määrittäminen. (Maltamo – Packalén – Uuttera – Ärölä – Heikkilä. 2008, 304 – 309.)

2.1.3 Aluepohjainen laserkeilaus

Aluepohjaisessa puustotulkinnassa (ABA, Area-Based Approach) ennustetaan suoraan koealatasen puustotunnuksia harvapulssisella, 0.5 – 2 pulsia/neliömetrille laserkeilausmenetelmällä (Maltamo ym. 2008, 304 – 309.) Menetelmän lähtökohtana runkolukusarjojen yleistämiseksi on hyödyntää tarkasti paikkaan sidotuilta kiinteiltä maastokoealoilta tarkoin mitattujen ja määriteltyjen puustotunnusten sekä vastaavasti laserpisteaineistosta irrotettujen piirteiden tilastollista riippuvuutta. Maastoon sijoitettujen koealojen, yhdeksän metriä kertaa yhdeksän metriä, tulee edustaa mahdollisimman tarkasti koko inventoitavan laserkeilausalueen puustoa ja sen vaihtelua, joten koealojen muodostamista varten tarvitaan tarkkaa ennakkotietoa inventoitavan alueen metsistä. (Holopainen – Hyyppä – Vastaranta – Hyyppä 2011, 131).

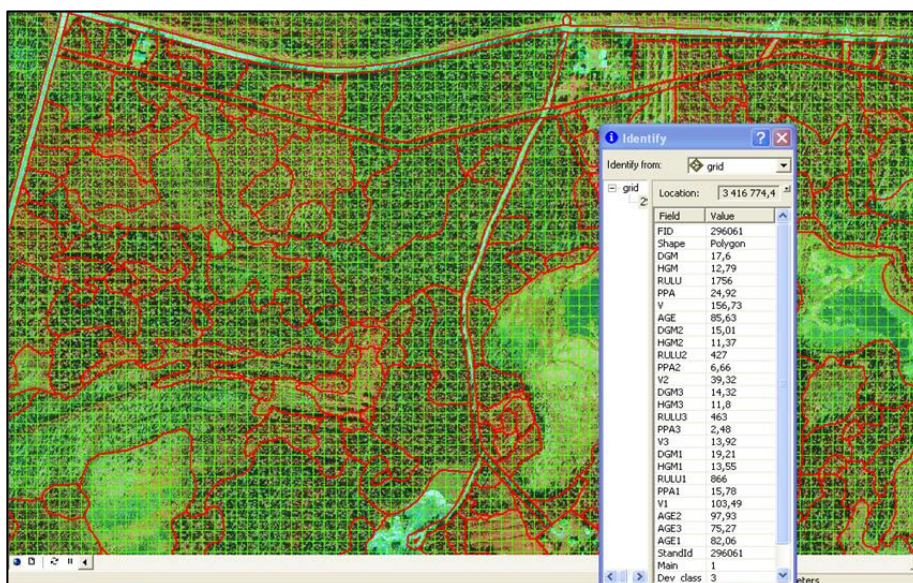
Keilausalueen maastoon sijoitetut alueen metsiä edustavat koealat sisältävät yleensä kymmeniä puita, muodostaen näin hyvän otoksen metsäkuvion puustosta. Keilausalueelle sijoitetaan inventoitavan alueen luonteesta riippuen 700 – 800 kiinteää koealaa siten, että ne kattavat mahdollisimman hyvin

inventoitavan alueen metsien kokonaisvaihtelun; puulajit, puuston koon, puuston tiheyden sekä erilaiset kasvupaikat (Kuvio 6). Koealalta mitataan tarkasti kaikki varttuneempi puusto (d_{1,3} läpimitasta 50 millimetriä alkaen), joilla on merkitystä itse puustotulkintaan. Taimikoiden ollessa kyseessä sille sijoitetaan ja mitataan pienempiä alikoealoja. Koealan keskipiste paikannetaan vähintään 1 metrin tarkkuudella ja merkitään tunnistettavasti maastoon mahdollista jälkitarkastusta varten. (Suomen metsäkeskus 2012b, 1 – 4.)



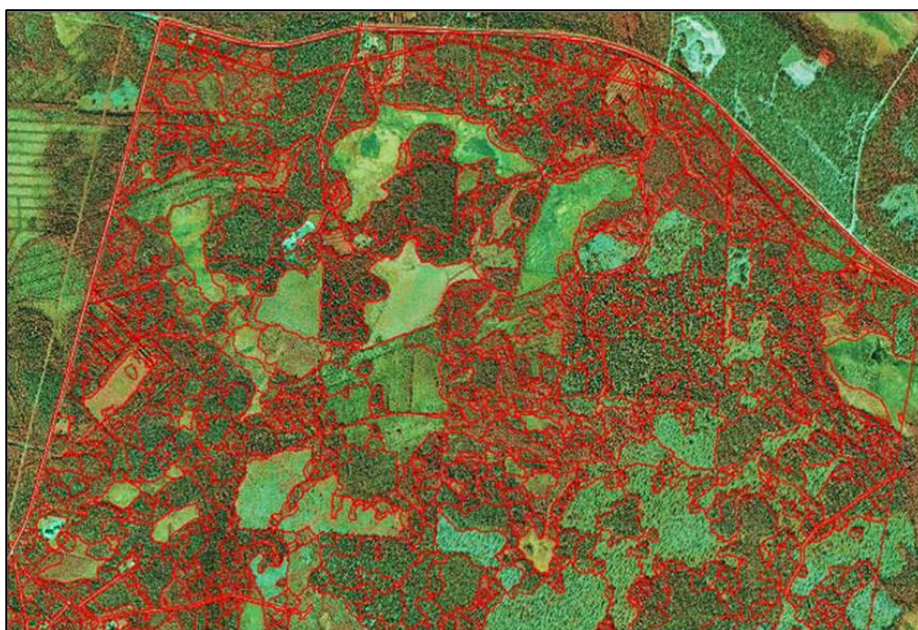
Kuvio 6. Kiinteiden maastokoealojen sijoittelua keilattavalle alueelle

Aluepohjaisessa inventoinnissa otosyksikkönä on tavallisesti 16 m x 16 m oleva hilaruutu, jonka koko vastaa maastossa mitattua koealaa. Tälle hilaruudulle osuneista laserkeilaimen lähettämistä laserpulsseista, jotka ovat heijastuneet takaisin ilmaisimelle, lasketaan piirteitä, joiden avulla ennustetaan puustotunnukset kaikille hilaruuduille ilmakuvia apuna käyttäen (Kuvio 7).



Kuvio 7. Esimerkki hilaruudukoille (16x16 metrin hilaruutu) muodostetuista kuvioista ja erään kuvion puustotunnuksista

Kattavan hilan sijasta voi tulkinnan perusyksiköksi muodostaa myös pinta-alaltaan pienehköjä mikrokuvia, jotka ovat puustoltaan homogeenisiä (Kuvio 8). Keilauksen tuottaman puuston pituus- ja tiheysinformaatio mahdollistaa myös kuvioinnin. Hilan ruuduista tai mikrokuvioista pystytään tulkittujen puustotunnusten perusteella kokoamaan optimaalisesti suurempia toimenpideyksiköitä. Menetelmä sopii siis hyvin inventointialueelle, jonka koko voi olla jopa useita satojatuhansia hehtaareita. Edellä esitetyllä tavalla laserkeilaus tuottaa puustoinformaatiota summa- ja keskitunnuksina. (Maltamo ym. 2008, 304 – 309.)



Kuvio 8. Mikrokuviointi suoritettuna ilmakuvien, laseraineiston ja laserpintamallin avulla

Yleisesti käytettyjä piirteitä ovat normalisoitujen laserpisteiden (korkeus maanpinnasta) korkeusjakaumasta lasketut prosenttipisteet sekä korkeuden keskiarvo, suhteellisten korkeuksien tai prosenttipisteiden tiheydet, keskihajonta ja variaatiokerroin. Nämä prosenttipisteet ovat alhaaltapäin laskettuja korkeusjakauman arvoja, jotka selittävät, millä korkeudella tietty kumulatiivinen osuus heijastuneista pisteistä on. Yhtenä selittävänä muuttujana on myös kasvillisuusosuus, eli se kuinka iso osa laserpulseista on heijastunut puustosta tai yli 2 metriä korkeista pensaista. Nämä kaikki piirteet lasketaan erikseen eri paluukaiuille, puhutaankin ensimmäisestä paluukaiusta, first-pulse ja viimeisestä paluukaiusta, last-pulse. Puustotunnusten ennustamisessa voidaan käyttää myös laser-intensiteettiä ja ilmakuvapiirteitä. (Holopainen ym. 2011, 128 – 139.)

Aluepohjainen laserkeilausinventointi (ABA) perustuu siis vahvaan tilastolliseen riippuvuuteen niin laserpiirteiden kuin maastokoealojen välillä. Maastokoealalta mitattujen puustotunnusten ja vastaavasta kohdasta irrotettujen laserpiirteiden välinen tilastollinen riippuvuus mallinnetaan. Tässä on yleisimmin käytetty regressioanalyysiä tai NN-ennustusmenetelmiä. Lisäksi on käytetty myös Bayesilaista lähestymistapaa, teoreettista puustotunnusten johtamista laserpistepilvestä sekä neuroverkkoja. (Holopainen ym. 2011, 128 – 139.)

Aluepohjaisen menetelmän tarkkuus riippuu siis täysin maastokoealojen tarkkuudesta ja kattavuudesta. Yleisiä mallinnuksia puustotunnusten ja laserpiirteiden välillä ei vielä toistaiseksi ole, koska esimerkiksi täysin samantyyppiseltä koealalta irrotetut laserpiirteet voivat keilausparametreista riippuen vaihdella paljonkin. Laskettuihin piirteisiin vaikuttavat lentokorkeus, keilauskulma, pulssikeilan tulo latvukseen, keilan koko maanpinnalla sekä käytettävä pulssitiheys. Tämän takia laserpiirteiden ja maastokoealojen välinen riippuvuus mallinnetaan aina aineistokohtaisesti. (Holopainen ym. 2011, 128 – 139.)

Lopputuloksena nämä laserkeilauksesta ennustetut puustotunnusten eri jakaumat summautuvat puulajeittain hehtaarisolalle toteuttaen puustotunnukset aikaisemmin suoralla mallinnuksella ennustettujen sijaan. Varsinaisessa laskentajärjestelmissä jokainen hila tai mikrokuvio sisältää omat tiedon puulajeittaisista jakaumista ja tämä tieto voidaan yleistää laajemmalle tasolle, kuten esimerkiksi metsikkökuvion. (Maltamo ym. 2008, 304 – 309.) Tarvittaessa voidaan joutua suorittamaan vielä lisäkoealojen mittauksia sekä tarkistusmittauksia tulosten laadun varmistamiseksi.

Laserkeilaus ei pysty kuitenkaan tuottamaan kaikille kohteille riittävän luotettavaa informaatiota ja siksi inventointia joudutaan vielä täydentämään varsinaisen laseraineiston valmistuttua kohdennetulla maastoinventoinnilla. Tällöin käydään maastossa kyseisellä kohteella (metsäkuvion) arvioimassa ne puustotunnukset, joille uusi laserinventointimenetelmä ei ole tuottanut riittävän luotettavaa informaatiota päätöksen teon tueksi.

3 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Vuonna 2010 on Metsäkeskuksissa ryhdytty käyttöönottamaan uutta valtio-rahoitteista metsävarojen inventointimenetelmää, laserkeilausta, metsävaratiedon tuottamisessa. Nuorten, varttuneiden ja uudistuskypsiin metsien metsävaratieto tuotetaan pääosin laserkeilauspohjaisesti ilman perinteisiä maastossa suoritettuja kuvioittaisia maastomittauksia, joka tosin on yhä yhtenä vaihtoehtoisena menetelmänä markkinoilla. Tavoitteena on, että vuoteen 2015 mennessä on kaikista Suomen yksityismetsistä saatu ajantasaistettu metsävaratieto joko kokonaan laserkeilauksella tai ajantasaistettuna tietona vanhalla menetelmällä inventoiduista tiedoista vuosien 2004 - 2010 väliseltä ajalta. (Suomen metsäkeskus 2012b, 1 – 4.)

Vuonna 2012 metsävaratietoa inventoitiin yksityismetsistä koko maassa noin 1,4 miljoonaa hehtaaria ja tavoitteena on päästä 1,5 miljoonaan hehtaariin vuositasolla. (Ylimartimo 2012.) Tällä uudella kaukokaukokartoitusmenetelmällä pyritään saavuttamaan 10 vuoden kiertoa Suomen metsävarojen inventoinnissa. Nykyisin esimerkiksi Lapissa vanhimmat inventointitiedot ovat 20 vuoden takaa.

Vuonna 2010 Metsäkeskus Lapin alueella tehtiin aluesuunnittelua noin 170 000 hehtaaria, josta tilakohtaisia metsäsuunnitelmia noin 102 000 hehtaaria. Kittilässä toteutettiin vuonna 2010 yhdessä Metsähallituksen kanssa yhteinen laserkeilaus-hanke, joka oli ensimmäinen tuotantokäyttöön tarkoitettu keilaushanke Lapin läänissä. Hankkeessa keilattiin yhteensä noin 248 000 hehtaaria metsää, josta noin 116 000 hehtaaria koski yksityismetsiä. (Juujärvi 2013.)

Kittilän alueella varsinaisen tulkittu laseraineisto käyttöönotettiin 2012 metsään.fi-palvelussa, joka on internetin välityksellä tapahtuva sähköinen asiointipalvelu metsänomistajille ja metsäalan toimijoille. Metsäkeskus Lapin alueella lisättiin keilauspinta-alaa Pohjois-Suomen läänin osalta siten, että vuonna 2011 keilattiin noin 200 000 hehtaaria ja vuonna 2012 250 000 hehtaaria, tästä eteenpäin on tarkoitus keilata vuosittain keskimäärin 250 000 hehtaaria. Metsäkeskus Lapin keilaushankkeet ovat Kittilän lisäksi kohdistuneen vuonna 2011 Salla-Pelkosenniemi-alueelle 127 000 ha ja Rovaniemen alueelle 92 000 hehtaaria. Vuoden 2012 alussa tapahtuneen Metsäkeskuk-

sen organisaatiomuutoksen myötä Metsäkeskus Lapin viralliseksi nimeksi tuli Suomen metsäkeskus Lapin alueorganisaatio. Tuona vuonna keilattiin Kemijärven suunnalla 100 000 hehtaaria ja Ranualla 150 000 hehtaaria. (Juujärvi 2013.)

3.1 Tutkimuksen taustaa

Opinnäytetyön tarkoituksena on verrata metsäsuunnittelijan tavanomaisten tilakohtaisten metsäsuunnitelmien teon yhteydessä tekemien metsikkökuvioittaisten mittausten ja arviointien tuottamien tulosten poikkeavuutta vastaaville kuvioille laserkeilausaineistosta tuotettuihin tuloksiin. Referenssiaineistona käytettiin metsäsuunnittelijan tuottamaa metsikkökuvioittaista puustotietoa ja hakkuuehdotusta verrattuna laserkeilauspohjaisesta puustotiedosta tuotettuun vastaavaan tietoon. Kittilän keilausalueen kokonaispinta-alasta 116 541 hehtaaria mukaan otettiin ainoastaan metsämaan kuviot.

Tutkimukseen valittiin kehitysluokista 02, 03 ja 04 metsämaan kuvioittain ne harvennus- ja uudistuskohteet, joihin metsäsuunnittelija oli vuonna 2011 tavanomaisen tilakohtaisen metsäsuunnitelman teon yhteydessä ehdottanut toimenpidettä. Lisäksi kuvion tuli olla vähintään 1 hehtaarin kokoinen. Näitä valikoitui otantaan 225 kuviota, yhteensä 740,1 hehtaaria, eri puolilta laajaa keilausaluetta tarkan seulonnan myötä. Mukaan ei kelpuutettu esimerkiksi kuvioita, joille ei ollut Luotsi-järjestelmässä tehty onnistunutta metsälaskelmaa, tai joiden hila-yleistys Aarni-järjestelmässä ei ollut vähintäänkin hyvä. Myös muuten epäselvät kuviot, jotka eivät olleet sitoutuneet mihinkään tilaan tai palstaan jätettiin pois, kuin myös kuviot, joiden pinta-ala ei ollut muodostunut oikein. Kuvioiden valinnassa oltiin äärimmäisen tarkkoja. Kaiken kaikkiaan näille 225 kuviolle oli tehnyt mittauksia/arviointeja sekä hakkuuehdotuksia yhteensä 10 metsäsuunnittelijaa, osa yhdelle kuviolle ja osa useammalle kymmenelle kuviolle.

3.2 Tutkimusongelman esittely

Kuviotasolla on metsää kuvaavan tiedon oltava mahdollisimman tarkkaa ja harhatonta, jotta metsäkuviolle osataan tehdä oikeita toimenpide-esityksiä juuri oikeaan ajankohtaan aiheuttamatta metsille, metsien ekosysteemeille ja biodiversiteetille ylimääräistä tuhoa. Erityisesti metsänomistajalle on tärkeää saada ajantasaista ja harhatonta tietoa metsiensä tilasta sekä hakkuu- ja uu-

distamisajankohdista hänen omien mieltymystensä sekä metsien terveyden ja tuottavuuden kannalta.

Nykyään Suomen metsäkeskuksissa on jo valtakunnallisesti käytössä uusi laserkeilauspohjainen metsävaratiedon tuottamisjärjestelmä, joten tarvitaan yhä kokemusperäistä tietoa laserkeilauksen soveltuvuudesta metsävaratiedon tuottajana etenkin Pohjois-Suomessa. Laserkeilausmenetelmästä tehdyt lukuisat tutkimukset on tehty eteläisemmän Suomen metsiä, jotka poikkeavat Pohjoisen metsistä huomattavasti jo homogeenisyydeltänsä. Onhan eteläisen ja pohjoisen Suomen välillä useita satoja kilometrejä sekä eri lämpösumma-alueita, kasvupaikkatekijöitä ja sääolosuhteita luoden Pohjois-Suomeen poikkeavia metsiköitä verrattuna Etelä- Itä- ja Keski-Suomeen.

Ennen kuin metsävaratiedon uuden keruumenetelmän sekä vanhan metsävaratiedon keruumenetelmän kaikkia osa-alueita kyetään oikealla tavalla yhdistelemään ja kokoamaan luotettavaksi metsävaratiedoksi tarvitaan lisätutkimuksia. Etenkin Pohjois-Suomen osalta vertailevaa tutkimusta, jotta kyetään tekemään oikeita ratkaisuja ja kehittämään laserkeilausta oikeaan suuntaan.

3.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on tuottaa Suomen metsäkeskukselle tarpeellista vertailevaa tietoa laserkeilauspohjaisesta puustotulkinnasta johdetun metsävaratiedon poikkeavuudesta referenssiaineistona käytettyyn metsäsuunnittelijan tekemään perinteiseen metsien inventointiin. Tutkimuksen tarkoitus on vertailla eri puustotunnusten, (puulaji, keski-ikä, pohjapinta-ala, runkoluku, keskiläpimitta, keskipituus ja keskitilavuus) eroavuuksia, sekä laskea näille tunnuksille keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE), suhteellinen keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE-%), harha (BIAS), suhteellinen harha (BIAS-%) sekä ali- ja yliarvioiden keskiarvot, niin kuvioittaisin summatunnuksin, kuin myös kehitysluokittaisesti puulajeittain (mänty, kuusi ja lehtipuut). Tutkimuksessa vertaillaan myös metsäsuunnittelijan tekemien hakkuuehdotusten sekä hakkuun kiireellisyyksien poikkeavuuksia laserkeilausaineistosta tuotettuihin vastaaviin esityksiin.

Tavoitteeni on kehittää ammatillista osaamista nykyaikaisesta metsävaratiedon tuottamisesta metsien inventoinnissa ja metsäsuunnittelussa. Pyrin työläni hakemaan vastauksia mm. seuraaviin kysymyksiin:

1. Voidaanko pelkällä laserkeilausaineistosta tuotetuilla puustotiedolla määritellä luotettavat puustotiedot?
2. Voiko keilausaineistosta johtaa oikeansuuntaisia hakkuuehdotuksia ja pysyvätkö ehdotukset Hyvän metsän hoidon-ohjeiden tai lain sallimissa rajoissa?
3. Voidaanko keilausaineistosta päätellä hakkuutoimenpiteiden oikea ajankohta?
4. Mitä virhelähteitä voimme havaita vertailussa ja millä tavoin voimme estää virhelähteet?

4 KITTILÄN LASERKEILAUSHANKE

Kittilän laserkeilaushanke oli Pohjois-Suomen läänin ensimmäinen tuotantomittakaavainen uuden laserkeilausinventointimenetelmän hanke. Hanke toteutettiin vuonna 2010 yhdessä metsähallituksen kanssa ja laserkeilattu kokonaispinta-ala oli noin 248 000 hehtaaria. Tästä pinta-alasta 116 542 hehtaaria oli yksityismetsiä, sisältäen yhteensä 53 543 metsäkuviota. Metsämaan pinta-alan osuus kokonaispinta-alasta oli 67 050 hehtaaria, kitumaan 24 347 hehtaaria ja joutomaan 24 261 hehtaaria.

Keilauskohteen valinta suoritettiin Metsäkeskuksessa syksyllä 2009 ja valinta osui Kittilän kunnan alueelle. Tilausmenettely läpikäytiin keväällä 2009 ja laserkeilauksen sekä ilmakuvauksen suorittavaksi yhtiöksi valittiin ilmakuvien ja digitaalisten karttojen toimittamiseen erikoistunut yritys TerraTec Oy.

Referenssikoealojen mittaaminen maastossa tapahtui 2010 kesä- ja syyskuun välisenä aikana ja varsinainen laserkeilauslento heinäkuussa 2010. Kesällä 2010 suoritettiin myös ilmakuvauslento, jonka materiaali ei ollut tarpeeksi laadukasta. Uusintakuvauslento tehtiin elokuussa 2011, jolloin materiaalista tuli vaatimusten mukaista.

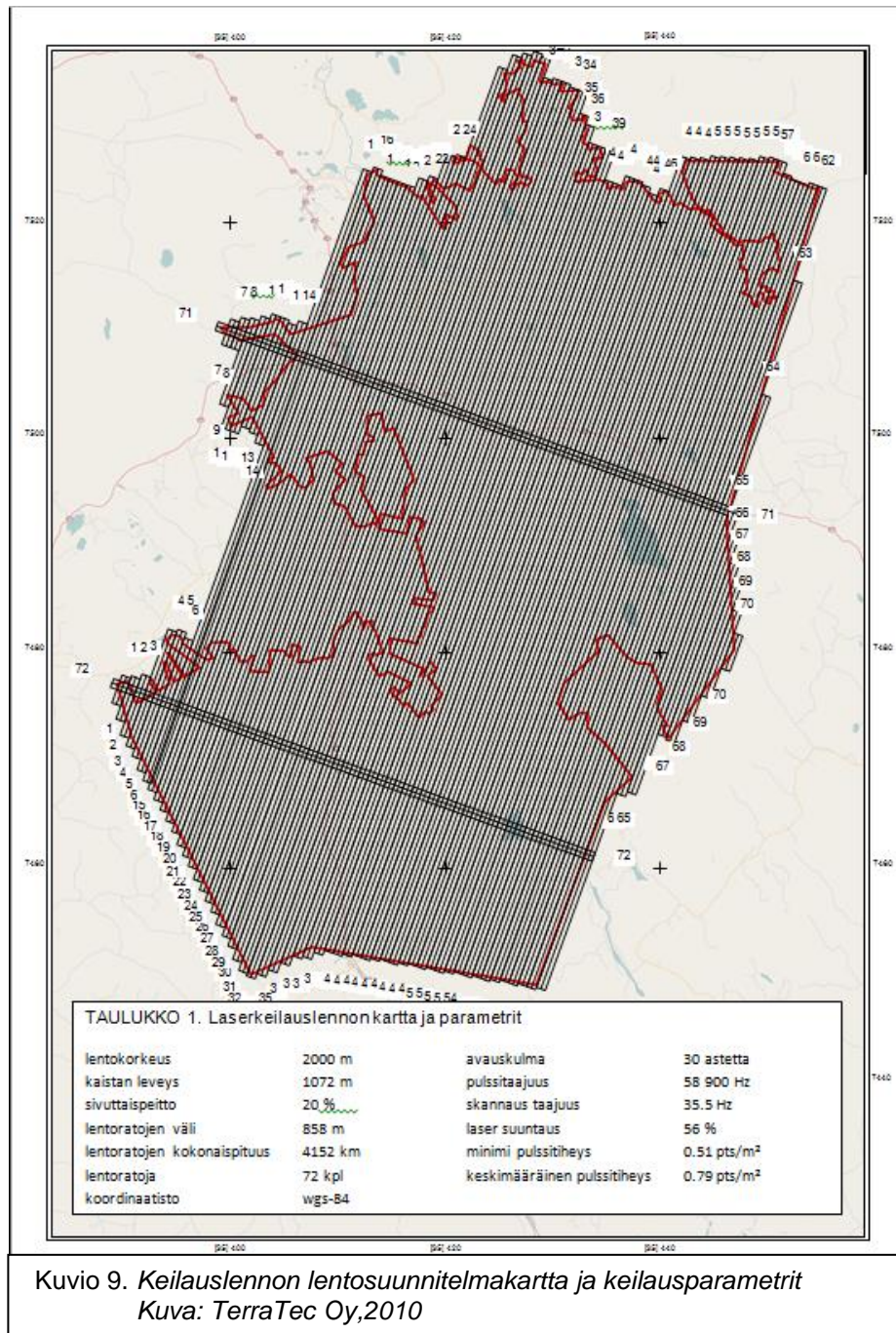
Latvuksen pintamalli-rasteri valmistui loppuvuodesta 2010. Keilausalueella suoritettiin epäselville kohteille lisäkoealojen mittaus ja tarkistusmittauksia alkukesästä 2011 sekä kohdennettu maastoinventointi kesän 2011 aikana. Laserkeilausaineiston hilatulkintaa, segmentointia sekä kuviokarttojen korjausta tehtiin vuosien 2011 – 2012 välisenä aikana LuotsiGis- ja AarniGis-paikkatieto-ohjelmistoilla. Syksyllä 2012 tehtiin Aarnin työtasolla varsinainen hilayleistys, laskenta, aineiston korjaus ja muokkaaminen.

Kuviot siirrettiin julkaisutasolle ja siitä eteenpäin julkaisukantaan sekä metsään.fi-palveluun loppuvuoden 2012 aikana. Keilausalueen metsänomistajille lähetettiin samana vuonna ilmainen Metsään.fi-tiedote, joista näkyy muun muassa metsänomistajien metsäpalstojen hakkuu- ja hoitotyökohteet.

4.1 Laserkeilaus- ja digi-ilmakuvauslennot

Laserkeilauksen ja siihen liittyvän digi-ilmakuvauksen suoritti norjalaisen Terratec AS:n suomalainen tytäryhtiö TerraTec Oy. Varsinainen laserkeilauslento tehtiin viitenä päivänä heinäkuussa 2010, jolloin sääolosuhteet olivat au-

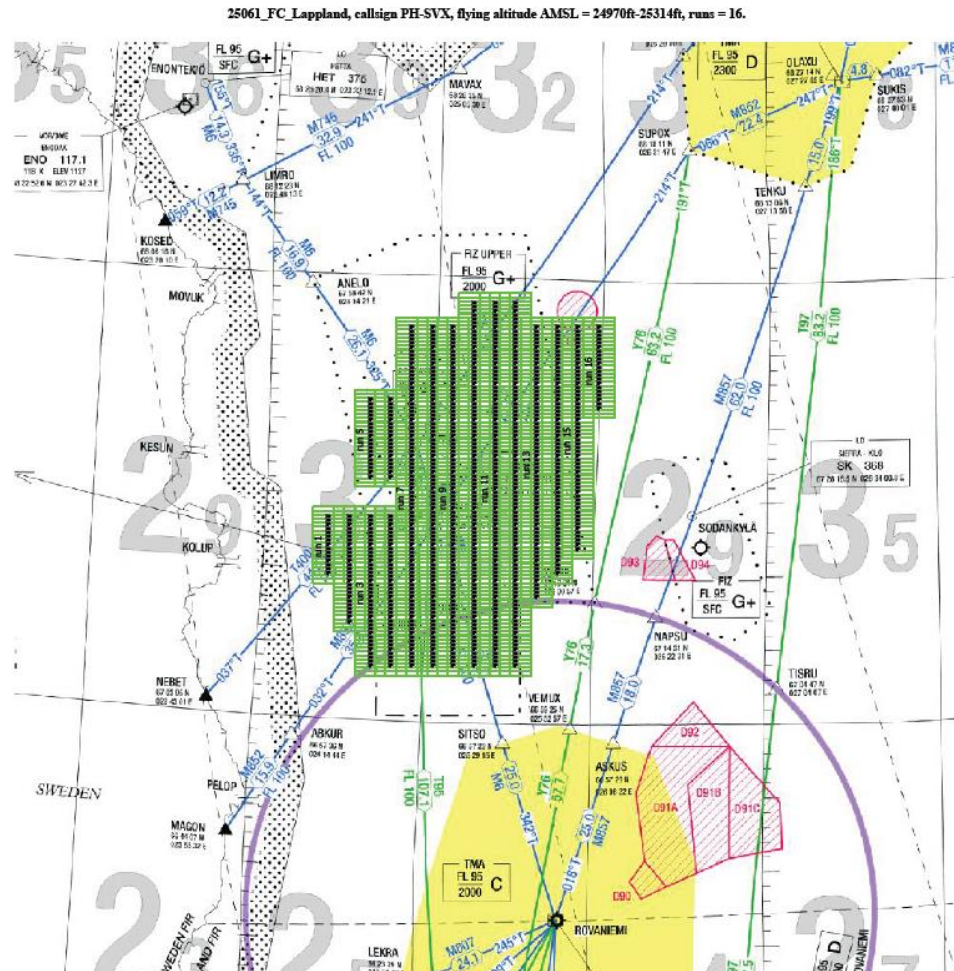
rinkoisen otolliset. Laserkeilauksen lentokorkeus oli 2000 metriä ja lentonopeus 250 kilometriä tunnissa. Laserkamera oli tyypiltään line scanner kamera Leica ALS50-II. Line scan kamerassa on vain yksi rivi pikselisensoreita, jotka syöttävät jatkuvasti tietoa tietokoneelle, joka yhdistää pulssit muodostaen kohteesta kuvan. Tämä mahdollistaa terävät kuvat nopeasti ohitse kietävistä kohteista. Laserkeilauksen parametrit on esitetty kuviossa 9. (Ratilainen 2013).



Kuvio 9. Keilauslennon lentosuunnitelmakartta ja keilausparametrit
Kuva: TerraTec Oy,2010

Laserkeilauslennoissa käytettyjä yleisimpiä parametrejä on esitelty tarkemmin luvuissa 2.1.1 Laserkeilauksen periaate, 2.1.2 Yksinpuintulkinta ja 2.1.3 Aluepohjainen laserkeilaus.

Kittilän laserkeilaushankkeen ensimmäinen digi-ilmakuvaus vuonna 2010 ei tuottanut laadullisesti riittävän tarkkoja ilmakuvia luotettavaan kuvointiin ja puustotulkintaan. Ilmakuvauslento jouduttiin uusimaan vuonna 2011. Neljänä elokuun aamupäivänä suoritettavat kuvauslennot 7611 – 7716 metrin lentokorkeudelta tuottivat laadun mukaisia ilmakuvia yhteensä 1183 kappaletta puustotulkinnan ja kuvioinnin tueksi (Kuvio 10). Ilmakuvaukseen käytettiin digikameraa tyypiltään UltraCam Xp. (Ratilainen 2013.)



Kuvio 10. Digi-ilmakuvauslennon lentosuunnitelmapakartta
Kuva: TerraTec Oy, 2010

4.2 Hankkeen tavoitteet

Kittilän laserkeilaushankkeen tärkein tavoite oli, ja on, saada metsänomistajille aina ajantasaistettu tieto omista metsistään. Metsänomistajalle on tärkeää saada tietää, mitä toimenpiteitä hänen omistamissa metsissä olisi tarpeen tehdä ja millä aikataululla, mitkä ovat hakkuutarpeet ja ilmeneekö hoitotarpeita? Näistä metsätiedoista lähetettiin Kittilän yksityismetsien omistajille maksuton tiedote, kannustamaan metsänomistajia metsiensä hoitoon.

Suomen metsäkeskukset ovat uudistaneet metsävaratiedon keruuta ja hyödyntämistä tällä uudella inventointimenetelmällä. Laserkeilaus, yhdistettynä digitaalisiin ilmakehän kuvakuviin sekä tarkkoihin referenssikoealamittauksiin tuottaa nopeasti ja edullisesti laadukasta metsävaratietoa. Tausta apuna tässä on myös jo kerätyn vanhan metsävaratiedon hyödyntäminen. Samanaikaisesti ja usein yhteistyössä muiden toimijoiden, kuten Lapissa Metsähallituksen ja Maanmittauslaitoksen, kanssa toteutetut suuri pinta-alaiset keilausalueet laskevat inventoinnin yksikkökustannuksia huomattavasti. Tällä uudella menetelmällä tavoitellaan noin 40 – 60 prosentin kustannussäästöä metsien inventoinnissa. Vanhalla inventointimenetelmällä metsäsuunnittelija keräsi yhden maastopäivän aikana noin 50 hehtaaria metsävaratietoa. Laserkeilauspohjaisesti päästään yhden päivän aikana 200 – 300 hehtaarin saavutuksiin saman metsäsuunnittelijan toimesta. (Juujärvi 2011, 6.)

Vuonna 2012 Suomen metsäkeskuksen Julkiset palvelut yksikkö avasi Metsään.fi-verkkopalvelun, johon muun muassa Kittilän metsätietoaineisto sijoitettiin. Metsäkeskus toimii maa- ja metsätalousministeriön tulosoajauksessa ja valvonnassa. Palvelusta peritään metsänomistajalta vuosimaksu, joka on 60 euroa. Verkkopalveluun lisätään vuosittain uusista keilauskohteista hankittua tuoretta metsävaratietoa. Tässä verkkopalvelussa metsänomistajat voivat päivittää ja hallinnoida metsätietojaan ja pyytää esimerkiksi suunnittelu- ja hakkuutarjouksia. Verkkopalvelussa voi myös kilpailuttaa hakkuu- ja hoitokohteita sekä hoitaa viranomaisasioita. Metsävaratieto pidetään palvelussa ajan tasalla, mikä on merkittävä muutos edelliseen inventointimenetelmään verrattuna. Vanhassa menetelmässä inventointitieto metsistä voi olla jopa 18 vuotta vanhaa. Metsään.fi verkkopalvelua kehitetään koko ajan. (Juujärvi 2011.)

5 AINEISTON KOONTI, KÄSITTELY JA LASKENTAMENETELMÄT

5.1. Maastoaineisto

Opinnäytetyön maastoaineisto koostui Kittilän laserkeilausalueen yksityismetsien metsämaan kuvioista, joille metsäsuunnittelija oli tehnyt tavanomaisen tilakohtaisten metsäsuunnitelmien teon aikana siihen kuuluvia puustotunnusten mittauksia/arviointeja sekä jonkin toimenpide-ehdotuksen. Aineistoon rajattiin kuuluvaksi vain pinta-alaltaan 1 hehtaaria ja sitä suuremmat metsäkuviot, jotka kuuluivat kehitysluokiltaan 02-, 03- ja 04 – kehitysluokkiin.

Aineisto kerättiin Suomen metsäkeskuksen Lapin organisaation tietojärjestelmästä LuotsiGis-paikkatieto-ohjelmistolla kevään 2012 aikana. Tarkan rajauksen myötä kuvioita kertyi yhteensä 225 kappaletta, kokonaispinta-alaltaan 740,1 hehtaaria. Kuviot jakaantuivat kehitysluokittain seuraavasti:

02 – kehitysluokka	52 kuvioita	221,5 hehtaaria
03 – kehitysluokka	69 kuvioita	219,0 hehtaaria
<u>04 – kehitysluokka</u>	<u>104 kuvioita</u>	<u>299,6 hehtaaria</u>
yhteensä	225 kuvioita	740,1 hehtaaria

Kaiken kaikkiaan kuviotietoja oli päivittänyt yhteensä 10 metsäkeskuksen metsäsuunnittelijaa, joista itse olin yksi. Metsäsuunnittelijoiden suuri määrä Kittilän laserkeilausalueella johtui tilakohtaisten metsäsuunnitelmien tilauskannan suuresta määrästä sekä kesäaikana suoritetusta laserkeilaukseen liittyvästä kohdennetusta maastoinventoinnista, joihin samat metsäsuunnittelijat myös osallistuivat. Metsäsuunnittelijat toimivat Kittilästä, Sodankylästä, Kolarista ja Muoniosta käsin. Maastoaineisto-otantaan sattui siten myös kohdennettuun maastoinventointiin liittyneitä 02-kehitysluokan kuvioita, joihin ei ollut saatu luotettavaa keilaustulkintaa. Kuviot koottiin yhteen taulukkoon Excel-ohjelmalla metsäkuvioiden kuviotulosteista saaduista kuviotiedoista. Mukaan kelpuutettiin vain kuviot, joiden tiedot olivat kaikin puolin ajantasaiset ja luotettavat.

5.2 Laserkeilausaineisto

Laserkeilaustulkinnasta kootun aineiston keruun aloitettiin heinäkuussa 2012. Aineiston keruu tapahtui Rovaniemellä Suomen metsäkeskuksen ATK-tiloissa käyttäen samanaikaisesti sekä LuotsiGIS-paikkatieto-ohjelmaa että

metsäkeskuksen uutta AarniGIS-paikkatieto-ohjelmaa. Aineiston keruu kesti syyskuulle 2012.

Ensimmäiseksi täytyi opetella Aarni-ohjelmiston käyttö ja hilayleistyksen laskenta vertailukuvioille. Seuraava vaativa työvaihe oli paikantaa vanhasta Luotsi-ohjelmistosta kerätyt metsikkökuviot Aarni-ohjelman kuviokartalle. Tämän vaihe suoritettiin kahdella tietokoneella siten, että toisessa oli avoinna Luotsi-ohjelman kuviokartta ja toisessa tietokoneessa Aarni-ohjelman kuvio-kartta koko laserkeilausalueesta. Käyttäen Kittilän keilausalueen metsien paikallistuntemusta, jonka sain toimittuani siellä metsäsuunnittelijana 7 kuukautta 2011, paikallistettiin yksi luotsikuvio kerrallaan aarnikuviokartalta. Suurena apuna kuvioiden paikallistamisessa oli käytössä myös maastokartat ja ilmakuvat keilausalueesta. Kuvion paikallistamisessa Aarnin kuviokartalle täytyi olla tarkkana, jotta paikannus sattui juuri vastaavaan Luotsikuvioon.

Kuvion paikallistettua Aarnin kuviokartalle suoritettiin jokaiselle kuviolle yksitellen puustotietojen hilayleistyksen laskenta. Jokaisen kuvion kohdalla tarkastettiin hilayleistyksen lokitiedosto, josta varmistettiin hilayleistyksen onnistuminen. Kaikki epäonnistuneet hilayleistyksset luonnollisesti hylättiin lopullisesta kuvio-otannasta ja hilayleistyksen luokituksen tuli olla luokituksestaan vähintään hyvä. Jokaiselle Aarnikuvioiden puustoille laskettiin puuston nykytila ja synkronoitiin laskentapäivämäärä vastaamaan Luotsin laskentapäivämäärää 1.1.2012, jolloin tulokset olisivat vertailukelpoisia huomioituna myös laskennallinen puuston kasvu. Tämän jälkeen tulostettiin jokaisesta kuviosta erikseen summaosite ja laskentapuusto-osite dbf-tiedostoina, jotka muutettiin Excel-ohjelmalle sopivampaan xlsx-muotoon.

5.3 Aineistojen yhdistäminen

Seuraavaksi suoritettiin toisiaan vastaavien Luotsi- ja Aarnikuvioiden summa- ja puustotietojen kokoaminen Excel-ohjelmistolle. Tietojen yhdistämisen suoritin kotonani kahden tietokonenäytön samanaikaisen käytön avulla. Tämä työvaihe oli kaikkein vaativin ja kesti yhteensä noin neljä kuukautta. Kuvio kerrallaan yhdisteltiin aina yhdelle Excel-taulukolle erikseen summaositteet kuvioittain, puulajiositteet kuvioittain sekä jokaista kolmea puulajia vastaavat puulajittaiset tiedot omiksi taulukoikseen. Puulajit olivat mänty, kuusi sekä yhtenä ositteena kootusti kaikki lehtipuut. Näin ollen eri vertailutaulukoita ker-

tyi Excelliin viisi kappaletta, joille suoritettiin tutkimuksen mukaiset vertailu- ja taulukkolaskennat tulosten aikaansaamiseksi.

On huomioitava tuloksia tarkasteltaessa, että varsinkin Luotsi aineistossa esiintyi joillakin metsäkuvioilla eri puulajeja varsin erirakenteisena ja vain yhtä tai kahta puulajia käsittävinä kuvioina. Vastaavasti lähes pääsääntöisesti laserkeilaus tuotti suurimmalle osalle kuviota kaikkia kolmea puulajia. Eliminoidakseni tätä virhelähdettä tuloksissa yhdistelin Luotsi kuviossa etenkin kaikki lehtipuuositteet yhdeksi ainoaksi lehtipuuositteeksi laskemalla ne pohjapinta-alalla painotettuina puustotunnuksina yhteen, jotta vertailu olisi selkeämpää. Pohjapinta-alalla painotettuina tunnuksina laskettiin keski-ikä, keskiläpimitta ja keskitilavuus. Pohjapinta-alat, runkoluvut ja tilavuudet summattiin kuviokohtaisesti suoraan yhteen. Näin toimittiin myös männyn ja kuusen suhteen muutamien kuvioiden kohdalla.

Kokonaiskuviomäärälle, 225 kappaletta, tuotti laserkeilaus 80 kuviolle, eli 36 prosentille, kaikkea kolmea puulajia, vaikka maastossa metsäsuunnittelija oli todennut kuviolla olevan vain yhtä tai kahta puulajia. Eniten laserkeilaus sekoitti männyn/kuusen ja tuotti kuviolle kuusta, vaikka sitä ei todellisuudessa ollut. Oli tosin päinvastaisiakin tapauksia muutama. Jonkin verran myös koi-vua ilmeni keilaustuloksissa maastoaineistosta poiketen. Kehitysluokittain esiintyi kaikkea kolmea puustolajia nuorissa kasvatusmetsikkökuvioissa 46 prosenttia, varttuneissa kasvatusmetsikkökuvioissa 39 prosenttia ja uudistus-kypsissä metsikkökuvioissa 28 prosenttia.

Koska tietojen siirto tapahtui käsin kahdelta eri tiedostomuodolta, txt- ja dbf-tiedostoista, yhdistäen yhdeksi xlsx-tiedostoksi, täytyi tietojen siirrossa olla tarkka. Luotsitiedoista saatiin summatunnukset xls-tiedostoina sekä txt-tiedostona ja laseraineisto tulostui kahdelle eri tulosteelle dbf-tiedostoina. Tarkastuksia ja vertailutaulukointia tuli suorittaa useaan otteeseen, jotta välttyttäisiin tiedon yhdistelemisessä mahdollisesti tapahtuvilta virhelähteiltä. Taulukointi valmistui joulukuussa 2012. Tammikuussa 2013 tehtiin Excel-ohjelmalla tuloksia selventäviä graafisia kuvioita ja taulukoita lopullisen tutkimustulokinnan tueksi. Taulukoon 1 on kuvattu kehitysluokan 02 (nuoret kasvatusmetsät) maastotiedoista kerätyt ja laserkeilauksen tuottamista puustotunnuksista johdetut kuviokohtaiset summatunnukset eri puustotunnuksille.

Taulukko 1. Esimerkki kehitysluokan 02 summatunnusten Excel – taulukoinnista.

KUVIOITTAISET SUMMATUNNUKSET KEHITYSLUOKITTAIN. M/MAASTOTIETO = 1, K/KEILAUSTIETO = 2																																																					
KEHITYSLUOKKA 02, NUORET KASVATUSMETSÄT																																																					
Kuvio	M	Pala	Kap	KI	Mit	Hta	KIH	L1	L2	Ppl	Ikä	Ppa	Rl	Klpm	Kpit	Til/ha	K	Pala	Kap	KI	Mit/K	Mit/M	Hta	Kih	Ppl	Ikä	Ppa	Rl	Klpm	Kpit	Til/ha																						
1	1	1,1	5	02	2	1	1	0	0	1	36	10,2	1376	15,4	9,3	50,2	2	1,1	5	03	20																																
2	1	1,2	3	02	6	2	1	0	0	29	55	12,1	1576	12,4	8,4	50,6	2	1,2	3	02	20																																
3	1	2,5	3	02	3	1	1	0	0	29	46	26,7	5695	9,9	9,3	122,6	2	2,5	3	04	34																																
4	1	2,5	4	02	3	1	1	0	0	1	75	22,0	3737	10,8	8,6	102,6	2	2,5	4	02	20																																
5	1	4,0	4	02	3	1	1	0	0	1	74	19,0	3646	9,7	6,9	73,6	2	4,0	4	02	20																																
6	1	1,3	3	02	3	1	1	0	0	1	74	22,6	3065	13,0	11,1	129,1	2	1,3	3	03	10																																
7	1	3,3	3	02	3	1	1	0	0	1	76	18,0	2117	13,6	10,8	101,0	2	3,3	3	03	10																																
8	1	1,0	3	02	3	1	2	0	0	1	23	15,8	3517	10,0	7,0	60,0	2	1,1	3	02	20																																
9	1	3,8	4	02	3	1	1	0	0	1	24	12,7	3236	19,8	11,8	74,8	2	3,8	4	03	20																																
10	1	2,2	4	02	3	1	2	0	0	1	16	13,5	3332	8,0	5,5	45,3	2	2,2	4	02	32																																
11	1	2,4	3	02	3	1	2	0	0	1	16	12,3	3666	7,9	4,5	36,3	2	2,4	3	02	22																																
12	1	4,7	4	02	1	1	1	0	0	1	55	17,3	1250	14,8	11,3	95,1	2	4,7	4	03	20																																
13	1	3,1	4	02	1	1	1	0	0	1	63	12,0	1173	12,5	8,0	51,5	2	3,1	4	02	31																																
14	1	2,0	4	02	3	1	H	0	0	1	53	16,7	2152	10,9	7,9	71,8	2	2,0	4	02	31																																
15	1	4,9	4	02	1	H	0	0	0	1	31	20,9	1484	14,7	9,9	106,8	2	5,0	4	02	20																																
16	1	8,9	4	02	1	H	0	0	0	1	22	9,5	2800	8,3	5,9	33,1	2	9,0	4	02	22																																
17	1	1,8	4	02	1	H	0	0	0	1	31	15,3	1179	13,9	10,0	79,2	2	1,9	4	02	20																																
18	1	7,9	4	02	1	H	0	0	0	1	31	23,4	2105	13,5	9,8	117,8	2	7,9	4	02	20																																
19	1	5,2	4	02	1	H	0	0	0	1	31	19,4	1497	14,4	9,7	96,6	2	5,3	4	02	20																																
20	1	1,7	4	02	1	1	1	0	0	1	45	12,3	1926	9,9	9,0	59,4	2	1,7	4	03	20																																
21	1	5,1	4	02	1	1	2	42	0	1	71	13,3	896	14,8	12,8	86,3	2	5,1	4	03	20																																
22	1	1,8	4	02	1	1	2	0	0	1	66	13,0	1190	15,7	12,2	79,8	2	1,8	4	03	20																																
23	1	1,3	4	02	1	1	1	0	0	1	71	15,8	1040	15,6	12,3	96,0	2	1,3	4	03	20																																
24	1	2,8	3	02	1	1	1	42	56	29	54	20,9	1576	14,7	10,6	106,0	2	2,8	3	03	20																																
25	1	1,4	4	02	2	1	1	0	0	1	79	15,2	1049	14,8	10,4	78,7	2	1,4	4	02	20																																
26	1	1,1	4	02	1	1	2	0	0	1	34	16,1	1093	15,4	8,0	68,2	2	1,1	4	02	30																																
27	1	3,4	4	02	1	1	2	0	0	1	41	16,8	1445	14,8	10,3	87,2	2	3,4	4	02	20																																
28	1	6,4	4	02	1	1	1	41	0	1	25	27,3	2284	13,5	8,1	118,3	2	6,4	4	02	20																																
29	1	1,3	3	02	2	1	2	0	0	1	28	7,2	1394	11,7	8,6	32,4	2	1,3	3	02	30																																
30	1	2,7	5	02	1	1	2	42	0	1	83	15,6	752	19,1	13,8	106,8	2	2,7	5	03	20																																
31	1	2,1	5	02	1	1	2	0	0	1	70	19,2	1087	16,9	12,9	124,2	2	2,2	5	03	10																																
32	1	1,1	3	02	1	1	2	42	0	1	51	15,5	1481	13,4	9,5	76,1	2	1,1	3	03	20																																
33	1	1,6	3	02	1	1	2	0	0	1	22	18,6	3992	10,0	6,6	68,8	2	1,6	3	02	22																																
34	1	3,1	3	02	1	1	2	0	0	1	24	16,2	2988	10,4	7,9	69,7	2	3,1	3	02	22																																
35	1	1,6	3	02	3	1	H	0	0	1	76	17,8	1272	14,6	11,3	101,1	2	1,6	3	03	10																																
36	1	3,1	4	02	1	1	1	0	0	1	82	19,6	1456	14,4	12,2	122,1	2	3,1	4	03	10																																
37	1	3,2	3	02	3	1	2	0	0	2	58	14,2	1502	13,6	10,0	68,0	2	3,2	3	02	20																																
38	1	3,1	4	02	3	1	1	0	0	1	45	16,7	2292	12,9	10,2	88,9	2	3,1	4	03	30																																
39	1	1,4	4	02	3	1	H	0	0	1	80	26,7	2845	12,0	11,0	153,1	2	1,4	4	03	10																																
40	1	3,2	5	02	3	1	2	0	0	1	65	19,4	1804	14,5	9,7	98,1	2	3,5	5	03	30																																
41	1	1,5	5	02	3	1	H	71	0	1	86	30,3	2873	14,0	12,0	184,1	2	1,5	5	03	22																																
42	1	1,0	3	02	4	2	1	0	0	1	66	7,0	729	12,1	8,6	30,6	2	1,0	3	02	21																																
43	1	30,2	3	02	1	1	H	0	0	1	21	20,0	7209	9,9	6,7	75,6	2	30,1	3	02	22																																
44	1	34,4	3	02	1	1	2	0	0	1	22	13,2	1551	11,5	7,0	51,0	2	34,4	3	02	22																																
45	1	1,4	3	02	1	1	1	0	0	1	60	15,0	1576	12,0	9,0	71,7	2	1,4	3	02	21																																
46	1	4,0	4	02	2	1	H	42	0	1	81	10,6	672	15,3	11,8	64,2	2	4,0	4	03	21																																
47	1	7,0	3	02	3	1	H	0	0	1	55	23,2	1463	15,7	9,9	119,1	2	7,0	3	02	10																																
48	1	2,0	3	02	1	1	H	0	0	29	51	21,0	1845	14,0	8,1	91,0	2	2,0	3	02	10																																
49	1	8,9	4	02	3	1	1	0	0	1	23	12,4	3050	8,9	5,9	43,7	2	8,9	4	02	30																																
50	1	10,2	4	02	4	2	1	0	0	29	36	11,4	1358	11,9	8,7	49,3	2	11,0	4	02	30																																
51	1	1,4	3	02	4	2	1	21	0	29	36	13,0	1126	13,2	9,0	57,7	2	1,4	3	02	30																																
52	1	3,2	3	02	3	1	2	0	0	2	58	14,2	1502	13,6	10,0	68,0	2	3,2	3	02	20																																
YHT:	1	221,5									2597	868,1	108921	678,3	489,8	4293,7	2																																				
MAASTOMITTAUSTEN KESKIARVOT:												50	16,7	2095	13,0	9,4	82,6	KEILAUSTIEDON KESKIARVOT:										58	14,5	1655	14,1	9,6	73,2																				
KEHITYSLUOKKA 02, NUORET KASVATUSMETSÄT, Yht: 52 KUVIOTA																																																					
Kasvatushakuu suosituksia 48 kpl.												Hakkuun kiireellisyys:												H = 12 kpl.			Kasvatushakuu suosituksia 26 kpl.												Hakkuun kiireellisyys:												H = 10 kpl.		
Uudistushakuu suosituksia 4 kpl.																								1 = 22 kpl.																											1 = 14 kpl.		
Lepokuvio suosituksia 0 kpl.																								2 = 18 kpl.																											2 = 4 kpl.		
																																																			5 = 24 kpl.		

5.4 Hakkuutoimenpide-ehdotukset

Yhtenä tärkeänä tutkimuksen osa-alueena puustotunnusten vertailun ohessa oli vertailla

syyden jaoteltiin vastaavasti neljään luokkaan puuston laskentapäivämäärän 1.1.2012 mukaan: H = heti, 1 = 1 – 5 vuotta laskentapäivämäärästä, 2 = 5 – 10 vuotta laskentapäivämäärästä ja 5 = lepo.

5.4.1 Maastoaineistosta kerätyt

Kittilän Laserkeilausalueella työskenteli enimmillään 10 eri metsäsuunnittelijaa, jotka tekivät joko metsäsuunnitelmia ja/tai keilaukseen liittyvää kohdennettua maastoinventointia päivittäen tietoja LuotsiGis-paikkatietojärjestelmään. Pelkästään kohdennettua maastoinventointia tehneet suunnittelijat päivittivät ja tekivät hakkuuehdotuksia pääasiassa kehitysluokkaan 02.

Metsäsuunnitelmia tehneet metsäsuunnittelijat puolestaan päivittivät kaikkien kehitysluokkien metsäkuvioita tehden hakkuuehdotuksia niitä tarvitseville kuviolle. On huomioitavaa tutkimustuloksia tarkasteltaessa varsinkin se, että metsäsuunnittelija oli itse käynyt jokaisella kuviolla toteamassa omakohtaisesti kuvion sen hetkisen tilanteen. Siksi tutkimuksessa referenssiaineistona laserkeilausaineistolle on nimenomaan metsäsuunnittelijan tekemät arvioit/mittaukset sekä päätökset. Täten voidaan selvästi olettaa, että juuri nämä ehdotukset ovat luotettavia ehdotuksia referenssiaineistoksi. Myös itse tutkimuksen kokonaistarkoitustakin ajatellen olisi ollut tarpeetonta lähestyä referenssiaineiston valinnassa kohti valikoitua koealamittausta. Tutkimukseen koottiin LuotsiGis-paikkatietojärjestelmästä tutkimuksen referenssikuviot aikaisemmin mainitsemieni kriteerien perusteella.

5.4.2 Laseraineistosta johdetut

Saatuani laseraineiston tulkittavaan muotoon suoritettiin kuviokohtaisten puustotunnusten perusteella kehitysluokittelu ja toimenpiteiden määrittely. Kriteereinä luokittelulle käytettiin yhdessä Suomen metsäkeskuksen Lapin metsätietopäällikkö Anssi Juujärven ja metsätietoasiantuntija Osmo Tuohinon kanssa laatimamme luokittelurajoja (Taulukko 2). Luokitteluun suhteutettiin myös metsäkeskuksen Pohjois-Suomen metsänhoitosuosituksia sekä omaa ammattitaitoa. Huomion arvoista on, että käytössä ei ollut laserkeilauksen tuottamaa pintamallikuvaa eikä ilmakuvia, vaan päätökset tehtiin suoraan annettujen rajojen ja laserkeilauksesta tuotettujen puustotunnusten perusteella. Käytännössä on usein edellä mainittujen lisäksi apuna myös metsien paikallistuntemus ja vanha luotsitieto.

TAULUKKO 2. Kehitysluokka-, harvennus- ja uudistamisrajat (Liite 1).

KEHITYSLUOKKARAJAT				HARVENNUSRAJAT (ppa)						
KL	Ppl	h, m	lpm, cm	Kangasmaan leimausrajat						
02	MÄNTY	7 m < -	8 cm < - < 16 cm							
	LEHTIPUU	9 m < -								
03	MÄNTY	7 m < -	16 cm < - < 22 cm							
	KUUSI		16 cm < - < 22 cm							
	LEHTIPUU	9 m < -	16 cm < - < 19 cm							
04	MÄNTY	7 m < -	22 cm < -							
	KUUSI		22 cm < -							
	LEHTIPUU	9 m < -	19 cm < -							
				MT, Tuoreet kankaat						
				PL \ h, m	9	11	13	15	17	19
				MÄNTY	16,0	19,0	21,3	23,2	24,2	24,2
				KUUSI	16,0	19,0	21,3	23,2	24,2	24,2
				LEHTIPUU	13,0	14,0	17,0	19,0	20,2	21,0
				VT, Kuivankot kankaat						
				PL \ h, m	9	11	13	15	17	19
				MÄNTY	13,0	16,5	19,5	21,5	22,5	22,4
				KUUSI	13,0	16,5	19,5	21,5	22,5	22,4
				LEHTIPUU	13,0	14,0	17,0	19,0	20,2	21,0
				CT, Kuivat kankaat						
				PL \ h, m	9	11	13	15	17	19
				MÄNTY	12,0	15,8	18,3	19,8	19,8	19,8
				KUUSI	12,0	15,8	18,3	19,8	19,8	19,8
				LEHTIPUU	12,0	15,8	18,3	19,8	19,8	19,8
UUDISTAMISRAJAT										
PL	Kasvu- paikka	Suositus alaraja		Lakiraja						
		Lpm	Ikä	Lpm	Ikä					
MÄ	Tuore	23	100	22	80					
	Kuivahko	22	110	21	90					
	Kuiva	21	130	20	110					
KU	Lehtom.	23	110	22	90					
	Tuore	22	110	21	100					
KO	Hiesk.	18	50	18	50					
	Raudusk.	20		20						

5.5 Tulosten laskenta

Vertailin laserkeilauksen tuottamien puustotunnusten vastaavuuksia maastoinventoinnista saatuihin vastaaviin tuloksiin usealla eri menetelmällä. Tuloksia tulee tarkastella usealla eri tavalla mahdollisten virhelähteiden tai heikkouksien löytämiseksi. Puustotunnusten ohella vertailin otantakuvioiden kuvioluokitusten ja hakkuehdotusten eroavaisuuksia. Käsittelin tuloksia kuvioittain summatunnusten, puulajiositteiden ja pohjapinta-alalla painotettujen yhteen laskettujen puulajiositteiden joukkioina. Erottelin myös kehitysluokat omiksi ositteiksi.

Tuloksien vertailun suoritin matemaattisin vertailu- ja laskentamenetelmin, tosi/epätosi ja numeeriset eroavaisuudet. Lisäksi laskin summa- ja puulajiositteille yli- ja aliarvioiden keskiarvot. Tilastollisina menetelminä käytin keskineliövirheen neliöjuuren eli RMSE (Root Mean Square Error), suhteellisen RMSE-%, harhan (BIAS) ja suhteellisen harhan BIAS-% laskemista.

5.5.1 Numeeriset eroavuudet

Laskin jokaiselle otantakuviolle puustotunnusten keski-ään, pohjapinta-alan, runkoluvun, keskiläpimitan, keskipituuden ja hehtaarikohtaisten tilavuuksien numeeriset eroavaisuudet summa- ja puulajiositteille. Lisäksi suoritin kuvioittaisen tosi/epätosi vertailun laserkeilausaineistosta johdettujen kehitysluokkien, hakkuutapojen, hakkuun kiireellisyyksien ja pääpuulajien poikkeavuuksista referenssikuvioiden vastaaviin luokituksiin.

Tulosten laskenta ja vertailun suoritettiin Excel-taulukointiohjelmalla ja saatu taulukko lisättiin Excel-yhdistelmätaulukkoon, jossa ovat kaikki Excel-laskelmat. Lisäksi muodostettiin graafiset ympyräkuviot kuvaamaan tosi/epätosi vertailua eroavaisuuksien visuaalista havainnointia parantamaan.

5.5.2 RMSE – analyysit

RMSE-analyysi (keskineliövirheen neliöjuuri) on tilastollisesti hyvin tunnettu ja laajalti käytetty menetelmä inventointien laadun arviointiin. RMSE (Root Mean Square Error) menetelmällä mitataan ennustettujen ja havaittujen arvojen eroja. RMSE on tunnus, joka kuvaa estimaattien tarkkuutta tietyssä havaintoaineistossa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsikkökuvioitaisten, mitattavissa olevien ja niistä johdettujen puusto- ja summatunnusten keski- iän, pohjapinta-alan, runkoluvun, keskiläpimitan, keskipituuden ja hehtaari- kohtaisten tilavuuksien absoluuttisia ja suhteellisia RMSE-arvoja. RMSE- arvot on luokiteltu kehitysluokittain sekä koko keilausaluetta kuvaaviksi RMSE-arvoiksi summatunnuksittain ja puulajeittain.

Absoluuttisen RMSE:n laskenta tapahtuu siten, että maastossa mitatuista/arvioidusta arvoista vähennetään laserkeilaimen avulla tuotetut arvot kuviokohtaisesti. Saatu erotus korotetaan toiseen potenssiin ja kerrotaan saatu tulo painottaen arvoa kuvion pinta-alalla. Lopuksi nämä kuvioittaiset tulot lasketaan kaikki yhteen ja jaetaan kuvioiden kokonaispinta-alalla. Tästä osamäärästä otetaan neliöjuuri. Saatu arvo on absoluuttinen RMSE-arvo Tämä arvo kuvaa puustotunnusten keskimääräistä hehtaarikohtaista virhettä. Tutkimuksessa laskettiin myös suhteelliset RMSE-arvot, joka saadaan jakamalla absoluuttinen RMSE-arvo maastossa mitatun suureen keskiarvolla, joka kerrotaan sadalla prosentilla (Kuvio 11). RMSE:t on siis ensiksi laskettu ositekohtaisesti ja sen jälkeen yleistetty koko aineistolle.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i (X_{mit} - X_{las})^2}{\sum_{i=1}^n a_i}}, \text{ jossa } a = \text{ kuvion pinta - ala.}$$

$$RMSE - \% = 100 * \frac{RMSE}{\bar{n}}, \text{ jossa } \bar{n} = \text{ mitatun suureen keskiarvo.}$$

Kuvio 11. *Keskineliövirheen neliöjuuri, RMSE (Root mean square error) ja Suhteellinen keskineliövirhe, RMSE- %*

5.5.3 Harha

Tutkimuksessa arvioitiin myös puustotunnusten luotettavuutta absoluuttisen harhan (BIAS) ja suhteellisen harhan (BIAS%) avulla. Harha ilmaisee tulkitun otoksen tai näytteen poikkeavuutta perusjoukosta. Harha kertoo estimaattien keskiarvon poikkeaman todellisesta keskiarvosta. Harhattomuus tarkoittaa sitä, että arvioitavalle muuttujalle tuotetaan keskimäärin oikean kokoisia arvoja. Yksittäisissä tilanteissa estimaattorin tuottama arvo muuttujalle saattaa poiketa paljonkin muuttujan todellisesta arvosta. Kuitenkin hyvän estimaattorin tuottamat arvot vaihtelevat vain vähän muuttujan todellisen arvon ympärillä. (Mellin 2006.)

Harha lasketaan tässä tutkimuksessa siten, että maastossa mitatuista suureista vähennetään laserkeilauksella tuotettu suure kuviokohtaisesti ja kerrotaan saatu erotus kuvion pinta-alalla painotettuna. Saadut tulot lasketaan lopuksi yhteen ja jaetaan kaikkien kuvioiden yhteenlasketulla pinta-alalla. Näin saadaan tarkasteltavan puustotunnuksen absoluuttinen harha. Suhteellinen harha saadaan jakamalla absoluuttinen harha maastossa mitattujen arvojen keskiarvolla ja kertomalla saatu osamäärä sadalla prosentilla (Kuvio 12). Harha on siis laskettu koko aineistolle laskemalla ensiksi ositekohtaiset harhat ja painottamalla niitä ositteiden pinta-aloilla.

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n a_i (X_{mit} - X_{las})^2}{\sum_{i=1}^n a} , \text{ jossa } a = \text{ kuvion pinta - ala.}$$

$$BIAS - \% = 100 * \frac{BIAS}{\bar{n}} , \bar{n} = \text{mitatun suureen keskiarvo.}$$

Kuvio 12. Absoluuttinen harha, BIAS Suhteellinen harha, BIAS%

5.5.4 Ali- ja yliarvioiden keskiarvot

Tutkimuksessa laskettiin myös puustotunnusten ali- sekä yliarviot otoskuvioiden summatunnuksille ja puulajeille. Näistä tuloksista voi päätellä puustotunnusten keskimääräisen suuruiset ali- ja yliarvioiden poikkeavuusarvot kussakin kehitysluokassa sekä koko otoskuvio joukossa. Referenssiaineistona käytettiin maastomittauksia.

Laskenta suoritettiin tutkimuksessa siten, että ensiksi vähennettiin kuviokohtaisesti laserkeilaimen tuottamasta arvosta maastossa mitattu arvo. Tämän

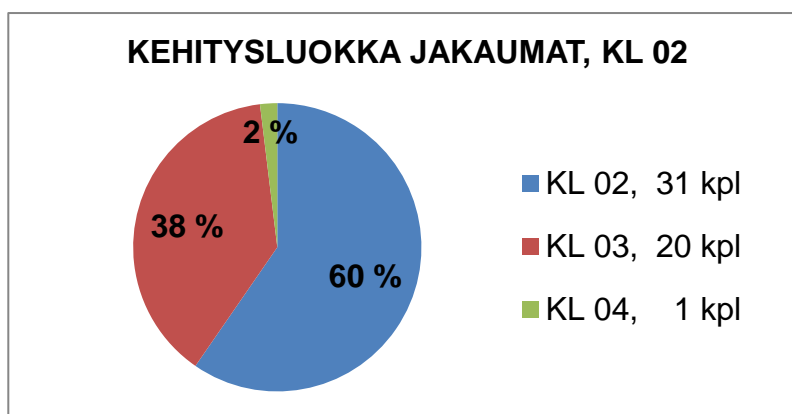
jälkeen laskettiin yhteen positiivisen arvon saaneet yliarviot sekä negatiivisen arvon saaneet aliarviot, jonka jälkeen laskettiin keskiarvot molemmille arvioille. Tuloksista selviää kuinka paljon laserkeilaimen tuottamat puustotunnukset poikkeavat keskimääräisesti maastossa mitatuista/arvioiduista puustotunnuksista. Samalla voi havainnoida mihin suuntaan laserkeilaimen tuottamat arvot kallistuvat.

6 TUTKIMUSTULOKSET

Tuloksia vertailtaessa on huomioitava, että maastotyössä kuviotasolla ei saada yhtä luotettavia tuloksia kuin koealatasolla suoritetuissa mittauksissa. Tämä johtuu etenkin siitä, että koealatason mittauksissa yksi maastokoeala vastaa tarkasti yhtä tulkittavaa hilaa. Kuviotasolla tapahtuva puustotunnusten mittaus/arviointi sisältää aina otantavirhettä ja mahdollista systemaattista virhettä mittaajasta riippuen. Vähentääksemme tässä tutkimuksessa näiltä virhelähteitä, on tutkimukseen otettu mukaan 10 eri metsäsuunnittelijan mittauksia/arvioimia metsäkuviota. Suomen metsäkeskuksen käyttämä aluepohjainen laserkeilausmenetelmä soveltuu kuitenkin jo kustannussäästösyistä kuviotasoon tulosten estimointiin, mikäli hilatulkinta on tarpeeksi tarkkaa ja tuloksista saadaan luotettavia. Tämän tutkimuksen tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa antavia, eikä niitä voi verrata koealatason vastaaviin mittauksiin.

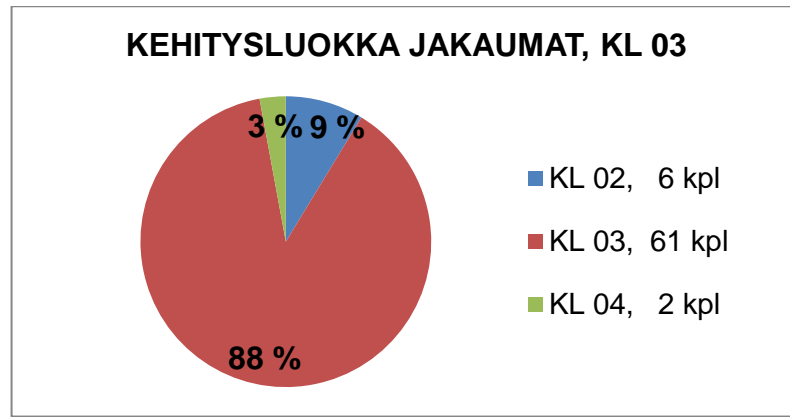
6.1 Kehitysluokka

Laserkeilausmenetelmästä johdetut kuviokohtaiset kehitysluokittelut poikkesivat vastaavista maastossa tehdyistä luokitteluista eniten nuorten kasvatusmetsäkuvioiden ja uudistuskypsiä metsäkuvioiden kohdalla (Liite 2). Kehitysluokassa 02 keilaustulkinnan mukaan 40 prosenttia kuviosta poikkesi referenssikuvioiden kehitysluokittelusta (Kuvio 13). Kehitysluokkien vertailukuvioiden täysi ympyrä (100 %) merkitsee kaikkia kyseisen kehitysluokan maastotulkintakuviota, jotka lasertulkinta jakoi seuraavissa kuviossa esitetyn mukaisesti osiin.



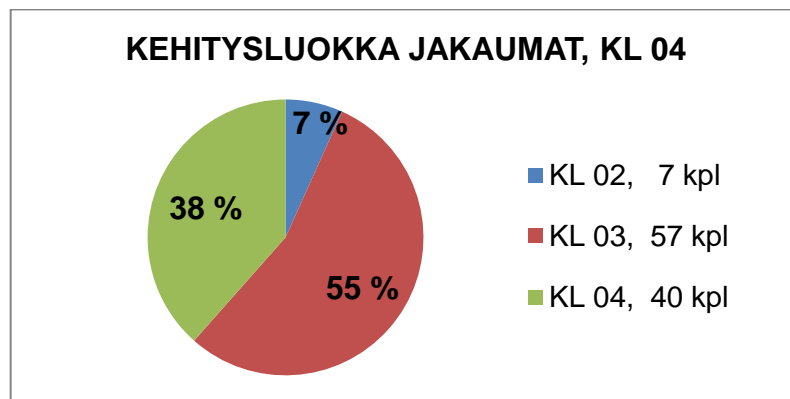
Kuvio 13. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokkajakaumat verrattuna maastoluokitteluun kehitysluokassa 02

Varttuneiden kasvatusmetsäkuvioiden, kehitysluokka 03, osalta laserkeilaustulkinta johti 88 prosentin tarkkuuteen verrattuna maastossa tehtyihin tulkituksiin (Kuvio 14).



Kuvio 14. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokkajakaumat verrattuna maastoluokitteluun kehitysluokassa 03

Kehitysluokassa 04 laserkeilauksesta johdettu tulkinta poikkesi eniten maastossa tehdyistä tulkinnoista. Yli puolet, 55 prosenttia, tulkinnaosta johti kehitysluokkaan 03. Tässä kehitysluokassa keilaustulkinnan mukaan uudistuskypsi- en metsäkuvioiden osuus olisi 38 prosenttia ja nuorten kasvatusmetsien, KL 02 osuus 7 prosenttia. Keilaustulkinta näyttäisi aliarvioivan referenssikoealo- jen kokonaispuuston dimensioita, etenkin uudistamisrajoja keski-ikä ja keski- läpimitta (Kuvio 15).



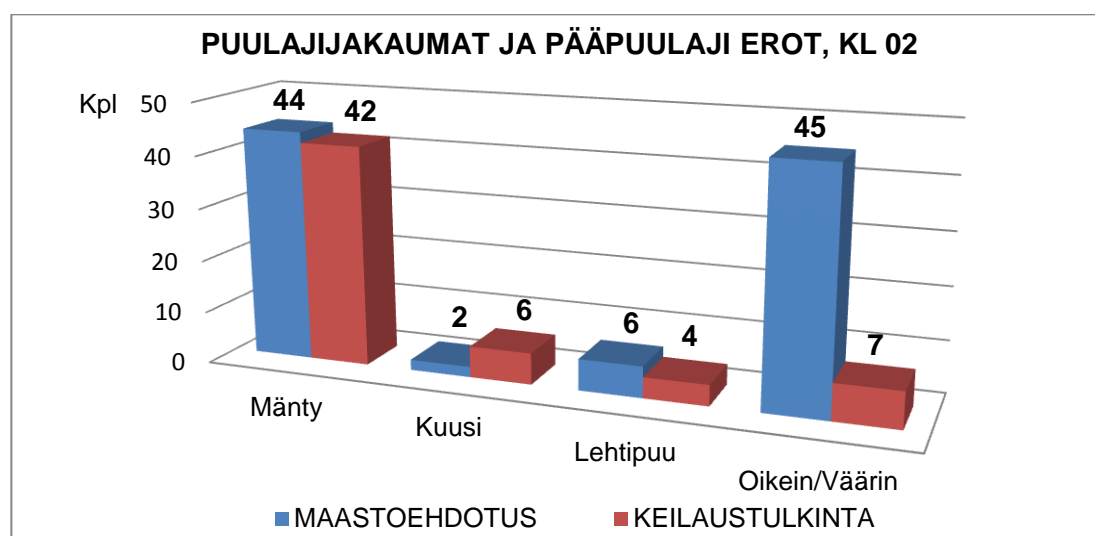
Kuvio 15. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokkajakaumat verrattuna maastoluokitteluun kehitysluokassa 04

Tulkinnan mukaan kuitenkin suuri osa laseraineistosta kehitysluokkaan 03 johdetuista kuvioista oli hyvin lähellä Pohjois-Suomen metsänhoitosuositus- ten mukaisia uudistamisrajoja ja uudistamiseen oikeuttavia lakirajoja. Osalle kuvioista voisi keilaustulkinnan puustotietojen perusteella tehdä vielä viimei- sen kasvatushakkuun tai niin sanotun väljennyshakkuun ennen uudistamista. Tällaisia kuvioita kertyi 16 kappaletta. Loput keilausaineiston perusteella vart- tuneiksi kasvatusmetsiksi tulkituiksi tulleet kuviot kehitysluokassa 04 täyttäi- sivät uudistamisrajan seuraavan kymmenvuotiskauden aikana.

Metsäkeskuksen uudessa Aarni-paikkatietojärjestelmässä tehdään metsäkuvioille kasvunlaskentaa vuosittain. Nämä lähelle uudistamisrajaa tulkituksi tulleet 03-kehitysluokan kuviot siirtyisivät kehitysluokkaan 04 Aarnin vuosittaisten kasvunlaskenta tulosten perusteella tietyllä aikavälillä, jolloin ne tulkittaisiin uudistuskypsiksi kuvioiksi ja niille ehdotettaisiin tällöin uudistamista.

6.2 Pääpuulaji

Pääpuulajien tulkinta laserkeilausaineistosta johti yllättävän tasaiseen lopputulokseen verrattuna maastotulkinnan mukaisiin pääpuulaji tulkintoihin varsinkin kehitysluokissa 02 ja 03 (Liite 3). Kehitysluokassa 02 keilaustulkinta tuotti 13,5 prosentille (7 kpl) referenssikoealoista eri pääpuulajin (Kuvio 16). Seuraavissa kuvioissa kolme ensimmäistä pylvästä kertovat puulajien vaihtumisesta kuvioden sisällä ja viimeinen pylväs pääpuulajin vaihtumisesta kuviolla.

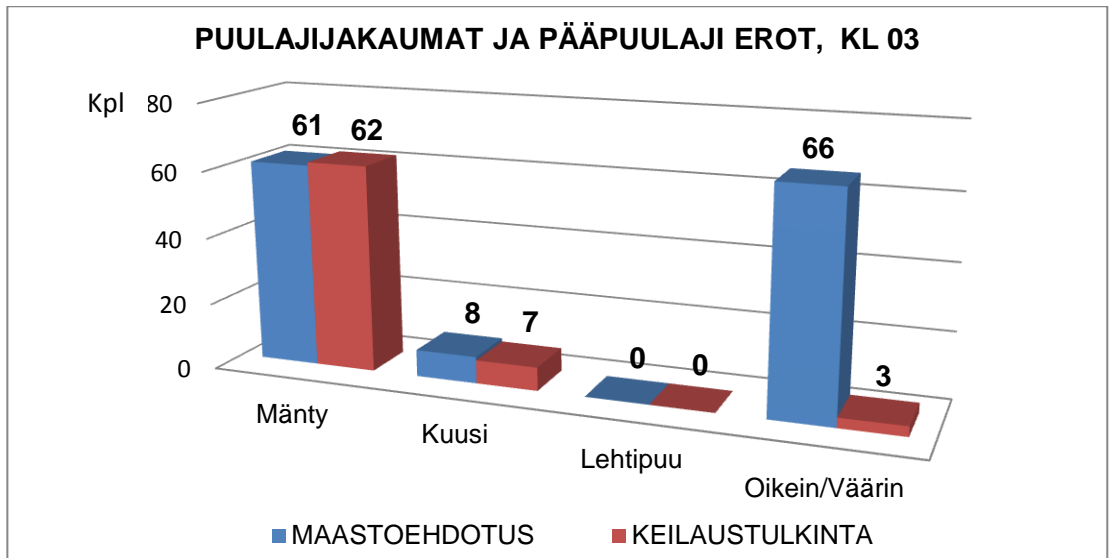


Kuvio 16. Laserkeilauksesta johdetut puulajijakaumat ja pääpuulajin oikeellisuus kehitysluokassa 02.

Puulajit vaihtuivat kehitysluokassa 02 keilaustulkinnan mukaan seuraavasti:

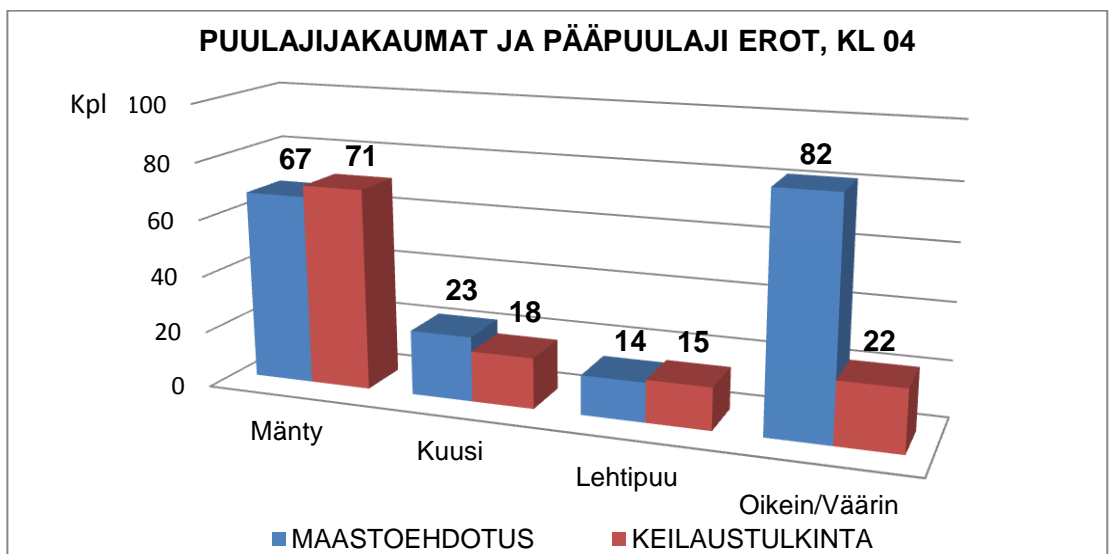
<u>Maastotieto</u>	<u>Keilaustulkinta</u>	<u>Kpl</u>
Mänty	Kuusi	3
Mänty	Lehtipuu	1
Kuusi	Mänty	2
Lehtipuu	Kuusi	1

Maastotulkinnassa varttuneiksi kasvatusmetsiköiksi luokitelluista kuvioista vain 4,3 prosentille (3 kpl) tulkittiin keilausaineiston perusteella eri pääpuulaji (Kuvio 17). Mänty vaihtui kuuseksi kerran ja kuusi männyksi kahdesti.



Kuvio 17. Laserkeilauksesta johdetut puulajijakaumat ja pääpuulajin oikeellisuus kehitysluokassa 03.

Kehitysluokassa 04 tulkinta osoitti poikkeamia maastoaineistoon verrattuna eniten. 104 kuviosta 22 kuviolle (21 %) tulkinta tuotti eri pääpuulajin, vaikka puulajien tunnistus kehitysluokan sisällä jakautui varsin tasaisesti (Kuvio 18).



Kuvio 18. Laserkeilauksesta johdetut puulajijakaumat ja pääpuulajin oikeellisuus kehitysluokassa 04.

Puulajit vaihtuivat kehitysluokassa 04 keilaustulkinnan mukaan seuraavasti:

Maastotieto	Keilaustulkinta	Kpl
Mänty	Kuusi	5
Mänty	Lehtipuu	3
Kuusi	Mänty	8
Kuusi	Lehtipuu	2
Lehtipuu	Mänty	4

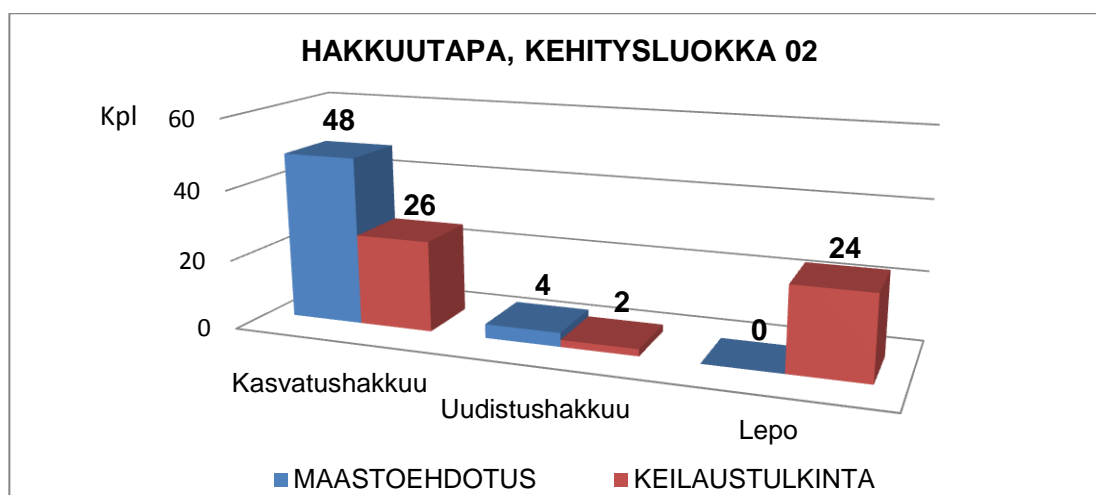
Pääpuulaji vaihtui koko otantakuviójoukkoa ajatellen kaiken kaikkiaan 32 kertaa 225 kuviosta, eli 14 prosentille otannasta. Kaikkia pääpuulajin vaihtumisvariaatioita esiintyi. Yleisin puulajin vaihtumisvariaatio oli kuusen vaihtuminen mänyksi 12 kertaa ja männyn vaihtuminen kuuseksi yhdeksän kertaa. Mänty tulkittiin koivuna neljä kertaa ja kuusi koivuna kaksi kertaa. Koivu puolestaan tulkittiin mäntynä neljä kertaa ja yhden kerran kuusena. Pääpuulajin määrityksissä laserkeilainaineistosta tulkitusta materiaalista käytettiin Solmu – oppaan mukaisia metsäsuunnittelun ohjeita kuvion pääpuulajin määrittämisessä.

Kaiken kaikkiaan puulajien vaihtumista tapahtui huomattavasti vähemmän mitä aiemmin tehdyt tutkimukset antoivat ymmärtää. Tämä saattaa selittyä osittain sillä, että Kittilän alue on puustoltaan hyvin mäntyvaltaista ja kuusen ja koivun kokonaisosuudet otantakuviolla jäivät varsin vähäisiksi.

6.3 Hakkuutapa

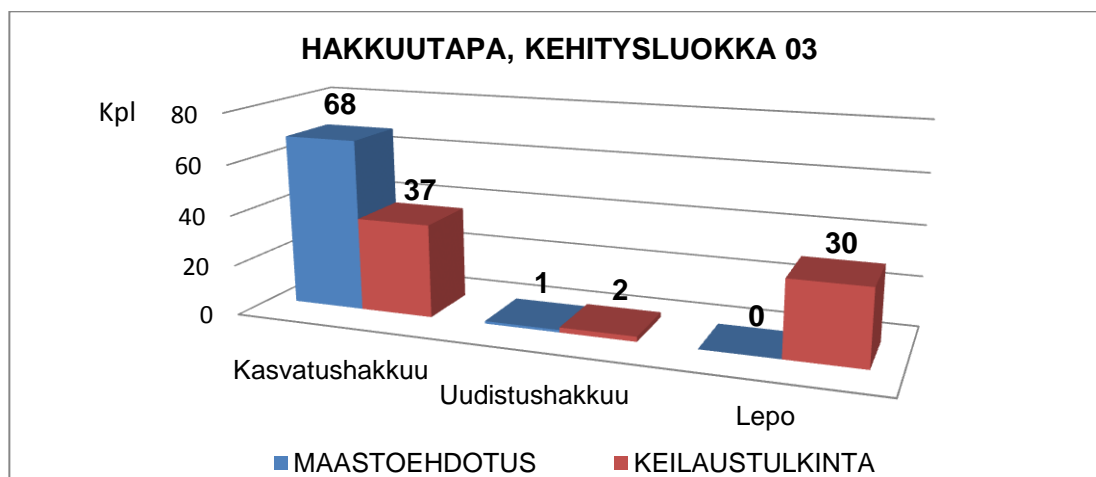
Hakkuutapojen tulkinnessa tapahtui suurta vaihtelua, jossa lähinnä kokonaan hakkuun ulkopuolelle, lepoon jäävien kuvioiden suuri osuus erottui laserkeilaustulkinnasta poiketen maastotulkinnoista (Liite 4). Mielenkiintoisena tulosten tutkintaelementtinä lepokuvioiksi tulkittujen kuvioiden suureen määrään voidaan todeta, että lepokuvioiden määrä lisättynä kulloinkin tarkasteltavana olevan kehitysluokan edellyttämään hakkuutapaan, tuli jokaisessa kolmessa kehitysluokassa luokan oikean hakkuutavan ja lepokuvioiden yhteissumma hyvin lähelle metsäsuunnittelijan maastossa määrittelemää hakkuutapaa. Lepokuvioiden suuresta määrästä voi päätellä tapahtuneen laserkeilaustulkinnasta johdettujen, harvennusrajoja ja uudistamisrajoja koskevien puustotunnusten aliarviointia. Tämä sama asia tuli jo edellä ilmi kehitysluokkien tulkintaa tutkittaessa.

On toisaalta hyvä asia, että varsinaista lakia rikkovaa metsikön käsittelyvirhettä ei olettaisi tällaisessa aliarvioinnissa tapahtuvan. Toisaalta tällöin myös saattaa jäädä kiireellistäkin kasvatushakkuuta tai uudistamista tarvitseva kuvio kokonaan huomioimatta, etenkin kasvatusmetsien kohdalla tällä on suurta merkitystä. Nuorissa kasvatusmetsikkökuvioissa lepokuvioiden määrä oli peräti 46 prosenttia kaikista kehitysluokan kuvioista, kun vastaavasti vain 50 prosenttia oli määritelty kasvatushakkuun piiriin (Kuvio 19).



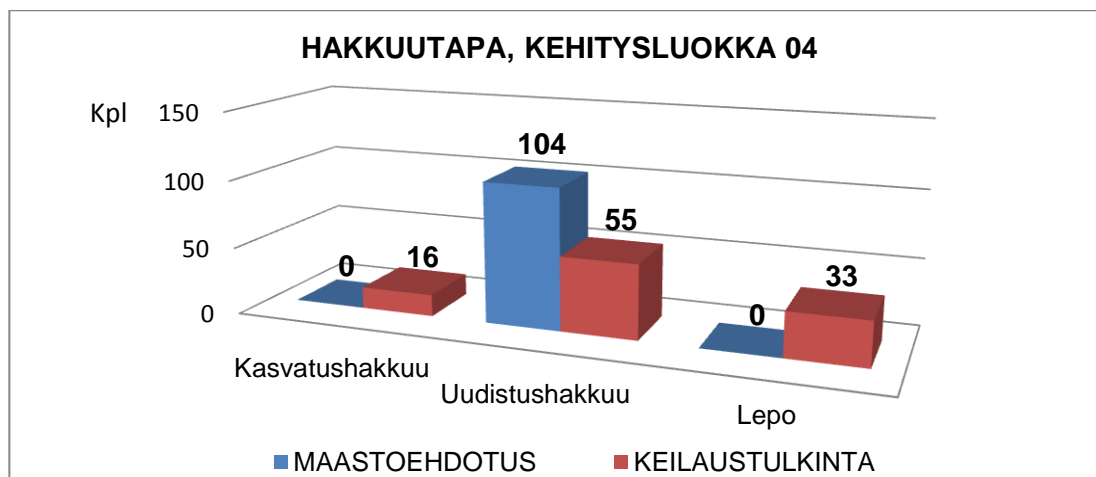
Kuvio 19. Hakkuuehdotusten vertailu kehitysluokassa 02

Varttuneissa kasvatushakkuukuvioiden osalta 43,5 prosenttia tulkittiin keilaustietojen perusteella lepokuvioksi ja 53,6 prosenttia kasvatushakattavaksi (Kuvio 20). Molemmissa kehitysluokissa esiintyi myös pieni määrä uudistamishakkuuesityksiä liittyen lähinnä metsikön laatumääreisiin. Keilaustulkintatietojen osalta nämä kuviot olivat pääasiassa pääpuulajiltaan kasvupaikalle metsänhoidollisesti sopimattomia metsikkökuviota.



Kuvio 20. Hakkuuehdotusten vertailu kehitysluokassa 03

Maastoluokituksessa uudistamiskypsyyden saavuttaneiden kuvioiden määrästä laserkeilaustulkinta tuotti varsinaisia uudistamiskypsyyden saavuttaneita kuviota 52 prosenttia (55 kpl). Lepokuvioksi tulkittiin 31,7 prosenttia (33 kpl) ja kuten jo aiemmin tuli ilmi 15,3 prosenttia (16 kpl) kasvatushakkuukuvioksi (Kuvio 21).



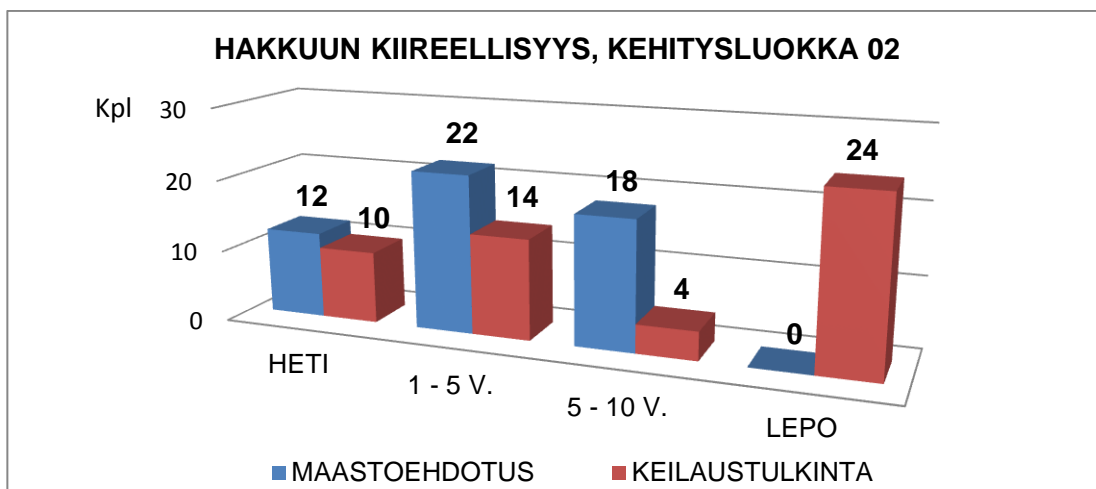
Kuvio 21. Hakkuuehdotusten vertailu kehitysluokassa 04.

6.4 Hakkuun kiireellisyys

Hakkuun kiireellisyttä määriteltäessä pahin virhe on, jos kiireellisyysluokaltaan HETI tai 1 – 5 vuotta toimenpide-ehdotuksesta hakkuuta tarvitsevalle metsäkuviolle ei saada laserkeilaustulkinnan perusteella tuotettua hakkuuehdotusta ollenkaan. Tällaisia virheitä saattaa syntyä metsäsuunnittelijoillakin johtuen näkemyseroista suunnittelijoiden välillä, mutta niiden ei saisi olla toistuvia virheitä. Etenkin kasvatushakkuiden, mutta myös uudistushakkuiden ajoituksella voi olla hyvinkin merkittäviä taloudellisia ja metsikön terveydellisiä merkityksiä. Väärin ajoitetut hakkuut voivat nostaa metsiköiden tuhoriskiä, aiheuttaa kasvu- ja laatutappioita ja sitä kautta myös metsänomistajalle taloudellisia menetyksiä. Metsä on pitkäjänteinen sijoituskohte, jolle oikein ajoitetut hakkuu- ja hoitotoimenpiteet ovat ensisijaisen tärkeitä investoinnin tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

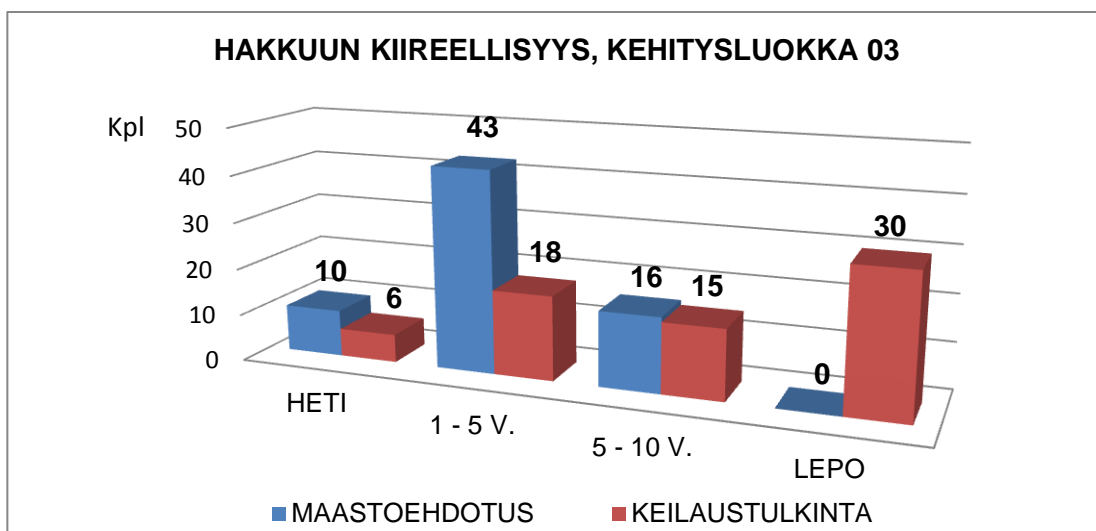
Hakuun kiireellisyden vertailu osoitti samansuuntaista kehitystä kuin hakkuutoimenpiteiden vertailukin. Laserkeilauksen tulkintatulosten perusteella tehtyjen luokitteluiden mukaan lepokuvia oli suhteellisesti eniten nuorissa ja varttuneissa kasvatusmetsiköissä (Liite 5). Kehitysluokassa 02 lepokuvioiksi luokiteltiin jopa 46,1 prosenttia (24 kpl) kaikista kehitysluokan 52 kuviosista, mikä maastotulkintatuloksia tarkkailtaessa on antaa hyvinkin poikkeavan tuloksen (Kuvio 22). Tästä voi olettaa, että tärkeitäkin kasvatushakkuutoimenpiteitä saattaa laserkeilaustulkinnan mukaan jäädä toteuttamatta. Mutta kiireellisyysluokassa HETI oli maastotulkinnan ja keilaustulkinnan ero kuitenkin vain kaksi metsäkuviota, tosin nekin maastotulkinnan eduksi. Erojen suuruus korostuukin kiireellisyysluokissa yksi ja kaksi (1 = 1 – 5 v ja 2 = 5 – 10 v

toimenpide-ehdotuksesta). Kiireellisyysluokassa yksi keilaustulkinta jäi 36,6 prosentin (14 kpl) päähän maastoehdotuksesta ja luokassa kaksi jo 77,8 prosentin (4 kpl) päähän maastoehdotuksesta.



Kuvio 22. Hakkuukiireellisyysvertailu kehitysluokassa 02.

Kehitysluokassa 03 lepokuvioksi keilaustulkinta ohjasi 34,8 prosenttia (30 kpl) kaikista kehitysluokan 69 kuvioista (Kuvio 23).

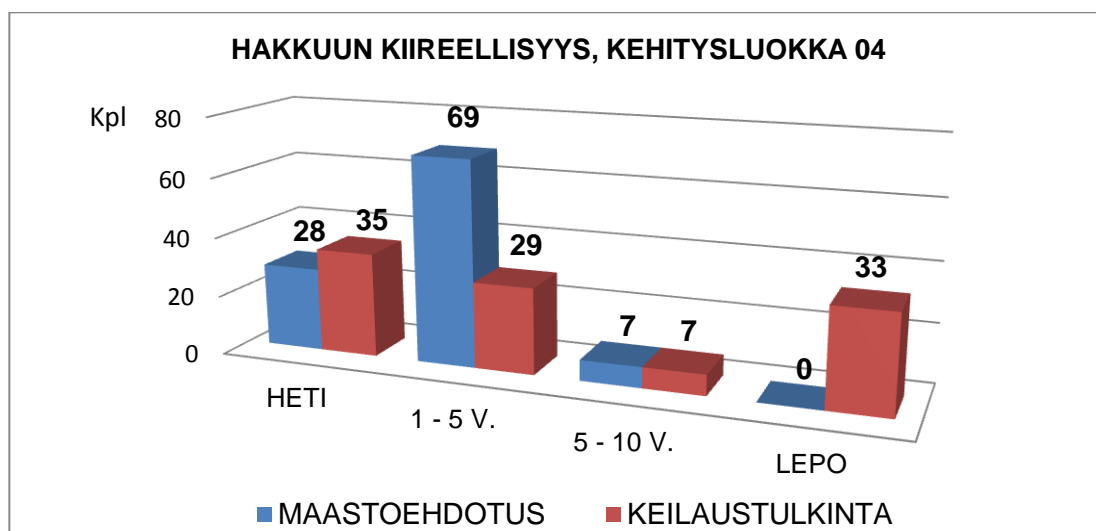


Kuvio 23. Hakkuukiireellisyysvertailu kehitysluokassa 03.

Kiireellisyysluokkaan HETI, laserkeilaus tuotti kuusi kuvioita, kun metsäsuunnittelija oli maastossa tulkinut tähän luokkaan kuuluvan 10 kuvioita. Luokassa yksi ero oli huomattavin. Laserkeilaustulkinta jäi lähes 58 prosentin, 25 kappaleen päähän maastotulkinnasta, kun taas luokkaan kaksi molemmat tulkinnat tuottivat lähes saman määrän metsäkuvioita. Merkillepantavaa onkin, että jos kaikki laserkeilaustulkinnan lepokuviot lisättäisiin kiireellisyysluokkaan yksi, niin ero olisi 11,6 prosenttia laserkeilauksen eduksi. On siis

havaittavissa, että tärkeitä toimenpide-ehdotuksia jäisi selvästi havaitsematta.

Uudistuskypsiens metsäkuvioiden hakkuukiireellisyyttä vertailtaessa sama trendi näytti jatkuvat muutoin, paitsi luokkaan HETI kuuluvia kuvioita keilaustulkinta tuotti 20 prosenttia enemmän kuvioita verrattuna maastossa tehtyihin ehdotuksiin (Kuvio 24). Muihin kehitysluokkiin verrattuna myös 04-kehitysluokassa lepokuvioiden osuus maastotulkintaan verrattuna oli merkittävä, noin 32 prosenttia. 33 kuvioita kaikista 104 kuviosta tulkittiin lepokuvioiksi. Suurin ero oli kiireellisyysluokassa yksi, jossa keilaustulkinta jäi kehitysluokan 03 tavoin noin 58 prosentin, 40 kuvion päähän maastotulkinnasta. Kiireellisyysluokassa kaksi päästiin jo samaan määrään kuvioita molemmissa tulkinnoissa. 04-kehitysluokassa oli havaittavissa sama piirre, kuin 03-kehitysluokassakin. Mikäli keilaustulkinnan lepokuviot lisättäisiin keilaustulkinnan kiireellisyysluokkaan yksi, niin keilaustulkinta jäisi vain 10 prosentin päähän maastotulkinnasta ja HETI-luokkaan kuuluvien kuvioiden ylimäärä tasoittaisi molempia luokkia. Tällöin hakkuut toteutuisivat lähes ajallaan.



Kuvio 24. Hakkuukiireellisyyden vertailu kehitysluokassa 04.

Johtopäätöksenä voidaan näistä vertailutulkinnoista päätellä, että tärkeitä kasvatushakkuuehdotuksia jäisi pelkän laserkeilaustulkinnan mukaan havaitsematta. Laserkeilauksen tuloksista lepokuvioiden puustotunnukset antoivat kuvan jo hoidetuista metsistä, eli aliarvioita kuten jo hakkuutapaehdotuksia vertailtaessa havaittiin. Kehitysluokassa 04 keilaustulkintatiedoista johdettujen lepokuvioiden suuri määrä johtui pääasiassa keski-ikästä ja keskiläpimitas-

ta. Keilaustulkinta aliarvioi monien lepokuvioiden keski-ään ja keskiläpimitan uudistamisrajojen alapuolelle. Tämä suuntaus näkyi myös kehitysluokkaverailussa ja tietenkin myös hakutapaehdotuksissa.

6.5 Summatunnukset

Verrattaessa kehitysluokittain laserkeilauksesta johdettujen summapuustotunnusten luotettavuusarvoja voidaan havaita selvää kehitysluokittaista ja eri puustotunnuksista riippuvaa eroavaisuutta. Keski-ään suhteelliset keskivirheet kehitysluokittain vaihtelivat 10 – 37 prosentin välillä. Kehitysluokassa 04 ilmeni aliarvioita, minkä aiempi kehitysluokkien vertailu jo osoittikin. Koko kuviojoukkoa ajatellen kaikkien kuvioiden keski-ään suhteellinen keskivirhe oli noin 25 prosenttia.

Pohjapinta-aloja tarkasteltaessa vaihtelivat suhteelliset keskivirheet 22 – 37 prosentin välillä. Runkoluku antoi kaikissa kehitysluokissa epäluotettavimman arvion. RMSE-% vaihteli kehitysluokassa 03 noin 40 prosentista aina kehitysluokan 02 noin 89 prosenttiin. Pohjapinta-alan ja runkoluvun suuret vaihteluerot selittävät osaltaan syitä suuriin tulkintaeroihin molempien kasvatusehitysluokkien kasvatushakkuukuvioiden ja hakkuun kiireellisyyden määrityksissä. Tarkimmat tulokset saavutettiin kaikissa kehitysluokissa keskiläpimitan ja keskipituuden osalta. Vastaavien tunnusten suhteelliset keskivirheet vaihtelivat keskiläpimitan kohdalla 8 – 20 prosentissa ja keskipituuden osalta 8 – 16 prosentissa.

Kuvioiden hehtaarikohtaisia tilavuuksia vertailtaessa laserkeilaus tuotti kehitysluokkiin 02 ja 03 jonkin verran aliarvioita ja kehitysluokkaan 04 yliarviota. Laserkeilauksen tulisi tasoittaa ääripäitä siten, että puustoisilla kohteilla tulee aliarvioita ja vähäpuustoisilla kuvioilla yliarviota. Varsinkin kehitysluokassa 02 ja 03 kuviot olivat varsin puustoisia, mutta laserkeilaustulkinta ei silti näyttänyt tuottavan aliarvioita. Kehitysluokkaan 04 keilausaineistosta tuotettu tilavuuden yliarvio voi todellisuudessa olla metsäsuunnittelijan tekemää aliarvioita. Tämän suuntaista toimintaa on havaittu muu muassa Haara ja Korhosen tutkimuksessa (2004.) sekä Suomen metsäkeskuksessa käytännön työssäkin (Juujärvi 2013.)

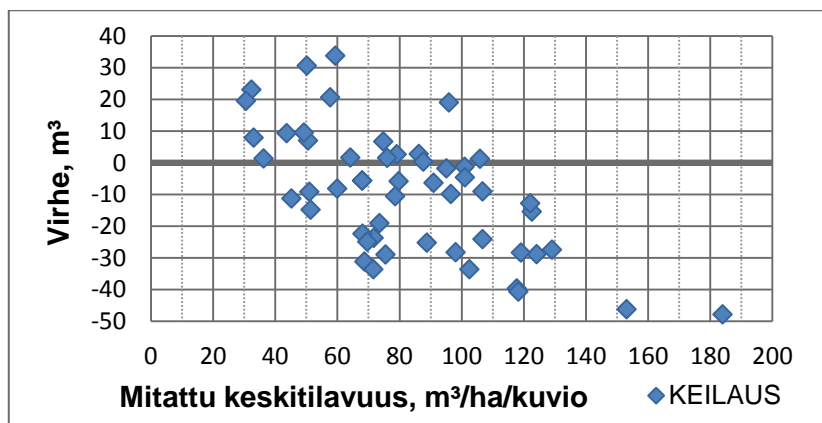
Taulukosta 3 nähdään vertailtavien summapuustotunnusten kehitysluokittaiset ja myös koko otantakuvioiden hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot (Liite

6). Taulukossa on esitetty maastotiedon ja laserkeilaustulkinnasta johdettujen tulosten keskiarvot, RMSE, RMSE-%, Harha ja Harha-%.

TAULUKKO 3: Laserkeilauksesta johdettujen summatunnusten hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain verrattuna maastomittauksiin.

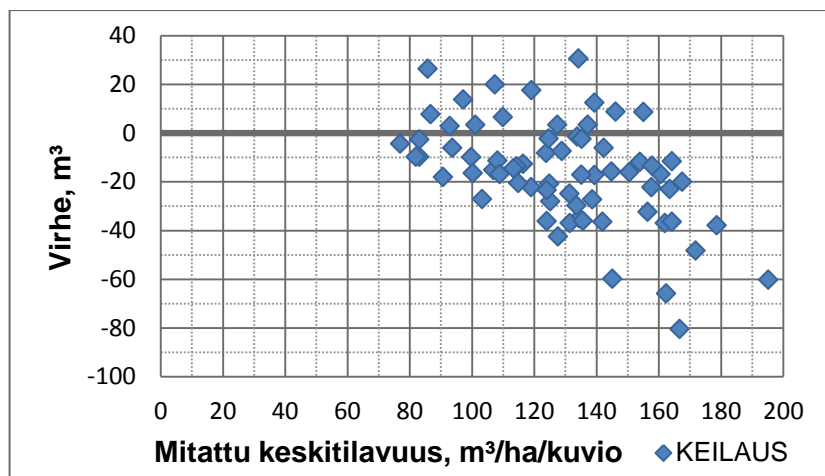
<i>Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna</i>						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	50	16.7	2095	13.0	9.4	82.6
LASERKEILAUUS ka.	58	14.5	1655	14.1	9.6	73.2
RMSE-VIRHE	18.05	4.48	1856.88	2.19	0.99	20.73
RMSE-%	36,15	26,86	88,65	16,82	10,50	25,11
HARHA	-9,36	2,74	-49,42	-0,17	0,08	12,15
HARHA-%	-18,74	16,40	-2,36	-1,31	0,89	14,71
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	19.7	989	18.2	13.3	129.2
LASERKEILAUUS ka.	80	18.0	887	18.0	12.6	113.0
RMSE-VIRHE	14.39	4.50	392.50	1.57	1.14	30.47
RMSE-%	18.38	22.90	39.69	8.60	8.58	23.58
HARHA	-4,14	2,75	113,54	0,29	0,58	21,64
HARHA-%	-5,29	13,99	11,48	1,59	4,37	16,75
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	104	13,7	607	22,0	14,3	94,4
LASERKEILAUUS ka.	87	17,2	832	18,4	12,3	104,8
RMSE-VIRHE	26,76	4,96	437,50	4,36	2,26	28,29
RMSE-%	25,62	36,30	72,03	19,77	15,81	29,96
HARHA	16,33	-2,90	-209,56	3,48	1,81	-6,94
HARHA-%	15,64	-21,26	-34,50	15,80	12,70	-7,35
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	84	16,2	1068	18,8	12,9	102,4
LASERKEILAUUS ka.	78	16,8	1039	17,3	11,8	100,0
RMSE-VIRHE	21,18	4,69	1074,71	3,14	1,66	26,97
RMSE-%	25,27	28,93	100,61	16,71	12,88	26,35
HARHA	2,59	0,46	-66,03	1,44	0,93	7,23
HARHA-%	3,09	2,83	-6,18	7,68	7,24	7,06

Kuvioissa 25, 26 ja 27 esitetään laserkeilauksesta johdetut summatunnusten keskitilavuuksien kuviokohtaiset keskivirheet kehitysluokittain kuutiometriä/hehtaari. Kuvioista huomaa kokonaistilavuuden hajonnan ja edellä jo havaitun hajonnan suunnan. Kehitysluokissa 02 ja 03 ilmenee aliarviota, kun taas kehitysluokassa 04 on selvää yliarviota. Kehitysluokan 02 virhearviot vaihtelevat 33,8 m³/ha yliarviosta lähes 47,8 m³/ha aliarviioon.



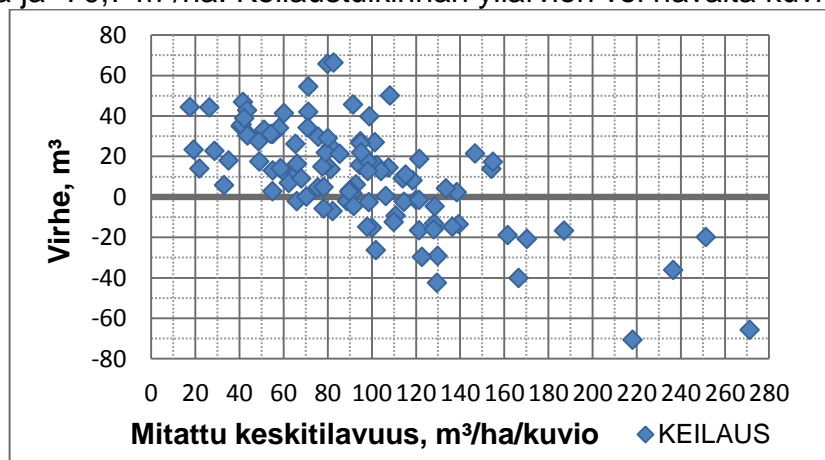
Kuvio 25. Summatunnusten keskitilavuuden virhearvot kehitysluokassa 02 mitatun keskitilavuuden funktiona.

03-kehitysluokassa vastaava vaihteluväli on $25 \text{ m}^3/\text{ha}$ – $-80,4 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja kuviosta 26 voi havaita myös tapahtuneen selvää aliarviointia keskitilavuuden suhteen.



Kuvio 26. Summatunnusten keskitilavuuden virhearvot kehitysluokassa 03 mitatun keskitilavuuden funktiona.

Kehitysluokan 04 keskitilavuuden yliarvion ja aliarvion vaihteluväli vaihteli $65,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja $-70,7 \text{ m}^3/\text{ha}$. Keilaustulokinnan yliarvion voi havaita kuviosta 27.



Kuvio 27. Summatunnusten keskitilavuuden virhearvot kehitysluokassa 04 mitatun keskitilavuuden funktiona.

Kehitysluokkavertailussa havaitsee kyllä jonkin verran ryhmittäisyyttäkin, etenkin 03- ja 04-kehitysluokissa. Liitteissä 16 – 42 on esitetty kehitysluokittain summapuustotunnusten tarkempaa kuviokohtaista vertailua viiva- ja pistekuvioin.

Taulukosta 4 näkee laserkeilaustulokintatulosten summatunnuksien kehitysluokittaiset ja koko kuviojoukon ali- ja yliarvioiden hehtaarikohtaiset keskiarvot (Liite7). Taulukosta osoittaa puustotunnuksittain samansuuntaista vaihtelua, kuin absoluuttinen keskivirhe meille jo osoitti. Keskiarvojen vaihteluväli on suurinta juuri runkolukujen osalta. Keski-iän, pohjapinta-alan ja hehtaarikohtaisen tilavuuden erot peilaavat myös suhteellisen RMSE:n antamia tuloksia. Taulukosta selviää hyvin, että pienin vaihteluväli ali- ja yliarvioiden keskiarvoilla on keskiläpimitan ja keskipituuden osalla. Tulokset vastaavat absoluuttisen keskivirheen kuvaamia tuloksia.

TAULUKKO 4. Summatunnusten yli- ja aliarvioiden keskiarvot.

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	50	16,7	2095	13,0	9,4	82,6
LASERKEILAUUS ka.	58	14,5	1655	14,1	9,6	73,2
ALIARVIOIDEN ka.	-12	-4,0	-880	-1,1	-0,7	-20,2
YLIARVIOIDEN ka.	18	1,9	882	2,2	0,9	11,1
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	19,7	989	18,2	13,3	129,2
LASERKEILAUUS ka.	80	18,0	887	18,0	12,6	113,0
ALIARVIOIDEN ka.	-9	-3,2	-299	-1,6	-1,1	-23,3
YLIARVIOIDEN ka.	10	2,1	205	0,8	0,6	11,8
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	104	13,7	607	22,0	14,3	94,4
LASERKEILAUUS ka.	87	17,2	832	18,4	12,3	104,8
ALIARVIOIDEN ka.	-27	-2,0	-933	-4,0	-2,1	-18,6
YLIARVIOIDEN ka.	8	4,5	335	0,9	0,5	22,6
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	84	16,2	1068	18,8	12,9	102,4
LASERKEILAUUS ka.	78	16,8	1039	17,3	11,8	100,0
ALIARVIOIDEN ka.	-21	-3,3	-614	-3,2	-1,6	-21,2
YLIARVIOIDEN ka.	12	3,8	362	1,4	0,8	19,2

6.7 Männyn puustotunnukset

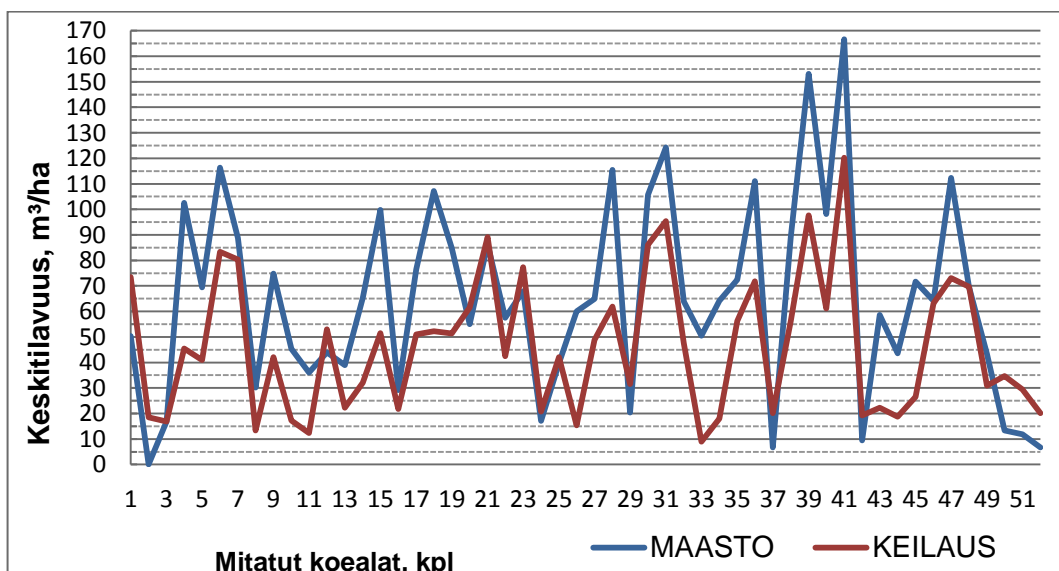
Tarkasteltaessa puulajikohtaisesti männyn summatunnusten absoluuttista keskivirhettä ovat tulokset kauttaaltaan kuvioiden keskimääräisiä summatun-

nuksia heikompiarvoisia (Taulukko 5). Männyn keski-ian suhteellinen keski-
virhe vaihteli 03-kehitysluokan 17,66 prosentin ja 02-kehitysluokan 35,09
prosentin välillä. Pohjapinta-alaa vertailtaessa erot kasvoivat ja vaihteluväli
oli 56 ja 40 prosentin välillä. Runkoluku vertailussa virheellisyys korostui kehi-
tysluokassa 02, 88 prosenttia ja etenkin kehitysluokassa 04, 103,7 prosenttia.
Männyn keskiläpimitan ja keskipituuden osalta ei päästy läheskään vastaavi-
en summatunnusten tasolle. Keskiläpimitan vaihteluväli oli 14 ja 24 prosen-
tin välillä ja keskipituuden 13 ja 31 prosentin välillä. Hehtaarikohtaisissa tila-
vuuksissa lasertulkinta tuotti aliarviota kaikissa kehitysluokissa suhteellisen
keskivirheen vaihdellessa 34 - 47 prosentin välillä (Liite 8).

TAULUKKO 5: Laserkeilauksesta johdettujen männyn puustotunnus-
ten hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain verrattuna
maastomittauksiin.

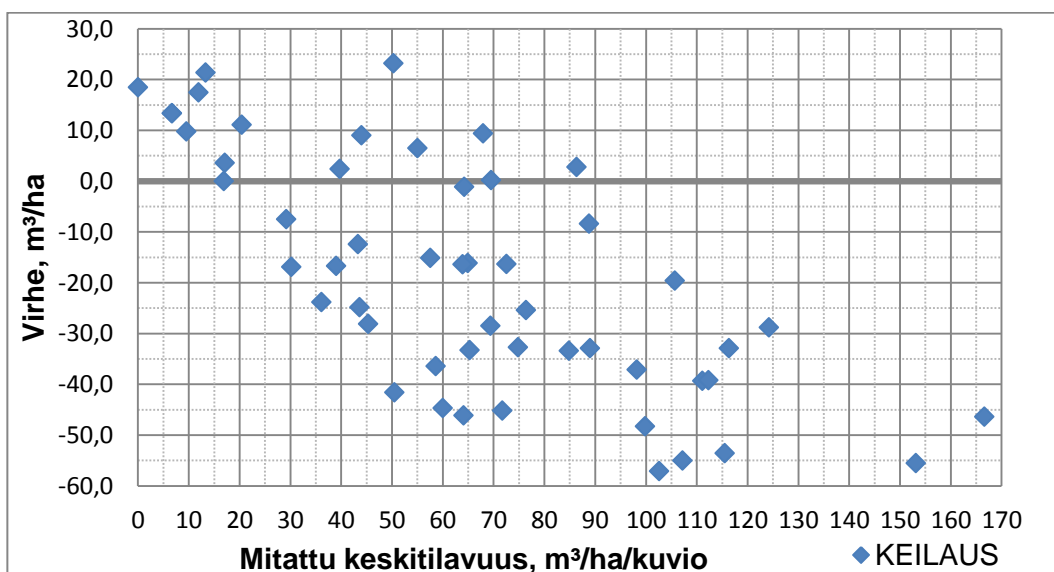
<i>Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna</i>						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	53	12,7	1378	13,4	9,5	64,8
LASERKEILAUUS ka.	57	8,3	513	15,9	10,1	46,5
RMSE-VIRHE	15,94	7,31	1207,80	3,11	1,45	30,46
RMSE- %	30,03	57,57	87,63	23,20	15,26	46,99
HARHA	-7,24	5,60	911,44	-2,02	-0,60	22,14
HARHA- %	-13,64	44,08	66,13	-15,03	-6,32	34,16
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	16,4	728	18,1	13,1	110,2
LASERKEILAUUS ka.	81	13,3	578	18,6	12,8	87,8
RMSE-VIRHE	13,84	6,06	296,48	2,57	1,71	37,41
RMSE- %	17,66	36,93	40,74	14,18	13,00	33,95
HARHA	-3,36	4,28	194,91	-0,25	0,27	28,62
HARHA- %	-4,30	26,07	26,78	-1,40	2,06	25,98
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	109	7,9	193	23,5	14,3	61,0
LASERKEILAUUS ka.	91	8,7	329	20,0	13,0	58,1
RMSE-VIRHE	38,20	3,79	200,64	7,34	3,64	29,04
RMSE- %	35,09	47,84	103,70	31,22	25,43	47,59
HARHA	17,99	-0,35	-115,50	3,83	1,52	5,55
HARHA- %	16,53	-4,44	-59,71	16,31	10,65	9,09
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	87	11,6	631	19,5	12,8	77,0
LASERKEILAUUS ka.	80	10,0	448	18,6	12,3	64,5
RMSE-VIRHE	26,89	5,72	692,02	5,16	2,62	32,14
RMSE- %	31,06	49,17	109,65	26,45	20,39	41,75
HARHA	4,12	2,80	283,69	0,87	0,52	17,34
HARHA- %	4,76	24,08	44,95	4,47	4,03	22,53

Kuvio 28 havainnollistaa maastotietojen ja keilaustulkinnan hehtaarikohtaisten keskitilavuuksien poikkeavuuksia kuviokohtaisesti kehitysluokassa 02, nuoret kasvatusmetsät. Havaittavissa on selvää aliarviota lähes jokaisella kuviolla. Viivakuviosta voi kuitenkin havaita kehitysluokan koko kuvioujoukkoa tarkasteltaessa, että käyrät noudattelevat lähes samaa mallia, tosin aliarviona.



Kuvio 28. Männyksen keskitilavuuden (m^3/ha) vaihtelu kuviokohtaisesti kehitysluokassa 02.

Kuvio 29 esittää kuviokohtaiset virhearviot m^3/ha . Kuvioista nähdään, että hajonta on varsin suurta ja keilaustulkinta tuottaa enimmäkseen aliarviointia 69 prosentille kehitysluokan kaikista 52 kuviosta. Vaihteluväli on $23,2 m^3/ha$ ja $-57,0 m^3/ha$ välillä. Absoluuttinen aliarvio on sitä suurempi, mitä isompi on hehtaarikohtainen aliarvio.



Kuvio 29. Männyksen keskitilavuuden virhearvot mitatun keskitilavuuden funktiona kehitysluokassa 02.

Liitteissä 43 – 69 on esitetty kehitysluokittaisesti männyn puustotunnusten tarkempaa kuviokohtaista vertailua viiva- ja pistekuvioiden avulla.

Taulukko 6 esittää kehitysluokittain männyn puustotunnusten ali- ja yliarvioiden keskiarvot (Liite 9). Tuloksista voi päätellä saman kuin viiva- ja pistekuvioiden keskiarvoista, lähes kaikissa kehitysluokkien puustotunnusten laserkeilaustulkinnoissa on tapahtunut aliarviota. Summatunnusten vastaaviin arvoihin verrattaessa on jälleen havaittavissa se, että keskiläpimitan ja keskipituuden vaihteluväli on selkeästi pienintä. Myös pohjapinta-alojen vaihteluväli on lähellä summatunnuksista johdettuja vastaavia arvoja. Suurimmat vaihteluvälit ovat jälleen hehtaariohjeissa runkoluvuissa, keski-iässä ja keskitilavuuksissa, kuten summatunnusten vastaava tarkastelu osoitti.

Taulukko 6. Männyn yli- ja aliarvioiden keskiarvot.

Laserkeilausten luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m ³ /ha
MAASTOTIETO ka.	53	12,7	1378	13,4	9,4	64,8
LASERKEILAUS ka.	57	8,3	513	15,9	10,1	46,5
ALIARVIOIDEN ka.	-15	-6,7	-1103	-0,9	-0,8	-31,0
YLIARVIOIDEN ka.	15	2,0	132	3,2	1,3	10,1
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m ³ /ha
MAASTOTIETO ka.	78	16,4	728	18,1	13,1	110,2
LASERKEILAUS ka.	81	13,3	578	18,6	12,8	87,8
ALIARVIOIDEN ka.	-10	-4,3	-219	-1,5	-1,1	-28,3
YLIARVIOIDEN ka.	11	3,1	177	1,9	1,5	22,5
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m ³ /ha
MAASTOTIETO ka.	109	7,9	193	23,5	14,3	61,0
LASERKEILAUS ka.	91	8,7	329	20,0	13,0	58,1
ALIARVIOIDEN ka.	-36	-2,9	-172	-5,7	-2,4	-26,6
YLIARVIOIDEN ka.	22	3,3	164,4	9,3	6,3	18,2
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m ³ /ha
MAASTOTIETO ka.	87	11,6	631	19,5	12,8	77,0
LASERKEILAUS ka.	80	10,0	448	18,6	12,3	64,5
ALIARVIOIDEN ka.	-26	-4,5	-559	-4,4	-1,9	-28,4
YLIARVIOIDEN ka.	16	3,0	163	3,6	2,3	17,0

6.7 Kuusen puustotunnukset

Kuusen kohdalla laserkeilauksesta tulkitut luottamusarvot maastomittauksiin verrattuna ovat selkeästi kaikkein huonoimmat puulajien keskinäistä vertailua ajatellen (Taulukko 7). Tämä selittyy osaksi sillä, että lasertulkinnoissa puula-

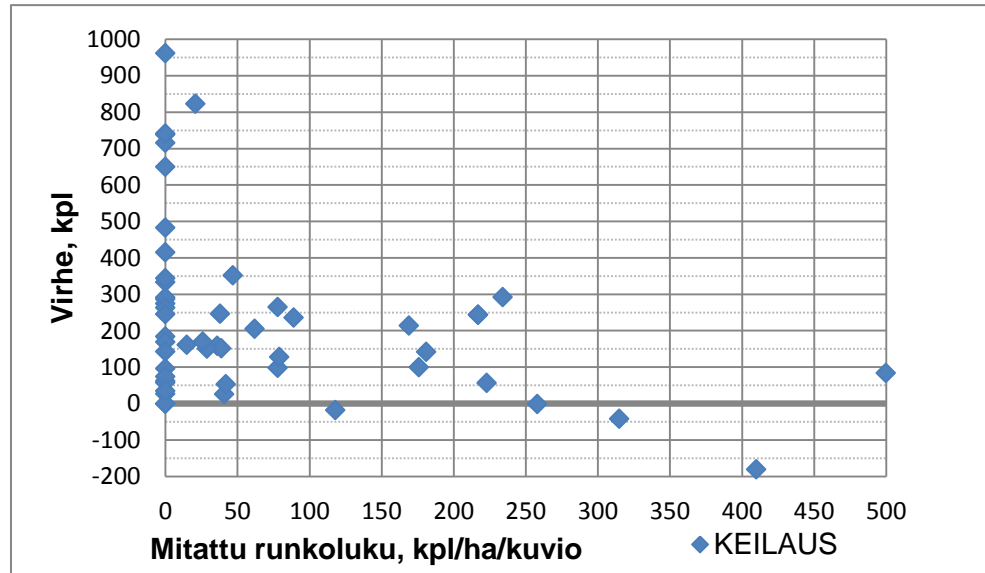
jitulkinta männyn ja kuusen välillä ei ole onnistunut riittävän hyvin. Koko otantakuvioujoukossa mänty vaihtui kuuseksi yhdeksän kertaa ja lehtipuuksi neljä kertaa. Kuusi vaihtui männynksi 12 kertaa ja lehtipuuksi kaksi kertaa. Lehtipuu vaihtui neljä kertaa männynksi ja kerran kuuseksi. Kaiken kaikkiaan puulajin vaihtumisvariaatioita tapahtui 32 kuviolle. Keilausalueen metsikön olivat pääasiassa mäntyvaltaisia, 76,4 prosenttia 225 kuviosta oli pääpuulajiltaan mäntyä.

Taulukko 7: Kuusen hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain

<i>Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna</i>						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	37	0,9	72	7,4	5,1	4,5
LASERKEILAUUS ka.	66	2,8	302	12,7	8,7	13
RMSE-VIRHE	47,53	2,56	431,38	9,04	6,25	10,55
RMSE- %	127,22	292,79	600,09	122,30	122,89	233,81
HARHA	-32,99	-2,24	-338,31	-6,59	-4,61	-8,97
HARHA- %	-88,30	-256,56	-470,63	-89,15	-90,53	-198,81
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	45	1,7	85	9,6	6,6	10,6
LASERKEILAUUS ka.	73	2,4	141	13,7	9,7	13,7
RMSE-VIRHE	55,26	1,88	148,45	10,98	7,44	12,22
RMSE- %	121,54	113,89	173,97	114,30	112,34	115,73
HARHA	-25,91	-0,80	-55,50	-2,93	-2,56	-3,72
HARHA- %	-56,98	-48,63	-65,04	-30,51	-38,66	-35,24
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	82	2,8	136	15,1	10,4	18,0
LASERKEILAUUS ka.	96	4,5	220	17,1	11,7	26,5
RMSE-VIRHE	42,81	2,85	152,68	7,30	4,91	18,29
RMSE- %	52,32	100,48	112,66	48,24	47,13	101,54
HARHA	-9,79	-1,58	-80,85	-1,43	-0,83	-8,46
HARHA- %	-11,97	-55,88	-59,66	-9,47	-7,96	-46,97
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	60	2,0	105	11,7	8,0	12,6
LASERKEILAUUS ka.	82	3,5	215	15,0	10,4	19,4
RMSE-VIRHE	48,18	2,51	267,68	9,04	6,15	14,59
RMSE- %	79,77	124,21	253,91	77,60	76,67	115,75
HARHA	-21,50	-1,55	-150,40	-3,42	-2,47	-7,21
HARHA- %	-35,60	-76,75	-142,67	-29,35	-30,81	-57,21

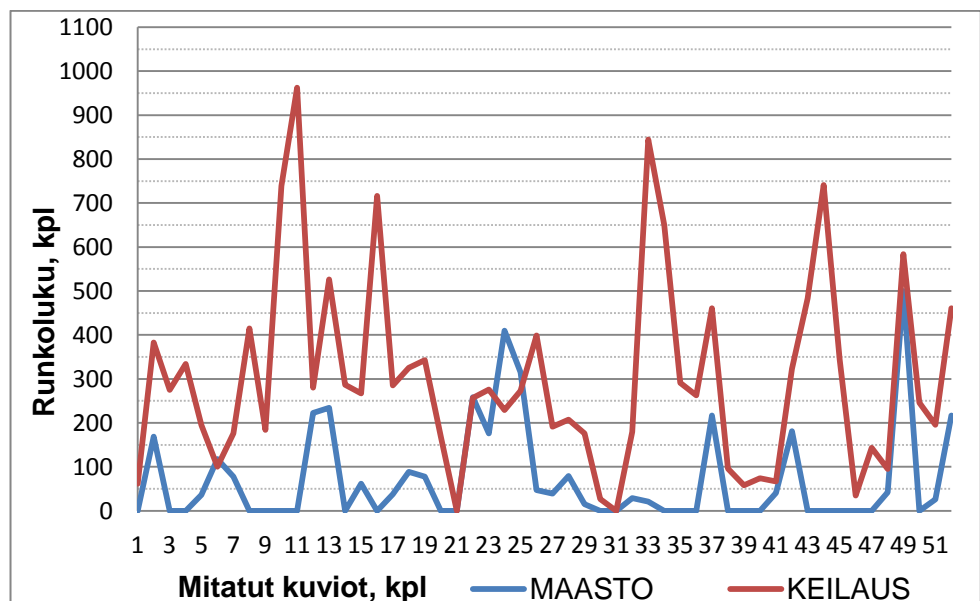
Kun tarkastellaan kuusen puustotunnusten luotettavuusarvoja, havaitaan jo maastotiedon pohjapinta-alojen ja runkolukujen keskiarvoista, että kuusen osuus koko otantajoukon puulajeista ei ole ollut kovin suuri ja tällöin myös

virhearvojen suhteellinen osuus korostuu liiaksi (Liite 10). Kuviosta 30 erottamme hyvin kuinka laserkeilaustulkinta on tuottanut esimerkiksi kehitysluokassa 02 usealle kuviolle kuusta, vaikka maastomittauksissa sitä ei ole havaittu.



Kuvio 30. Kuusen runkoluvun virhearvot mitatun runkoluvun funktiona funktiona kehitysluokassa 02.

Kuviossa 31 on kuusen runkolukutulkintavertailu esitetty viivakuviolla, joka havainnollistaa keilaustulkinnan selkeää yliarviointia maastotulkintaan verrattuna.



Kuvio 31. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 02.

Liitteissä 70 – 96 on esitetty kehitysluokittaisesti kuusen puustotunnusten tarkempaa kuviokohtaista vertailua viiva- ja pistekuvioin.

Taulukosta 8 voimme tehdä samansuuntaisia havaintoja, kuten edellä esitetyistä kuusta koskevista taulukoista olemme jo havainneet. Arvot ovat pääsääntöisesti yliarvioita, mutta kehitysluokkien sisällä on suuriakin vaihteluita eri puustotunnusten välillä (Liite 11). Kuusen keskiläpimitan ja keskipituuden yliarviot näkyvät selkeämmin männyn vastaaviin verrattuna. Pohjapinta-alat ovat kuitenkin osuneen kokonaisvertailussa lähelle toisiaan. Kuusta esiintyi eniten kehitysluokassa 04, mutta kuusen vähäisen kokonaismäärän vuoksi tulokset ovat vain suuntaa antavia.

Taulukko 8. Kuusen yli- ja aliarvioiden keskiarvot

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	37	0,9	72	7,4	5,1	4,5
LASERKEILAUUS ka.	66	2,8	302	12,7	8,7	13,0
ALIARVIoidEN ka.	-30	-0,7	-61	-2,6	-1,2	-4,3
YLIARVIoidEN ka.	46	2,2	254	8,2	6,5	9,5
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	45	1,7	85	9,6	6,6	10,6
LASERKEILAUUS ka.	73	2,4	141	13,7	9,7	13,7
ALIARVIoidEN ka.	-23	-2,3	-158	-4,6	-2,6	-14,9
YLIARVIoidEN ka.	47	1,4	87	9,3	6,9	7,8
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	82	2,8	136	15,1	10,4	18,0
LASERKEILAUUS ka.	96	4,5	220	17,1	11,7	26,5
ALIARVIoidEN ka.	-23	-2,2	-151	-3,8	-2,1	-16,8
YLIARVIoidEN ka.	41	2,6	119	8,0	5,9	15,6
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	60	2,0	105	11,7	8,0	12,6
LASERKEILAUUS ka.	82	3,5	215	15,0	10,4	19,4
ALIARVIoidEN ka.	-24	-2,1	-140	-3,8	-2,1	-14,9
YLIARVIoidEN ka.	44	2,1	142	8,5	6,4	11,6

6.8 Lehtipuuston puustotunnukset

Lehtipuuston osuus keilausalueen kokonaispuustosta oli myös vähäinen ja täten myös lehtipuuositteiden puustotunnusten luotettavuusarvot ovat samansuuntaisia kuten kuusellakin. Suhteellisen keskivirheen ja muiden luotettavuusarvojen osuus korostuu liiaksi otantajoukon puulajien vähäisen määrän takia ja tuloksia ei näiltä osin voi pitää luotettavina, vaan ainoastaan suuntaa antavina. Taulukossa 9 on esitetty keilaustulkinnasta johdettujen puustotunnusten luotettavuusarvot lehtipuuositteelle kehitysluokittain (Liite 12). Taulu-

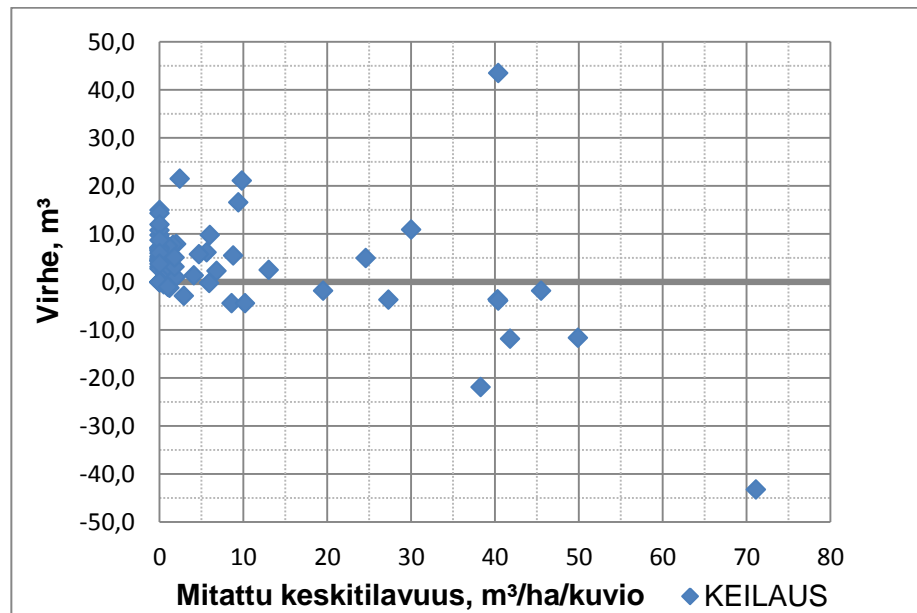
kosta voimme tehdä samansuuntaisia havaintoja kuin kuusiositteestakin, tosin luotettavuusarvot ovat lehtipuuositteella kuitenkin kuusiositetta paremmat. Suuria heittoja tapahtuu, mutta puuositteen vähäisestä määrästä johtuen ei luotettavia päätelmiä kannata tehdä.

Taulukko 9: Lehtipuuston hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	29	3,1	644	8,2	6,3	13,2
LASERKEILAUS ka.	40	3,3	837	9,7	7,7	13,8
RMSE-VIRHE	18,26	2,56	1773,78	4,58	2,99	9,80
RMSE- %	61,95	82,23	275,44	56,13	47,37	74,05
HARHA	-9,88	-0,62	-621,01	-0,19	-0,29	-1,08
HARHA- %	-33,52	-19,85	-96,43	-2,36	-4,55	-8,20
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	28	1,6	153	8,5	6,1	8,4
LASERKEILAUS ka.	40	2,3	169	11,7	8,3	11,6
RMSE-VIRHE	37,83	1,55	225,16	10,78	6,91	8,50
RMSE- %	134,11	96,15	147,39	126,70	113,01	100,77
HARHA	-3,45	-0,72	-47,04	-0,63	-0,75	-3,28
HARHA- %	-12,22	-44,94	-30,79	-7,44	-12,22	-38,91
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	48	2,9	263	11,8	8,8	15,4
LASERKEILAUS ka.	52	4,0	283	14,2	9,9	20,2
RMSE-VIRHE	27,22	1,94	249,39	7,46	5,11	10,04
RMSE- %	56,83	67,03	94,95	63,20	57,76	65,20
HARHA	2,98	-0,98	-23,71	-0,48	0,23	-4,04
HARHA- %	6,22	-33,86	-9,03	-4,04	2,63	-26,25
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	38	2,6	317	10,0	7,4	12,8
LASERKEILAUS ka.	45	3,3	376	12,4	8,9	16,1
RMSE-VIRHE	28,69	2,05	990,87	7,95	5,23	9,53
RMSE- %	76,30	80,28	312,49	79,88	70,49	74,71
HARHA	-2,77	-0,80	-209,38	-0,44	-0,21	-2,93
HARHA- %	-7,37	-31,18	-66,03	-4,40	-2,87	-22,98

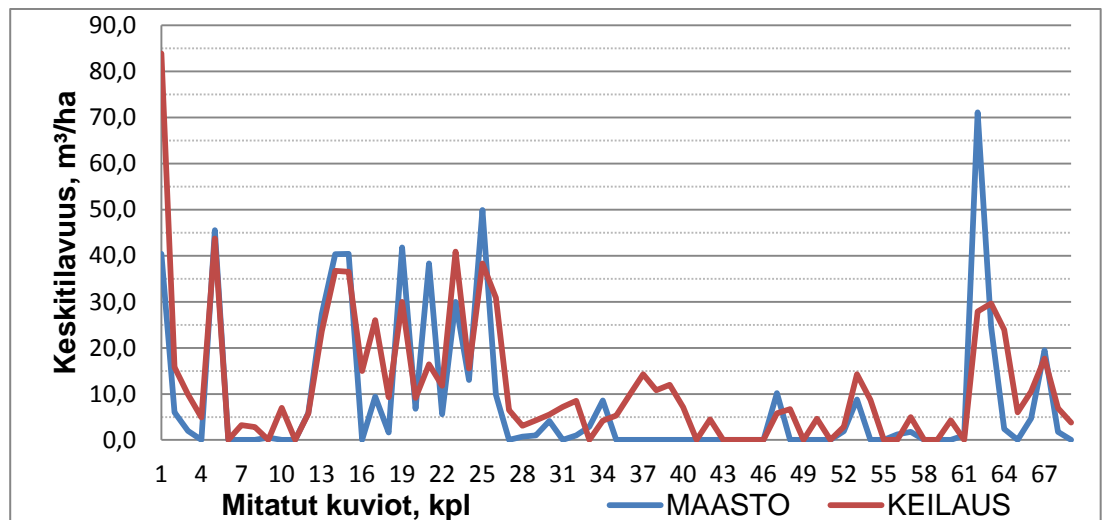
Kuviosta 32 näemme laserkeilauksen tuottaman lehtipuuositteen hehtaarikohtaisen tilavuuden virhearviot kuvioittain. Kuviosta voi havaita, että suurimmalle osalle kuvioista keilaus oli tuottanut maastotiedoista poiketen pienen määrän lehtipuuositetta. Joillakin kuviolla virhearviot olivat suurta luok-

kaa. Taulukko kertoo että, kehitysluokassa 03 lehtipuuositteen tilavuutta yliarvioitiin keilaustulkinnassa.



Kuvio 32. Lehtipuun keskitilavuuden virhearvot mitatun keskitilavuuden funktiona kehitysluokassa 03.

Kuviossa 33 on esitetty viivakuviolla kehitysluokan 03 lehtipuuositteiden kuviottainen tilavuuden vertailu maastohavaintojen ja keilausten antamien tulosten välillä. Osalla kuviosta keilaustulkinta mukaillee maastoaineistoa varsin hyvin, mutta osalla kuviosta tulos on päinvastainen maastotietoon nähden.



Kuvio 33. Lehtipuiden keskitilavuuden (m^3/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 03.

Liitteissä 97 – 123 on esitetty kehitysluokittaisesti lehtipuun puustotunnusten tarkempaa kuviokohtaista vertailua viiva- ja pistekuvioin.

Lehtipuusto-ositteiden puustotunnusten ali- ja yliarvioita tarkasteltaessa (Liite 13) voidaan huomata saman trendin jatkuvan, kuten muissakin puulajiosit-

teissa (Taulukko 10). Kehitysluokassa 02 poikkeamaa esiintyy etenkin runkoluvuissa enemmän muihin kehitysluokkiin verrattuna, kun taas keskiläpimitan ja keskipituuden vertailut ovat muita kehitysluokkia paremmat. Kehitysluokissa 03 ja 04 on pohjapinta-alojen keskimääräinen vaihteluväli samaa luokkaa.

Taulukko 10. Lehtipuuston yli- ja aliarvioiden keskiarvot.

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	29	3,1	644	8,2	6,3	13,2
LASERKEILAUS ka.	40	3,3	837	9,7	7,7	13,8
ALIARVIOIDEN ka.	-9	-3,0	-650	-2,8	-1,1	-1,4
YLIARVIOIDEN ka.	21	1,5	678	4,3	3,0	5,7
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	28	1,6	153	8,5	6,1	8,4
LASERKEILAUS ka.	40	2,3	169	11,7	8,3	11,6
ALIARVIOIDEN ka.	-21	-1,3	-242	-6,8	-3,2	-7,4
YLIARVIOIDEN ka.	25	1,2	88	7,0	5,2	6,3
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	48	2,9	263	11,8	8,8	15,4
LASERKEILAUS ka.	52	4,0	283	14,2	9,9	20,2
ALIARVIOIDEN ka.	-16	-1,3	-246	-3,6	-2,4	-7,9
YLIARVIOIDEN ka.	25	1,7	124	5,8	4,0	8,6
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	38	2,6	317	10,0	7,4	12,8
LASERKEILAUS ka.	45	3,3	376	12,4	8,9	16,1
ALIARVIOIDEN ka.	-16	-1,8	-367	-4,2	-2,3	-6,1
YLIARVIOIDEN ka.	24	1,5	225	5,9	4,2	7,2

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla maastossa miestyönä tehdyn kuvioitaisen metsäsuunnittelun tuottamien puustotunnuksien ja hakkuuehdotuksien eroavaisuuksia sekä luotettavuutta verrattuna laserkeilauspohjaisesta puustotulkinnasta johdettuihin vastaaviin tunnuksiin ja ehdotuksiin. Referenssiaineistona tutkimuksessa olivat maastossa mitatut/arvioidut puustotunnukset sekä hakkuuehdotukset.

Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää, voidaanko laserkeilausaineistosta tuotetulla aineistolla määritellä luotettavat puustotiedot sekä johtaa niistä oikeansuuntaiset hakkuutoimenpiteet oikea-aikaisesti oikeille kohteille. Yhtenä tavoitteena oli myös mahdollisten virhelähteiden selvittäminen ja se, miten virhelähteitä voi välttää ja korjata oikean suuntaisiksi.

Laserkeilauksesta metsävaratiedon tuottamisessa on tehty etenkin Etelä-Suomessa laajojakin tutkimuksia. Aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin pilottitutkimus Suomessa tehtiin 2005 UPM-Kymmene Oy metsäyhtiön metsissä (Taulukko 11). Maastoaineistona käytettiin 472 koealan puustotietoja, jotka oli mitattu 67 kuviolle käsittäen kasvatus- ja uudistamisvaiheen kuvioita (Liite 14).

Taulukko 11. Kehitysluokittain laskettujen luotettavuustunnusten vertailu

	RMSE		RMSE-%		BIAS		BIAS-%	
	UPM-Kymmene Oy	Kittilä	UPM-Kymmene Oy	Kittilä	UPM-Kymmene Oy	Kittilä	UPM-Kymmene Oy	Kittilä
KL 02, Nuoret kasvatusmetsiköt								
V (m ³ /ha)	13,1	20,7	11,9	25,1	1,9	12,2	1,8	14,7
PPA (m ² /ha)	1,9	4,5	9,9	26,9	0,1	2,7	0,6	16,4
N (kpl/ha)	312,0	1856,9	15,2	88,7	-40,1	-49,4	-2,0	-2,4
HGM (m)	1,0	1,0	9,3	10,5	-0,7	0,1	-5,9	0,9
AGM (cm)	1,6	2,2	12,3	16,8	-0,6	-0,2	-4,7	-1,3
KL 03, Varttuneet kasvatusmetsiköt								
V (m ³ /ha)	17,4	30,5	8,9	23,6	-3,6	21,6	-1,8	16,8
PPA (m ² /ha)	2,0	4,5	8,4	22,9	-0,6	2,8	-2,7	14,0
N (kpl/ha)	272,0	392,5	20,0	39,7	69,0	113,5	5,0	11,5
HGM (m)	0,8	1,1	4,7	8,6	-0,2	0,6	-0,9	4,4
AGM (cm)	1,9	1,6	9,6	8,6	-0,6	0,3	-3,3	1,6
KL 04, Uudistuskypsät metsiköt								
V (m ³ /ha)	27,0	28,3	9,2	30,0	9,6	-6,9	3,3	-7,4
PPA (m ² /ha)	2,2	5,0	7,2	36,3	0,6	-2,9	1,8	-21,3
N (kpl/ha)	239,0	437,5	18,7	72,0	54,0	-209,6	4,3	-34,5
HGM (m)	0,9	2,3	4,2	15,8	-0,2	1,8	-1,1	12,7
AGM (cm)	2,1	4,4	8,0	19,8	-0,5	3,5	-1,7	15,8

Kuvioille laadittiin puustotunnusten regressiomallit laserpiirteiden avulla koealatasolla. Saatujen tulosten perusteella ennustettiin puustotunnuksille keskineliövirheen neliöjuuret, suhteelliset ja absoluuttiset (RMSE). Tutkimuksesta saatiin seuraavat RMSE-virheet: pohjapinta-ala 2,0 neliometriä hehtaarille (8.3 %), runkoluku 274 kappaletta hehtaarille (18.1 %), keskiläpimitta 1,9 senttimetriä (9.5 %), keskipituus 1,9 metriä (5,3 %) ja tilavuus 19,8 kuutiometriä hehtaarille (9,8 %). Näitä tuloksia voidaan pitää hyvinä tuloksina verrattuna SOLMU-oppaan (Solmu 2009.) mukaisiin maastossa tehtäviin kuvioittaisen arvioinnin sallimiin rajoihin. (Suvanto – Maltamo – Packalén – Kangas. 2005).

Kittilän kuviopohjaisen tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että keskiläpimitan ja keskipituuden osalta saatiin lähes samansuuruisia luotettavuusarvoja kuin UPM-Kymmene Oy:n tutkimuksessa. Muutoin tuloksissa voi havaita melkoisen suuriakin poikkeamia. On kuitenkin muistettava, että kuviotason mittauksissa on monta muuttujaa aiheuttamassa otantavirhettä eikä kuviotasolla suoritetuissa mittauksissa/arvioinneissa saada yhtä luotettavia tuloksia kuin koealatasolla tapahtuvissa mittauksissa. Huomionarvoista on myös se, että yleisesti ottaen eri metsäyhtiöiden metsät ovat hyvin hoidettuja tasarakenteisia ja selkeäkuvioisia metsiköitä. Tällaisille metsiköille on helpompi tuottaa luotettavia tuloksia laserkeilausmenetelmällä, kuin tavallisiin yksityismetsiin, jotka ovat usein hoitamattomia ja rakenteeltaan epähomogeenisiä.

Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuutta ovat tutkineet Haara ja Korhonen (2004). Tutkimuksessa oli mukana 1304 kuviota, joille arvioitiin metsäsuunnittelijan suorittaman kuvioittaisen arvioinnin luotettavuutta. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 12) on vertailtu tämän tutkimuksen tuloksia Haara ja Korhosen tutkimukseen (Liite 15). Tutkimustulokset ovat siinä suhteessa vertailukelpoisia, että molemmat ovat kuviopohjaisia tutkimuksia ja perustuvat referenssiaineistoltaan metsäsuunnittelijan maastossa tekemiin mittauksiin. Virheellisyyttä tähän tutkimukseen tuo se, että Haara ja Korhosen tutkimuksen vertailuaineistona olivat tarkat koealapohjaiset mittaukset kyseisiltä kuvioilta eikä laserkeilauksesta tuotettu aineisto. Joten tämän vertailun tulokset kertovat vain lähinnä metsäsuunnittelijan mittauksien/arviointien virheellisyyksistä.

Taulukko 12. Puusto-ositteiden ja kuvioiden summapuustotunnusten keskivirheiden (RMSE) ja harhan vertailu Haara & Korhosen tutkimuksen ja tämän tutkimuksen välillä (suluissa suhteelliset keskivirheet ja harhat).

	Mänty		Kuusi		Koivu		Kuvio	
	Keskivirhe, RMSE ja RMSE- %							
	Haara & Korhonen	Kittilä	Haara & Korhonen	Kittilä	Haara & Korhonen	Kittilä	Haara & Korhonen	Kittilä
Ikä (a)	12.4 (21.7)	26.9 (31.1)	17.0 (27.2)	48.2 (79.8)	16.0 (33.1)	28.7 (76.3)	15.9 (28.2)	21.2 (25.3)
PPA (m²/ha)	3.9 (28.4)	5.7 (49.2)	4.4 (43.3)	2.5 (124.2)	2.1 (58.3)	2.1 (80.3)	3.9 (19.6)	4.7 (28.9)
d1.3 (cm)	3.0 (16.2)	5.2 (26.5)	4.1 (21.6)	9.0 (77.6)	4.6 (28.1)	8.0 (79.9)	2.3 (12.6)	3.1 (16.7)
h (m)	2,2 (15.0)	2.6 (20.4)	3.8 (24.0)	6.2 (76.7)	3.5 (23.8)	5.2 (70.5)	2.4 (15.7)	1.7 (12.9)
V (m³/ha)	30.4 (29.3)	32.1 (41.8)	39.7 (43.0)	14.6 (115.8)	16.4 (65.0)	9.5 (74.7)	37.5 (24.8)	27.0 (26.4)
Harha ja Harha- %								
Ikä (a)	-0.9 (-1.5)	4.1 (4.8)	0.5 (0.9)	-21.5 (-35.6)	-2,2 (-4.5)	-2.8 (-7.4)	0.5 (0.9)	2.6 (3.1)
PPA (m²/ha)	-0.5 (-3.4)	2.8 (24.1)	1.0 (9.6)	-1.6 (-76.8)	0.2 (4.7)	-0.8 (-31.2)	0.5 (2.7)	0.5 (2.8)
d1.3 (cm)	0.9 (5.0)	0.9 (4.5)	0.6 (3.1)	-3.4 (-29.4)	-0.3 (-1.8)	-0.4 (-4.4)	0.4 (2.4)	1.4 (7.7)
h (m)	0.2 (1.1)	0.5 (4.0)	0.1 (0.5)	-2.5 (-30.8)	0.01 (0.1)	-0.2 (-2.9)	-0.01 (-0.05)	0.9 (7.2)
V (m³/ha)	-5.7 (-5.5)	17.3 (22.5)	4.1 (4.4)	-7.2 (-57.2)	1.5 (5.7)	-2.9 (-23.0)	2.4 (1.6)	7.2 (7.1)

Haara ja Korhosen tutkimuksessa saatiin kuviokohtaisen keskitilavuuden suhteelliseksi keskivirheeksi 24,8 prosenttia. Tässä tutkimuksessa kuviokohtaisen keskitilavuuden keskivirheeksi laskettiin 26,35 prosenttia. Kehitysluokittain arvo vaihteli 23,58 ja 29,96 prosentin välillä. Myös kuvioittaisissa pohjapinta-aloissa, keskiläpimitoissa ja pituuksissa saavutettiin hyvin samankaltaisia tuloksia. Sen sijaan kuviokohtaisessa keski-ikässä ja tilavuudessa oli vähäistä eroavaisuutta.

Puustokohtaisissa luotettavuusarvoissa oli enemmän eroavaisuutta. Kittilän tuloksia tutkittaessa huomataan, että puulajeista kuusi- ja lehtipuuositteissa on huomattavia eroja, eikä tuloksista saatu hyviä. Myöskään männyn osalta tulokset eivät olleet asettamiemme kriteerien mukaisia. On kuitenkin muistettava, että tämä vertailu osoittaa metsäsuunnittelijoiden tekemien mittauksien ja arviointien tarkkuuksien eroja ja Kittilässä käytetyn maastoreferenssiaineiston mahdollisia virhelähteitä.

Tässä tutkimuksessa poikkeamia tarkasteltiin kriittisesti, kun itseisarvoissa tapahtui yli 20 prosentin ylityksiä. Käytettäessä tätä kriteeriä, antoi tämä tutkimus luotettavaa informaatiota siitä, että keilauspohjaiset tulokset Kittilän

hankkeessa eivät yltäneet vaaditulle tasolle. Summatunnusten tasolla ainoastaan keskiläpimitan keskivirhe 16,71 prosenttia ja keskipituuden keskivirhe 12,88 prosenttia alittivat määritellyn kriteerin. Keski-ian keskivirheeksi saatiin 25,27 prosenttia, pohjapinta-alan 28,93 prosenttia, runkoluvun 100,61 prosenttia ja tilavuuden 26,35 prosenttia. Etenkin runkoluvun estimoinnissa oli suuria eroavaisuuksia ja ne johtuivat pääosiltaan kehitysluokassa 02 tapahtuneesta kuviokohtaisten runkolukumäärien aliarvioinnista. Tällä puustotunnuksella on iso merkitys harkittaessa 02 kehitysluokan nuoren metsän hoitoja ja ensiharvennuksia, jotka tällöin saattavat viivästyä. Voidaankin todeta, ettei Kittilän aineiston puustotunnusten estimointi näiltä osin ollut täysin onnistunut.

Tutkimuksessa kaikki puustotunnukset, kuvioluokittelut ja hakkuuehdotukset kiireellisyyksineen määriteltiin suoraan laserkeilausaineistosta tulkittujen puustotunnusten perusteella käyttäen jyrkkää leikkuria kehitysluokkia, kasvatushakkuu- ja uudistamishdotuksia määriteltäessä. Tulkinnan apuna voidaan tapauskohtaisesti käyttää apuna ilmakuvia sekä laserkeilauksesta saatua pintamalla esimerkiksi metsänomistajan neuvonnan yhteydessä. Kuitenkin kaikki muu metsävaratieto tuotetaan pääsääntöisesti massalaskentana käytettävällä laskentasovelluksella. Myös vanha tietämys alueen metsien tilasta on katsottava eduksi todellista tulkintaa tehtäessä. Tämän tutkimuksen suurimmaksi kysymykseksi nousikin se, että voidaanko laserkeilauksesta johdetuista puustotunnuksista luokitella metsikkökuviot suoraan hakkuiden piiriin tai niiden ulkopuolelle. Tutkimus osoitti, että jyrkän leikkurin käyttö laserkeilausaineiston tulkinnassa ei aiheuta pahoja virheitä ainakaan liian aikaisen harvennuksen suhteen. Toisaalta lepokuvioiden suuren määrän myötä, ja kuten runkolukuvertailu osoitti, voi osa kiireellistäkin toimenpidettä vaativa kuvio jäädä huomioimatta. Tämä on huomionarvoinen seikka varsinkin nuorten kasvatusmetsäkuvioiden ollessa kyseessä.

Kehitysluokkamääritteissä lähimmäksi maastoreferenssiä päästiin kehitysluokassa 03, jossa vain 11 prosenttia kuvioista oli määritelty maastossa eriksi. Kehitysluokassa 02 vastaava arvo oli 40 prosenttia ja kehitysluokassa 04 jo 62 prosenttia eri kehitysluokkaa. Todellisia kehitysluokan 02 kuvioita meni keilaustulkinnassa runsaasti kehitysluokkaan T2 varttuneet taimikot.

Kehitysluokassa 04 luokiteltiin 55 prosenttia kuuluvaksi 03 kehitysluokkaan. Tämä on tutkimuksessa esille tulleista ongelmista suurin, koska huomattavalle osalle todellisia uudistushakkuukuvioita ei voitu keilausaineiston perusteella tuottaa uudistushakkuu esitystä. Täten metsänomistajille ei olisi voitu tuottaa riittävän luotettavia hakkuu- ja hoitotiedotteita. Suomen metsäkeskus teki massalaskentana korjauksia vanhaa aineistoa hyväksikäyttäen tilannetta parantamaan. Luotsitietojen perusteella keilaustiedon tuottamat 03 kehitysluokan kuviot muutettiin kehitysluokkaan 04 kuuluviksi, joille tuotettiin uudistushakkuu esitys. Näitä esityksiä kertyi koko keilausalueelle 3390 kappaletta. Lisäksi 774 kappaletta T2 kehitysluokan kuvioista muutettiin 02 kehitysluokkaan ja näistä kuvioista 553 kappaleelle määriteltiin pääpuulajiksi mänty. Nämä tiedot ajettiin suoraan tietokantaa tehtyjen massakorjauksien yhteydessä.

Pääpuulajien määrittelyssä päästiin ennako-odotuksien vastaisesti jopa ylittävänsä hyvään tulokseen, vain 32 kuviolle tuli eri pääpuulaji. Toisaalta maastossa kasvatushakkuuksi määriteltyjen kuvioiden huomioimatta jääminen ja siirtyminen keilaustulkinnassa lepokuvioiksi on ongelma. Syyt tähän ovat kehitysluokissa 02 ja 03 tapahtuneet laserkeilaustulkinnan aliarviot. Samansuuntainen trendi esiintyi myös kehitysluokassa 04, jossa uudistushakkuukuvioita siirtyi kehitysluokkaan 03. Tosin iso osa näistä kuvioista oli jo hyvin lähellä uudistamiskypsyyttä ja osa kuvioista oli ylittänyt jo uudistamiselle asetetut lakirajat. Hakkuun kiireellisyyden määrittelyssä suuntaus oli oletusarvoisestikin hakkuutapojen määrittelyn kaltainen.

7 POHDINTA

Aikaisemmin jo todettiin, että kuviotason mittauksissa aiheutuu otantavirhettä, eikä kuviotasolla suoritetuissa mittauksissa/arvioinneissa saada täten yhtä luotettavia tuloksia kuin koealatasolla tapahtuvissa mittauksissa. Tässä tutkimuksessa tätä otantavirhettä pyrittiin vähentämään ottamalla kuvio-otokseen 10 eri metsäsuunnittelijan mittaamia metsäkuvioita.

Selittäviä tekijöitä tulosten eroavaisuuteen voidaan hakea osaksi myös siitä, että Lapin metsiin on tehty vasta vähän laserkeilaukseen liittyviä tutkimuksia. Lapin metsien luonne, eri-ikäisyys, epähomogeenisuus, aukkoisuus ja puuston kasvuolosuhteet poikkeavat Etelä-Suomen ja Itä-Suomen metsistä, joissa tutkimusta on tehty enemmänkin. Pohjois-Suomen metsissä on myös paljon taimikoita ja hoitamattomia metsiköitä Etelä-Suomeen verrattuna, mikä lisää variaatioita kuvioiden puustorakenteessa. Lisäksi varsinaisen laserkeilauksen referenssikoealojen lukumäärissä ja sijoittelussa on voinut tapahtua systemaattista virhettä. Kittilän keilausalueen laadunarviointiin kelpuutettiin melko pienialaisia, puustoltaan ”yksiselitteisiä” ja ”normaaleja” kohteita, joita keilauksen tulkinta osasi käsitellä. Tämä on voinut aiheuttaa tuloksiin eroavaisuutta. Onko jo käytäntö suuralueinventoinnissa, että tiedon pääpaino on kokonaispuuston tiedoissa ja puulajikohtaisessa tiedossa sallitaan suurta vaihtelua.

Tulevaisuudessa pitää keskittyä koealojen huolelliseen sijoitteluun. Koealojen tulee sattu alueelle siten, että niiden peittävyys kattaa luotettavasti keilausalueen kaikentyyppiset metsiköt. Myös koealojen määriin ja mittausten huolellisuuteen tulee kiinnittää huomiota, jotta saadaan riittävä puustolaskentapohja erityyppisiä regressioanalyysjä varten. On merkillepantava, että samat laskentamallit eivät välttämättä sovi koko pitkän Suomen vaihtelevien metsiköiden laskentamalleiksi. Laskentamalleja tulisi testata enemmän maantieteellisesti ja laatia esimerkiksi Pohjois-Suomeen alueen omanlaatuisia metsiköitä paremmin kuvaavat laskentamallit. Etelä-Suomen metsiköt ovat pääosin hyvin hoidettuja, joihin keilaus tuottaa hyviä tuloksia. Pohjois-Suomen usein hoitamattomat, eri-ikäisrakenteiset ja aukkoiset metsät poikkeavat merkittävästi Etelä-Suomen metsiköistä.

Yksi keilaustulkinnan tuloksia parantavia keinoja olisi tietenkin laserpulssitiheyden nostaminen korkeammalle tasolle, jolloin saataisiin tarkempaa tulkinta-aineistoa. Tämä on toki kustannuksiltaan kallista, mutta parantaisi tuloksia ainakin epähomogeenisten metsäalueiden keilauksissa. ”Monesti säästö tässä on kulu toisessa.”

Laserkeilaus on kuitenkin tullut jo osaksi metsävaratiedon keruujärjestelmää ja uskonkin sen olevan vasta alkutaipaleella. Kehitystä tulee tapahtumaan vielä roimin harppauksin eteenpäin menetelmien ja tulkintatapojen kehittäessä. Laserkeilaus on seuraava iso harppaus metsäkulttuurimme kehittymisessä jätkätasolta nyt jo ilmatilaan.

LÄHTEET

- Haara, A. – Korhonen, T. 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004.
- Hokajärvi, R. 2010. Tietoteknologian ja suunnittelupalvelujen kehitys metsäsuunnittelijan työn muutoshasteena. Metsätieteen aikakauskirja 4/2010.
- Holopainen, M. 2011. Laserkeilaus osana puuhuoltoa. Metsätehon seminaari 24.5.2011.
- Holopainen, M. 2011. Esimerkki lentolaserkeilauksella mitatusta metsikkökoealasta. Laserkeilaus osana puuhuoltoa. Metsätehon seminaari 24.5.2011. Kuvan © Risto Viitala (Hämeen AMK), Markus Holopainen (HY) & Juha Hyyppä (FGI).
- Holopainen, M. 2013. Lasersäde määrittelee metsän. Metsälehti 5/2013.
- Holopainen, M. – Hyyppä, J. – Vastaranta, M. – Hyyppä, H. 2011. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. The Photogrammetric Journal of Finland. Vol. 22/3.
- Holopainen, M. – Tuominen, S. – Karjalainen, M. – Hyyppä, J. – Hyyppä, H. – Vastaranta, M. – Hujala, T. – Tokola, T. 2009. Korkearesoluutioiden E-SAR tutkakuvien tarkkuus puustotunnusten koealatasen estimoinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009.
- Hyyppä, H. – Hyyppä, J. 1999. Comparing the Accuracy of Laser Scanner with Other Optical Remote Sensing Data Sources for Stand Attribute Retrieval. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 16/2.
- Hyyppä, H. – Inkinen, M. 1999. Detecting and Estimating Attributes for Single Trees Using Laser Scanner. The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 16/2.
- Juujärvi, A. 2013. Metsätietopäällikkö. Suomen metsäkeskus, julkiset palvelut. Lappi. Sähköpostikeskustelu 8.3.2013.
- Juujärvi, A. 2012. Metsätietopäällikkö. Suomen metsäkeskus, julkiset palvelut, Lappi. Haastattelu, Lapin Kansa 18.7.2011.
- Kalliovirta, J. – Tokola, T. 2005. Functions for Estimating Stem Diameter and Tree Age Using Tree Height, Crone Width and Existing Stand Database Information. Silva Fennica, Vol. 39/2.
- Korpela, I. 2004. Individual Tree Measurements by Means of Digital Aerial Photogrammetry. Silva Fennica, 3/2004.

- Korpela, I. 2011. Metsikkökoealojen Kartoitus ja Mittaus. Digitaalis-fotogrammetrinen mittausmenetelmä. Osoitteessa: http://www.helsinki.fi/~korpela/MARV1_2011/Mittausmenetelma.html. Päivitetty 10.6.2011.
- Korpela, I. – Ørka, H. – Maltamo, M. – Tokola, T. – Hyyppä, J. 2010. Tree Species Classification Using Airborne LiDAR – Effects of Stand and Tree Parameters, Downsizing of Training set, Intensity Normalization and Sensor Type. *Silva Fennica*. Vol. 44/2.
- Laaksonen, H. 2009. Maanmittauslaitoksen uusi valtakunnallinen korkeusmalli laserkeilaamalla: Hyöty ja mahdollisuudet. Pro gradu. Maantieteen laitos. Helsingin yliopisto. Helsinki 2009.
- Laine, J. 2010. Laserkeilausmenetelmä taimikoiden hoitotarpeen ja –ajoituksen määrittelyssä. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma.
- Maltamo, M. – Eerikäinen, K. – Packalén, P. – Hyyppä, J. 2006. Estimation of Stem Volume Using Laser Scanning-based Canopy Height Metrics. *An International Journal of Forest Research. Forestry* 2006, 79/2.
- Maltamo, M. – Packalén, P. – Uuttera, J. – Autere, E. 2007. Laserkeilauksella tehoa ja tarkkuutta metsän inventointiin. Maanmittauslaitos. Kirjapaino Uusimaa, Porvoo. Positio 2007/2.
- Maltamo, M. – Packalén, P. – Uuttera, J. – Ärölä, E. – Heikkilä, J. 2008. Laserkeilaustulkinnan hyödyntäminen metsäsuunnittelun tietolähteenä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008.
- Maltamo, M. – Peuhkurinen, J. – Malinen, J. – Vauhkonen, J. – Packalén, P. – Tokola, T. 2009. Predicting Tree Attributes and Quality Characteristics of Scots Pine Using Airborne Laser Scanning Data. *Silva Fennica*, Vol. 43/3.
- Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät: Otokset, otosjakaumat ja estimointi. Oppikirja, PDF-versio. Helsingin yliopisto. Osoitteessa: <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/>. Päivitetty 13.8.2006.
- Metsäntutkimuslaitos 2013. Valtakunnan metsien inventointi (VMI). Luotettavia metsävaratietoja 1920-luvulta lähtien. Osoitteessa: <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/info.htm>. Päivitetty 26.7.2012.
- Næsset, E. 1997. Determination of Mean Tree Height of Forest Stands Using Airborne Laser Scanner Data. *ISPRS, The Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52.
- Närhi, M. – Maltamo, M. – Packalén, P. – Peltola, H. – Soimasuo, J. 2008. Kuusen taimikoiden inventointi ja taimikonhoidon kiireellisyyden määrittäminen laserkeilauksen ja metsäsuunnittelmatietojen avulla. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2008.

- Packalén, P. 2007. Kuva: Laserkeilainaineistosta muodostettu pisteparvi metsikkökoealalta. Teoksesta: Laserkeilauksella tehoa ja tarkkuutta metsän inventointiin. Maanmittauslaitos. Kirjapaino Uusimaa, Porvoo. Positio 2007/2.
- Pajuoja, H: 2013. Puukauppojen tekoon helpotusta. Metsälehti 4/2013.
- Pihlava, M. 2008. Laserkeilaus mittaa metsät yhden puun tarkkuudella. Tekniikka ja talous. Osoitteessa: <http://www.tekniikkatalous.fi/metsa/laserkeilaus+mittaa+metsat+yhden+puun+tarkkuudella/a77320> . Päivitetty 18.4.2008
- Raaterova, J. 2009. Laserkeilausmenelmän luotettavuus metsävarojen inventoinnissa, tutkimustuloksia Pisavaaran ja Louevaaran alueelta. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu: Maa- ja metsätalouden koulutusohjelma.
- Ranta, R. (toim) 1986. Metsätaloussuunnittelu. Tapion Taskukirja 1986. Gummerus Oy:n Kirjapaino, Jyväskylä.
- Suomen Metsäkeskus. 2012a. Metsätilojen tiedot. Osoitteessa: <http://www.metsakeskus.fi/metsatilojen-tiedot/tietojen-keruu>. Päivitetty 19.01.2012.
- Suomen Metsäkeskus. 2012b. Suomen metsäkeskuksen metsävaratiedon laatuseloste. Muistio 6.11.2012.
- Suvanto, A. – Maltamo, M. – Packalén, P. – Kangas, J. 2005. Kuviokohtaisten puustotunnusten ennustaminen laserkeilauksella. Metsätieteen aikakausikirja 4/2005.
- Tapion Taskukirja. 1986. Kuva: Perinteinen metsätaloussuunnitelmakartta. Gummerus Oy:n Kirjapaino 1986
- Ylimartimo, J. 2012. Metsävaratiedon tuottaminen ja hyödyntäminen yksityismetsätaloudessa. Suomen Metsäkeskus. Puhe Päättäjien Metsäakatemiassa 33. 1.10.2012. Suomen Metsäyhdistys Ry. Osoitteessa: <http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/WebPuheetSMYFITekija?OpenView&Start=1&Count=30&Expand=24&Name=Puheet%20ja%20alustukset%20tekij%C3%B6itt%C3%A4in!!db%3Dsm%2FSMYdeve.nsf!!view%3DWebPuheetSMYFITekija#24>.
- Villikka, M. – Maltamo, M. – Packalén, P. – Vehmas, M. – Hyyppä, J. 2008. Alternatives for Predicting Tree-Stem Volume of Norway Spruce Using Airborne Laser Scanning. Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 20/2.
- Vastaranta, M. 2012. Metsien kartoitus ja seuranta 3D-kaukokartoituksella. Seloste väitöskirjasta. Metsätieteen aikakausikirja 3/2012.

- Vastaranta, M. – Holopainen, M. – Xiaowei, Y. – Hyyppä, H. – Hyyppä, J. – Viitala, R. 2010. Determination of Stand First-Thinning Maturity Using Airborne Laser Scanning. Freiburg, Germany. Silvilaser conference proceedings 2010.
- Vastaranta, M. – Holopainen, M. – Yu, X. – Haapanen, R. – Melkas, T. – Hyyppä, J. – Hyyppä, H. 2011. Individual Tree Detection and Area-Based Approach in Retrieval of Forest Inventory Characteristics from Low-Pulse Airborne Laser Scanning Data. The Photogrammetric Journal of Finland. Vol. 22/2.
- Vauhkonen, J. 2010. Estimating Single-Tree Attributes by Airborne Laser Scanning: Methods Based on Computational Geometry on the 3-D Point Data. University of Eastern Finland, School of Forest Sciences. Dissertationes Forestales 104.
- Vauhkonen, J. 2009. Taksaattoriklubin seminaari, Paikkatietomarkkinat 2009. Dia-sarja: Puulajitulkinta laserdatasta. Itä-Suomen Yliopisto 3.11.2009.
- Villikka, M. – Maltamo, M. – Packalén, P. – Vehmas, M. – Hyyppä, J. 2008. Alternatives for Predicting Tree-Stem Volume of Norway Spruce Using Airborne Laser Scanning. Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 20/2.
- Yu, X. – Hyyppä, J. – Holopainen, M. – Vastaranta, M. 2010. Comparison of Area-Based and Individual Tree-Based Methods for Predicting Plot-Level Forest Attributes. Remote Sensing. Vol. 2/6

LIITTEET

- Liite 1. Kehitysluokka-, harvennus- ja uudistamisrajat.
- Liite 2. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokat kehitysluokittain.
- Liite 3. Laserkeilauksesta johdetut pääpuulajit kehitysluokittain.
- Liite 4. Laserkeilauksesta johdetut hakkuutavat kehitysluokittain.
- Liite 5. Laserkeilauksesta johdetut hakkuun kiireellisyydet kehitysluokittain.
- Liite 6. Summatunnusten luotettavuusarvot.
- Liite 7. Summatunnusten yli- ja aliarvioiden keskiarvot.
- Liite 8. Männyn hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain.
- Liite 9. Männyn yli- ja aliarvioiden keskiarvot.
- Liite 10. Kuusen hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain.
- Liite 11. Kuusen yli- ja aliarvioiden keskiarvot.
- Liite 12. Lehtipuuston hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain.
- Liite 13. Lehtipuuston yli- ja aliarvioiden keskiarvot.
- Liite 14. Kehitysluokittain laskettujen luotettavuustunnusten vertailu
- Liite 15. Vertailutaulukko Haara & Korhosen (2004) Varkauden tutkimuksen ja Kittilän tutkimuksen välillä.
- Liite 16. Summatunnusten keski-ian ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 17. Summatunnusten runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 18. Summatunnusten keskipituuden ja tilavuuden virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 19. Summatunnusten keski-ian ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 20. Summatunnusten runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 21. Summatunnusten runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 22. Summatunnusten keski-ian ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 23. Summatunnusten runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 24. Summatunnusten runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ian funktiona funktiona kehitysluokassa 04.

- Liite 25. Summatunnusten keski-ään (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 26. Summatunnusten pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 27. Summatunnusten runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 28. Summatunnusten keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 29. Summatunnusten keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 30. Summatunnusten keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 31. Summatunnusten keski-ään (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 32. Summatunnusten pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 33. Summatunnusten runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 34. Summatunnusten keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 35. Summatunnusten keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 36. Summatunnusten keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 37. Summatunnusten keski-ään (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 38. Summatunnusten pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 39. Summatunnusten runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 40. Summatunnusten keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 41. Summatunnusten keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 42. Summatunnusten keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.

- Liite 43. Männyn keski-ikä ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 44. Männyn runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 45. Männyn keskipituuden ja tilavuuden virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 46. Männyn keski-ikä ja pohjapinta-alan virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 47. Männyn runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 48. Männyn keskipituuden ja tilavuuden kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 49. Männyn keski-ikä ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 50. Männyn runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 51. Männyn keskipituuden ja tilavuuden kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-ikä funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 52. Männyn keski-ikä (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 53. Männyn pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 54. Männyn runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 55. Männyn keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 56. Männyn keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 57. Männyn keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 58. Männyn keski-ikä (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 59. Männyn pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 60. Männyn runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 61. Männyn keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 62. Männyn keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 63. Männyn keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 64. Männyn keski-ikä (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 65. Männyn pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 66. Männyn runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 67. Männyn keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 68. Männyn keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 69. Männyn keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.

- Liite 70. Kuusen keski-iän ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 71. Kuusen runkoluvun ja keskiläpimitan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 72. Kuusen keskipituuden ja tilavuuden kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 73. Kuusen keski-iän ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 74. Kuusen runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 75. Kuusen keskipituuden ja tilavuuden kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 76. Kuusen keski-iän ja pohjapinta-alan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 77. Kuusen runkoluvun ja keskiläpimitan kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 78. Kuusen keskipituuden ja tilavuuden kuviokohtaiset virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 79. Kuusen keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 80. Kuusen pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 81. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 82. Kuusen keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 83. Kuusen keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 84. Kuusen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 85. Kuusen keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 86. Kuusen pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 87. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 88. Kuusen keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 89. Kuusen keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 90. Kuusen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 91. Kuusen keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 92. Kuusen pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 93. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 94. Kuusen keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 95. Kuusen keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 96. Kuusen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.

- Liite 97. Lehtipuun keski-iän ja pohjapinta-alan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 98. Lehtipuun runkoluvun ja keskiläpimitan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 99. Lehtipuun keskipituuden ja tilavuuden virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 02.
- Liite 100. Lehtipuun keski-iän ja pohjapinta-alan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 101. Lehtipuun runkoluvun ja keskiläpimitan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 102. Lehtipuun keskipituuden ja tilavuuden virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 03.
- Liite 103. Lehtipuun keski-iän ja pohjapinta-alan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 104. Lehtipuun runkoluvun ja keskiläpimitan virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 105. Lehtipuun keskipituuden ja tilavuuden virhearvot mitatun keski-iän funktiona funktiona kehitysluokassa 04.
- Liite 106. Lehtipuun keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 107. Lehtipuun pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 108. Lehtipuun runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 109. Lehtipuun keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 110. Lehtipuun keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 111. Lehtipuun keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.
- Liite 112. Lehtipuun keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 113. Lehtipuun pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 114. Lehtipuun runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 115. Lehtipuun keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 116. Lehtipuun keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.

- Liite 117. Lehtipuun keskitilavuuden (m^3/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.
- Liite 118. Lehtipuun keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 119. Lehtipuun pohjapinta-alan (m^2/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 120. Lehtipuun runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 121. Lehtipuun keskiläpimitan (d1.3) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 122. Lehtipuun keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.
- Liite 123. Lehtipuun keskitilavuuden (m^3/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.

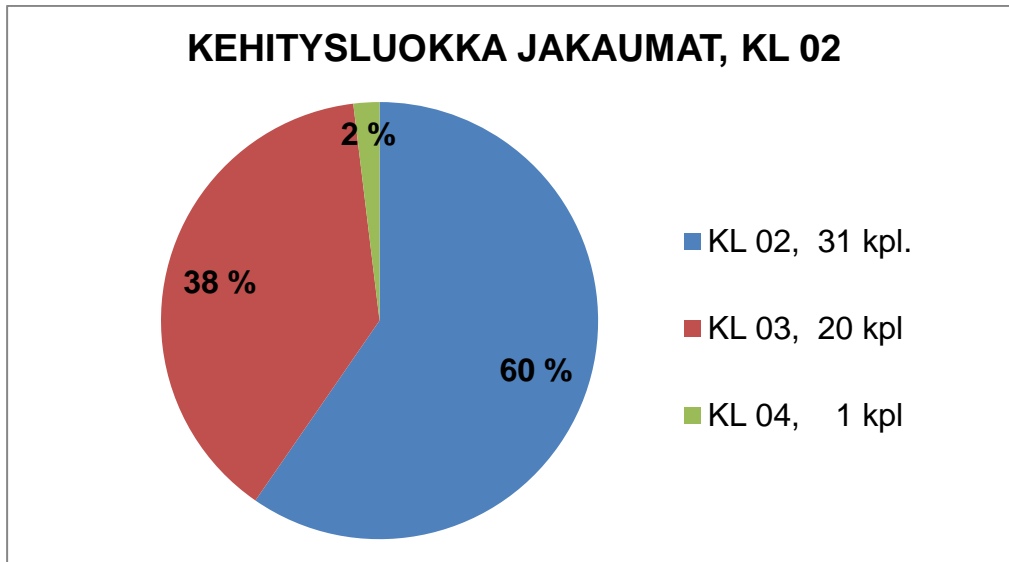
KEHITYSLUOKKA-, HARVENNUS- JA UUDISTAMISRAJAT

KEHITYSLUOKKARAJAT			
KL	Ppl	h, m	lpm, cm
02	MÄNTY	7 m < -	8 cm < - < 16 cm
	LEHTIPUU	9 m < -	
03	MÄNTY	7 m < -	16 cm < - < 22 cm
	KUUSI		16 cm < - < 22 cm
	LEHTIPUU	9 m < -	16 cm < - < 19 cm
04	MÄNTY	7 m < -	22 cm < -
	KUUSI		22 cm < -
	LEHTIPUU	9 m < -	19 cm < -

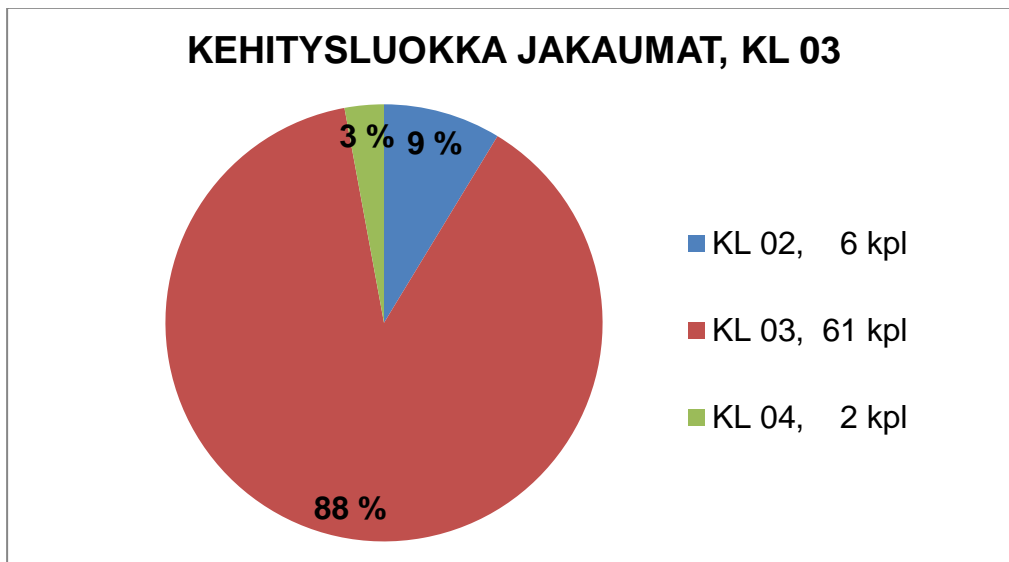
UUDISTAMISRAJAT					
PL	Kasvu- paikka	Suositus alaraja		Lakiraja	
		Lpm	Ikä	Lpm	Ikä
MÄ	Tuore	23	100	22	80
	Kuivahko	22	110	21	90
	Kuiva	21	130	20	110
KU	Lehtom.	23	110	22	90
	Tuore	22	110	21	100
KO	Hiesk.	18	50	18	50
	Raudusk.	20		20	

HARVENNUSRAJAT (ppa)						
Kangasmaan leimausrajat						
MT, Tuoreet kankaat						
PL \ h, m	9	11	13	15	17	19
MÄNTY	16,0	19,0	21,3	23,2	24,2	24,2
KUUSI	16,0	19,0	21,3	23,2	24,2	24,2
LEHTIPUU	13,0	14,0	17,0	19,0	20,2	21,0
VT, Kuivankot kankaat						
PL \ h, m	9	11	13	15	17	19
MÄNTY	13,0	16,5	19,5	21,5	22,5	22,4
KUUSI	13,0	16,5	19,5	21,5	22,5	22,4
LEHTIPUU	13,0	14,0	17,0	19,0	20,2	21,0
CT, Kuivat kankaat						
PL \ h, m	9	11	13	15	17	19
MÄNTY	12,0	15,8	18,3	19,8	19,8	19,8
KUUSI	12,0	15,8	18,3	19,8	19,8	19,8
LEHTIPUU	12,0	15,8	18,3	19,8	19,8	19,8

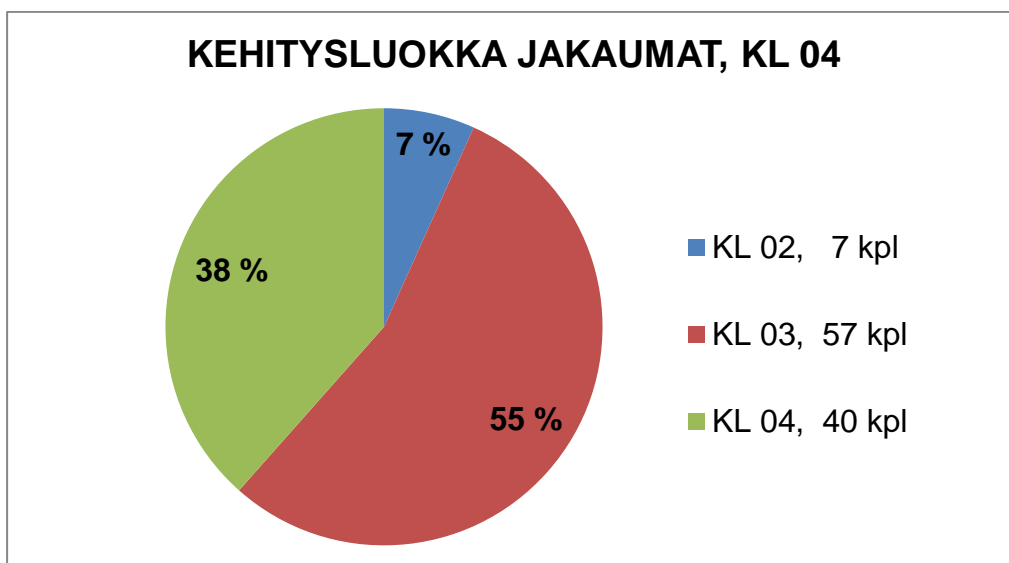
LASERKEILAUKSESTA JOHDETTU KEHITYSLUOKKA



Kuvio 13. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokkajakaumat luokassa 02.

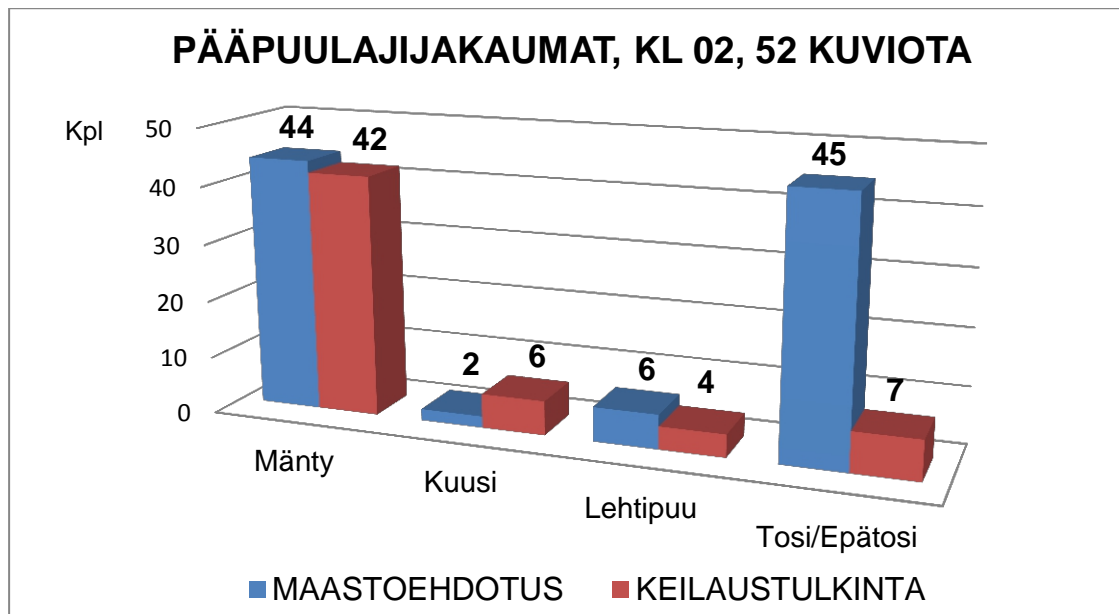


Kuvio 14. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokkajakaumat luokassa 03.

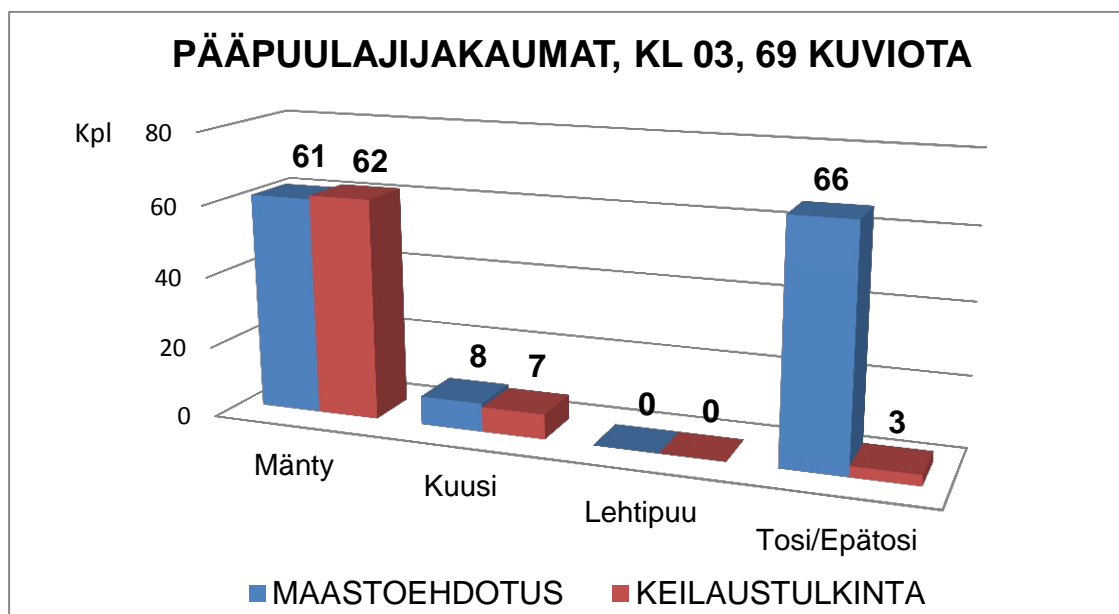


Kuvio 15. Laserkeilauksesta johdetut kehitysluokkajakaumat luokassa 04.

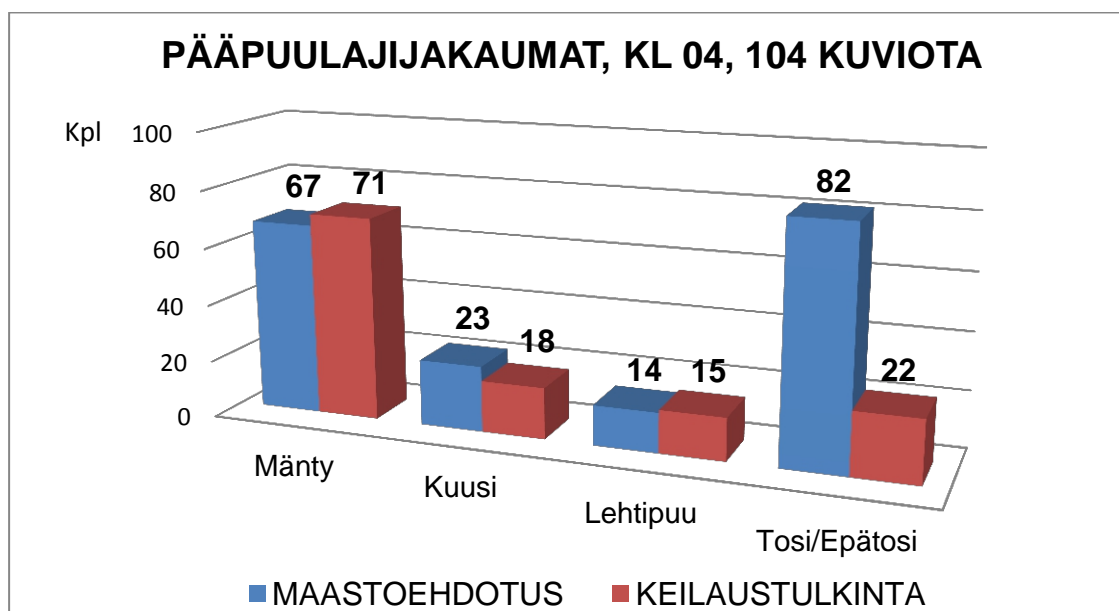
LASERKEILAUKSESTA JOHDETTU PÄÄPUULAJI



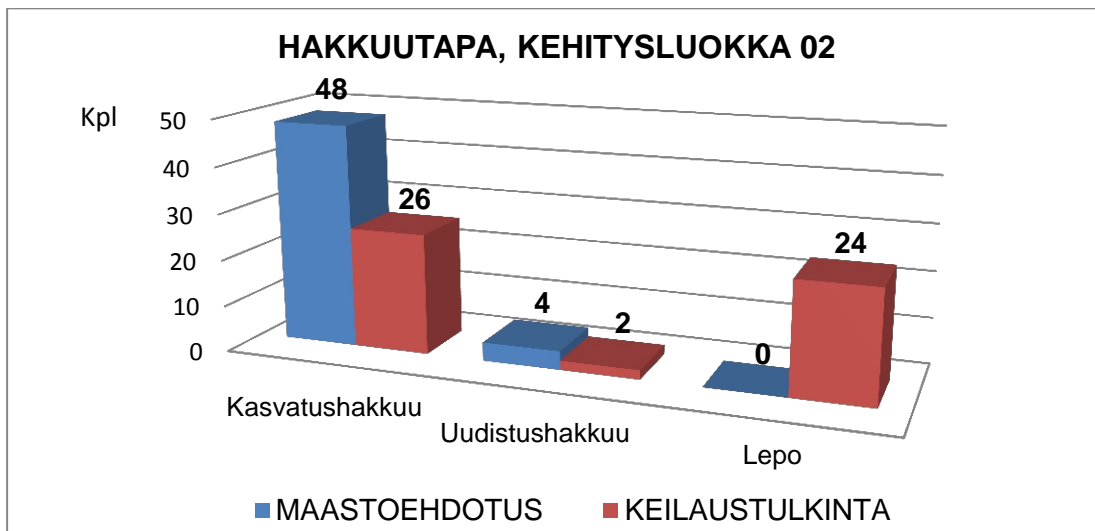
Kuvio 16. Laserkeilauksesta johdetut pääpuulajijakaumat kehitysluokassa 02.



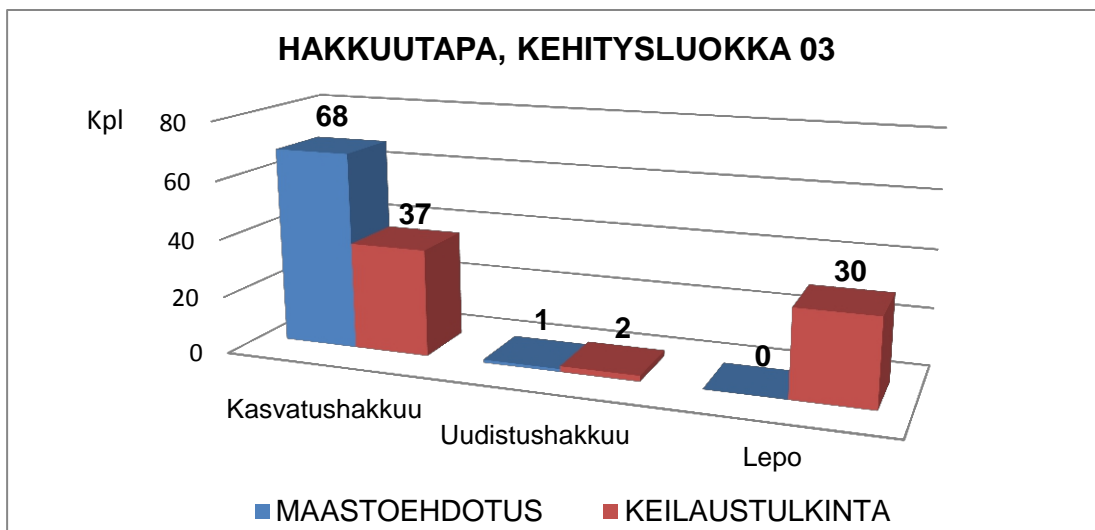
Kuvio 17. Laserkeilauksesta johdetut pääpuulajijakaumat kehitysluokassa 03.



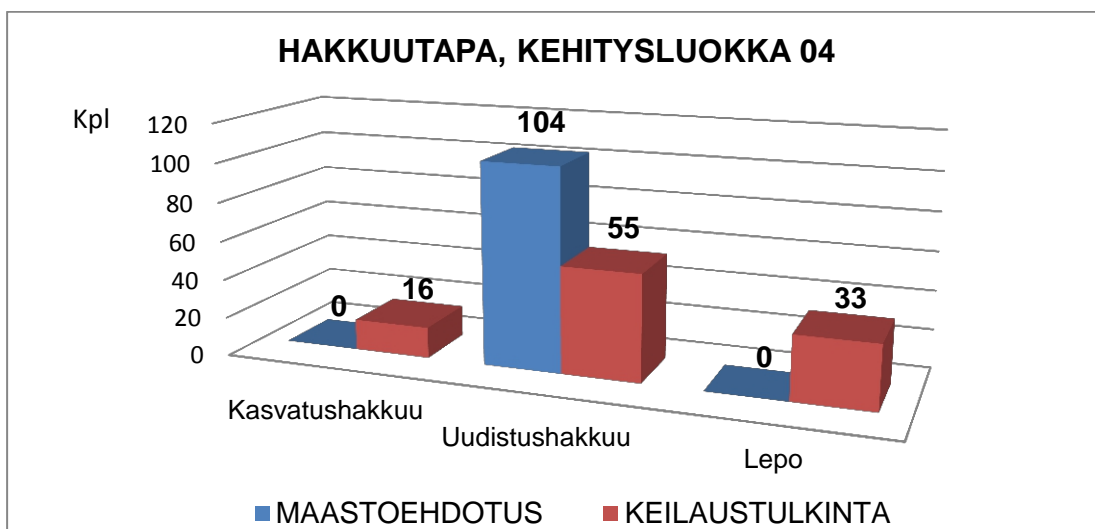
Kuvio 18. Laserkeilauksesta johdetut pääpuulajijakaumat kehitysluokassa 04.



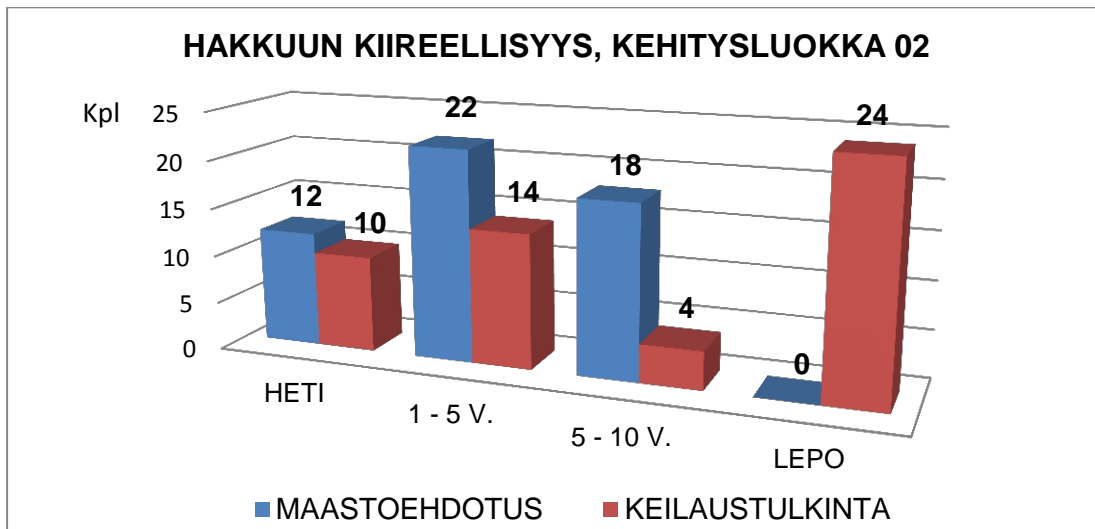
Kuvio 19. Hakkuuehdotusten vertailu kehitysluokassa 02



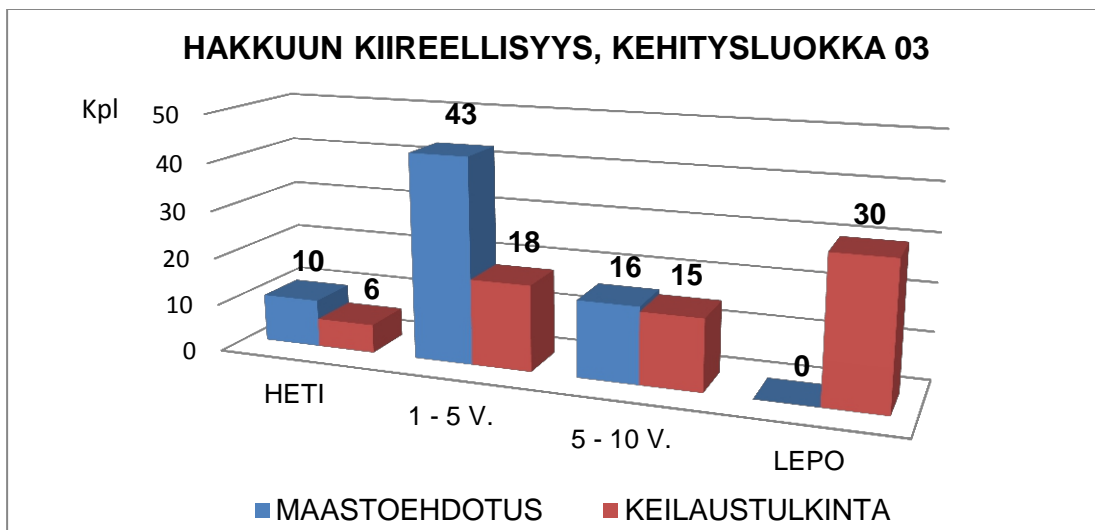
Kuvio 20. Hakkuuehdotusten vertailu kehitysluokassa 03.



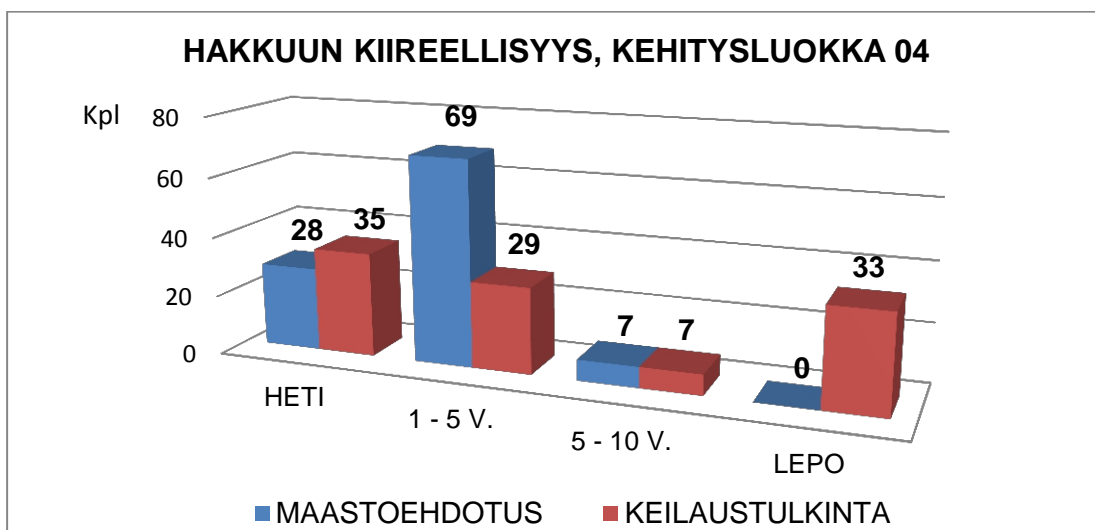
Kuvio 21. Hakkuuehdotusten vertailu kehitysluokassa 04.



Kuvio 22. Hakkuukiireellisyyden vertailu kehitysluokassa 02.



Kuvio 23. Hakkuukiireellisyyden vertailu kehitysluokassa 03.



Kuvio 24. Hakkuukiireellisyyden vertailu kehitysluokassa 04.

SUMMATUNNUKSIEN LUOTETTAVUUSARVOT:

TAULUKKO 3: Laserkeilauksesta johdettujen summatunnusten hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain verrattuna maastomittauksiin.

<i>Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna</i>						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	50	16.7	2095	13.0	9.4	82.6
LASERKEILAUS ka.	58	14.5	1655	14.1	9.6	73.2
RMSE-VIRHE	18.05	4.48	1856.88	2.19	0.99	20.73
RMSE-%	36,15	26,86	88,65	16,82	10,50	25,11
HARHA	-9,36	2,74	-49,42	-0,17	0,08	12,15
HARHA-%	-18,74	16,40	-2,36	-1,31	0,89	14,71
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	19.7	989	18.2	13.3	129.2
LASERKEILAUS ka.	80	18.0	887	18.0	12.6	113.0
RMSE-VIRHE	14.39	4.50	392.50	1.57	1.14	30.47
RMSE-%	18.38	22.90	39.69	8.60	8.58	23.58
HARHA	-4,14	2,75	113,54	0,29	0,58	21,64
HARHA-%	-5,29	13,99	11,48	1,59	4,37	16,75
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	104	13,7	607	22,0	14,3	94,4
LASERKEILAUS ka.	87	17,2	832	18,4	12,3	104,8
RMSE-VIRHE	26,76	4,96	437,50	4,36	2,26	28,29
RMSE-%	25,62	36,30	72,03	19,77	15,81	29,96
HARHA	16,33	-2,90	-209,56	3,48	1,81	-6,94
HARHA-%	15,64	-21,26	-34,50	15,80	12,70	-7,35
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	84	16,2	1068	18,8	12,9	102,4
LASERKEILAUS ka.	78	16,8	1039	17,3	11,8	100,0
RMSE-VIRHE	21,18	4,69	1074,71	3,14	1,66	26,97
RMSE-%	25,27	28,93	100,61	16,71	12,88	26,35
HARHA	2,59	0,46	-66,03	1,44	0,93	7,23
HARHA-%	3,09	2,83	-6,18	7,68	7,24	7,06

**LASERKEILAUSTULOSTEN YLI- JA ALIARVIOT VERRATTUNA
MAASTOMITTAUKSIIN**

Taulukko 4. Summatunnusten yli- ja aliarvioiden keskiarvot

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	50	16,7	2095	13,0	9,4	82,6
LASERKEILAUS ka.	58	14,5	1655	14,1	9,6	73,2
ALIARVIOIDEN ka.	-12	-4,0	-880	-1,1	-0,7	-20,2
YLIARVIOIDEN ka.	18	1,9	882	2,2	0,9	11,1
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	19,7	989	18,2	13,3	129,2
LASERKEILAUS ka.	80	18,0	887	18,0	12,6	113,0
ALIARVIOIDEN ka.	-9	-3,2	-299	-1,6	-1,1	-23,3
YLIARVIOIDEN ka.	10	2,1	205	0,8	0,6	11,8
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	104	13,7	607	22,0	14,3	94,4
LASERKEILAUS ka.	87	17,2	832	18,4	12,3	104,8
ALIARVIOIDEN ka.	-27	-2,0	-933	-4,0	-2,1	-18,6
YLIARVIOIDEN ka.	8	4,5	335	0,9	0,5	22,6
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	84	16,2	1068	18,8	12,9	102,4
LASERKEILAUS ka.	78	16,8	1039	17,3	11,8	100,0
ALIARVIOIDEN ka.	-21	-3,3	-614	-3,2	-1,6	-21,2
YLIARVIOIDEN ka.	12	3,8	362	1,4	0,8	19,2

MÄNNYN LUOTETTAVUUSARVOT:

TAULUKKO 5: Laserkeilauksesta johdettujen männyn puustotunnusten hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain verrattuna maastomittauksiin.

<i>Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna</i>						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	53	12,7	1378	13,4	9,5	64,8
LASERKEILAUS ka.	57	8,3	513	15,9	10,1	46,5
RMSE-VIRHE	15,94	7,31	1207,80	3,11	1,45	30,46
RMSE-%	30,03	57,57	87,63	23,20	15,26	46,99
HARHA	-7,24	5,60	911,44	-2,02	-0,60	22,14
HARHA-%	-13,64	44,08	66,13	-15,03	-6,32	34,16
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	16,4	728	18,1	13,1	110,2
LASERKEILAUS ka.	81	13,3	578	18,6	12,8	87,8
RMSE-VIRHE	13,84	6,06	296,48	2,57	1,71	37,41
RMSE-%	17,66	36,93	40,74	14,18	13,00	33,95
HARHA	-3,36	4,28	194,91	-0,25	0,27	28,62
HARHA-%	-4,30	26,07	26,78	-1,40	2,06	25,98
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	109	7,9	193	23,5	14,3	61,0
LASERKEILAUS ka.	91	8,7	329	20,0	13,0	58,1
RMSE-VIRHE	38,20	3,79	200,64	7,34	3,64	29,04
RMSE-%	35,09	47,84	103,70	31,22	25,43	47,59
HARHA	17,99	-0,35	-115,50	3,83	1,52	5,55
HARHA-%	16,53	-4,44	-59,71	16,31	10,65	9,09
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	87	11,6	631	19,5	12,8	77,0
LASERKEILAUS ka.	80	10,0	448	18,6	12,3	64,5
RMSE-VIRHE	26,89	5,72	692,02	5,16	2,62	32,14
RMSE-%	31,06	49,17	109,65	26,45	20,39	41,75
HARHA	4,12	2,80	283,69	0,87	0,52	17,34
HARHA-%	4,76	24,08	44,95	4,47	4,03	22,53

MÄNNYN LASERKEILAUSTULOSTEN YLI- JA ALIARVIOT VERRATTUNA MAASTOMITTAUKSIIN

Taulukko 6. Männyn yli- ja aliarvioiden keskiarvot

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	53	12,7	1378	13,4	9,4	64,8
LASERKEILAUS ka.	57	8,3	513	15,9	10,1	46,5
ALIARVIOIDEN ka.	-15	-6,7	-1103	-0,9	-0,8	-31,0
YLIARVIOIDEN ka.	15	2,0	132	3,2	1,3	10,1
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	78	16,4	728	18,1	13,1	110,2
LASERKEILAUS ka.	81	13,3	578	18,6	12,8	87,8
ALIARVIOIDEN ka.	-10	-4,3	-219	-1,5	-1,1	-28,3
YLIARVIOIDEN ka.	11	3,1	177	1,9	1,5	22,5
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	109	7,9	193	23,5	14,3	61,0
LASERKEILAUS ka.	91	8,7	329	20,0	13,0	58,1
ALIARVIOIDEN ka.	-36	-2,9	-172	-5,7	-2,4	-26,6
YLIARVIOIDEN ka.	22	3,3	164,4	9,3	6,3	18,2
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	87	11,6	631	19,5	12,8	77,0
LASERKEILAUS ka.	80	10,0	448	18,6	12,3	64,5
ALIARVIOIDEN ka.	-26	-4,5	-559	-4,4	-1,9	-28,4
YLIARVIOIDEN ka.	16	3,0	163	3,6	2,3	17,0

KUUSEN LUOTETTAVUUSARVOT:

Taulukko 7: Kuusen hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain

<i>Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna</i>						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	37	0,9	72	7,4	5,1	4,5
LASERKEILAUUS ka.	66	2,8	302	12,7	8,7	13
RMSE-VIRHE	47,53	2,56	431,38	9,04	6,25	10,55
RMSE-%	127,22	292,79	600,09	122,30	122,89	233,81
HARHA	-32,99	-2,24	-338,31	-6,59	-4,61	-8,97
HARHA-%	-88,30	-256,56	-470,63	-89,15	-90,53	-198,81
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	45	1,7	85	9,6	6,6	10,6
LASERKEILAUUS ka.	73	2,4	141	13,7	9,7	13,7
RMSE-VIRHE	55,26	1,88	148,45	10,98	7,44	12,22
RMSE-%	121,54	113,89	173,97	114,30	112,34	115,73
HARHA	-25,91	-0,80	-55,50	-2,93	-2,56	-3,72
HARHA-%	-56,98	-48,63	-65,04	-30,51	-38,66	-35,24
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	82	2,8	136	15,1	10,4	18,0
LASERKEILAUUS ka.	96	4,5	220	17,1	11,7	26,5
RMSE-VIRHE	42,81	2,85	152,68	7,30	4,91	18,29
RMSE-%	52,32	100,48	112,66	48,24	47,13	101,54
HARHA	-9,79	-1,58	-80,85	-1,43	-0,83	-8,46
HARHA-%	-11,97	-55,88	-59,66	-9,47	-7,96	-46,97
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	60	2,0	105	11,7	8,0	12,6
LASERKEILAUUS ka.	82	3,5	215	15,0	10,4	19,4
RMSE-VIRHE	48,18	2,51	267,68	9,04	6,15	14,59
RMSE-%	79,77	124,21	253,91	77,60	76,67	115,75
HARHA	-21,50	-1,55	-150,40	-3,42	-2,47	-7,21
HARHA-%	-35,60	-76,75	-142,67	-29,35	-30,81	-57,21

KUUSEN LASERKEILAUSTULOSTEN YLI- JA ALIARVIOT VERRATTUNA MAASTOMITTAUKSIIN

Taulukko 8. Kuusen yli- ja aliarvioiden keskiarvot

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	37	0,9	72	7,4	5,1	4,5
LASERKEILAUS ka.	66	2,8	302	12,7	8,7	13,0
ALIARVIOIDEN ka.	-30	-0,7	-61	-2,6	-1,2	-4,3
YLIARVIOIDEN ka.	46	2,2	254	8,2	6,5	9,5
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	45	1,7	85	9,6	6,6	10,6
LASERKEILAUS ka.	73	2,4	141	13,7	9,7	13,7
ALIARVIOIDEN ka.	-23	-2,3	-158	-4,6	-2,6	-14,9
YLIARVIOIDEN ka.	47	1,4	87	9,3	6,9	7,8
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	82	2,8	136	15,1	10,4	18,0
LASERKEILAUS ka.	96	4,5	220	17,1	11,7	26,5
ALIARVIOIDEN ka.	-23	-2,2	-151	-3,8	-2,1	-16,8
YLIARVIOIDEN ka.	41	2,6	119	8,0	5,9	15,6
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	60	2,0	105	11,7	8,0	12,6
LASERKEILAUS ka.	82	3,5	215	15,0	10,4	19,4
ALIARVIOIDEN ka.	-24	-2,1	-140	-3,8	-2,1	-14,9
YLIARVIOIDEN ka.	44	2,1	142	8,5	6,4	11,6

LEHTIPUUSTON LUOTETTAVUUSARVOT:Taulukko 9: *Lehtipuuston hehtaarikohtaiset luotettavuusarvot kehitysluokittain*

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	29	3,1	644	8,2	6,3	13,2
LASERKEILAUS ka.	40	3,3	837	9,7	7,7	13,8
RMSE-VIRHE	18,26	2,56	1773,78	4,58	2,99	9,80
RMSE-%	61,95	82,23	275,44	56,13	47,37	74,05
HARHA	-9,88	-0,62	-621,01	-0,19	-0,29	-1,08
HARHA-%	-33,52	-19,85	-96,43	-2,36	-4,55	-8,20
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	28	1,6	153	8,5	6,1	8,4
LASERKEILAUS ka.	40	2,3	169	11,7	8,3	11,6
RMSE-VIRHE	37,83	1,55	225,16	10,78	6,91	8,50
RMSE-%	134,11	96,15	147,39	126,70	113,01	100,77
HARHA	-3,45	-0,72	-47,04	-0,63	-0,75	-3,28
HARHA-%	-12,22	-44,94	-30,79	-7,44	-12,22	-38,91
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	48	2,9	263	11,8	8,8	15,4
LASERKEILAUS ka.	52	4,0	283	14,2	9,9	20,2
RMSE-VIRHE	27,22	1,94	249,39	7,46	5,11	10,04
RMSE-%	56,83	67,03	94,95	63,20	57,76	65,20
HARHA	2,98	-0,98	-23,71	-0,48	0,23	-4,04
HARHA-%	6,22	-33,86	-9,03	-4,04	2,63	-26,25
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	38	2,6	317	10,0	7,4	12,8
LASERKEILAUS ka.	45	3,3	376	12,4	8,9	16,1
RMSE-VIRHE	28,69	2,05	990,87	7,95	5,23	9,53
RMSE-%	76,30	80,28	312,49	79,88	70,49	74,71
HARHA	-2,77	-0,80	-209,38	-0,44	-0,21	-2,93
HARHA-%	-7,37	-31,18	-66,03	-4,40	-2,87	-22,98

LEHTIPUUSTON LASERKEILAUSTULOSTEN YLI- JA ALIARVIOT VERRATTUNA MAASTOMITTAUKSIIN

Taulukko 10. Lehtipuuston yli- ja aliarvioiden keskiarvot.

Laserkeilauksen luotettavuusarvot maastomittauksiin verrattuna						
Kehitysluokka 02	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	29	3,1	644	8,2	6,3	13,2
LASERKEILAUS ka.	40	3,3	837	9,7	7,7	13,8
ALIARVIOIDEN ka.	-9	-3,0	-650	-2,8	-1,1	-1,4
YLIARVIOIDEN ka.	21	1,5	678	4,3	3,0	5,7
Kehitysluokka 03	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	28	1,6	153	8,5	6,1	8,4
LASERKEILAUS ka.	40	2,3	169	11,7	8,3	11,6
ALIARVIOIDEN ka.	-21	-1,3	-242	-6,8	-3,2	-7,4
YLIARVIOIDEN ka.	25	1,2	88	7,0	5,2	6,3
Kehitysluokka 04	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	48	2,9	263	11,8	8,8	15,4
LASERKEILAUS ka.	52	4,0	283	14,2	9,9	20,2
ALIARVIOIDEN ka.	-16	-1,3	-246	-3,6	-2,4	-7,9
YLIARVIOIDEN ka.	25	1,7	124	5,8	4,0	8,6
Kaikki yhteensä:	Ikä	ppa	RI	Klpm	Kpit	m³/ha
MAASTOTIETO ka.	38	2,6	317	10,0	7,4	12,8
LASERKEILAUS ka.	45	3,3	376	12,4	8,9	16,1
ALIARVIOIDEN ka.	-16	-1,8	-367	-4,2	-2,3	-6,1
YLIARVIOIDEN ka.	24	1,5	225	5,9	4,2	7,2

VERTAILUTAULUKKO UPM-KYMMENE OY:n TUTKIMUKSEN JA KITTELÄN
TUTKIMUKSEN VÄLILLÄ

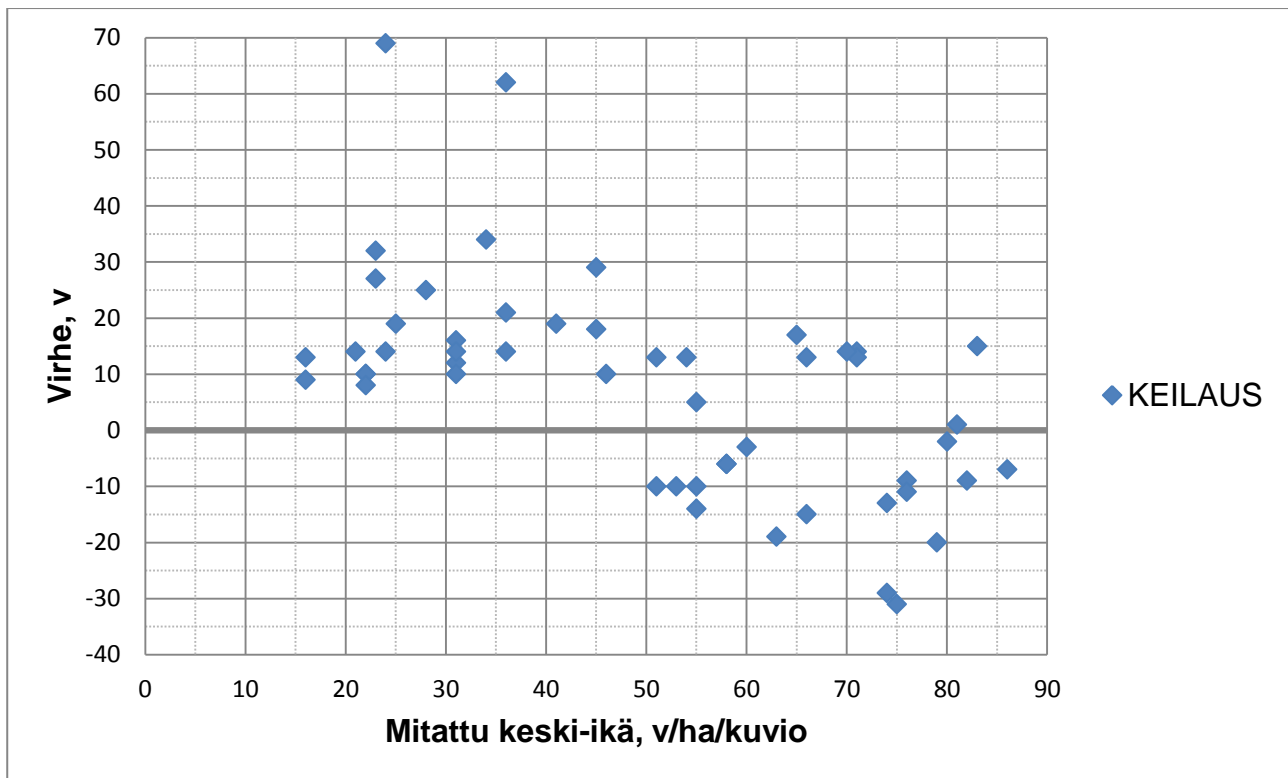
Taulukko 11. Kehitysluokittain laskettujen luotettavuustunnusten vertailu

	RMSE		RMSE-%		BIAS		BIAS-%	
	UPM- Kymmene Oy	Kittilä	UPM- Kymmene Oy	Kittilä	UPM- Kymmene Oy	Kittilä	UPM- Kymmene Oy	Kittilä
KL 02, Nuoret kasvatusmetsiköt								
V (m ³ /ha)	13,1	20,7	11,9	25,1	1,9	12,2	1,8	14,7
PPA (m ²)	1,9	4,5	9,9	26,9	0,1	2,7	0,6	16,4
N (kpl/ha)	312,0	1856,9	15,2	88,7	-40,1	-49,4	-2,0	-2,4
HGM (m)	1,0	1,0	9,3	10,5	-0,7	0,1	-5,9	0,9
AGM (cm)	1,6	2,2	12,3	16,8	-0,6	-0,2	-4,7	-1,3
KL 03, Varttuneet kasvatusmetsiköt								
V (m ³ /ha)	17,4	30,5	8,9	23,6	-3,6	21,6	-1,8	16,8
PPA (m ²)	2,0	4,5	8,4	22,9	-0,6	2,8	-2,7	14,0
N (kpl/ha)	272,0	392,5	20,0	39,7	69,0	113,5	5,0	11,5
HGM (m)	0,8	1,1	4,7	8,6	-0,2	0,6	-0,9	4,4
AGM (cm)	1,9	1,6	9,6	8,6	-0,6	0,3	-3,3	1,6
KL 04, Uudistuskypsät metsiköt								
V (m ³ /ha)	27,0	28,3	9,2	30,0	9,6	-6,9	3,3	-7,4
PPA (m ²)	2,2	5,0	7,2	36,3	0,6	-2,9	1,8	-21,3
N (kpl/ha)	239,0	437,5	18,7	72,0	54,0	-209,6	4,3	-34,5
HGM (m)	0,9	2,3	4,2	15,8	-0,2	1,8	-1,1	12,7
AGM (cm)	2,1	4,4	8,0	19,8	-0,5	3,5	-1,7	15,8

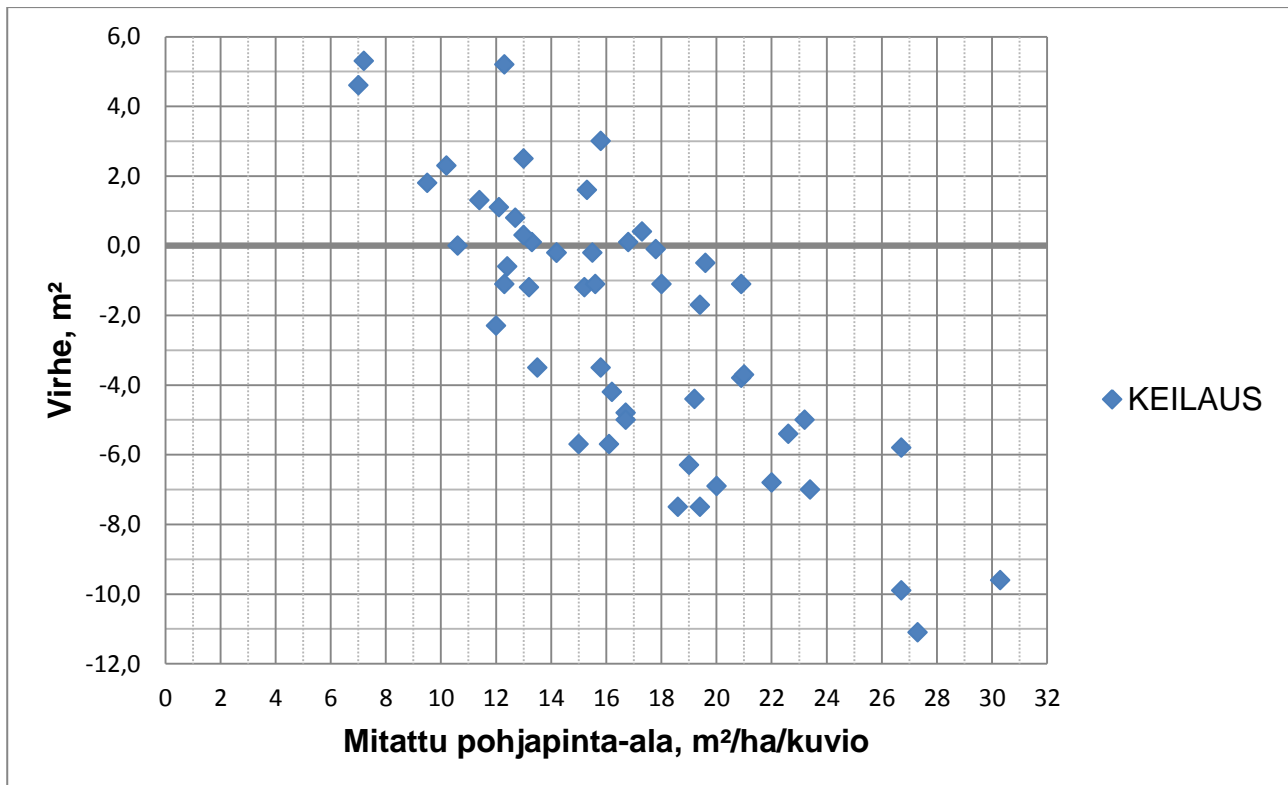
VERTAILUTAULUKKO HAARA & KORHOSEN VARKAUDEN TUTKIMUKSEN JA KITTILÄN TUTKIMUKSEN VÄLILLÄ

Taulukko 12. Puusto-ositteiden ja kuvioiden summapuustotunnusten keskivirheiden (RMSE) ja harhan vertailu Haara & Korhosen tutkimuksen ja tämän tutkimuksen välillä (suluissa suhteelliset keskivirheet ja harhat).

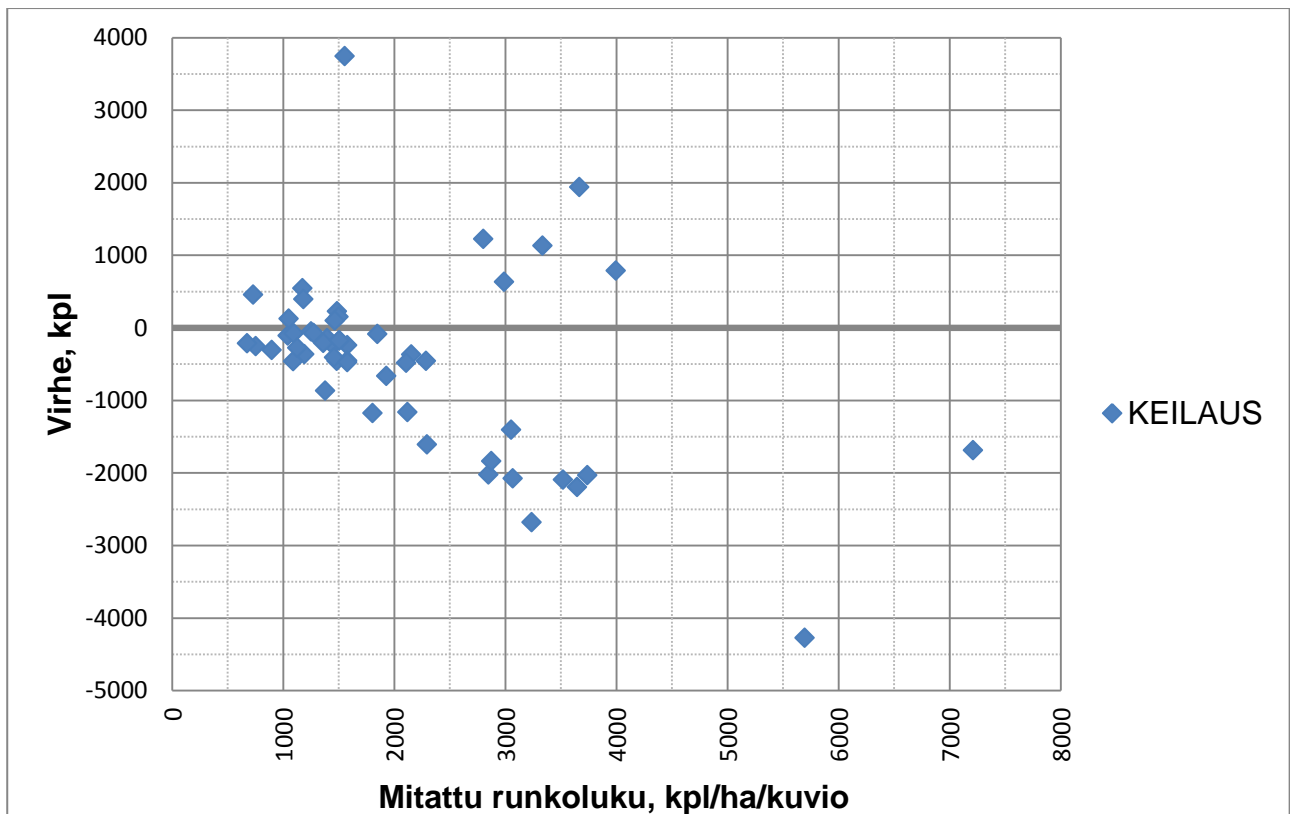
	Mänty		Kuusi		Koivu		Kuvio	
	<i>Keskivirhe, RMSE ja RMSE-%</i>							
	Varkaus	Kittilä	Varkaus	Kittilä	Varkaus	Kittilä	Varkaus	Kittilä
Ikä (a)	12.4 (21.7)	26.9 (31.1)	17.0 (27.2)	48.2 (79.8)	16.0 (33.1)	28.7 (76.3)	15.9 (28.2)	21.2 (25.3)
PPA (m²/ha)	3.9 (28.4)	5.7 (49.2)	4.4 (43.3)	2.5 (124.2)	2.1 (58.3)	2.1 (80.3)	3.9 (19.6)	4.7 (28.9)
d1.3 (cm)	3.0 (16.2)	5.2 (26.5)	4.1 (21.6)	9.0 (77.6)	4.6 (28.1)	8.0 (79.9)	2.3 (12.6)	3.1 (16.7)
h (m)	2.2 (15.0)	2.6 (20.4)	3.8 (24.0)	6.2 (76.7)	3.5 (23.8)	5.2 (70.5)	2.4 (15.7)	1.7 (12.9)
V (m³/ha)	30.4 (29.3)	32.1 (41.8)	39.7 (43.0)	14.6 (115.8)	16.4 (65.0)	9.5 (74.7)	37.5 (24.8)	27.0 (26.4)
<i>Harha ja Harha-%</i>								
Ikä (a)	-0.9 (-1.5)	4.1 (4.8)	0.5 (0.9)	-21.5 (-35.6)	-2.2 (-4.5)	-2.8 (-7.4)	0.5 (0.9)	2.6 (3.1)
PPA (m²/ha)	-0.5 (-3.4)	2.8 (24.1)	1.0 (9.6)	-1.6 (-76.8)	0.2 (4.7)	-0.8 (-31.2)	0.5 (2.7)	0.5 (2.8)
d1.3 (cm)	0.9 (5.0)	0.9 (4.5)	0.6 (3.1)	-3.4 (-29.4)	-0.3 (-1.8)	-0.4 (-4.4)	0.4 (2.4)	1.4 (7.7)
h (m)	0.2 (1.1)	0.5 (4.0)	0.1 (0.5)	-2.5 (-30.8)	0.01 (0.1)	-0.2 (-2.9)	-0.01 (-0.05)	0.9 (7.2)
V (m³/ha)	-5.7 (-5.5)	17.3 (22.5)	4.1 (4.4)	-7.2 (-57.2)	1.5 (5.7)	-2.9 (-23.0)	2.4 (1.6)	7.2 (7.1)



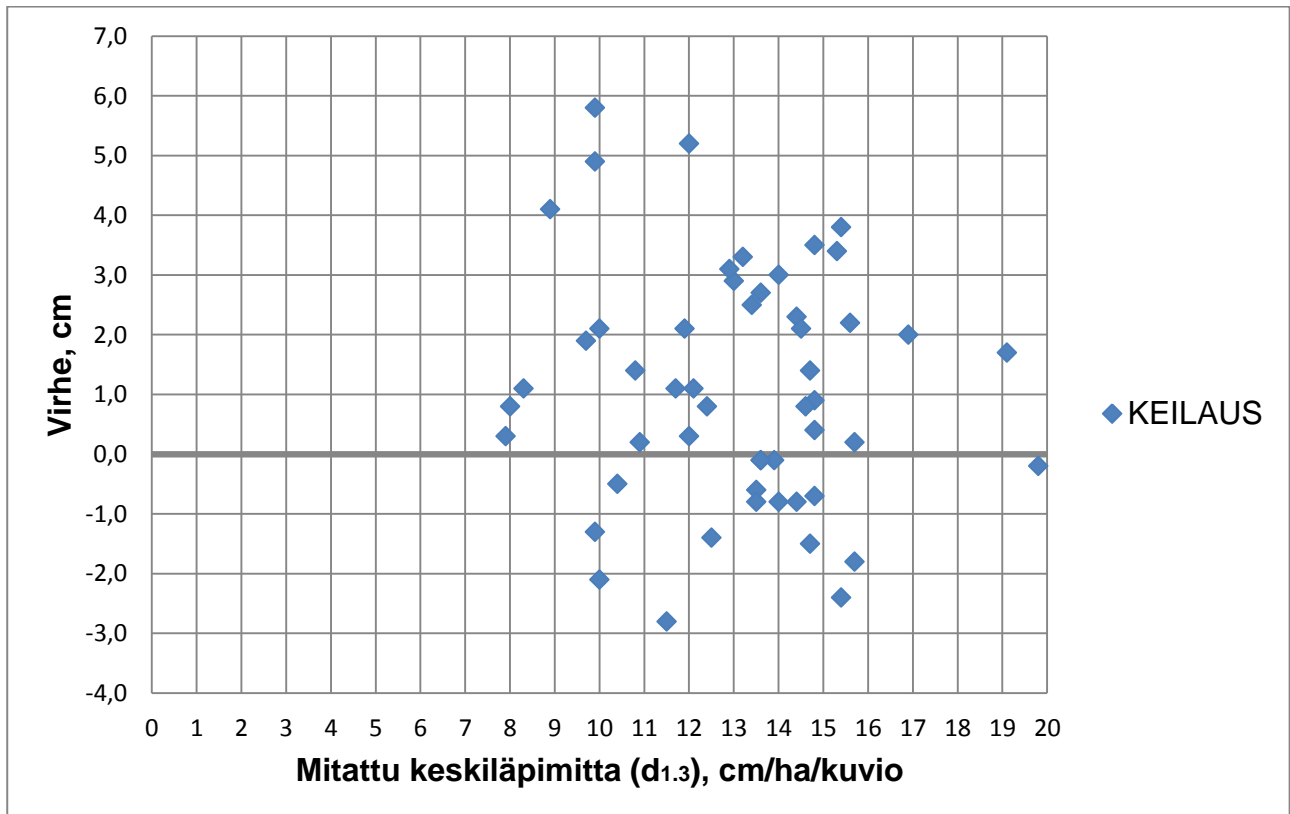
Kuvio 1. Summatunnusten keski-ään kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ään funktiona funktiona.



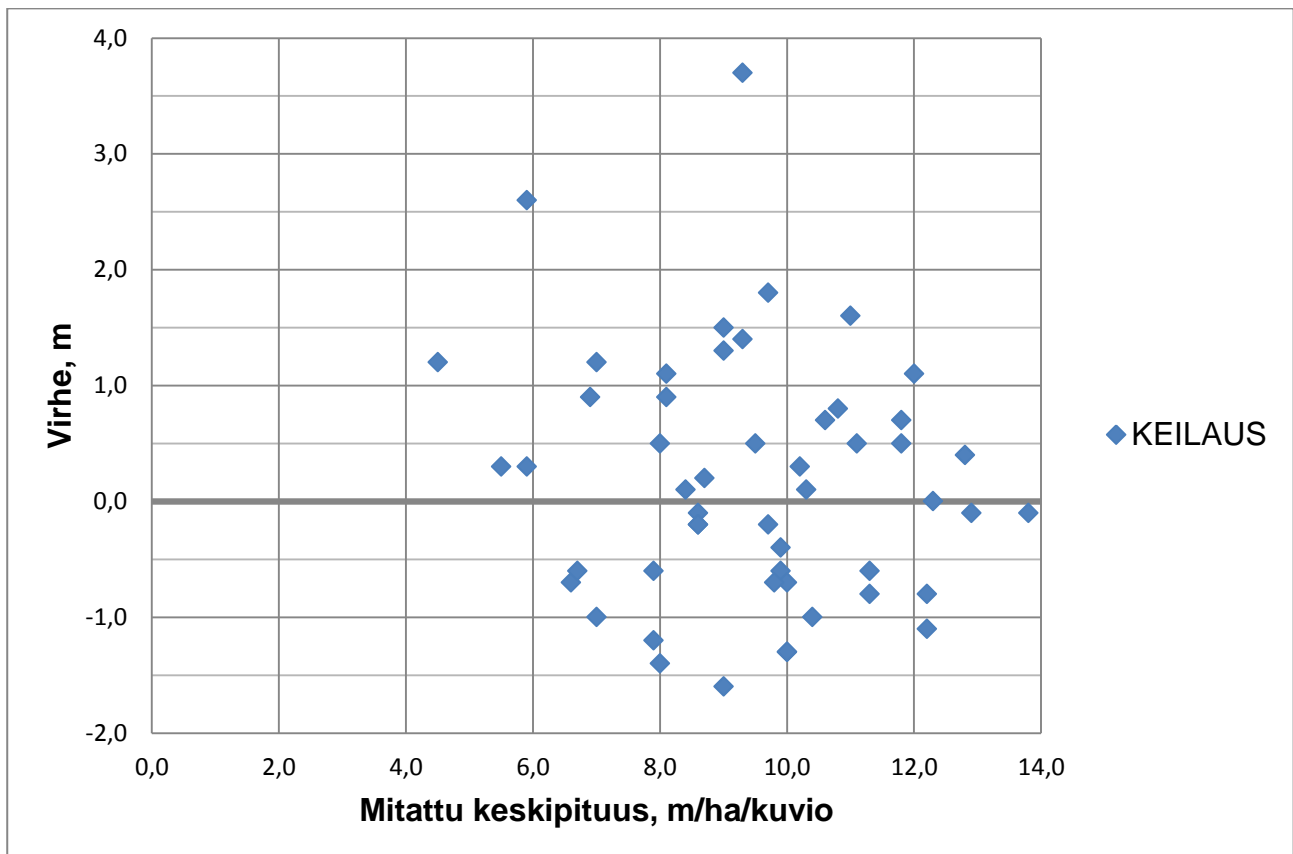
Kuvio 2. Summatunnusten pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



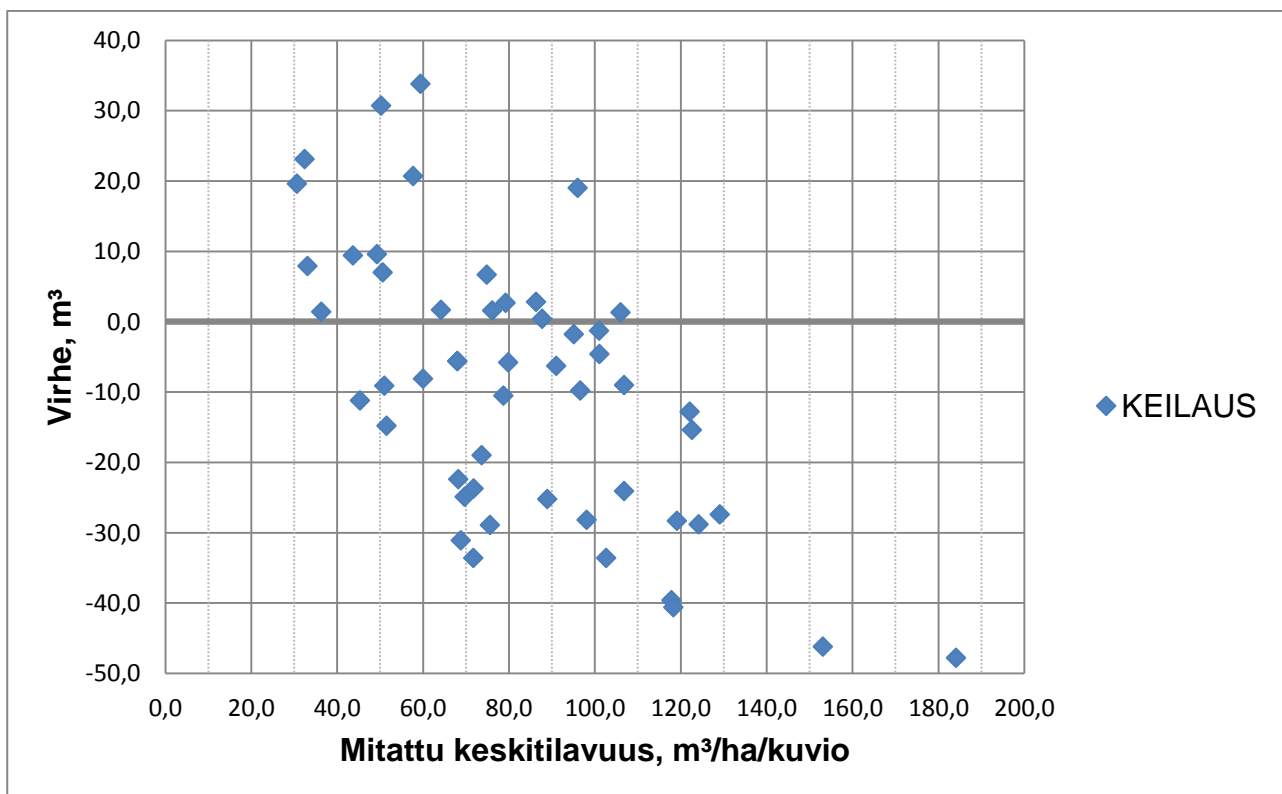
Kuvio 3. Summatunnusten runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona funktiona.



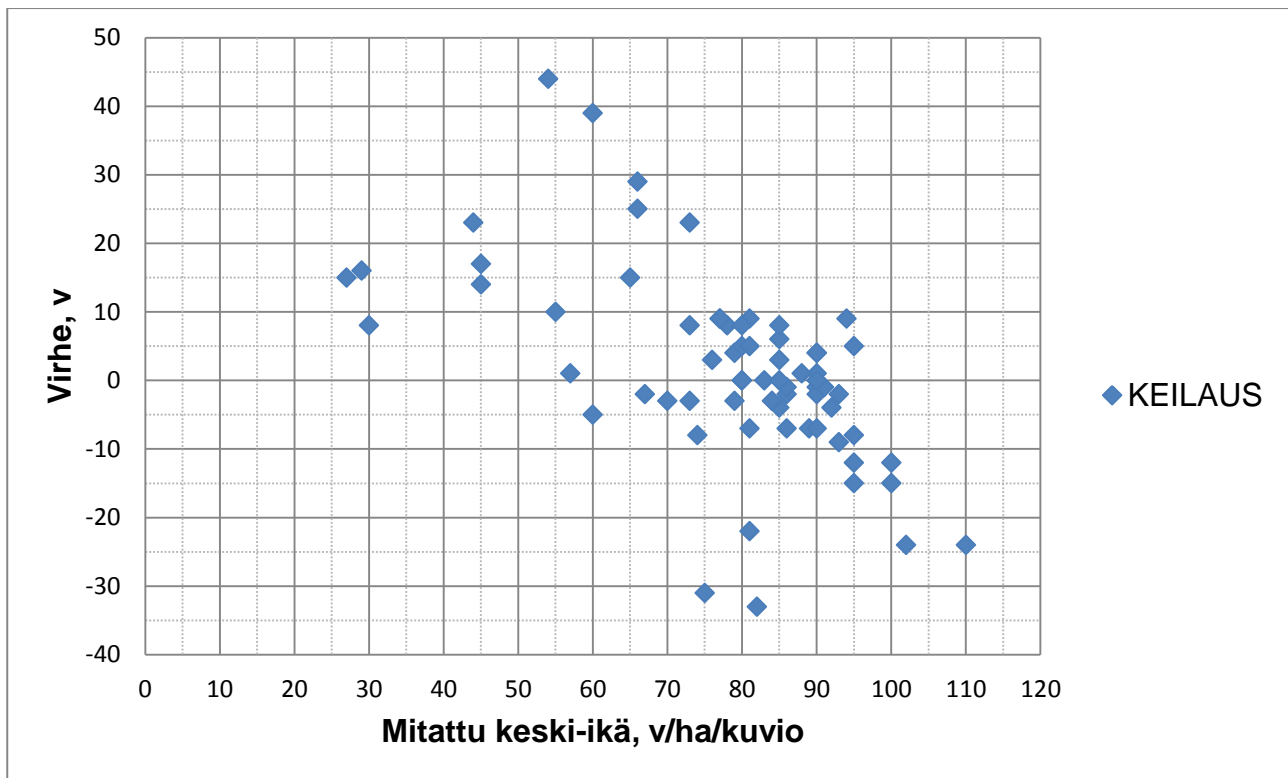
Kuvio 4: Summatunnusten keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



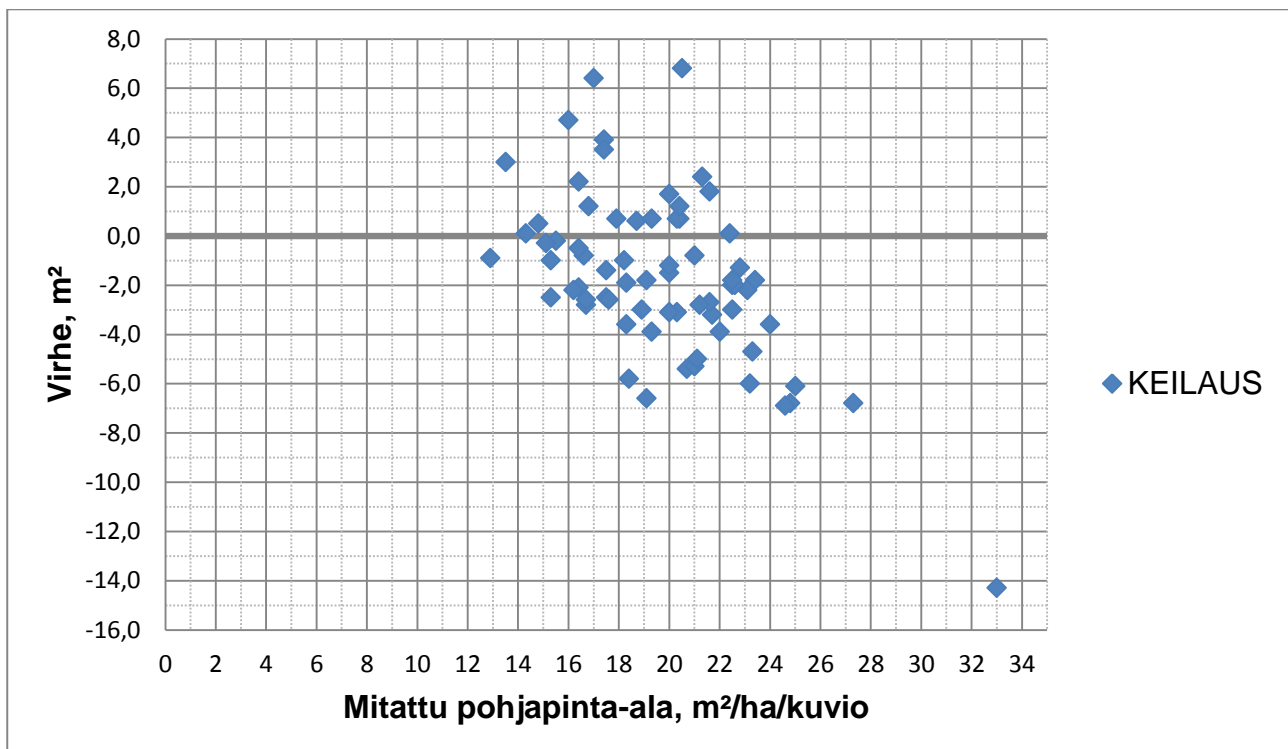
Kuvio 5. Summatunnusten keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



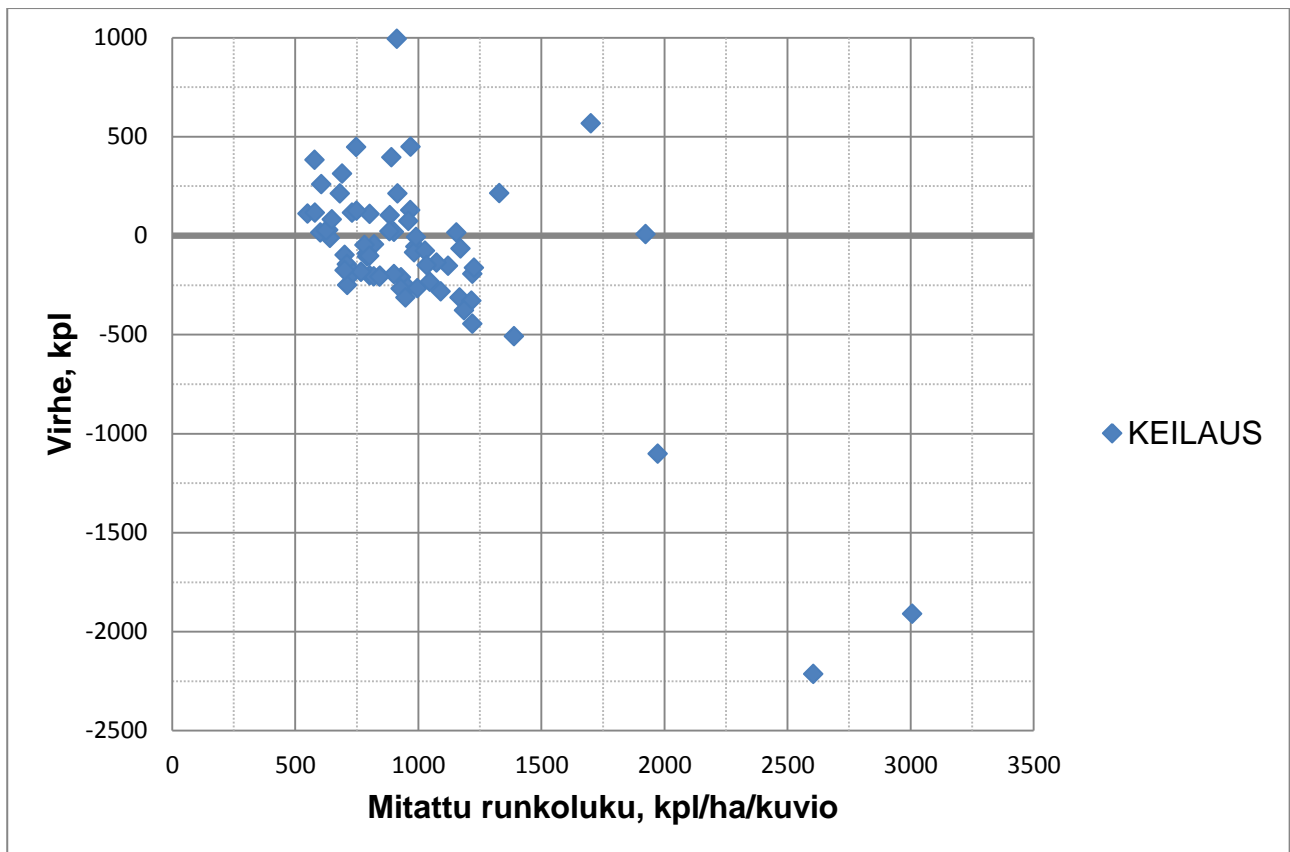
Kuvio 6. Summatunnusten keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



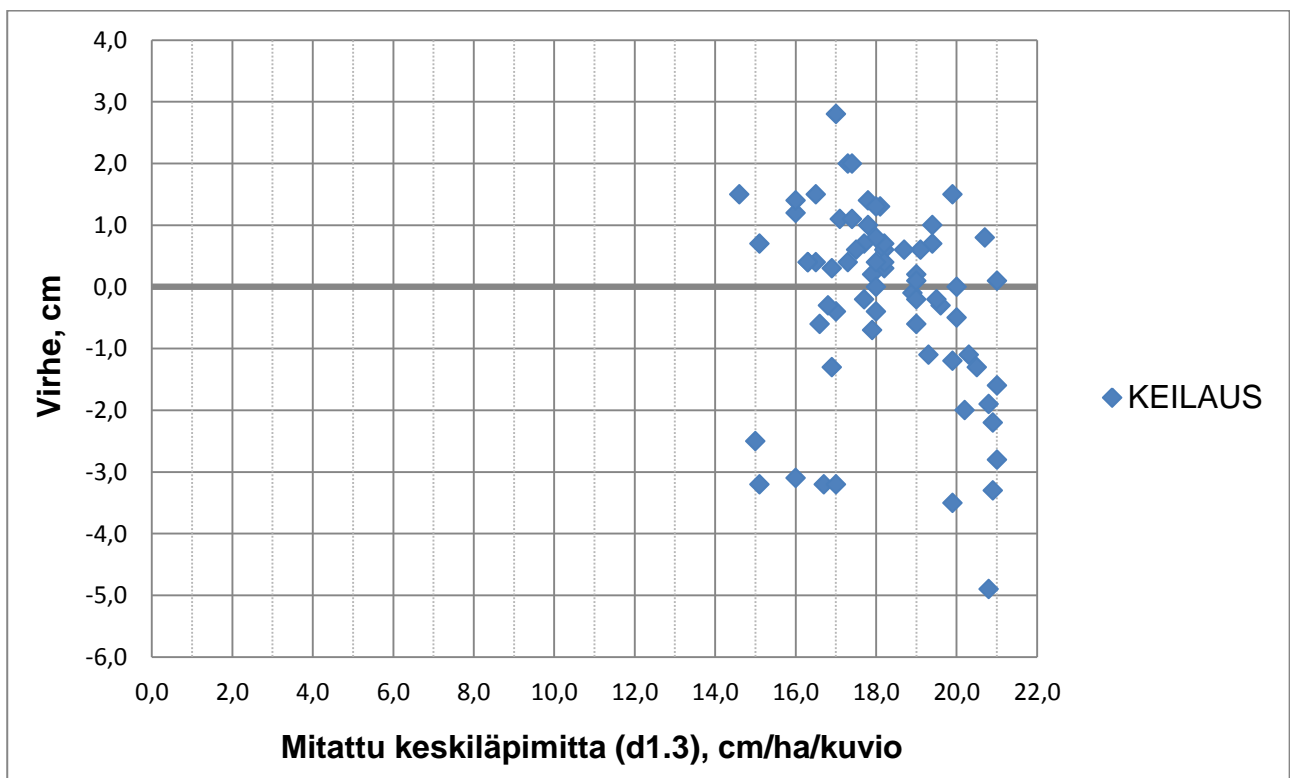
Kuvio 7. Summatunnusten keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona funktiona



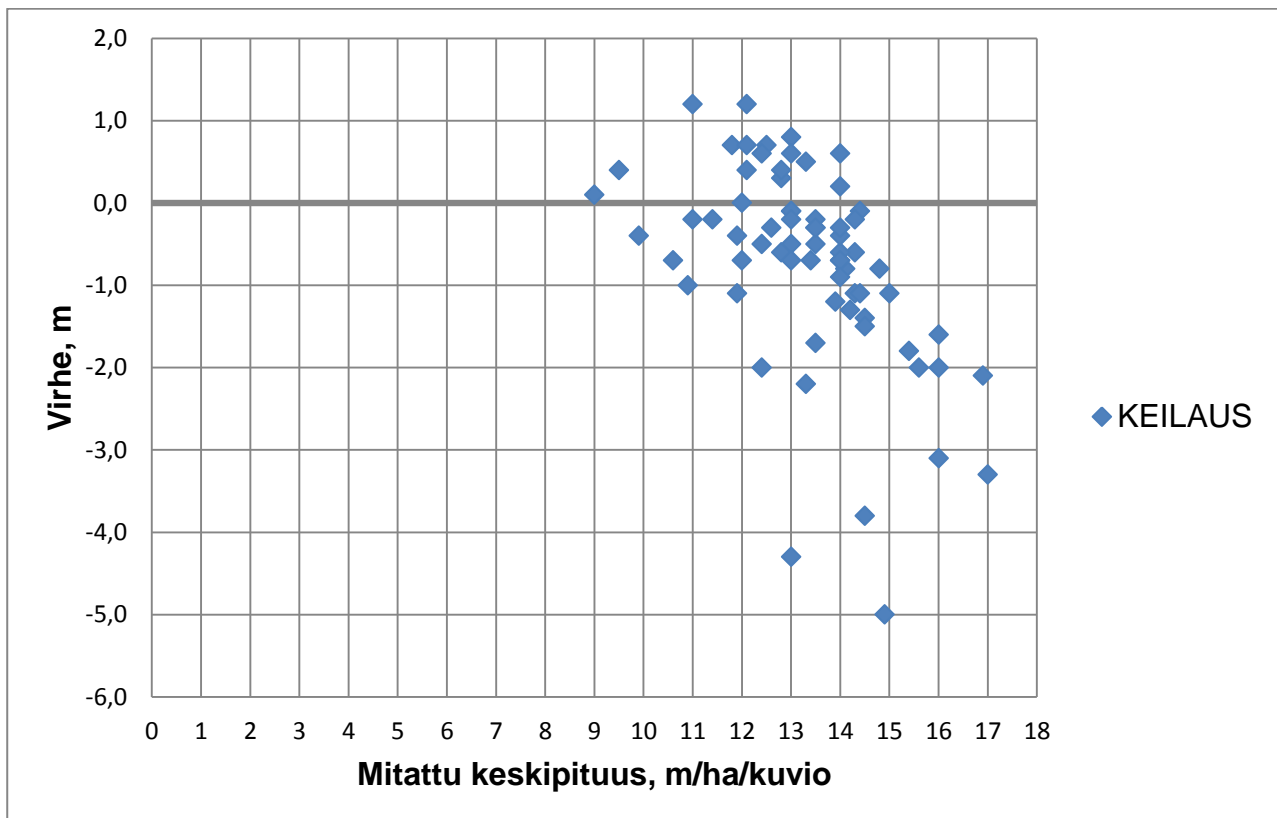
Kuvio 8. Summatunnusten pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



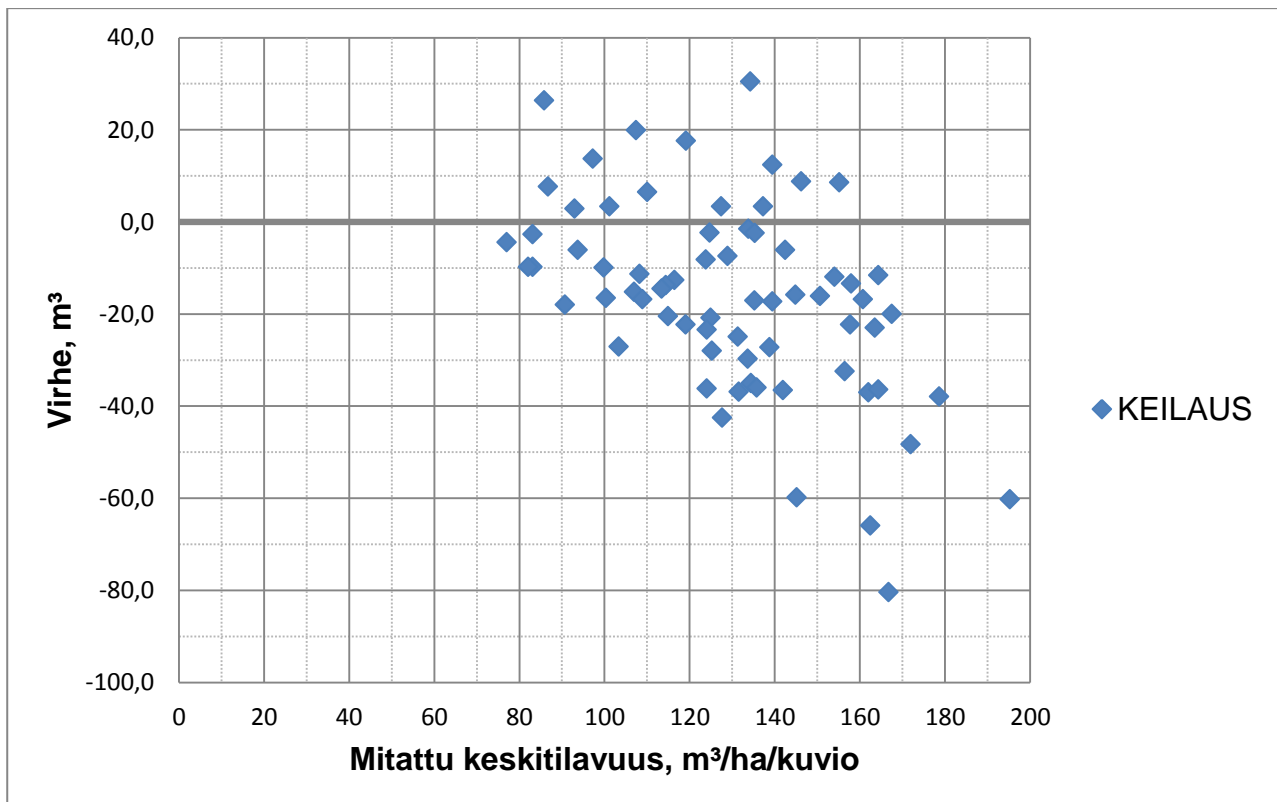
Kuvio 9. Summatunnusten runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona funktiona.



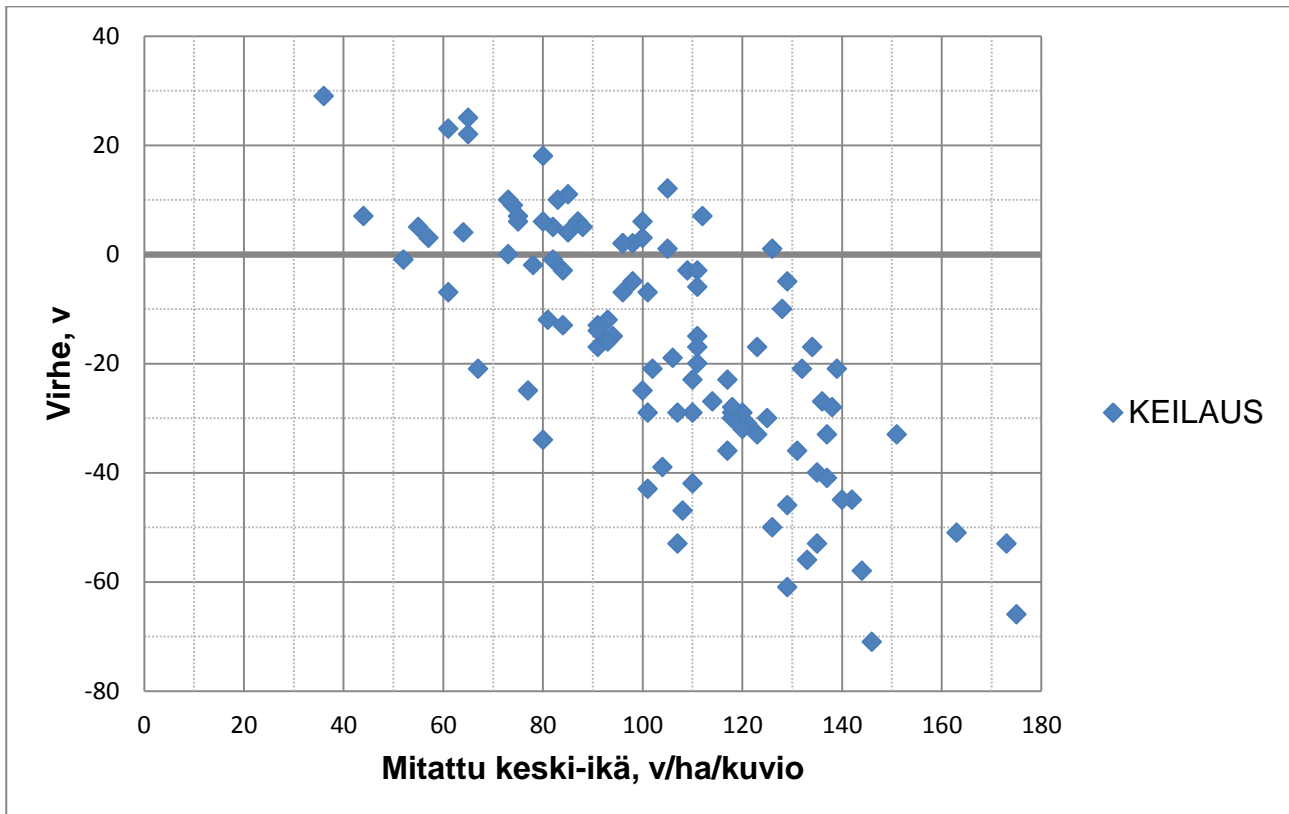
Kuvio 10. Summatunnusten keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



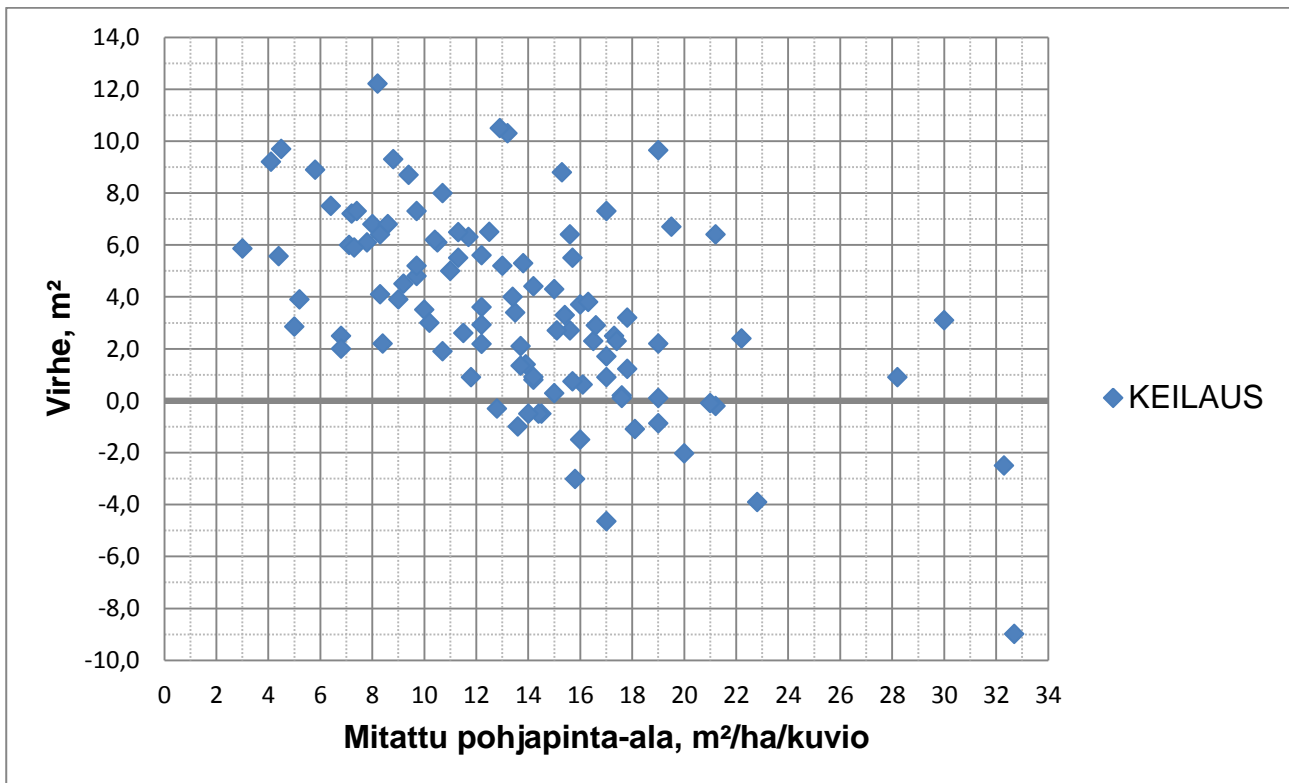
Kuvio 11. Summatunnusten keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



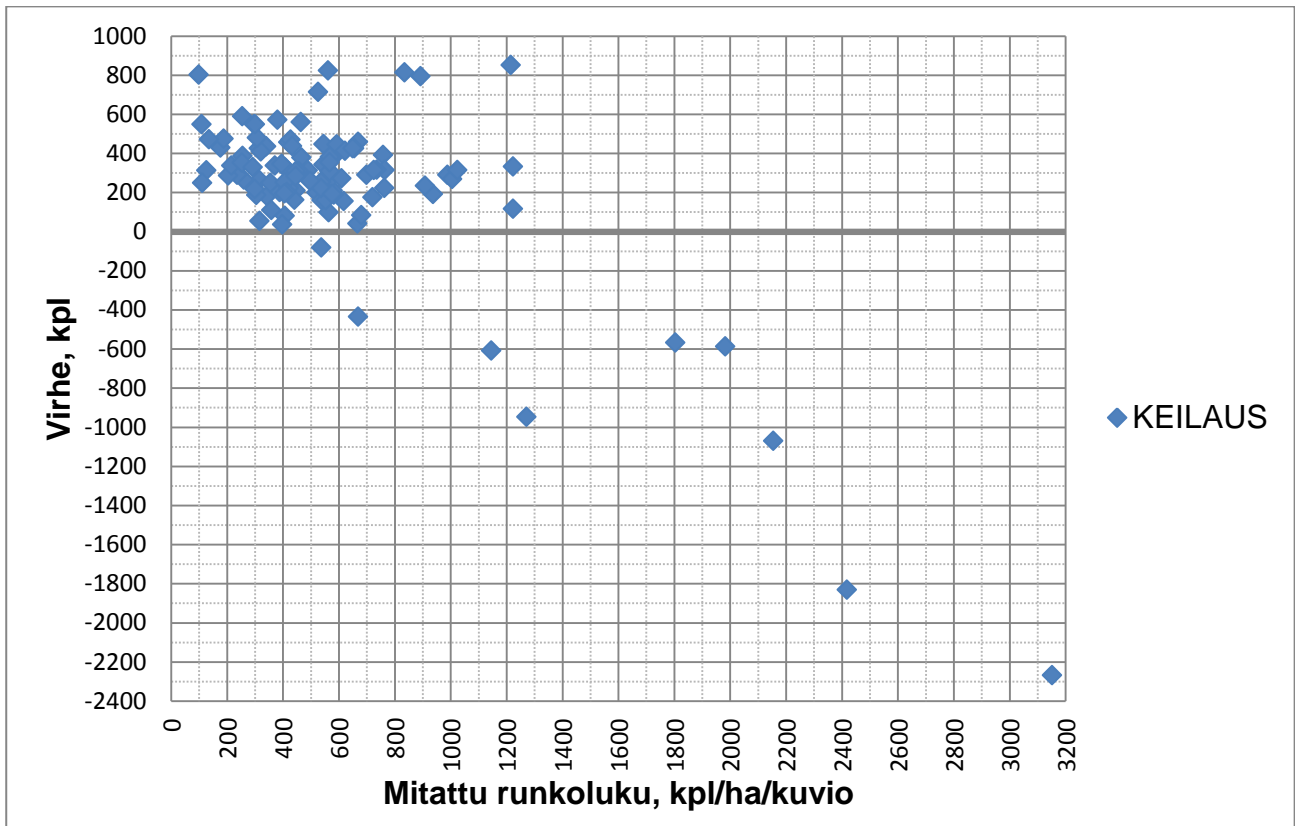
Kuvio 12. Summatunnusten keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



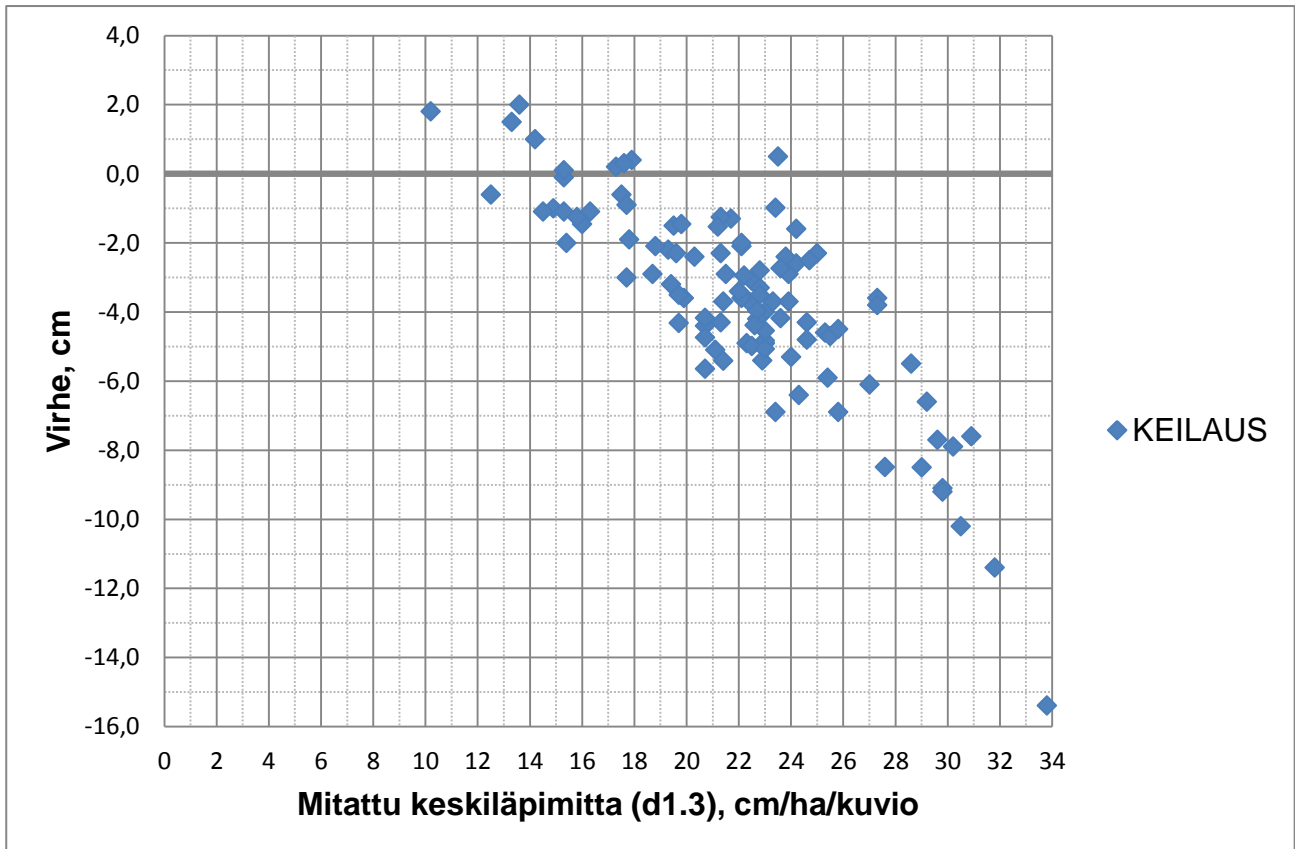
Kuvio 13. Summatunnusten keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona funktiona



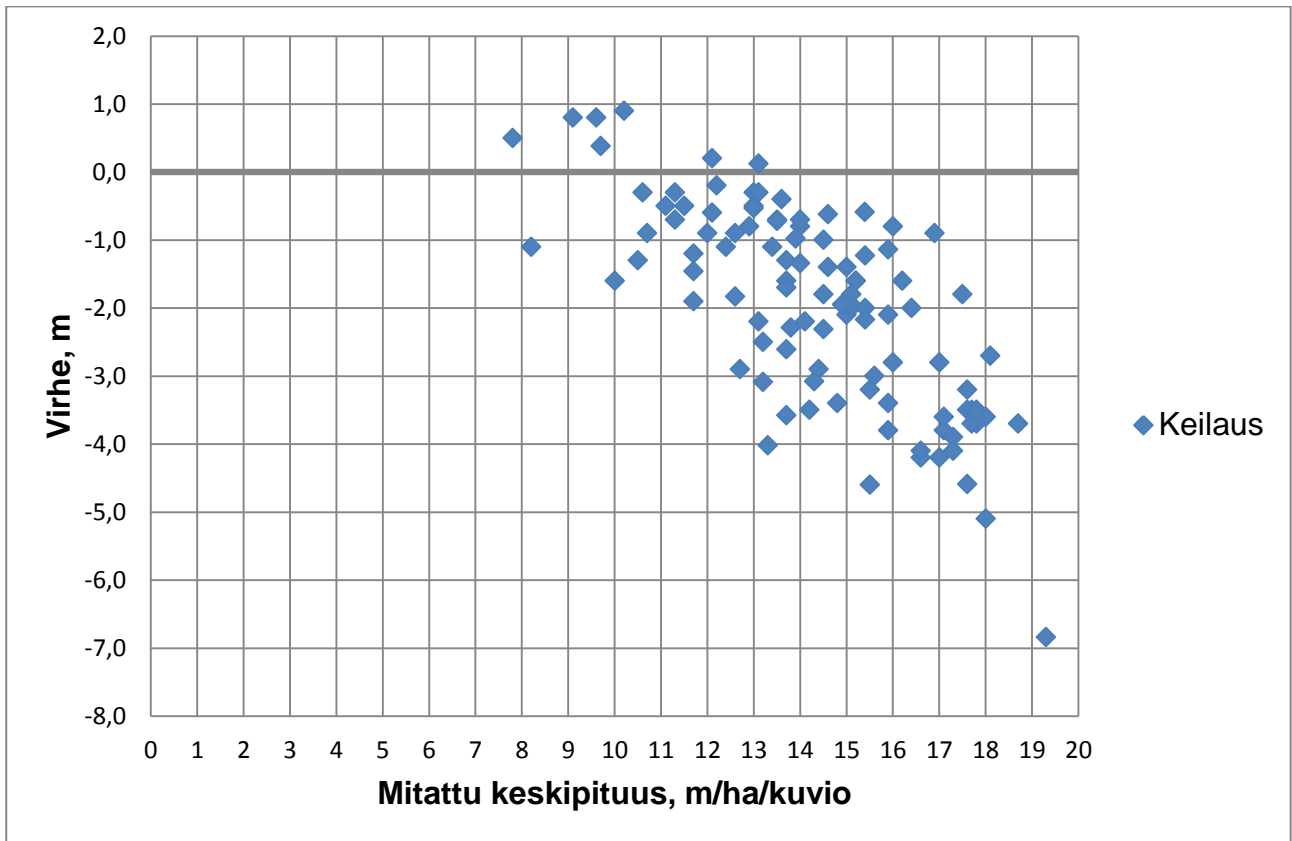
Kuvio 14. Summatunnusten pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



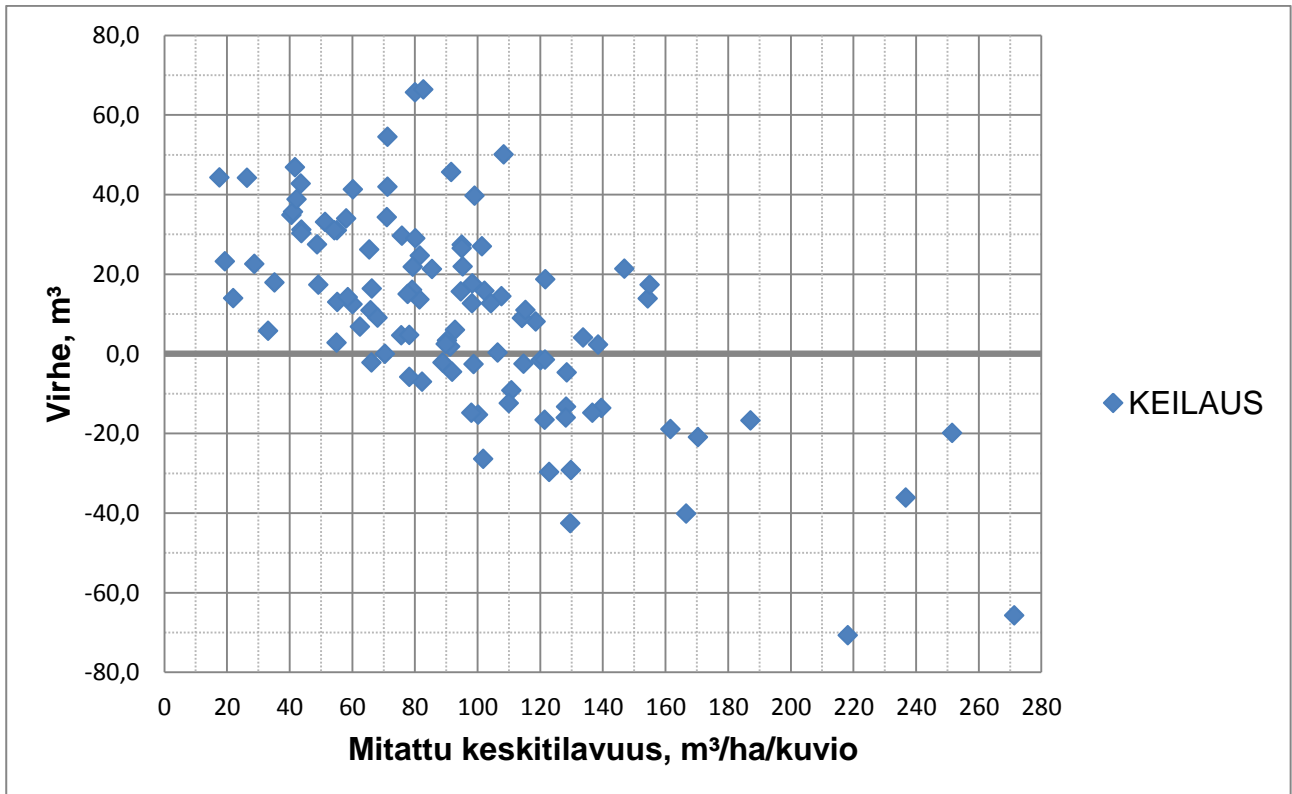
Kuvio 15. Summatunnusten runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona



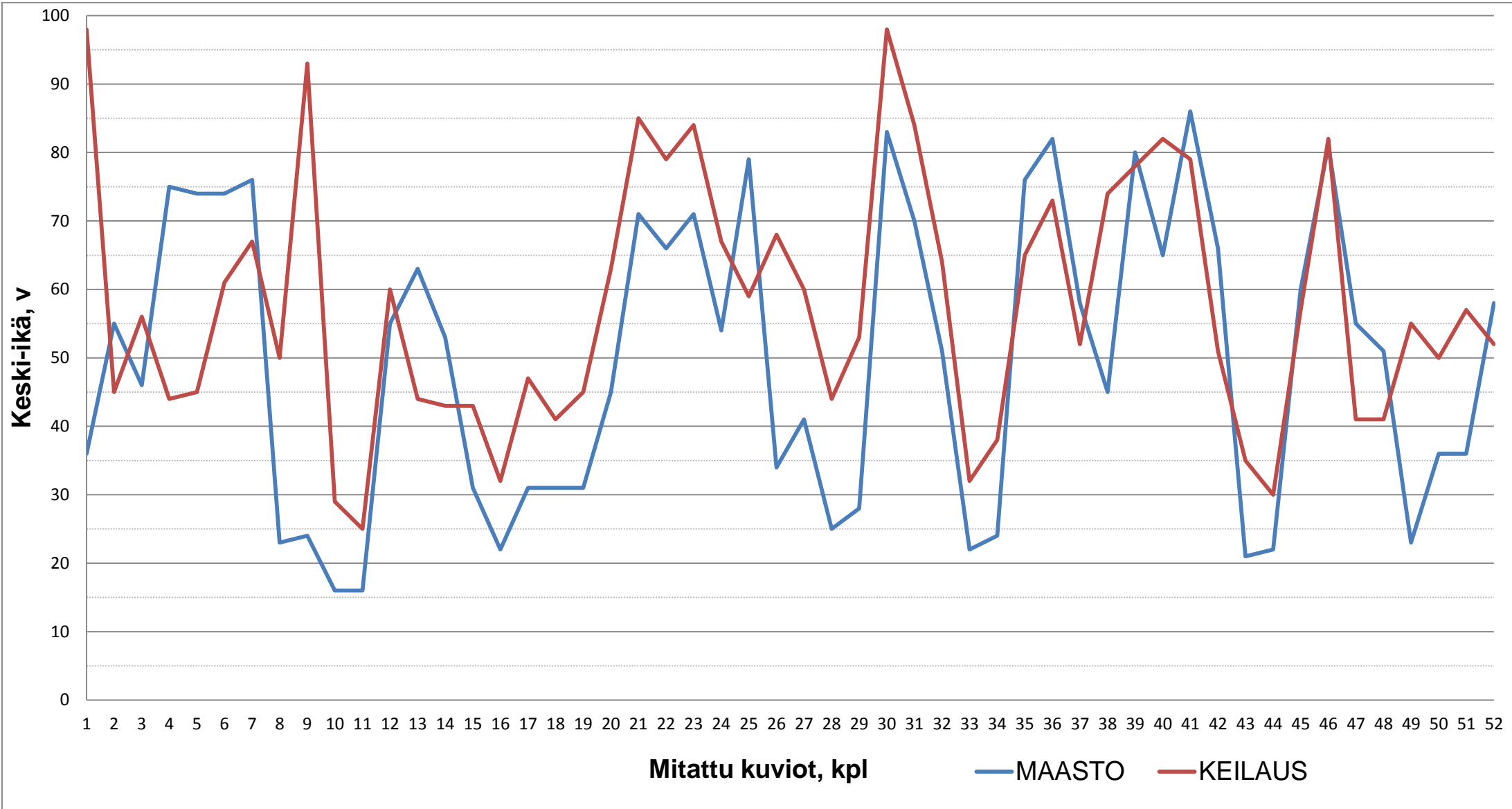
Kuvio 16. Summatunnusten keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



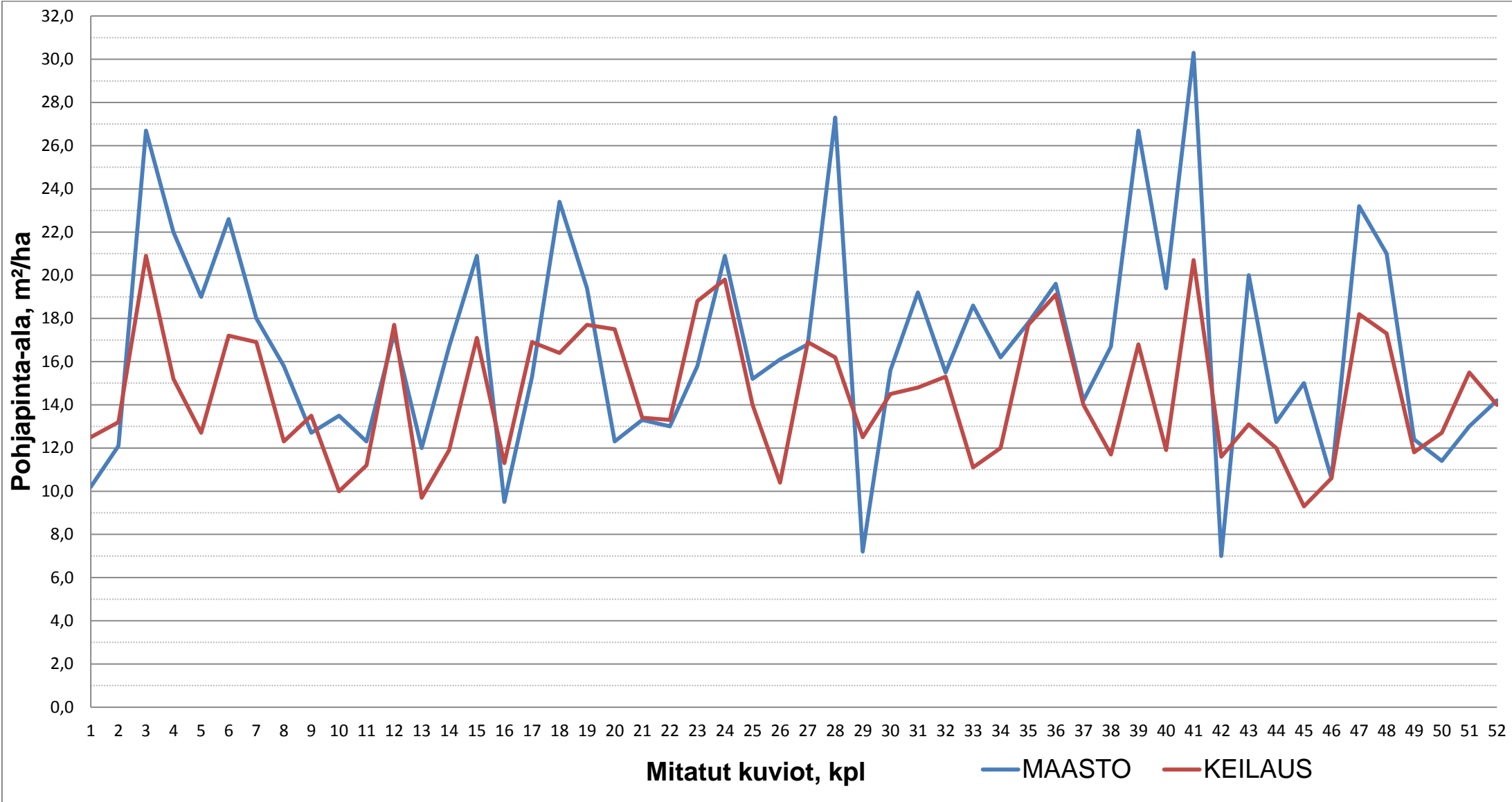
Kuvio 17. Summatunnusten keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



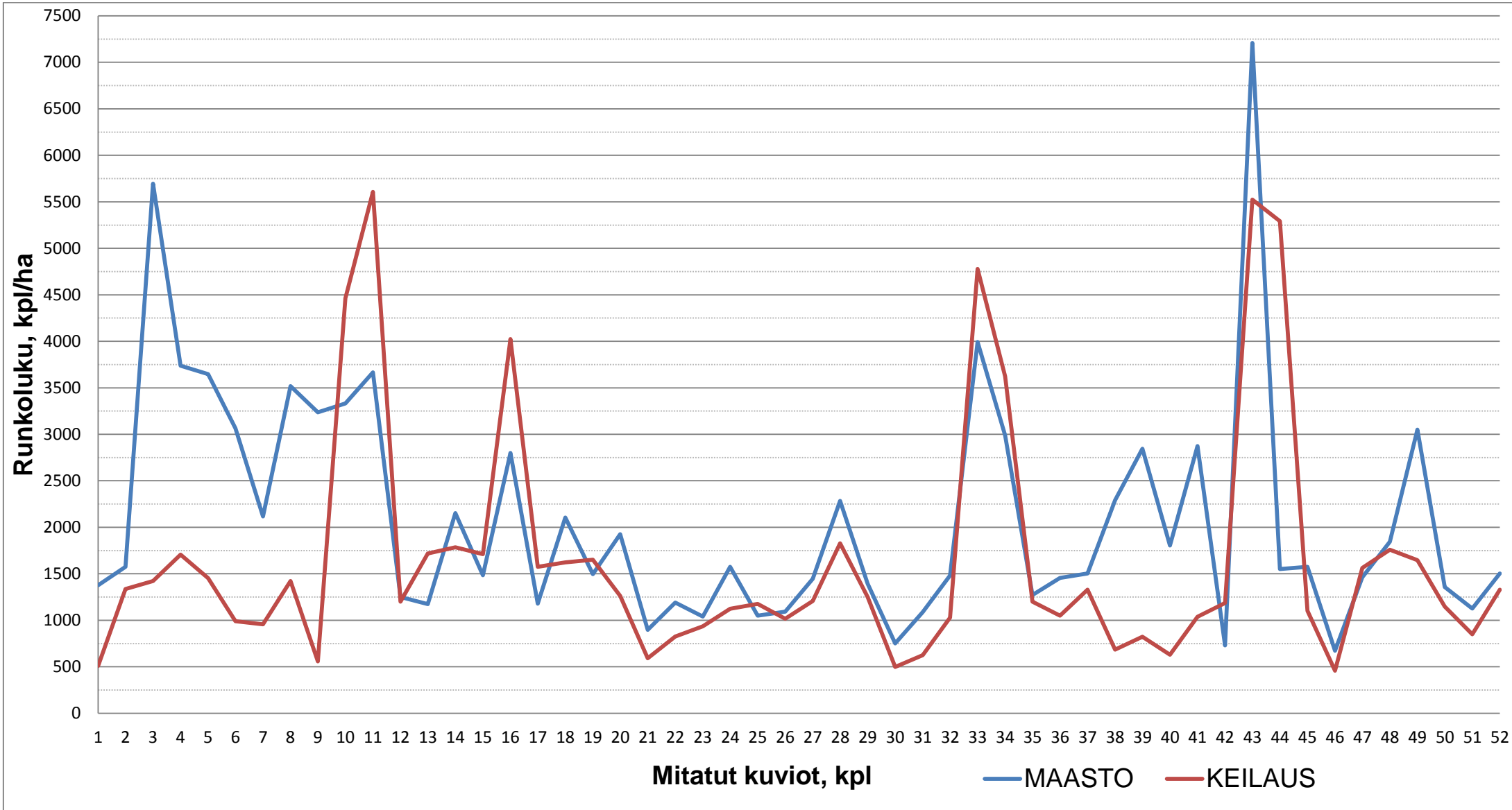
Kuvio 18. Summatunnusten keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvot mitatun keskitilavuuden funktiona



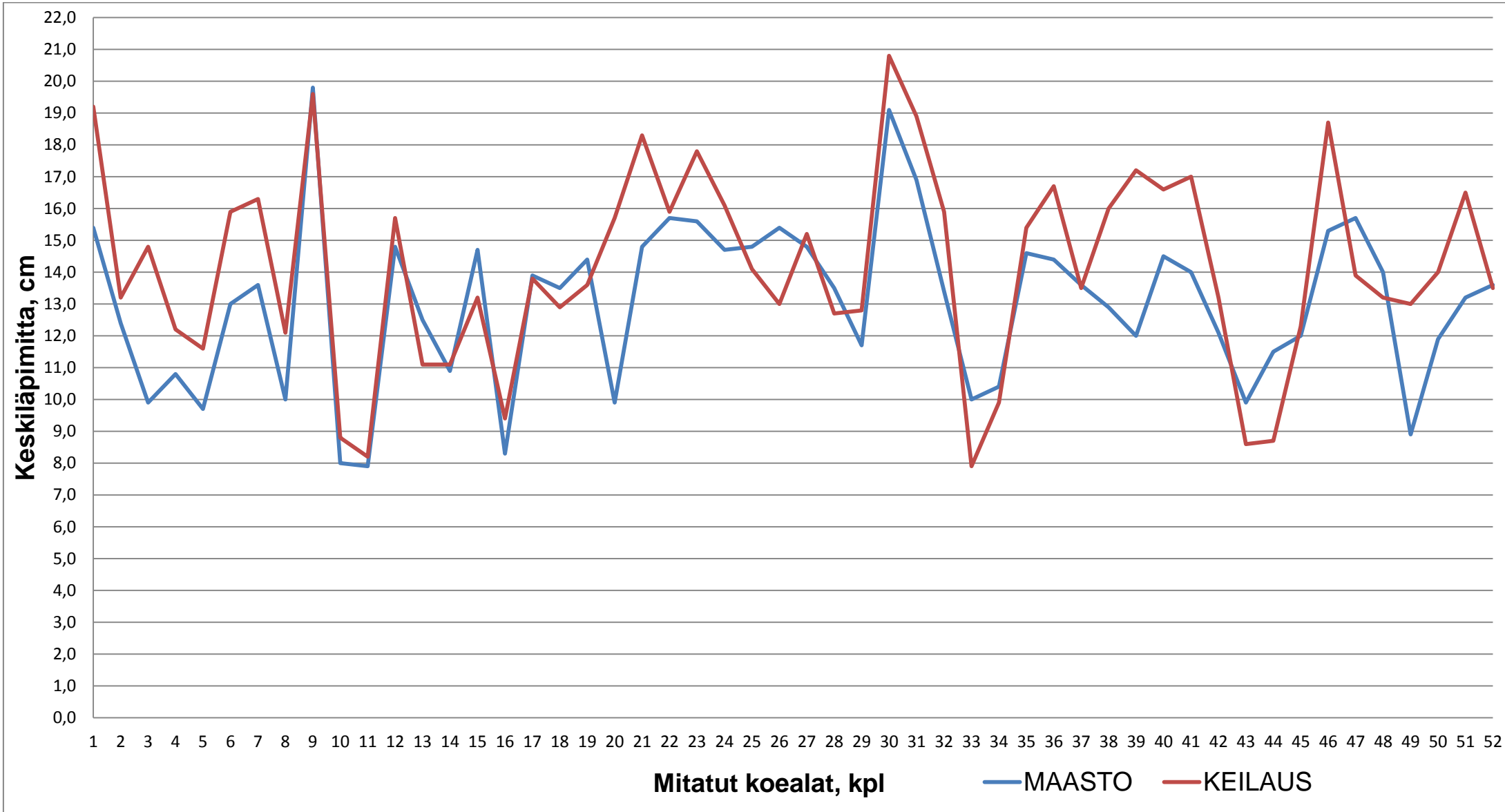
Kuvio 19. Summatunnusten keski-ään (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



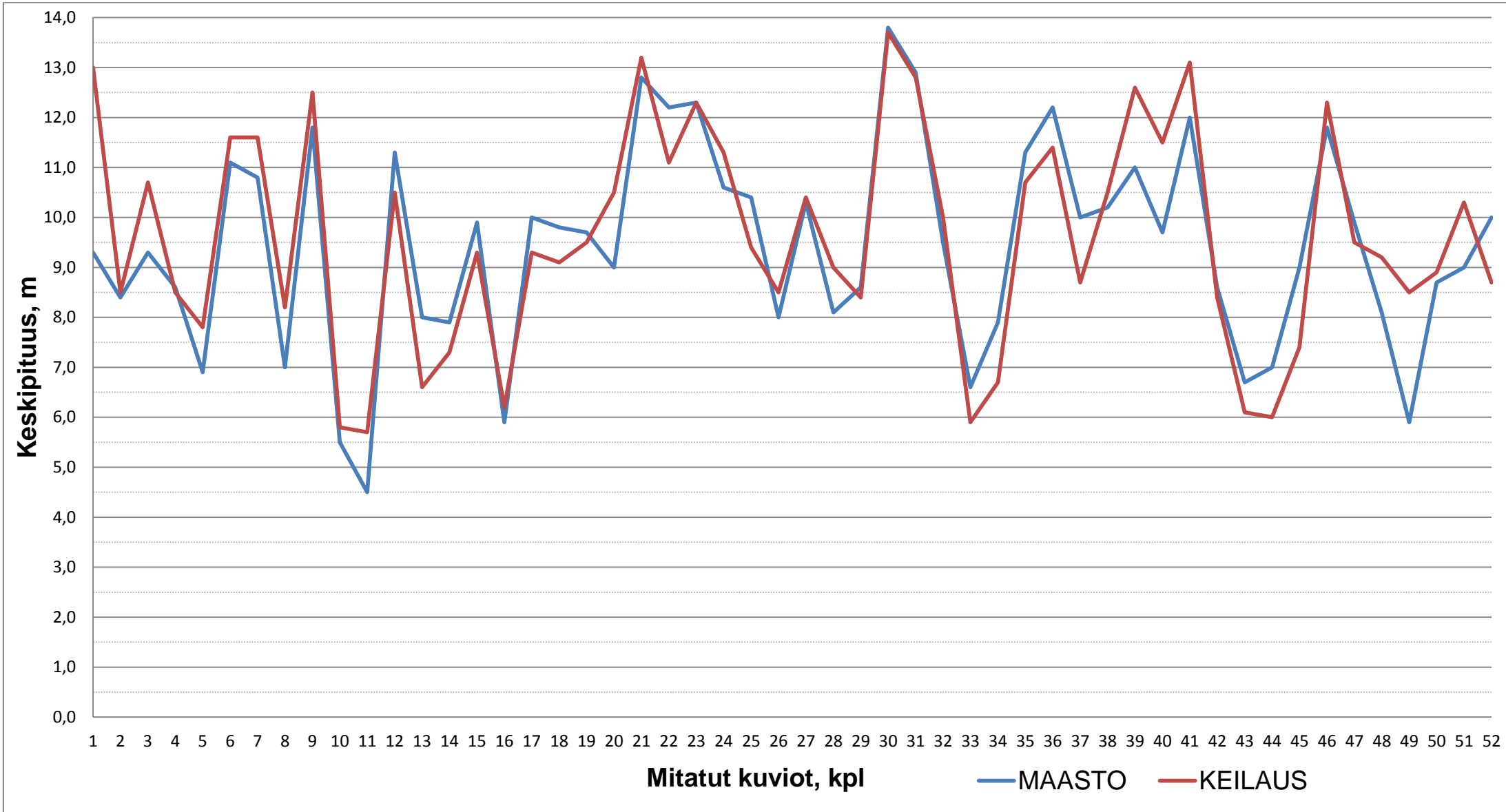
Kuvio 20. Summatunnusten pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



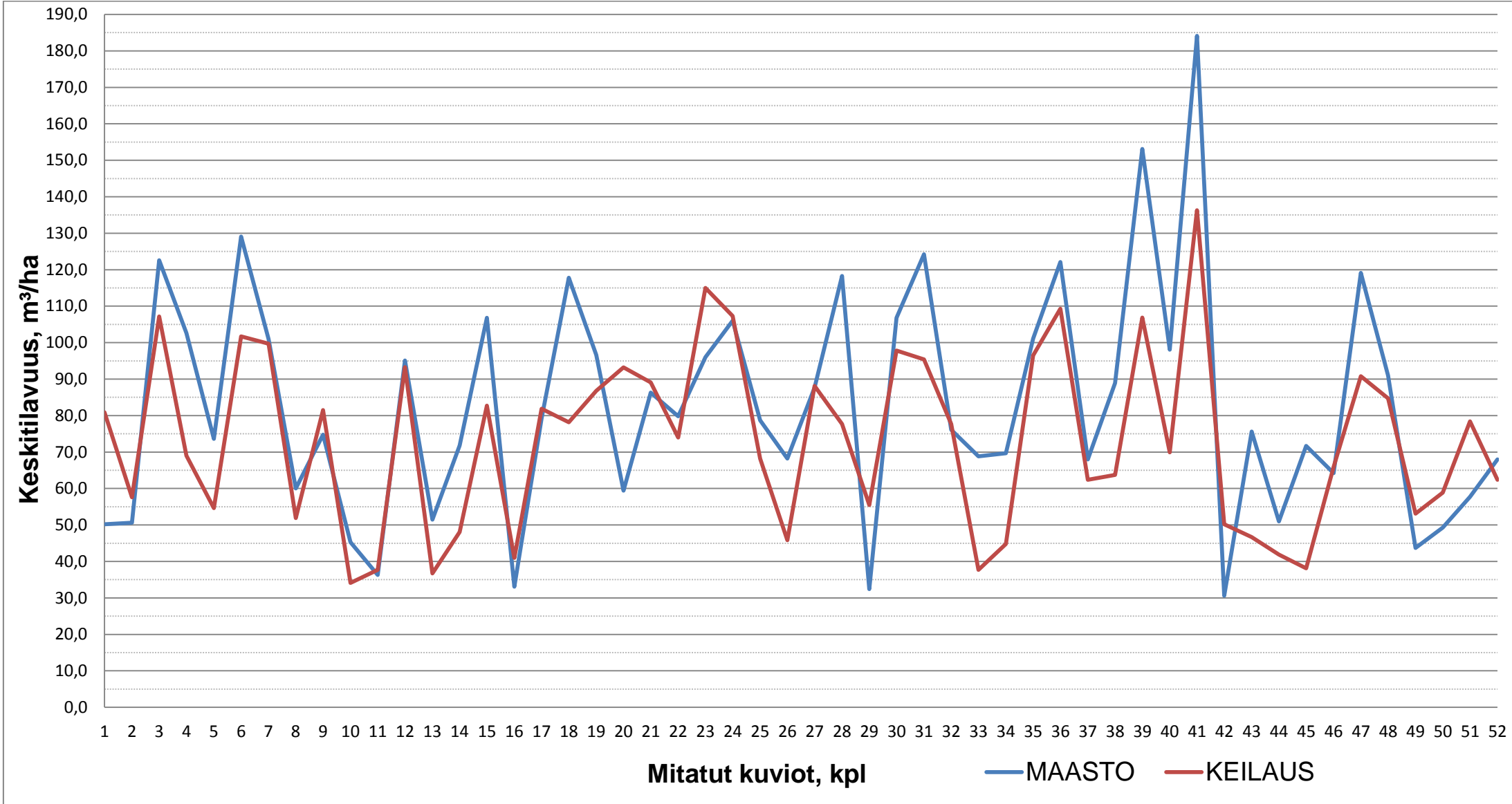
Kuvio 21. Summatunnusten runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



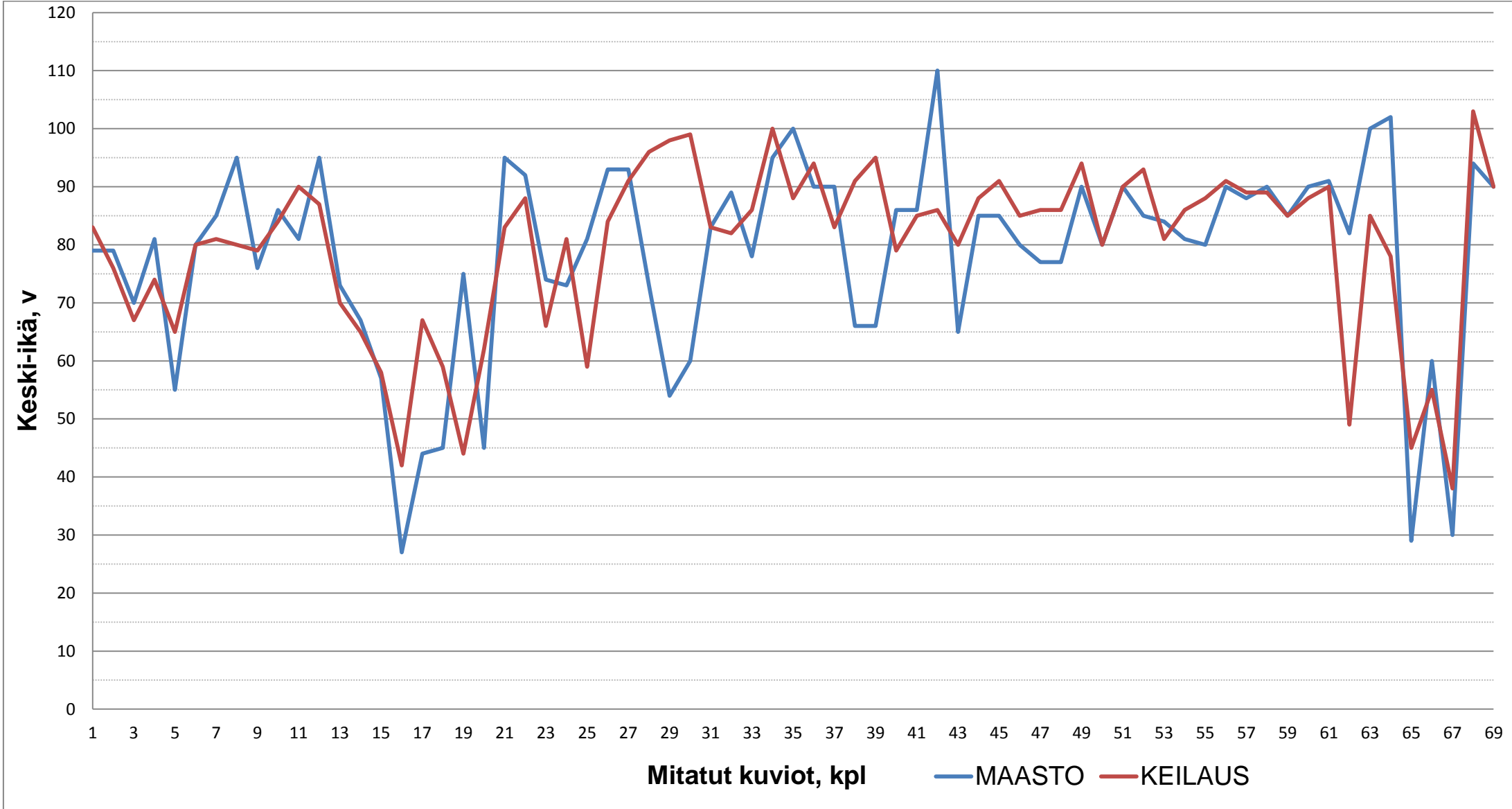
Kuvio 22. Summatunnusten keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



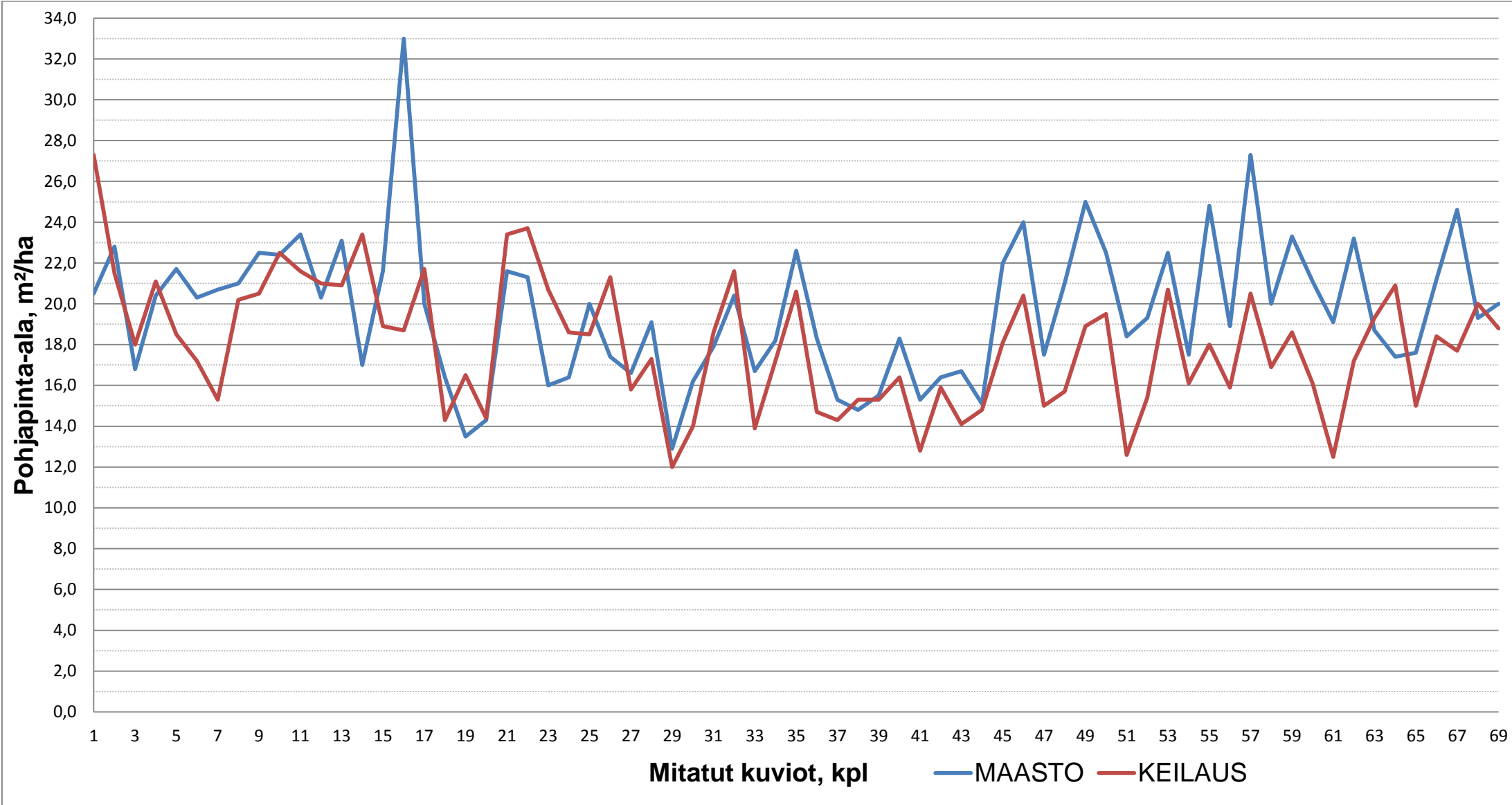
Kuvio 23. Summatunnusten keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



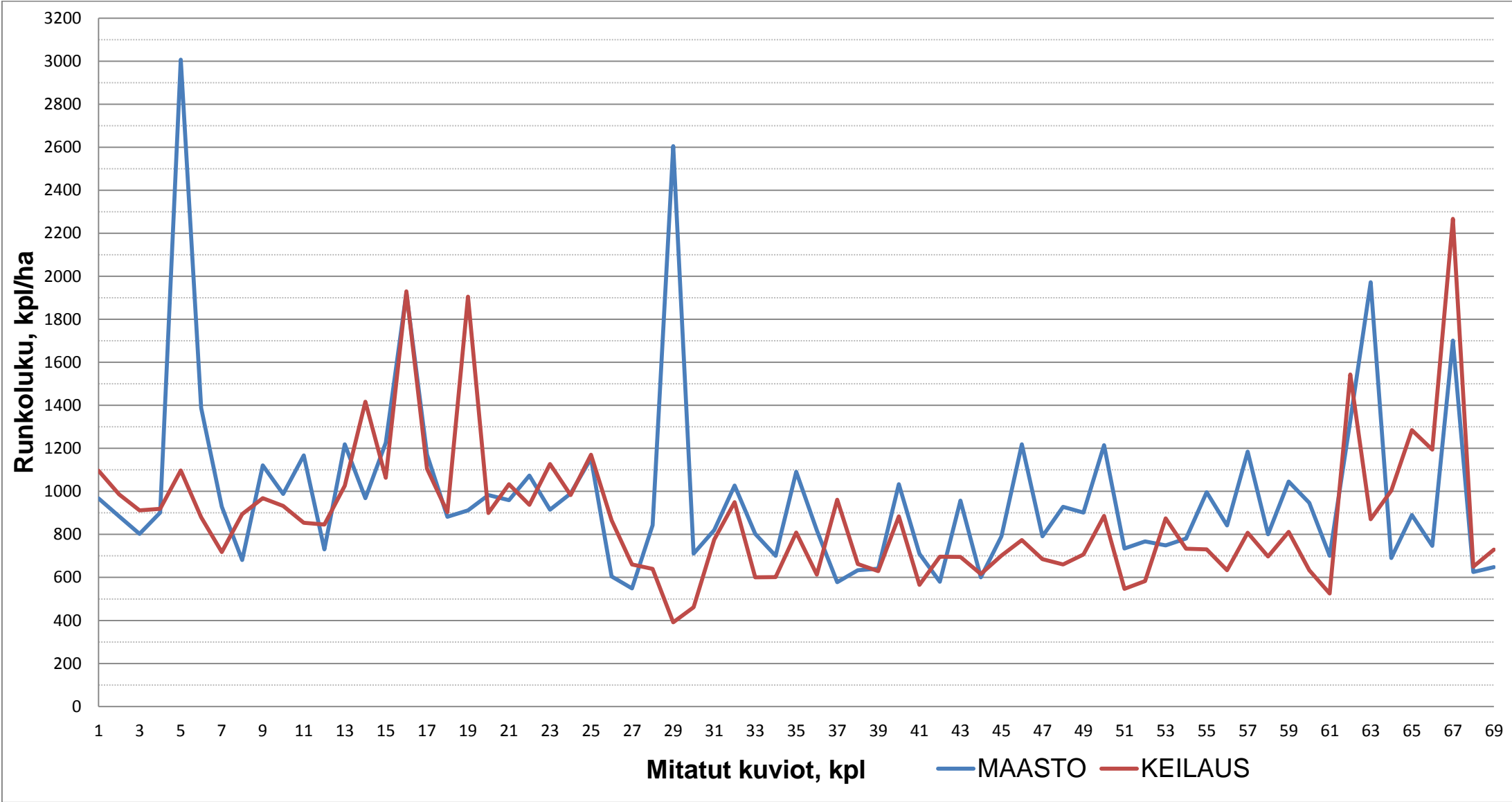
Kuvio 24. Summatunnusten keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



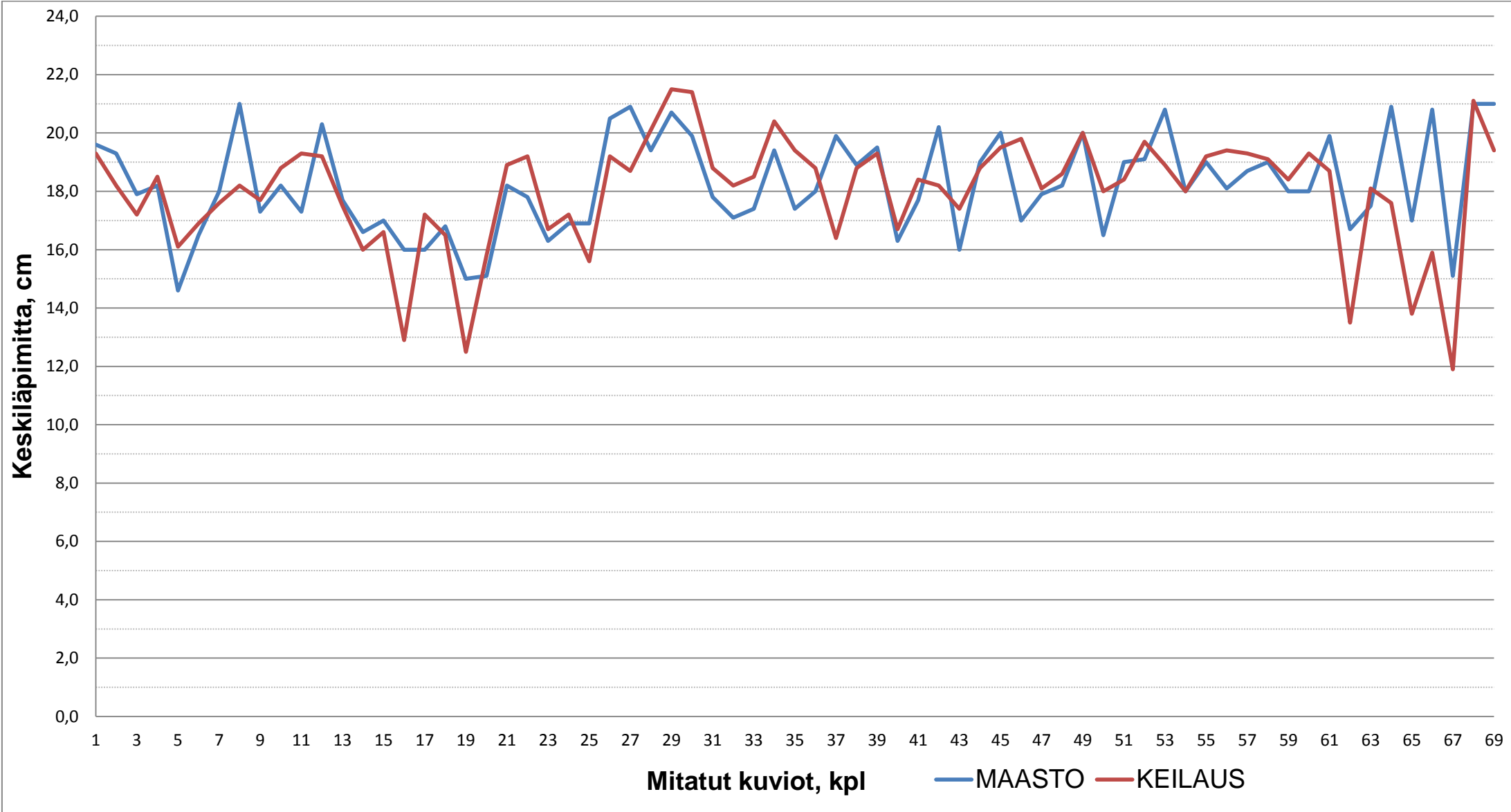
Kuvio 25. Summatunnusten keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



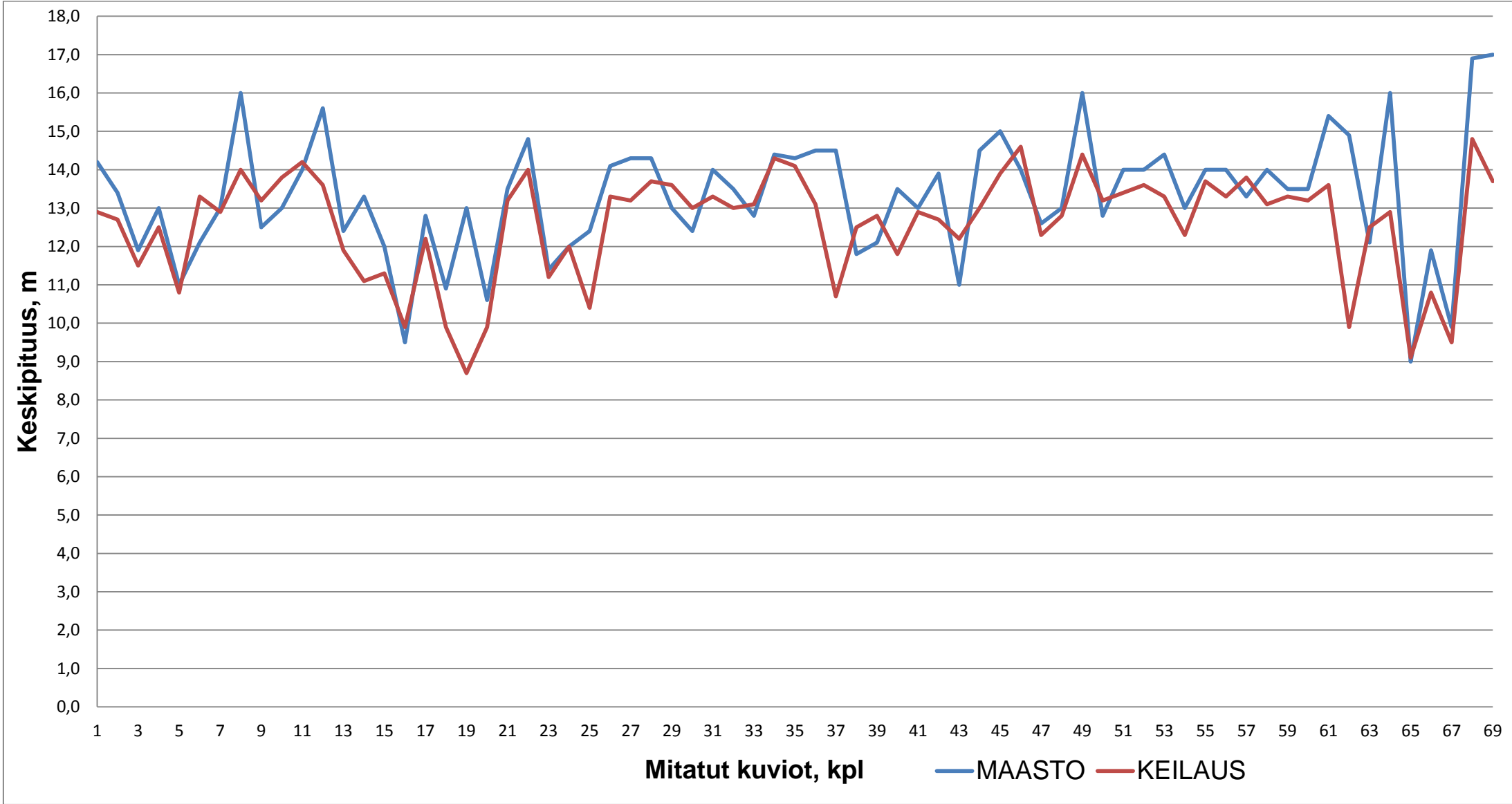
Kuvio 26. Summatunnusten pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



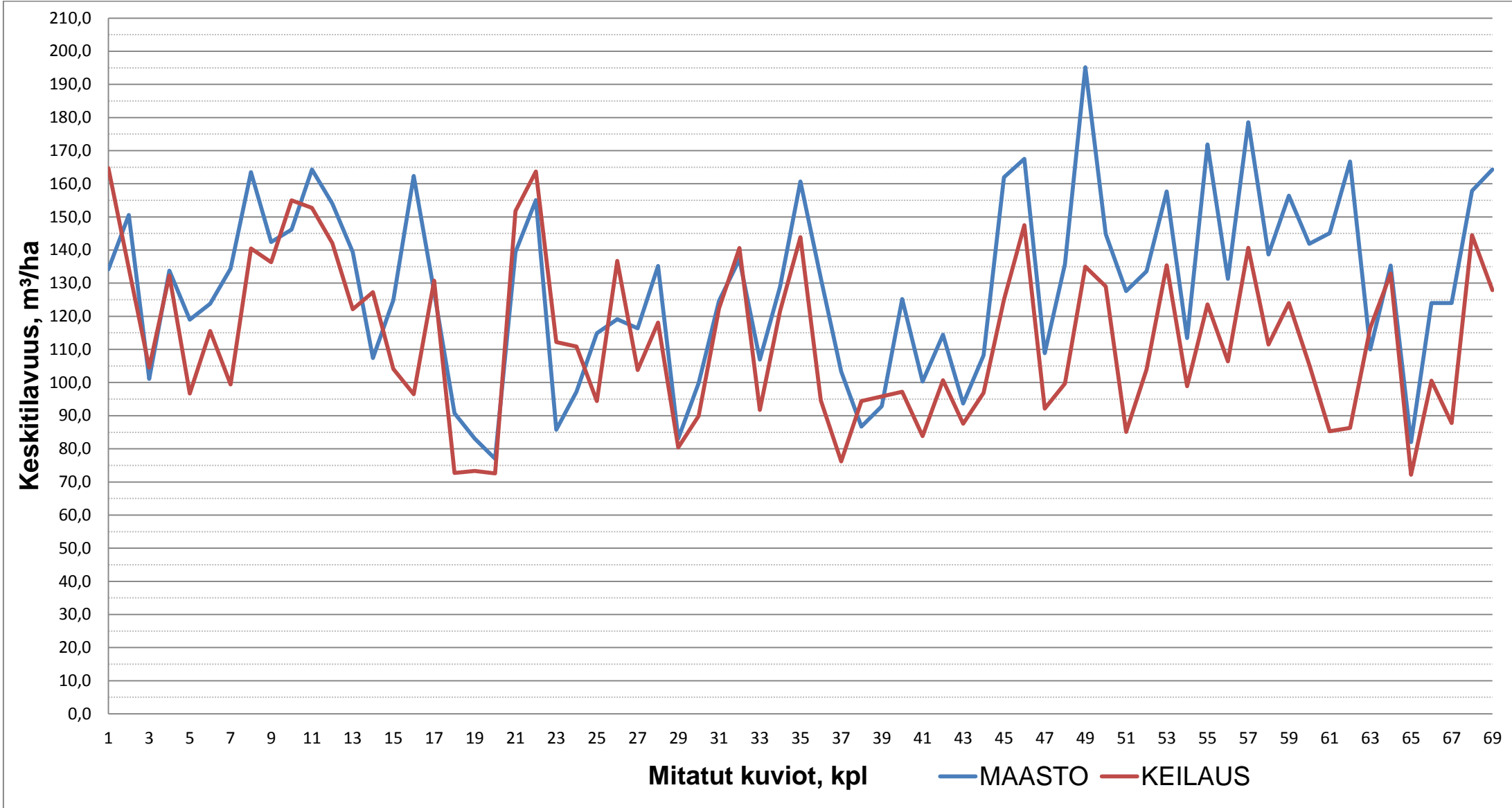
Kuvio 27. Summatunnusten runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



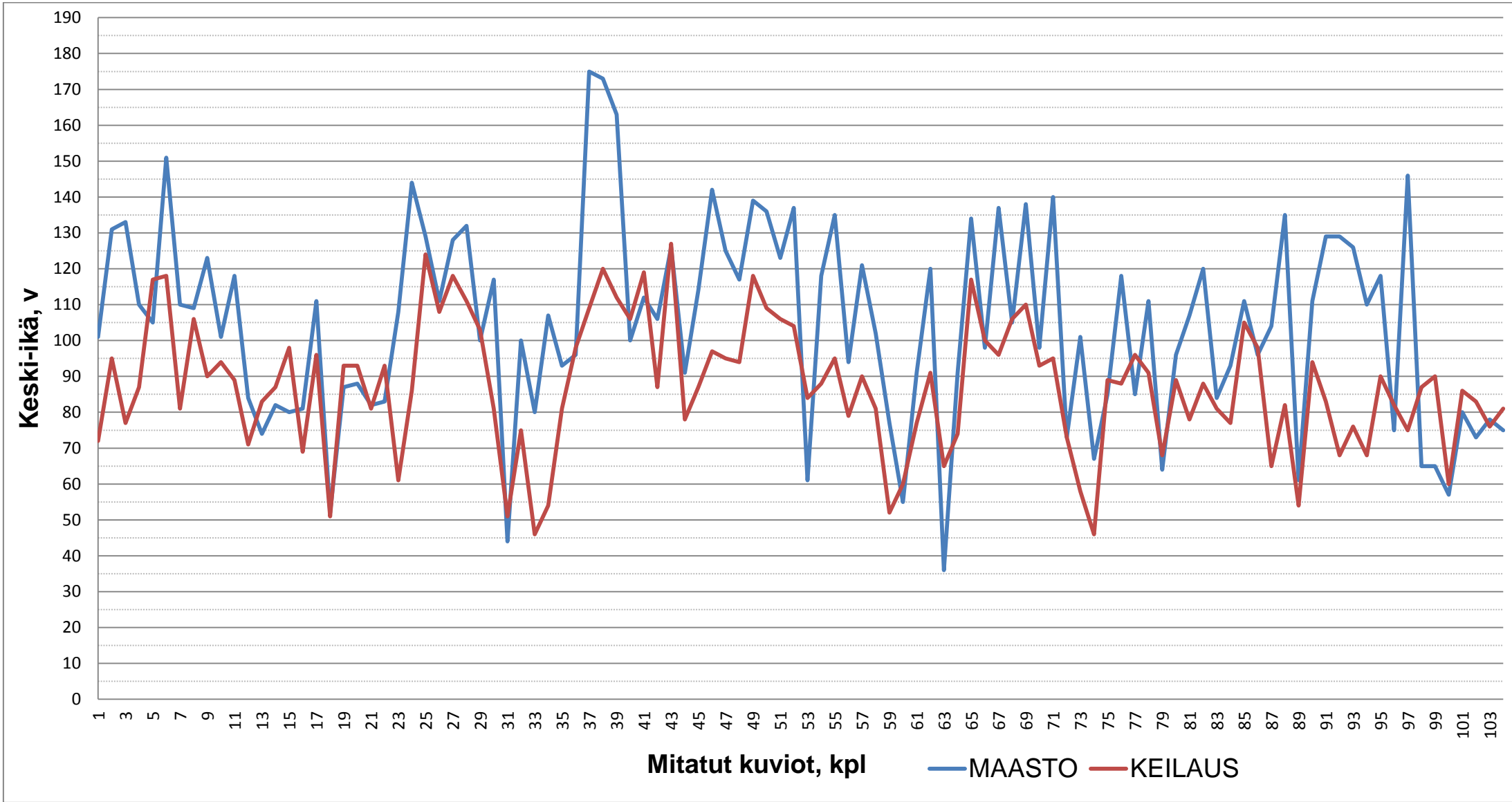
Kuvio 28. Summatunnusten keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



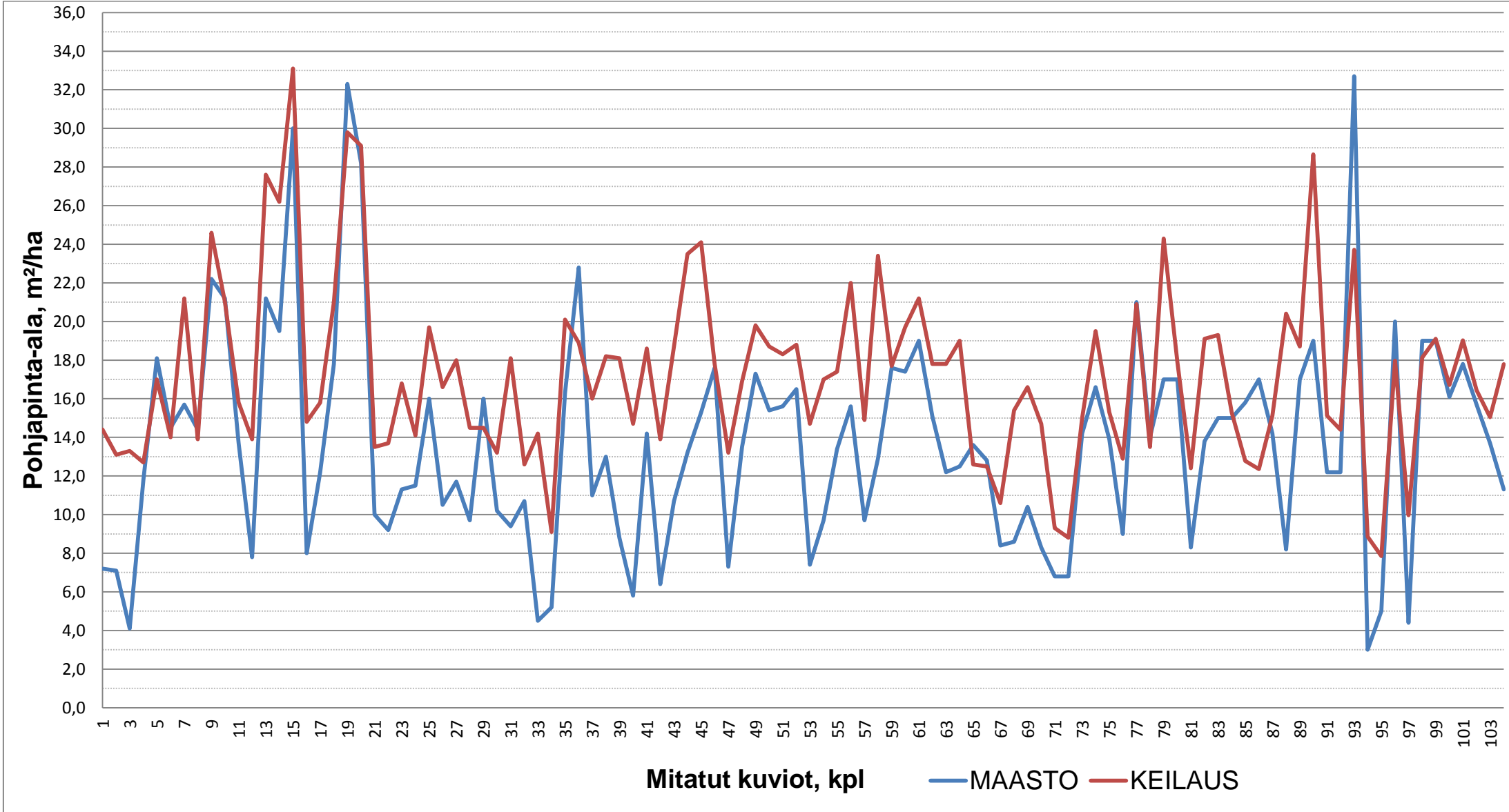
Kuvio 29. Summatunnusten keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



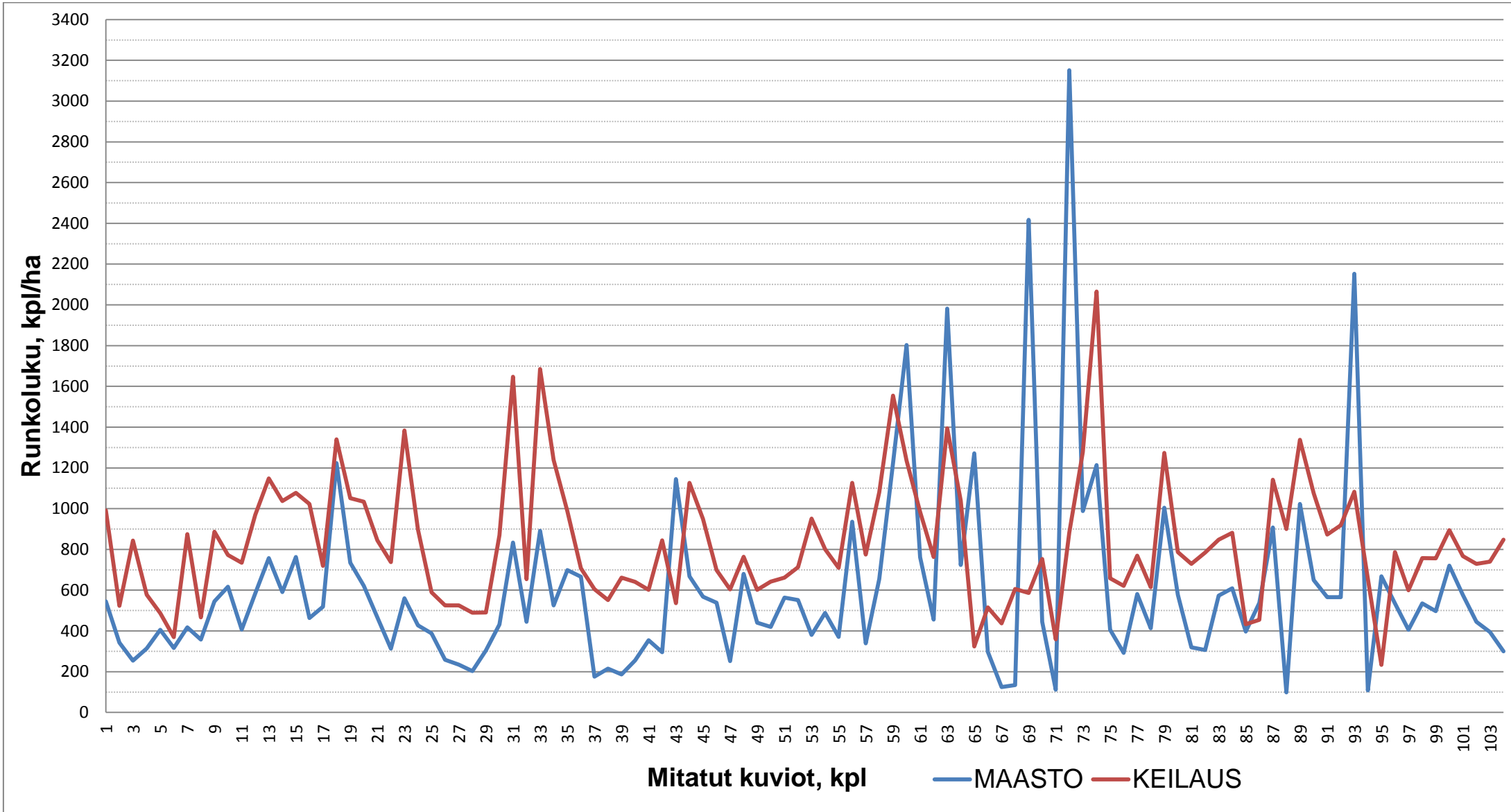
Kuvio 30. Summatunnusten keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



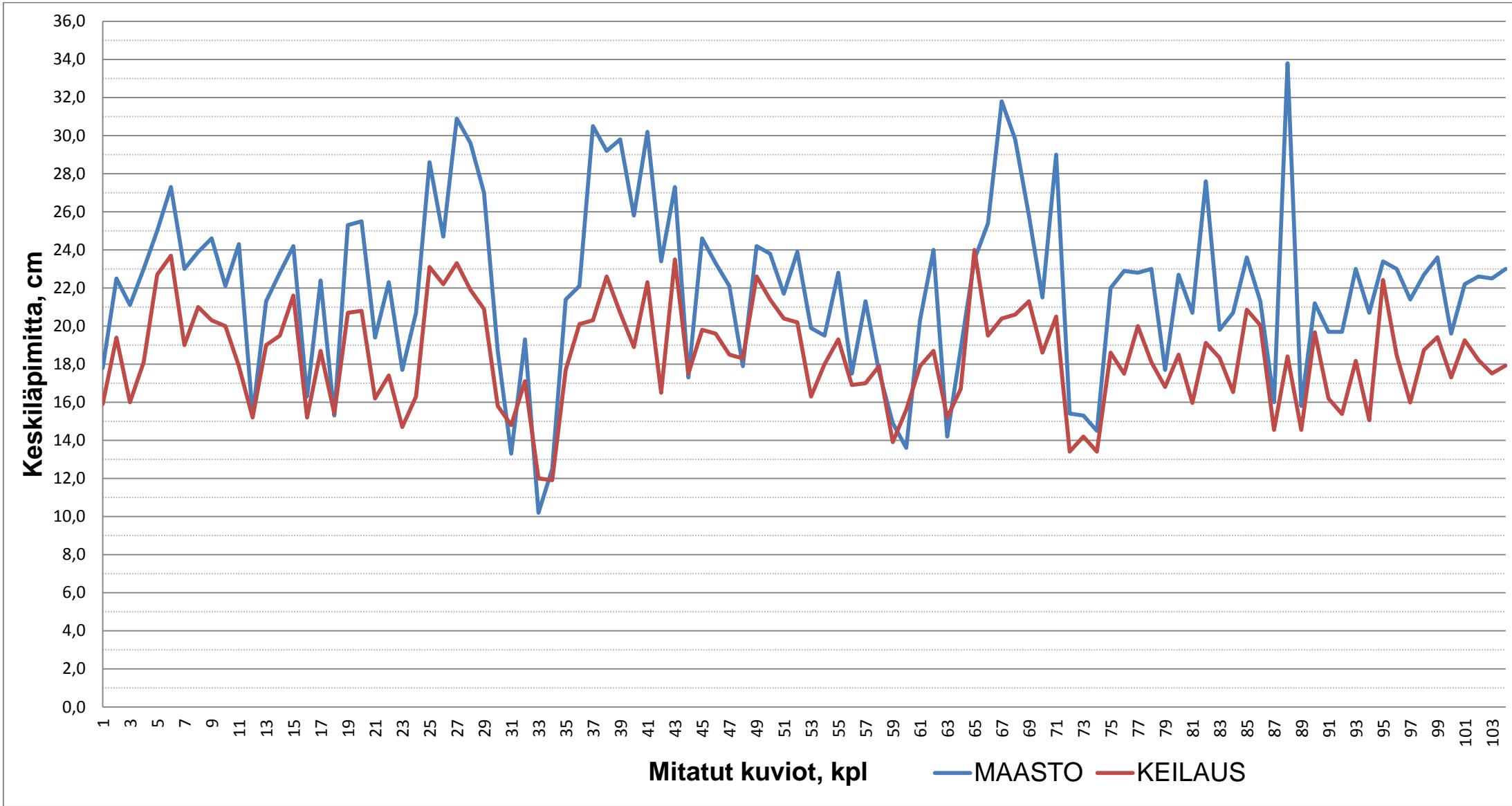
Kuvio 31. Summatunnusten keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



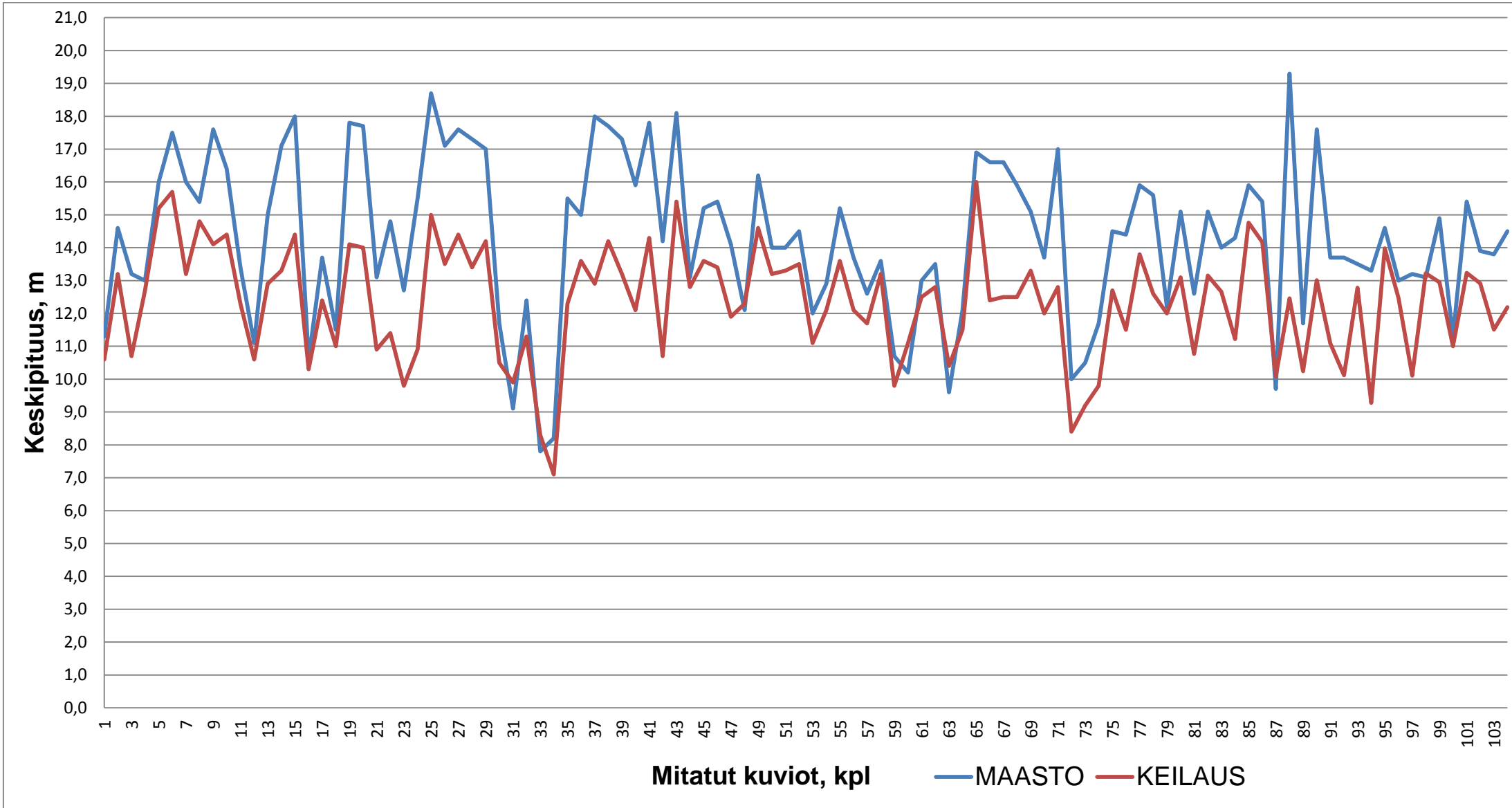
Kuvio 32. Summatunnusten pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



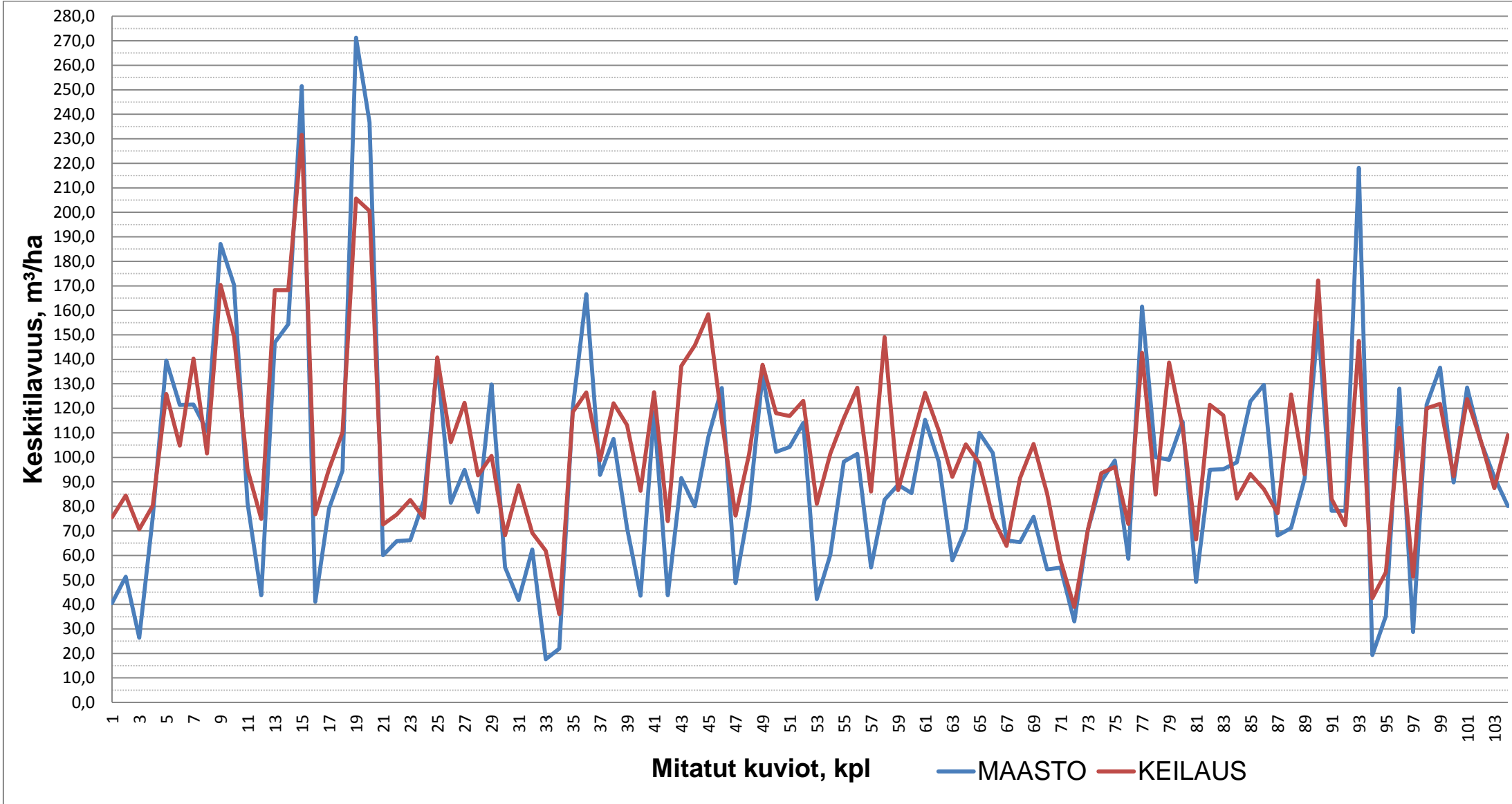
Kuvio 33. Summatunnusten runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



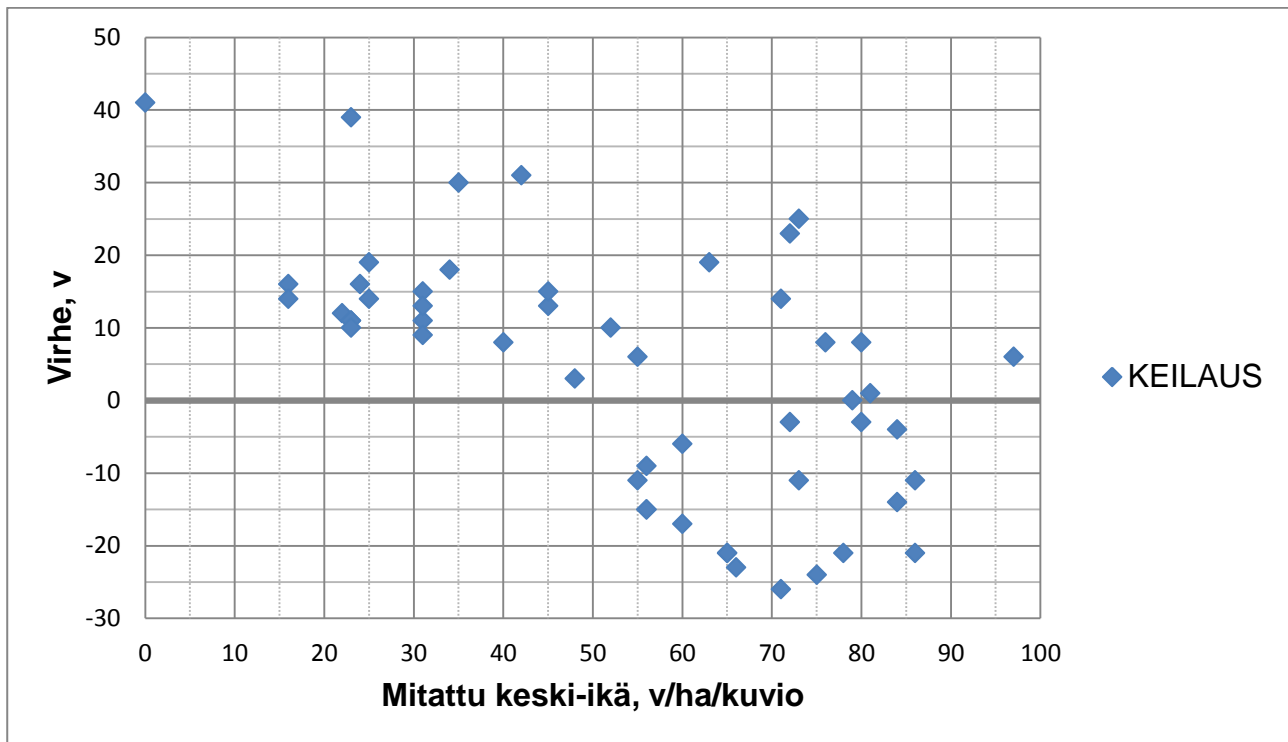
Kuvio 34. Summatunnusten keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



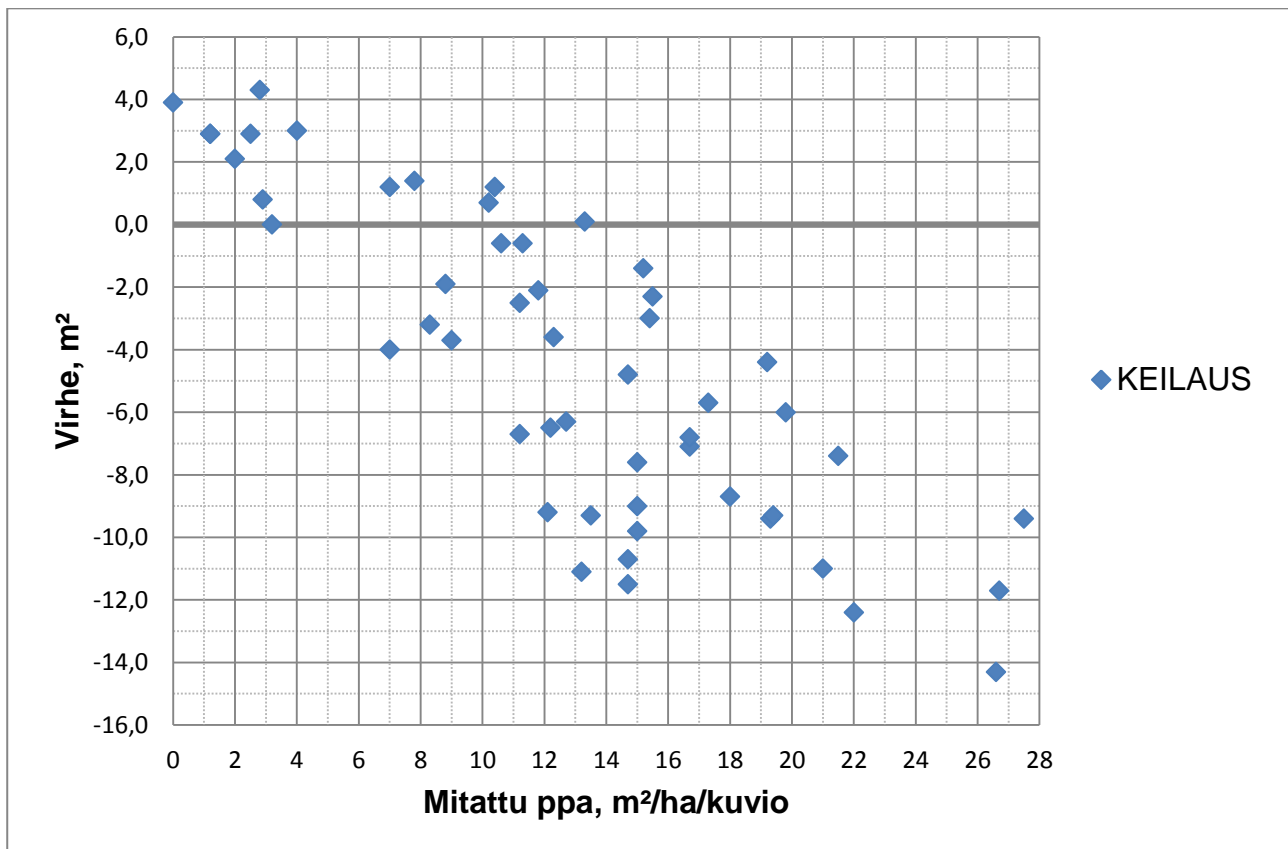
Kuvio 35. Summatunnusten keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



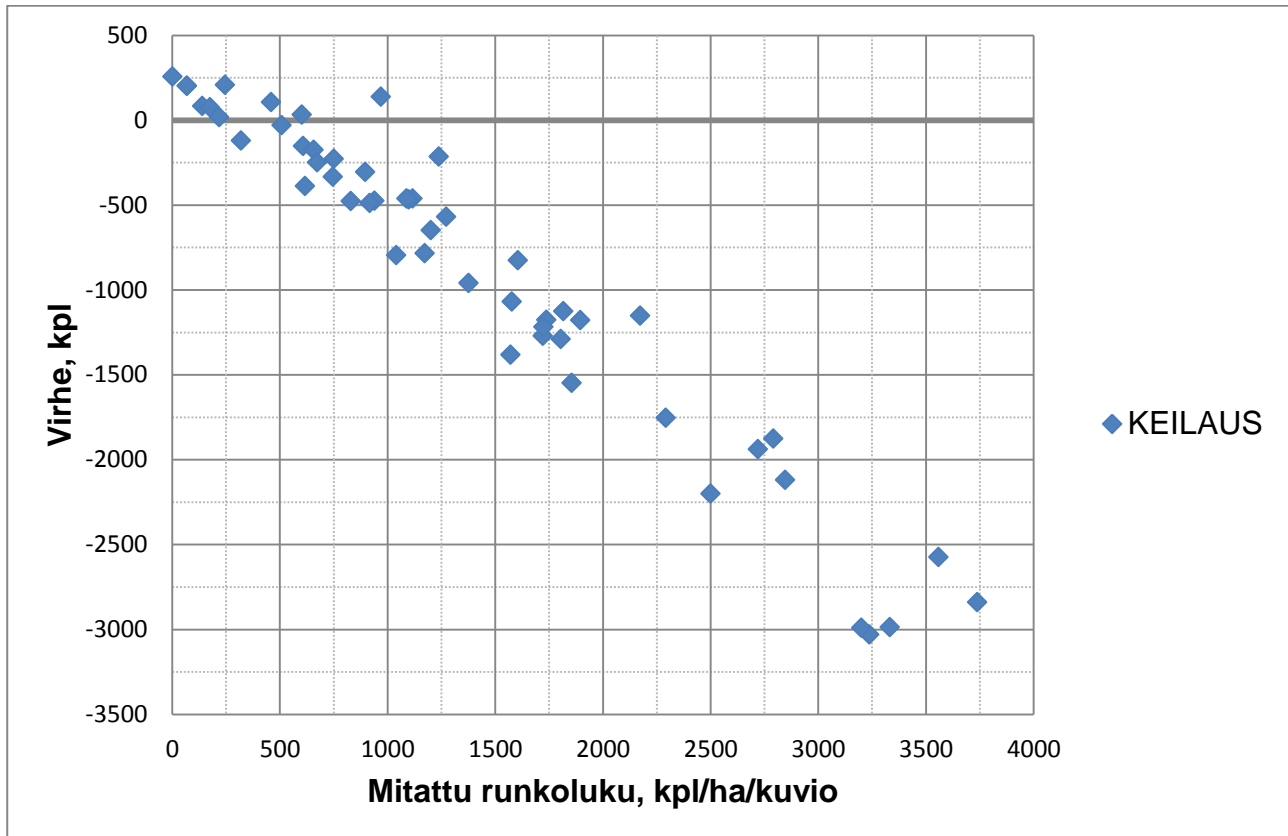
Kuvio 36. Summatunnusten keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



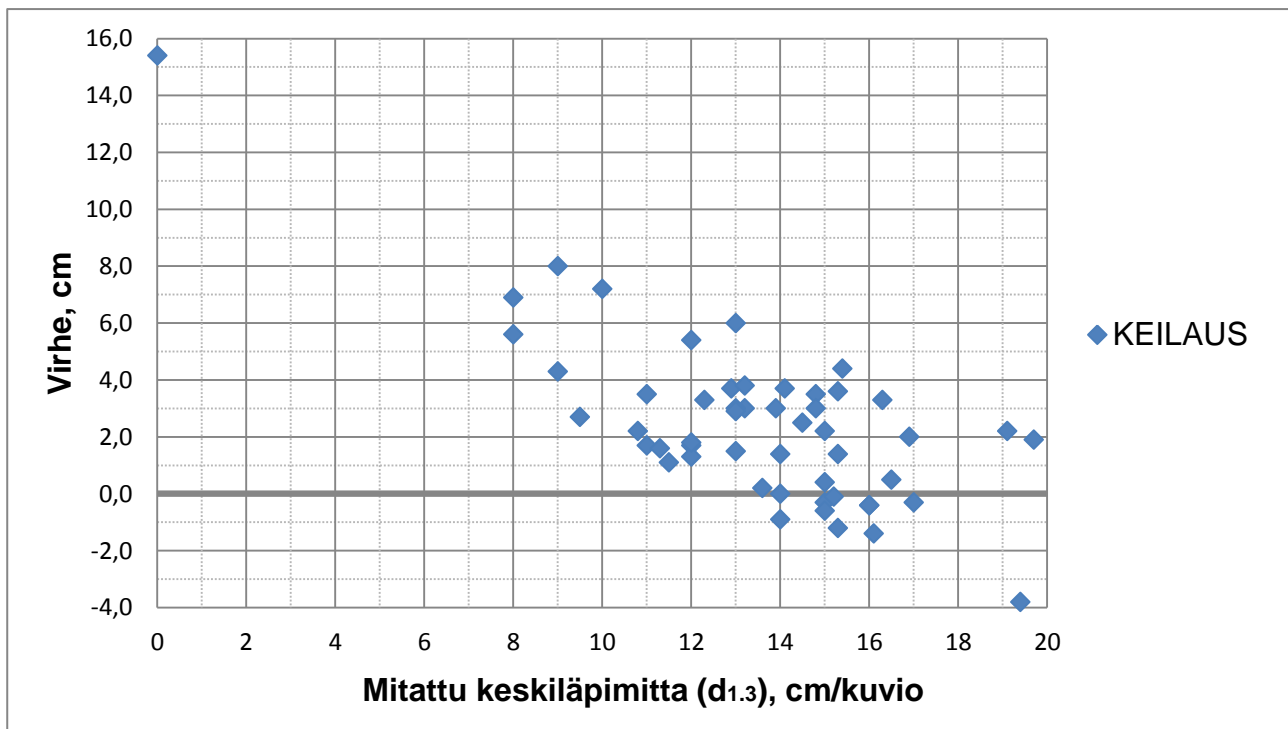
Kuvio 37. Männyn keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona.



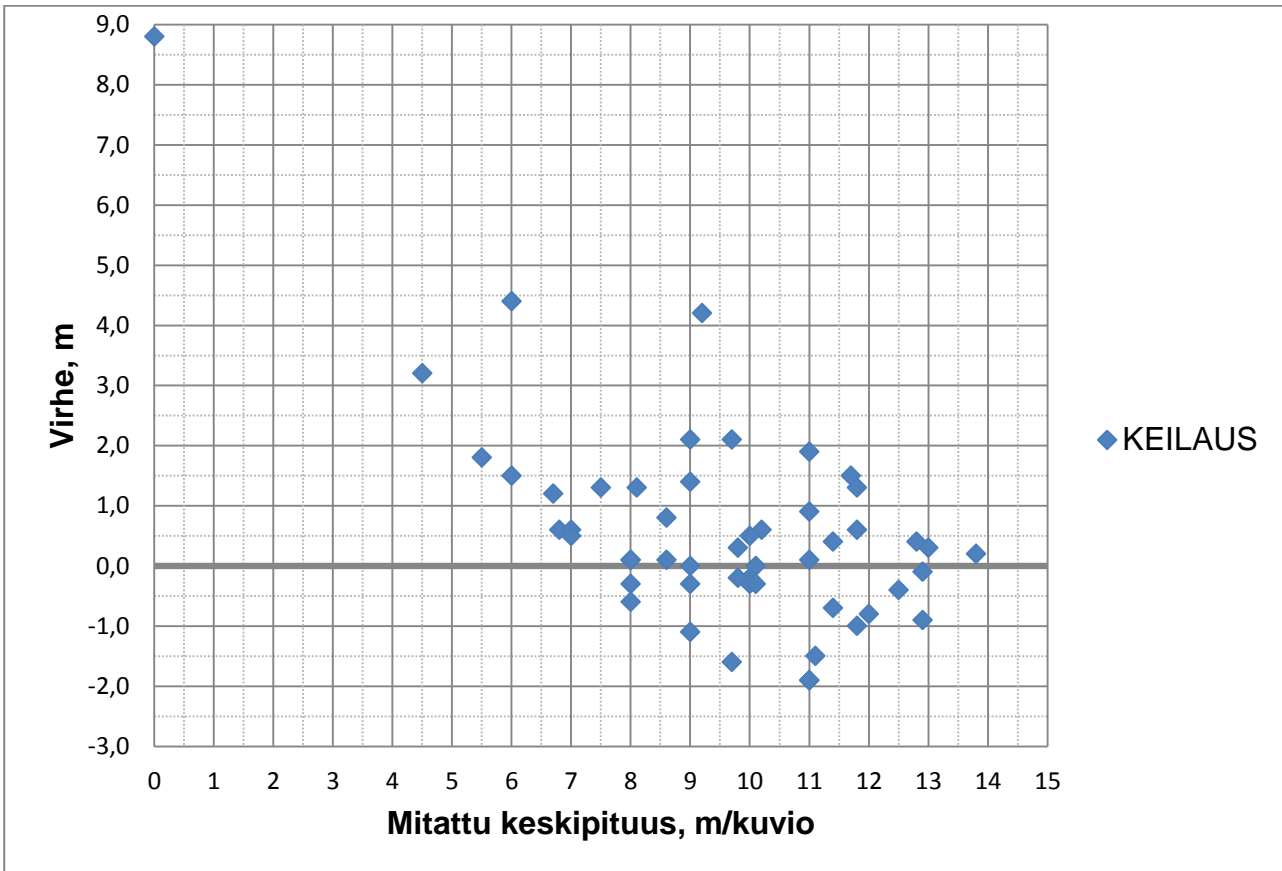
Kuvio 38. Männyn pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



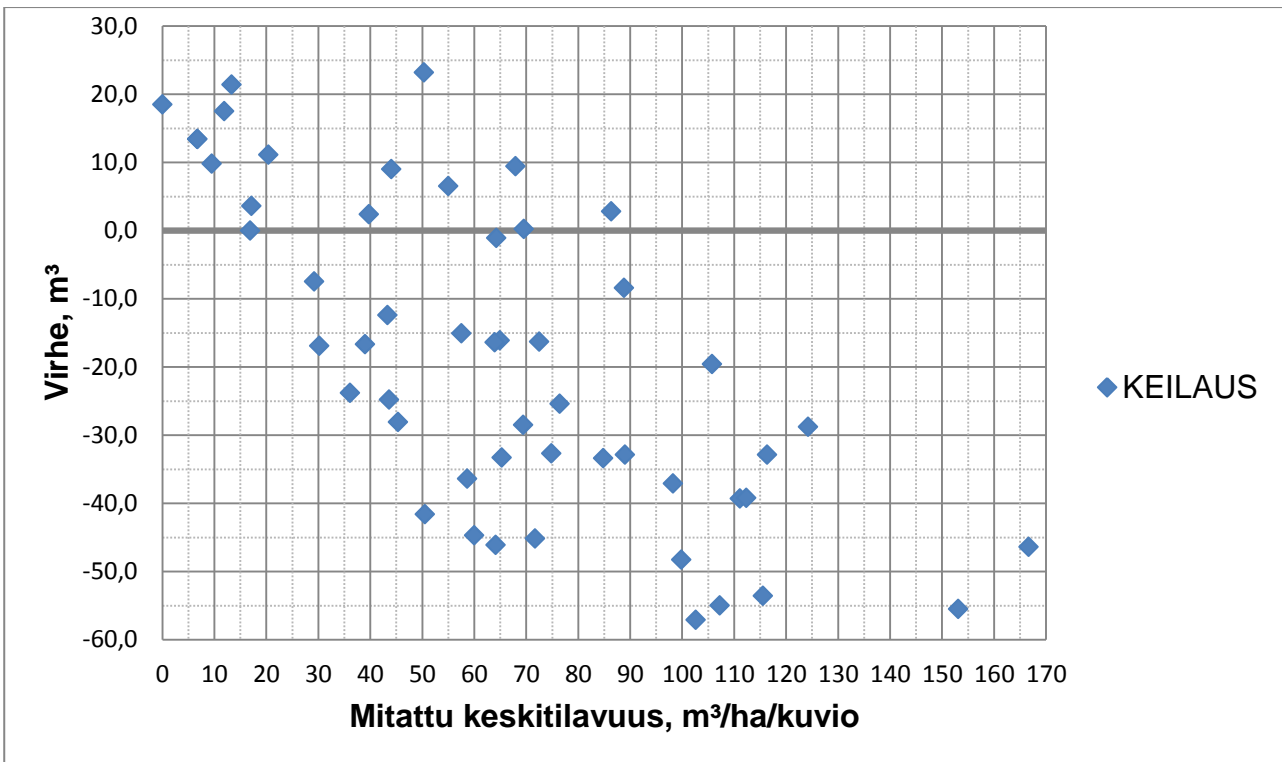
Kuvio 39. Männyn runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



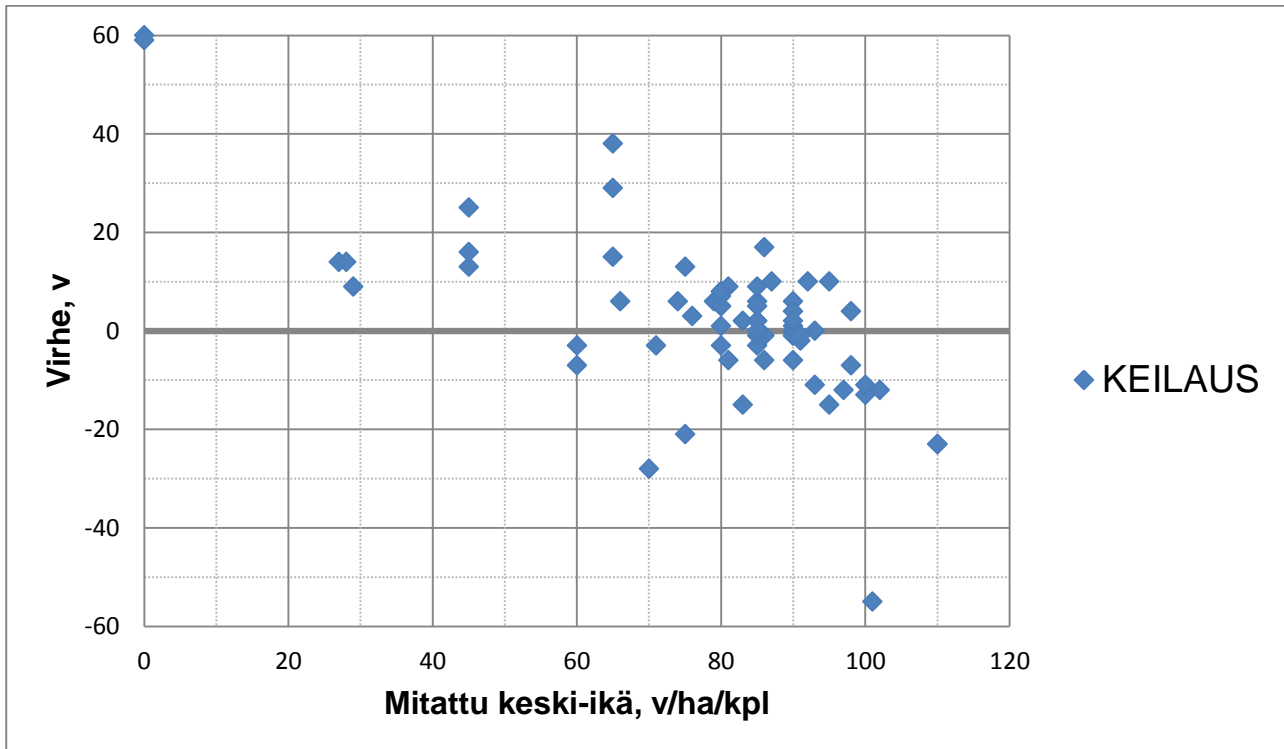
Kuvio 40. Männyn keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



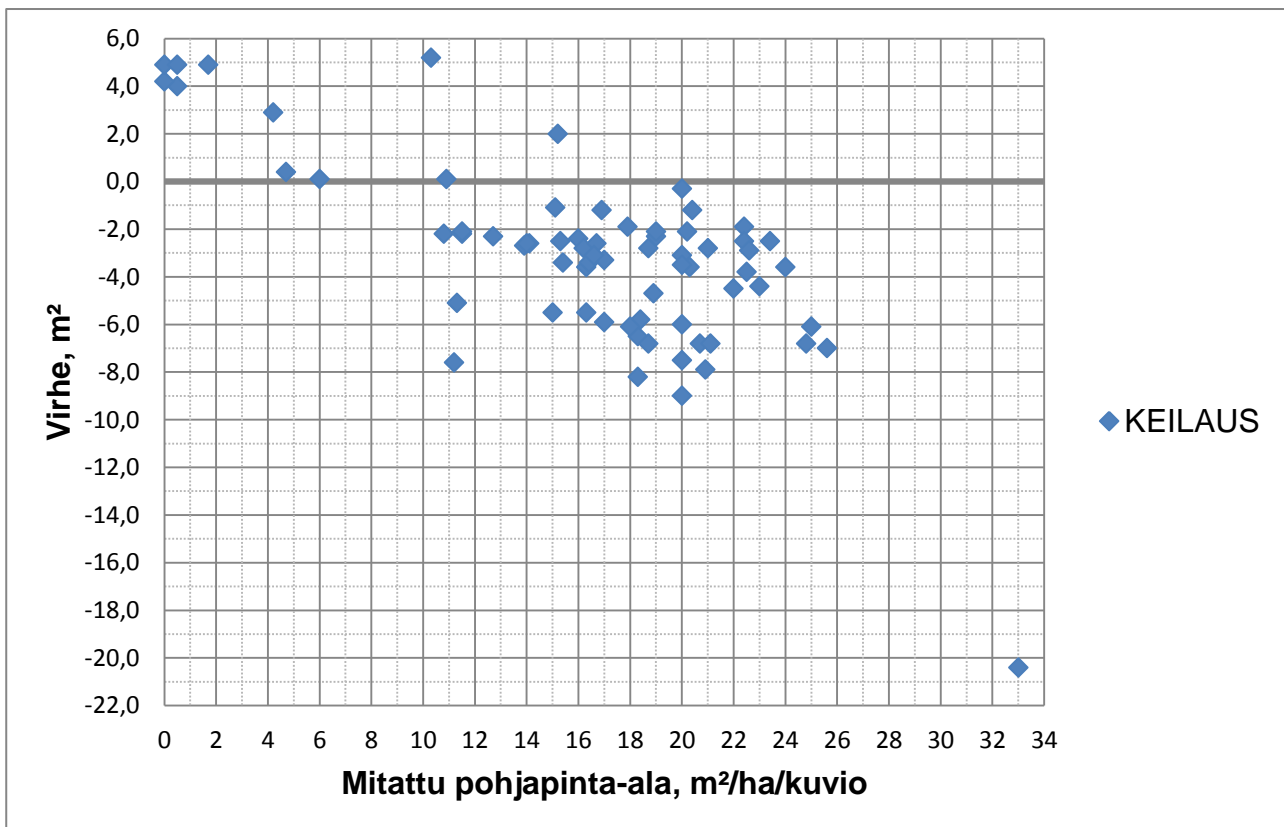
Kuvio 41. Männyn keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



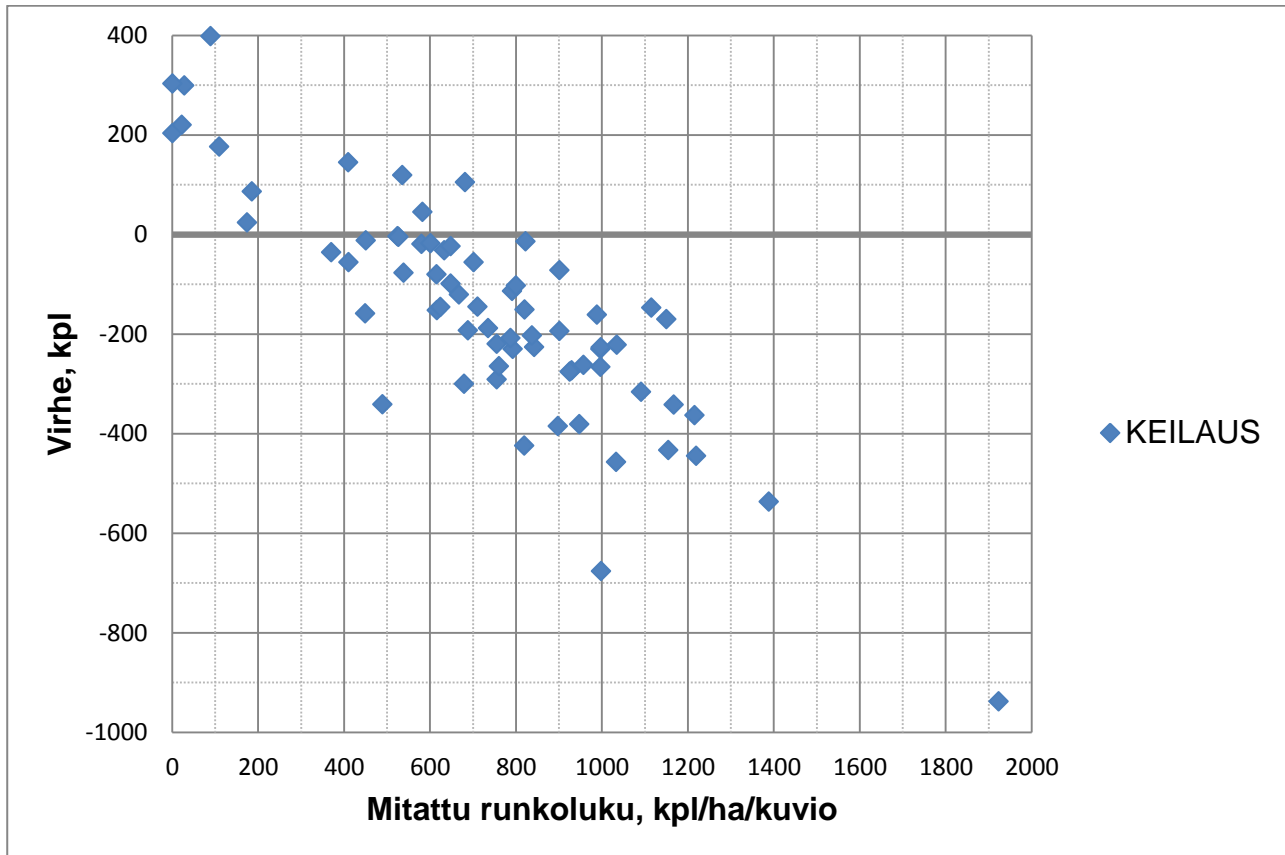
Kuvio 42. Männyn keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



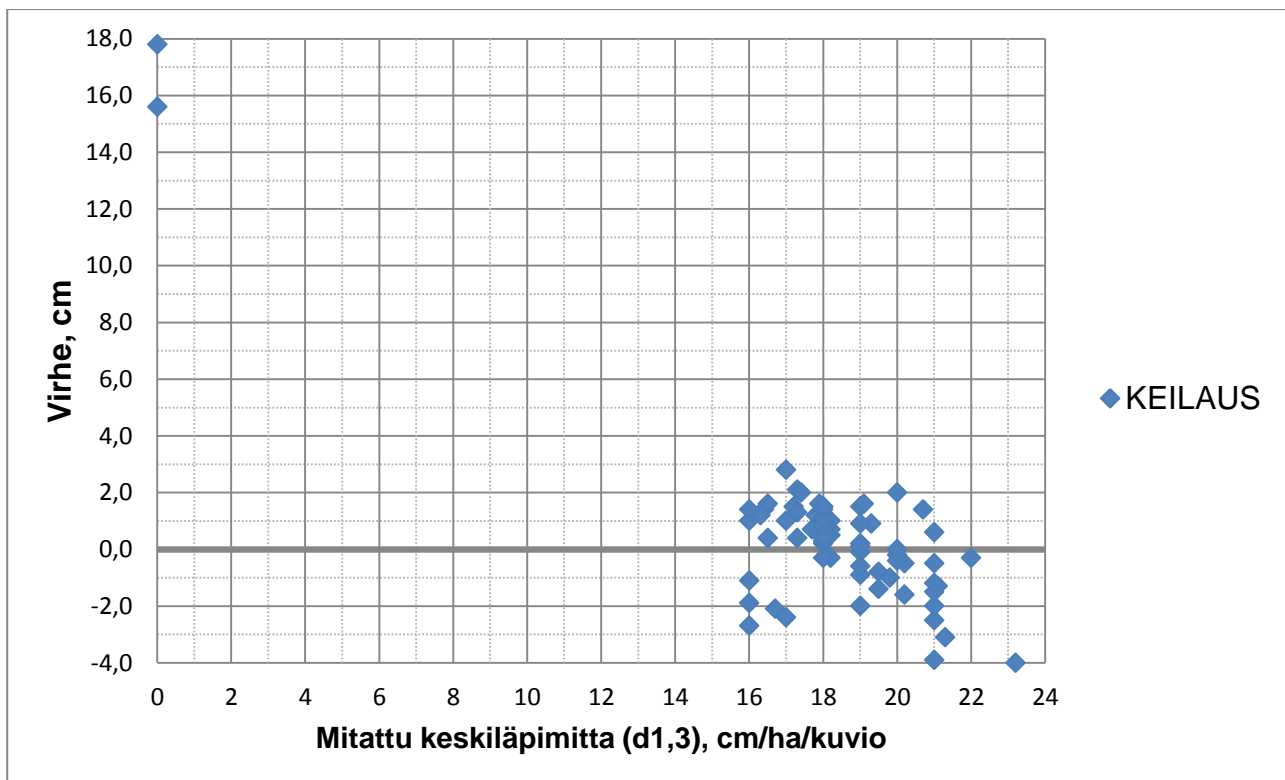
Kuvio 43. Männyn keski-ikäen kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ikäen funktiona.



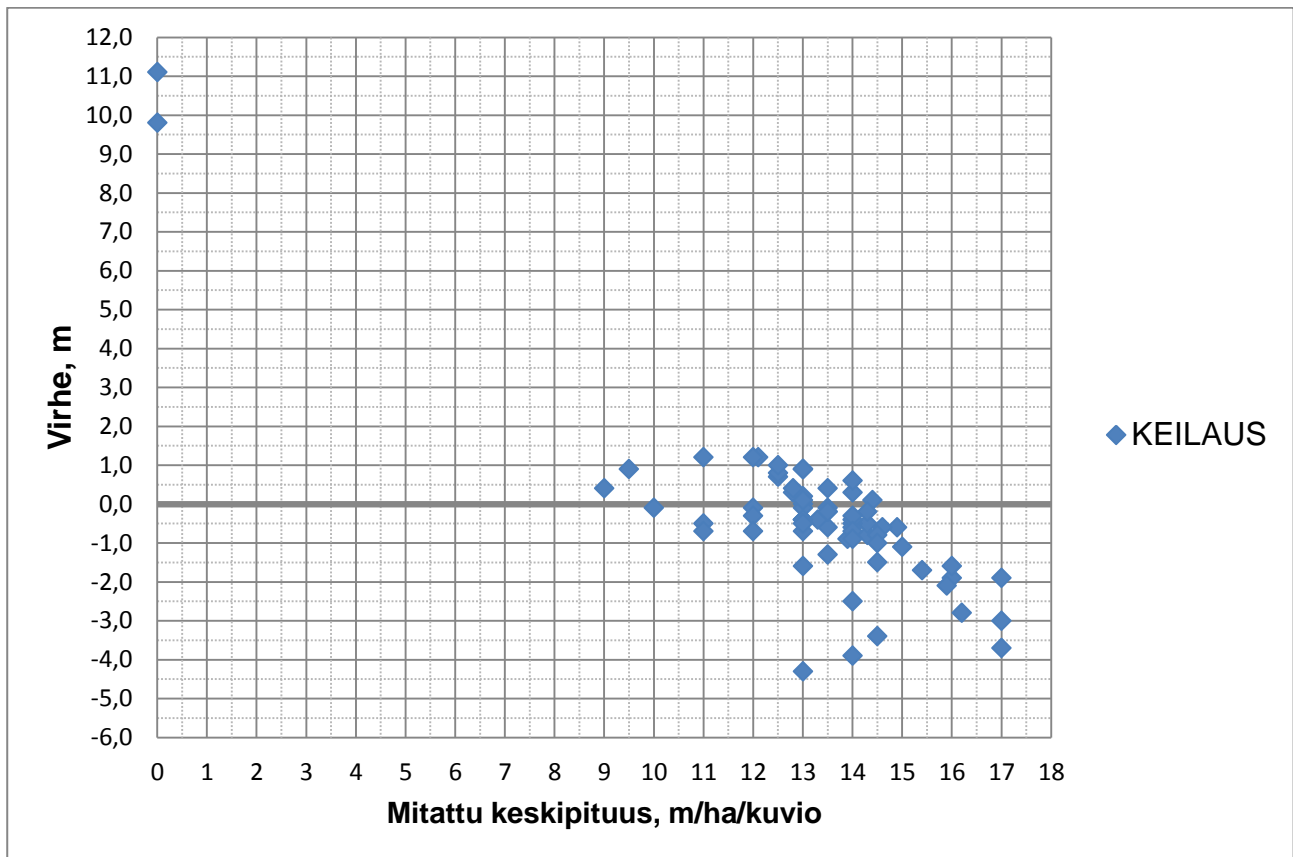
Kuvio 44. Männyn pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



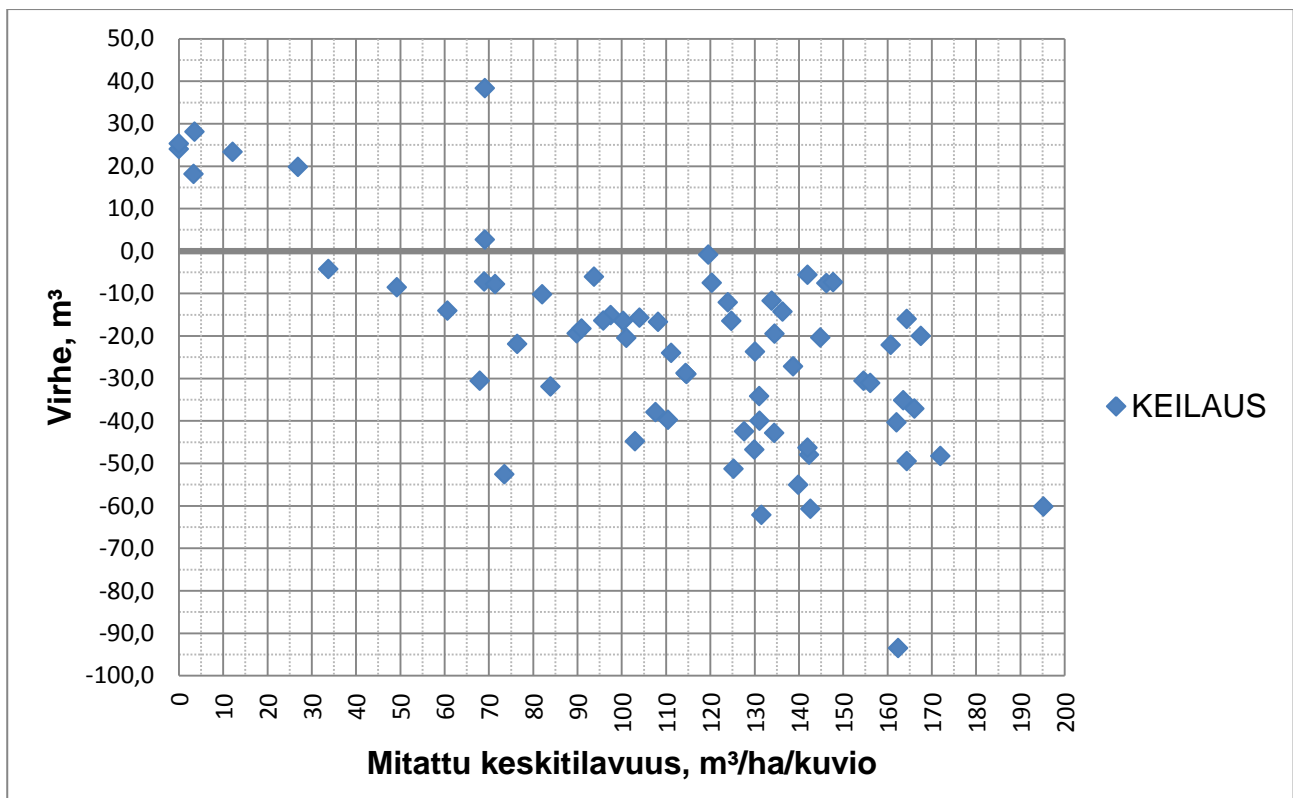
Kuvio 45. Männyn runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



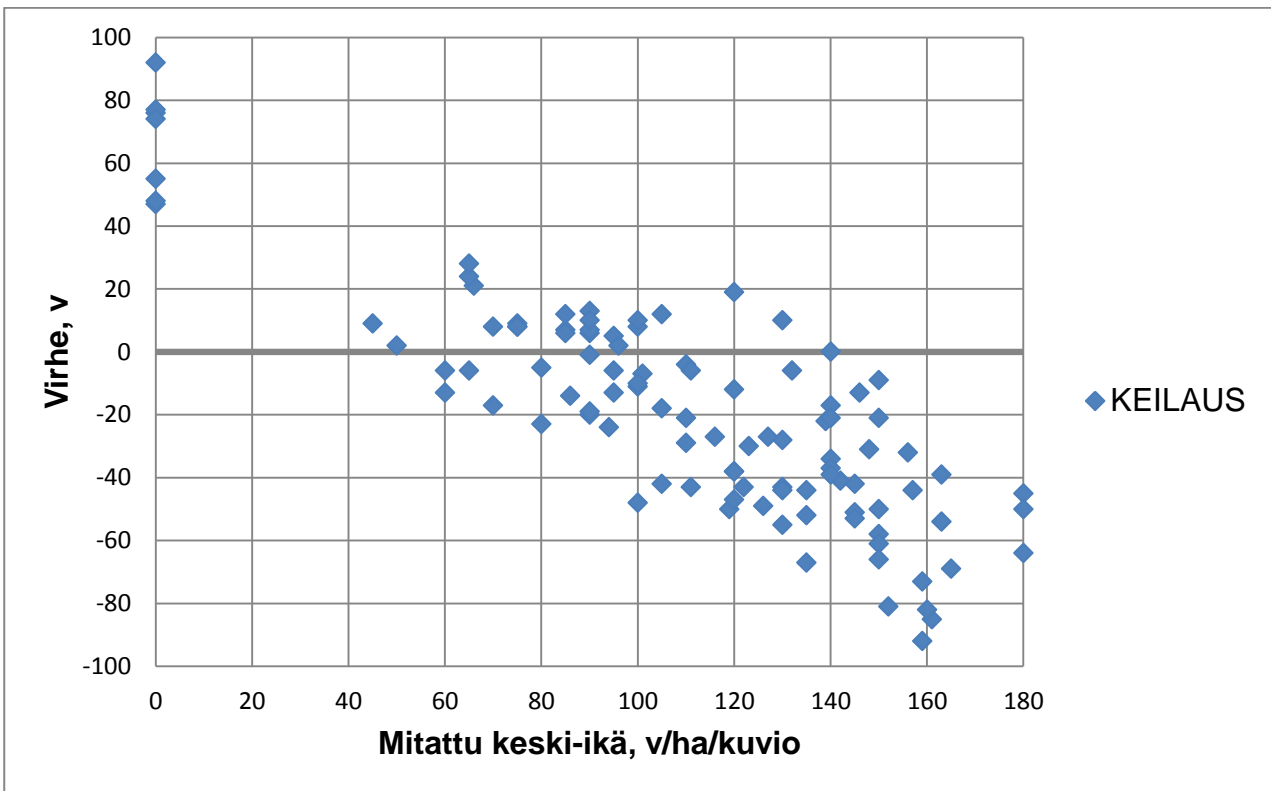
Kuvio 46. Männyn keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



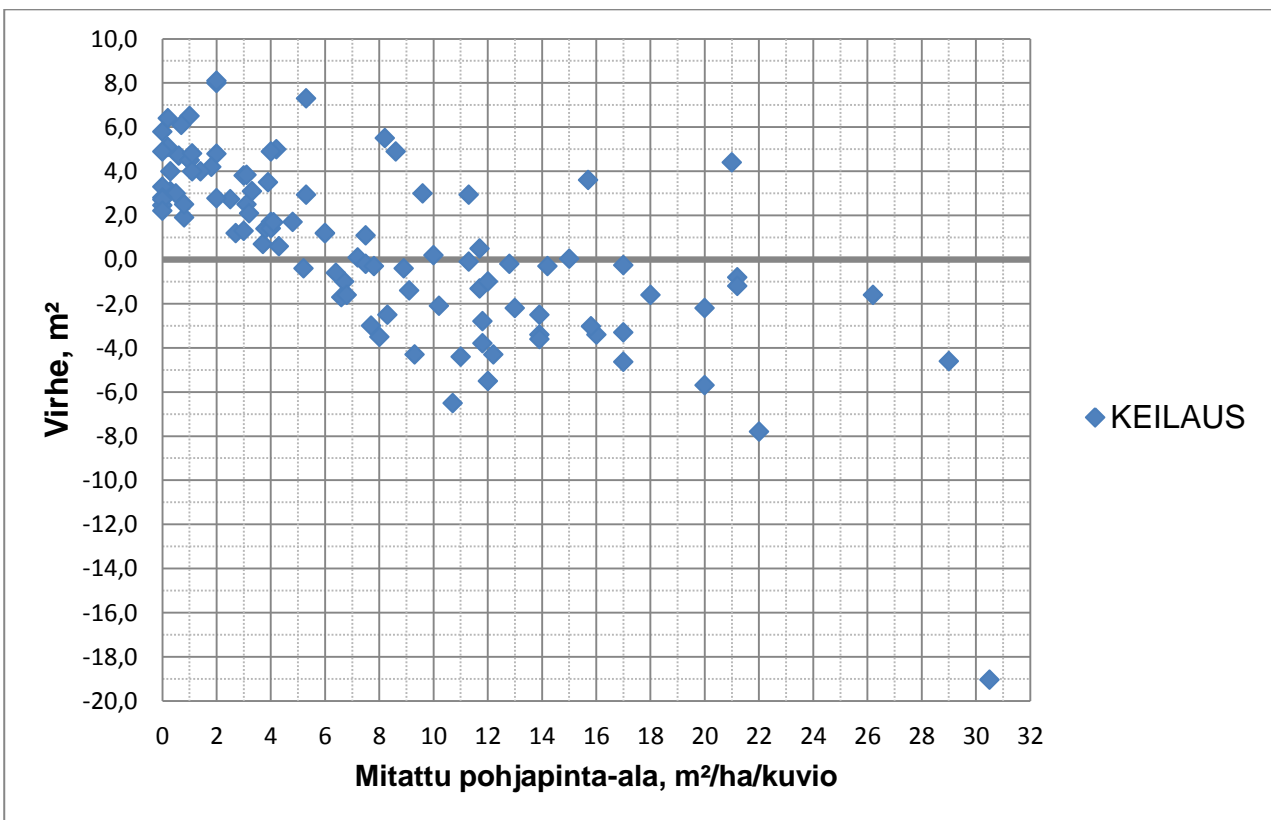
Kuvio 47. Männyn keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



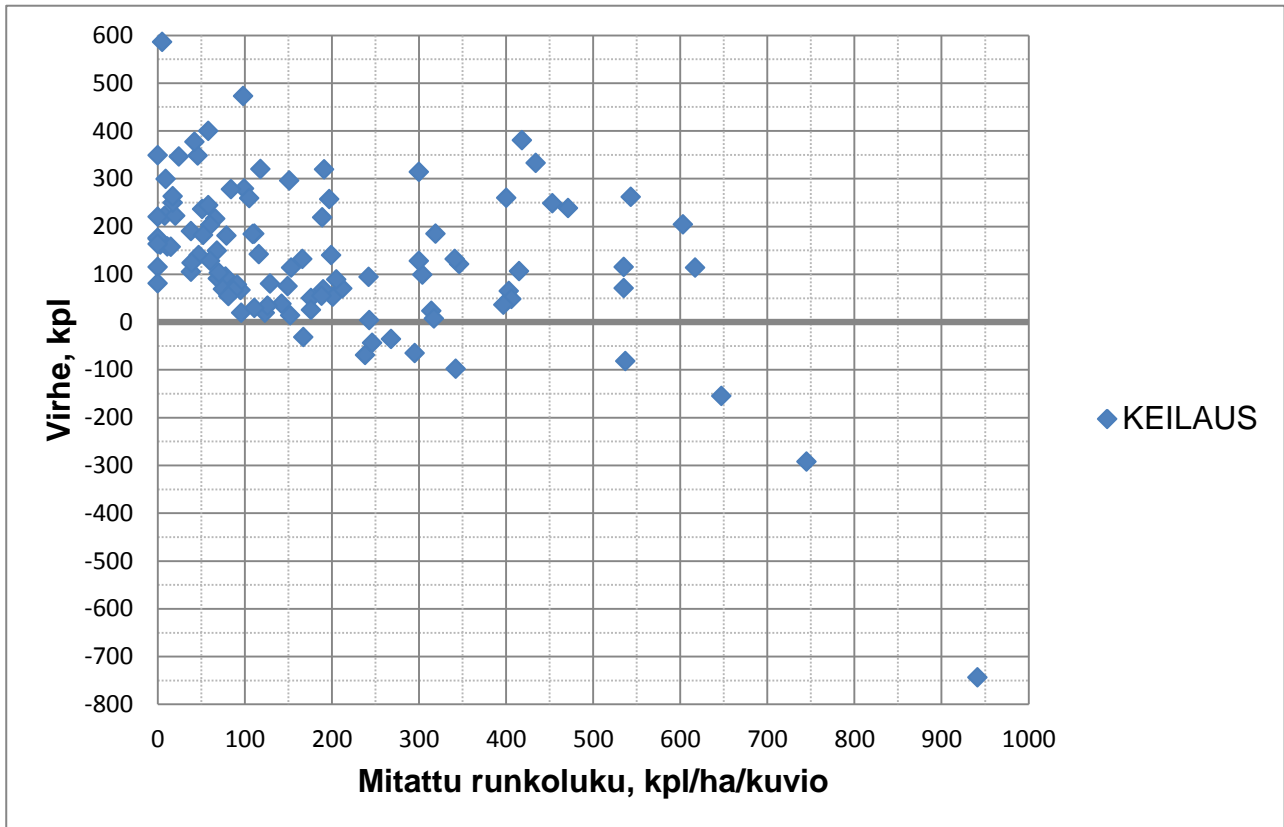
Kuvio 48. Männyn keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



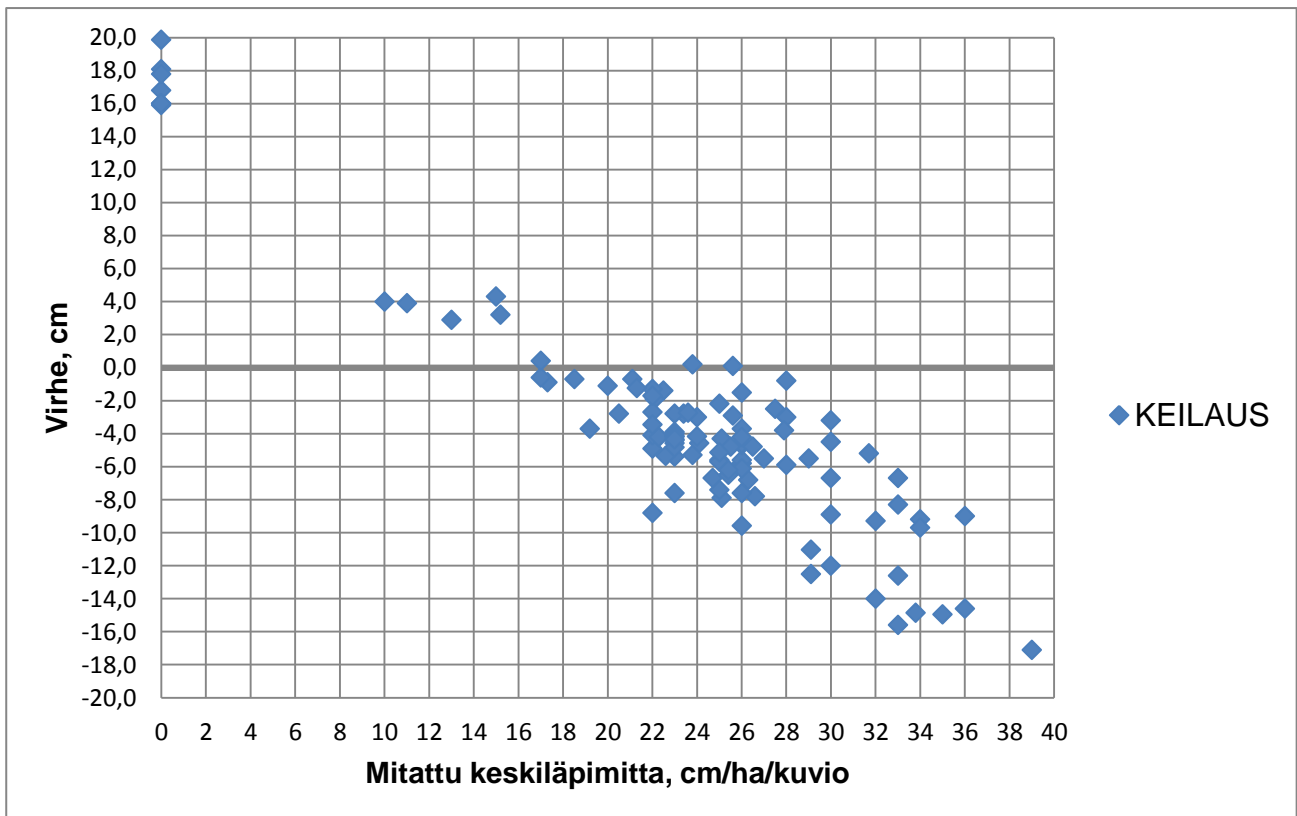
Kuvio 49. Männyn keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona.



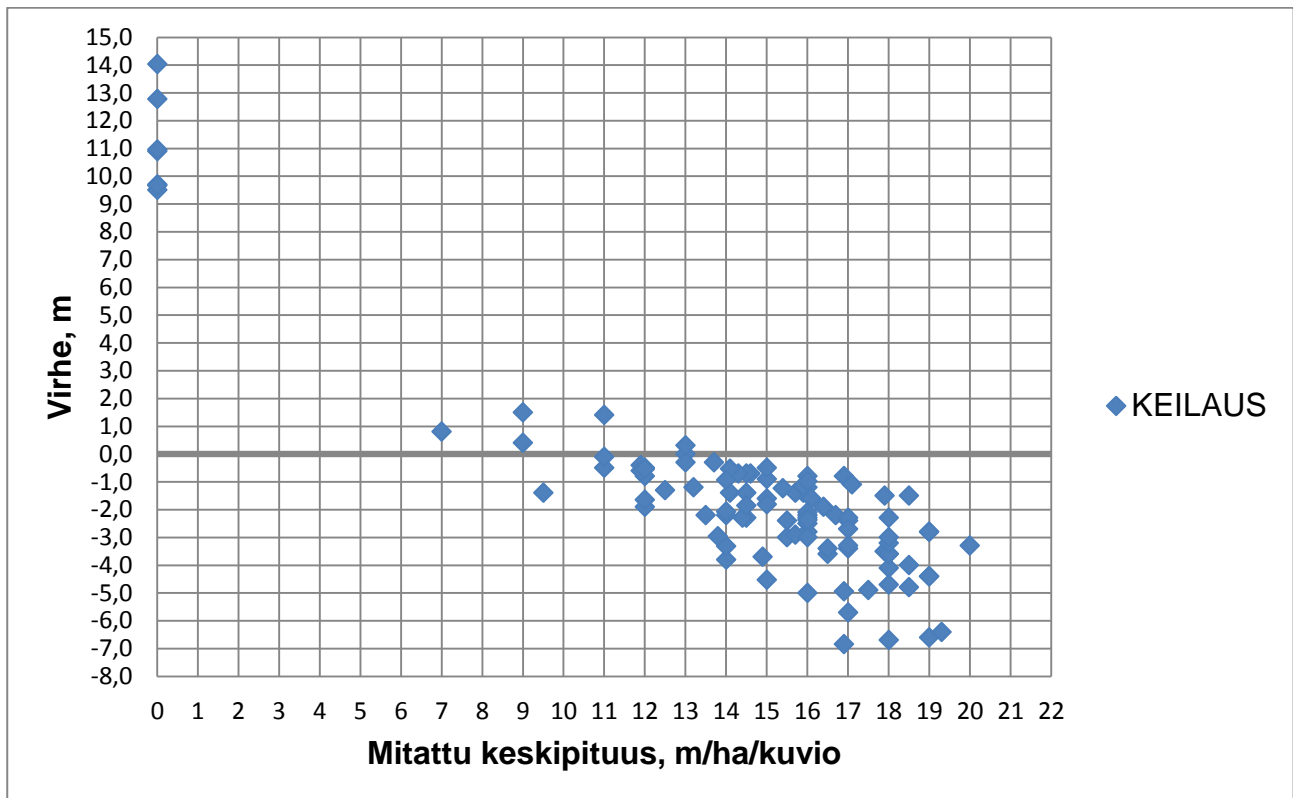
Kuvio 50. Männyn pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



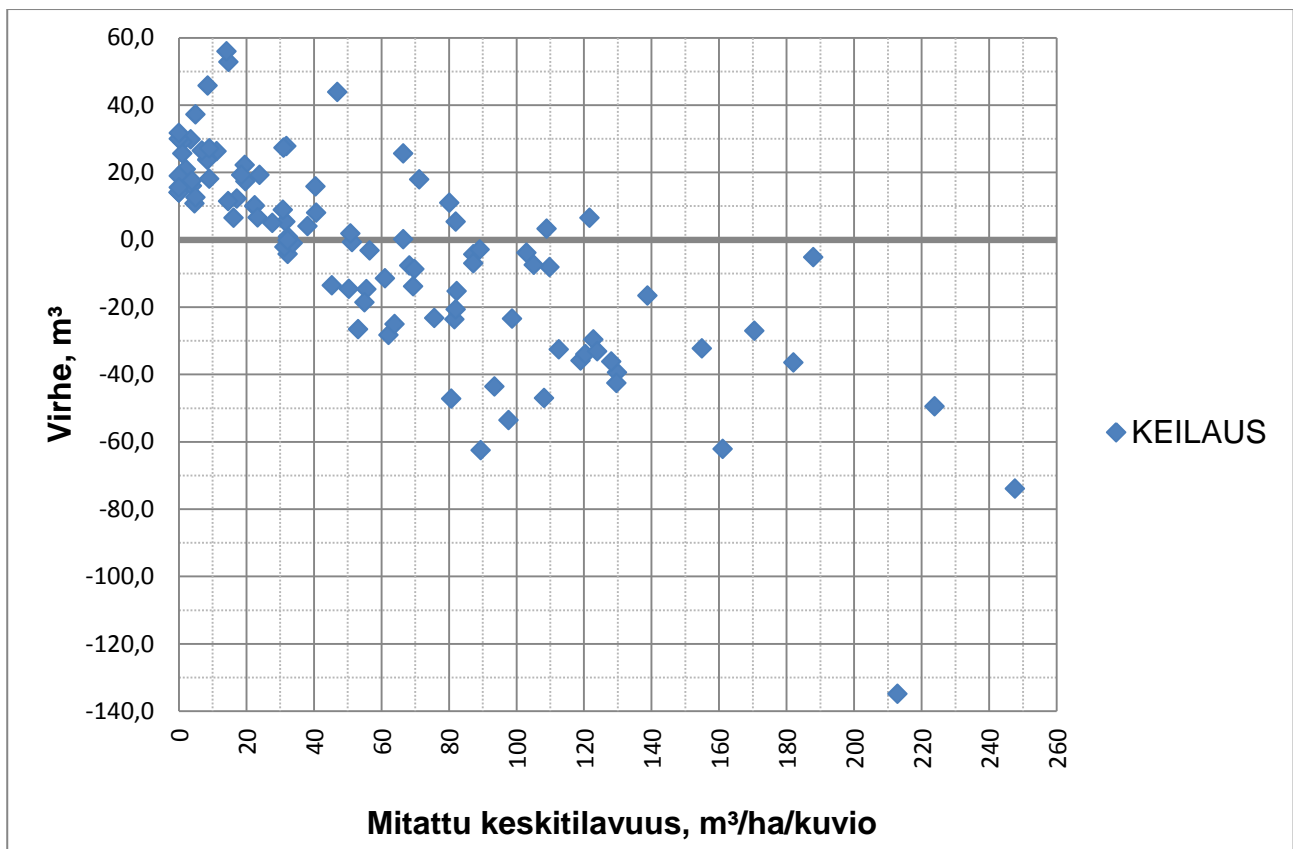
Kuvio 51. Männyn runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



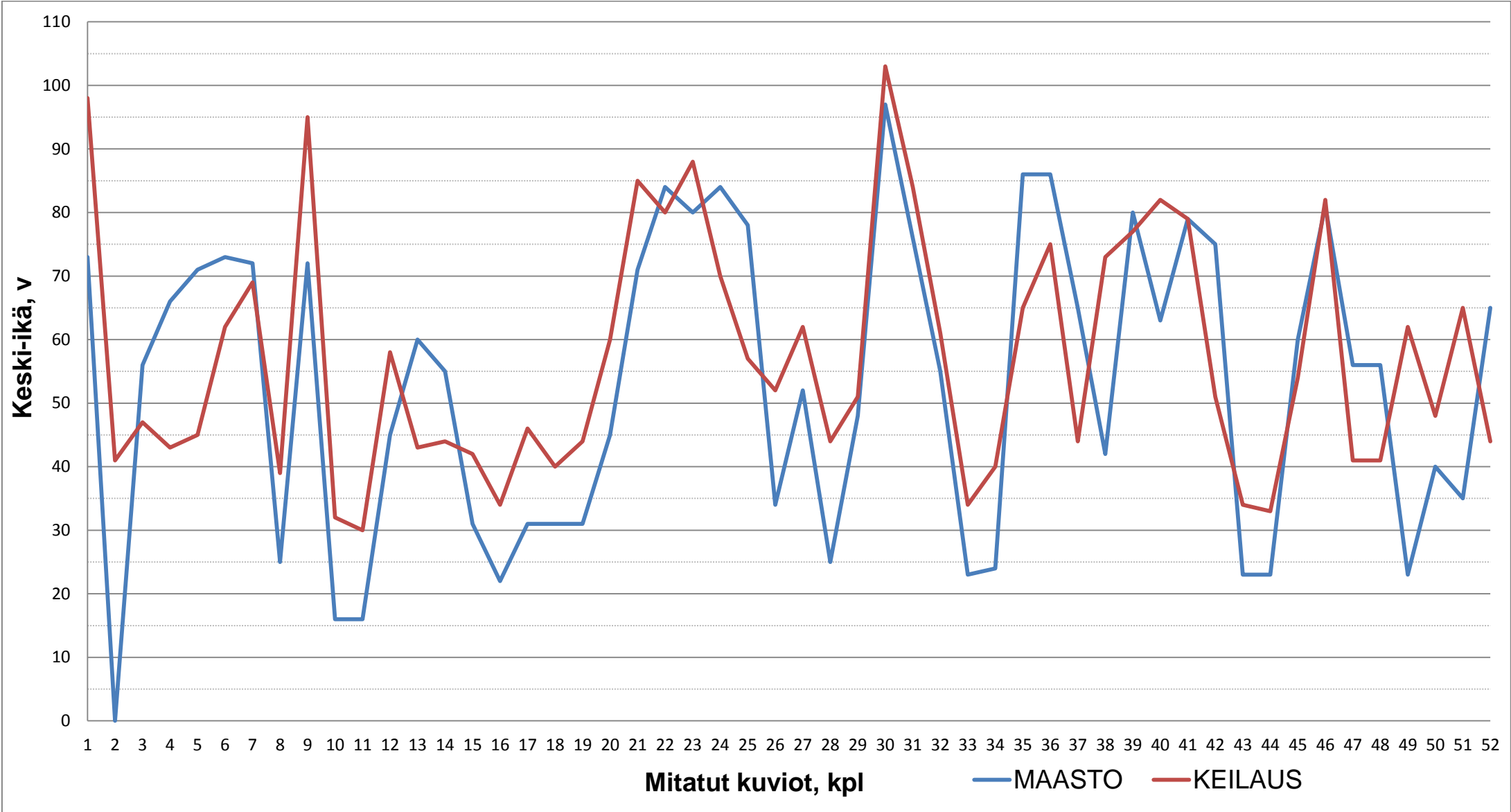
Kuvio 52. Männyn keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



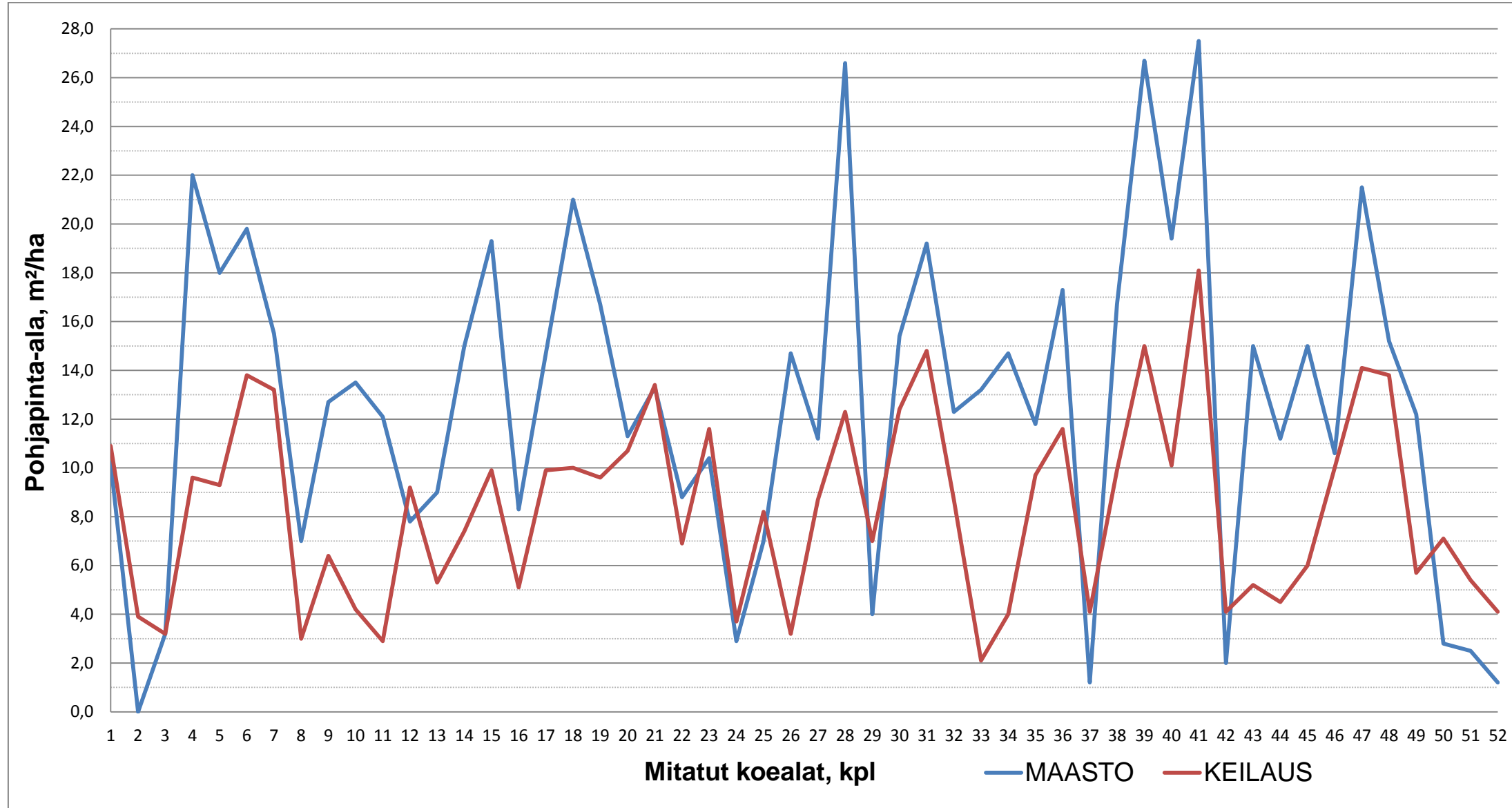
Kuvio 53. Männyn keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.

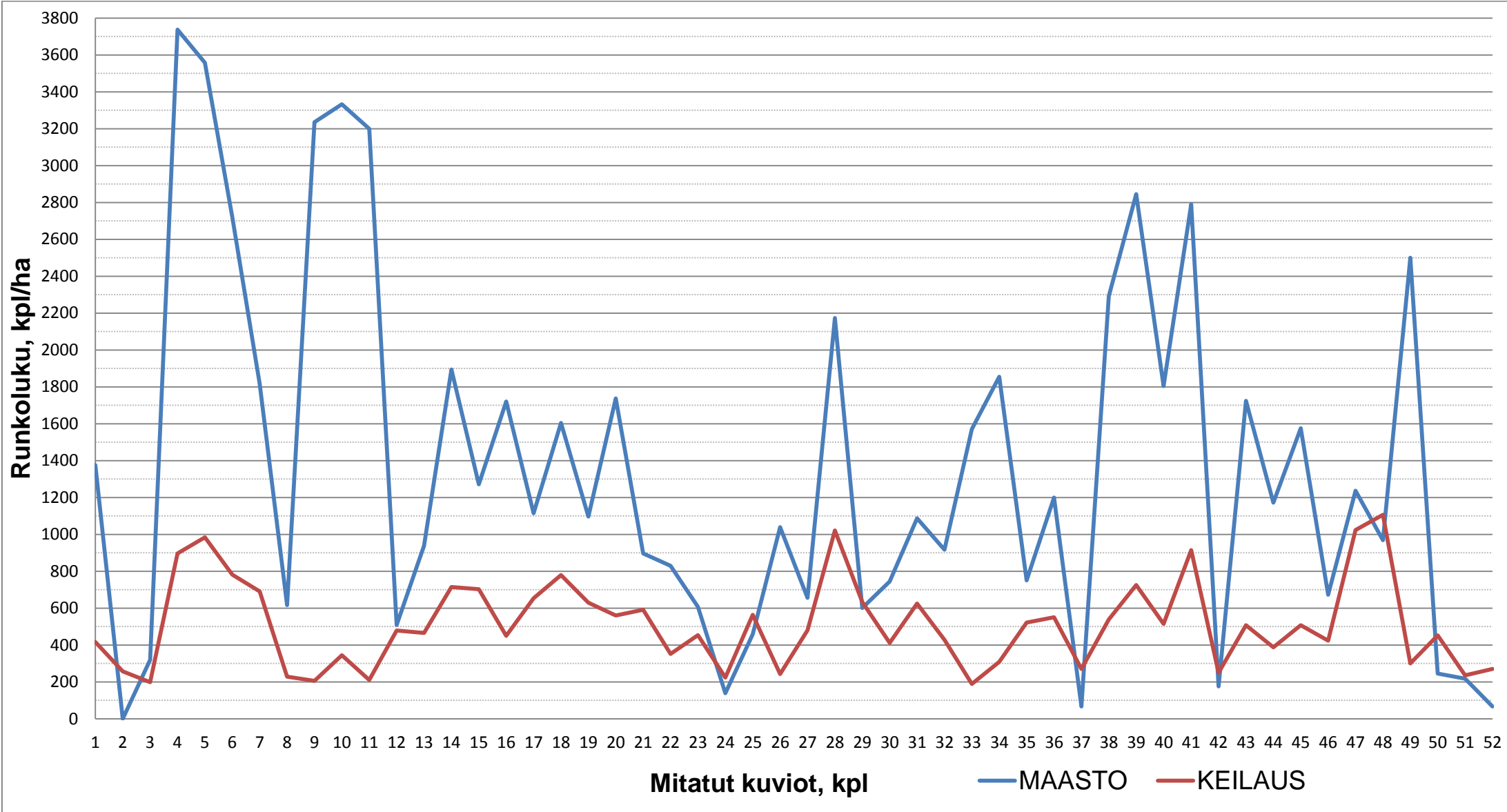


Kuvio 54. Männyn keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.

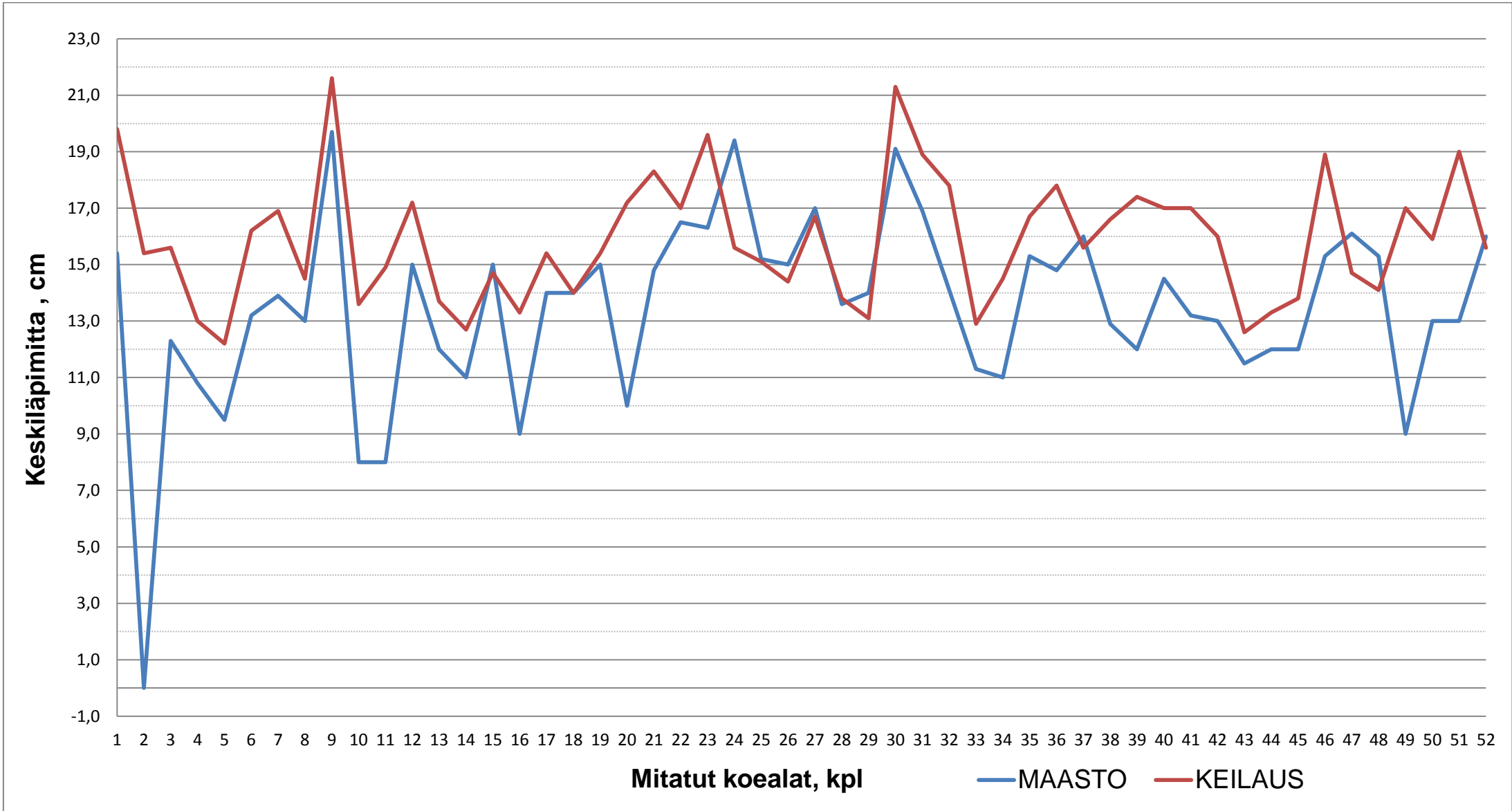


Kuvio 55. Männen keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.

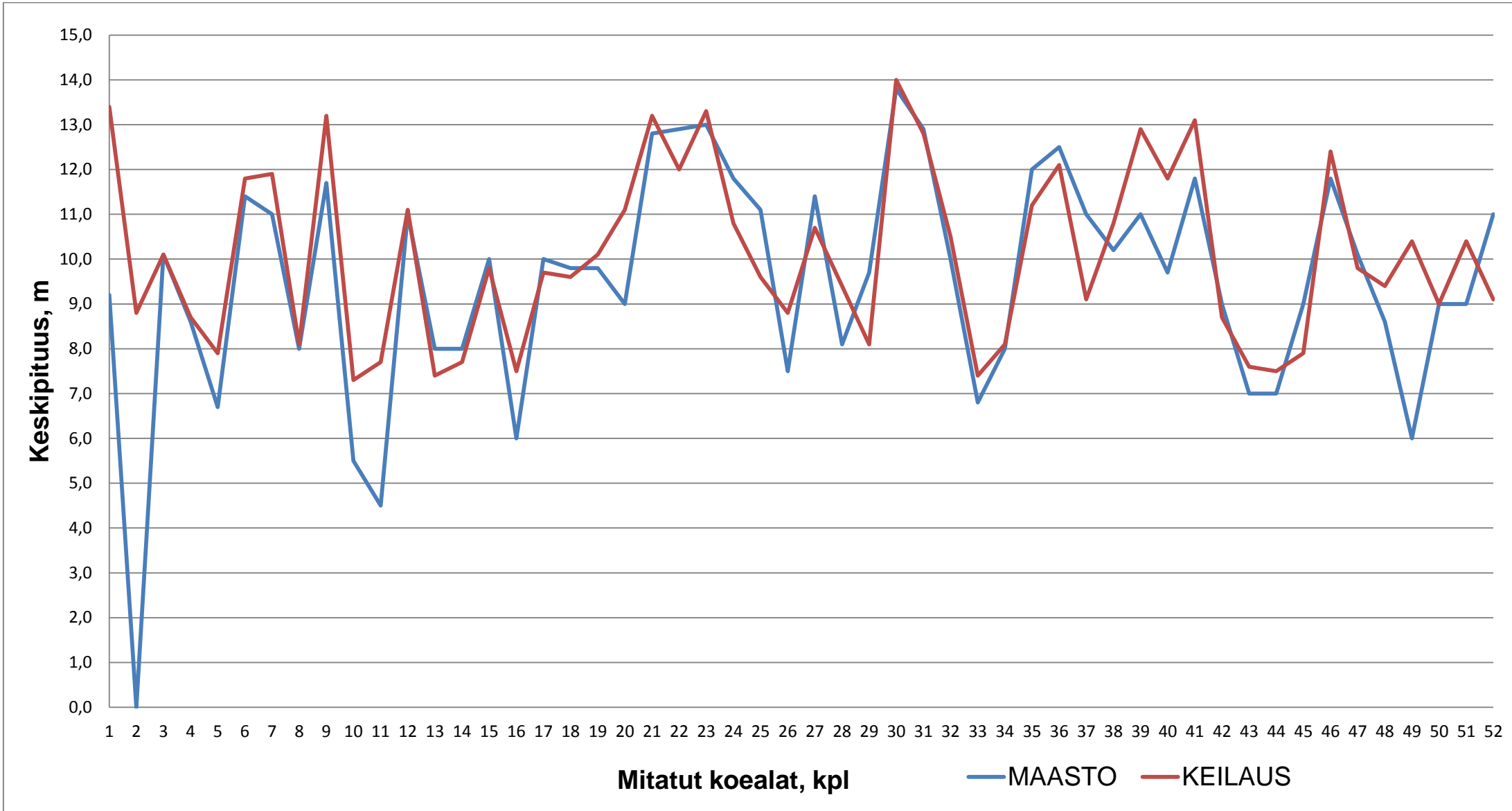
Kuvio 56. Männyn pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



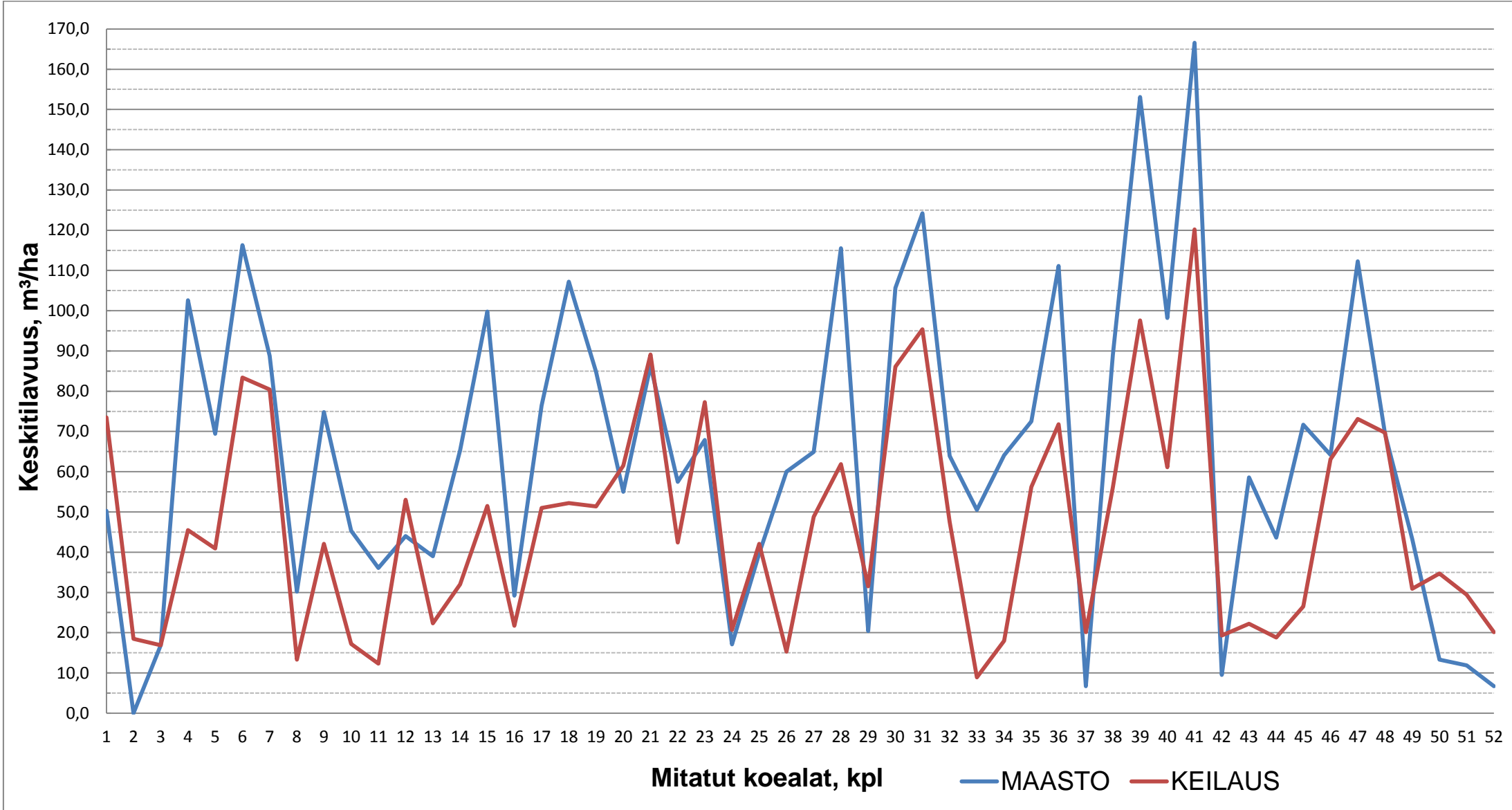
Kuvio 57. Männyn runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



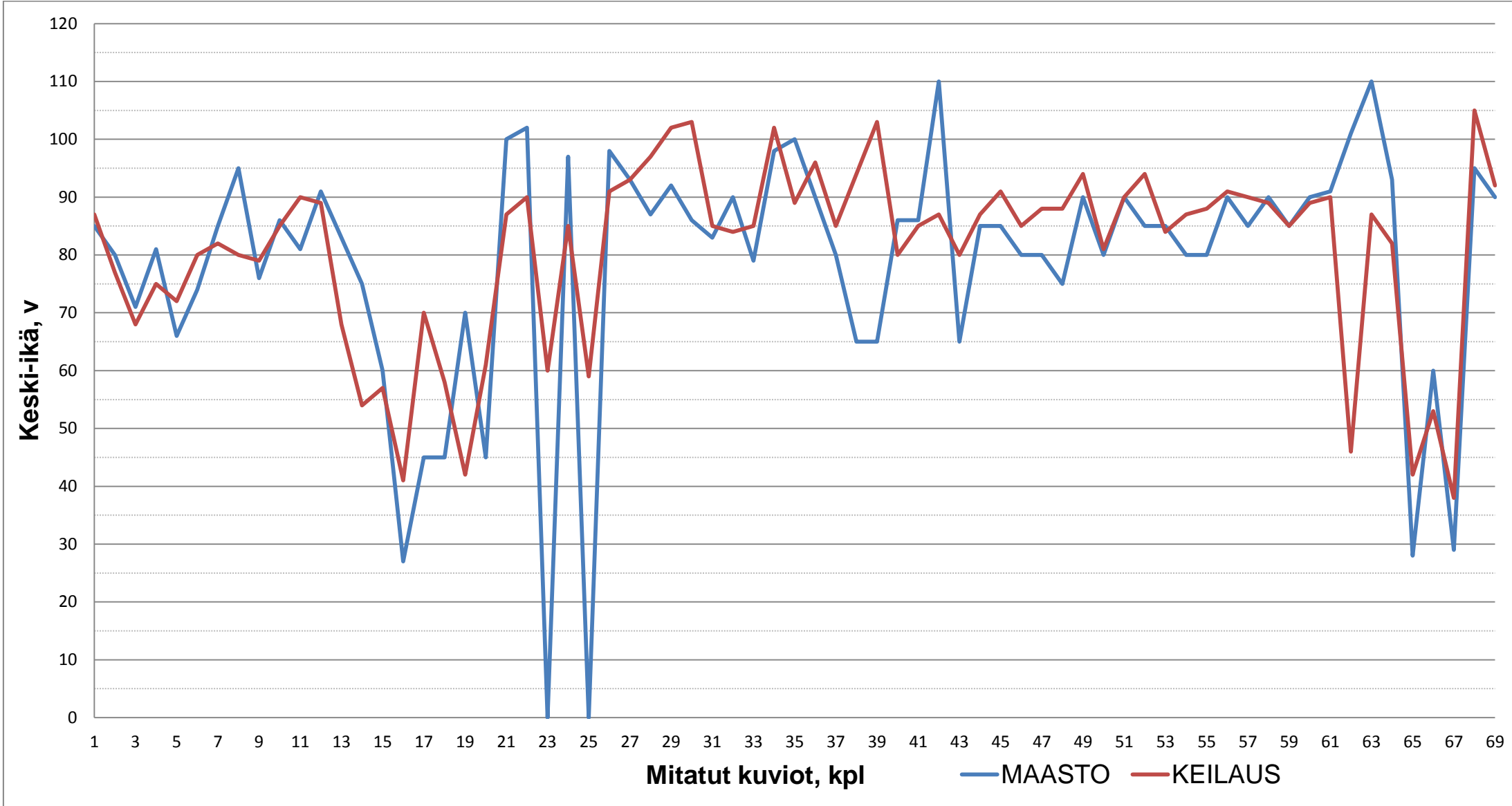
Kuvio 58. Männyn keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



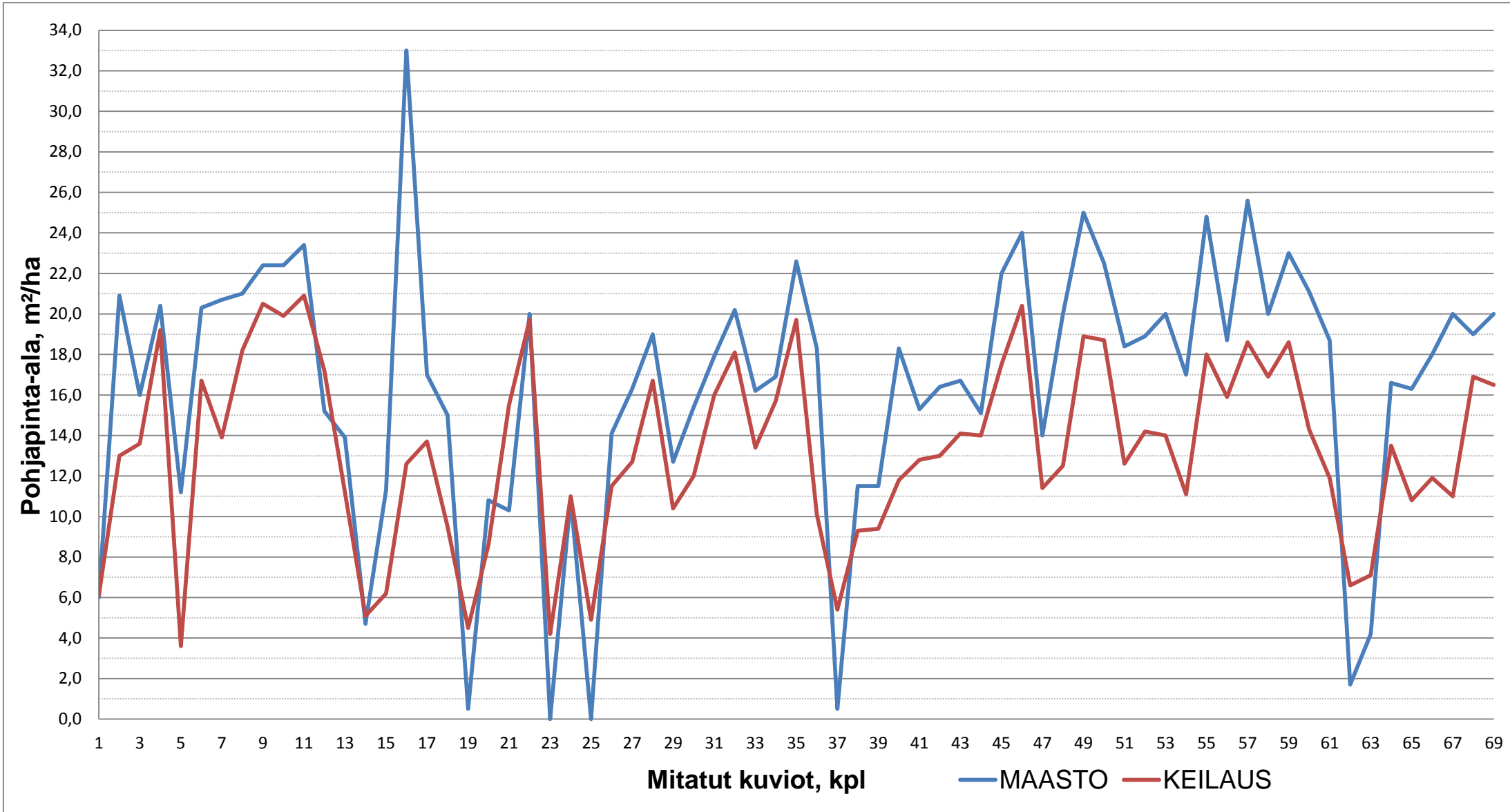
Kuvio 59. Männyn keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



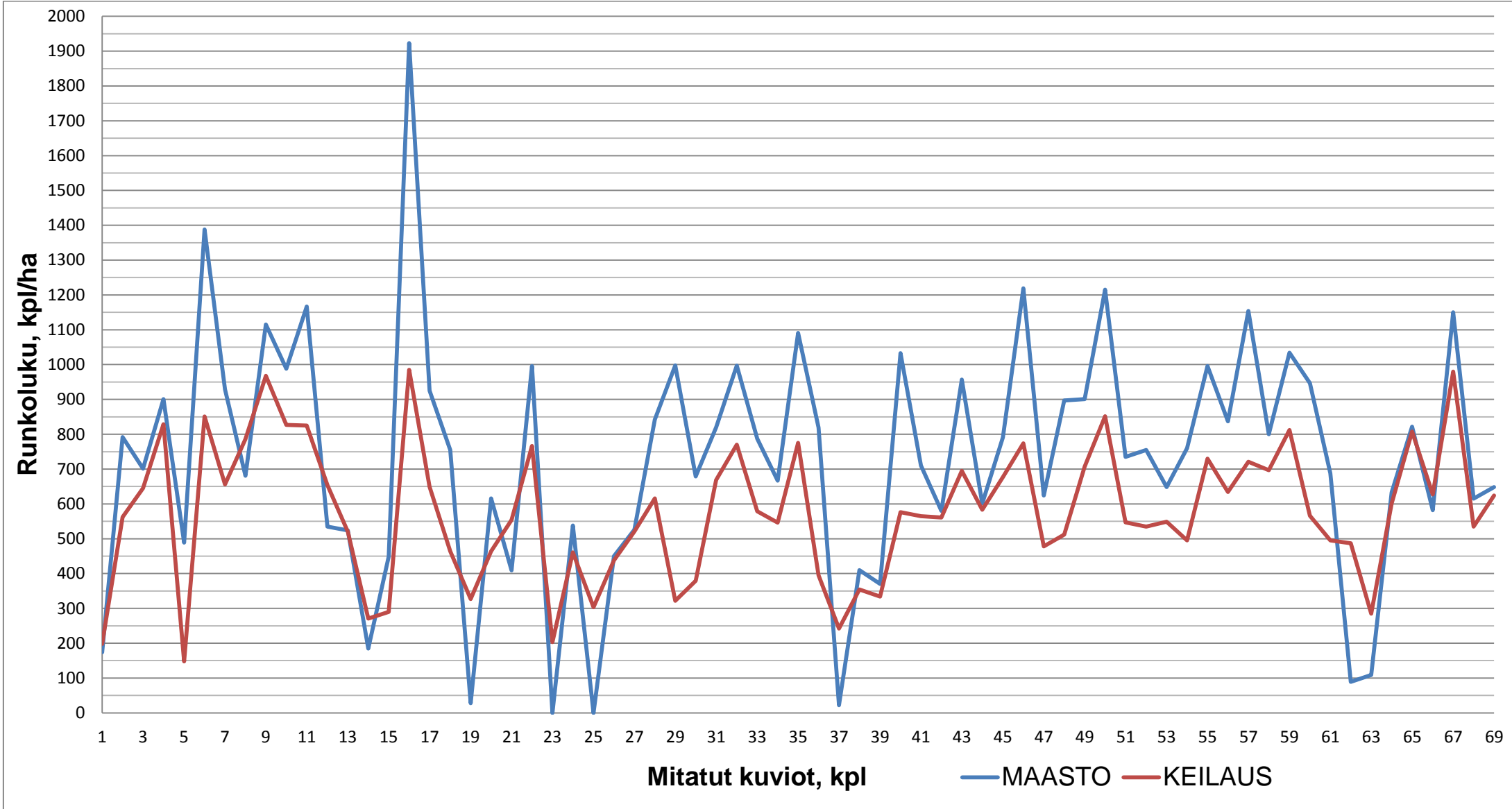
Kuvio 60. Männen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



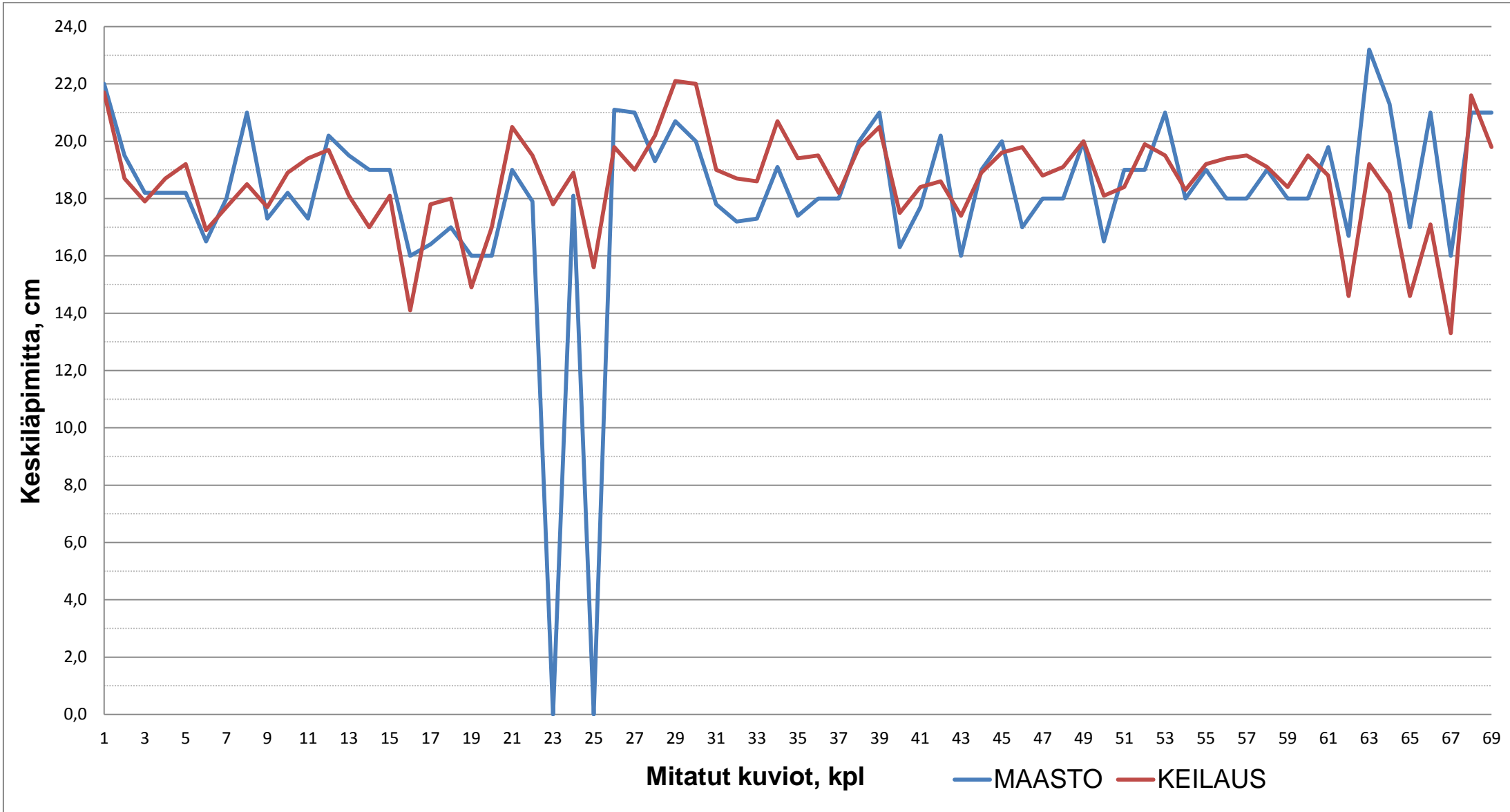
Kuvio 61. Männyn keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



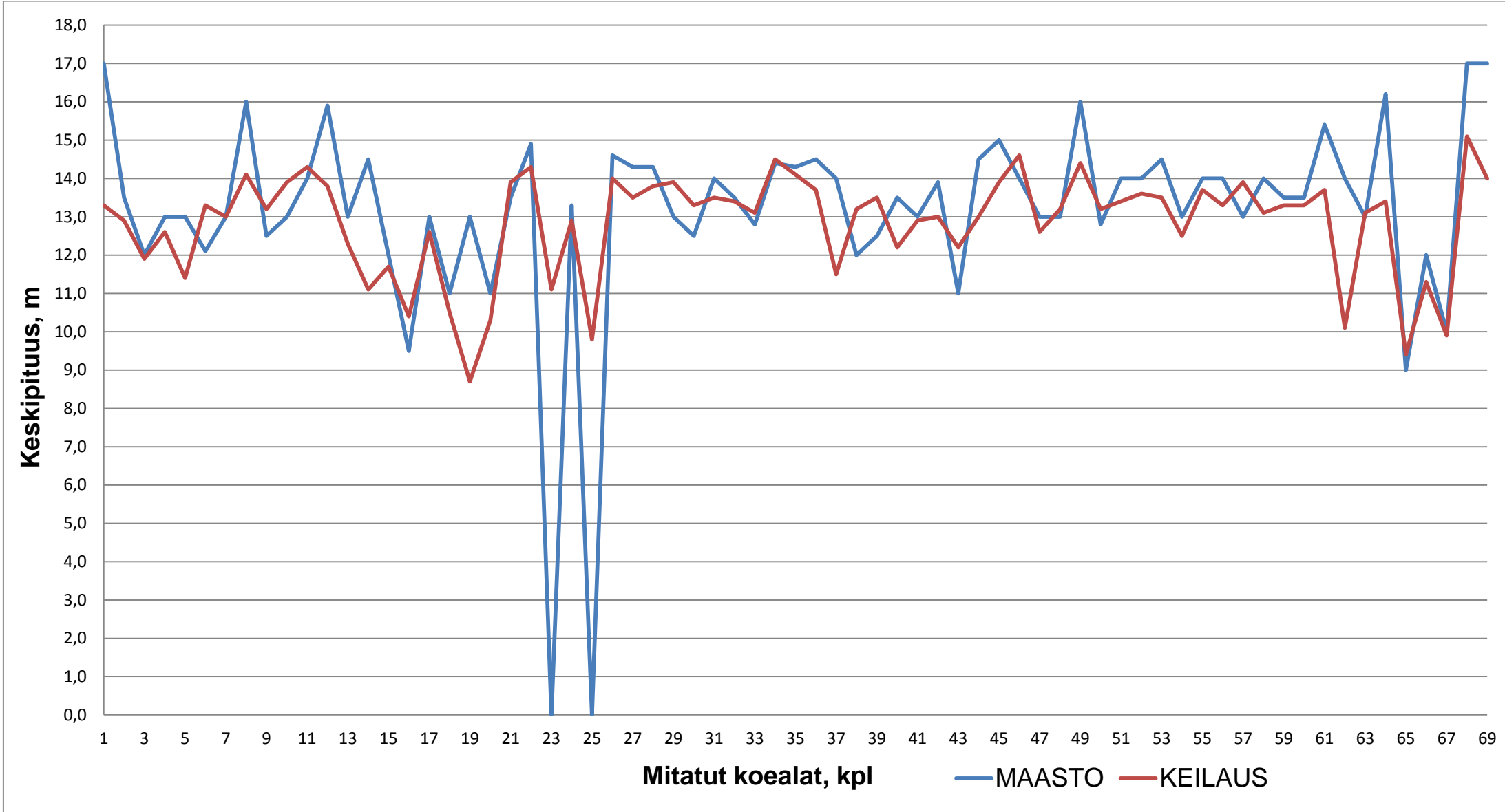
Kuvio 62. Männyn pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 03.



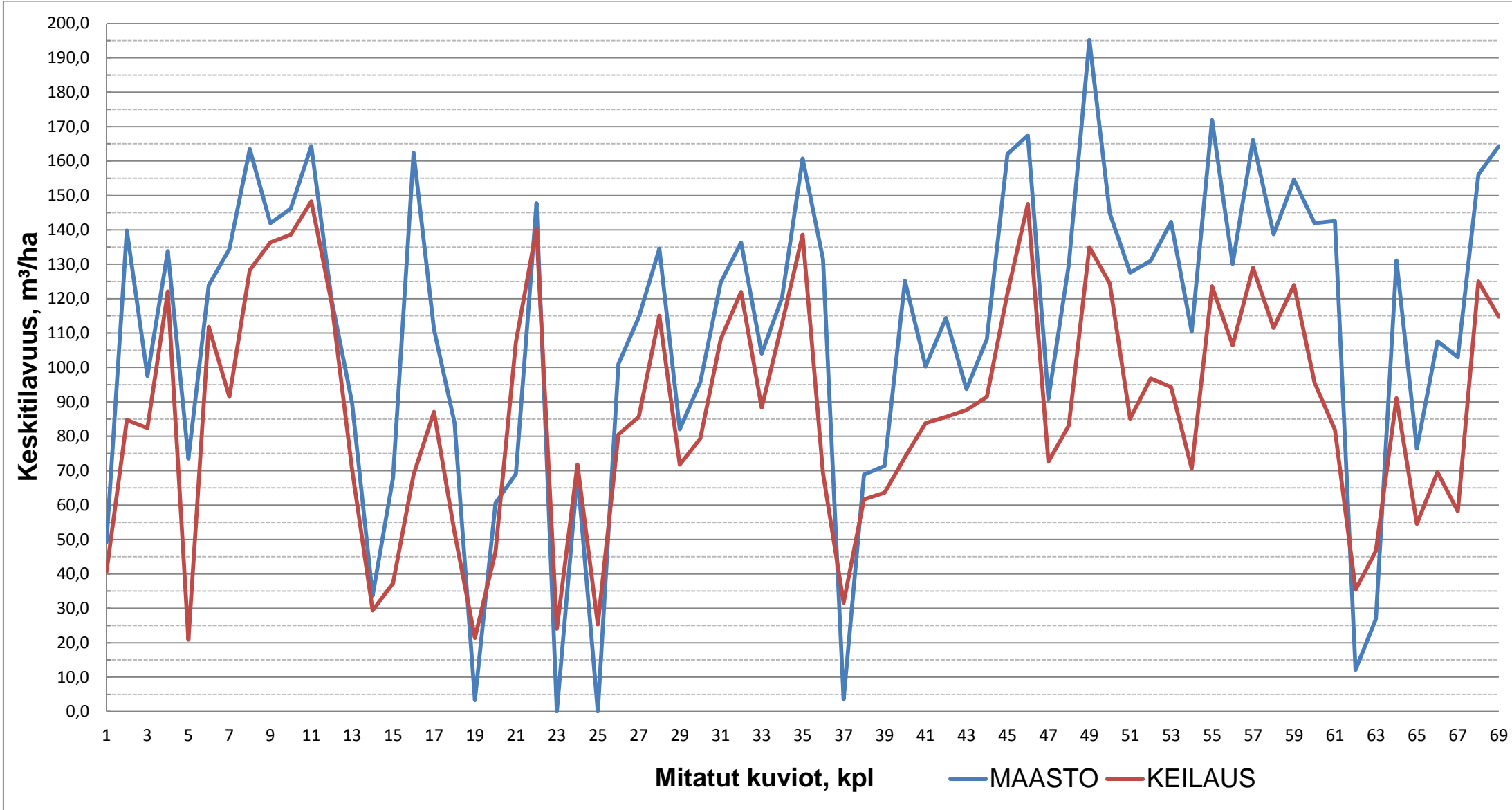
Kuvio 63. Männyn runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



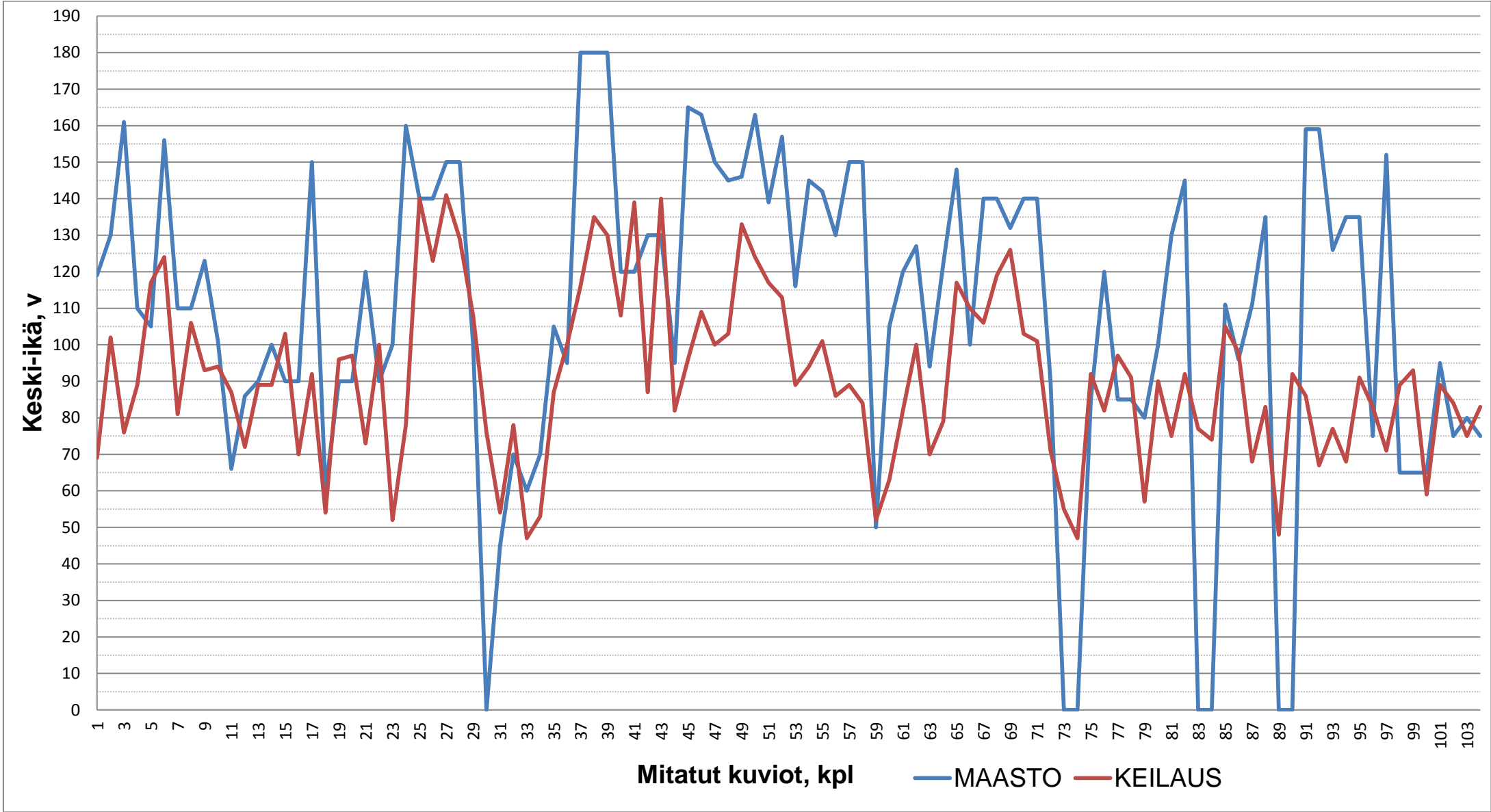
Kuvio 64. Männyn keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



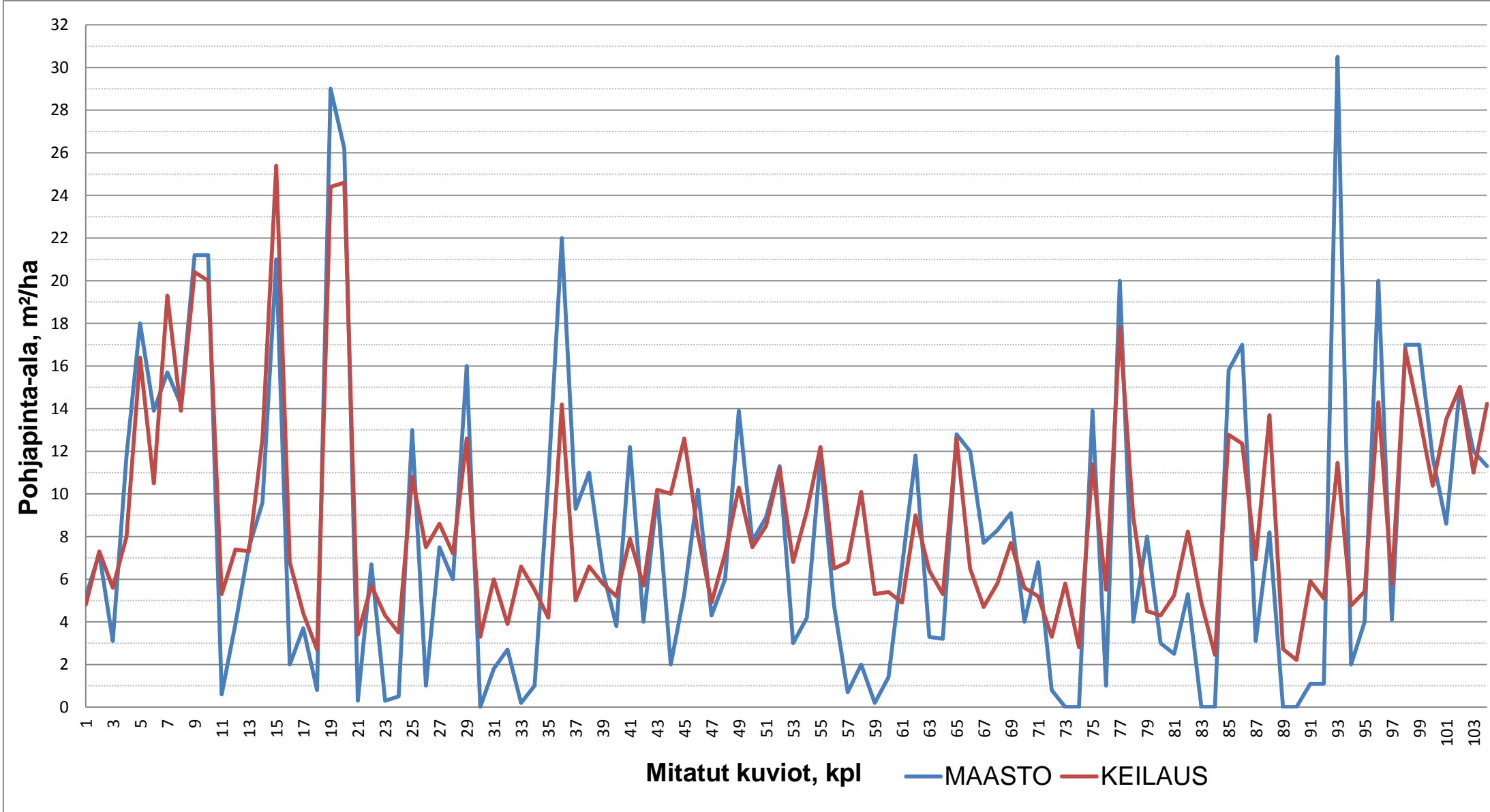
Kuvio 65. Männyn keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



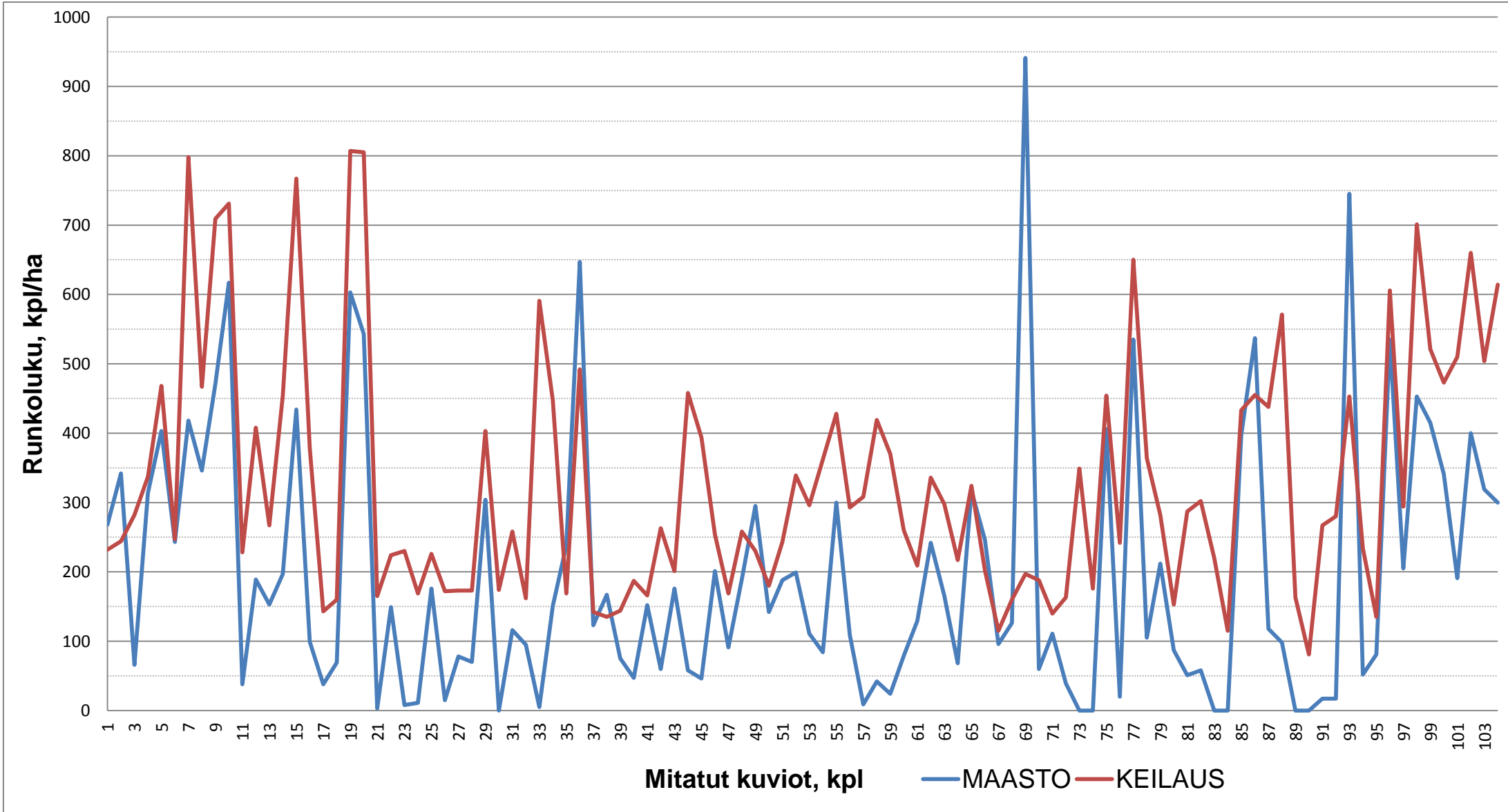
Kuvio 66. Männyn keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 03.



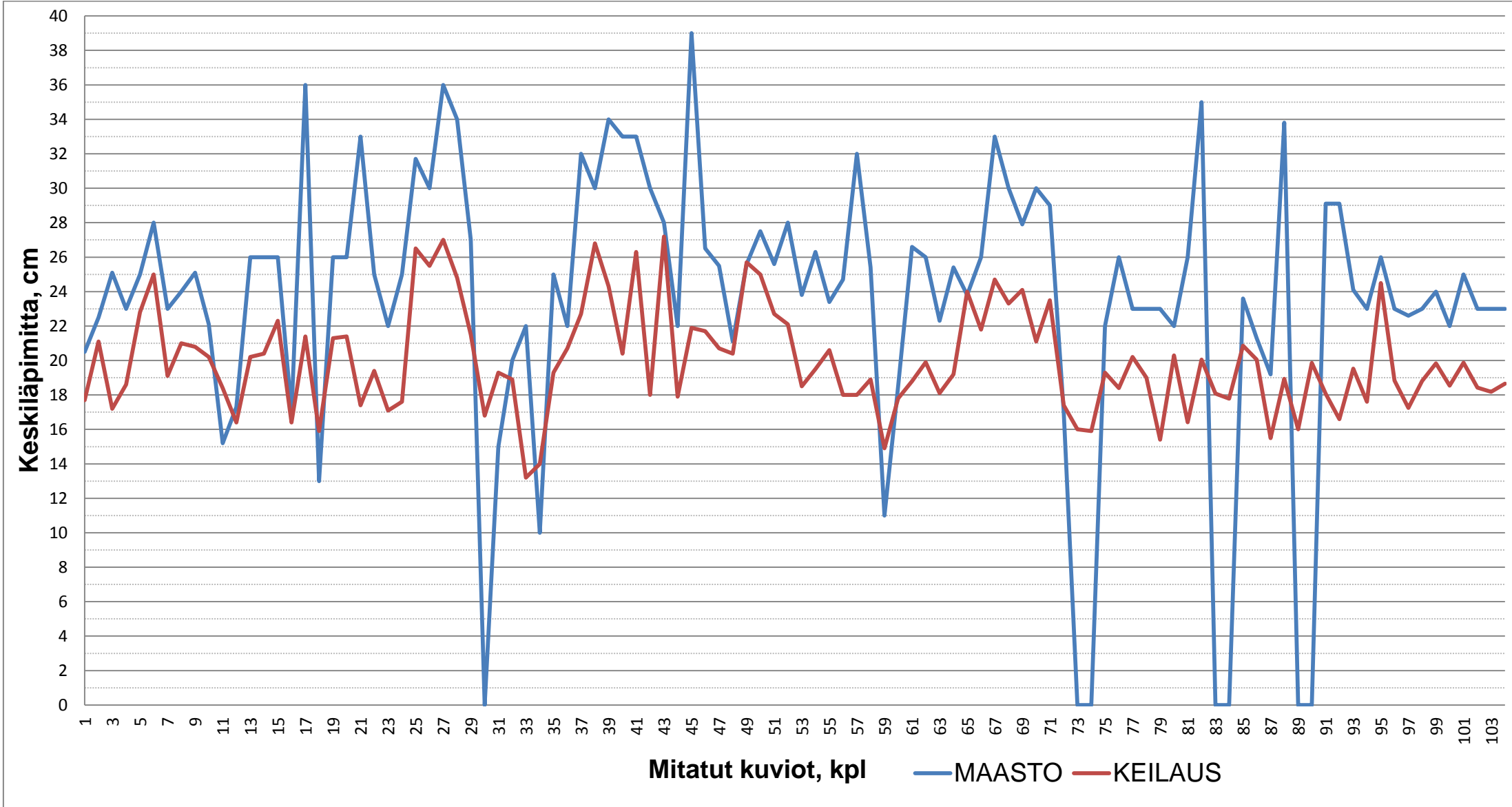
Kuvio 67. Männyn keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



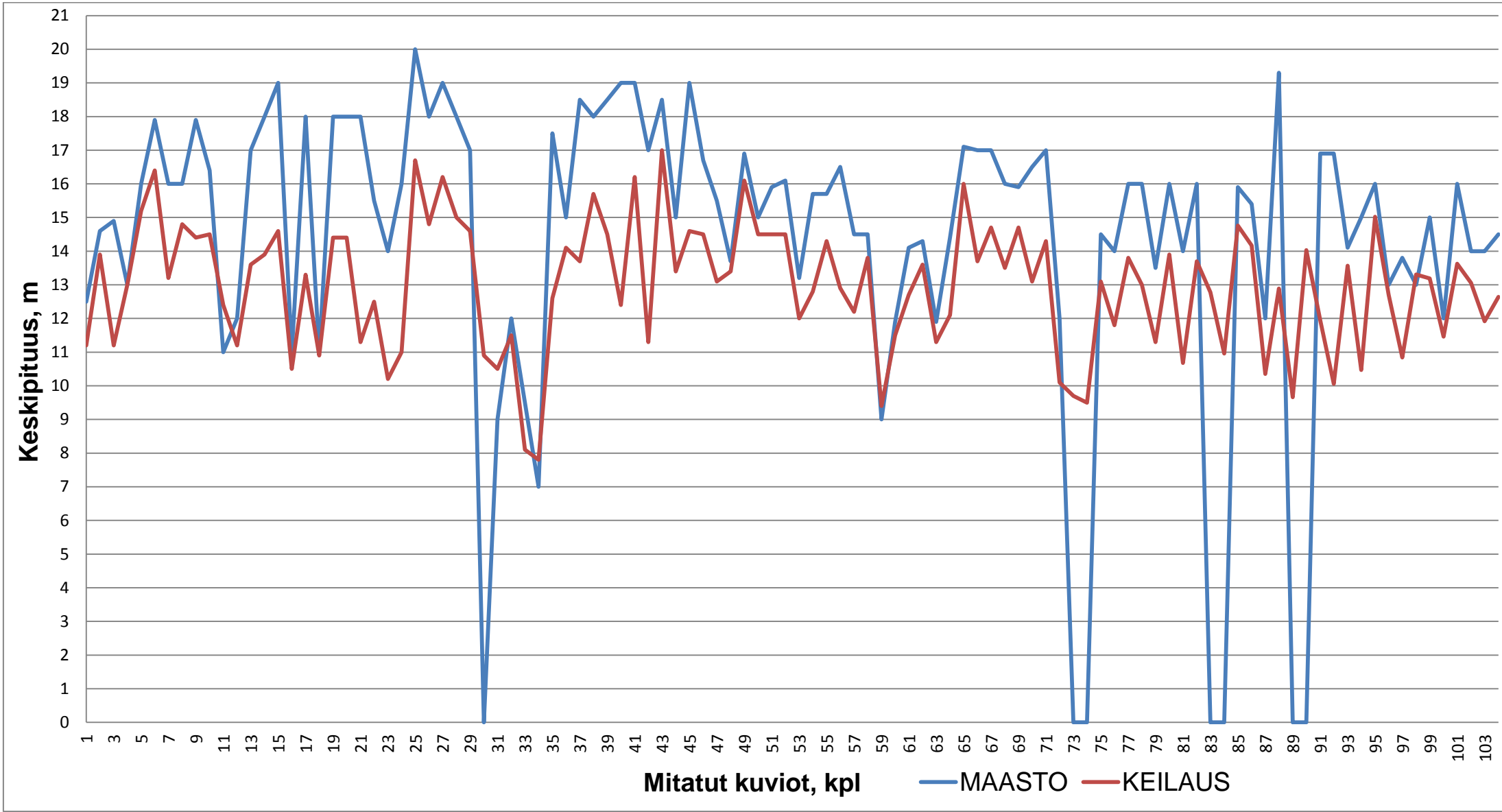
Kuvio 68. Männyn pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04



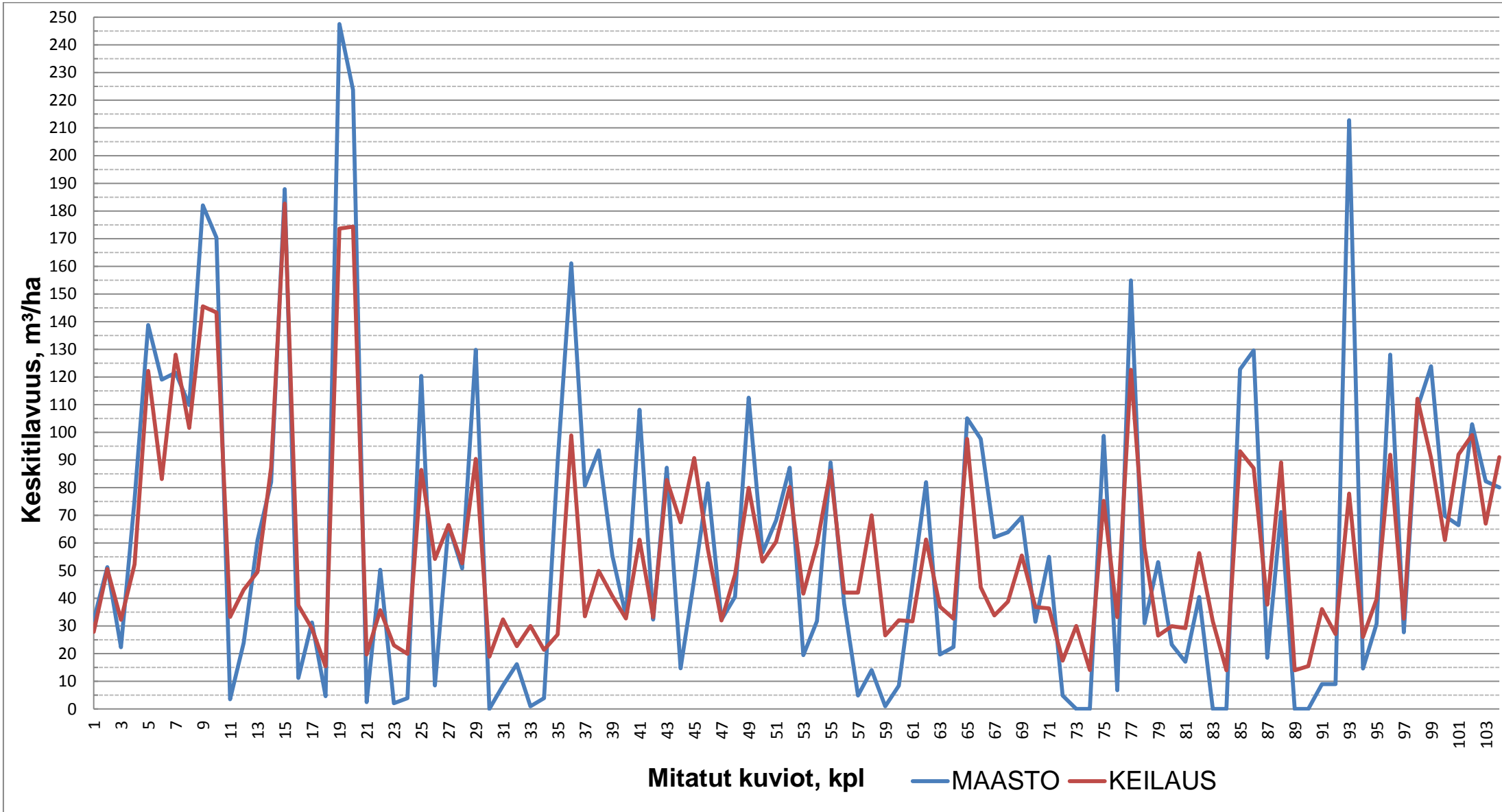
Kuvio 69. Männyn runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 04.



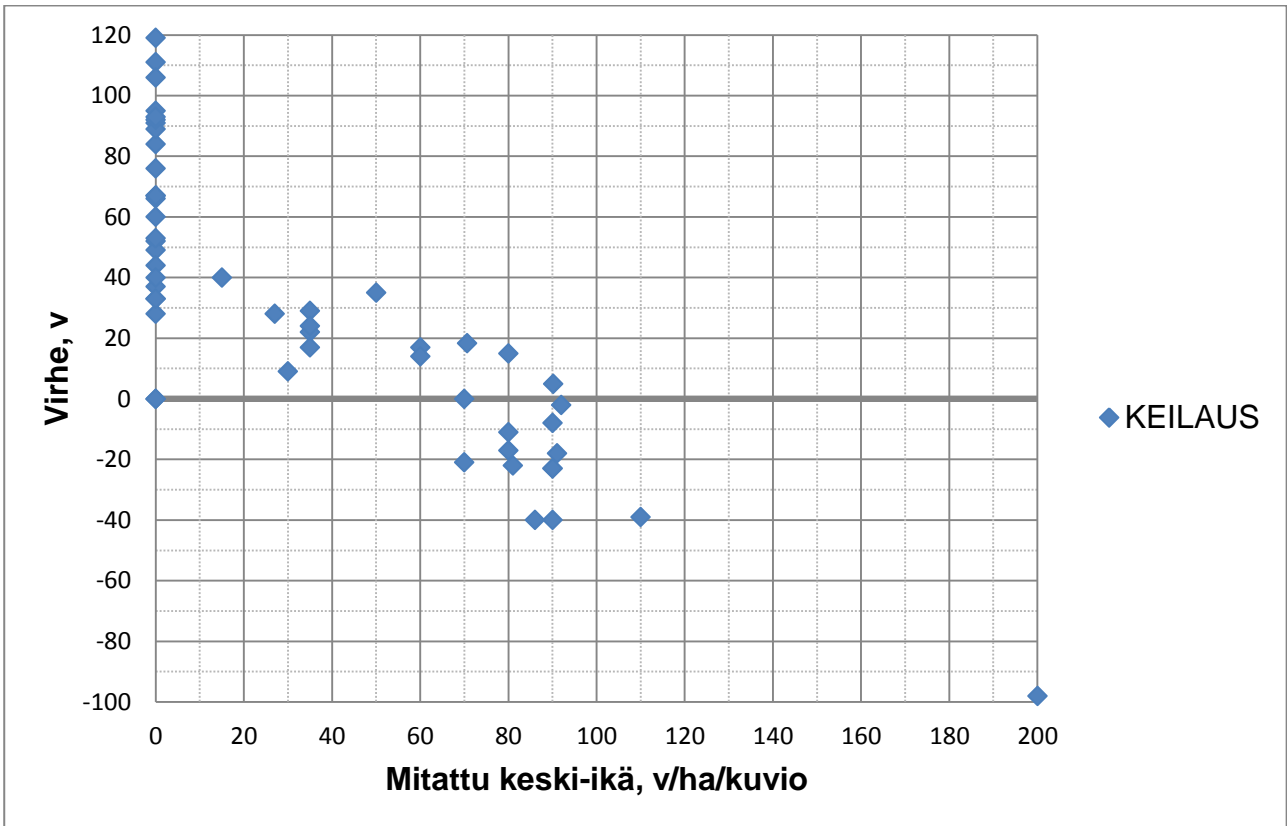
Kuvio 70. Männyn keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04



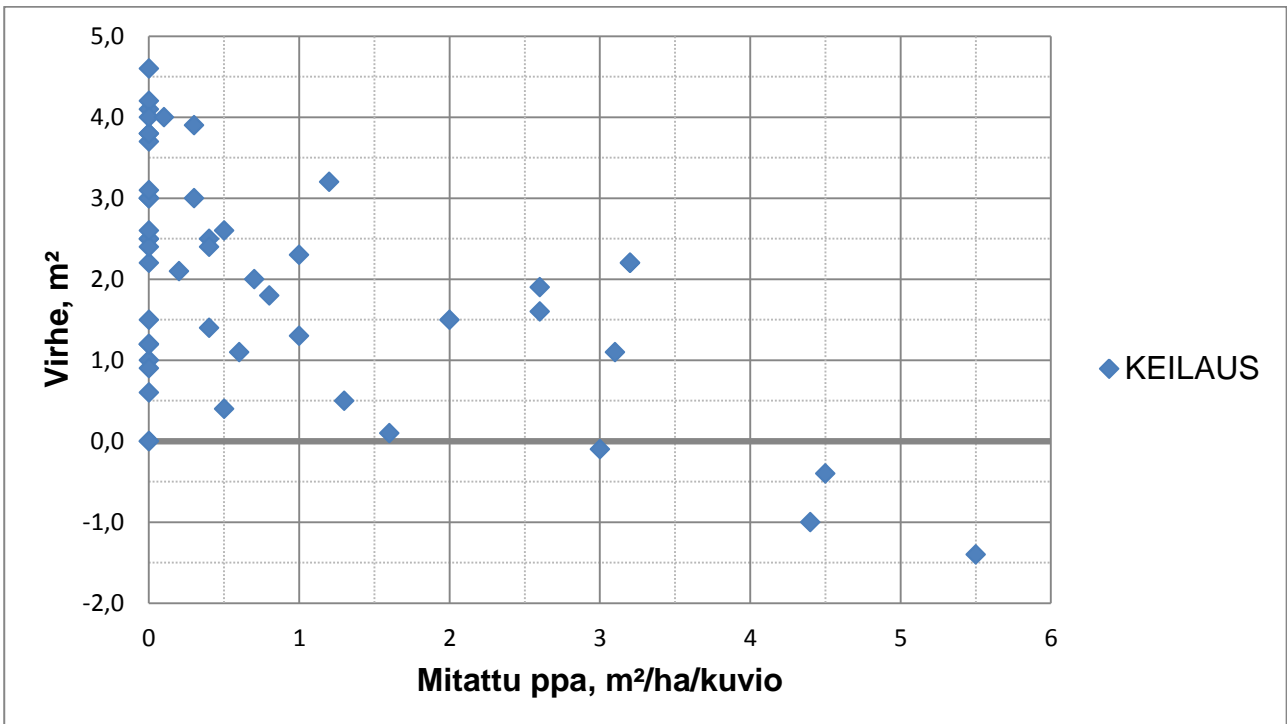
Kuvio 71. Männyn keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



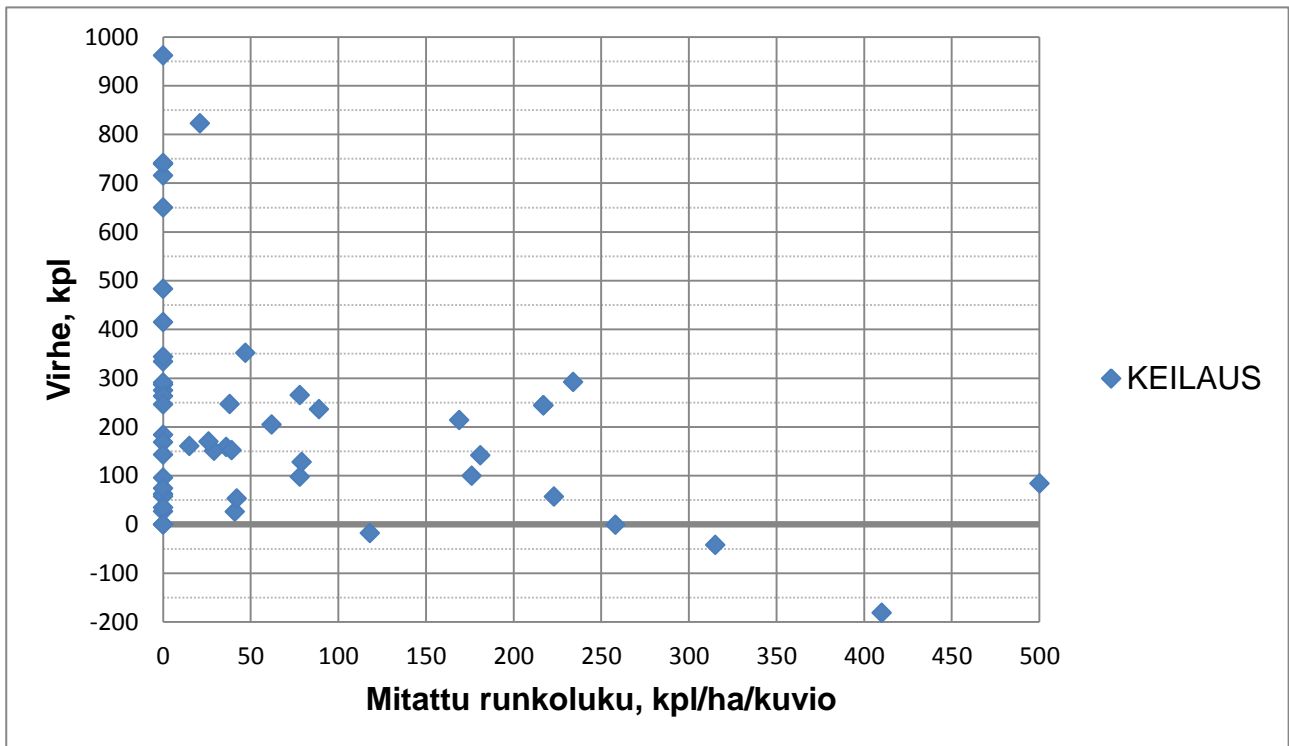
Kuvio 72. Männyn keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 04.



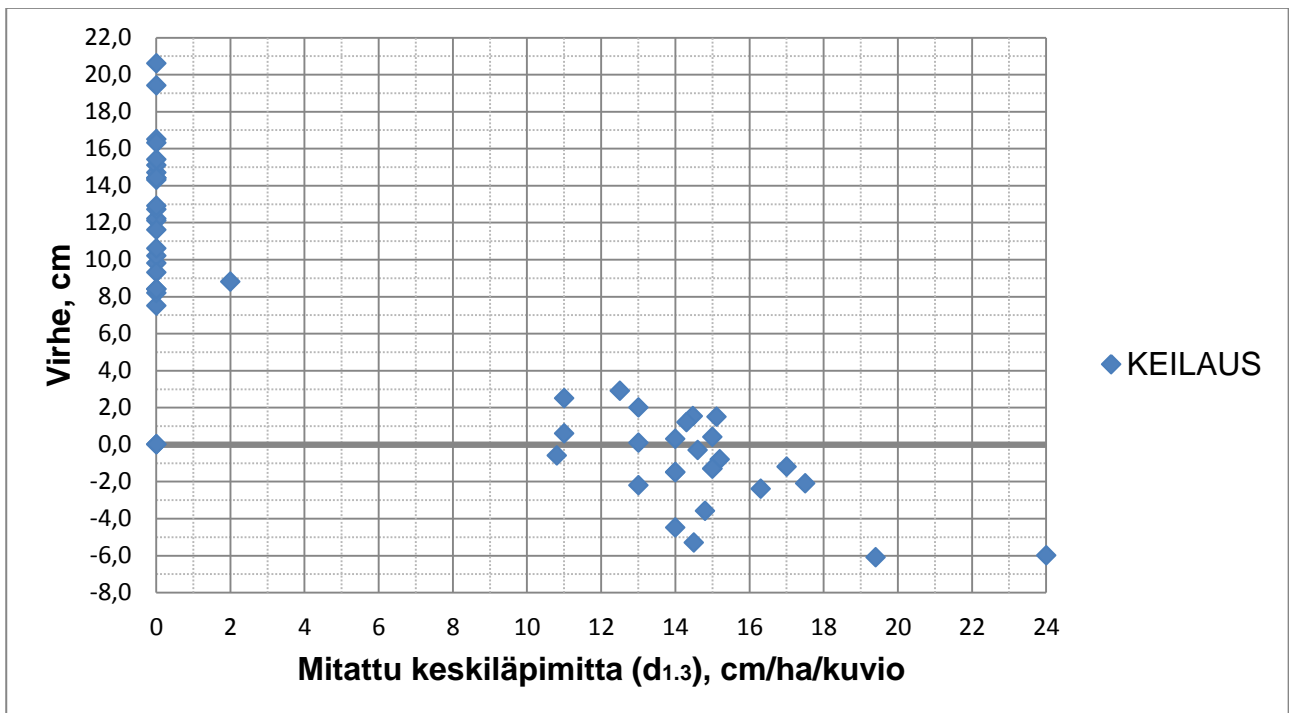
Kuvio 73. Kuusen keski-ikä kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ikä funktiona.



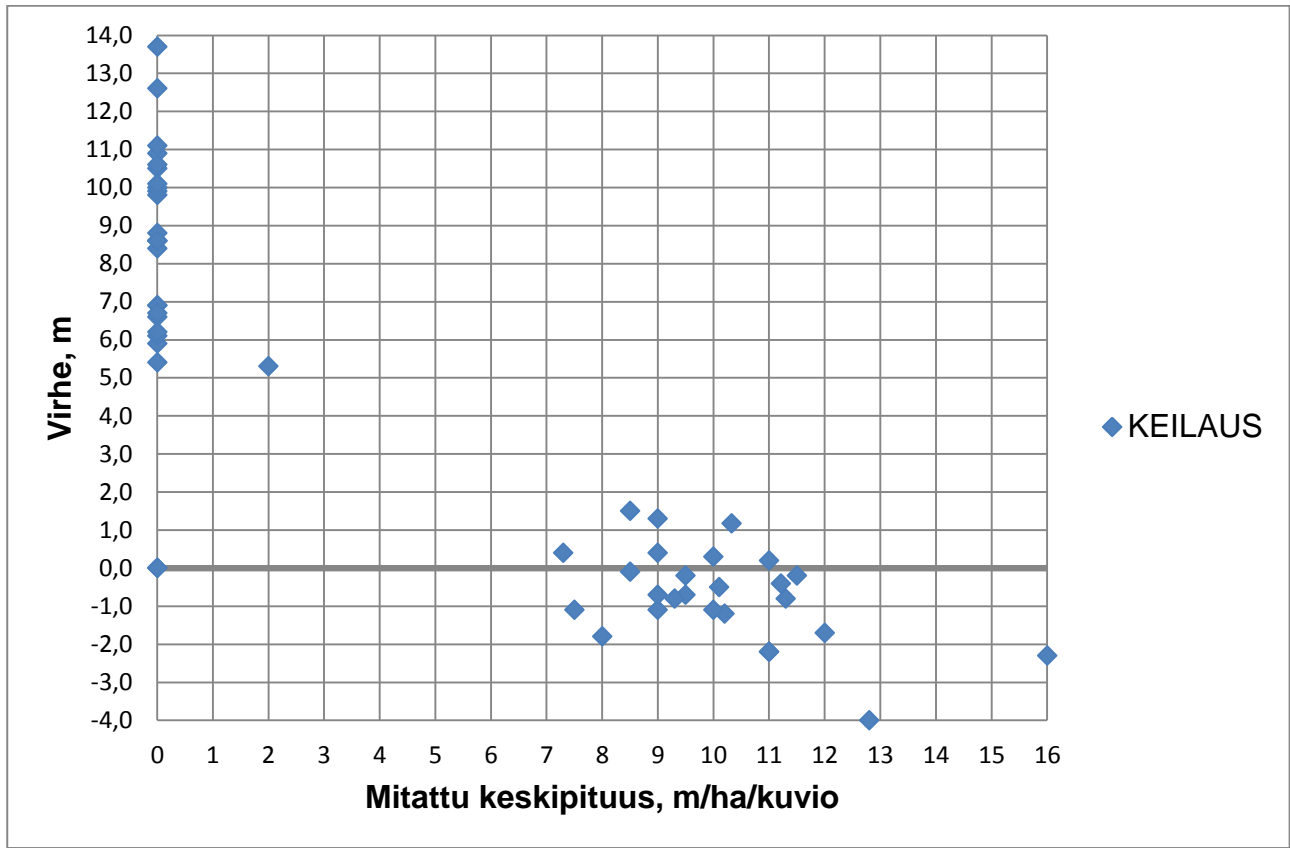
Kuvio 74. Kuusen pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



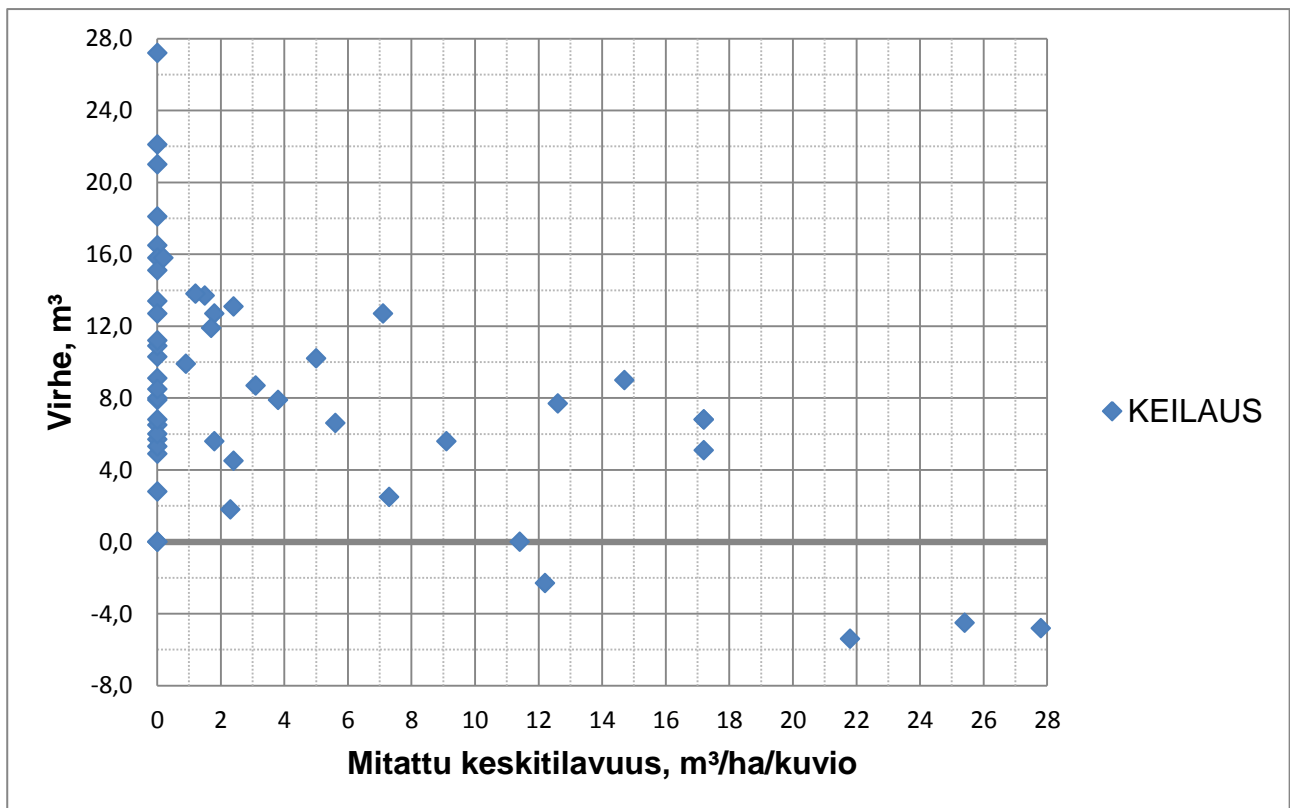
Kuvio 75. Kuusen runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona funktiona.



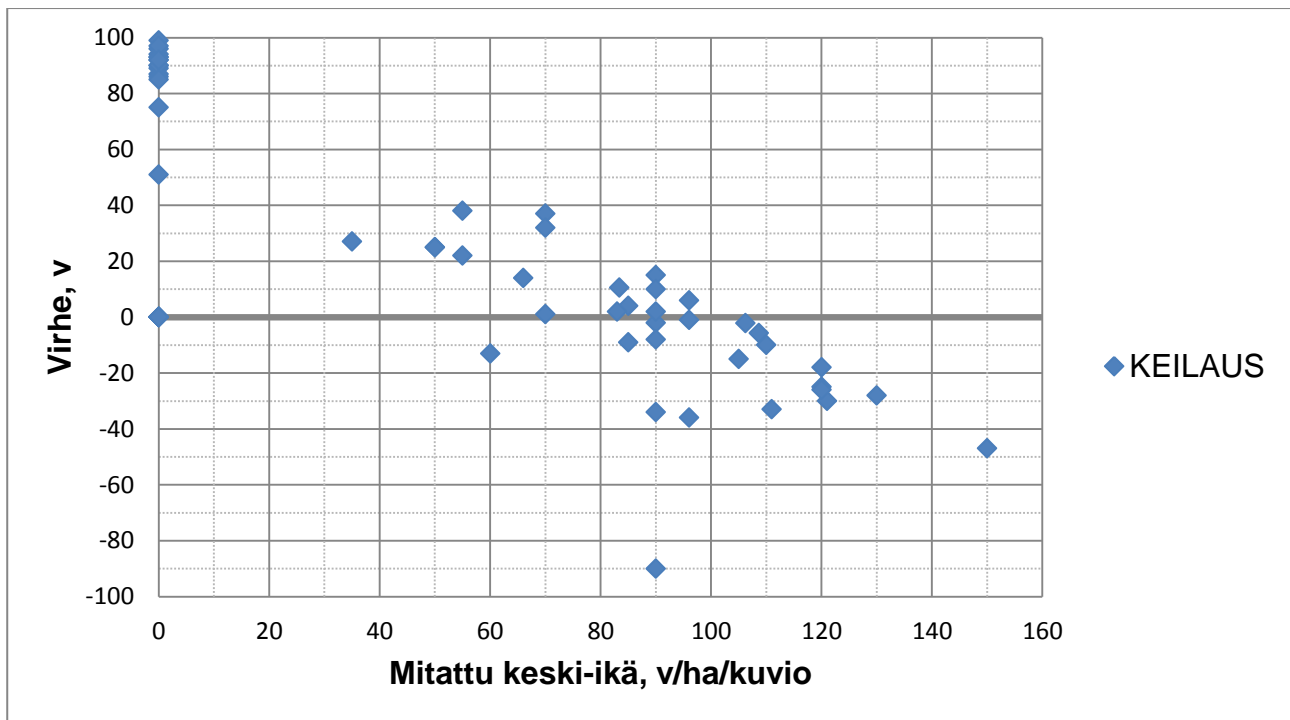
Kuvio 76. Kuusen keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona funktiona.



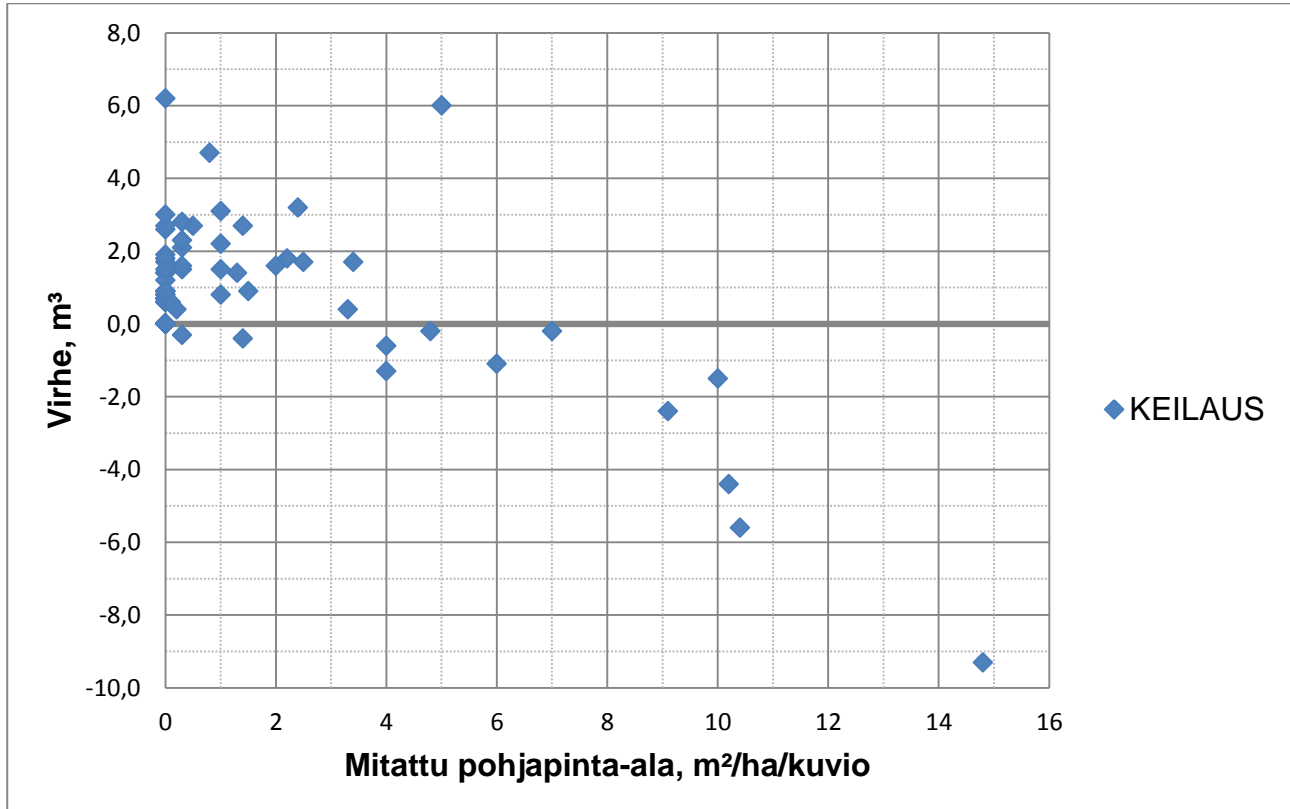
Kuvio 77. Kuusen keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



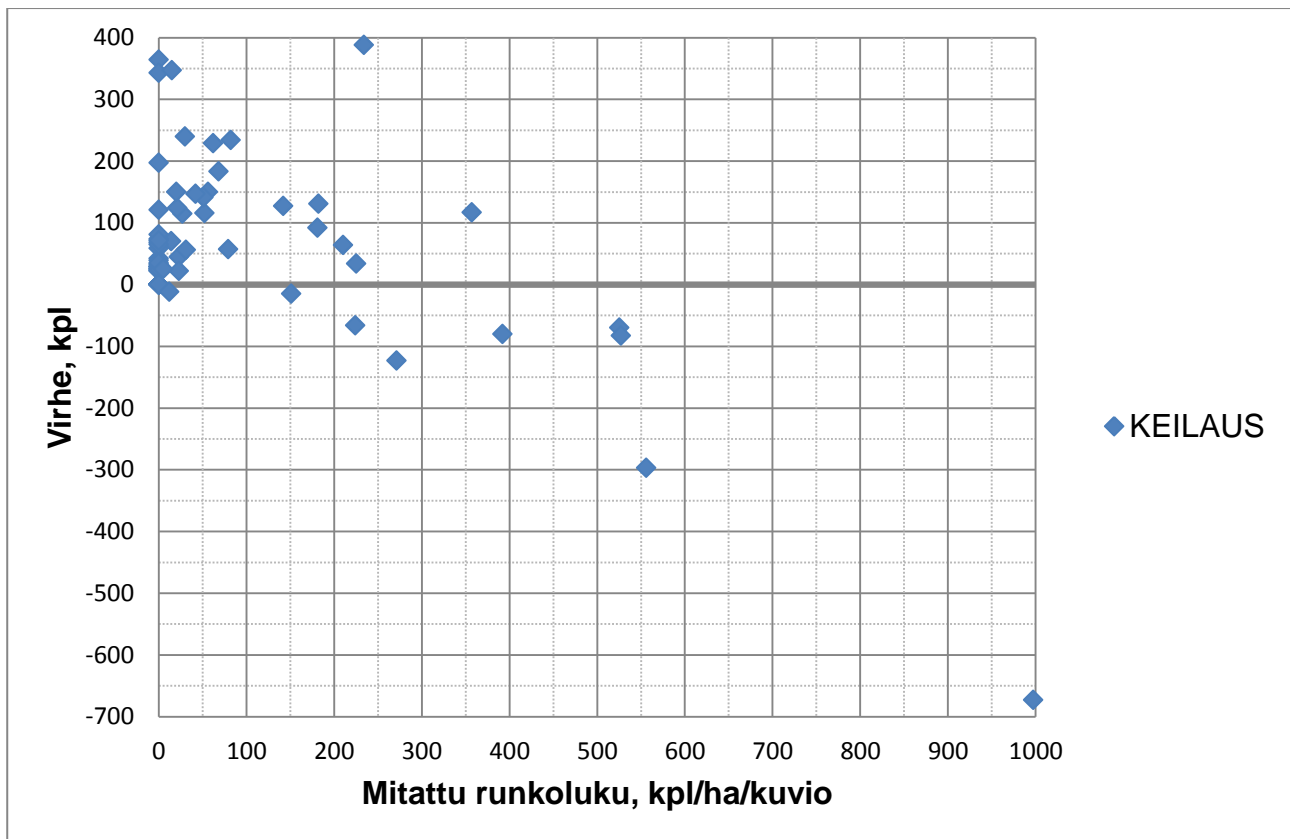
Kuvio 78. Kuusen keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



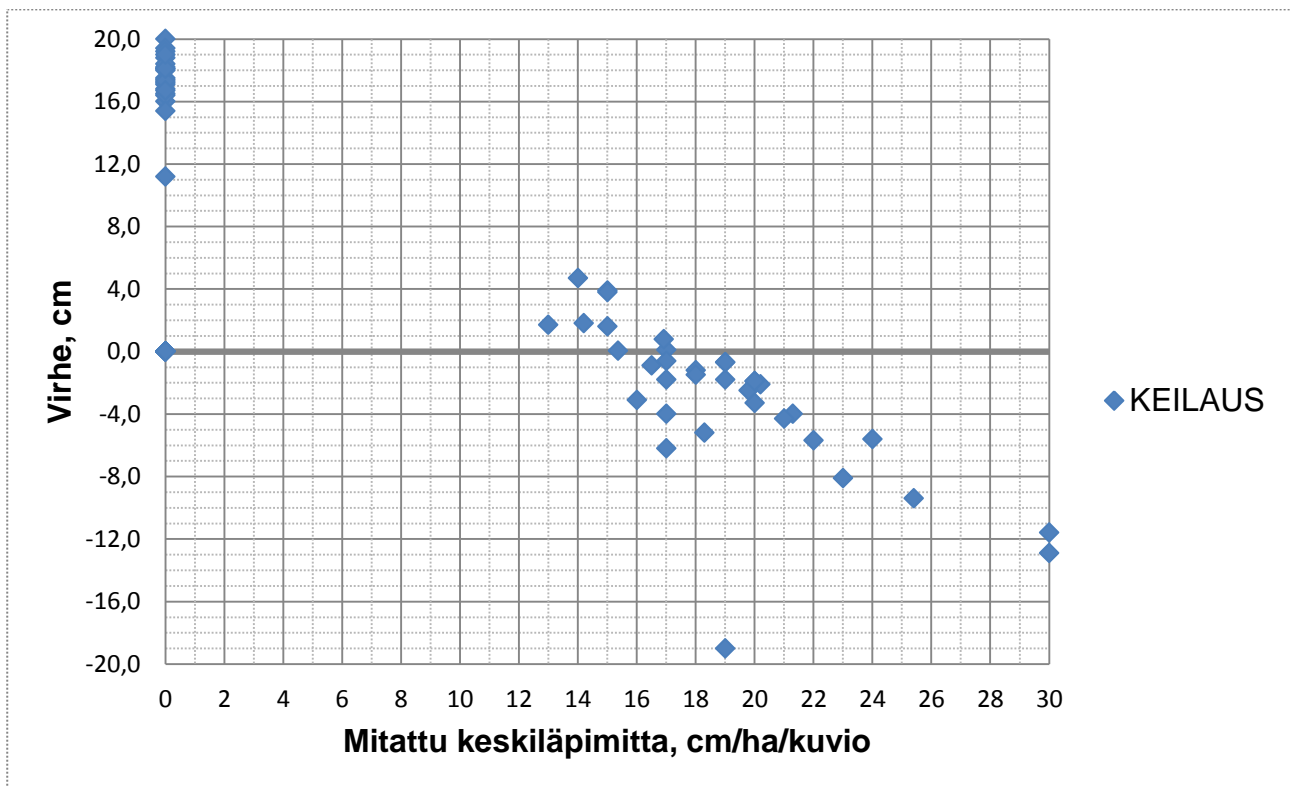
Kuvio 79. Kuusen keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona



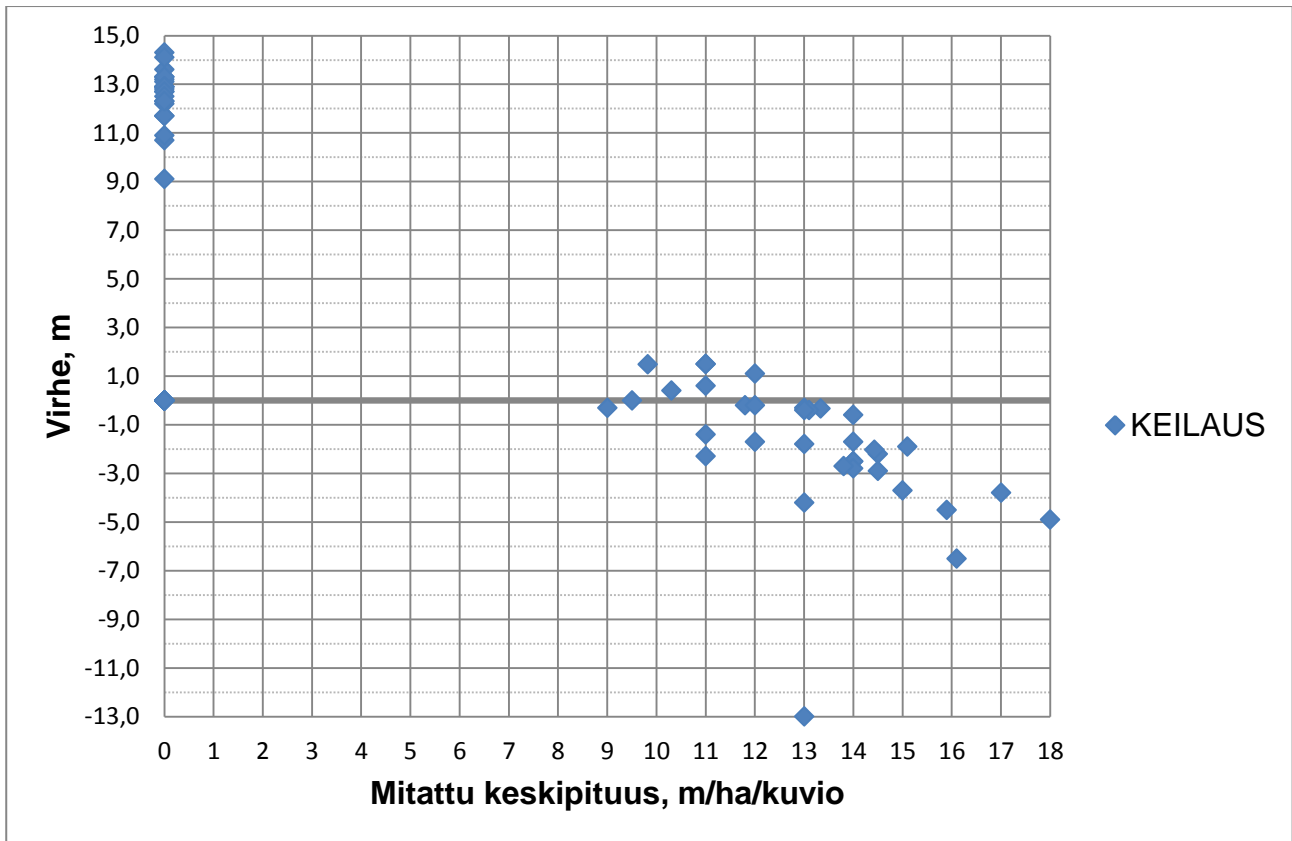
Kuvio 80. Kuusen pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



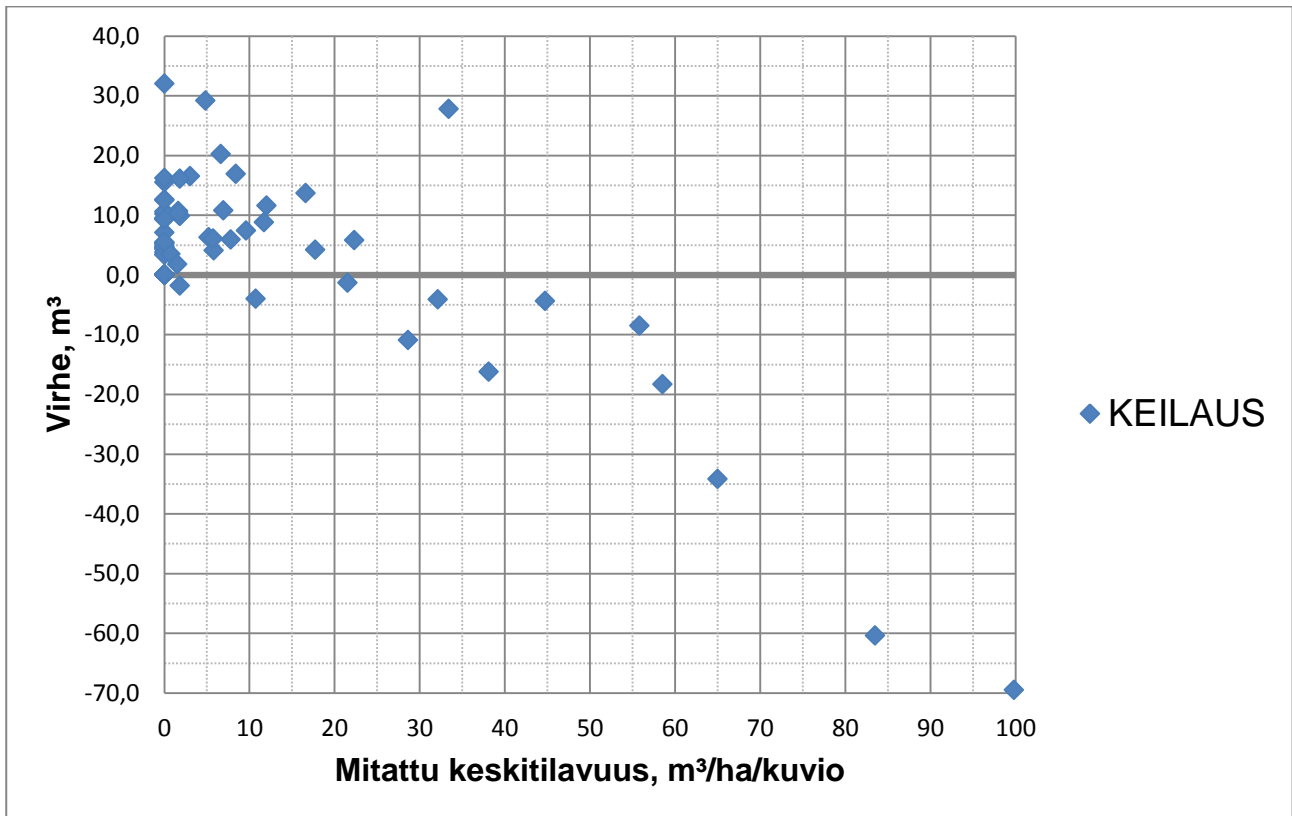
Kuvio 81. Kuusen runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona funktiona.



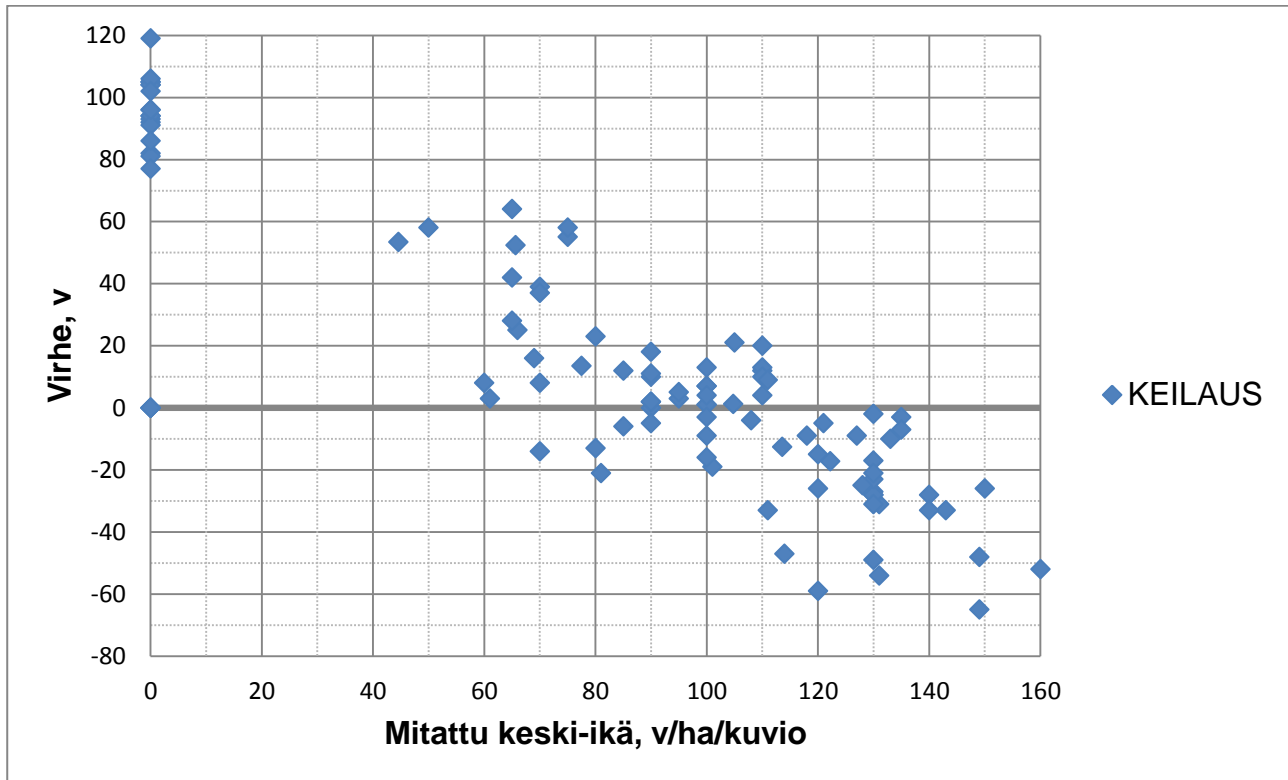
Kuvio 82. Kuusen keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



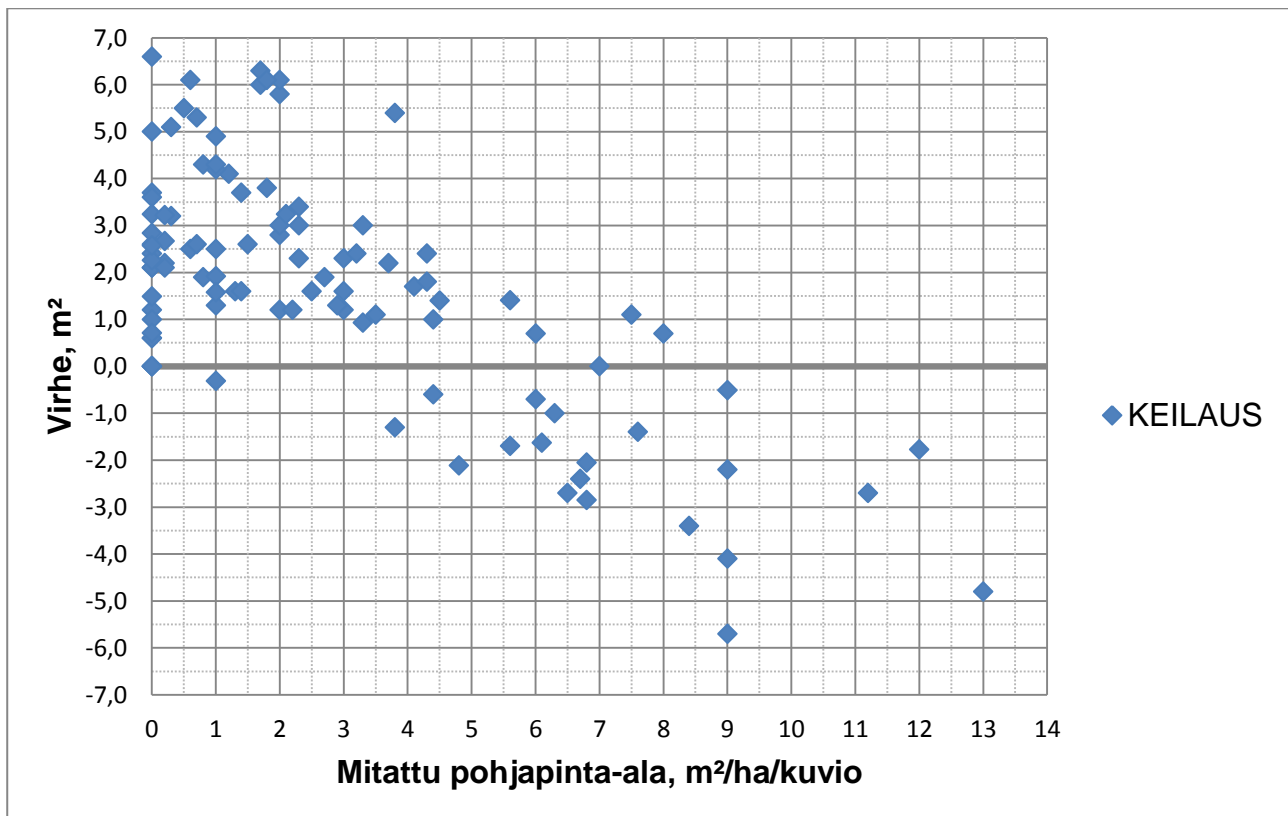
Kuvio 83. Kuusen keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



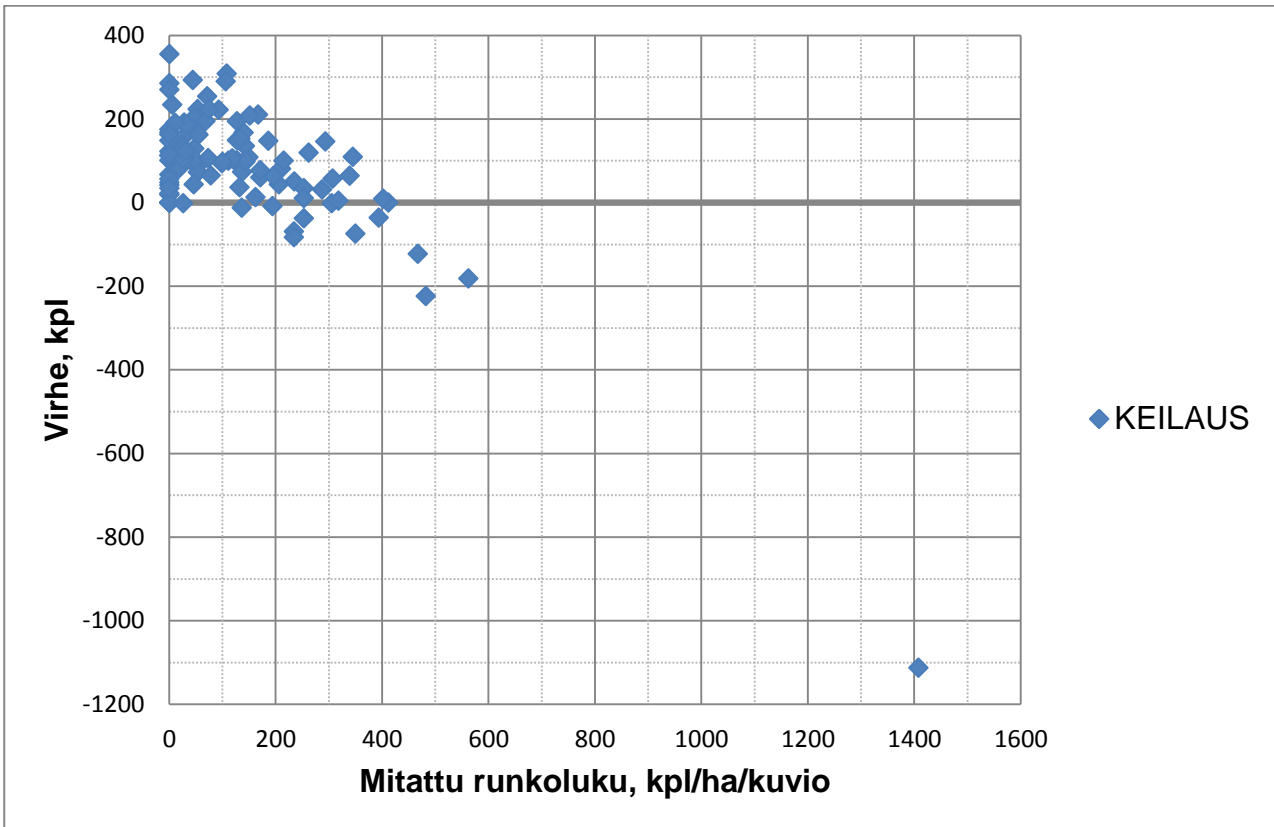
Kuvio 84. Kuusen keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



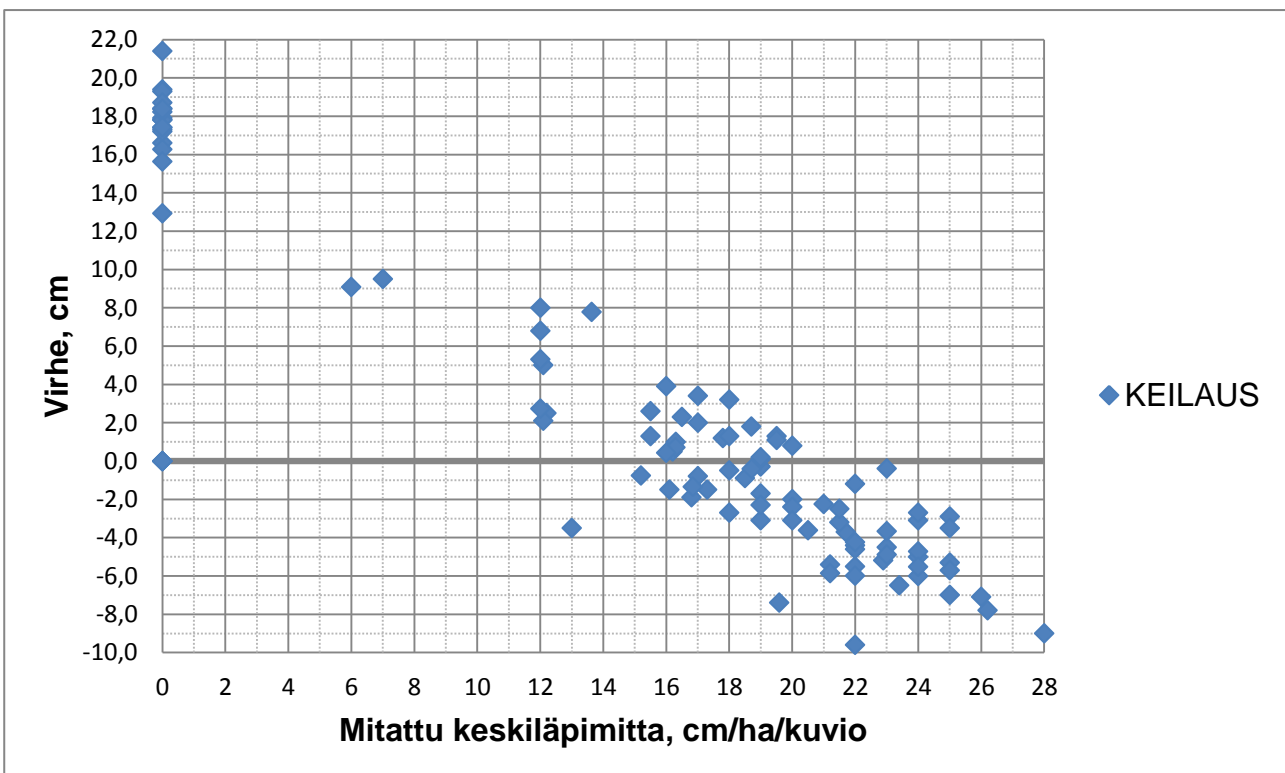
Kuvio 85. Kuusen keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona



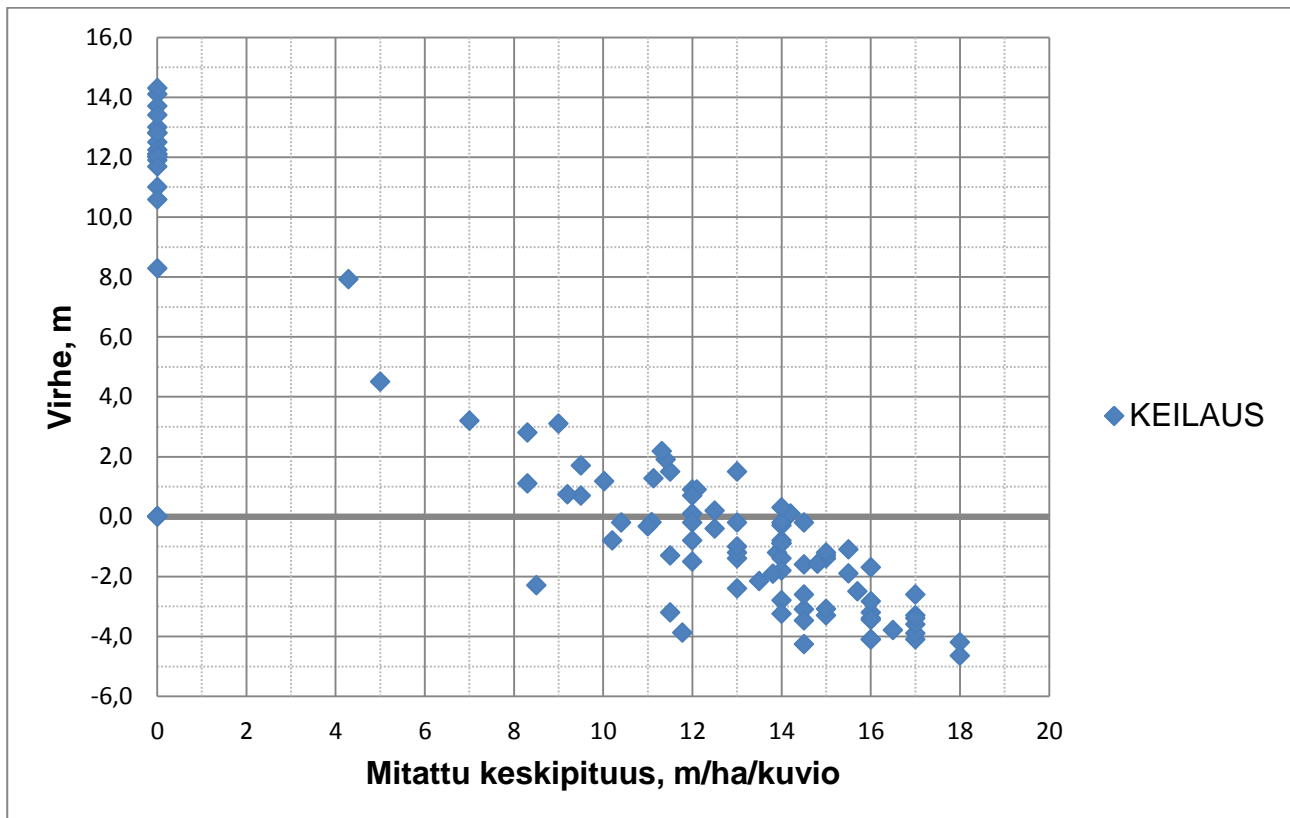
Kuvio 86. Kuusen pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



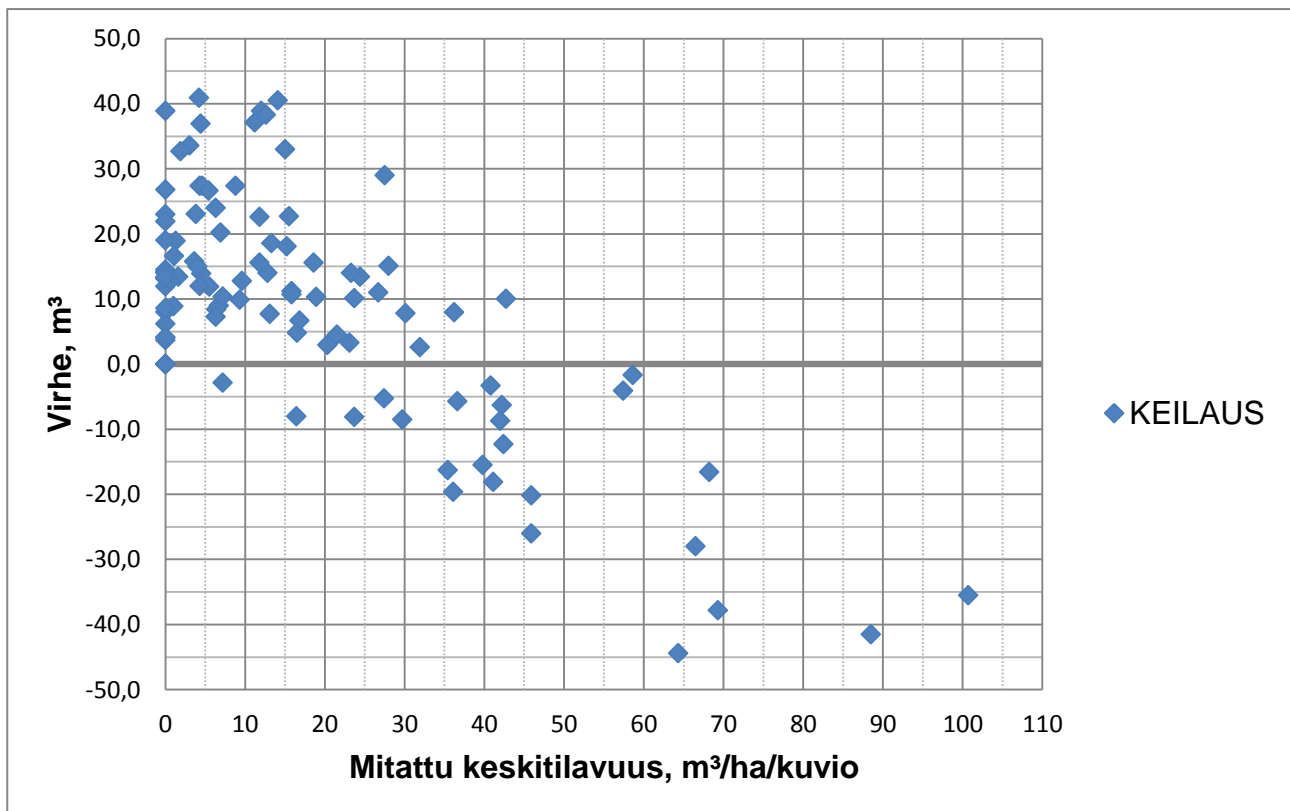
Kuvio 87. Kuusen runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



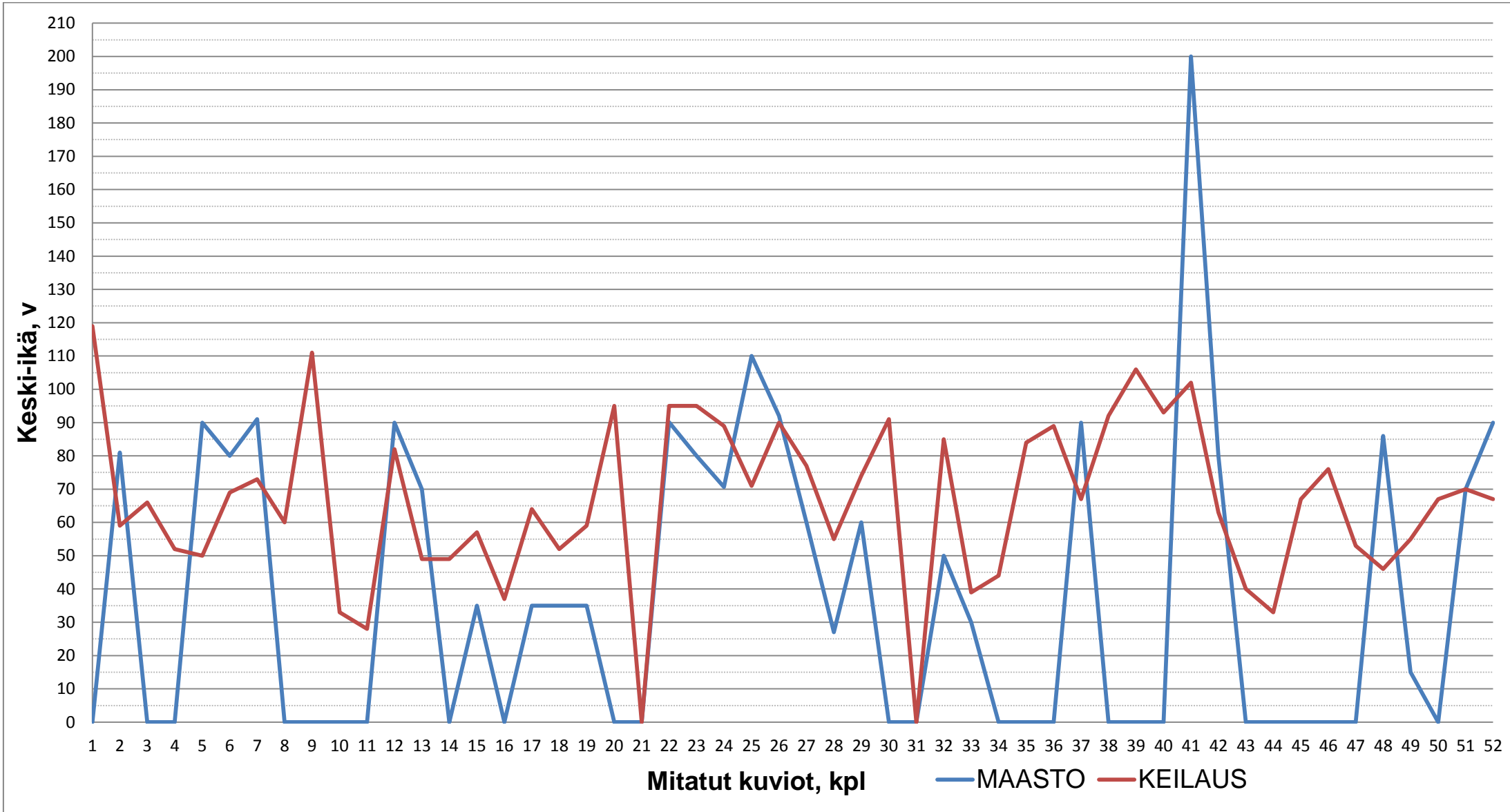
Kuvio 88. Kuusen keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



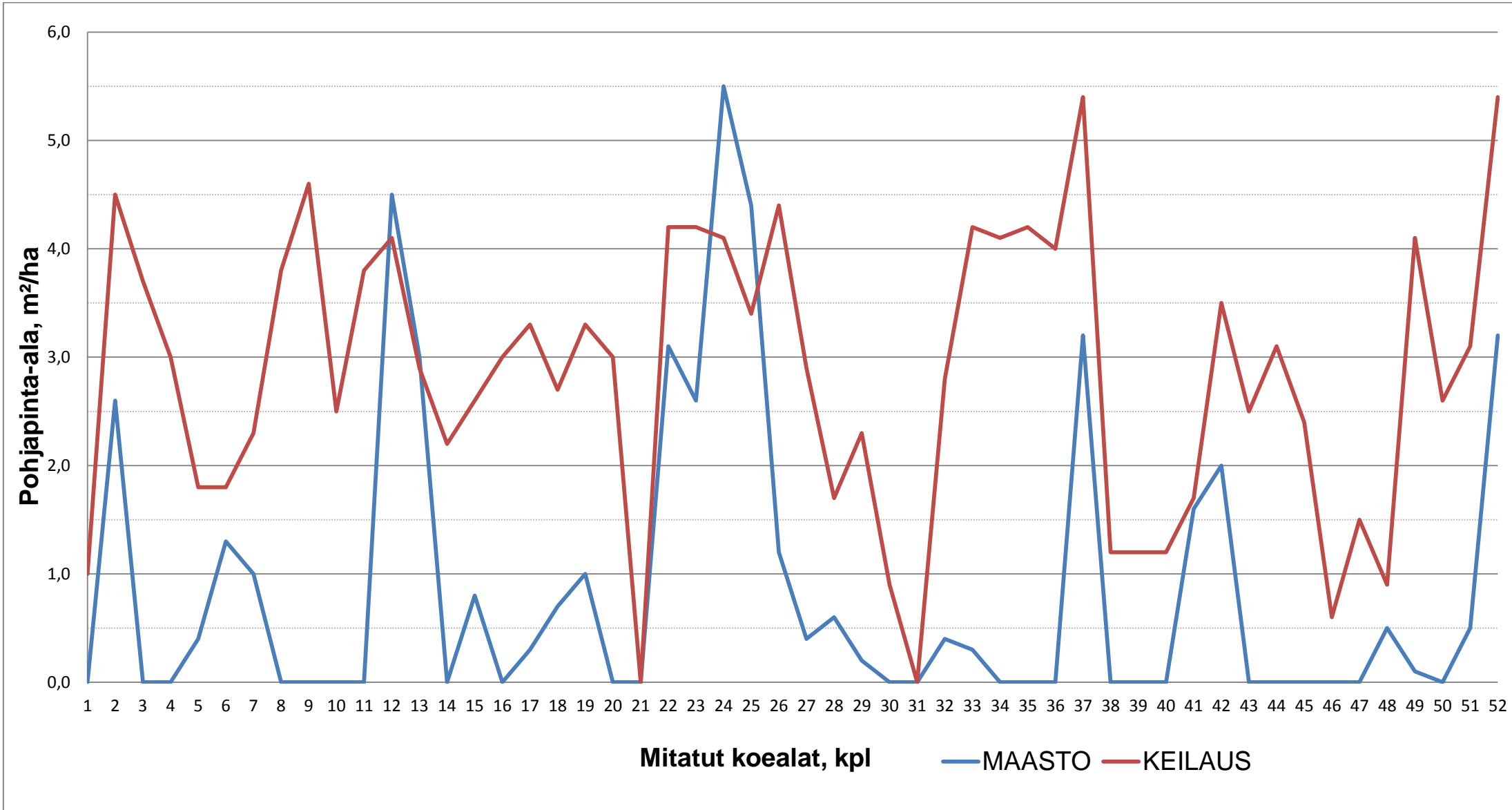
Kuvio 89. Kuusen keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



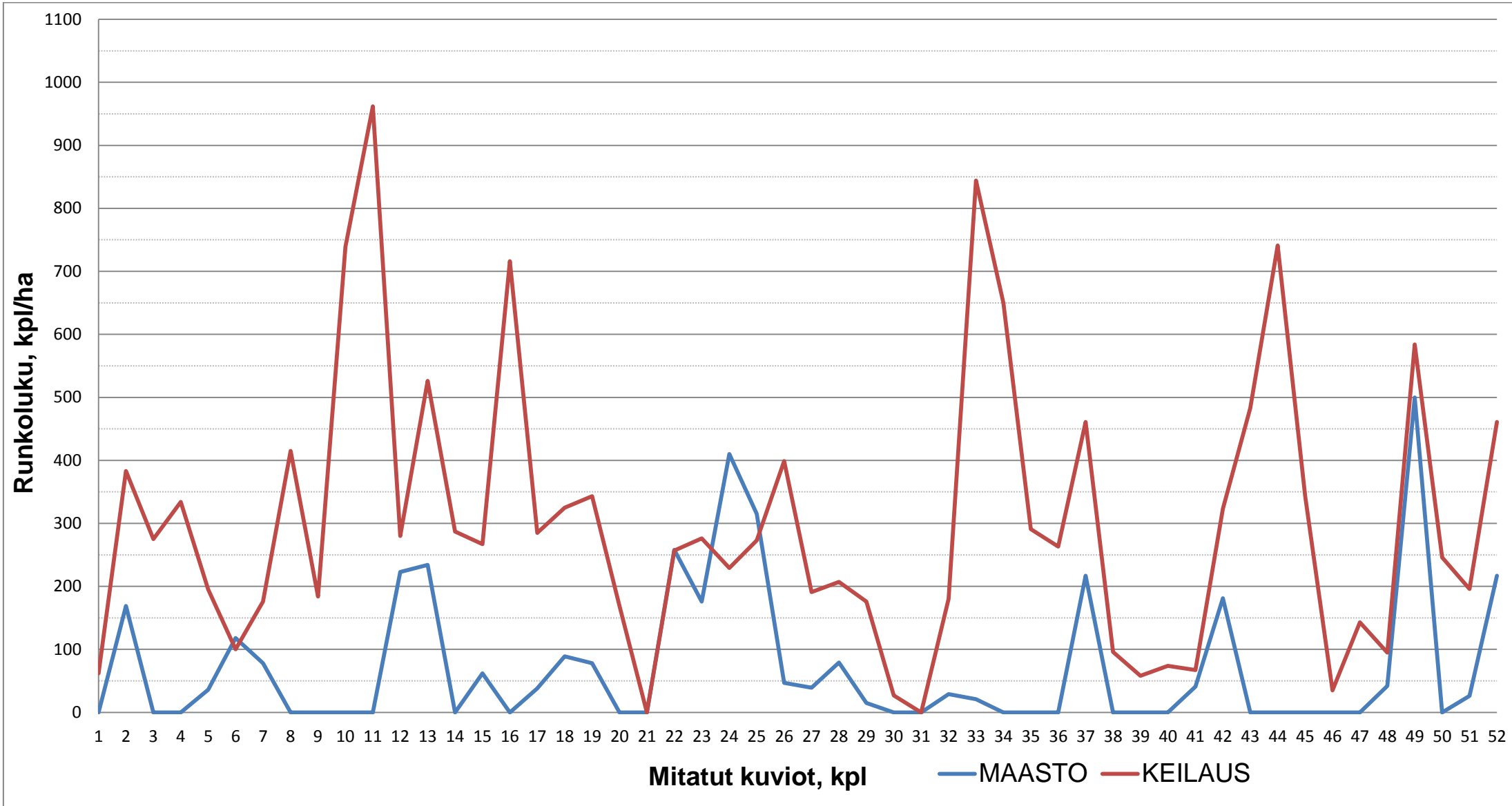
Kuvio 90. Kuusen keskitilavuuden kuviokohtainen virhe mitatun keskitilavuuden funktiona



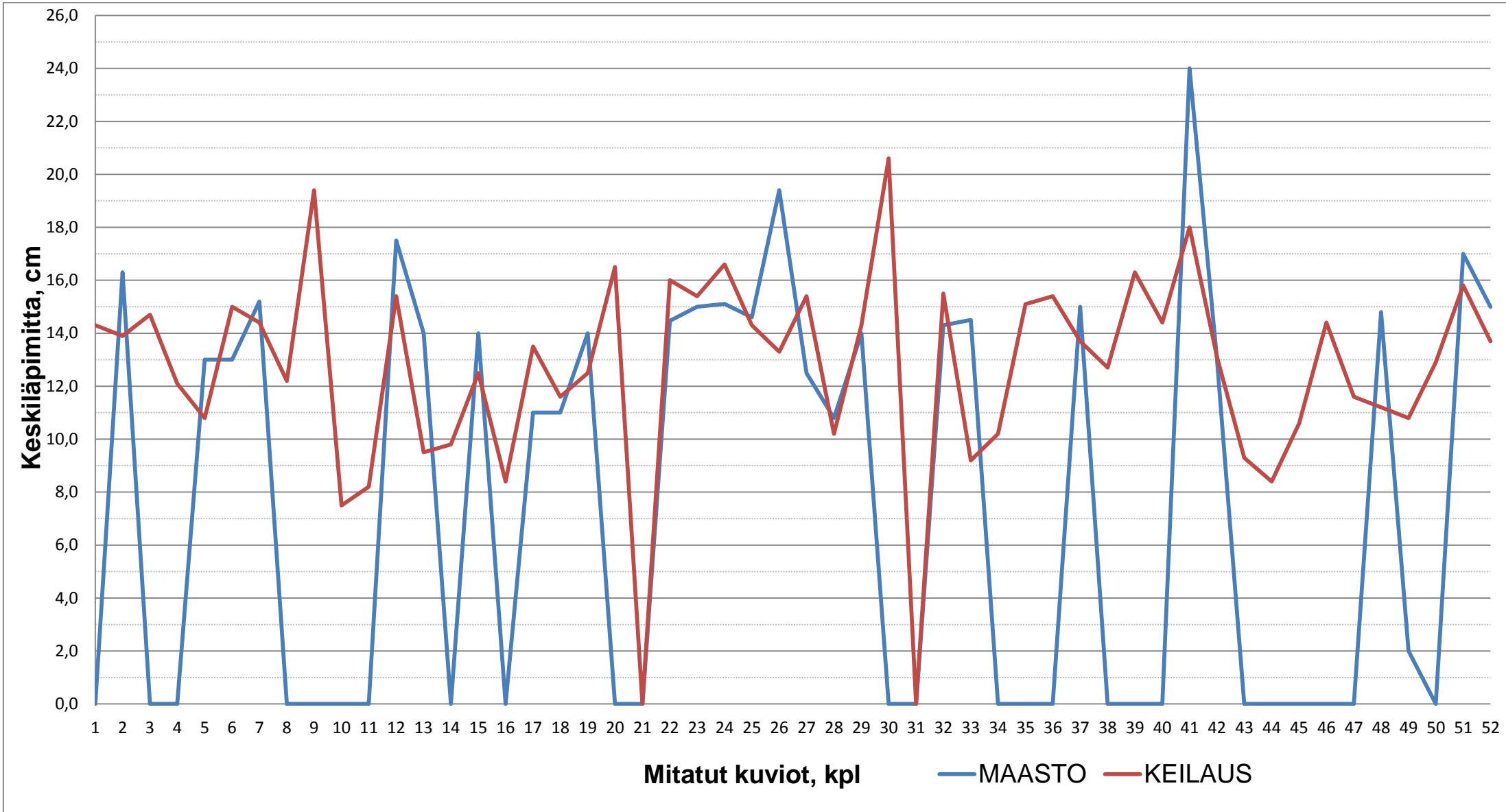
Kuvio 91. Kuusen keski-iän (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



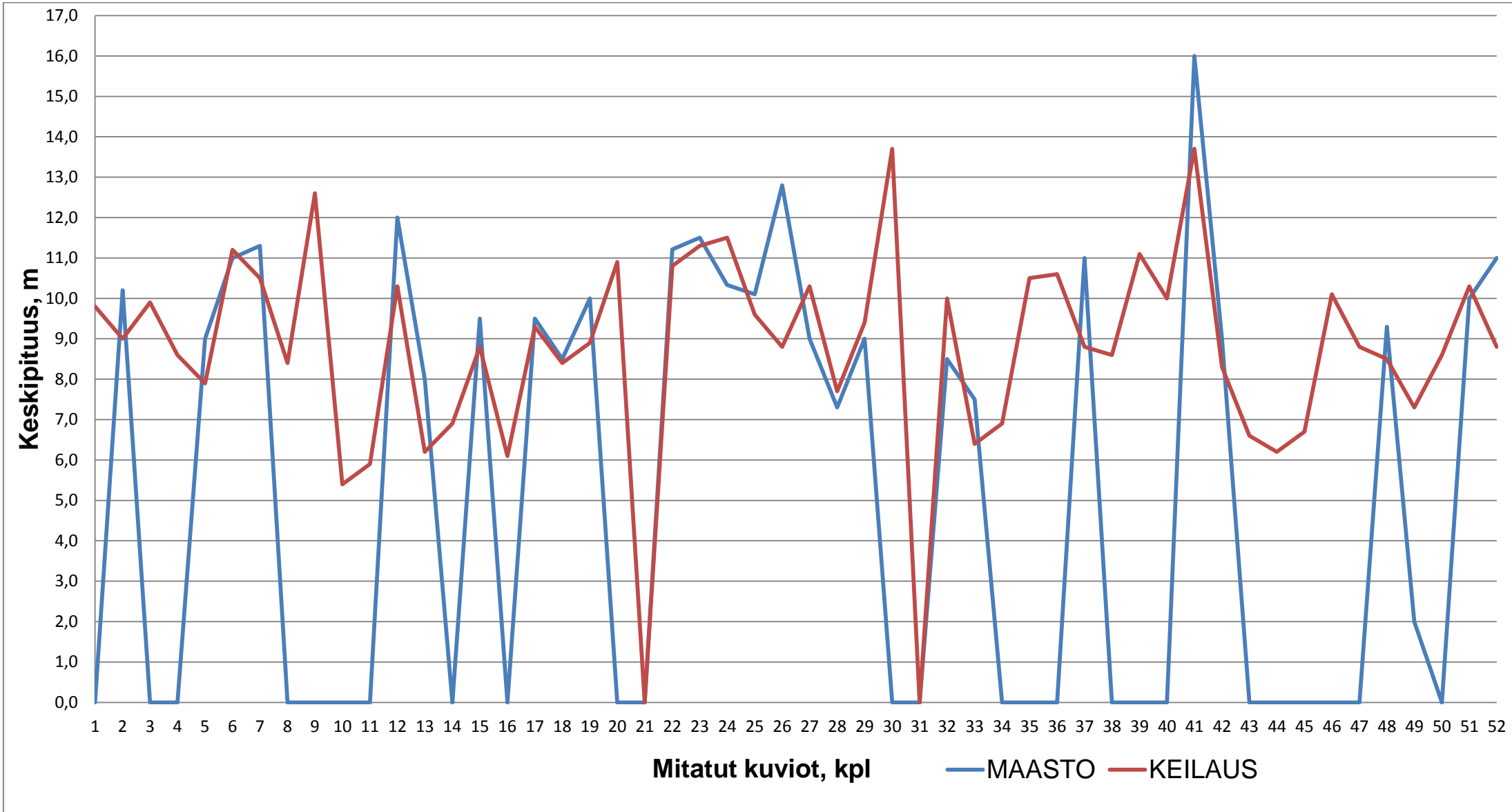
Kuvio 92. Kuusen pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



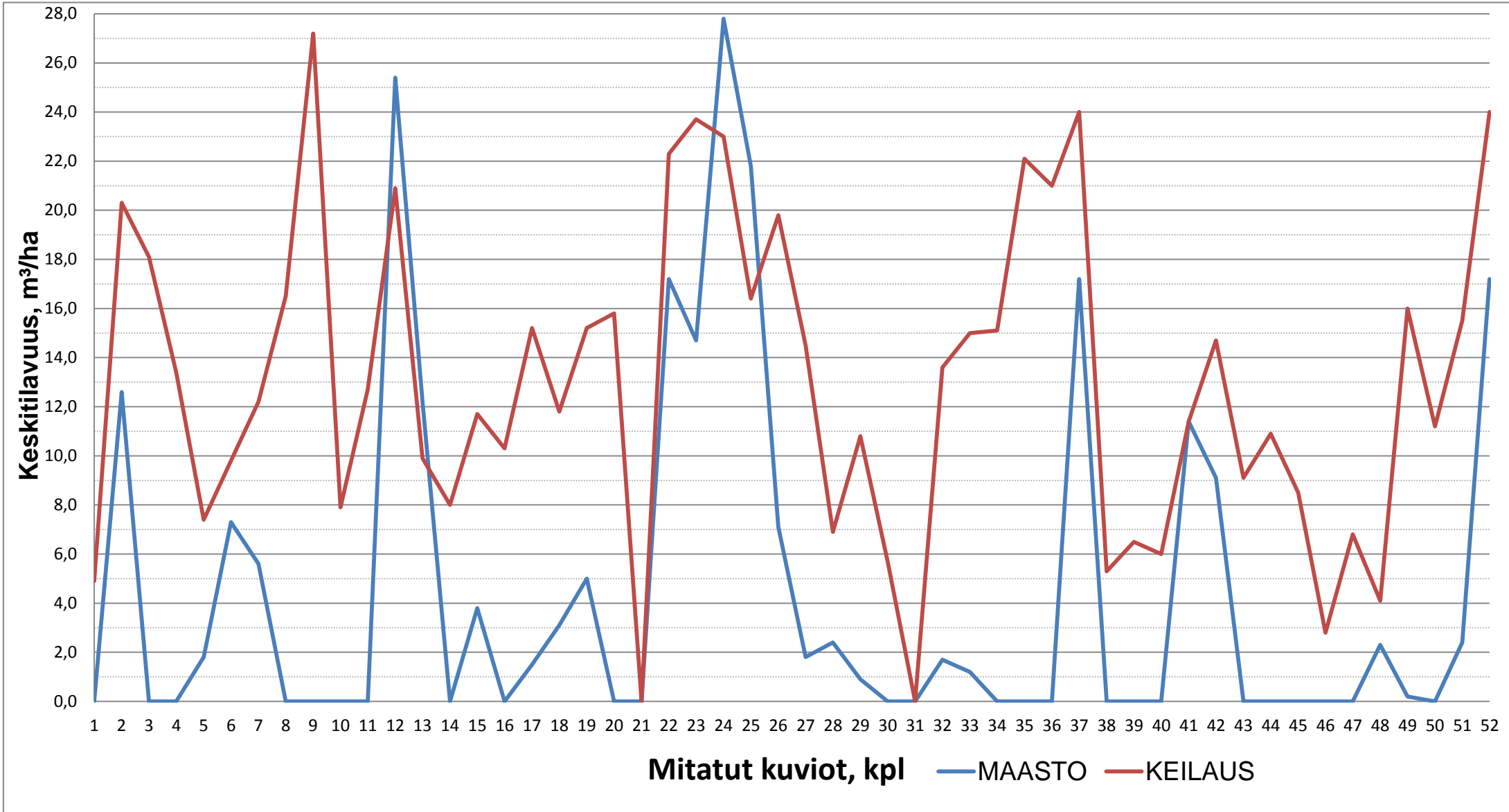
Kuvio 93. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



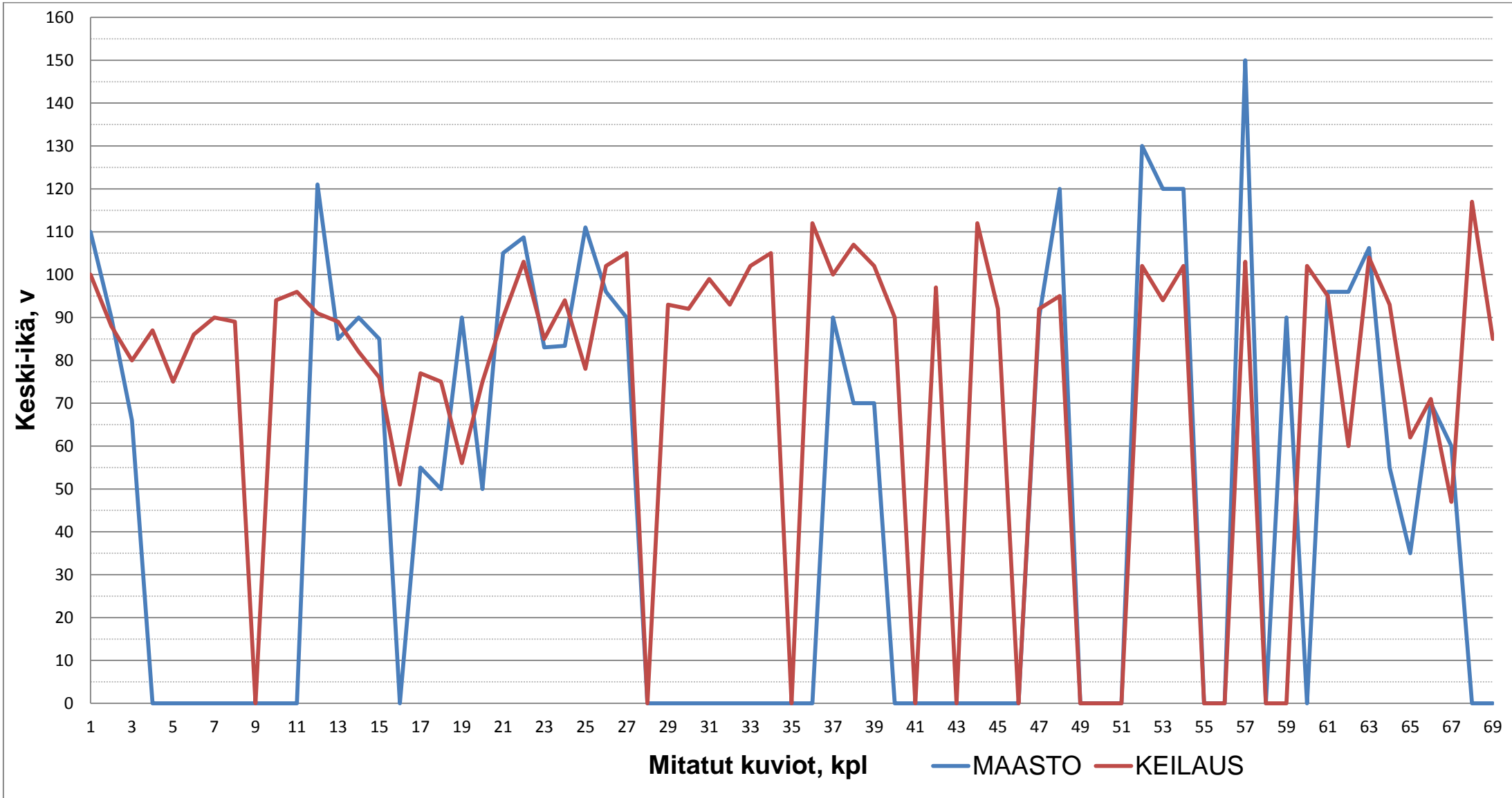
Kuvio 94. Kuusen keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



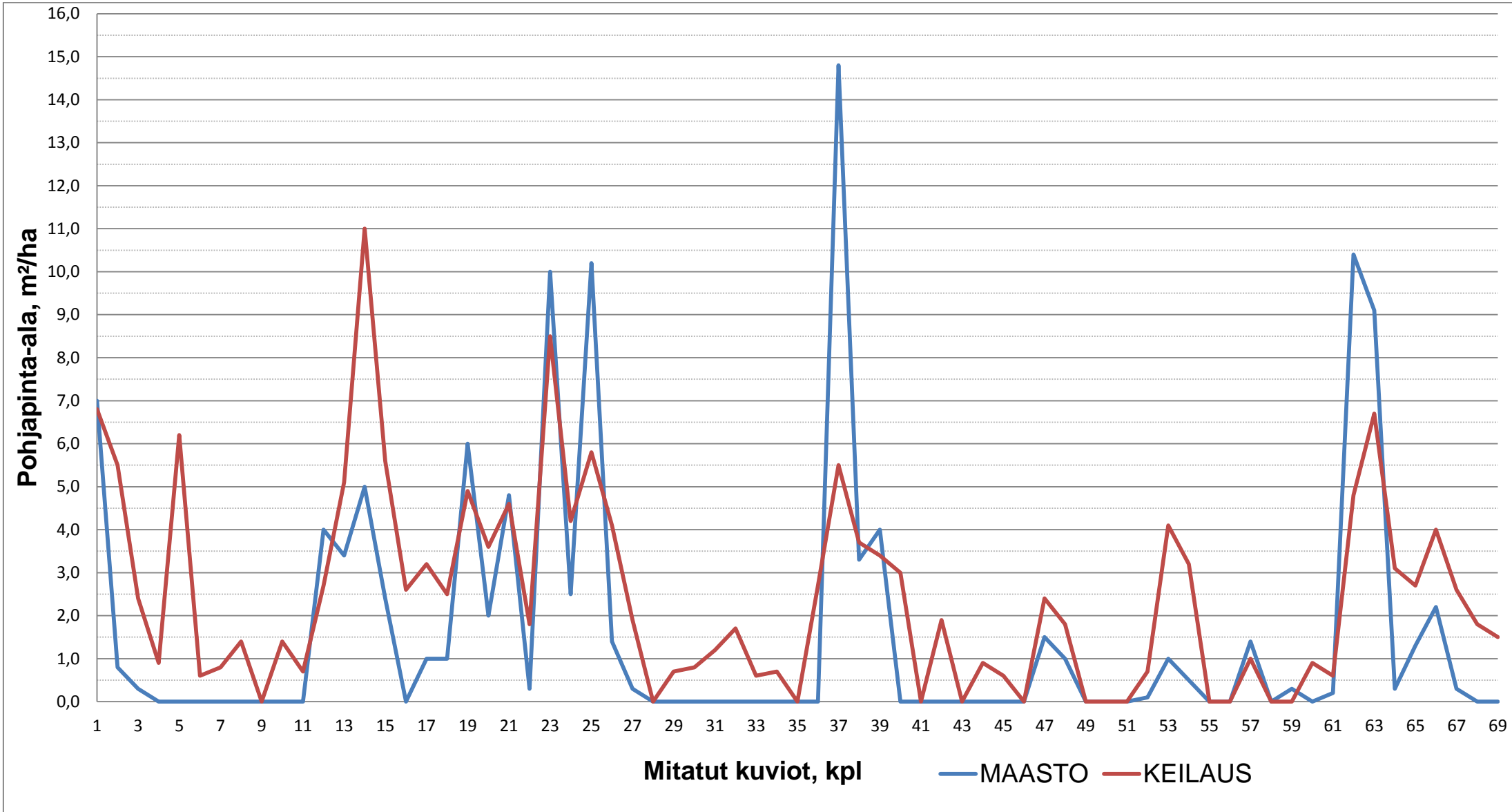
Kuvio 95. Kuusen keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



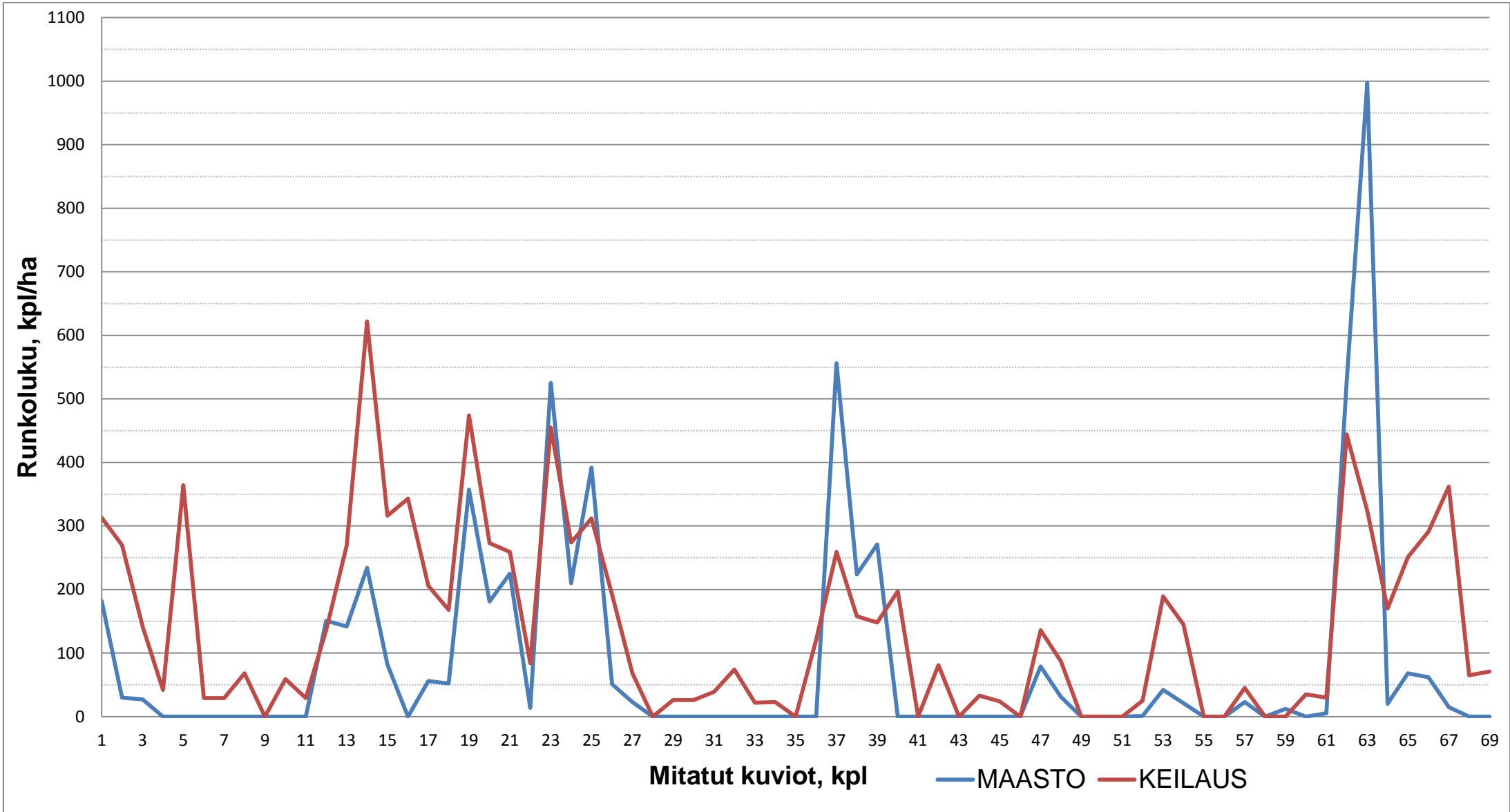
96. Kuusen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 02.



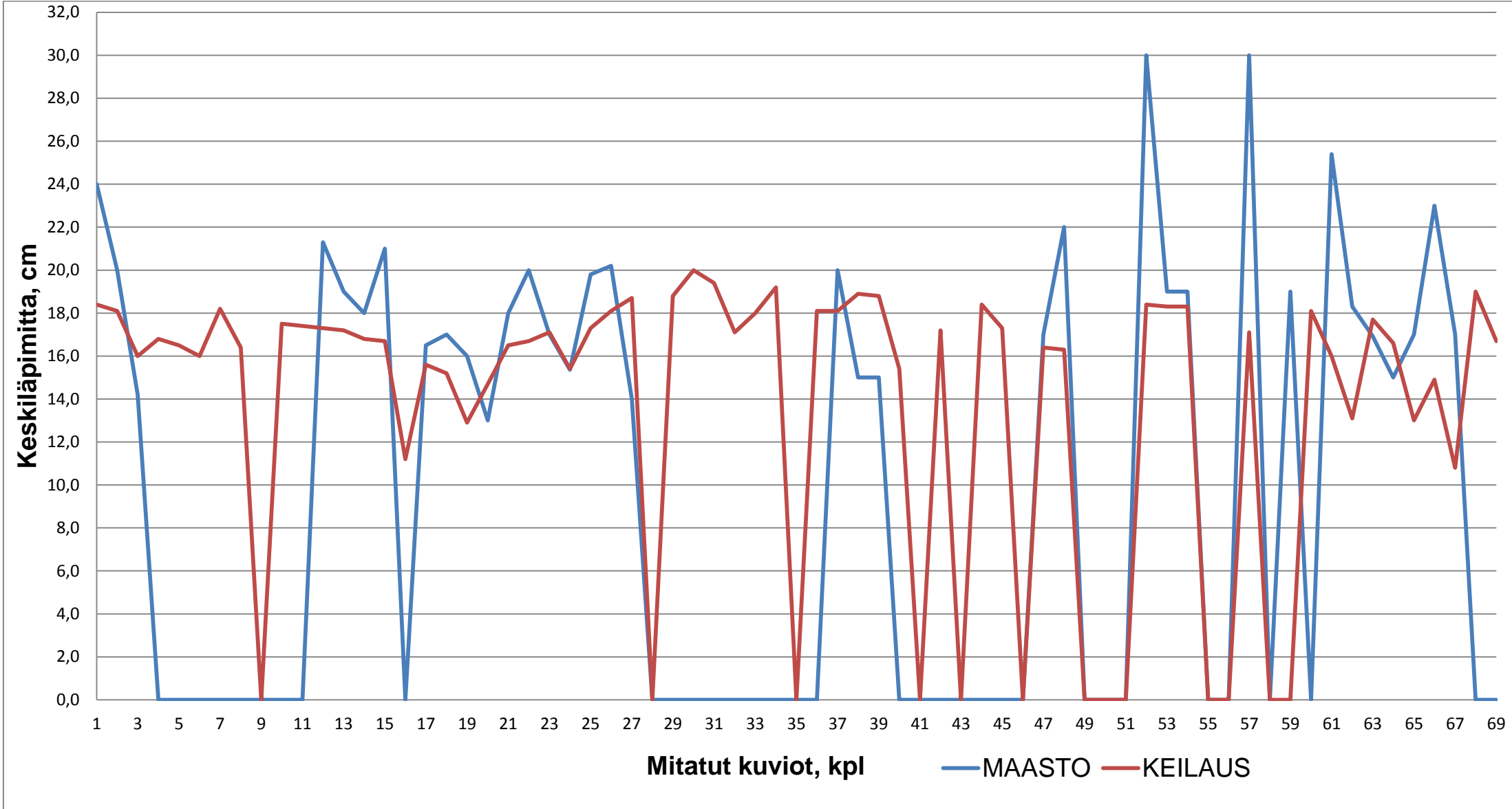
Kuvio 97. Kuusen keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



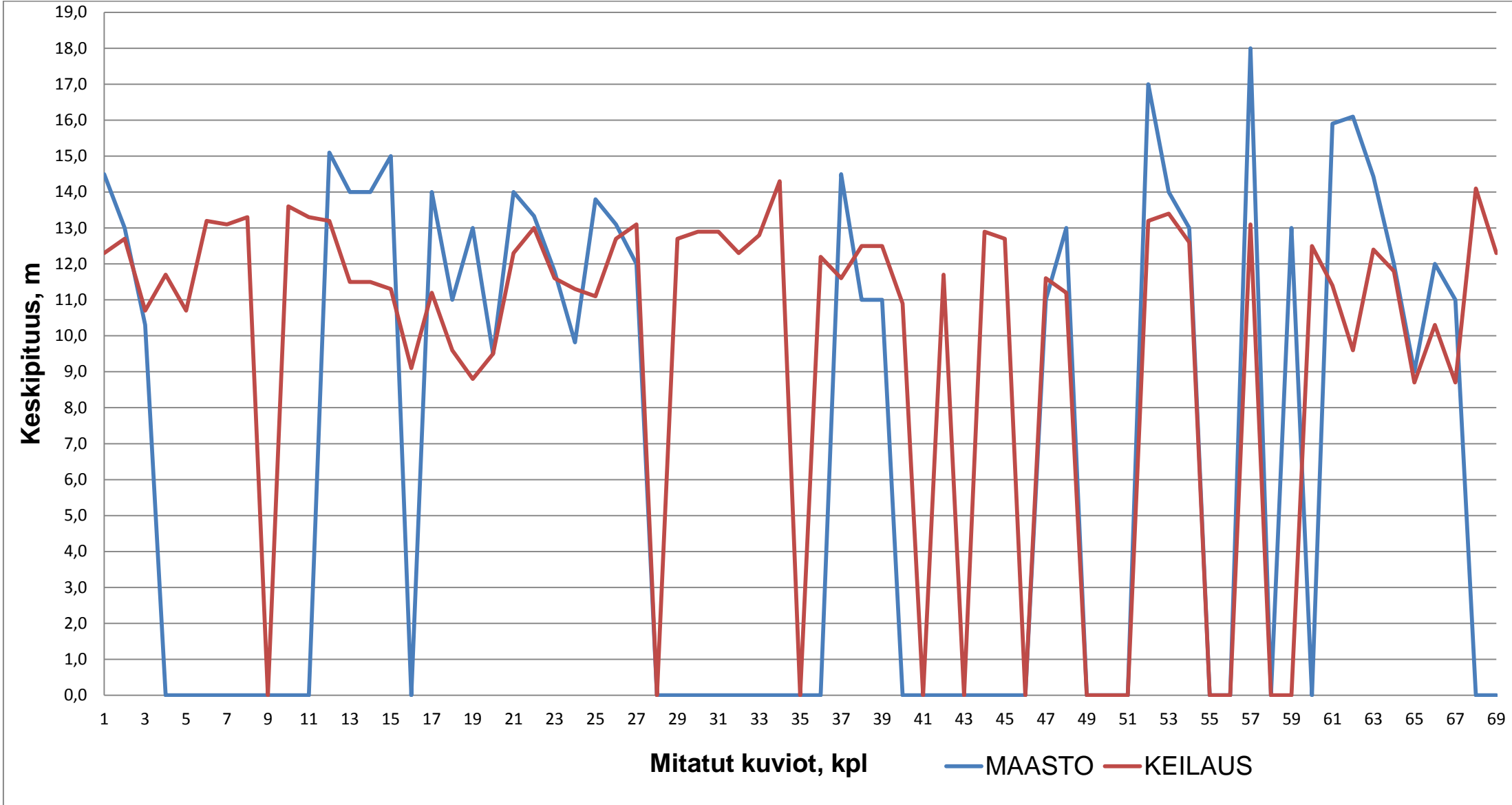
Kuvio 98. Kuusen pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 03.



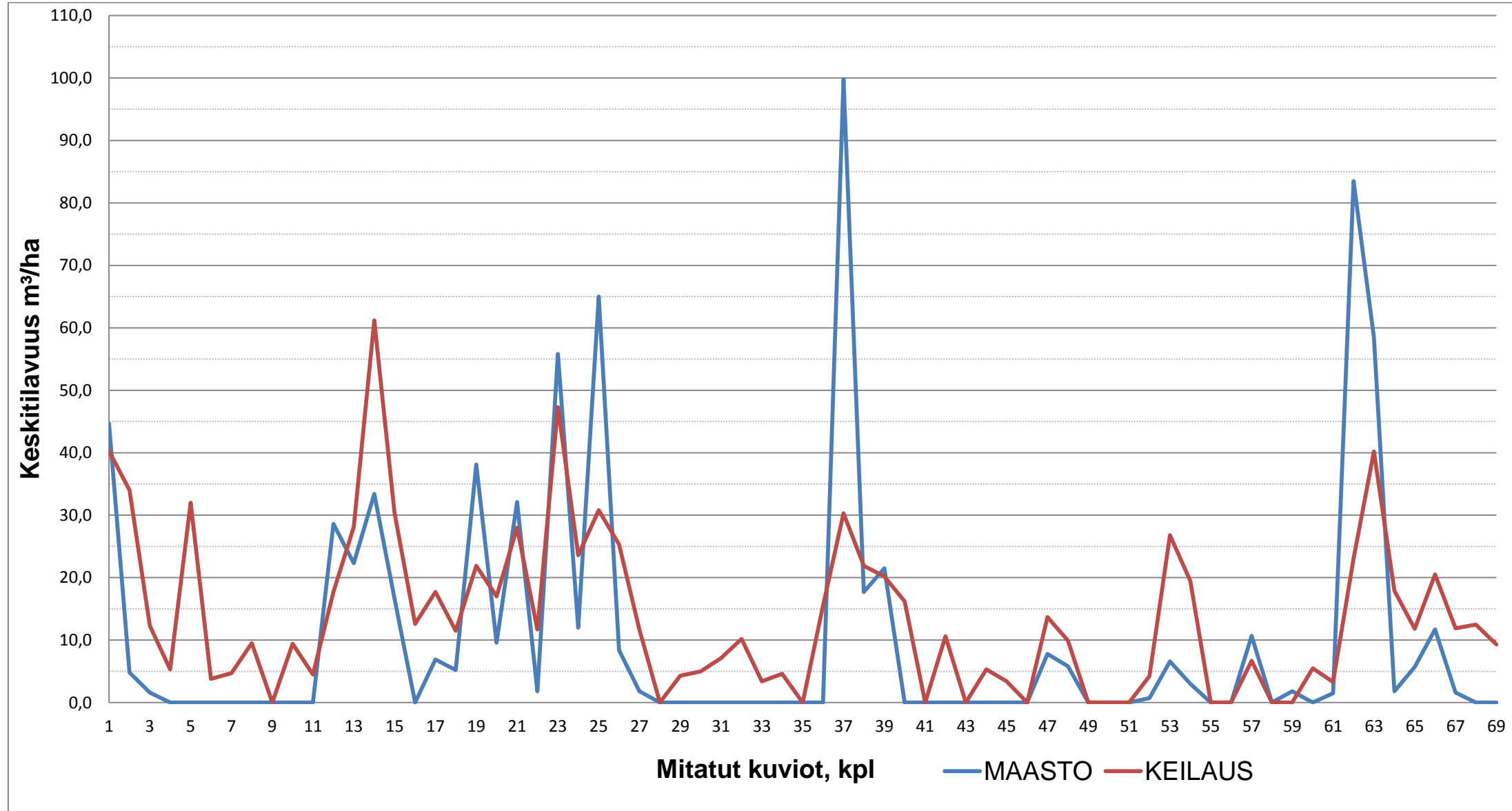
Kuvio 99. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



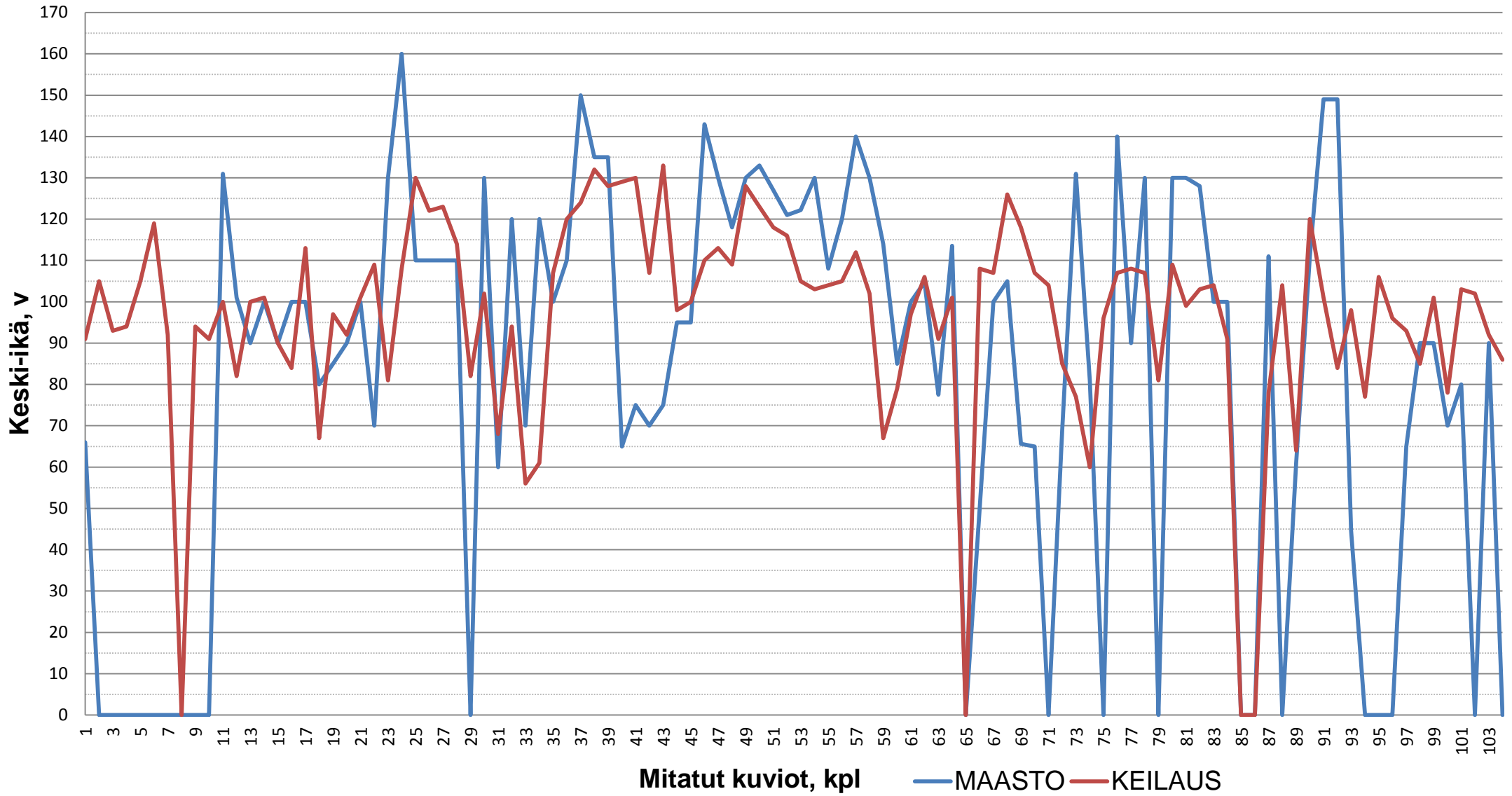
Kuvio 100. Kuusen keskiläpimitan ($d_{1.3}$) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



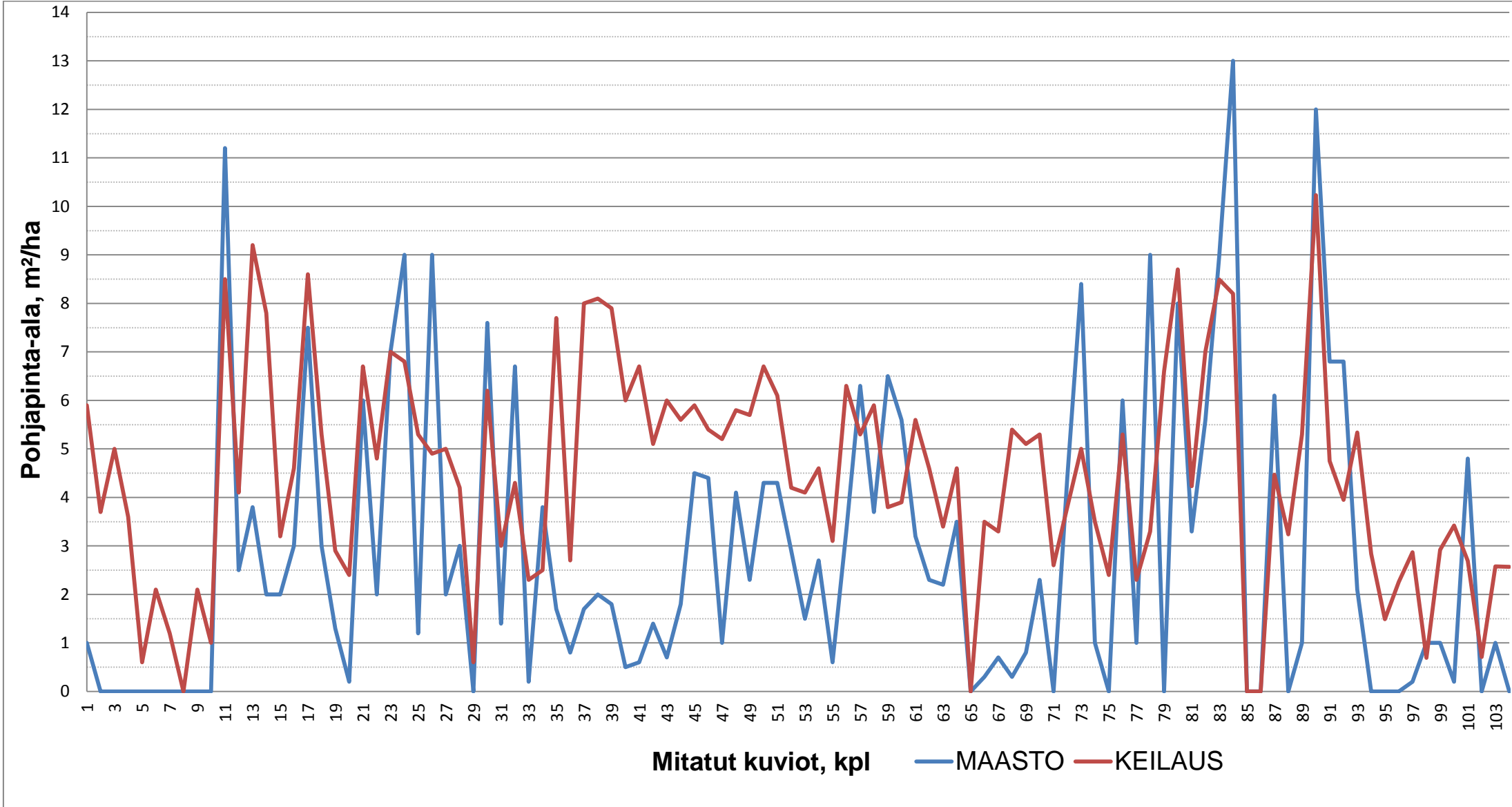
Kuvio 101. Kuusen keskipituuden (m/ha) vaihtelu kehitysluokassa 03.



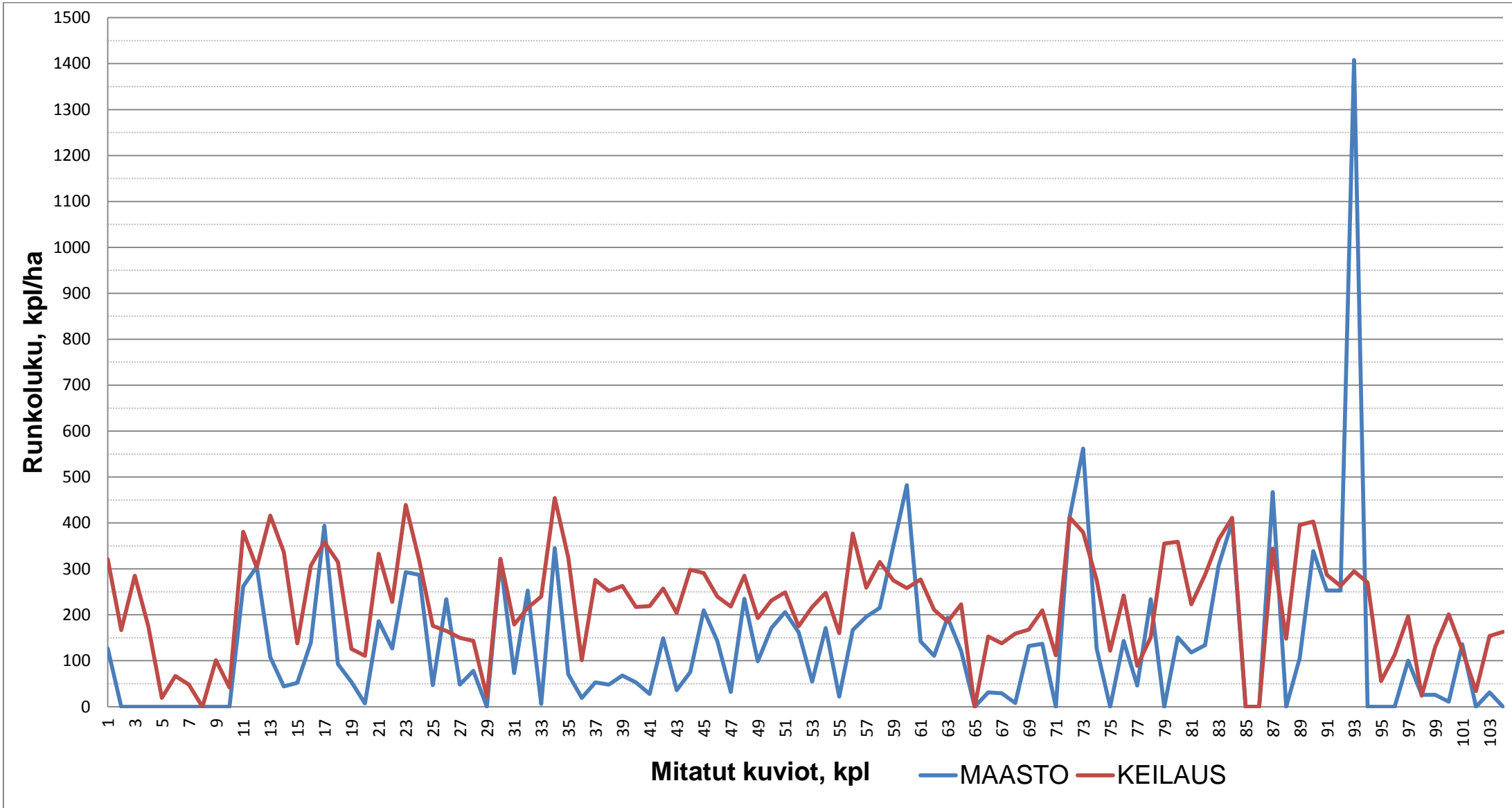
Kuvio 102. Kuusen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



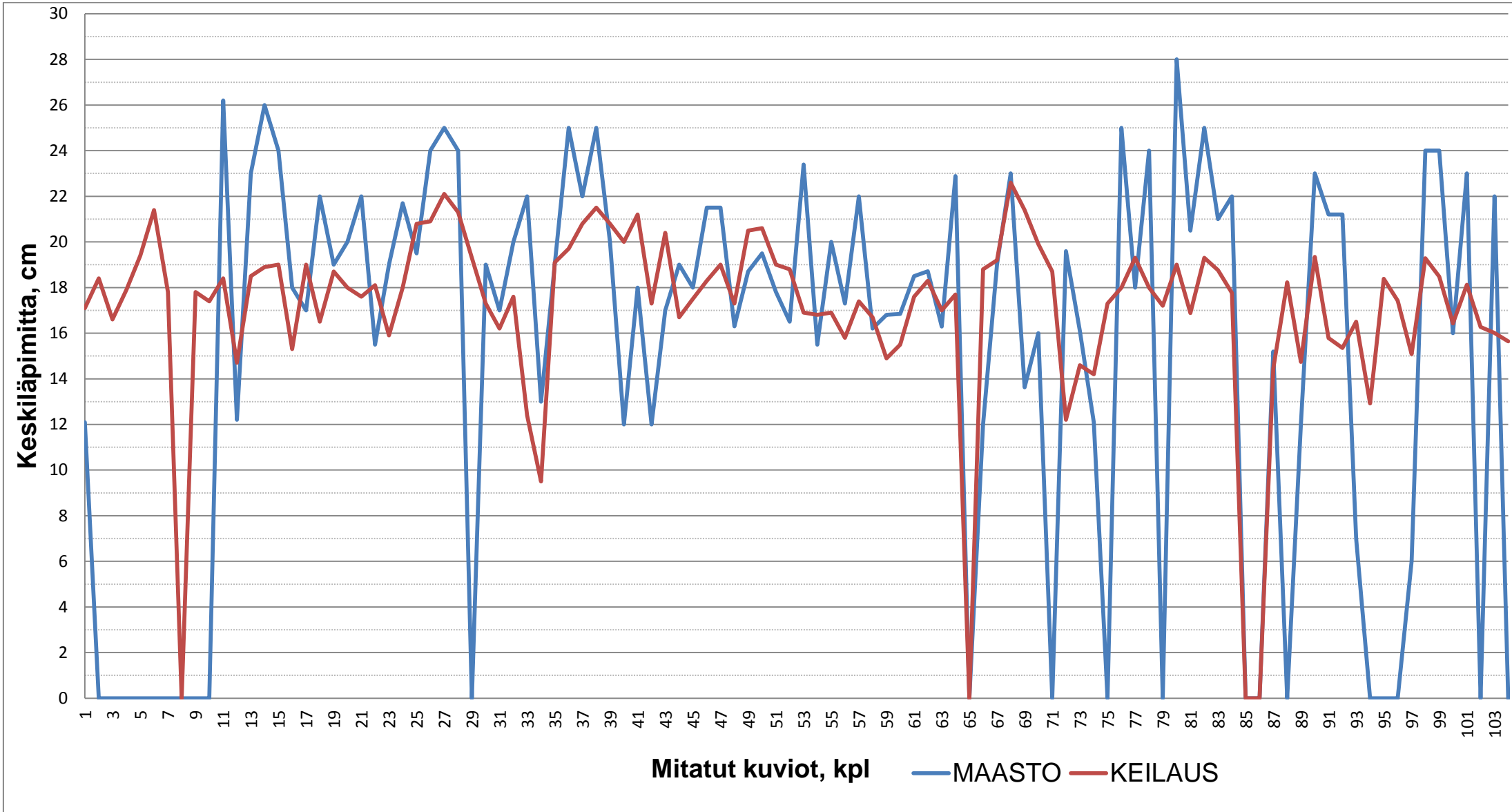
Kuvio 103. Kuusen keski-ian (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



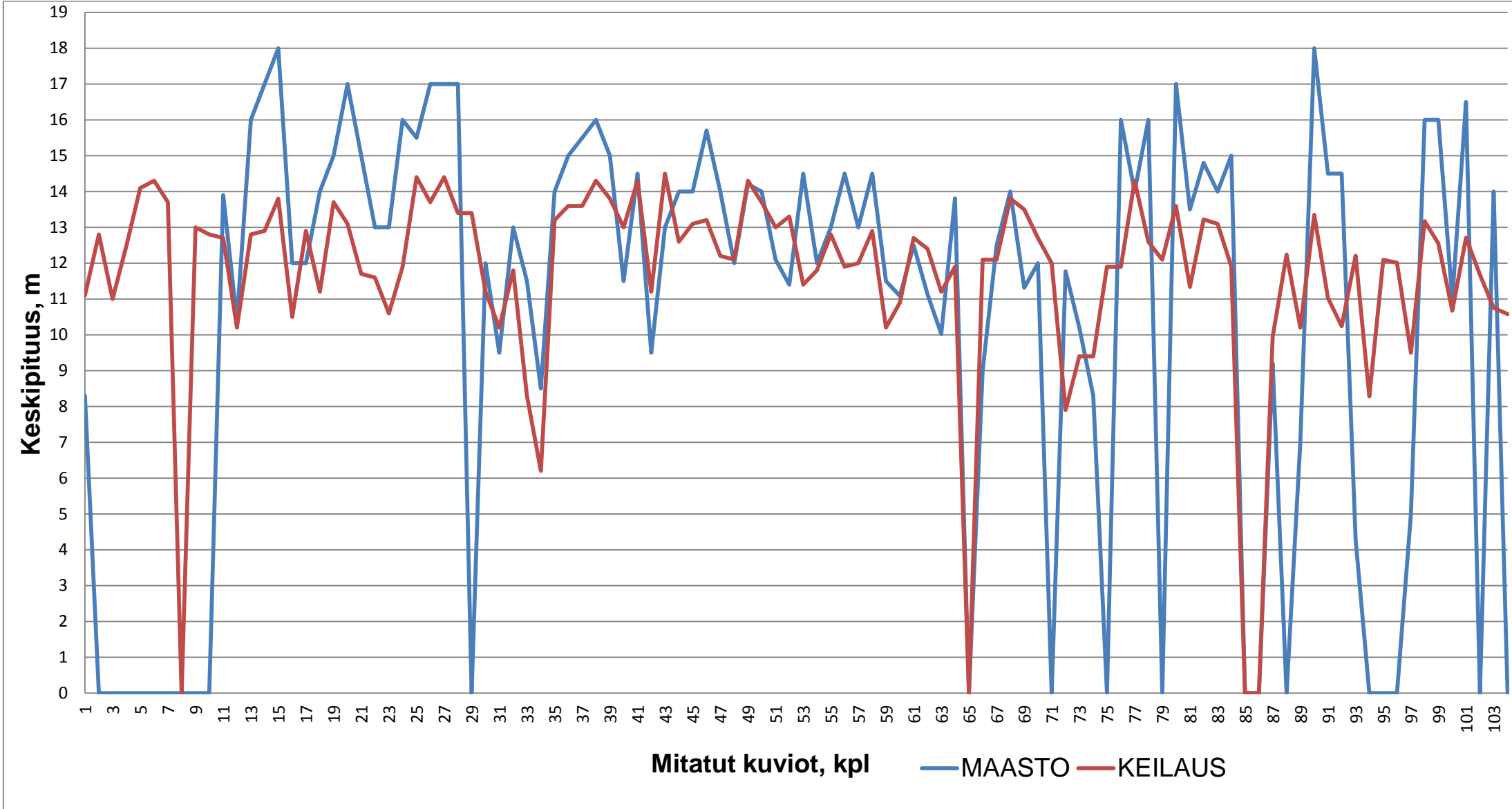
Kuvio 104. Kuusen pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



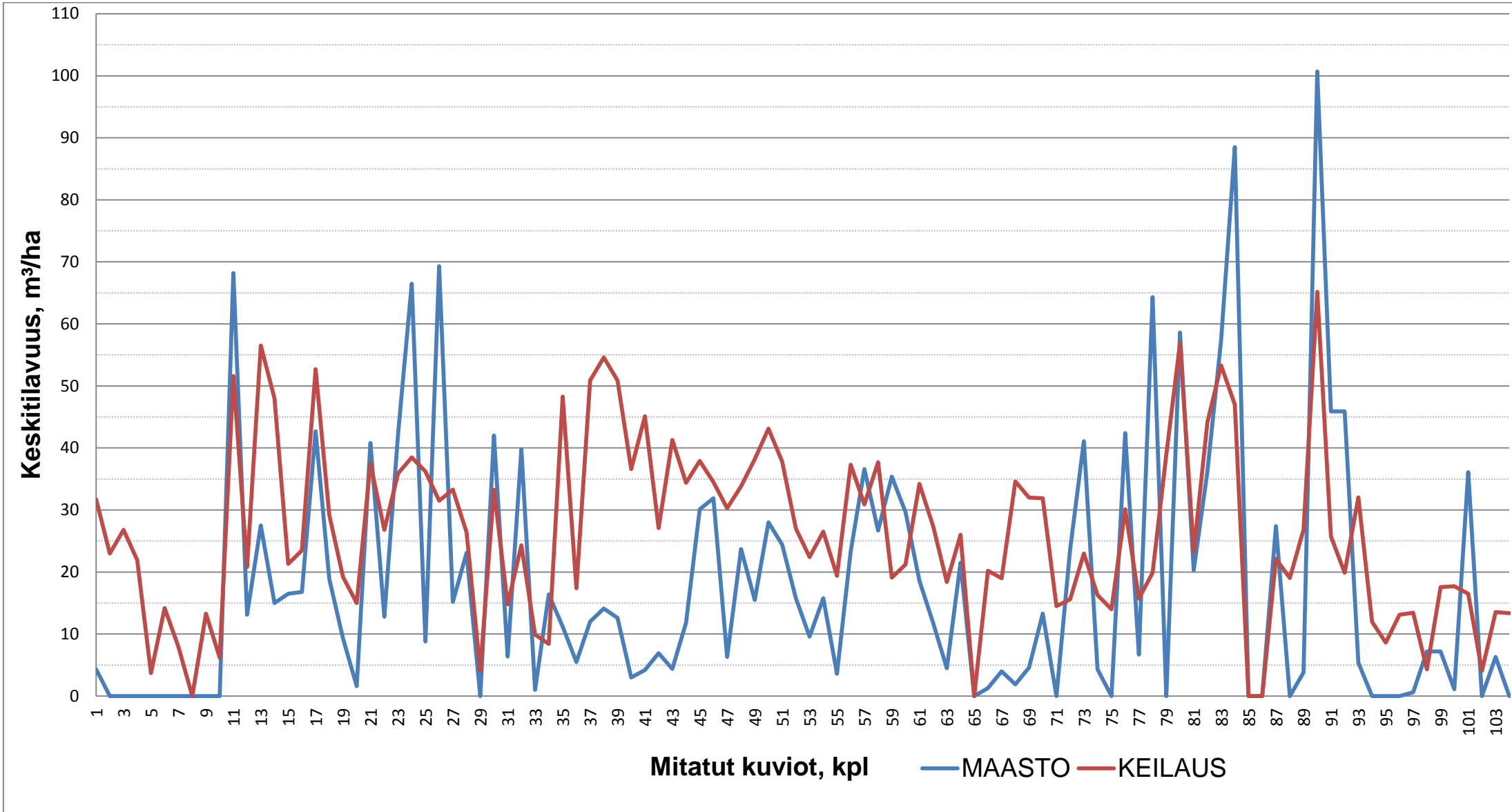
Kuvio 105. Kuusen runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 04.



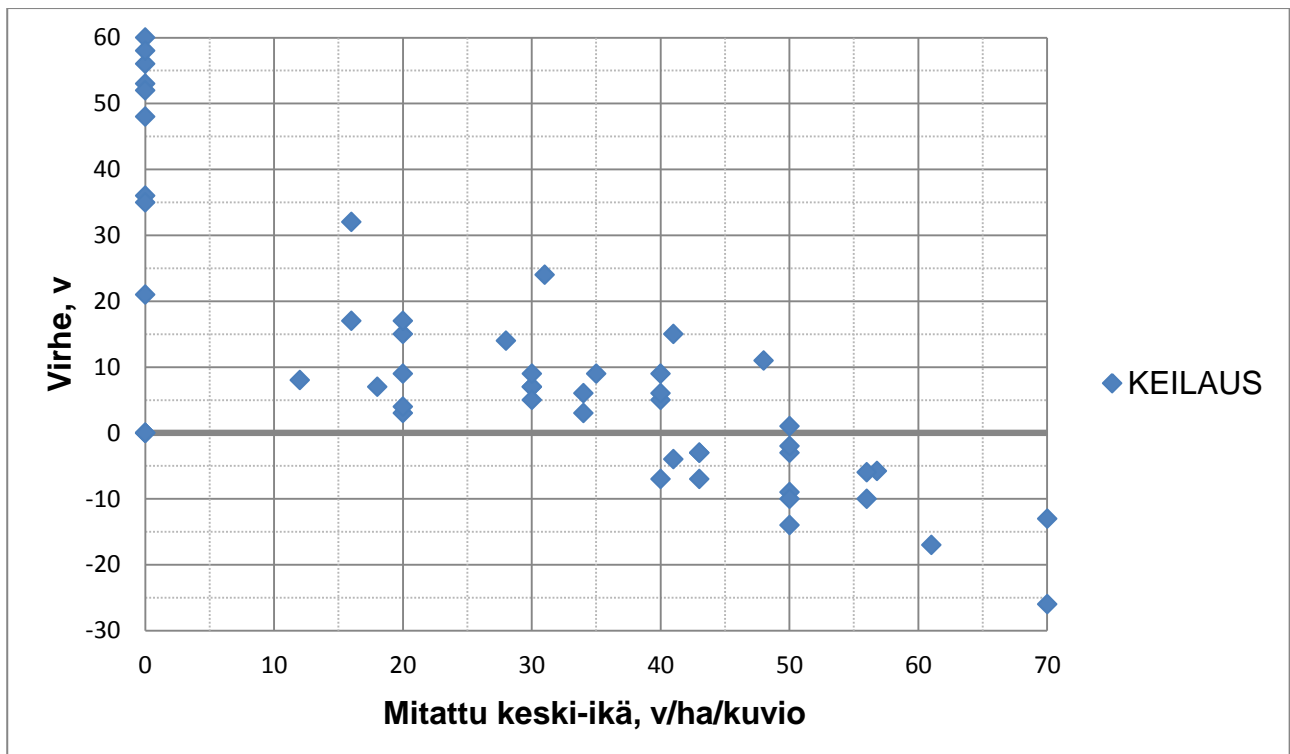
Kuvio 106. Kuusen keskiäpimitan ($d_{1.3}$) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



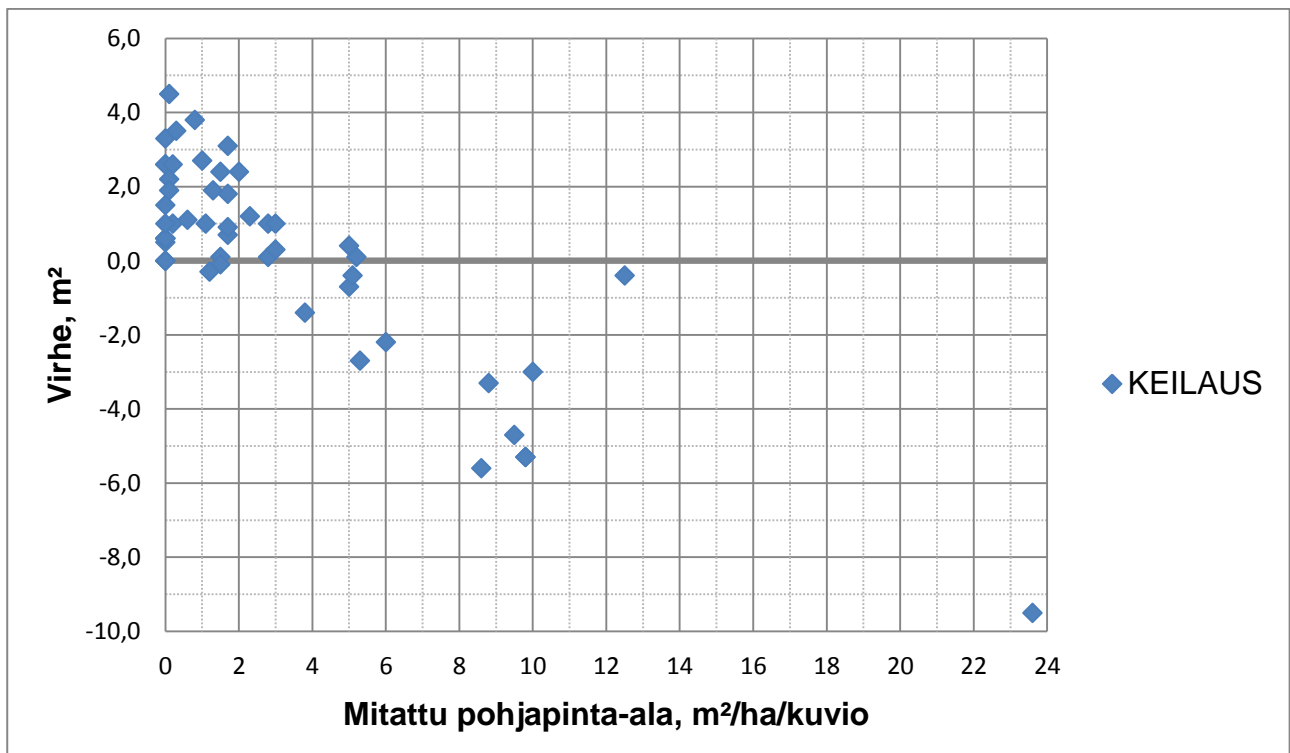
Kuvio 107. Kuusen keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



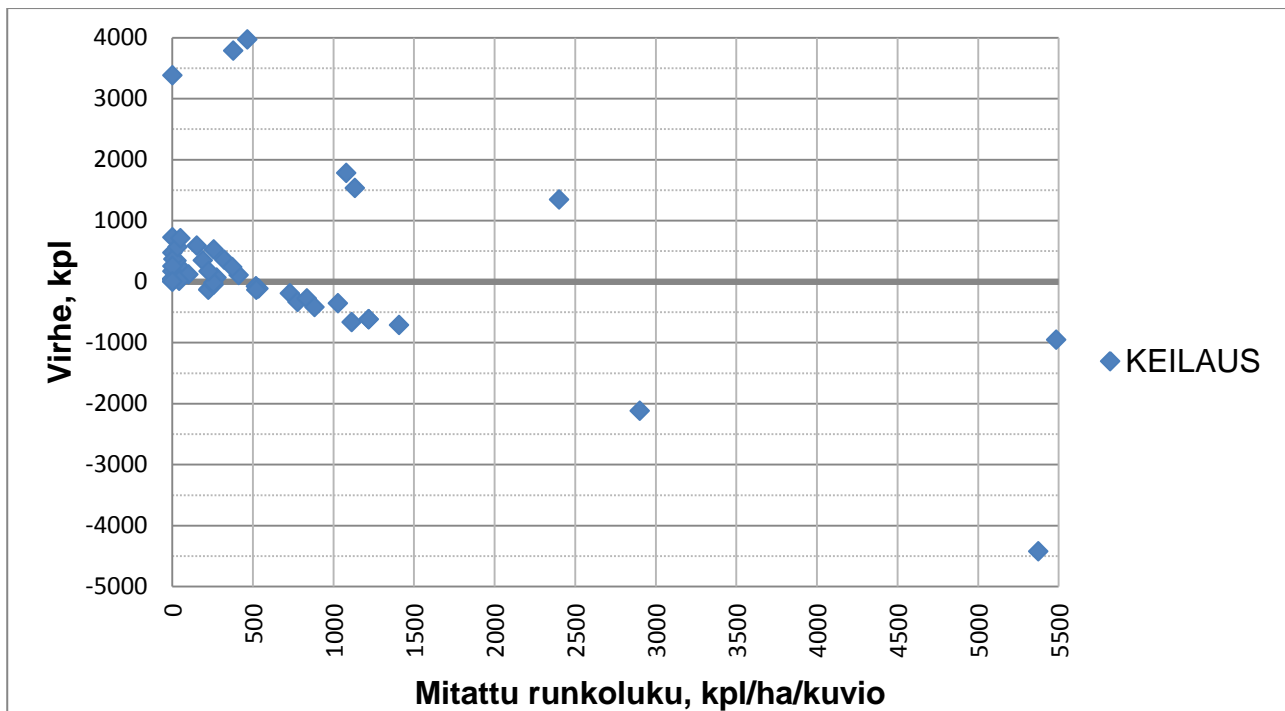
Kuvio 108. Kuusen keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



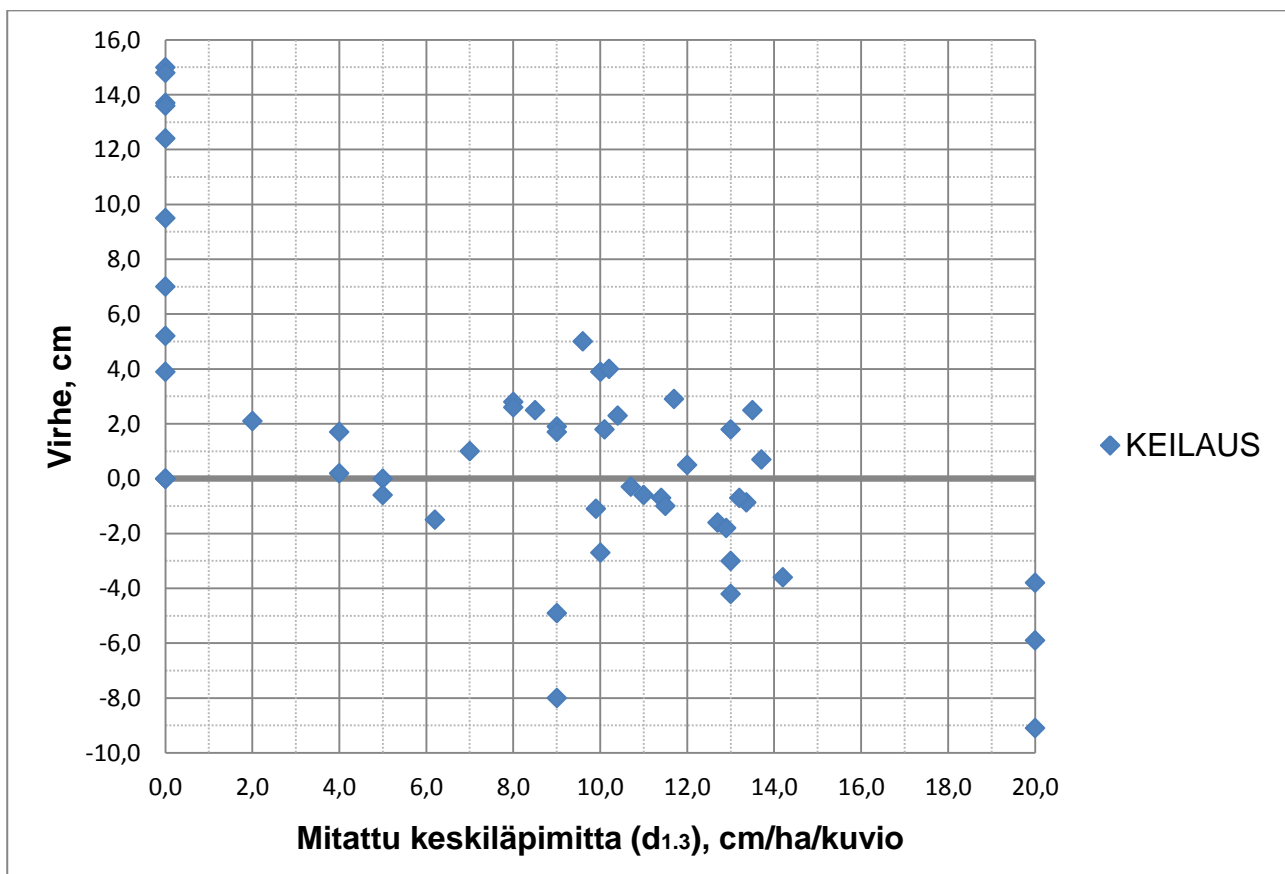
Kuvio 109. Lehtipuun keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona.



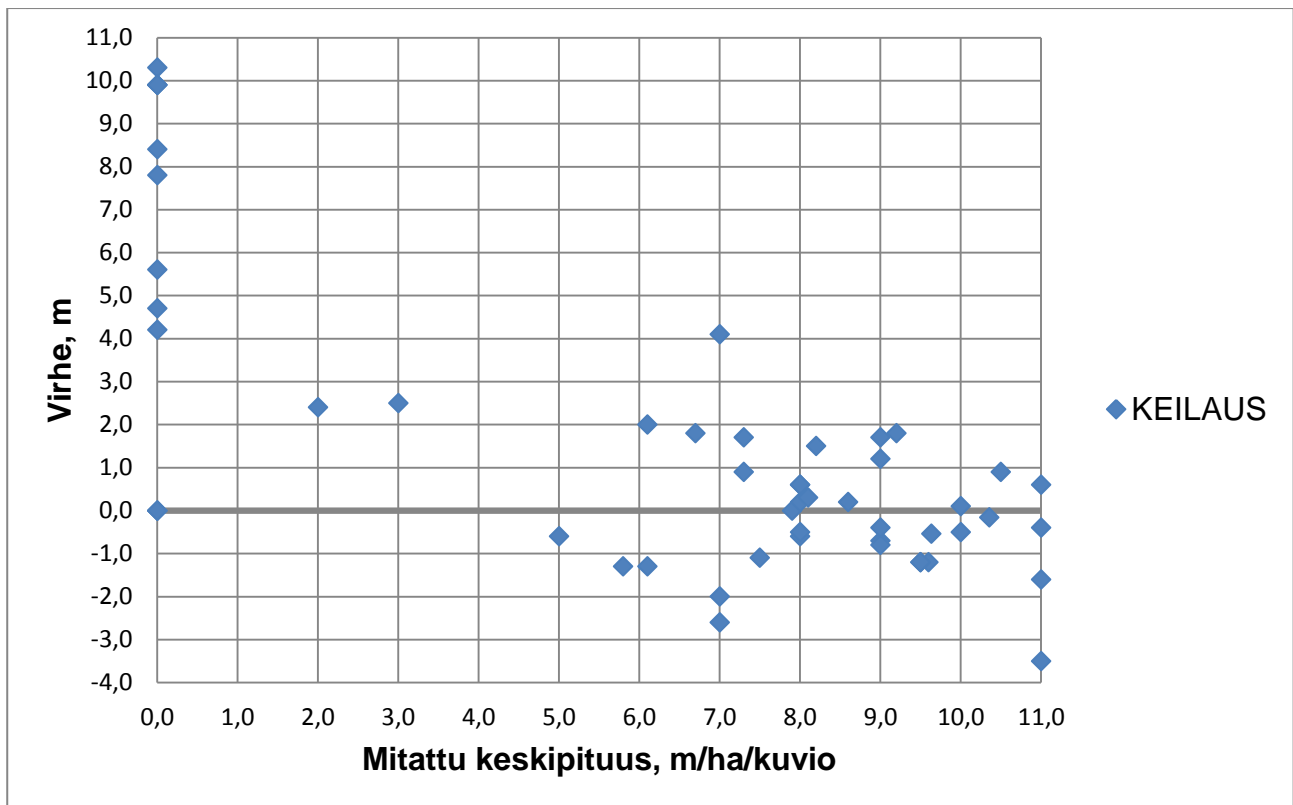
Kuvio 110. Lehtipuun pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



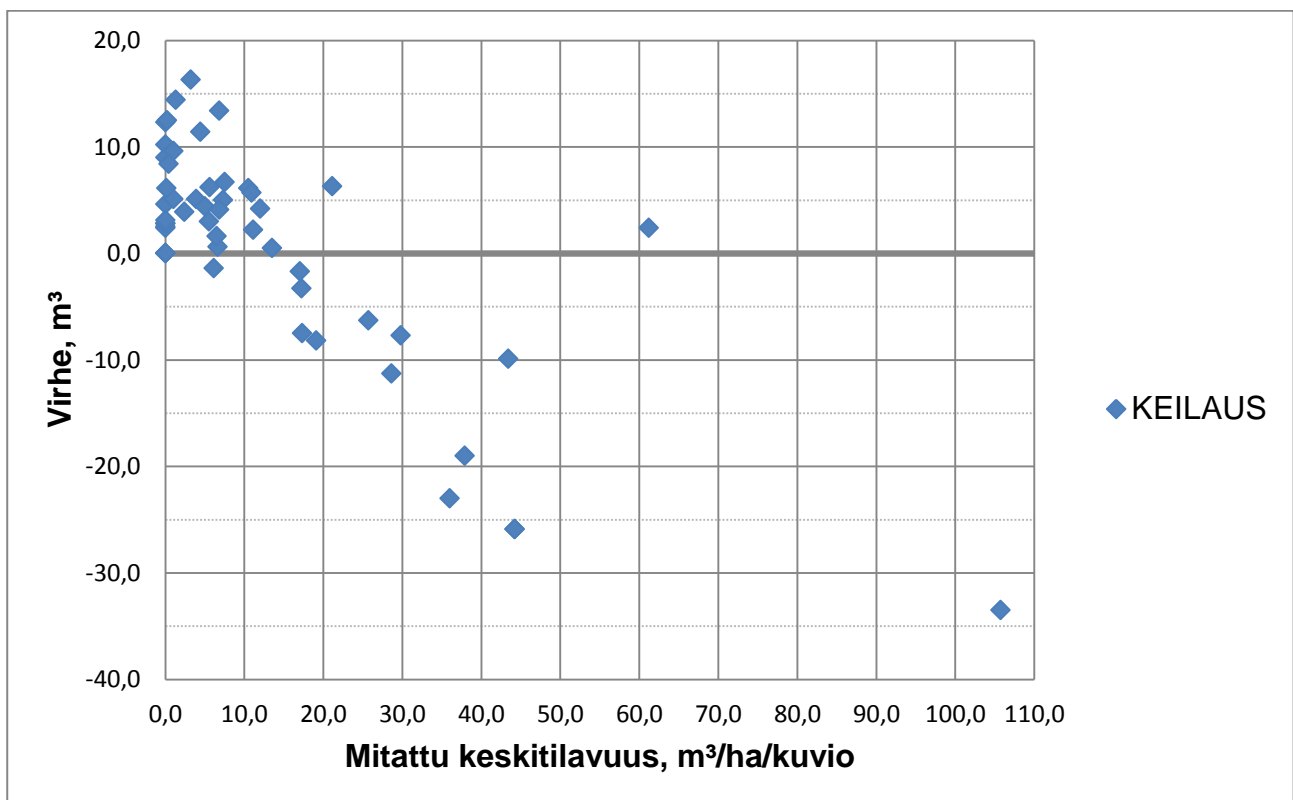
Kuvio 111: Lehtipuun runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



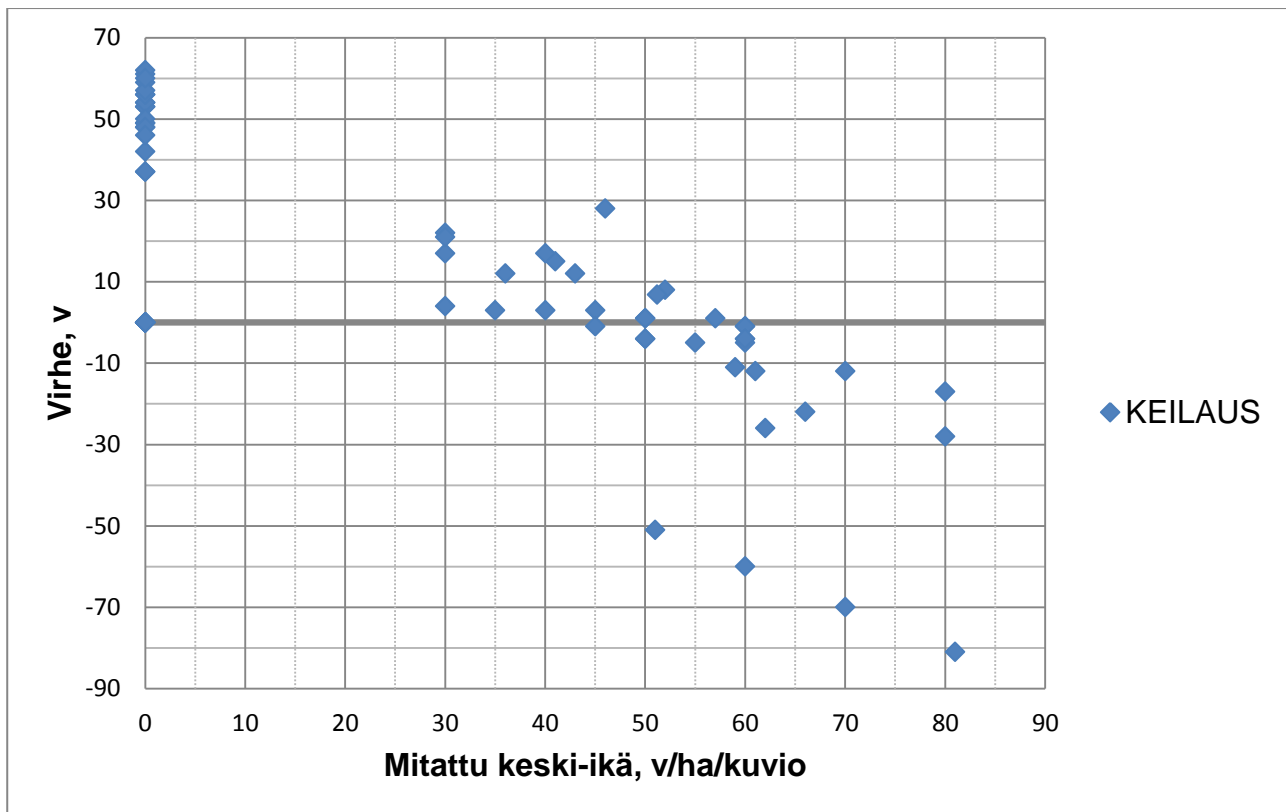
Kuvio 112: Lehtipuun keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



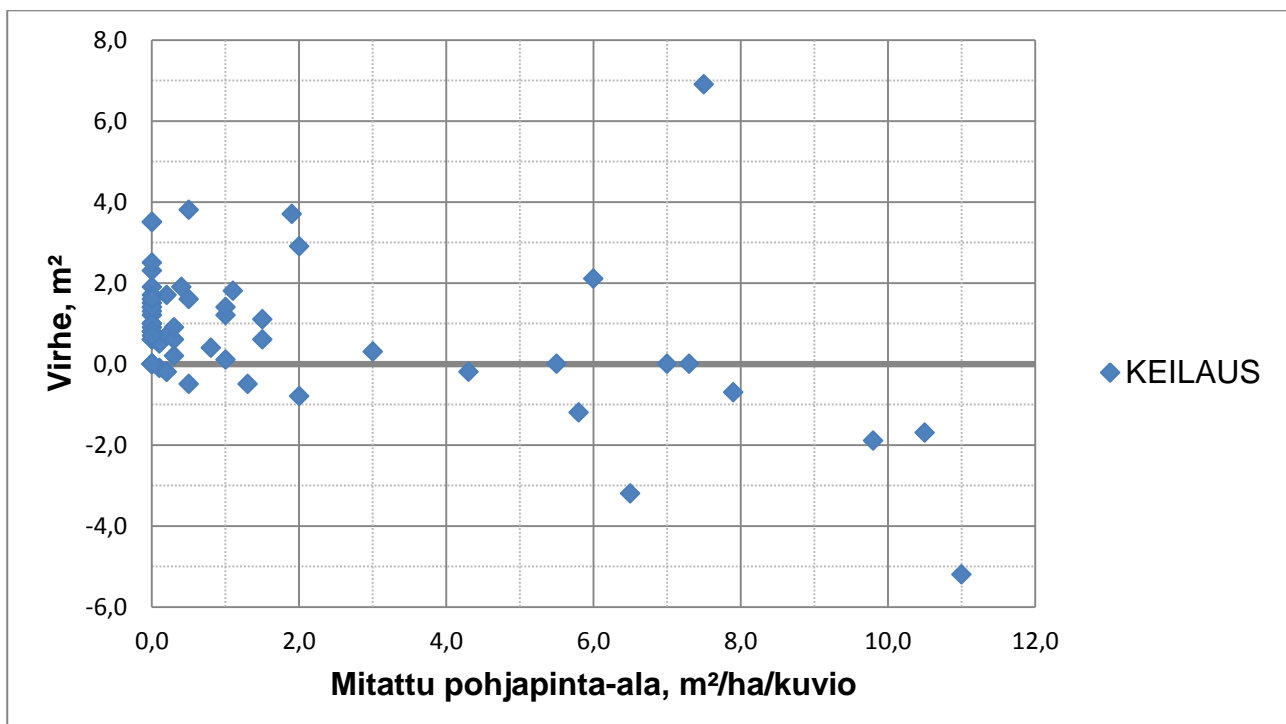
Kuvio 113. Lehtipuun keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.

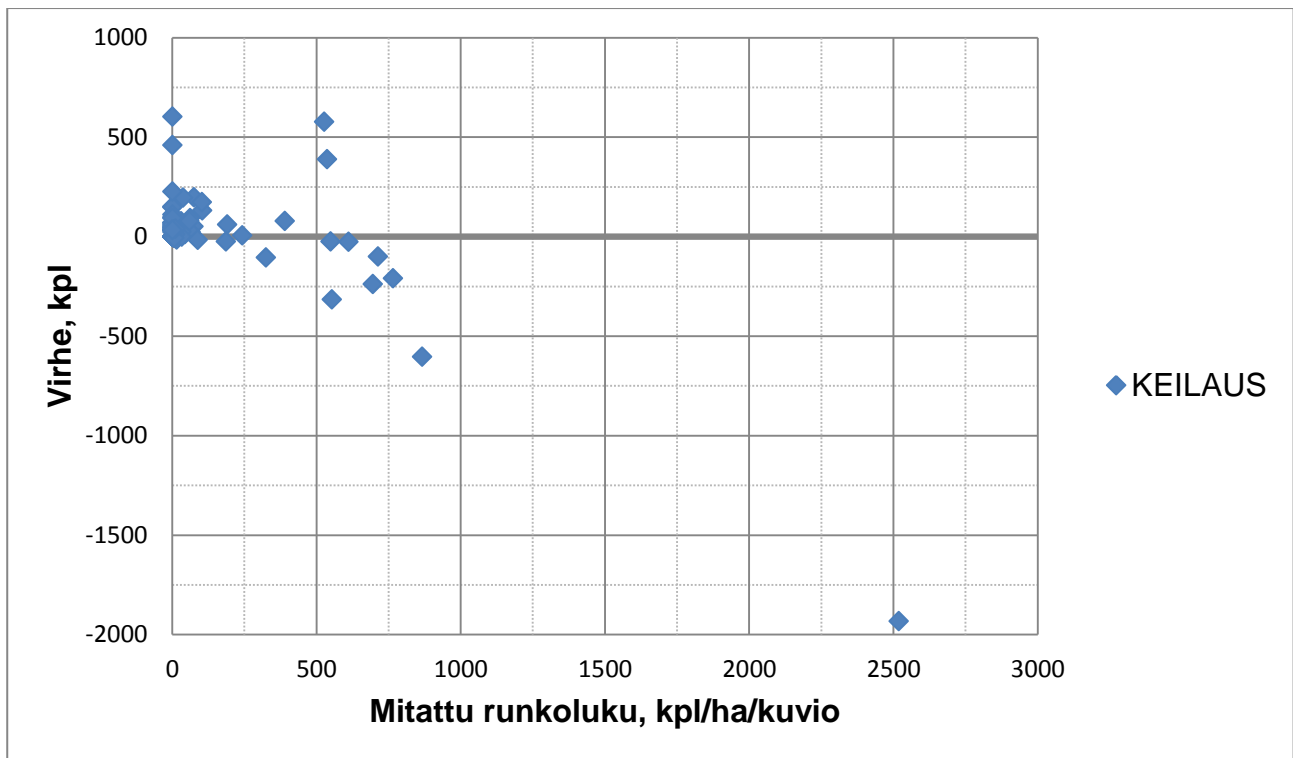


Kuvio 114. Lehtipuun keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.

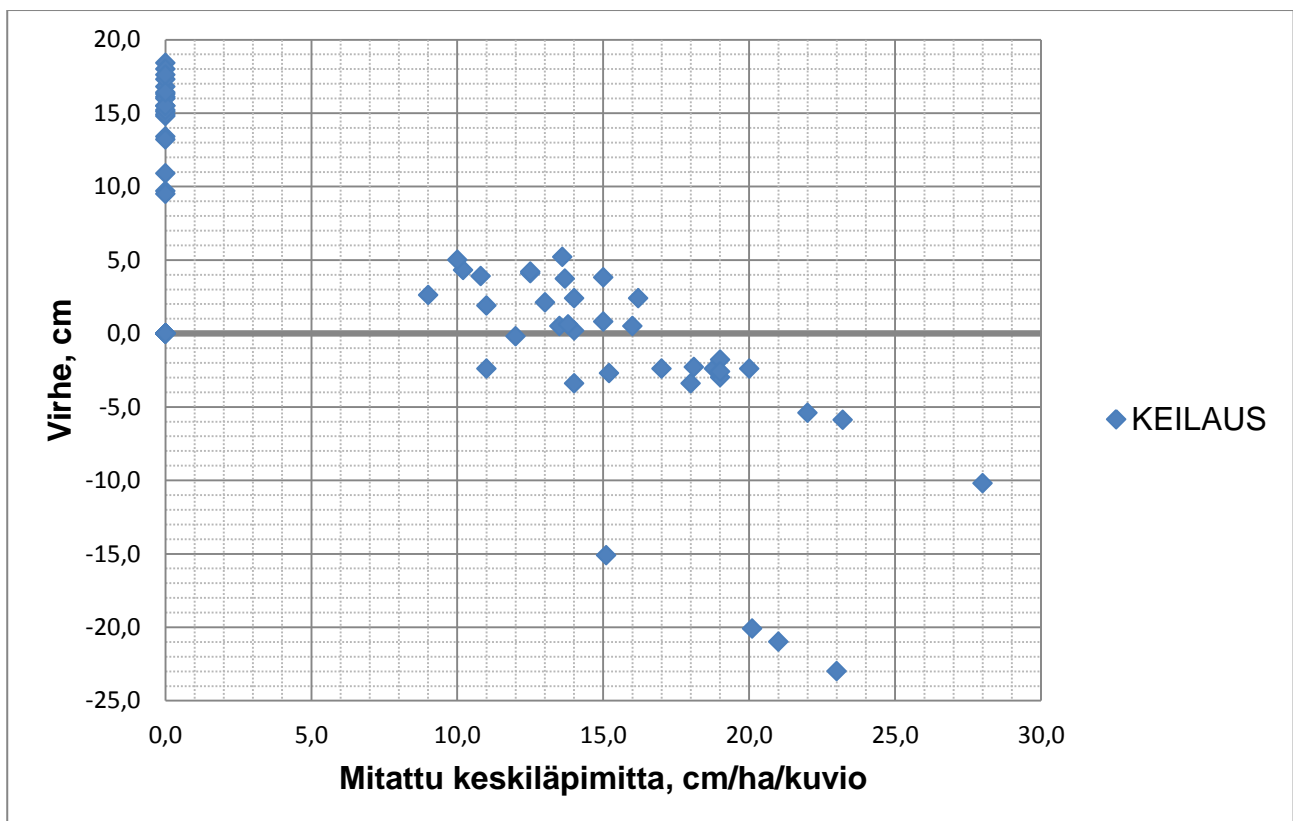


Kuvio 115. Lehtipuun keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona.

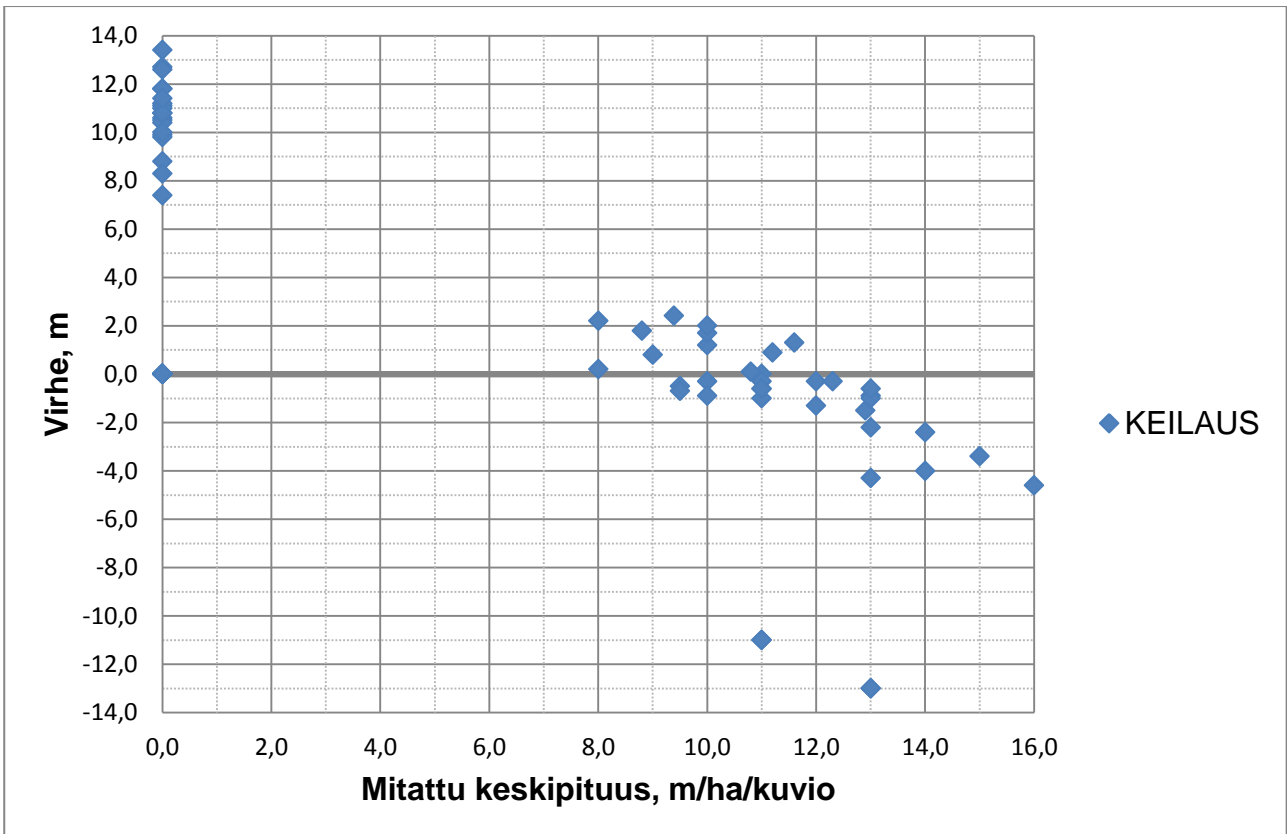




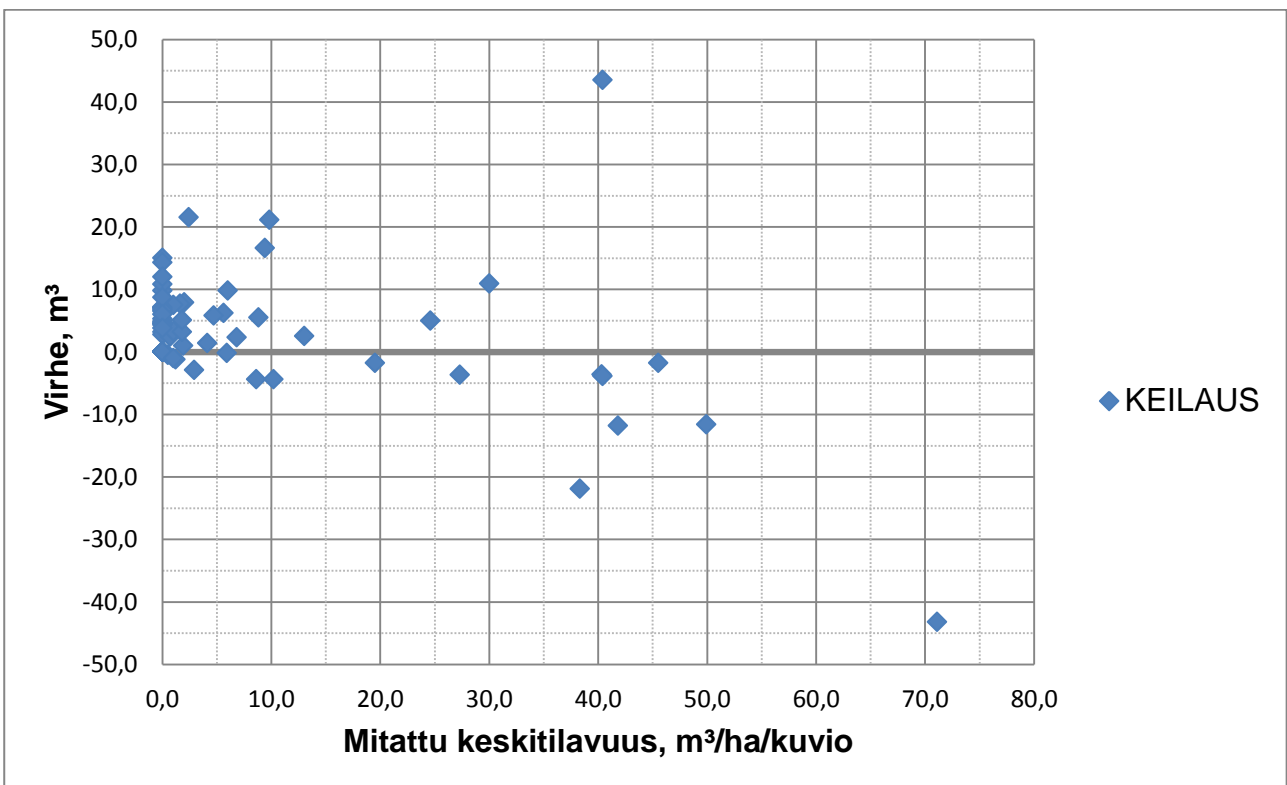
Kuvio 117: Lehtipuun runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



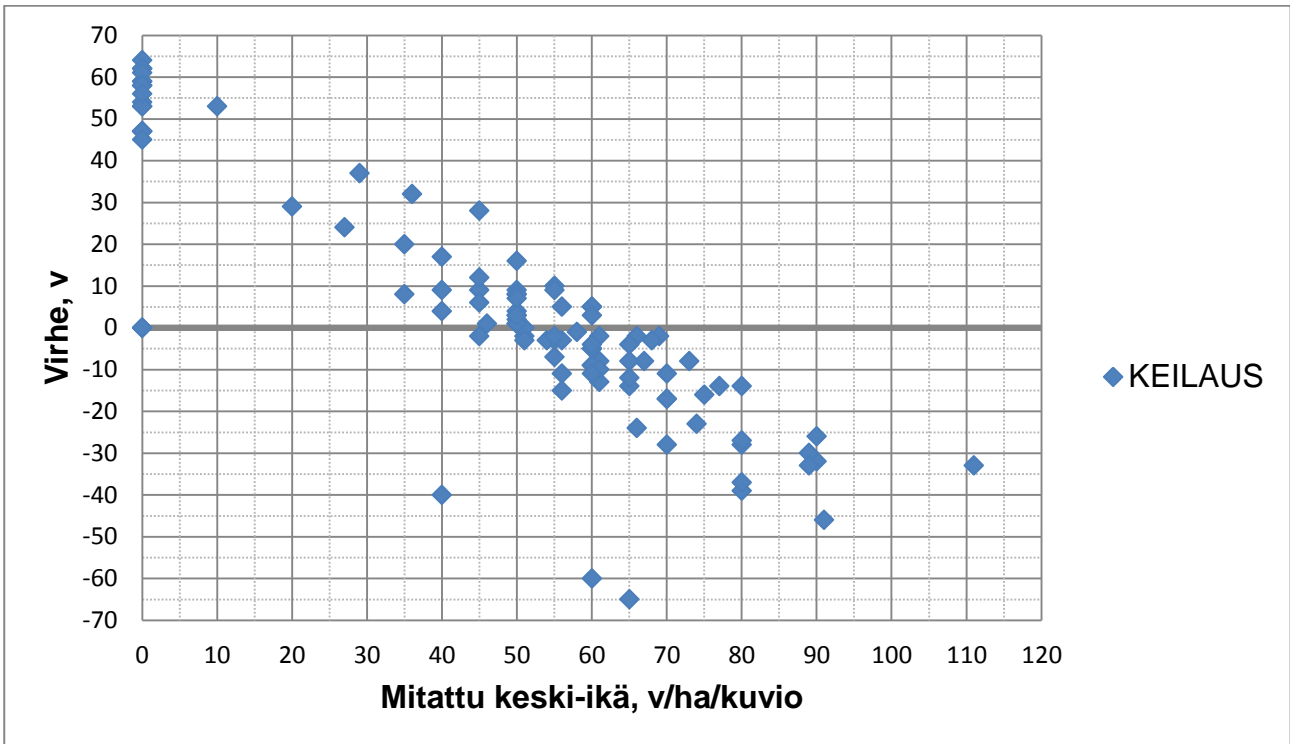
Kuvio 118. Lehtipuun keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



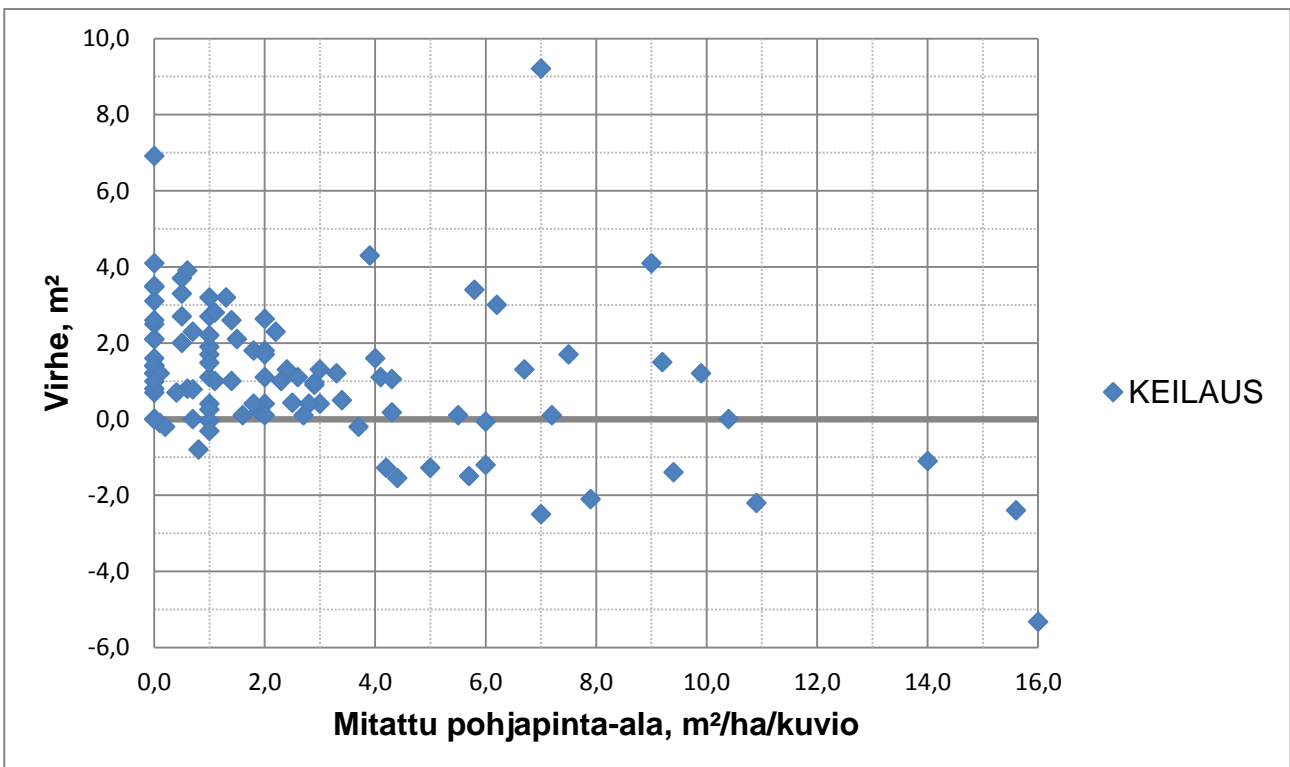
Kuvio 119. Lehtipuun keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



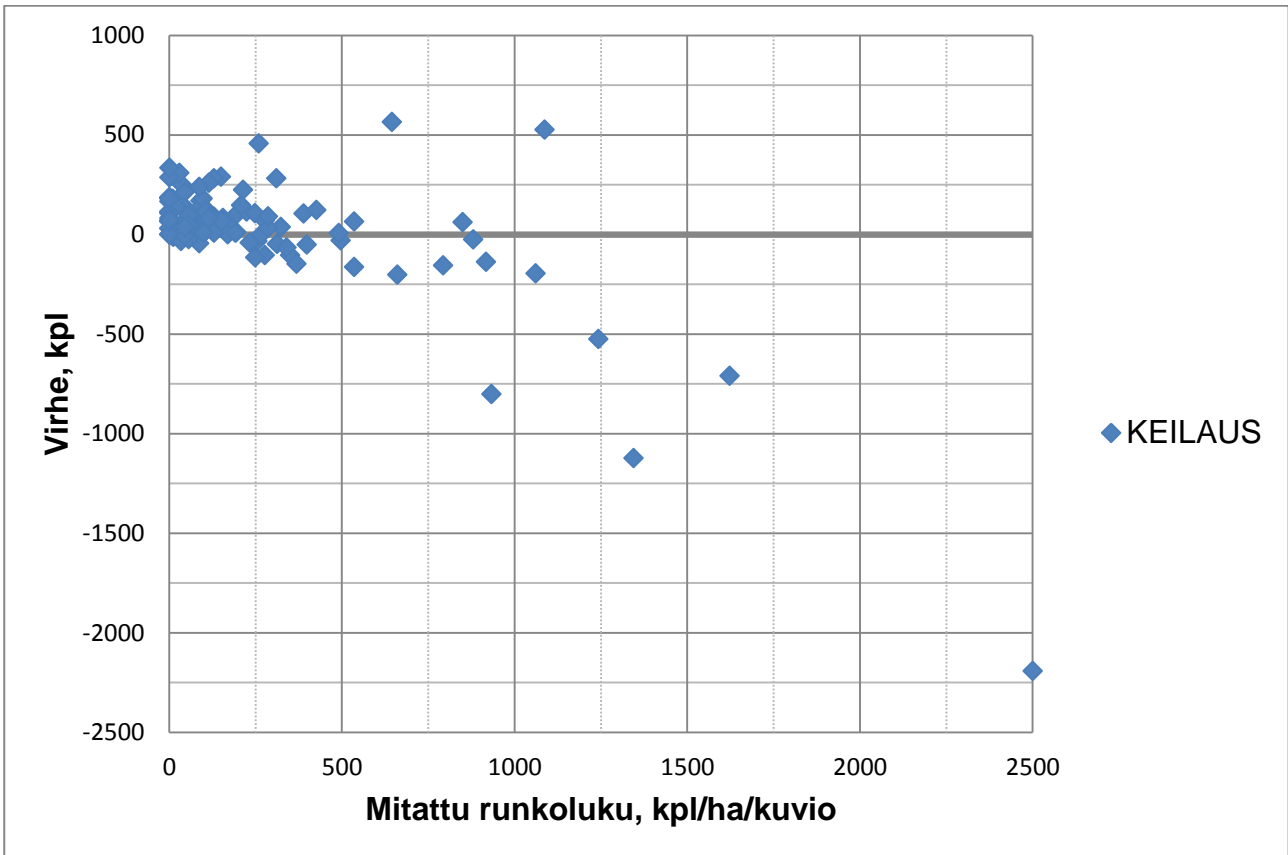
Kuvio 120. Lehtipuun keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona.



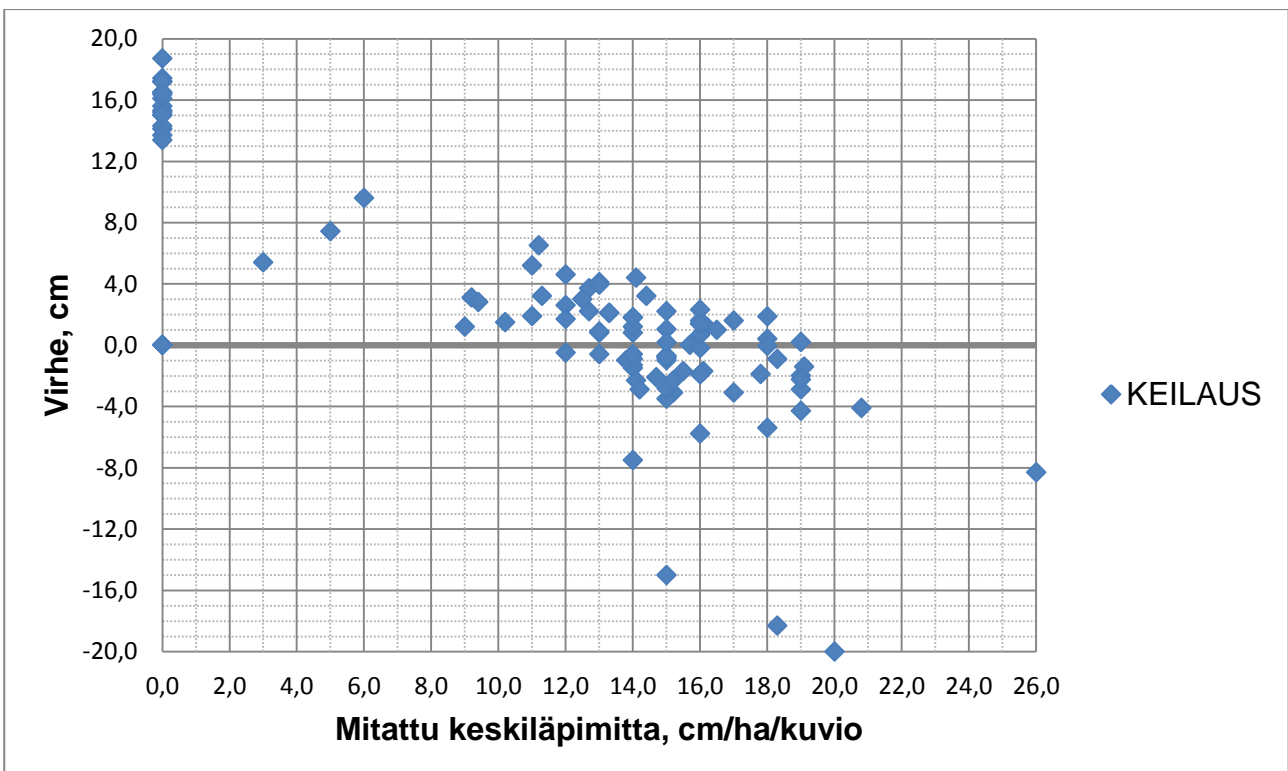
Kuvio 121. Lehtipuun keski-ian kuviokohtainen virhearvo mitatun keski-ian funktiona.



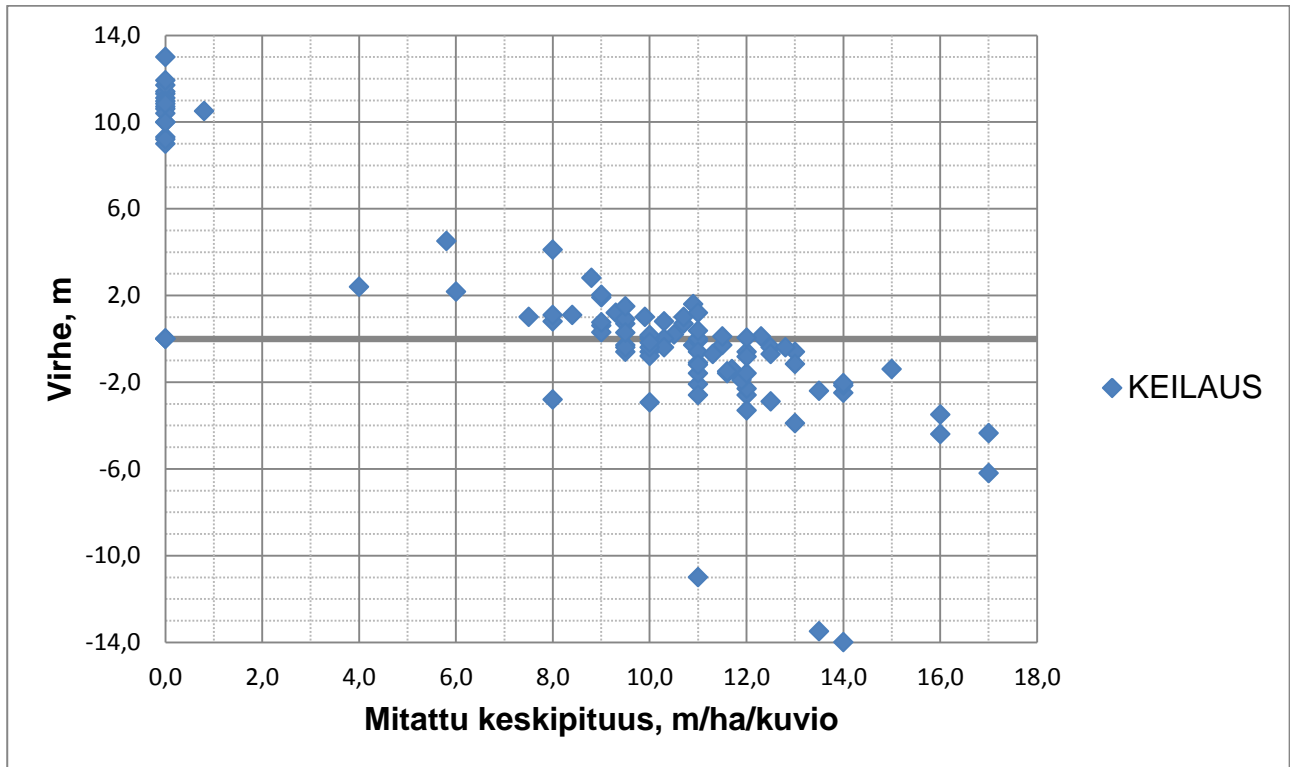
Kuvio 122. Lehtipuun pohjapinta-alan kuviokohtainen virhearvo mitatun pohjapinta-alan funktiona.



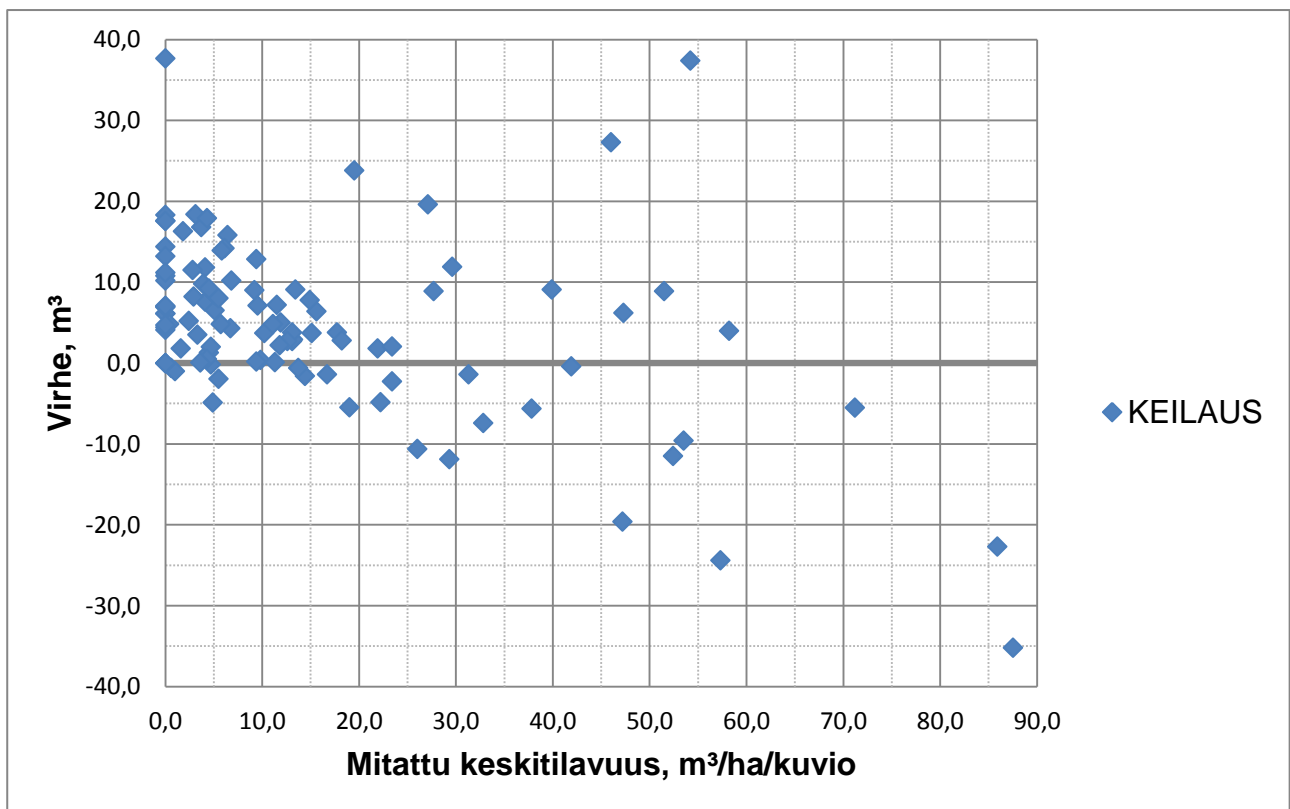
Kuvio 123: Lehtipuun runkoluvun kuviokohtainen virhearvo mitatun runkoluvun funktiona.



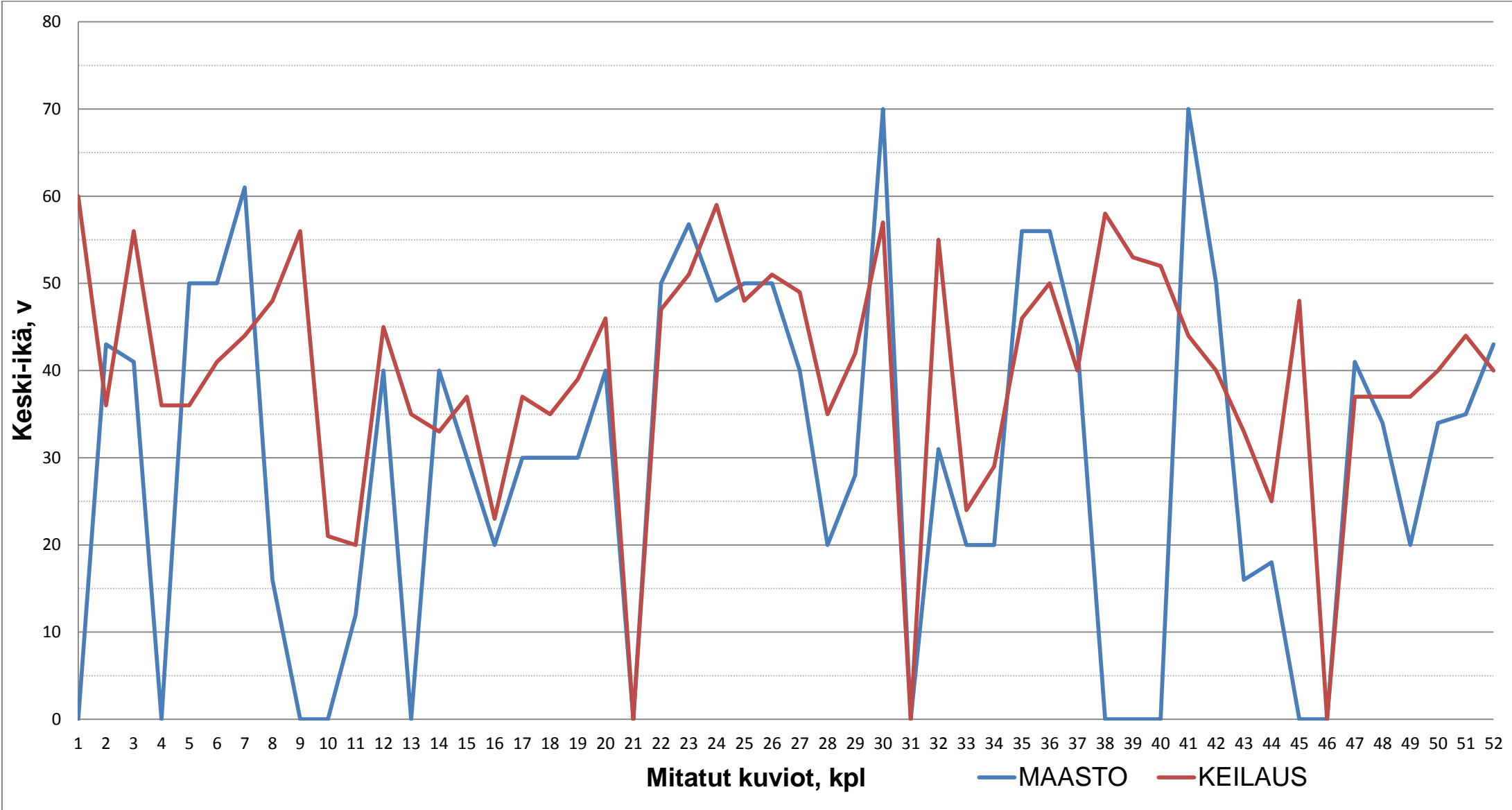
Kuvio 124. Lehtipuun keskiläpimitan kuviokohtainen virhearvo mitatun keskiläpimitan funktiona.



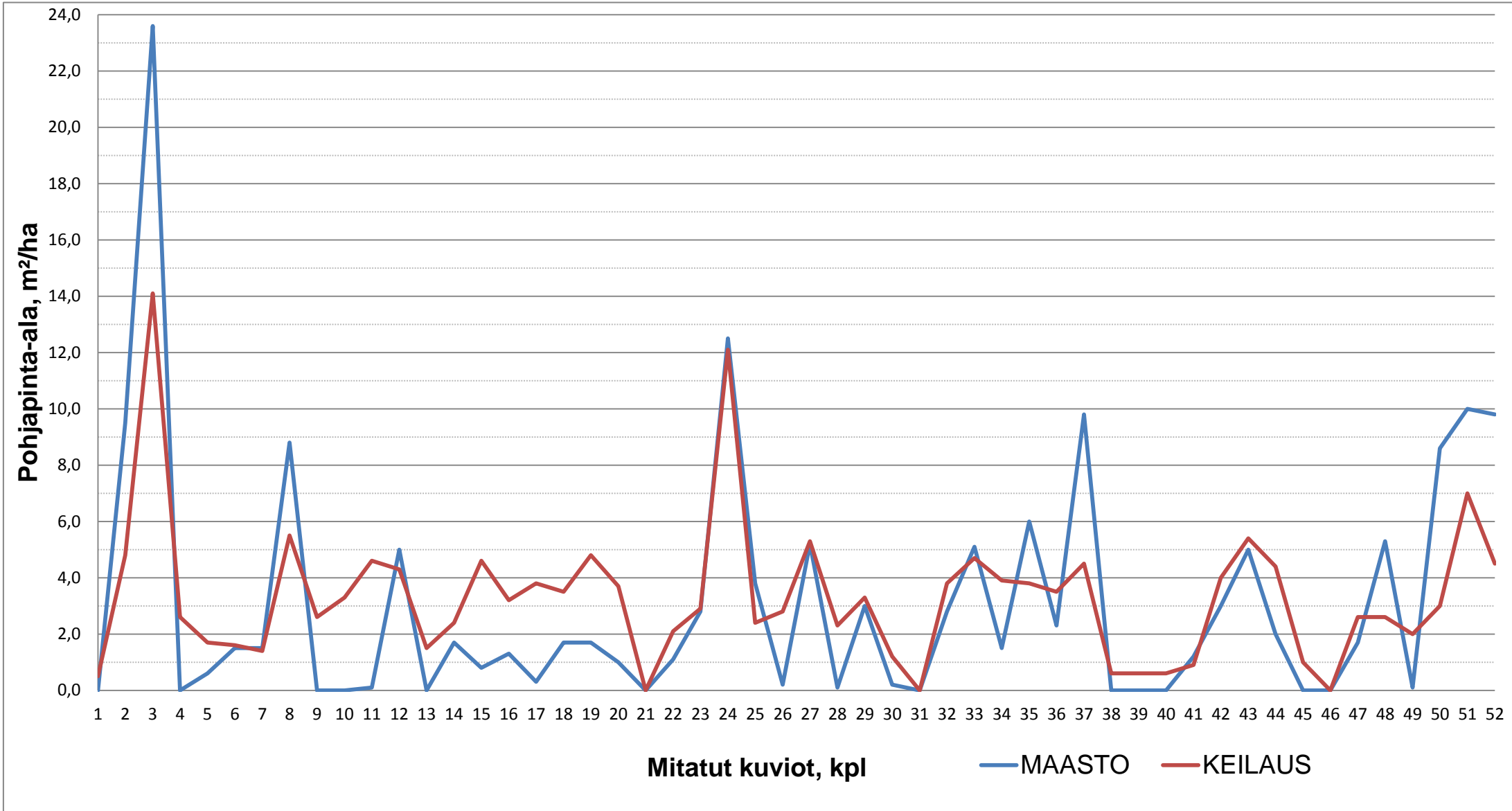
Kuvio 125. Lehtipuun keskipituuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskipituuden funktiona.



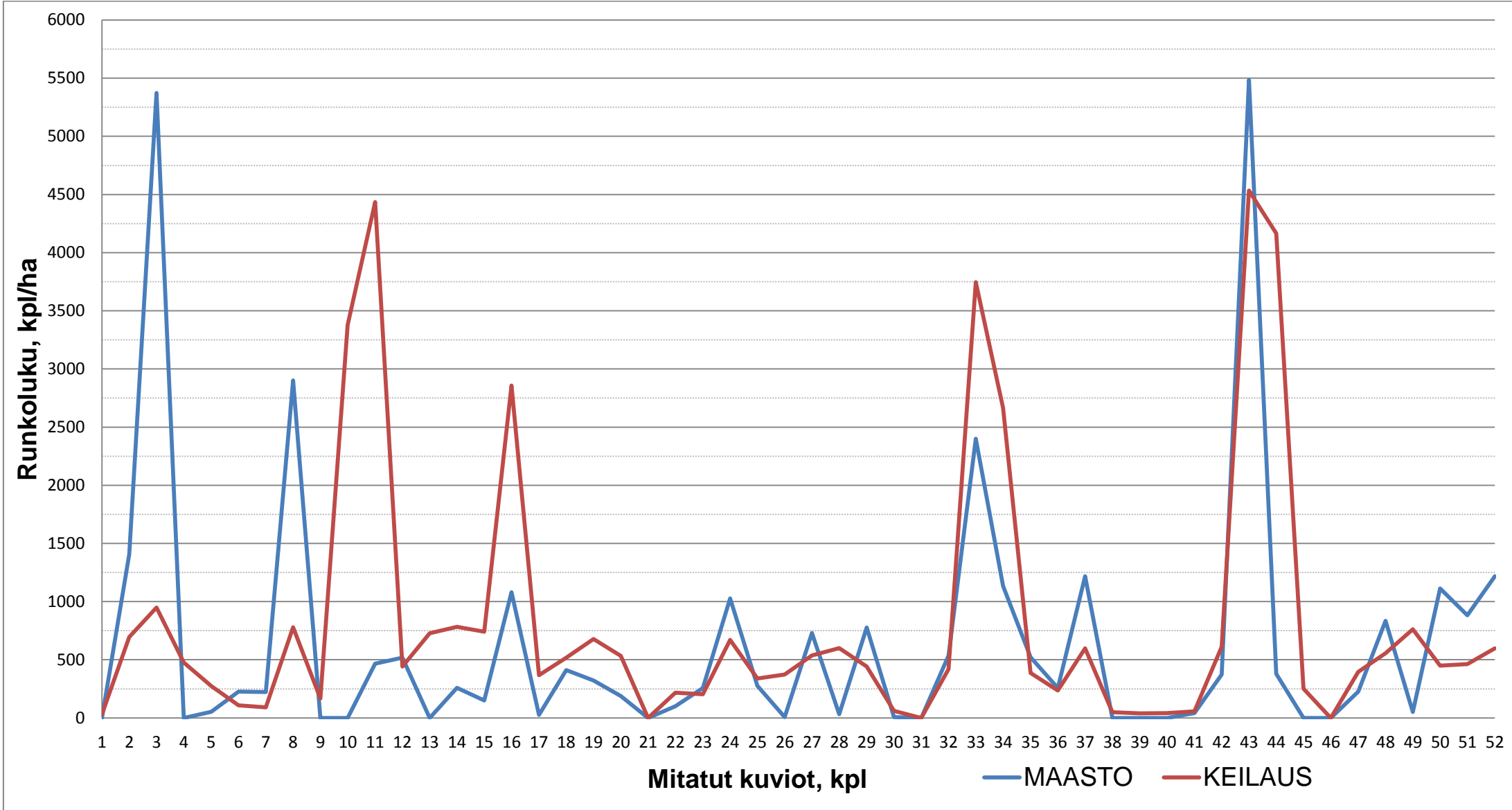
Kuvio 126. Lehtipuun keskitilavuuden kuviokohtainen virhearvo mitatun keskitilavuuden funktiona



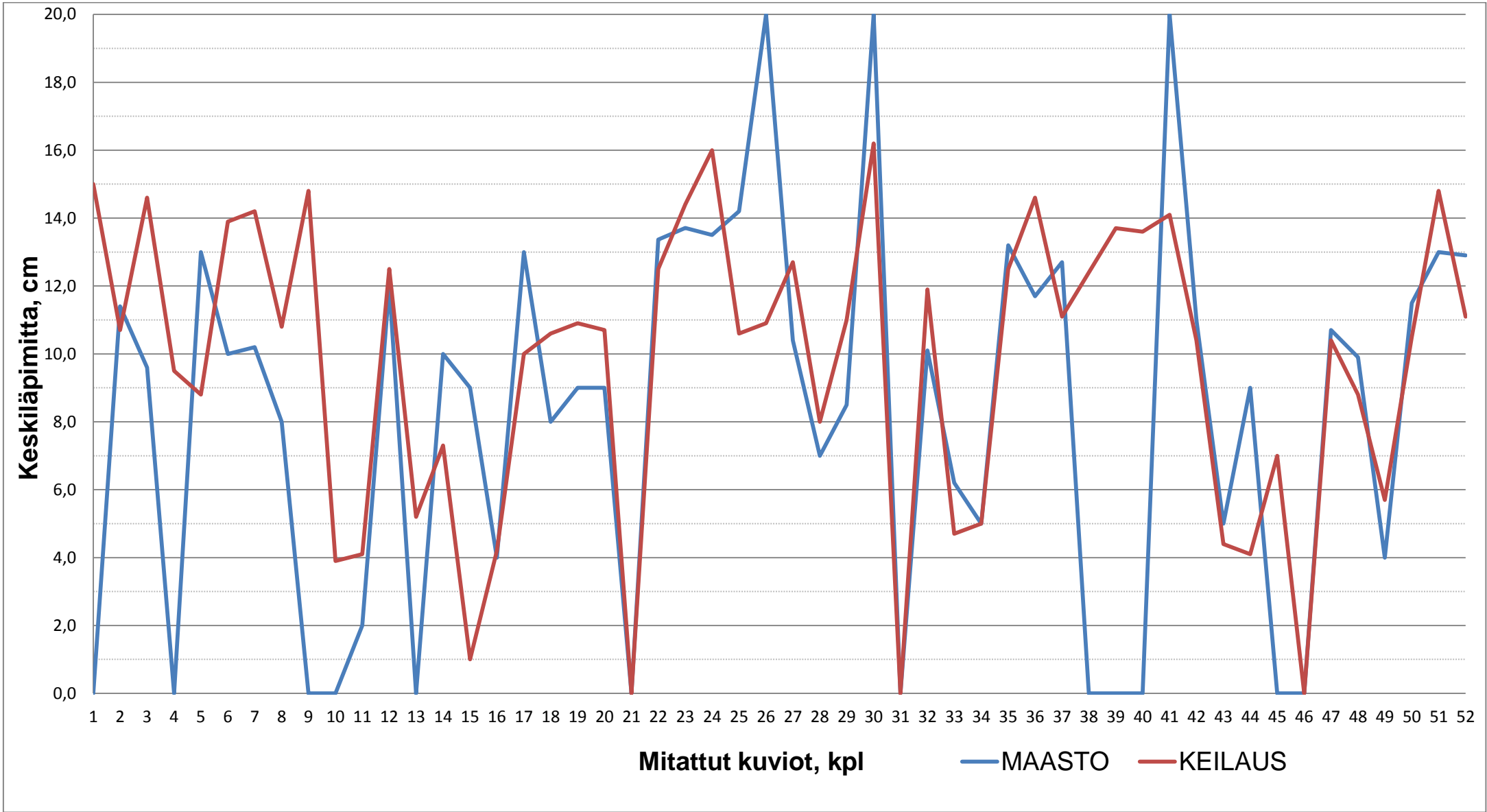
Kuvio 127. Lehtipuiden keski-ään (v/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



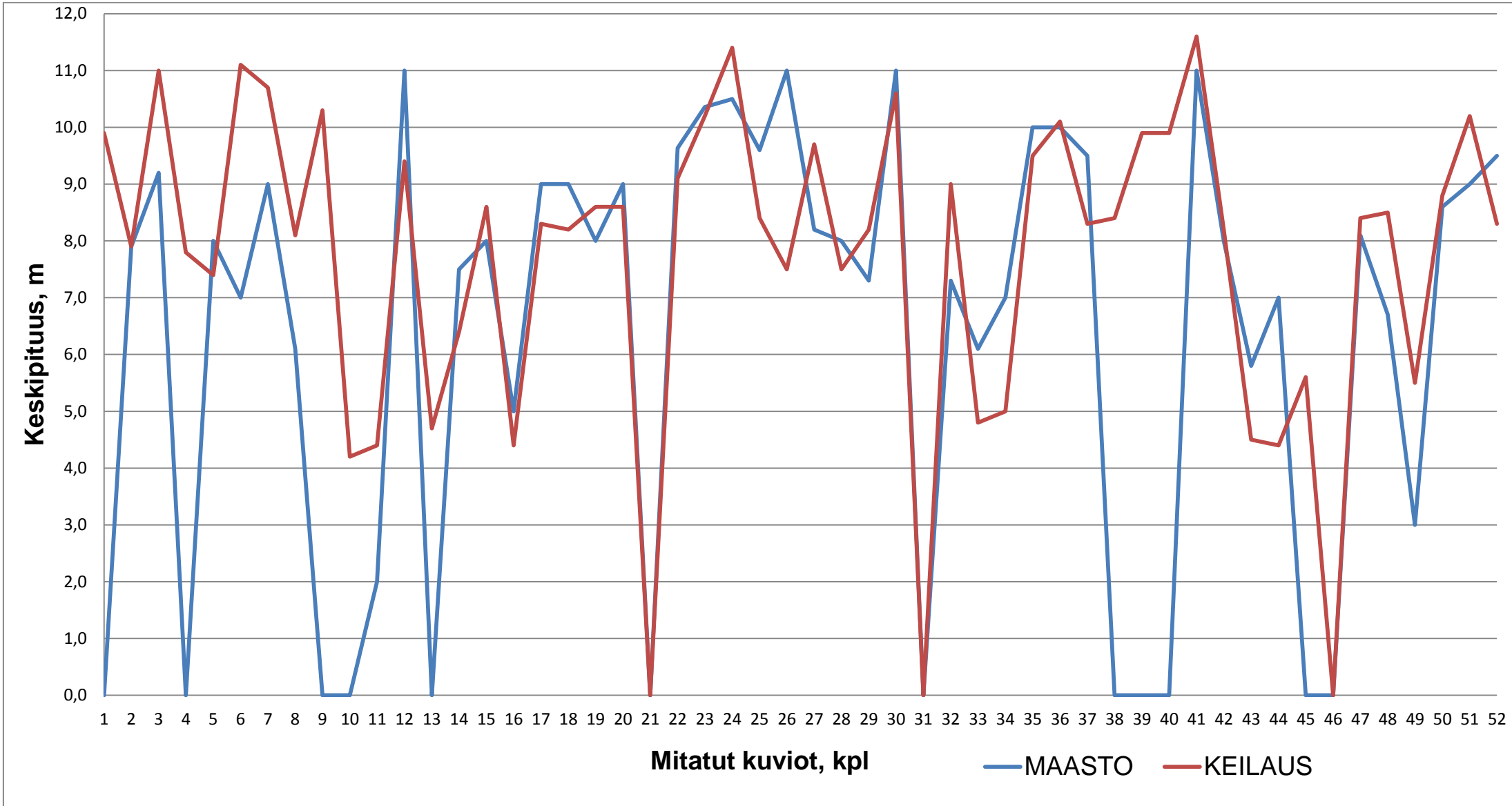
128. Lehtipuiden pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



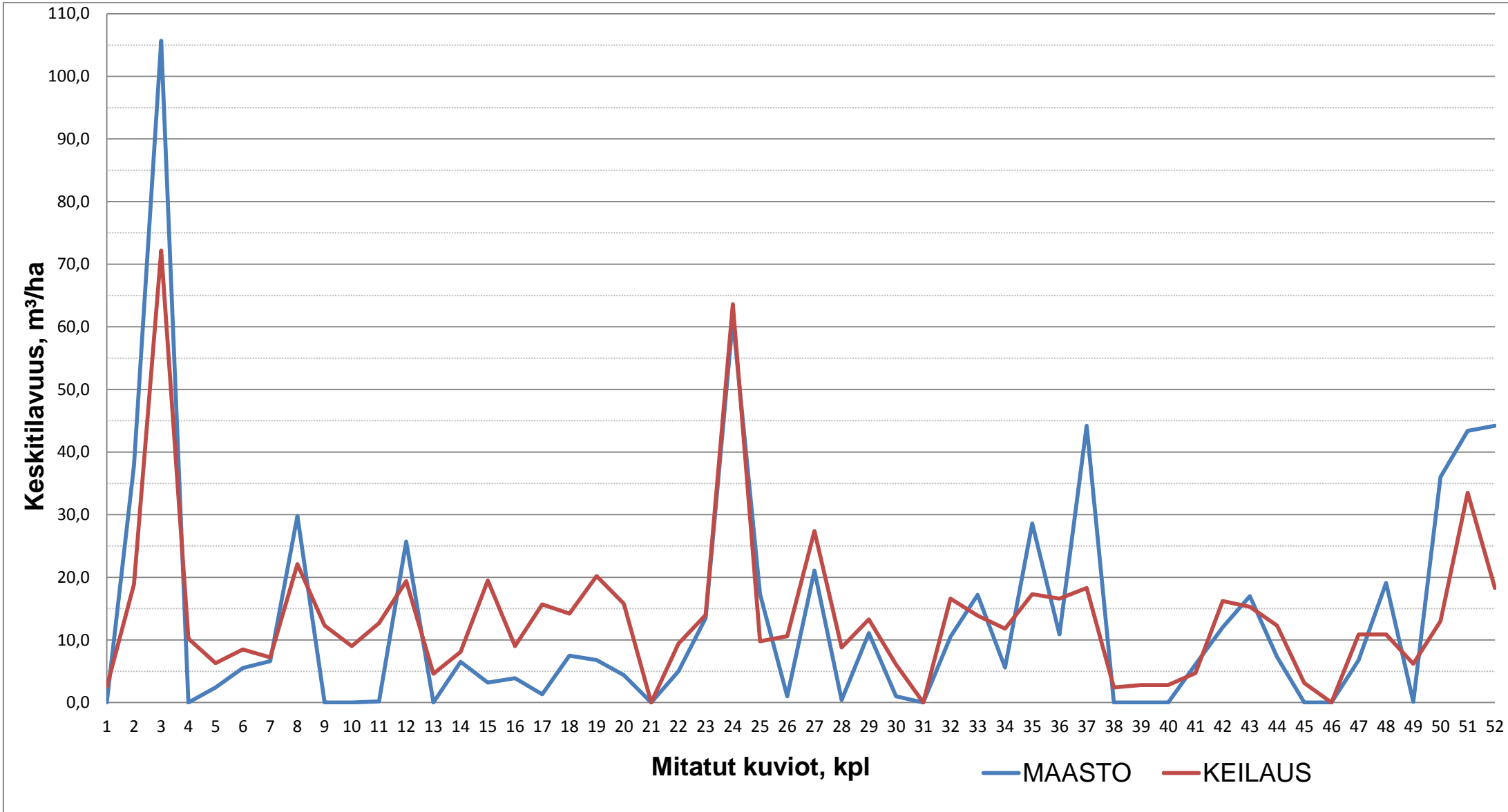
Kuvio 129. Lehtipuiden runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



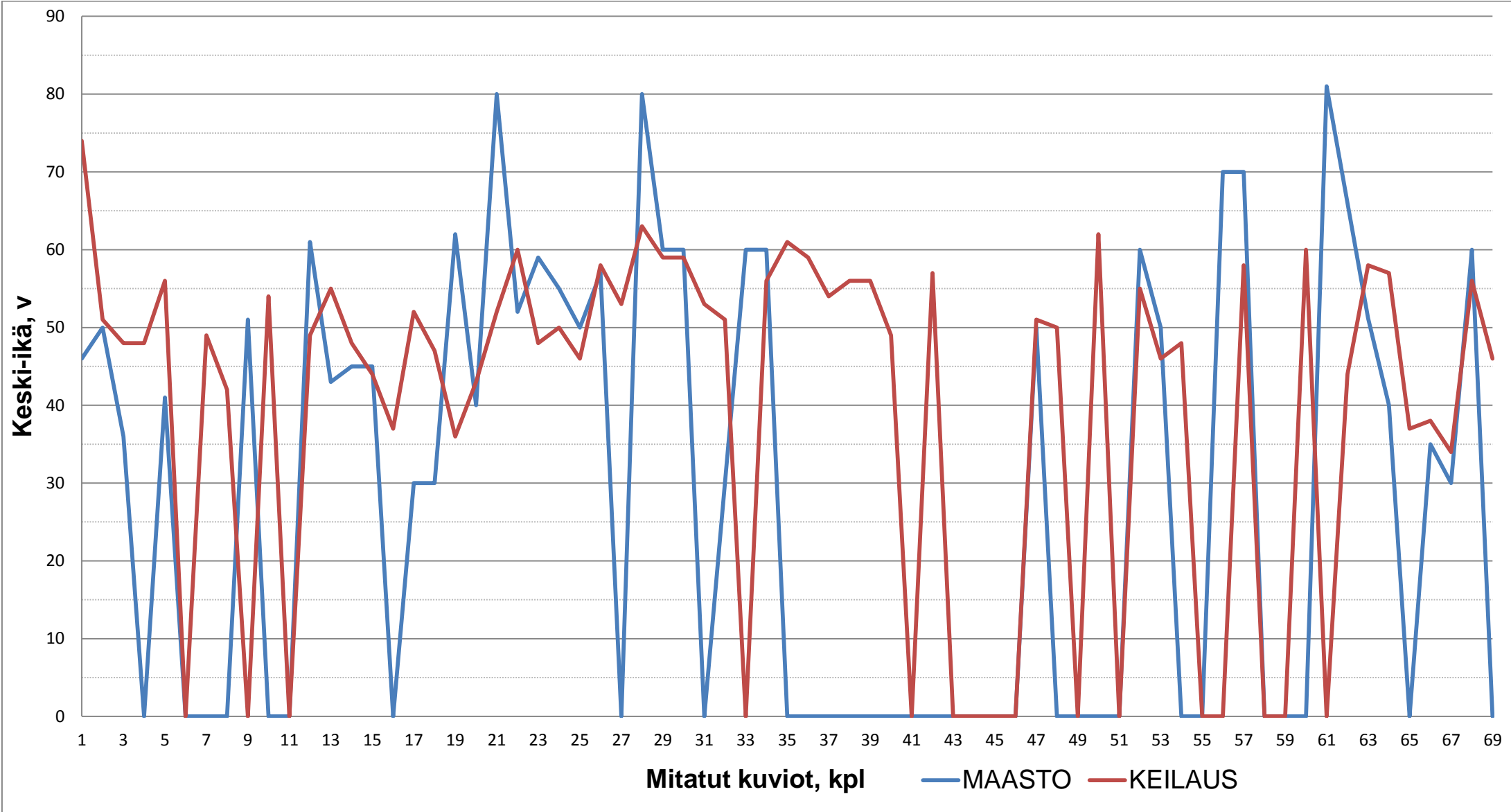
130. Lehtipuiden keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



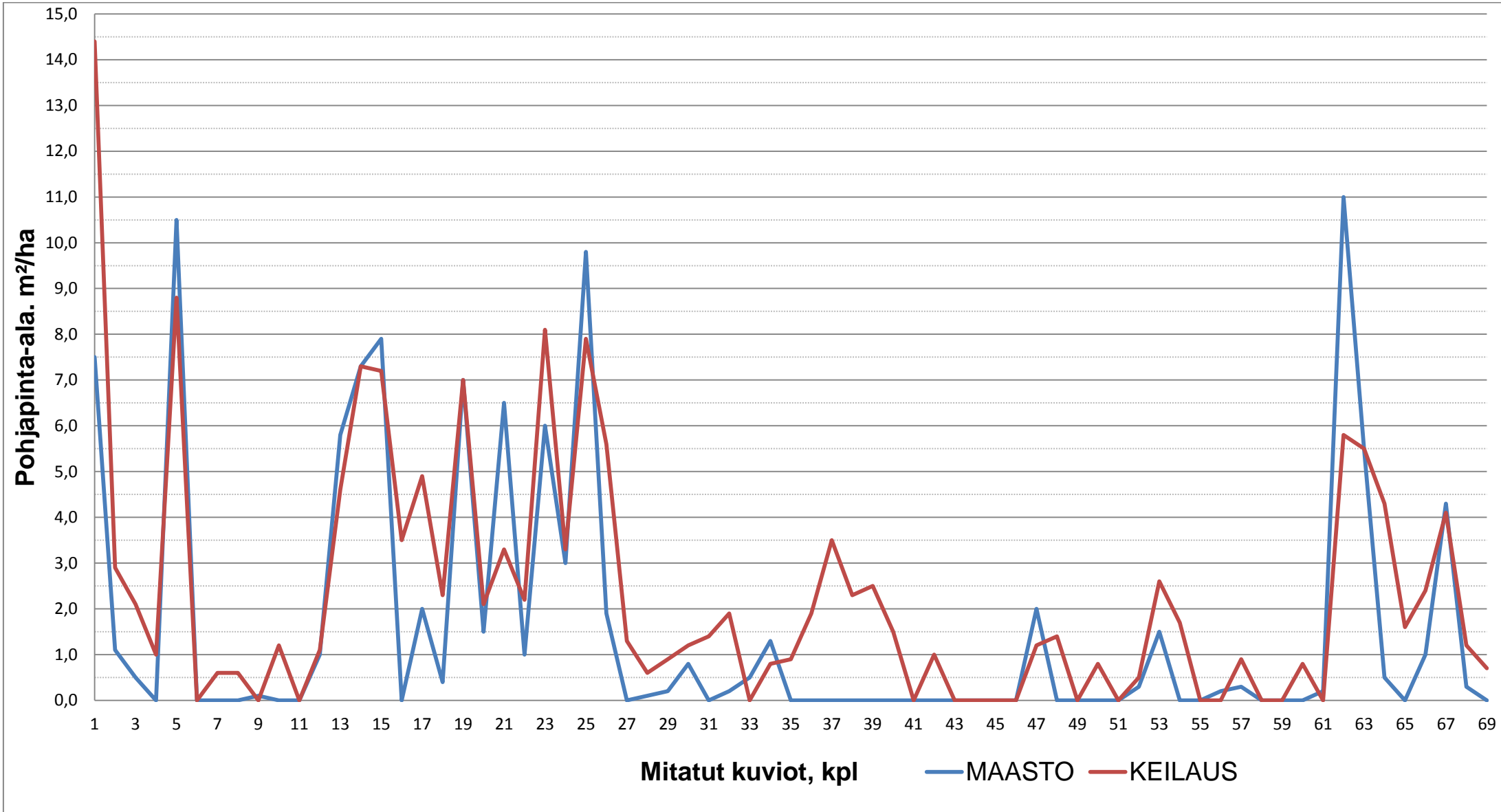
131. Lehtipuiden keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



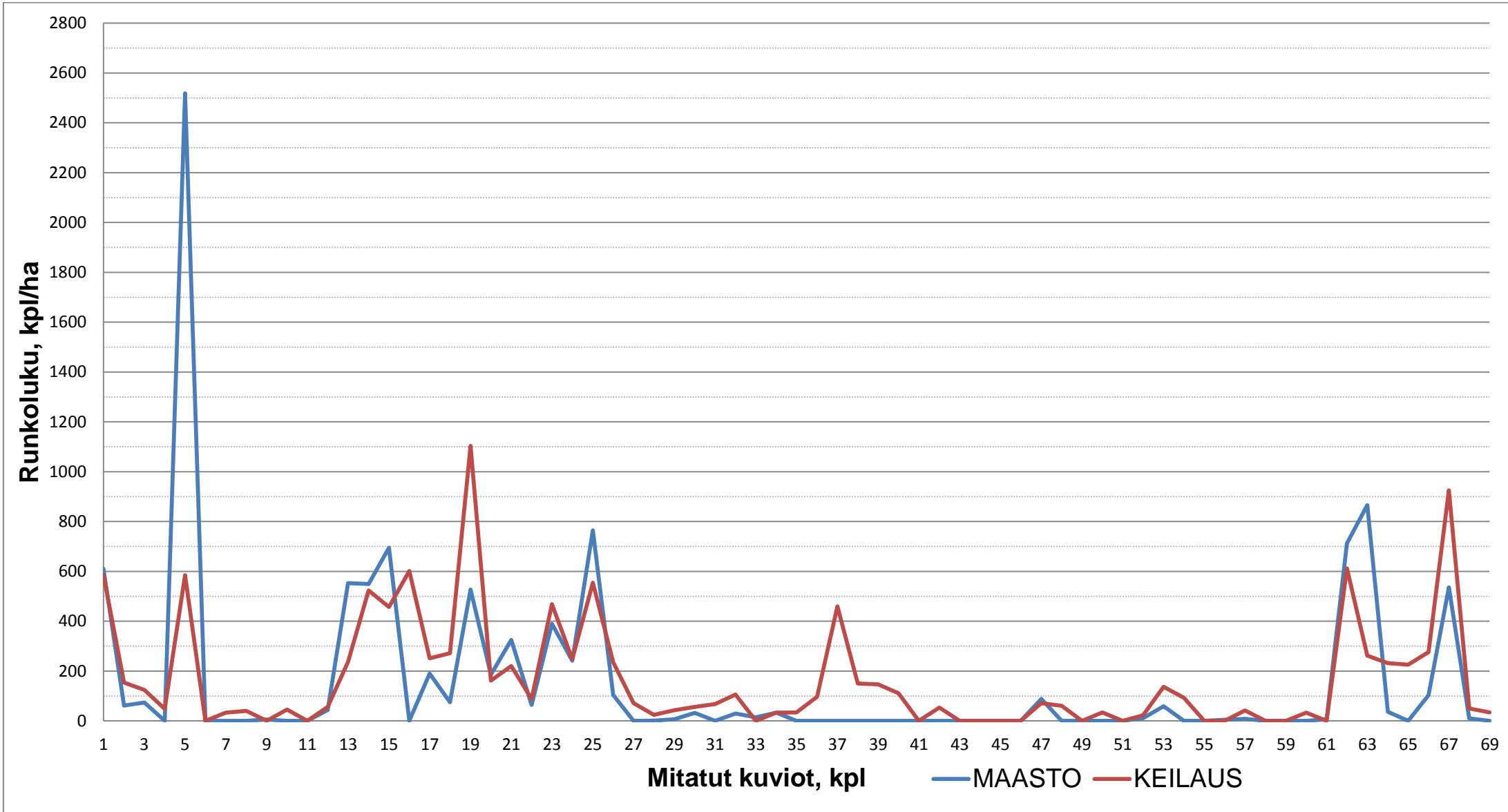
132. Lehtipuiden keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 02.



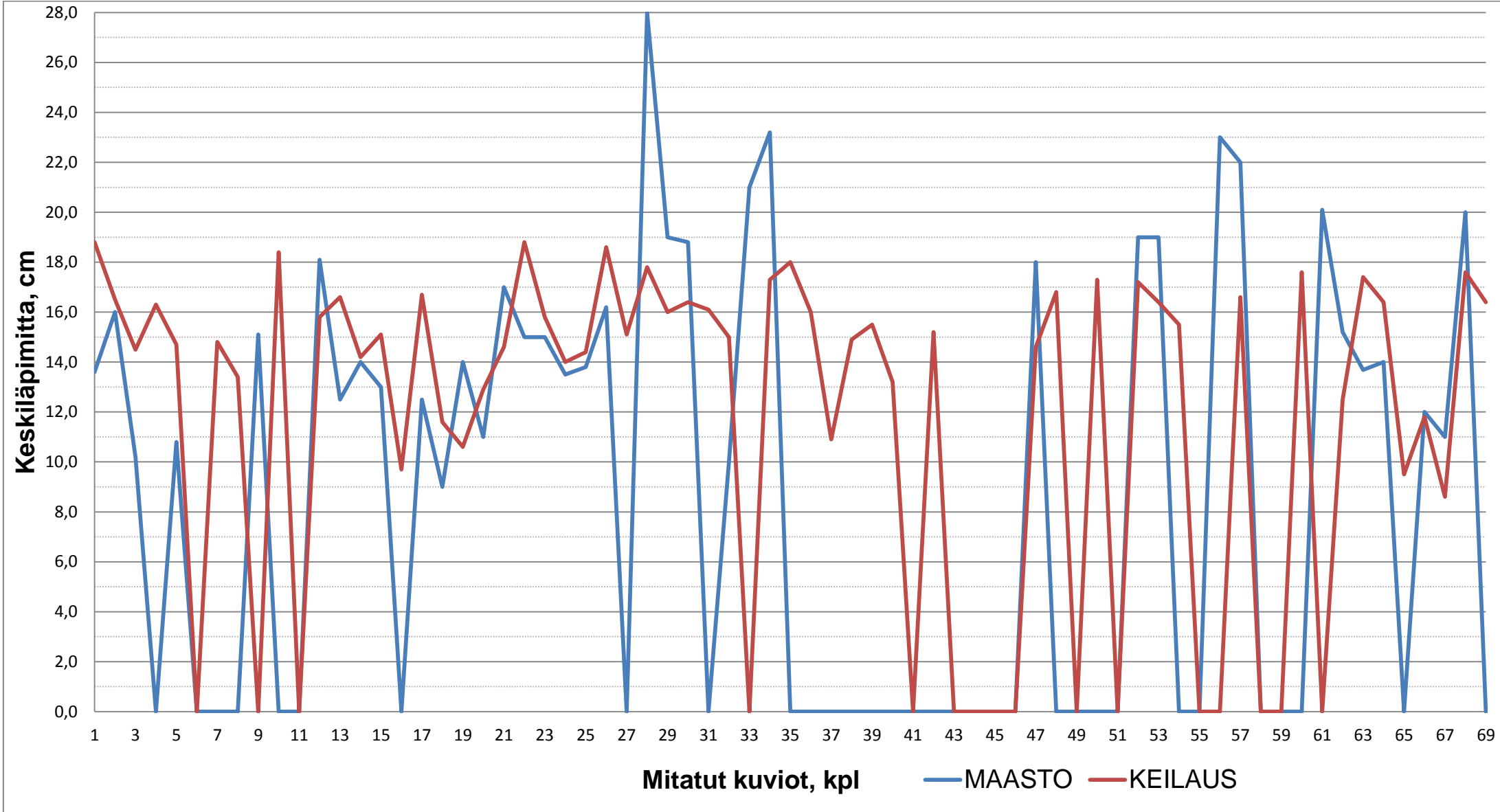
Kuvio 133. Lehtipuiden keski-ään (v/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 03.



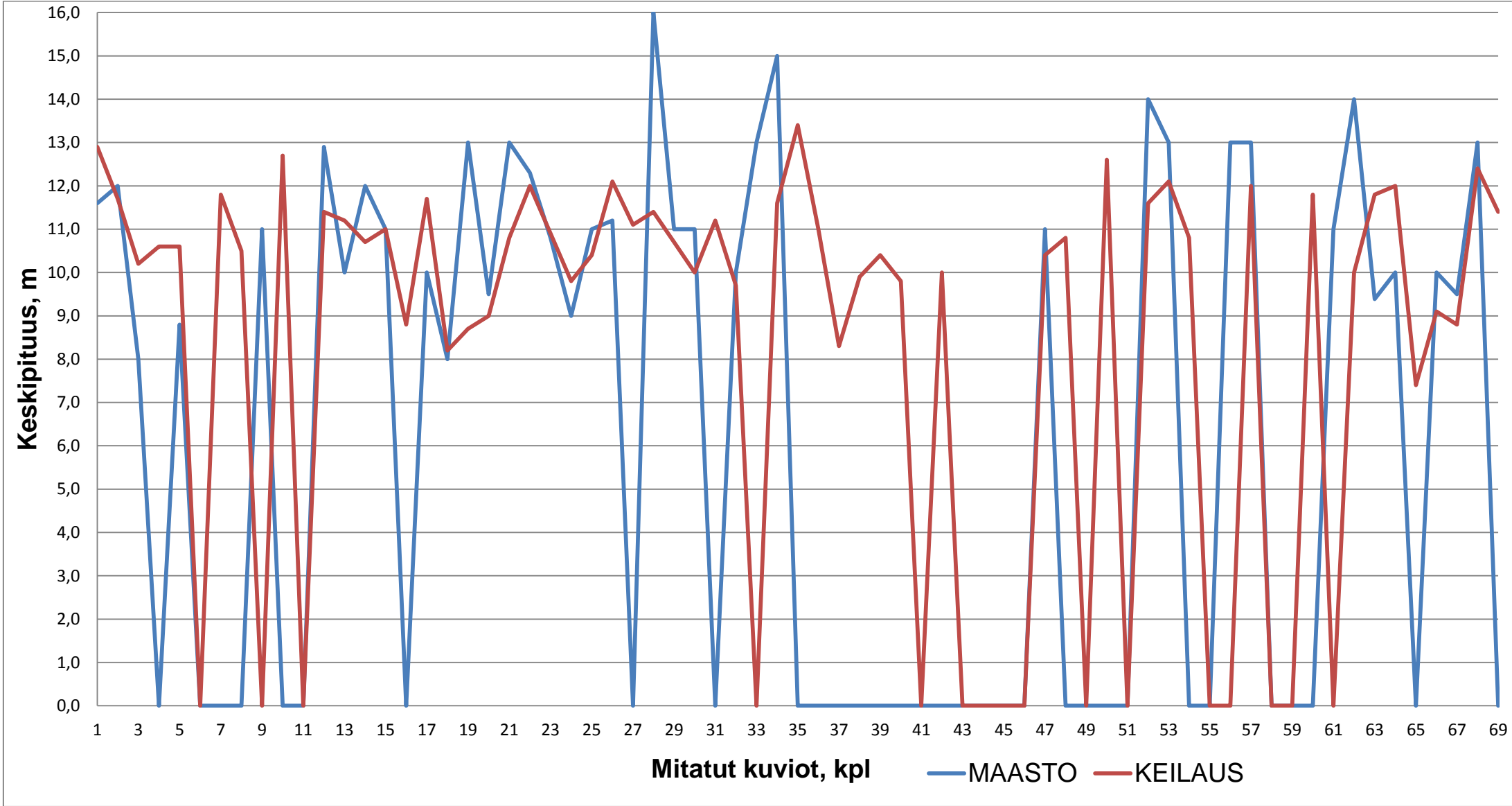
134. Lehtipuiden pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



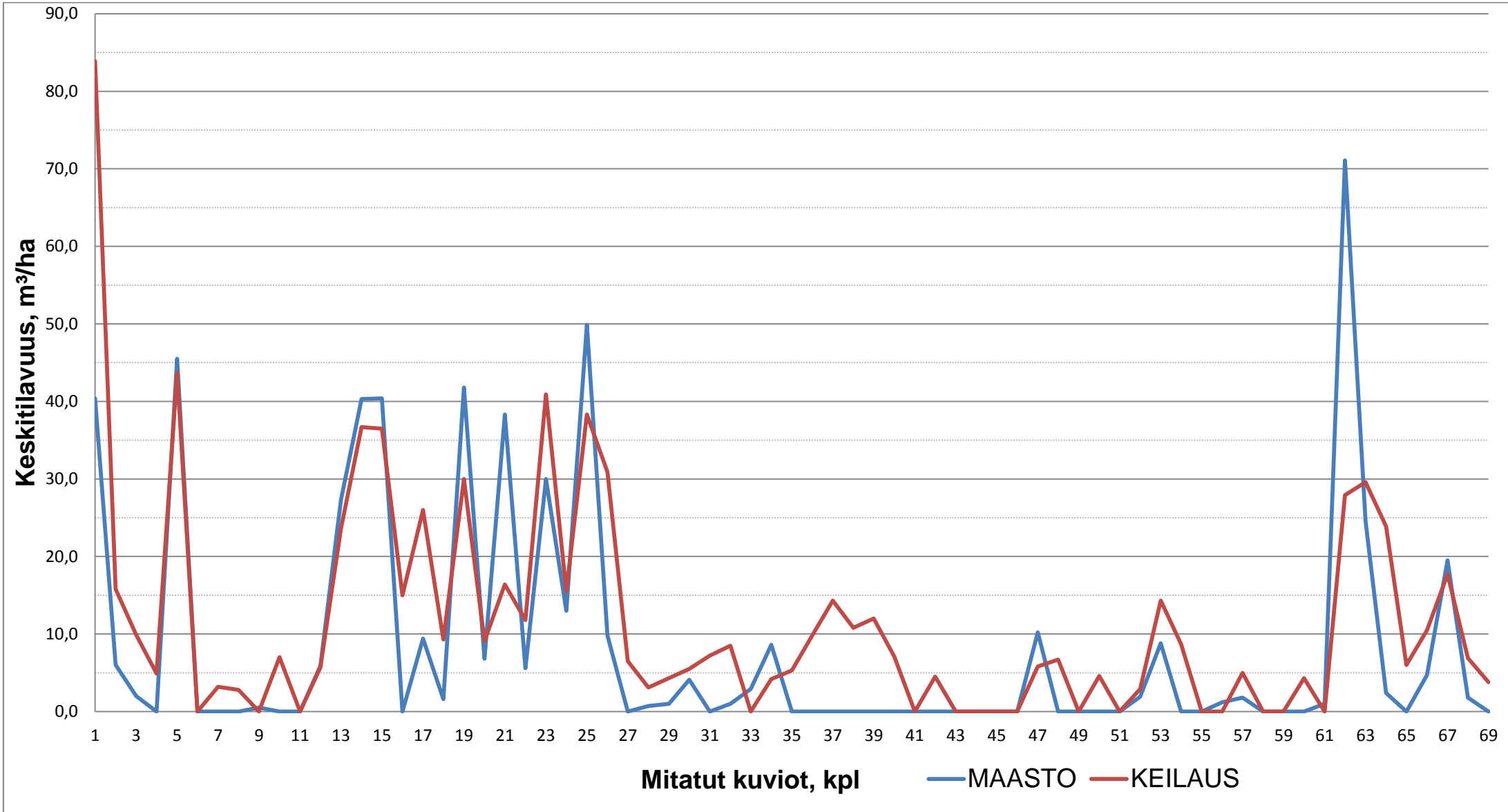
Kuvio 135. Lehtipuiden runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



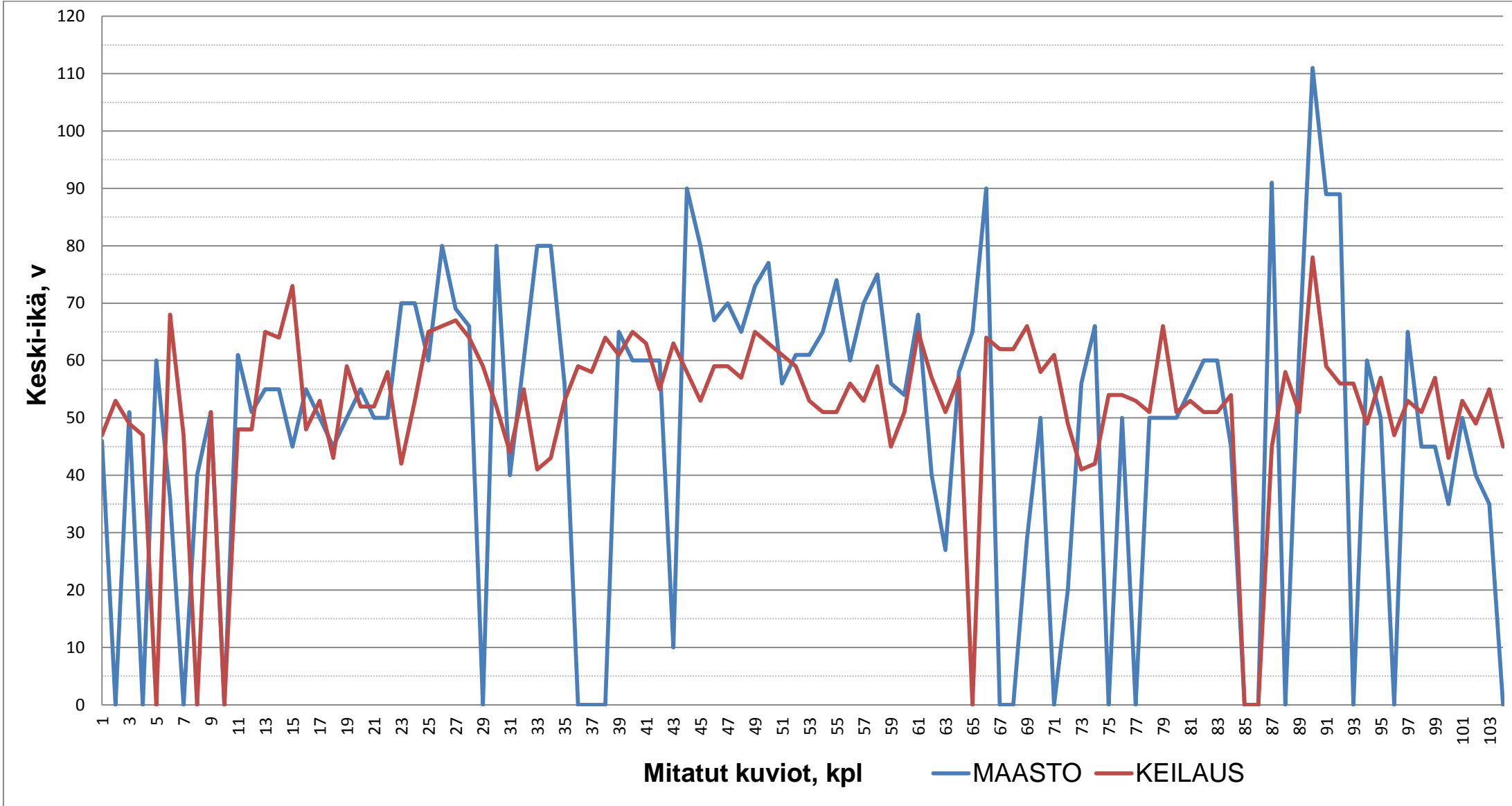
136. Lehtipuiden keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuviointain kehitysluokassa 03.



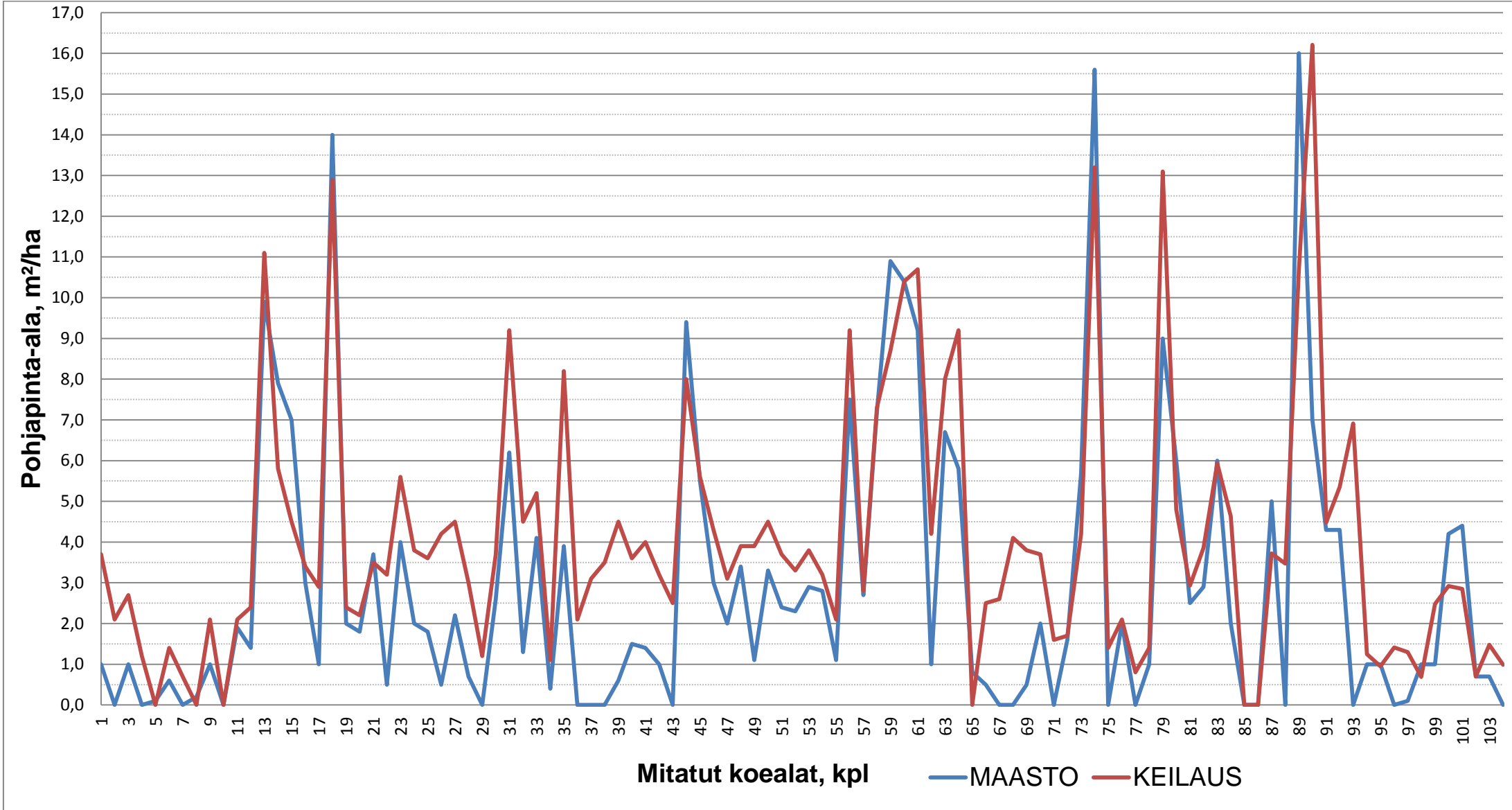
137. Lehtipuiden keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



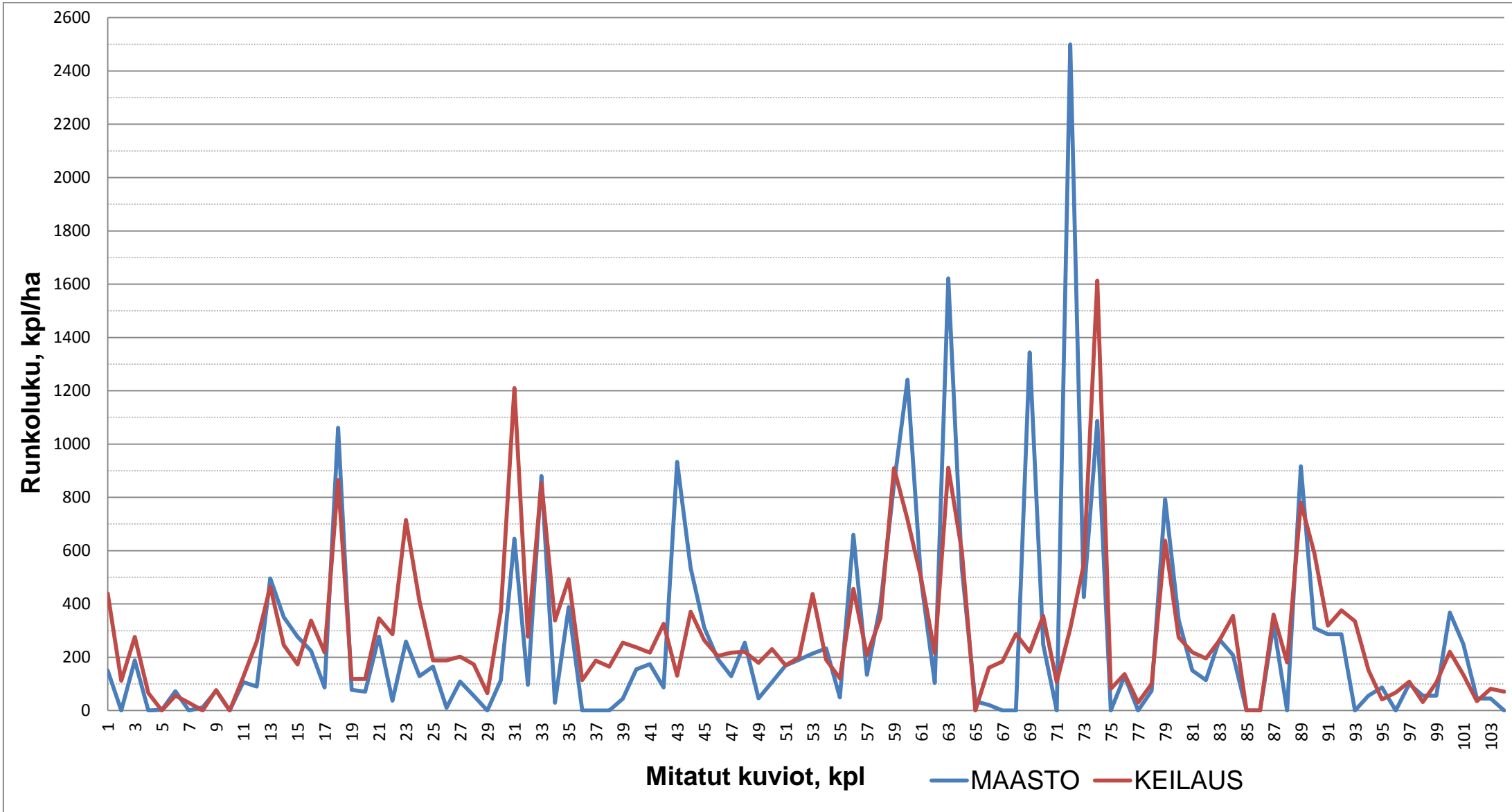
138. Lehtipuiden keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 03.



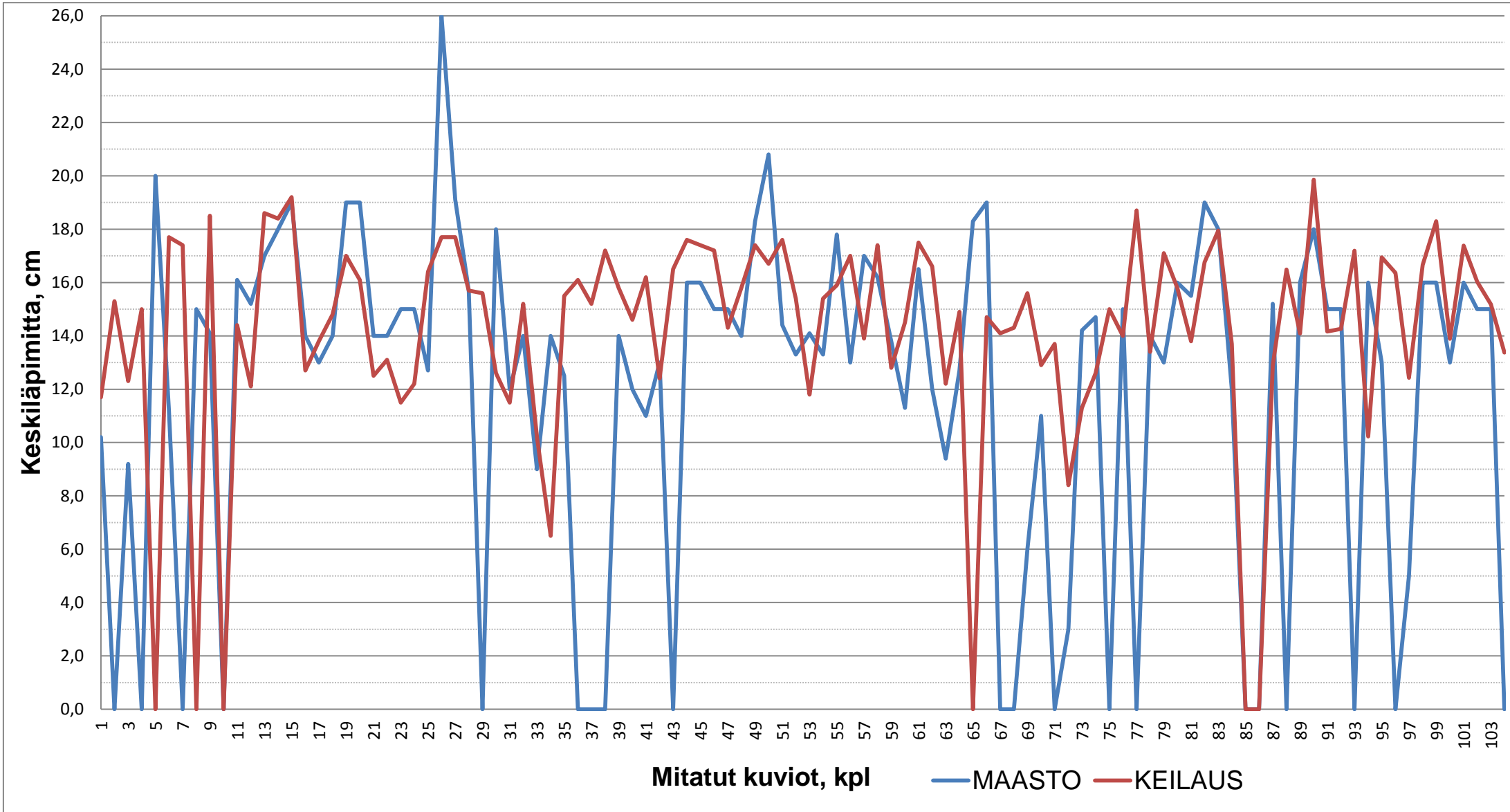
Kuvio 139. Lehtipuiden keski-ään (v/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 04.



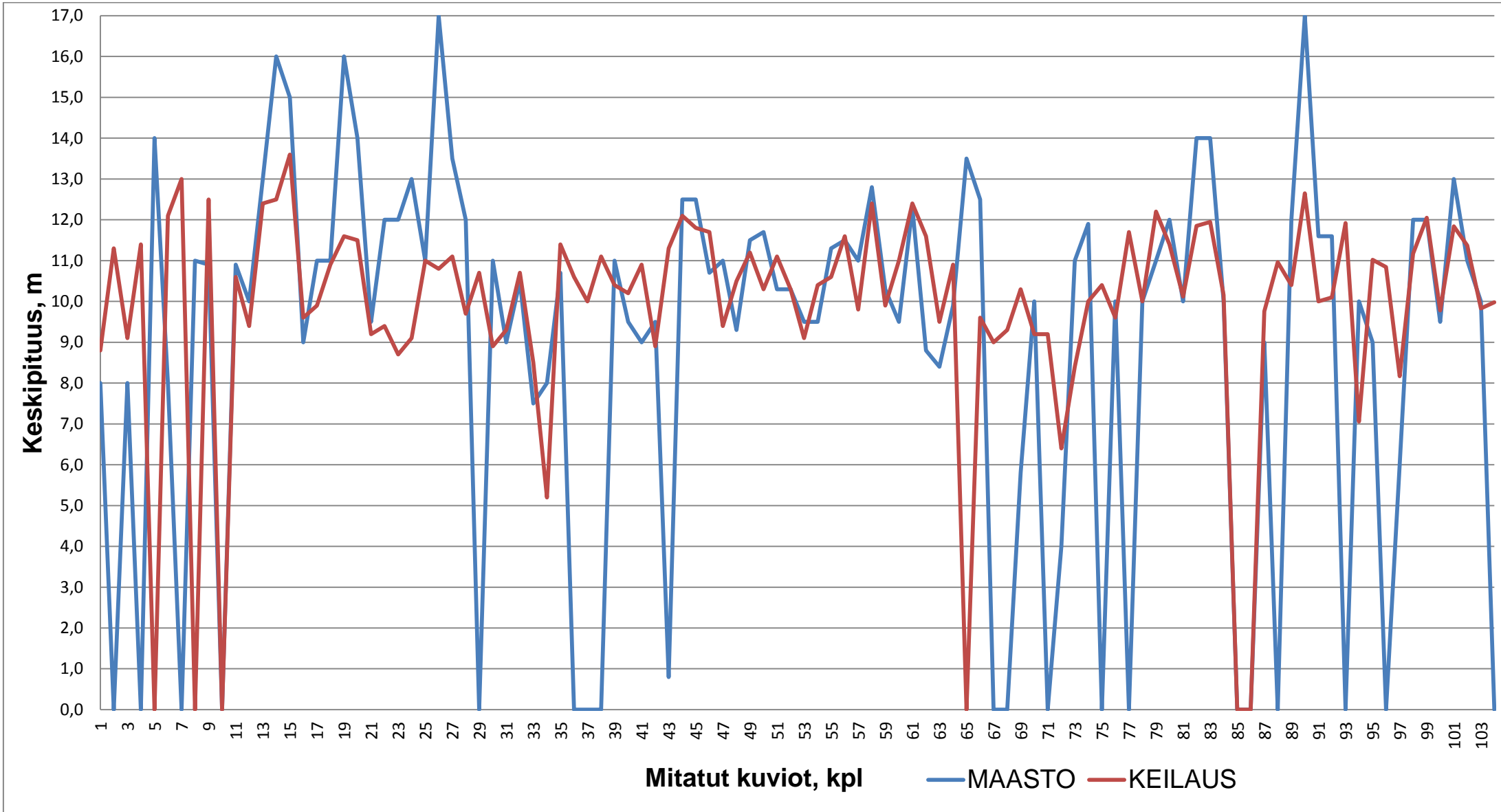
Kuvio 140. Lehtipuiden pohjapinta-alan (m²/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



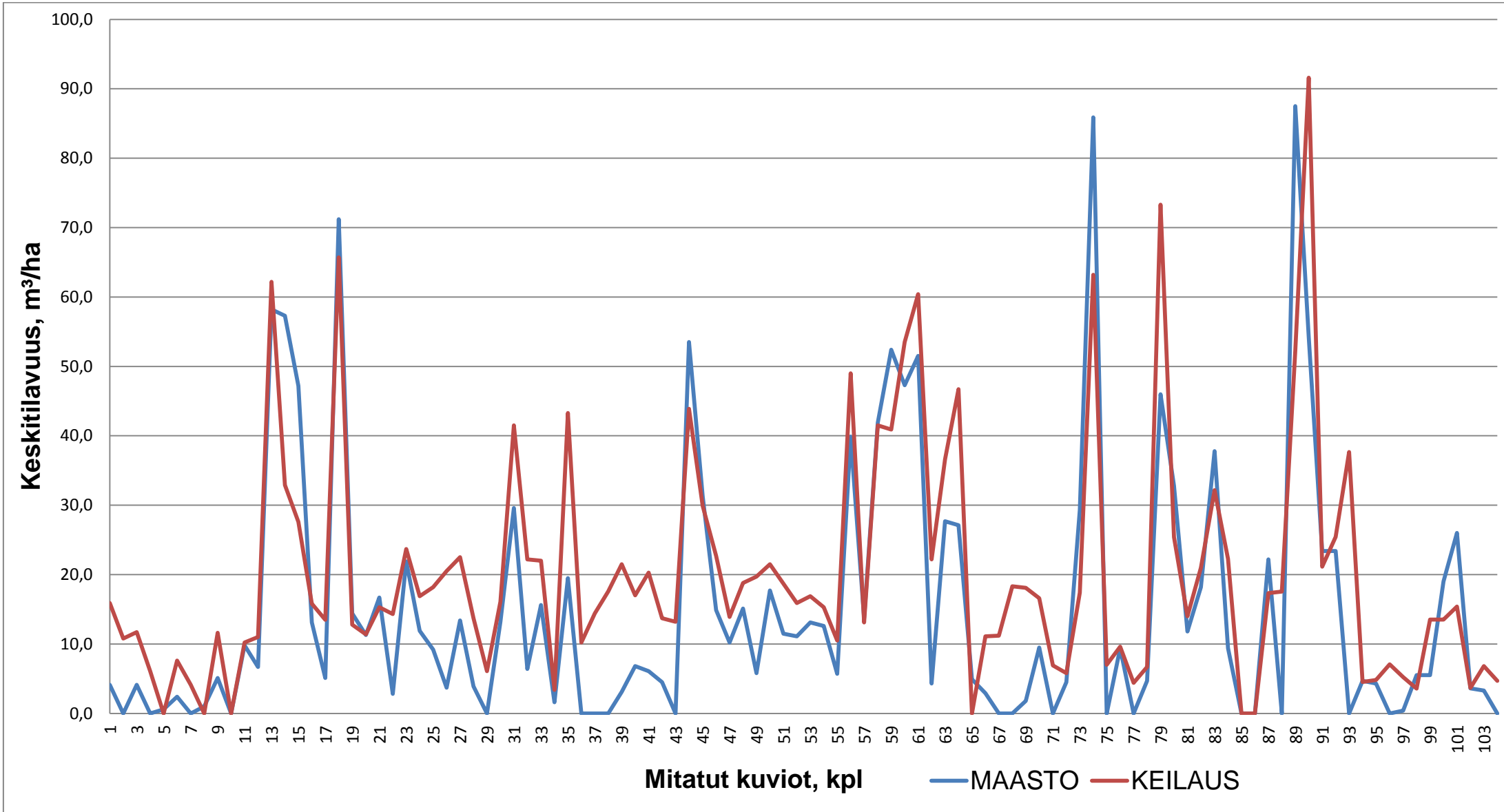
Kuvio 141. Lehtipuiden runkoluvun (kpl/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



142. Lehtipuiden keskiläpimitan (d_{1.3}) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.



Kuvio 143. Lehtipuiden keskipituuden (m/ha) vaihtelu kuviottain kehitysluokassa 04.



Kuvio 144. Lehtipuiden keskitilavuuden (m³/ha) vaihtelu kuvioittain kehitysluokassa 04.