

**Menetelmä jäävän puuston arviointiin  
harvennushakkuissa sekä laitteistoasetusten  
vaikutus hakkuukoneen GPS-paikantimen  
tarkkuuteen**

**Timo Hokka  
Tapio Räsänen**

**Menetelmä jäävän puuston arviointiin harvennus-  
hakuissa sekä laitteistoasetusten vaikutus hakkuukoneen  
GPS-paikantimen tarkkuuteen**

**Timo Hokka  
Tapio Räsänen**

Metsätehon raportti 86  
8.2.2000

Ryhmähanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta,  
Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj

Asiasanat: GPS, satelliittipaikannus, kuviotieto, harvennushakkuu,  
GIS, paikkatieto, hakkuukone

© Metsäteho Oy

Helsinki 2000

## SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	4
<b>1 TAUSTAA</b> .....	5
<b>2 JÄÄVÄN PUUSTON ARVIOIMINEN HARVENNUSHAKKUISSA</b> .....	5
2.1 Johdanto .....	5
2.2 Harvennushakkuiden poistumaa laskeva ohjelmasovellus .....	6
2.3 Menetelmän testaaminen.....	7
2.3.1 Yleistä .....	7
2.3.2 Aineisto .....	7
2.3.3 Tulokset.....	9
2.3.3.1 Jäävän puuston runkoluku.....	9
2.3.3.2 Jäävän puuston keskiläpimitta.....	10
2.3.3.3 Jäävän puuston keskipituus .....	12
2.3.3.4 Koaloittaisen poistuman laskenta.....	13
2.3.4 Päätelmät .....	15
<b>3 HAKKUUKONEIDEN GPS-PAIKANTIMIEN TARKKUUDEN PARANTAMINEN</b> .....	16
3.1 Laitteistoasetusten muuttaminen.....	16
3.2 Tarkkuuskokeet .....	16
3.2.1 Mittausten kulku.....	16
3.2.2 Tulokset.....	17
3.2.2.1 Yksittäisen GPS-havainnon tarkkuus.....	17
3.2.2.2 Keskiarvoistettujen sijaintien tarkkuus .....	18
3.2.2.3 Tulosten tarkastelua .....	19
3.3 Mittaushavaintojen suodatusmahdollisuudet .....	20
<b>4 HAVAINTOJA HAKKUUKONEIDEN GPS-PAIKANTIMIEN TOIMIVUUDESTA</b> .....	21
4.1 Yleistä .....	21
4.2 RDS-vastaanotto .....	21
4.3 GPS-vastaanottimet.....	22
4.4 Kuljettajien kokemuksia.....	22

## LIITTEET

## TIIVISTELMÄ

Jäävän puuston arvioiminen on keskeinen tehtävä harvennushakkuuden yhteydessä. Jäävän puuston määrä tulee arvioida sekä harvennusvoimakkuuden toteamista että kuviotietojärjestelmän tietojen päivittämistä varten. Tutkimuksessa kehitettiin ja testattiin jäävän puuston arviointimenetelmää, joka perustuu hakkuukoneen mittalaitteelta saatavaan poistumatietoon ja kuljettajan tekemiin silmävaraisiin arvioihin. Tutkimuksessa selvitettiin aiempiin kokeisiin liittyen hakkuukoneiden GPS-paikantimien paikannustarkkuuden parantamismahdollisuuksia sekä tehtiin yhteenveto hakkuukoneiden GPS-paikantimien toimivuudesta.

Jäävän puuston arviointimenetelmässä käytettiin tietokoneohjelmaa, joka laski koelaitteen poistetun runkoluvun sekä poistettujen puiden keskiläpimitan ja käyttöosan keskipituuden hakkuun aikana. Lasketut tiedot näytettiin hakkuukoneen kuljettajalle, joka teki niihin pohjautuen silmävaraisen arvionsa jäävän puuston runkoluvusta, keskiläpimitasta ja keskipituudesta.

Jäävän puuston arvioiminen osoittautui melko vaikeaksi tehtäväksi hakkuukoneen kuljettajille. Parhaiten onnistui jäävän puuston keskiläpimitan arviointi ja heikoimmin runkoluvun arviointi. Poistetun puuston tunnuksista keskiläpimittaa pystyttiin parhaiten hyödyntämään jäävän puuston keskiläpimitan arvioinnissa. Poistetun puuston runkoluvusta ei ollut apua jäävän puuston runkoluvun arvioinnissa, koska runkoluku ennen harvennusta ei ollut tiedossa. Lisäksi koelaitteen pituuden mittaus oli kokeilussa olleella GPS-paikantimella liian epätarkkaa poistuman runkoluvun luotettavaan laskemiseen. Poistettujen puiden käyttöosan keskipituutta oli vaikea käyttää hyväksi jäävän puuston keskipituutta arvioitaessa, koska poistetut puut olivat huomattavasti lyhyempiä kuin jäävä puusto. Tutkimuksen aineisto oli kuitenkin pieni, ja sen perusteella on vaikea tehdä johtopäätöksiä menetelmän soveltuvuudesta kuviotietojen päivitykseen käytännön toiminnassa.

Hakkuukoneissa käytetyn Rockwell Jupiter GPS-paikantimen tarkkuutta erilaisilla GPS-vastaanottoasetuksilla testattiin koordinaateiltaan tunnetulla kiintopisteellä. Laitteistoasetuksia muuttamalla ei pystytty parantamaan paikannustarkkuutta. Tämä johtuu todennäköisesti laitteen sisäisistä epätarkkuuksista ja laitteen käyttämistä laskenta-algoritmeista.

Tutkimukseen osallistuneissa hakkuukoneissa GPS-vastaanottimet toimivat yleensä hyvin, mutta RDS-korjaussignaalin vastaanotto oli ongelmallista. Vaikeudet johtuivat osin peitteisestä maastosta, käytetyistä antenniratkaisuista ja RDS-vastaanottimien asetuksista. Jatkossa tulisi kiinnittää erityistä huomiota korjaussignaalin vastaanottoon, koska ilman differentiaali-korjausta GPS-paikannuksen tarkkuus on heikko.

## 1 TAUSTAA

Tämä raportti kuuluu Metsätehon projektiin Paikkatiedon kerääminen ja hyödyntäminen hakkuukoneella. Hankkeessa on aiemmin selvitetty hakkuukoneiden GPS-paikantimien tarkkuutta, työpisteittäisen puustotiedon keruuta sekä leimikon rajojen kartoitusta. Tulokset on esitetty Metsätehon raportissa 74.

Projektin yhtenä tavoitteena oli kehittää menetelmä harvennushakkuiden jäävän puuston arvioimiseksi. Raportissa kuvataan kehitetty menetelmä, joka perustuu hakkuukoneen mittalaitteelta saatavaan poistumatietoon ja kuljettajan tekemiin silmävaraisiin arvioihin. Menetelmän testauksen tulokset esitetään raportissa.

Aiemmissa kokeissa hakkuukoneiden GPS-paikantimien tarkkuutta testattiin valmistajan oletusasetuksilla. Tällöin jäi epäselväksi, voitaisiinko tarkkuutta parantaa asetuksia muuttamalla tai havaintoja matemaattisesti suodattamalla. Asetusten vaikutusta paikannustarkkuuteen testattiin elokuussa 1999. Raportissa käydään myös läpi koko hankkeen kuluessa kertyneitä havaintoja GPS-paikantimien toimivuudesta.

## 2 JÄÄVÄN PUUSTON ARVIOIMINEN HARVENNUSHAKKUISSA

### 2.1 Johdanto

Jäävän puuston arvioiminen on keskeinen tehtävä harvennushakkuiden yhteydessä. Jäävän puuston määrä tulee arvioida sekä harvennusvoimakkuiden toteamista että kuviotietojärjestelmän tietojen päivittämistä varten. Kuviotietojen päivitystä varten jäävä puusto arvioidaan yleensä erillisenä työnvaiheena harvennushakkuun jälkeen.

Koneellisessa harvennuksessa mitataan poistettu puusto tarkasti. Poistettujen runkojen tiedot on mahdollista tallentaa rungoittain hakkuukoneen mittalaitteelta. Useimmissa tapauksissa hakkuupoistuman tunnuksia ei kuitenkaan voida vähentää hakkuuta edeltäneistä puustotunnuksista, koska lähtötiedot voivat olla epätarkkoja tai ainakaan niiden tarkkuudesta ei ole tietoa. Hakkuukoneen GPS-paikantimen avulla voidaan mitata koneen kulkemaa matkaa. Yhdistämällä kuljettu matka sekä hakattujen runkojen tiedot pystytään laskemaan poistuman hehtaariohtaisia tunnuksia, joita puolestaan voidaan ainakin osittain hyödyntää jäävän puuston arvioinnissa.

Ensiharvennuksissa ja tilanteissa, joissa ei ole valmista ajouraverkostoa, voidaan erotella ajourilta poistetun puuston runkotiedot. Koska ajourilta poistetaan kaikki rungot, voidaan ajouria käyttää ”koealana”, jonka perusteella arvioidaan leimikon puuston tunnuksia ennen hakkuuta. Ajourien pinta-ala saadaan mittaamalla urien pituus GPS:llä ja arvioimalla ajouran kes-

kimääräinen leveys. Harvennuksen jälkeinen jäävä puusto puolestaan saadaan vähentämällä ajourakoealojen puuston mukaan lasketusta kokonaispuustosta harvennuspoistuma. Menetelmässä kuljettajan pitäisi hakkuun yhteydessä merkitä ajouralta hakattavien puiden runkotietoihin koodi, jonka perusteella ajourapuut voitaisiin erotella laskennassa.

Ajourapuiden hyväksikäyttäminen ei onnistu harvennusmetsissä, joissa ajourat ovat ennestään olemassa. Näissä tapauksissa jäävän puuston arvioinnissa täytyy käyttää kuljettajan tekemiä silmävaraisia arvioita. Silmävaraisen arvioinnin tukena voi olla ohjelma, joka laskee jatkuvasti poistetun puuston keskitunnuksia ja näyttää ne tietokoneen näytöllä kuljettajalle. Poistetun puuston tunnusten avulla kuljettaja voi arvioida jäävän puuston tunnuksia sekä arvioida harvennuksen voimakkuutta. Poistuman hehtaarikohmainen laskenta edellyttää pinta-alan laskentaa; pinta-ala saadaan mittaamalla ajouran pituutta GPS:llä sekä määrittämällä koneelle oletusarvoinen, kuljettajan muutettavissa oleva työleveys.

## **2.2 Harvennushakkuiden poistumaa laskeva ohjelmasovellus**

Metsätehossa tehtiin tutkimuskäyttöön harvennushakkuiden poistuman puustotunnuksia laskeva tietokoneohjelma. Ohjelma toimii hakkuukoneen tietokoneessa. Ohjelmasta on omat versionsa Timberjack 3000 -mittalaitteelle sekä Ponsse OPTI 3.80 ja sitä uudemmille -mittalaitteille. Ohjelma lukee mittalaitteen tuottamia STM-tiedostoja ja koneen GPS-paikanninta. STM-tiedostojen perusteella ohjelma laskee poistetun puuston keskiläpimitan ja keskipituuden puulajeittain. GPS:llä mitatun ajouran pituuden ja käsittelyleveyden perusteella ohjelma laskee hehtaarikohtaisesti poistetun puuston pohjapinta-alan ja runkoluvun puulajeittain.

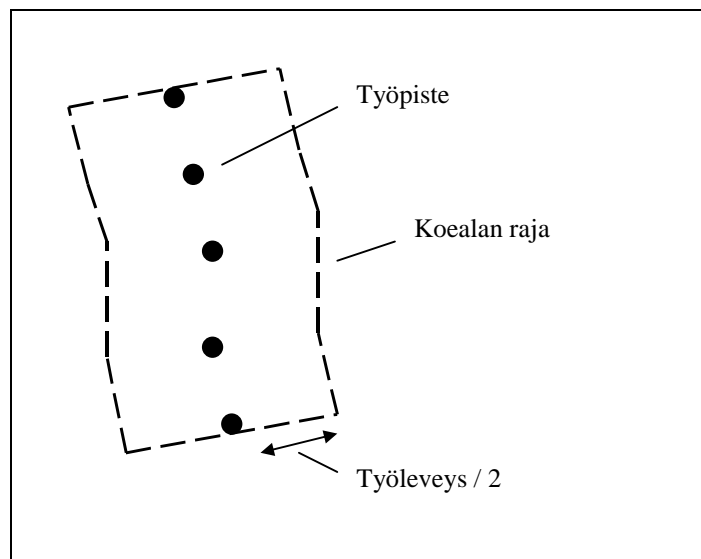
Ohjelmaa käytettäessä poimitaan koealoja siten, että tietokoneen hiirellä valiten aloitetaan ja lopetetaan koealan tallennus. Koealan lopettamisen jälkeen ohjelma laskee puulajeittaiset tunnuksia ja näyttää ne koneen kuljettajalle. Tämän jälkeen kuljettaja syöttää ohjelmaan puulajeittaiset arvionsa jäävän puuston keskiläpimitasta, keskipituudesta ja hehtaarikohtaisesta runkoluvusta. Aloitettaessa koealan tallennus tallennetaan koealan alkupisteen koordinaatit. Koealan alkupisteen koordinaatit lasketaan 10 GPS-havainnon keskiarvona. Keskiarvon laskennassa käytetty havaintojen lukumäärä annetaan ohjelman parametrina, jolloin sitä voidaan tarvittaessa muuttaa. Lopetettaessa koealan tallennus lasketaan viimeisten 10 GPS-havainnon keskiarvona koealan loppupisteen koordinaatit. Koealan pituus lasketaan etäisyytenä alku- ja loppupisteen välillä. Koealan poistumatiedot, matkanmittaustiedot sekä kuljettajan syöttämät arviot jäävän puuston määrästä tallennetaan tekstitiedostoihin (kuva ohjelmasta liitteessä 1).

## 2.3 Menetelmän testaaminen

### 2.3.1 Yleistä

Menetelmän toimivuutta jäävän puuston arvioinnissa testattiin koealatasolla. Tällöin tarkasteltiin, miten tarkasti kuljettaja pystyy arvioimaan jäävän puuston tunnuksia koealalla. Toiseksi tarkasteltiin sitä, millä tarkkuudella poistuman tunnuksia pystyttiin laskemaan sekä oliko poistuman tunnuksista apua jäävän puuston tunnuksien arvioinnissa.

Koejärjestelyssä valittiin hakattavista leimikoista koealoja ohjelmaa käyttäen. Kunkin koealan alku- ja loppupiste merkittiin maastoon. Lisäksi merkittiin koneen työpisteet. Koealan pituus mitattiin jälkikäteen kannettavalla GPS-paikantimella. Tarkasteltavien koealojen rajat määritettiin maastoon siten, että kustakin koneen työpisteestä mitattiin kohtisuoraan ajouraan nähden etäisyys, joka oli puolet koneen työleveydestä (kuva 1). Maastoon merkityn koealan jäävän puuston rinnankorkeusläpimitat luettiin sekä mitattiin pituuskoepuut jäävän puuston pituuden määrittämistä varten. Näin saatiin mitattua kunkin koealan jäävän puuston määrä, jota verrattiin kuljettajan arvioihin. Ohjelman laskemaa koealan pituutta puolestaan verrattiin maastossa mitattuun koealan pituuteen. Näin saatiin selville, kuinka paljon koealan pinta-alan virhe aiheuttaa virhettä koealakohtaisen poistuman laskennassa.



Kuva 1. Koealan rajaus maastoon.

### 2.3.2 Aineisto

Aineistoa kerättiin kahdelta eri hakkuukoneelta ja kolmelta eri kohteelta (taulukko 1). Jäävän puuston arvioita tuli siten kahdelta eri kuljettajalta. Lopen kohteissa koneurakoitsija oli Metsäorava Oy ja hakkuukone Timberjack 870 B. Valkealan kohteessa urakoitsija oli Koneurakointi Arto Seppälä

ja hakkuukone Ponsse Ergo HS 16. Molemmassa koneissa oli asennettuna Rockwell Jupiter GPS-paikannin ja differentiaalikorjaus Digita Oy:n FOKUS-palvelulla. Kohteet L1 ja L2 olivat lähes puhtaita kuusikoita ja niissä tarkasteltiin kokonaispuustoa. Kohde V1 oli sekapuusto, jota tarkasteltiin puulajeittain (taulukko 2). Kohde V1 oli epätyypillinen harvennuskohte, puusto oli uudistuskypsää.

TAULUKKO 1 Aineiston keruun kohteet

Kohde	Sijainti	Pääpuulaji	Metsä- tyyppi	Koealoja, kpl	Koealojen pinta-ala yhteensä, ha
L1	Loppi	kuusi	MT	5	0,4
L2	Loppi	kuusi	MT	3	0,3
V1	Valkeala	mänty	MT	5	0,4

TAULUKKO 2 Kohteiden puustotunnukset. Laskettu koealojen yhdistelmänä

Tunnus	Kohde					
	L1	L2	V1			
	kuusi	kuusi	mänty	kuusi	koivu	yhteensä
Puusto ennen hakkuuta						
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha	29.6	36.2	25.0	8.7	2.8	36.6
Runkoluku, kpl/ha	828	1457	330	269	105	705
Keskiläpimitta, cm	23	22	33	24	25	30
Keskipituus, m	19.8	17.3	26.4	17.6	23.8	23.8
Hakkuupoistuma						
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha	9.1	17.8	4.8	5.5	0.8	11.2
Runkoluku, kpl/ha	322	894	88	206	61	355
Keskiläpimitta, cm	20	21	28	20	15	23
Keskipituus, m	17.4	14.6	24.1	13.4	11.0	17.9
Puusto hakkuun jälkeen						
Pohjapinta-ala, m <sup>2</sup> /ha	21	18	20	3	2	25
Runkoluku, kpl/ha	506	563	242	64	44	350
Keskiläpimitta, cm	24	23	34	32	29	33
Keskipituus, m	20.9	19.8	26.9	24.9	24.5	26.5
Harvennusmallin tavoitepohjapinta-ala						
Tapio	19 - 23	18 - 22				
UPM	23	22				

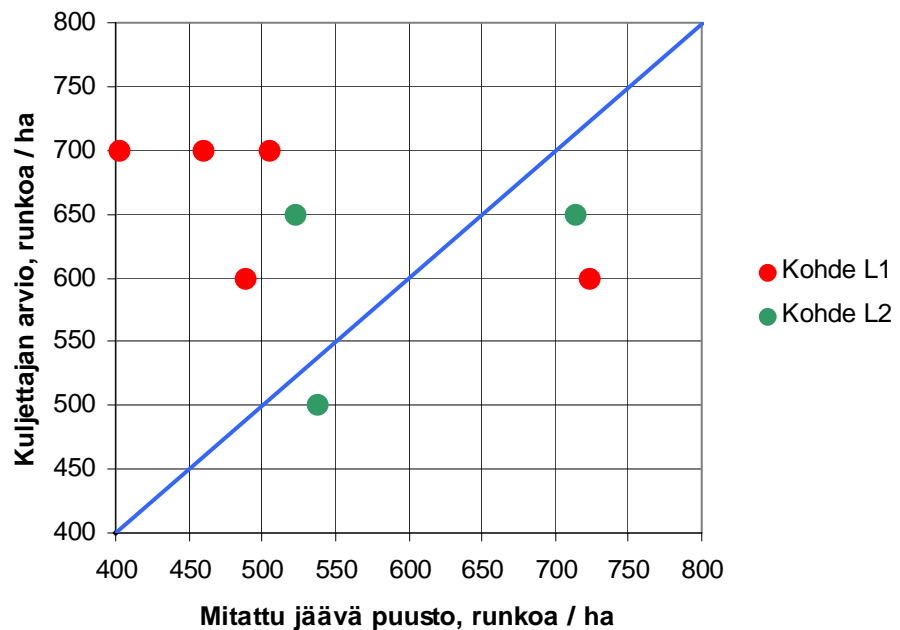


### 2.3.3 Tulokset

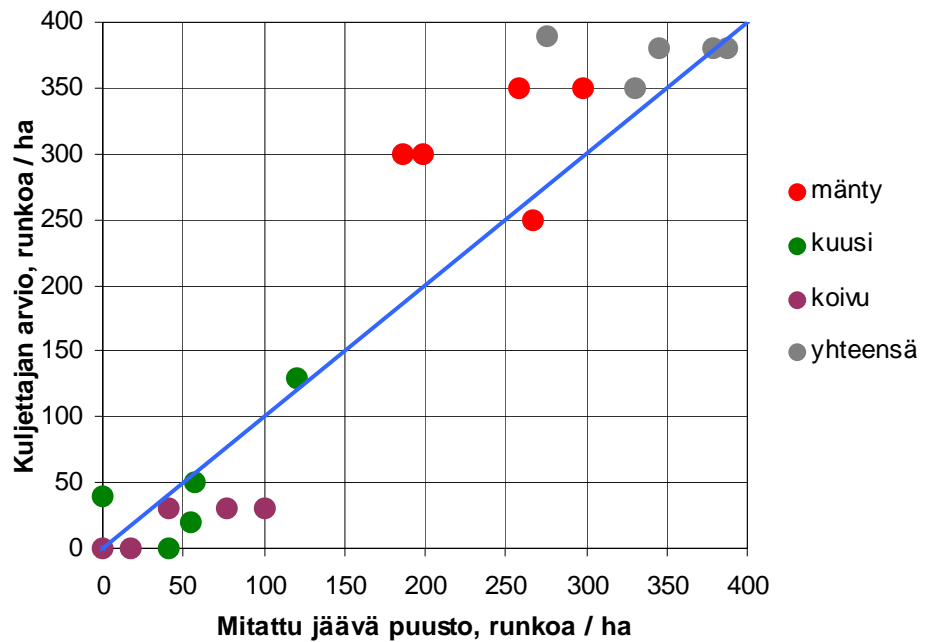
#### 2.3.3.1 Jäävän puuston runkoluku

Koneen kuljettajilla ei tutkimuskohteissa ollut tietoa runkoluvusta ennen hakkuuta. Siten poistetun puuston runkoluvusta ei juurikaan ollut apua arvioitaessa jäävän puuston runkolukua, vaan kuljettaja joutui arvioimaan runkoluvun silmävaraisesti. Lisäksi GPS-paikantimen reaaliaikainen differentiaalikorjaus toimi vain kohteen L1 neljällä ensimmäisellä koealalla. Muissa kohteissa ei tämän takia saatu laskettua poistetun puuston hehtaarikohtaista pohjapinta-alaa eikä runkolukua.

Kohteilla L1 ja L2 oli sama kuljettaja. Kuljettajan arviot jäävän puuston runkoluvusta vaihtelivat paljon, suurimmillaan runkoluku yliarvioitiin liki kaksinkertaiseksi oikeaan verrattuna (kuva 2). Useimmilla koealoilla kuljettaja arvioi jäävän puuston runkoluvun liian suureksi. Kohteen V1 kuljettajan arviot jäävän puuston kokonaisrunkoluvusta pitivät yhtä koealaa lukuun ottamatta hyvin paikkansa (kuva 3). Tälläkin kohteella runkoluku oli pääsääntöisesti yliarvioitu. Sen sijaan runkoluvun jakaminen eri puulajeille onnistui heikommin. Tämä johtui kohteen puuston rakenteesta; mänty oli selvästi pääpuulaji ja kuusen sekä koivun osuus pieni, vain muutamia runkoja koealaa kohti.



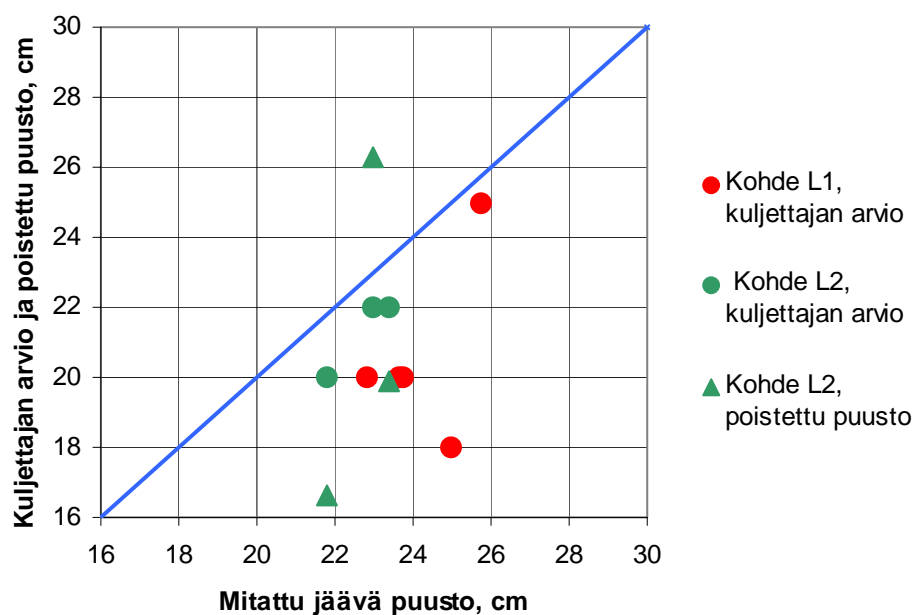
**Kuva 2.** Jäävän puuston koealoittainen runkoluku kohteilla L1 ja L2.



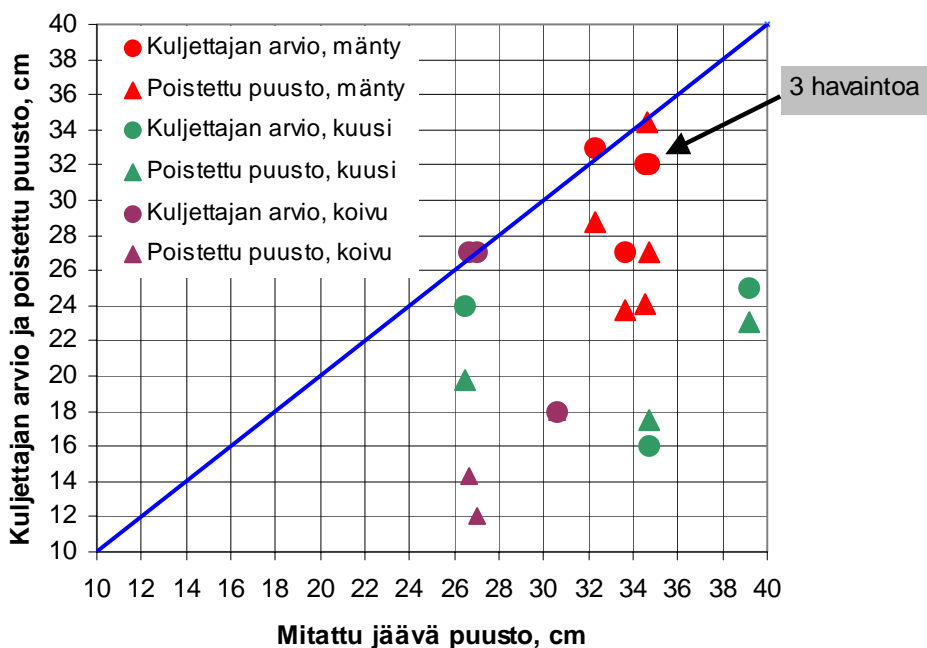
**Kuva 3.** Jäävän puuston koealoittainen ja puulajeittainen runkoluku kohteella V1.

### 2.3.3.2 Jäävän puuston keskiläpimitta

Jäävän puuston läpimitta arvioitiin lähes kaikilla koealoilla liian pieneksi (kuvat 4 ja 5). Osalla koealoista läpimitan arviointi onnistui melko hyvin, poikkeama oikeasta oli alle 2 cm. Hajonta oli kuitenkin suurta. Kohteella V1 sivupuulajit olivat ongelmallisia. Poistettu puusto oli kaikilla kohteilla huomattavasti pienempää kuin jäävä puusto, jolloin poistetun puuston läpimittatieto johti aliarvioihin jäävää puustoa arvioitaessa (kuvat 4 ja 5).



**Kuva 4.** Jäävän puuston koealoittainen keskiläpimitta kohteilla L1 ja L2 kuljettajan arvioimana ja mitattuna sekä poistettujen puiden keskiläpimitta kohteella L2.

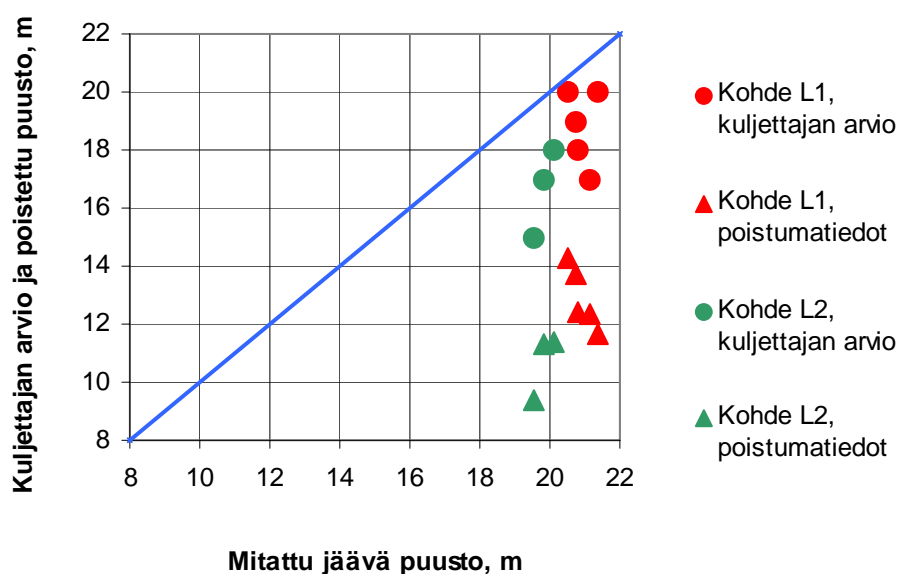


**Kuva 5.** Jäävän puuston koealoittainen ja puulajeittainen keskiläpimitta kohteella V1 kuljettajan arvioimana ja mitattuna sekä poistetun puuston keskiläpimitta.

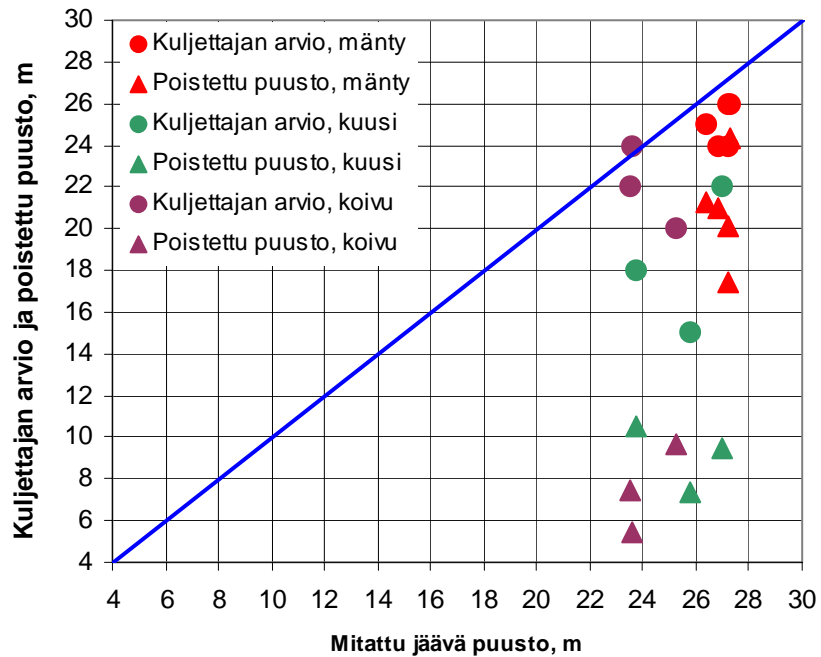
### 2.3.3.3 Jäävän puuston keskipituus

Kuljettajien arviot jäävän puuston keskipituudesta olivat systemaattisesti aliarvioita. Kohteen L1 kahdella koealalla arvioitu keskipituus poikkesi vain metrin mitatusta, mutta suurin poikkeama oli neljä metriä (kuva 6). Kohteella L2 poikkeamat olivat suurempia. Kohteella V1 männyn keskipituuden arviointi onnistui hyvin, suurin poikkeama oli kolme metriä (kuva 7). Kuusen ja koivun keskipituuden arvioiminen onnistui huonosti.

Kuljettajalle näytettiin ohjelasovelluksella laskettu poistettujen puiden käyttöosan keskipituus, jonka perusteella kuljettaja arvioi jäävien puiden keskimääräisen kokonaispituuden. Kuljettajan arviota verrattiin koaloittain mitattuun keskimääräiseen kokonaispituuteen. Poistettujen puiden käyttöosan keskipituudesta oli hankalahkoa arvioida jäävän puuston kokonaispituutta. Poistetut puut ovat alaharvennusperiaatetta noudatettaessa selvästi lyhyempiä kuin jäävät, jolloin poistettujen puiden käyttöosan pituuteen pitää lisätä huomattavasti enemmän kuin pelkkä metsään jäävän latvakappaleen pituus, jotta päästään hyvään arvioon jäävän puuston keskipituudesta. (Kuvat 6 ja 7)



**Kuva 6.** Jäävän puuston koaloittainen keskipituus (kokonaispituus) kuljettajan arvioimana ja mitattuna sekä poistettujen puiden käyttöosan keskipituus kohteilla L1 ja L2.

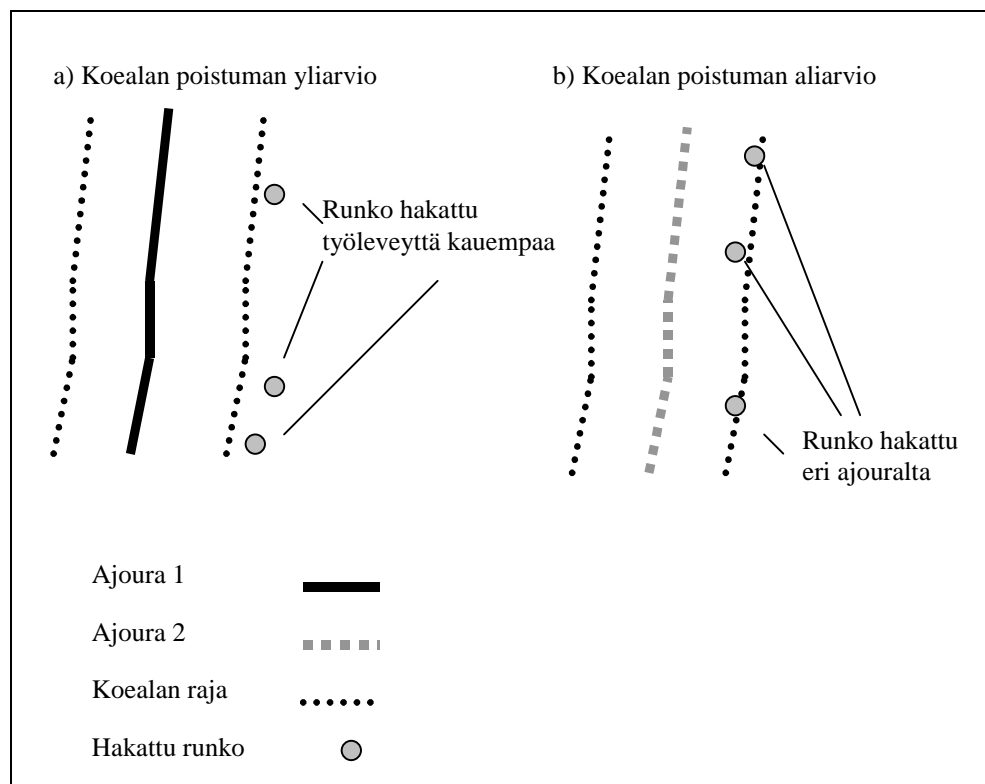


**Kuva 7.** Jäävän puuston koealoittainen ja puulajeittainen keskipituus (kokonaispituus) kohteella V1 kuljettajan arvioimana ja mitattuna sekä poistettujen puiden käyttöosan keskipituus.

#### 2.3.3.4 Koealoittaisen poistuman laskenta

Koealoittaista poistumaa laskevassa ohjelmassa kultakin koealalta poistettujen puiden runkoluku ja pohjapinta-ala muutetaan hehtaarikohtaisiksi koealan pinta-alan perusteella. Koealan pinta-ala puolestaan lasketaan ohjelmaan syötetyn koealan leveyden sekä GPS:n avulla mitatun koealan pituuden tulona. Hehtaarikohtaisiksi muutettujen poistumatietojen virhe jakaantuu kahteen elementtiin: koealan pituuden mittauksen sekä koealan leveyden määrittämisen virheeseen. Koealan leveyden virhe syntyy a) silloin jos kone hakkaa leveämmältä alueelta, kuin se työleveys, joka on syötetty poistumaa laskevaan sovellukseen, b) jos kone hakkaa kapeammalta alueelta kuin sovellukseen syötetty työleveys eli koealan puita hakataan viereiseltä uralta (kuva 8). Siten a-kohdassa saadaan koealalle poistuman pohjapinta-alan ja runkoluvun yliarvio ja b-kohdassa aliarvio.

Reaaliaikainen differentiaalikorjaus toimi vain kohteen L1 neljällä ensimmäisellä koealalla, joten koealan pituuden virhettä voitiin arvioida vain näillä koealoilla (taulukko 3). Koealan leveyden virhettä ja sen vaikutusta runkolukuun tarkasteltiin kohteilla L1 ja L2 (taulukko 4). Kohteella V1 ei puuston rakenteesta ja hakkuutavasta johtuen syntynyt koealan leveyden virhettä.



**Kuva 8.** Koealalle lasketun poistuman yli- ja aliarvio.

Sovelluksen laskema koealan pituus oli huomattavan virheellinen ja kaikissa tutkituissa tapauksissa yliarvio. Tämä johtuu GPS-paikantimen epätarkkuudesta. Koealan pituus laskettiin koealan alkupisteen ja loppupisteen välisenä suorana etäisyytenä, joka oli hieman lyhempi kuin koealan toteutunut pituus, mutta tätä ei tuloksista voida paikannuksen epätarkkuuden vuoksi huomata.

Koealan leveyden virhe oli huomattava kohteella L1, jossa käytettiin sovelluksessa 18 metrin työlevyettä. Kone hakkasi puita koealan ulkopuolelta, jolloin koealan poistumasta saatiin yliarvio. Kohteella L2 käytettiin 19 metrin työlevyettä, joka osoittautui toimivammaksi.

**TAULUKKO 3** Sovelluksen laskeman koealojen pituuden virhe kohteella L1

Koealan pituus			
Sovellus	Vertailu	Virhe	
		m	%
58.4	27.3	31.1	114
33.8	33.1	0.7	2
43.3	30.7	12.6	41
59.4	44	15.4	35

TAULUKKO 4 Koealan leveyden virhe kohteilla L1 ja L2

Kohde ja koeala	Työleveys	Puita /koeala		Virhe / koeala	Virhe / ha	
		hakattu	koealalla			
	m	kpl				%
L1 1	18	23	18	5	102	28
L1 2	18	17	11	6	101	55
L1 3	18	21	14	7	127	50
L1 4	18	31	26	5	63	19
L1 5	18	20	16	4	38	25
L2 1	19	45	43	2	38	5
L2 2	19	126	119	7	48	6
L2 3	19	83	69	14	157	20

### 2.3.4 Päätelmät

Jäävän puuston arvioiminen osoittautui melko vaikeaksi tehtäväksi hakkuukoneen kuljettajille. Joillakin koealoilla arviot olivat tarkkoja, mutta toisaalta esiintyi suuriakin poikkeamia oikeasta. Parhaiten onnistui jäävän puuston keskiläpimitan arviointi ja heikoimmin runkoluvun arviointi. Poistetun puuston tunnuksista keskiläpimitaa pystyttiin parhaiten hyödyntämään jäävän puuston keskiläpimitan arvioinnissa. Poistetun puuston runkoluvusta ei ollut apua jäävän puuston runkoluvun arvioinnissa, koska runkoluku ennen harvennusta ei ollut tiedossa. Lisäksi koealan pituuden mittaus on kokeilussa olleella GPS-paikantimella liian epätarkkaa poistuman runkoluvun luotettavaan laskemiseen. Poistettujen puiden käyttöosan keskipituutta oli vaikea käyttää hyväksi jäävän puuston keskipituutta arvioitaessa, koska poistetut puut olivat huomattavasti lyhyempiä kuin jäävä puusto. Kokeilussa oli mukana vain kaksi kuljettajaa, joilla ei ollut kokemusta jäävän puuston tunnuksen silmävaraisesta arvioinnista. Onkin oletettavaa, että kokemuksen lisäantäessä tulokset paranevat. Tutkimuksen aineisto oli kuitenkin pieni. Sen perusteella on vaikea tehdä johtopäätöksiä menetelmän soveltuvuudesta kuviotietojen päivitykseen käytännön toiminnassa.

Harvennushakkuupoistuman näyttäminen kuljettajalle on hyödyllistä harvennusvoimakkuuden arvioimiseksi, mikäli työmaaohjeessa on määritetty hehtaarikohtainen poistuma. Reaaliaikaisen differentiaalikorjauksen huonon toiminnan takia hehtaarikohtaisia poistumatietoja voitiin laskea vain yhdellä kohteella. Tälläkin kohteella koealan pituuden mittausvirhe oli GPS-paikannuksen epätarkkuudesta johtuen suuri. Sen sijaan työleveydelle näyttäisi olevan mahdollista löytää arvo, jolla koealan leveyden vaihtelusta ai-

heutuva virhe pysyy kohtuullisena. Tarkemmalla ja luotettavammin toimivalla GPS-paikantimella varustettuna hakkuukoneella voitaisiinkin laskea hehtaarikohtaisia poistumatietoja kohtuullisen luotettavasti.

### **3 HAKKUUKONEIDEN GPS-PAIKANTIMIEN TARKKUUDEN PARANTAMINEN**

#### **3.1 Laitteistoasetusten muuttaminen**

Hakkuukoneissa käytettävien Rockwell Jupiter GPS-vastaanottimien tarkkuus ei ole tyydyttävä tarkan paikkatiedon keräämiseen. Laitteiden asetukset GPS-vastaanotolle ovat esimerkiksi kannettavissa kartoituslaitteissa käytettäviin asetuksiin verrattuna väljät. On oletettavaa, että paikannustarkkuutta voitaisiin parantaa laitteistoasetuksia muuttamalla.

Koneissa käytettävät GPS-vastaanotinkortit voidaan kytkeä kahteen eri toimintotilaan NMEA-tilaan tai binääritilaan. NMEA-tilaa käytetään sovellusten yhteydessä (esimerkiksi karttasovellukset ja Metsätehon tutkimussovellukset). Binääritilassa voidaan erillisen tietokoneohjelman avulla muuttaa kortin asetuksia, mm. GPS-vastaanottoon liittyviä asetuksia. Kortin toimintotilan muuttaminen tapahtuu muuttamalla kortin kytkentöjä. Hakkuukoneiden mikroihin kortit asennetaan NMEA-tilaan siten, että piirilevyn kytkentää ei voida muuttaa. Tällöin GPS-vastaanoton asetuksiakaan ei voida muuttaa.

Tarkkuuskokeilussa käytettiin vastaavaa GPS-vastaanotinkorttia kuin hakkuukoneissa. Siihen oli asennettu toimintotilan vaihtamista varten sähkökytkin. Siten laitteistoasetuksia päästiin kokeilua varten muuttamaan.

#### **3.2 Tarkkuuskokeet**

##### **3.2.1 Mittausten kulku**

Koejärjestelyssä GPS-vastaanotinkortti oli kytketty kannettavaan mikrotietokoneeseen, jolla tallennettiin mittaushavainnot sekä muutettiin vastaanottimen laitteistoasetuksia. Tärkeimmät GPS-vastaanottimen tarkkuuteen vaikuttavat asetukset tässä vastaanottimessa ovat antennin korkeusmaski, differentiaalikorjauksen ikä, käytettävien satelliittien vähimmäismäärä sekä vaakaja pystytason virhe-estimaattien raja-arvot.



Laitteistoasetusten vaikutusta vastaanottimen tarkkuuteen testattiin maanmittauslaitoksen kolmiopisteellä. Kolmiopiste sijaitsi laakealla harjulla, noin 40-vuotiaassa männikössä. Kolmiopiste oli ns. kolmannen luokan kolmiopiste. Maanmittauslaitos ilmoitti pisteen tasokoordinaattien keskivirheeksi 4 senttimetriä. Kullakin parametriyhdistelmällä (taulukko 5) tallennettiin 2 sekunnin havaintovälillä n. 5 minuutin ajan mittaushavainnot. Tällöin kullakin yhdistelmällä tallennettiin n. 150 havaintoa. Kullakin parametriyhdistelmällä saatuja mittaustuloksia verrattiin kolmiopisteen koordinaatteihin.

TAULUKKO 5 Tarkkuustestissä käytetyt parametriyhdistelmät. Yhdistelmä 1 on valmistajan oletusasetukset

Yhdistelmä	Korkeusmaski	Diff.korj. ikä	Estimoitu vaakataason virhe, m	Estimoitu pystytason virhe, m	Sat lkm	Diff.korj.
1	10	300	10	25	3	ei vaadita
2	13	300	10	25	4	vaaditaan
3	15	300	10	25	4	vaaditaan
4	10	90	10	25	4	vaaditaan
5	10	300	8	20	4	vaaditaan
6	10	300	6	15	4	vaaditaan
7	13	300	8	20	4	vaaditaan
8	13	300	6	15	4	vaaditaan
9	15	300	8	20	4	vaaditaan
10	15	300	6	15	4	vaaditaan
11	15	90	6	15	4	vaaditaan
12	15	90	4	8	4	vaaditaan
13	15	90	2	4	4	vaaditaan
14	15	90	1,5	2	4	vaaditaan
15	15	90	1	1,5	4	vaaditaan

### 3.2.2 Tulokset

#### 3.2.2.1 Yksittäisen GPS-havainnon tarkkuus

Kullakin parametriyhdistelmällä mitattujen yksittäisten GPS-havaintojen virhe vertailupisteeseen nähden on taulukossa 6. Liitteessä 2 on kuvattu eri parametriyhdistelmien keskivirhe sekä kunkin parametriyhdistelmän korkeusmaski ja keskimääräinen paikannuksessa käytettyjen satelliittien lukumäärä mittauksen aikana.

Eri parametrijyhdistelmien ja saavutetun tarkkuuden välillä ei ole havaittavissa selvää yhteyttä. Kaikkein tiukimmillakin parametreilla yksittäisen GPS-havainnon poikkeama on samaa suuruusluokkaa kuin kaikkein väljimmillään asetuksilla (liite 2). Yksittäisten GPS-havaintojen tarkkuus on samaa suuruusluokkaa tai hieman parempi kuin aiemmissa tutkimuksissa.

TAULUKKO 6 Kullakin parametrijyhdistelmällä mitattujen yksittäisten GPS-havaintojen virhe

Yhdistelmä	Yksittäisen havainnon etäisyys vertailupisteestä			
	Min	Max	Keskihajonta	Keskipoikkeama <sup>1)</sup>
1	1,2	10,6	1,5	4,8
2	1,1	8,4	1,1	5,0
3	0,5	4,0	0,6	1,7
4	1,4	5,3	1,2	4,2
5	1,0	16,6	2,6	6,3
6	0,7	9,8	1,3	3,9
7	0,3	13,1	2,3	4,3
8	0,3	9,3	2,4	3,9
9	0,7	10,8	2,1	4,3
10	0,7	16,1	3,7	6,4
11	0,9	12,9	2,2	5,0
12	0,7	16,2	3,1	7,9
13	0,5	13,3	1,7	3,3
14	0,3	1,8	0,3	1,2
15	0,6	12,1	1,4	5,3

$$1) \text{ Keskipoikkeama} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

### 3.2.2.2 Keskiarvoistettujen sijaintien tarkkuus

Kullakin parametrijyhdistelmällä mitattujen GPS-havaintojen perusteella laskettujen keskiarvoistettujen sijaintien virhe vertailupisteeseen nähden on esitetty taulukossa 7. Samoin kuin yksittäisten havaintojen kohdalla, eri parametrijyhdistelmien ja saavutetun tarkkuuden välillä ei ole selvää yhteyttä.

TAULUKKO 7 Eri parametriyhdistelmillä laskettujen keskiarvoistettujen sijaintien virhe

Yhdistelmä	Keskiarvon etäisyys referenssistä	Havaintoja / yhdistelmä
	m	kpl
1	4.3	159
2	3.9	135
3	1.3	140
4	3.5	132
5	2.1	156
6	3.4	182
7	1.7	141
8	1.2	160
9	1.7	172
10	3.7	149
11	3.4	147
12	4.5	134
13	1.9	144
14	0.9	154
15	4.2	180
Keskiarvo	2.8	152.3
Min	1.0	
Max	4.5	
Keskihajonta	1.2	
Keskipoikkeama	3.0	

### 3.2.2.3 Tulosten tarkastelua

Mittausten aikana vallitsi tasainen satelliittigeometria. Satelliittien kiertoratojen perusteella tehdyn satelliittiennusteen mukaan näkyvissä oli koko mittauksen ajan vähintään 6 satelliittia. Mittauksen tarkkuutta kuvaava PDOP-luku vaihteli samaisen ennusteen perusteella välillä 3 - 3,5. Alle neljän arvoinen PDOP-luku luokitellaan erinomaiseksi. Mittauksen aikana vastaanotin käytti suurimman osan ajasta kuutta tai useampaa satelliittia. Näin ollen olosuhteita voidaan pitää eri parametriyhdistelmille tasavertaisina.

Yksittäisen GPS-havainnon poikkeama todellisesta ilmenee kaikilla parametriyhdistelmillä samanlaisena. Poikkeama voi kasvaa äkkiä usean metrin suuruiseksi ja sen jälkeen pienentyä yhtä nopeasti huolimatta siitä, että käytettävien satelliittien lukumäärä pysyy koko ajan samana (liite 2). Estimoitu vaa-

katason ja pystytason virhe ovat ne vastaanottimen parametrit, joilla pitäisi pystyä poistamaan tämäntyypiset poikkeamat. Vastaanotin laskee nämä parametrit mittaushavaintojen hajonnan pohjalta ja kokeen perusteella niillä ei voida suodattaa pois äkillisiä sijaintipoikkeamia.

Korkeusmaskilla kontrolloidaan paikannuksessa käytettävien satelliittien valintaa. Korkeusmaskin numeroarvo ilmoittaa sen, kuinka monta astetta horisontin yläpuolella olevia satelliitteja käytetään paikannuksessa. Alhaisilla korkeusmaskin arvoilla on suurempi riski vastaanottaa signaaleja, jotka eivät ole edenneet satelliitista antenniin suoraan, vaan heijastuneet esteistä. Näin ollen korkeusmaskin nostamisen pitäisi parantaa paikannustarkkuutta. Metsäolosuhteissa suositellaan korkeusmaskin arvoa 15 astetta. Korkeusmaskilla ei tässä kokeessa havaittu olevan vaikutusta paikannustarkkuuteen (liite 2). Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että vastaanottimen muut virhetekijät aiheuttivat niin paljon poikkeamia, ettei vaikutusta havaita.

Tarkkuuskokeiden perusteella näyttää siltä, että hakkuukoneissa käytössä olevien Rockwell Jupiter GPS-vastaanottimien tarkkuutta ei voida parantaa laitteistoasetuksia muuttamalla. Tämä johtuu todennäköisimmin laitteen sisäisistä epätarkkuuksista ja laitteen käyttämistä laskenta-algoritmeista.

### **3.3 Mittaushavaintojen suodatusmahdollisuudet**

GPS-mittauksen virhe on pseudosatunnaista ja autokorreloitunutta; havaintojen virhe ei ole satunnaista ja yksittäisen havainnon virhe riippuu edellisen havainnon virheestä. Tästä peruslähtökohdasta johtuen poikkeavia havaintoja on vaikea suodattaa pois, ellei tiedetä oikeaa sijaintia. Suodatuksessa voidaan käyttää lähtökohtana kaikkien tietyssä pisteessä mitattujen havaintojen keskiarvona laskettua sijaintia ja verrata yksittäisen havainnon poikkeamaa tästä keskiarvosta. Eniten tästä keskiarvosta poikkeavat havainnot jätetään pois ja loppujen perusteella lasketaan uusi keskiarvoistettu sijainti. Tätä suodatustapaa kokeiltiin siten, että jätettiin keskiarvoistetun sijainnin laskennasta pois havainnot, joiden poikkeama kaikkien havaintojen keskiarvosta oli yli puolet maksimipoikkeamasta (liite 3). Tuloksista huomataan, että osassa havaintoja tarkkuus paranee, mutta osassa huononee. Tämä johtuu siitä, että kaikkien havaintojen perusteella laskettu keskiarvo on harhainen (liite 3). Kun yksittäistä havaintoa verrataan harhaiseen keskiarvoon, saatetaan uudesta keskiarvon laskennasta jättää pois tarkkoja havaintoja, jolloin suodatuksen tuloksena paikannustarkkuus huononee. Keskiarvoon perustuvalla suodatuksella ei siten pystytä parantamaan paikannuksen tarkkuutta.

## 4 HAVAINTOJA HAKKUUKONEIDEN PAIKANTIMIEN TOIMIVUUDESTA

GPS-

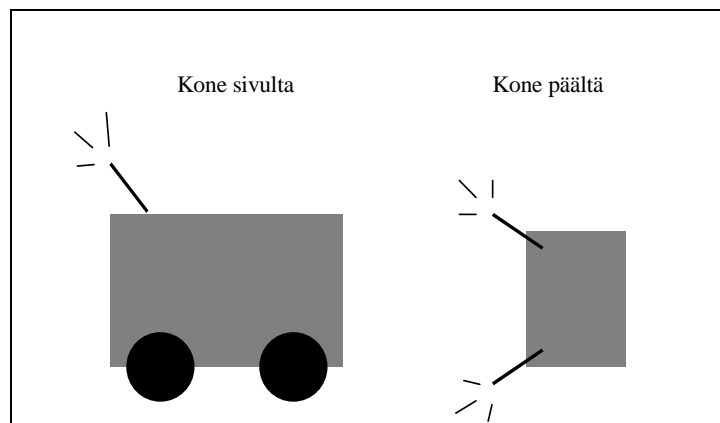
### 4.1 Yleistä

Projektin kuluessa kerättiin aineistoa neljällä eri hakkuukoneella, kahdella Ponsella ja kahdella Timberjackilla. Molemmissa konemerkeissä on kuitenkin samanlainen GPS-varustus. Myös Valmetin koneissa on vastaava GPS-varustus.

### 4.2 RDS-vastaanotto

Yleisin ongelma hakkuukoneiden GPS-vastaanottimissa oli reaaliaikaisen differentiaalikorjauksen toimivuus. Varsinkin harvennushakkuukohteissa korjaussignaalia oli vaikea saada. Osasyitä tähän ovat koneiden radioantennit ja RDS-vastaanottimien asetukset.

Timberjack-koneissa RDS-antenni oli ns. marssiantenni, joka oli asennettu vaakasuoraan koneen välikaton alle. Tämäntyyppinen antenni on tarkoitettu toimimaan ilman maatasoa, esimerkiksi kannettavissa GPS-vastaanottimissa. Hakkuukoneissa koneen metallinen katto kuitenkin muodostaa hyvän maatason, jolloin tavallinen autoradioantenni asennettuna katolle noin 45 asteen kulmaan vaakatasoon nähden on marssiantennia huomattavasti parempi. Uudemmissa Timberjack-koneissa on siirrytty tällaiseen antenniin, joka on käytössä myös Ponssen koneissa. Kuitenkin peitteisissä oloissa, kuten harvennushakkuukohteissa, parhaaseen tulokseen päästään ns. kehädipoliantennilla. Kehädipoliantenneista on olemassa konekäyttöönkin sopivia järeitä malleja. Yksi mahdollisuus parantaa RDS-vastaanottoa voisi olla kahden autoradioantennin asentaminen eri puolille koneen kattoa (kuva 9). Tällaista sovellusta on kokeiltu Tanskassa leikkuupuimureissa, mutta Suomessa ei ole kokemusta vastaavasta.



**Kuva 9.** Kahden autoradioantennin asennus koneen katon vierekkäisiin kulmiin.

Koneiden RDS-vastaanottimet on asetettu hakemaan korjaussignaalia koko ULA-taajuusalueelta, taajuuksia on yli 200. Digitan FOKUS-palvelun taajuuksia puolestaan on koko maassa 47, joista tietyssä pisteessä yhtä aikaa kuuluu 1 - 4. RDS-signaalin katketessa vastaanotin alkaa hakea signaalia käyden kaikki 200 taajuutta läpi. Jos oikea taajuus ei juuri silloin kuulu, kun asemahaussa ollaan sen kohdalla, käydään jälleen kaikki taajuudet läpi. Tämä aiheuttaa sen, että heikoissa olosuhteissa, joissa RDS-vastaanotto on katkonaista, signaalin uudelleen löytäminen kestää kauan tai ei onnistu ollenkaan. Ongelmaa voidaan helpottaa asettamalla RDS-vastaanotin hakemaan korjaussignaalia vain niiltä taajuuksilta, joilla sitä lähetetään. Asetusten muuttaminen tehdään tietokoneohjelmalla, mutta RDS-vastaanottimet on tällä hetkellä asennettu koneisiin siten, että niiden asetuksia ei pystytä muuttamaan ilman tietokoneen sisäisten kytkentöjen muutoksia.

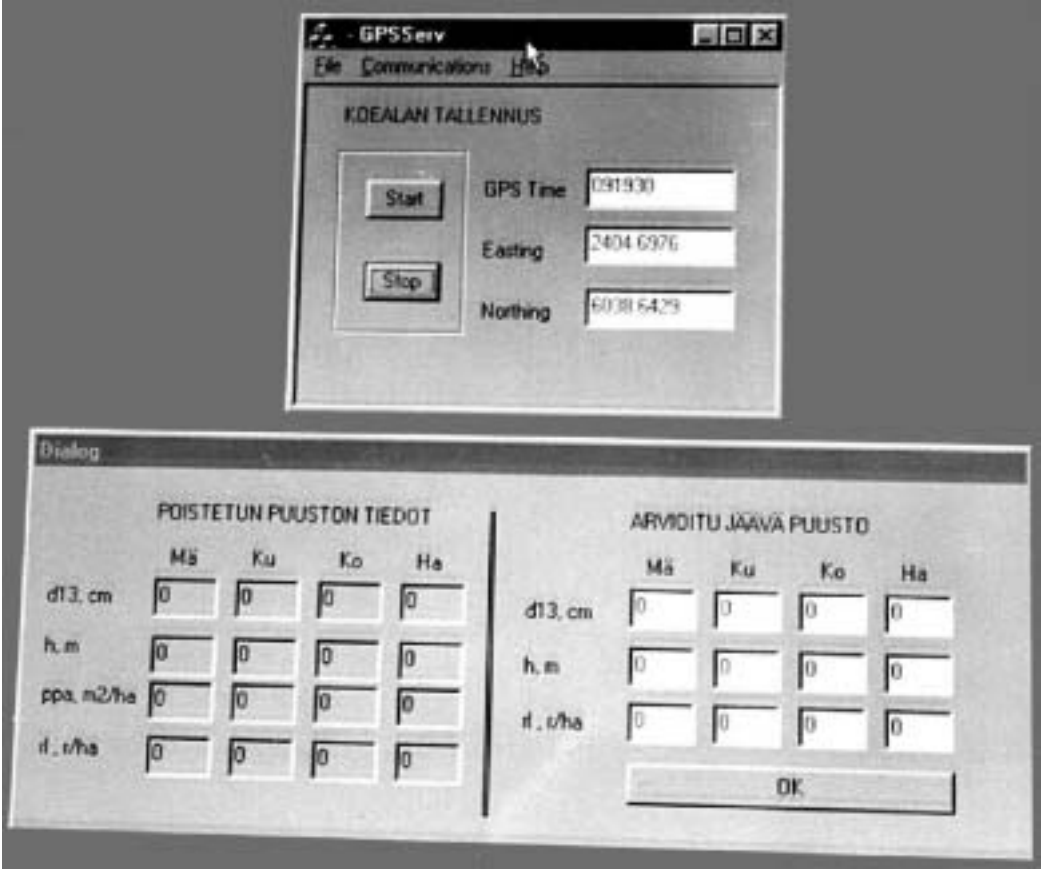
RDS-vastaanottimet tulisi jatkossa kytkeä hakkuukoneiden tietokoneisiin siten, että niiden laitteistoasetuksia voidaan muuttaa ja toimintaa testata ohjelmallisesti. Nykyisissä kokoonpanoissa voidaan vain NMEA-viestistä todeta, että ei saada differentiaalikorjattua sijaintitietoa, mutta ei pystytä tarkistamaan, onko vika RDS-vastaanotimessa vai jossakin muualla.

### **4.3 GPS-vastaanottimet**

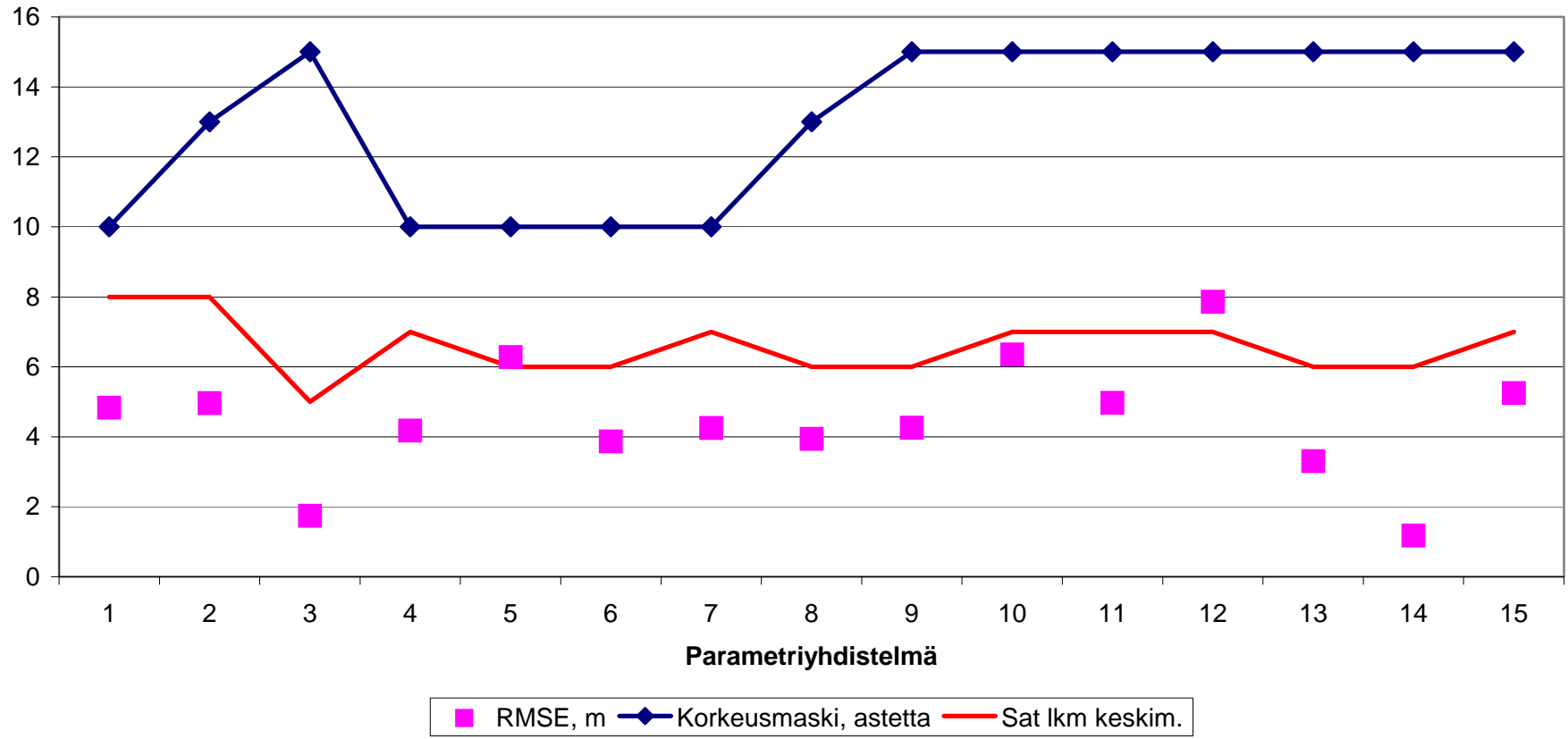
Itse GPS-vastaanottimet toimivat pääsääntöisesti hyvin, ongelmat liittyvät yleensä RDS-vastaanottoon. Nykyisissä kokoonpanoissa vastaanottimet on asennettu kiinteästi toimimaan NMEA-tilassa. Laitteistoasetuksia puolestaan voidaan muuttaa vain binääritilassa. Vastaanotimessa tulisikin olla mahdollisuus muuttaa toimintotilaa koneen mikroa avaamatta. Edellä kuvatuissa tarkkuuskokeissa ei saatu selvää yhteyttä laitteistoasetusten ja tarkkuuden välillä. Kuitenkin muutettavissa olevat laitteistoasetukset mahdollistaisivat laajemmat kokeilut laitteistoasetusten vaikutuksista. Lisäksi binääritilassa voidaan vaikuttaa vastaanottimen toimintaan muutenkin kuin pelkästään GPS-vastaanottoasetusten osalta.

### **4.4 Kuljettajien kokemuksia**

Hakkuukoneiden kuljettajat suhtautuivat pääosin positiivisesti karttajärjestelmään ja GPS-paikannukseen. Parhaaksi puoleksi koettiin se, ettei ohjaimossa tarvitse enää käsitellä paperisia karttoja ja työohjeita. Lisäksi leimikoiden väliset koneen siirrot ovat sujuvia numeeristen karttojen ja GPS:n avulla. GPS-paikannuksen toimivuus koettiin vaihtelevaksi. Parhaimmillaan paikannus voi olla hyvinkin tarkkaa, mutta suuriakin poikkeamia esiintyy. Osa paikannuksen poikkeamista johtuneet huonosti toimivista RDS-vastaanottimista.

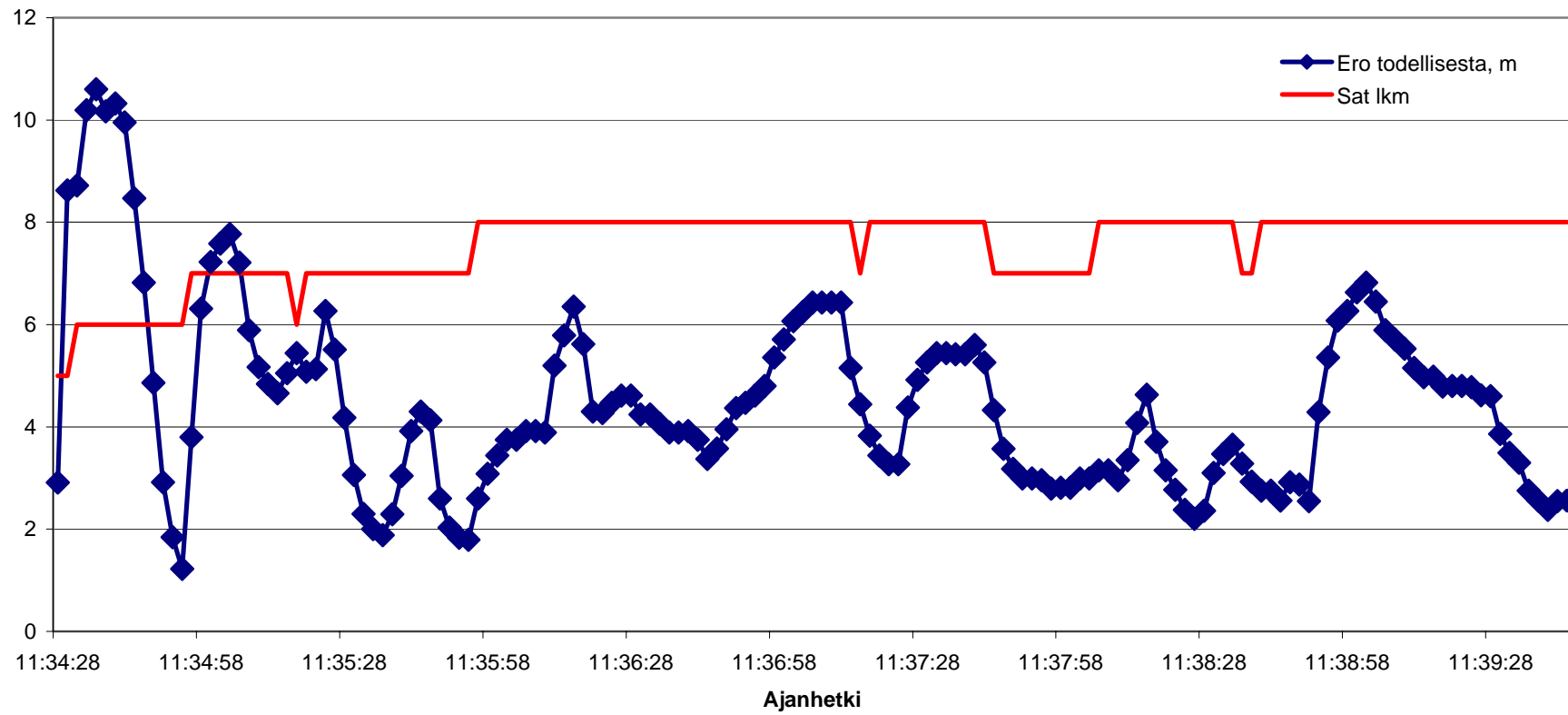


Yksittäisten havaintojen keskiarvoille eri parametriyhdistelmillä

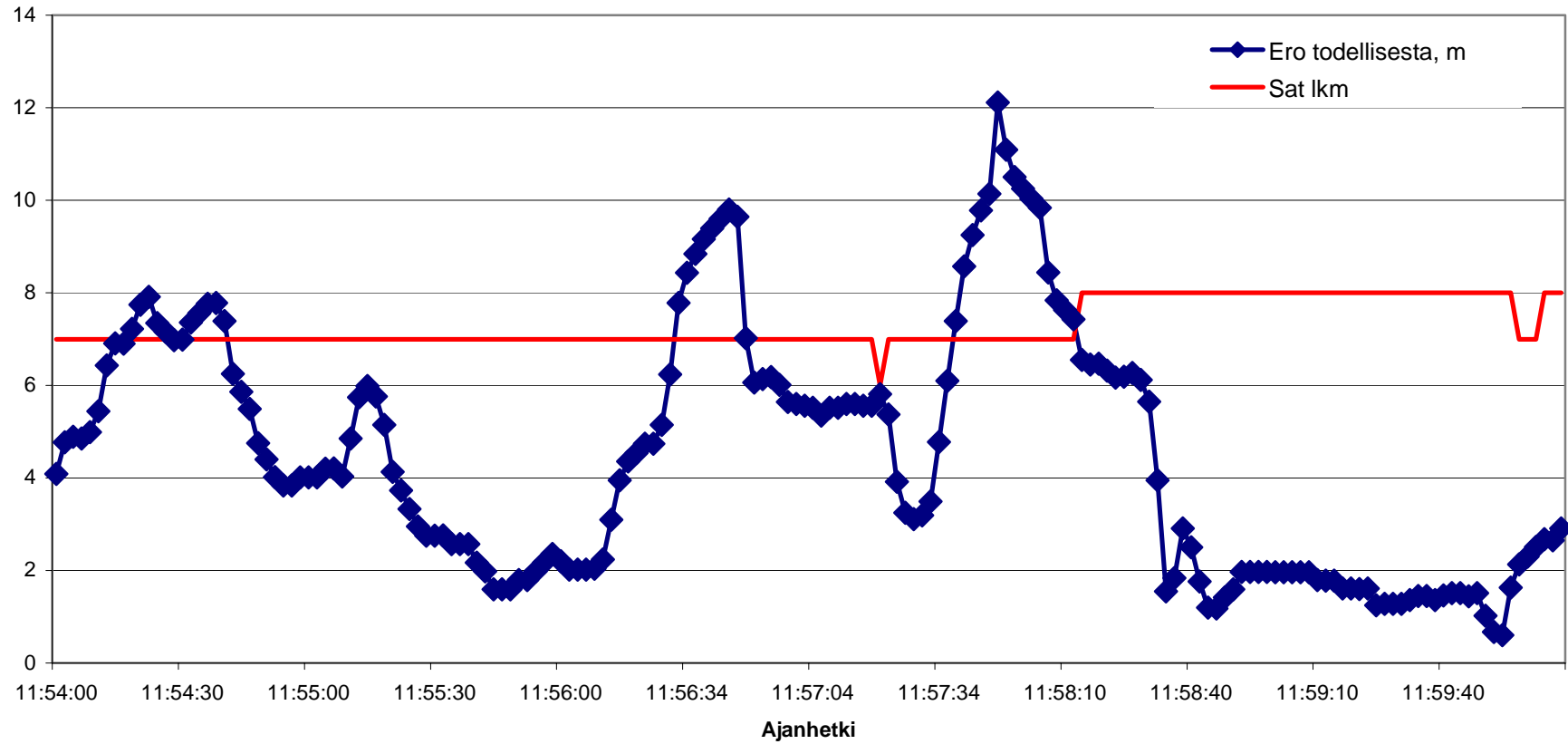




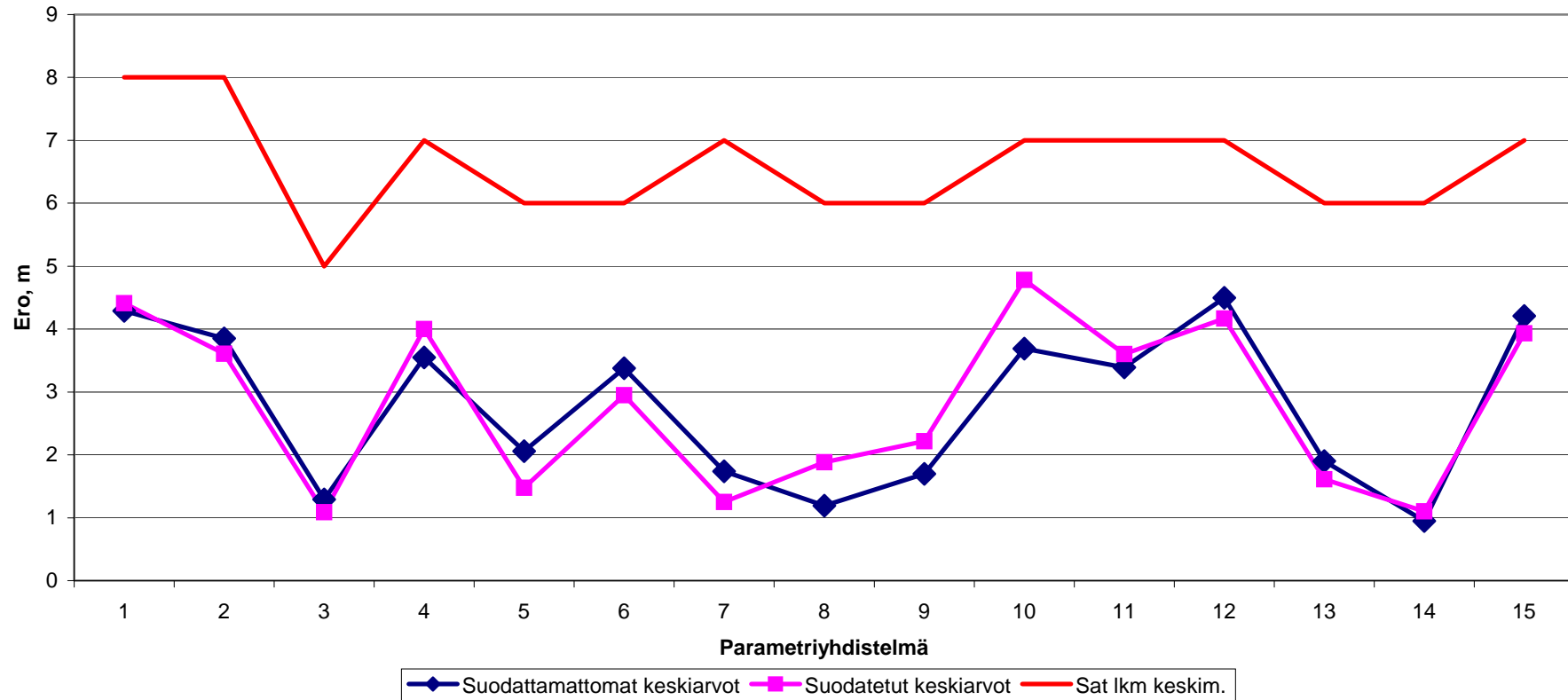
Parametriyhdistelmä 1. Yksittäisen GPS-havainnon ero todellisesta sijainnista.



Parametriyhdistelmä 15. Yksittäisen GPS-havainnon ero todellisesta sijainnista.



Eri parametrijhdistelmien keskiarvot. Suodatetuissa keskiarvoissa otettu mukaan keskiarvon laskentaan havainnot jotka poikkeavat kaikkien havaintojen keskiarvosta alle 0,5 x maksimipoikkeaman verran.



Parametriyhdistelmä 10. Kaikki GPS-havainnot verrattuna niiden keskiarvoon sekä todelliseen sijaintiin.

