ÄLYPUHELIN LEIMIKON ARVIOINNIN VÄLINEENÄ

Anturit, ohjelmistot ja metodi arviointiin

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Metsätalouden koulutusohjelma

Evo, syksy 2015

Tommi Kokkonen

HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Evo
Metsätalouden koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä Tommi Kokkonen **Vuosi** 2015

Työn nimi Älypuhelin leimikon arvioinnin välineenä

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää älypuhelimen mahdollisuuksia leimikon suunnittelun välineenä sekä luoda olemassa olevia työkaluja käyttäen metodi, jota niin metsäammattilainen kuin aktiivinen metsänomistaja tai harrastajakin voi käyttää apunaan puuston mittauksessa ja määrittämisessä. Tämän hetken älypuhelimet sisältävät jo hyvin paljon muistia sekä laskentatehoa erilaisten ohjelmistojen toteuttamiseen ja tiedon tallentamiseen. Lisäksi ne sisältävät yhä kasvavan valikoiman erilaisia sensoreita ja antureita, joiden avulla erilaiset mittaukset ovat mahdollisia.

Työn lähtökohtana olivat älypuhelinten anturitekniikka ja saatavilla olevat ilmaiset sovellukset sekä niiden käyttömahdollisuudet nimenomaan metsän mittauksessa. Näitä käyttäen luotiin metodi puuston (leimikon) arviointiin siten, ettei käyttäjä tarvitse muita välineitä älypuhelimen lisäksi. Tavoitteena oli myös luoda muokattava ja joustava arviointiväline, jonka ominaisuuksia voidaan tarvittaessa muuttaa paremmin vastaamaan kulloisenkin alueen puuston ominaisuuksia. Myös ohjelmistojen ilmaisuus sekä riippumattomuus organisaatioista ja yrityksistä oli yksi työn tavoitteista.

Luotu metodi kuvataan ja sen käyttöä varten luodaan tarpeellinen ohjeistus sen käyttämiseksi ja edelleen kehittämiseksi. Käytännön puuston tilavuusmalleina ja hakkuiden ajoituksen ja harvennusvoimakkuuden lähtökohtina ovat Tapion hyvän metsänhoidon suositukset, mutta kuitenkin parametrisoituna siten, että ne ovat muokattavissa.

Tulosten valossa on täysin mahdollista arvioida puustoa pelkän älypuhelimen avulla. Toisaalta nykyiset laitteet eivät ole ominaisuuksiltaan ideaalisia ajatellen metsän mittaamista – asia, joka kuitenkin todennäköisesti paranee tekniikan kehittyessä.

Avainsanat Mobiiliteknologia, älypuhelin, metsän mittaus, puuston arviointi, leimikko

Sivut 32 s. + Puustolaskurin Excel-toteutus

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Evo
Degree Programme in Forestry

Author Tommi Kokkonen **Year** 2015

Subject of Bachelor's thesis Smartphone as a Tool for Measuring Forest

ABSTRACT

Purpose of this thesis was to examine the possibilities of a smartphone as a tool of estimation for a forest to be cut, and to create a method using existing tools that a professional or active forest owner can utilize when estimating the amount of timber. Today's mobile phones contain relatively large memories and power to calculate for execution of numerous applications and storing data. They also carry a wide range of sensors that can be utilized for measuring purposes.

The basis of the work is formed by the sensor technology inside a modern mobile phone, and the available free applications and the possibilities of using those when measuring forest and timber. Using this available software, a method is created for measuring and evaluating the forest to be cut so that any other measuring tools, beside a smartphone, are unnecessary. One goal is also to create a flexible tool that can be modified by the user to match better the forests of a certain area. Key features are the free software and independency from companies and organizations.

The method created is documented and instructions are given for using and further developing it. Basic models of timber volume calculation and for timing and intensity of the thinnings are taken from Tapio's recommendations for good forestry with the exception that the models are parametrized so that they can be modified.

According to the results it is definitely possible to estimate forest and timber with using only a smartphone. On the other hand a smartphone is not, at least currently, an ideal tool for these measurements mainly because of the limitations of the sensors – a thing that is likely to improve in the future by the evolution of smartphones.

Keywords Mobile technology, smartphone, forest and timber measurement

Pages 32 p. + Forest calculator Excel-application

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 1

2 ÄLYPUHELINTEN ANTURIT 2

2.1 Kiihtyvyysanturit 3
2.2 Satelliittipaikannus 5

3 MITTAAMISEN VÄLINEET 8

3.1 Saatavilla olevat mittausohjelmistot ja niiden ominaisuudet 8
3.1.1 Relaskooppisovellukset 9
3.1.2 Korkeudenmittaussovellukset 9
3.1.3 Etäisyydenmittaussovellukset 10
3.1.4 Pinta-alanmittaussovellukset 11
3.2 Puustotiedon laskenta 11

4 EXCEL-TOTEUTUS 12

4.1 Leimikon tiedot 13
4.2 Harvennusmallit 15
4.3 Tilavuusmallit 17
4.4 Päätehakkuukypsyys ja harvennusrajat 19

5 LEIMIKON ARVIOINTI 19

5.1 Lähtökohdat 19
5.2 Pinta-alan mittaus 20
5.3 Pohjapinta-alan määritys koealoilta 22
5.4 Pituuden määritys 24
5.5 Puustolaskuri 27
5.6 Dropbox 29

6 METODIN TARKKUUS, HAASTEET JA POHDINTA 30

LÄHTEET 33

1 JOHDANTO

Perinteisesti metsän mittauksessa käytetyt välineet koostuvat joukosta erilaisia, hyvin kookkaitakin mittavälineitä ja instrumentteja, joiden mukana kuljettaminen ja säilyttäminen voivat muodostua hankalaksi. Käytettäessä Tapion hyvän metsänhoidon (Äijälä, Koistinen, Vanhatalo & Väisänen 2014) taulukoita ja käyriä puuston tilavuuden sekä harvennusten ajoituksen määrittämiseen, tarvitsee mitata ainakin pohjapinta-ala sekä puuston pituus. Pohjapinta-alan määrittämiseen käytetään tavallisesti relaskooppia, joka on käytännössä levymäiseen kappaleeseen leikattu hahlo, jonka lävitse mittaaja katsoo arvioidessaan puustoa. Hahlo täytyy pitää oikealla etäisyydellä silmästä suhteessa hahlon leveyteen. Tavallisimmissa relaskoopeissa oikea etäisyys määrittyy hahloon kiinnitetyn kiinteän varren tai ketjun avulla, jonka toista päätä pidetään silmän alapuolella, toisen (hahlon) pään ollessa mahdollisimman etäällä silmästä suoraan sen edessä. Puun pituuden määrittämiseen käytetään useita erilaisia mittalaitteita. Näistä yleisin lienee hypsometri, joka perustuu sekä latvan että tyven havaintokulman mittaamiseen tietyltä etäisyydeltä puusta. Havaintoetäisyys (yleensä 15 tai 20 metriä) voidaan määrittää joko mittanauhan avulla tai optisesti käyttäen hypsometrissä olevaa linssiä, jonka läpi tarkasteltuna oikealla etäisyydellä oleva puuhun kiinnitetty apuväline (latta) näyttää tietynlaiselta. Hypsometrin korvaajaksi on kehitetty esimerkiksi laserin ja/tai ultraäänen käyttöön perustuvia mittalaitteita. Nämä ovat kuitenkin yleensä hyvin kalliita. Lisäksi, määritettäessä leimikon puustoa, siis kokonaispuustoa alalla, on tiedettävä kuvion pinta-ala. Tämän tarkkaan ja nopeaan määrittämiseen ei ennen satelliittipaikannusta ole ollut mahdollisuuksia.

Nykyiset älypuhelimet sisältävät käytännössä lähes aina kameran. Reaaliaikaista kuvaa voidaan useimmissa puhelimissa myös tarkastella suhteellisen suurelta näytöltä. Ohjelmistojen avulla voidaan kuvaan lisätä esimerkiksi mitta-asteikko tai vaikkapa halutun kokoinen hahlo, jolloin puhelin on käytännössä toimiva relaskooppi. Puiden runkoja voidaan havainnoida tarkastelemalla puhelimen näyttöä ja laskea pohjapinta-alaan mukaan hahlon täyttävät puut aivan kuten perinteistä relaskooppia käytettäessä. Näytön keskelle voidaan luoda ohjelmallisesti ”tähtäin”, jonka kohteeseen, vaikkapa puun latvaan suuntaamalla saadaan selville havaintokulma aivan kuten hypsometriäkin käytettäessä. Suuri osa älypuhelimista sisältää tähän tarvittavan kiihtyvyysanturin, jolla voidaan yleensä mitata kulmia kolmessa ulottuvuudessa. Tässä tulee esiin ehkä älypuhelinten tällä hetkellä suurin puute – nimittäin havaintokulmiin perustuvassa pituuden mittauksessa on edelleen tiedettävä etäisyys puuhun. Mikäli ei haluta puhelimen lisäksi käyttää latan tapaista apuvälinettä etäisyyden mittaamiseen, on käytössä käytännössä kaksi mahdollista mittaustapaa: joko satelliittipaikannus tai kineettinen, liikeantureihin perustuva etäisyyden määritys. Valtaosa älypuhelimista sisältää satelliittipaikannuksen vähintään GPS:aan perustuvana tai lisättynä GLONASS-paikannuksella. Kiihtyvyysanturien ja gyroskooppien avulla voidaan myös mitata liikkeen määrää – menetelmän heikkoutena ovat tosin epätarkkuus ja etenkin kertautuvat virheet.

Välineet mittaamiseen ovat siis ainakin teoriassa olemassa, sillä katsaus tarjolla oleviin ohjelmistoihin osoittaa, että yleiset anturityypit ovat kameraominaisuuden ohella laajalti hyödynnettyjä ominaisuuksia älypuhelimissa. Tarvittavat mittaukset pystytään siis suorittamaan vain puhelinta tai muuta mobiililaitetta käyttäen. Myös puuston mittaamiseen löytyy valmiita sovelluksia, mutta niiden yleisiä ongelmia ainakin työn kirjoitushetkellä ovat vieraskielisyyden ohella se, etteivät tilavuusmallit sovellu suomalaisiin metsiin tai että ne eivät ole muokattavissa sellaiseksi. Tämä ongelma on kuitenkin ratkaistavissa taulukkolaskennan avulla. Exceliä käyttäen voidaan laatia Tapion taulukoihin perustuva laskin, joka kertoo puuston tilavuuden lisäksi hakkuiden ajoituksen ja ennen kaikkea on käyttäjän muokattavissa.

Markkinoilla on jo useita kaupallisia sovelluksia, joilla voidaan arvioida puustoa ja ainespuun määrää. Näitä tarjoavat useat metsäyhtiöt sekä esimerkiksi Trestima Oy, jonka ohjelmisto (kirjoitushetkellä) lienee yksi käytetyimmistä ja testatuimmista alan ohjelmistoista (Kopakka 2015; Ikäheimo 2015). Älypuhelimen omia antureita käytetään kuitenkin näissä sovelluksissa yleensä vähän tai ei ollenkaan. Varsinainen laskenta voidaan suorittaa usein vasta verkossa, eli mitatut tiedot tai otetut valokuvat siirretään mobiiliverkon välityksellä palvelimelle, jossa analyysi tapahtuu. Metsäyhtiöiden ja muiden alan toimijoiden sovelluksien käyttö taas vaatii yleensä asiakkuutta tai jäsenyyttä. Tämän työn tavoitteena on kuitenkin tutkia juuri puhelimen ominaisuuksia ja niiden riittävyyttä mittausten tekemiseen. Tavoitteena on saada aikaan toimiva ja riippumaton menetelmä käyttäen ilmaisia sovelluksia siten, että edes mobiilidatayhteys ei olisi mittauksia tehdessä pakollinen.

Tämä työ syntyi henkilökohtaisesta kiinnostuksesta älypuhelimen käyttöön metsän mittauksessa. Omaan teknisen taustan ja koulutuksen elektroniikan alalta. Tämä on osaltaan vaikuttanut teknisen aiheen valintaan ja toisaalta se antaa valmiuksia lähestyä asiaa eri kulmasta. Työ on myös tutkielma älypuhelimen mahdollisuuksista ja se toivottavasti rohkaisee tämän monipuolisen välineen käyttöön myös metsäalalla.

2 ÄLYPUHELINTEN ANTURIT

Nykyiset älypuhelimet sisältävät monipuolista anturitekniikkaa. Ne kykenevät mittaamaan liikettä ja kiihtyvyyttä, magneettikenttää, valon voimakkuutta ja jopa sydämen sykettä. Metsän mittaukseen erityisesti soveltuvia antureita ja ominaisuuksia ovat kameran lisäksi satelliittipaikannus (GPS ja GLONASS) sekä kiihtyvyysanturit, joiden avulla voidaan mitata esimerkiksi kulmia. Seuraavassa tutkitaan anturien tarkkuutta ja soveltuvuutta metsäisiin mittaustehtäviin.

2.1 Kiihtyvyysanturit

Älypuhelimissa käytetään yleisesti mikroelektromekaanisia (MEMS) kiihtyvyysantureita. Niitä valmistavat useat eri komponenttivalmistajat. Tämän tyyppisiä antureita on ollut saatavilla jo pitkään, mutta niissäkin tapahtuu kehitystä koko ajan. Keskitytään tarkastelemaan uusimmissa (kehittyneimmissä) ja suosituissa puhelinmalleissa käytettyjä antureita.

Samsungin kärkimallit S5 ja S6 sekä Applen iPhone 6 käyttävät samantyyppisiä antureita, joissa on vähintään 6-akselinen kiihtyvyyden mittaus yhdistettynä gyroskooppiin. Anturien valmistaja on InvenSense, joka muiden valmistajien, kuten esimerkiksi ST Microelectronicsin ja Analog Devicesin tapaan tarjoaa komponenttien datalehdet verkkosivuillaan (InvenSense 2015). Näiden perusteella voidaan evaluoida anturien ja siten kulman mittaamisen tarkkuutta.

Anturien käyttölämpötila-alue on tyypillisesti -40…+85 °C, joten tässä suhteessa ne soveltuvat varsin hyvin vaihteleviin lämpötilaolosuhteisiin ulkokäytössä. Tarkastellun kiihtyvyysanturin paras resoluutio saavutetaan mitattaessa ±2 g:n mittausalueella, jolloin 16-bittisellä AD-muuntimella varustetun anturin herkkyys on 16 384 LSB/g, joka käytännössä tarkoittaa n. 0,06 mg:n erottelukykyä. Tämä ei suinkaan ole anturin tarkkuus, vaan tarkkuutta tarkastellessa täytyy tarkastella valmistajan ilmoittamia virhetekijöitä, jotka on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Ote kiihtyvyysanturin datalehdeltä

Sensitivity Scale Factor	AFS_SEL=0			16,384		LSB/*g*	3
	AFS_SEL=1			8,192		LSB/*g*	3
	AFS_SEL=2			4,096		LSB/*g*	3
	AFS_SEL=3			2,048		LSB/*g*	3
Initial Tolerance	Component-level			±3		%	2
Sensitivity Change vs. Temperature	-40°C to +85°C AFS_SEL=0 Component-level			±0.026		%/°C	1
Nonlinearity	Best Fit Straight Line			±0.5		%	1
Cross-Axis Sensitivity				±2		%	1
ZERO-G OUTPUT							
Initial Tolerance	Component-level, all axes			±60		mg	2
Zero-G Level Change vs. Temperature	-40°C to +85°C, Board-level	X and Y axes		±0.64		mg/°C	1
		Z axis		±1		mg/°C	1

”Initial tolerance” kertoo, millä toleranssilla sensorin nollapiste on oikeassa kohdassa. Tämä epäideaalisuus voidaan käytännössä kalibroida ohjelmallisesti, jolloin voidaan jättää se pois virhetarkastelusta. Sen sijaan herkkyyden ja nollapisteen muutokset lämpötilan funktiona on syytä ottaa huomioon. Koska datalehden arvot on annettu koskemaan +25 °C:n lämpötilaa, tutkitaan millainen vaikutus tarkkuuteen syntyy käyttölämpötila-alueen ääripäissä.

Lämpötilan muutos: +25 °C -(-40 °C) = 65 °C

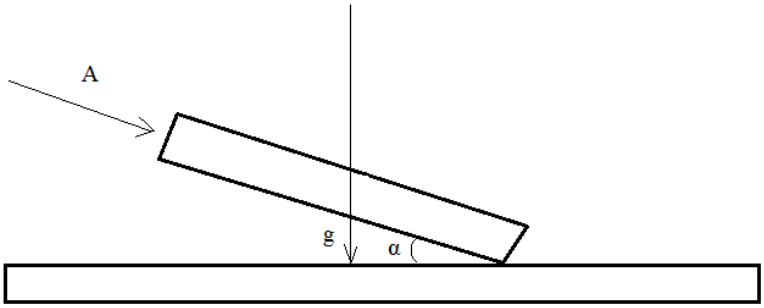
Herkkyyden muutos: 65 °C * -0,026 % = -1,69 % => herkkyyden muutos -40 °C:ssa on tällöin n. 1 µg/LSB, eli ei merkittävä.

Nollapisteen muutos (Z-akselin mukaan): 65 °C * 1 mg/°C = 65 mg
-40 °C:ssa

Epälineaarisuus: kulmamittauksen mitta-alue ±1 g => 1 g * 0,5 % = 5 mg

Nollapisteen muutoksen ja epälineaarisuuden aiheuttama virhe mitattuun kiihtyvyyteen on siis pahimmassa tapauksessa 65 mg + 5 mg = 70 mg. Käytännön sovellutukset kuitenkin saavuttavat paremman tarkkuuden, joka on mahdollista lämpötilakompensoinnin avulla – nollapisteen muutos lämpötilan funktiona pyritään siis eliminoimaan esimerkiksi ohjelmallisesti. Useat kiihtyvyysanturit, kuten tässäkin tarkasteltu, sisältävät lämpötila-anturin, joka mahdollistaa kompensoinnin melko tarkasti, sillä anturin sisäinen lämpötila tunnetaan. Mikäli lämpötilan vaikutus voidaan poistaa kokonaan, jää tarkastellun anturin epätarkkuudeksi ±5 mg.

Virheen vaikutus ei peilaudu lineaarisesti kulmavirheeksi. Tarkastellaan kiihtyvyyden muuntamista kulmaksi yhdellä akselilla siten, että puhelin makaa vaakasuoralla tasolla, josta sen toista päätä kohotetaan ilmaan (kuva 1).



Kuva 1. Kulman määritys

Ajatellaan mitattavan puhelimen kulma α suhteessa vaakatasoon, joka edustaa astelukua 0°. Tällöin kulman yhtälöksi saadaan (1):

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{A}{g}\right) \qquad (1)$$

jossa A on mitattu kiihtyvyys (akseli valittu siten, että mitta-arvo on vaakatasossa 0). Heti havaitaan, että funktio on trigonometrinen. Näin ollen virheen vaikutus riippuu mitattavasta kulmasta. Pienin mitatun kiihtyvyyden A muutos astekulmaa kohden saavutetaan, kun kulma on 45° vaakatasoon nähden. Tällöin mitattu kiihtyvyys muuttuu n. 12,223 mg / ° liikuttaessa kumpaan suuntaan tahansa. 5 mg:n poikkeama aiheuttaa tällöin virheen (2):

$$\Delta\alpha = \frac{5\ mg}{12{,}223\ mg/^\circ} \sim 0{,}41^\circ \quad (2)$$

Tämä vastaa melko hyvin erilaisissa tutkimuksissa havaittua käytännön tarkkuutta – lämpötilakompensoidut kulmamittarit kykenevät puolen asteen tarkkuuksiin. Nykyisillä antureilla on mahdollista päästä jopa 0,2°:n tarkkuuksiin (Luczak 2007).

Tarkkuus on varsin riittävä myös metsänmittausta ajatellen. Jos mitataan havaintokulmaa puun latvaan 20 m:n etäisyydeltä, kulman ollessa 45°:n tuntumassa, 0,5°:n virhe mittauksessa aiheuttaa pituusmittaan n. 35 cm:n heiton. Metsänarvioinnissa tämän suuruusluokan virhe voidaan hyväksyä. Samalla on toki huomioitava, että havaintoetäisyys pidetään mitattaessa riittävänä, jolloin mittavirhe voidaan pitää maltillisella tasolla. Eri puhelinmallien välillä on eroja johtuen käytetyistä anturimalleista sekä ohjelmistoista (algoritmeista). Yhteenvetona voidaan kuitenkin todeta, että nykyisellä puhelinten anturitekniikalla voidaan saavuttaa riittävä mittaustarkkuus.

2.2 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus perustuu maata kiertäviin satelliitteihin, joiden tarkat lentoradat tunnetaan. Satelliitit sisältävät erittäin tarkan atomikellon, jonka avulla ne lähettävät radioteitse tarkkaa kellonaikaa. Satelliittien kellot synkronoidaan kerran vuorokaudessa maassa sijaitsevaan kelloon, ja niiden tarkkaa sijaintia tarkkaillaan jatkuvasti. Satelliitit siis lähettävät sijaintitietoaan sekä kellonaikaa. Paikannuslaite, eli vastaanotin, tarvitsee signaalin vähintään neljältä satelliitilta yksikäsitteiseen kolmiulotteiseen paikanmääritykseen. Paikan määritys perustuu siis käytännössä signaalin kulkuaikojen määritykseen satelliiteilta vastaanottimelle, yhdistettynä satelliittien tunnettuun sijaintiin. (Elliott & Hegart 2006.)

Ensimmäinen ja pitkään ainoa toimiva satelliittipaikannusjärjestelmä on USA:n kehittämä GPS, jonka kehitys alkoi jo 1970-luvulla ja joka valmistui täysin toimivaksi 1995. Myös venäläiset saivat oman GLONASS-järjestelmänsä toimintaan samoihin aikoihin, mutta se kärsi ongelmista. 2000-luvulla kuitenkin GLONASS-järjestelmää elvytettiin ja 2011 se sai lopulta täyteen 24 satelliitin määrän – sama määrä kuin GPS-järjestelmässä. Molemmissa järjestelmissä on kuitenkin lisänä muita kuin paikannussatelliitteja – myös varasatelliitteja. Myös Euroopassa (GALILEO) ja Kiinassa (BeiDou) rakennetaan omia satelliittipaikannusjärjestelmiä. Ne eivät kuitenkaan ole vielä yleisessä käytössä.

GPS oli alkujaan ainoastaan sotilaskäyttöön tarkoitettu, ja sen siviilikäyttöä rajoitettiin heikentämällä signaalin laatua tahallisesti esimerkiksi muuntelemalla kellosignaalia, jotta muussa kuin sotilaskäytössä ei voitaisi saavuttaa niin tarkkaa paikannusta (SA, selective availability). Tästä luovuttiin vuonna 2000, jonka jälkeen samantasoinen signaali ja paikannustarkkuus ovat olleet kaikkien saatavilla (Ganesh & Narayana 2006). Vuonna 2007 tehtiin päätös siitä, etteivät uudet GPS III -satelliitit sisällä

edes tukea SA:lle, ja ettei sitä otettaisi enää käyttöön (Valkoinen Talo 2007).

GPS-laitteita on käytetty yleisesti jo vuosia useilla aloilla ja erityisesti luonnonvara- ja maanmittauskäytössä ne ovat suosittuja. Nykyisin GPS-vastaanotin on useimmissa älypuhelimissa, ja niillä voidaan muokattavien ohjelmistojen avulla toteuttaa hyvinkin moninaisia toimintoja. Monissa uusimmista laitteissa on myös GLONASS-vastaanotin, jolloin saavutetaan useissa tapauksissa parempi tarkkuus, sillä näkyvillä on useampia satelliitteja. Lisäksi GLONASS:n käyttö usein nopeuttaa paikannuksen käynnistystä, eli ns. TTFF:aa (time to first fix)(Pan, Cai, Santerre & Zhu 2014). Puhelinten vastaanottimet ovat kuitenkin kompromissi virrankulutuksen ja suorituskyvyn välillä. Dedikoitu vastaanotin, jossa ainoana pyrkimyksenä on mahdollisimman tarkka paikannus, kuluttaa liikaa tehoa nykyisien puhelinten mittakaavassa. Niinpä puhelinten piirisarjat ovat hieman vaatimattomampia suorituskyvyltään, mikä näkyy mm. paikannuksen nopeudessa käynnistyksessä sekä erityisesti tarkkuudessa. Tämän vuoksi suurin osa laitteista käyttääkin A-GPS:aa paikannuksen apuna. Käytännössä tämä tarkoittaa mobiiliverkon solujen, eli tukiasemien käyttöä sijainnin määrityksessä – tukiasemien tarkka sijainti on tunnettu. Tämä on hyödyllistä erityisesti katvealueilla, kuten hyvin rakennetussa ympäristössä (kaupungit), jossa rakennukset voivat peittää suoran yhteyden satelliitteihin, ja jossa taas toisaalta tukiasemia on paljon. Tällaisissa ympäristöissä korostuu yksi suurimmista satelliittipaikannuksen ongelmista, ns. monitieheijastus. Se on tilanne jossa signaali heijastuu ympäristön objekteista saavuttaen vastaanottimen vääristyneenä (Hannah 2001). Samanlainen tilanne syntyy myös metsässä, jossa esimerkiksi puiden latvukset tai korkeat kalliot peittävät merkittävästi näkyvyyttä satelliitteihin.

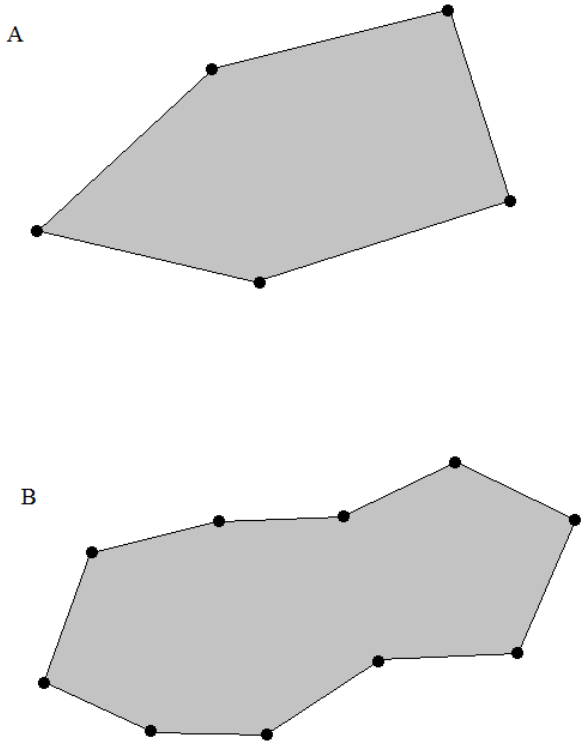
Käytännössä älypuhelimet kykenevät jo nykyisin hämmästyttävän hyviin tarkkuuksiin, ottaen huomioon niiden rajoitteet. Esteettömällä näkyvyydellä satelliitteihin saavutetaan parhaimmillaan jo n. 3 metrin tarkkuus (Shaner 2013). Etäisyyksiä, eli kahden pisteen välistä matkaa, voidaan mitata kuitenkin jopa tarkemmin kuin absoluuttista paikkaa. Tämä perustuu siihen, ettei tarkkojen koordinaattien tunteminen ole olennaista mitattaessa siirtymää, mikäli virhe kahden mittapisteen mittauksissa on sama, tai ainakin samansuuntainen. Tätä havainnollistettiin suorittamalla koe, jossa mitattiin tarkasti 20 m pituinen matkan etelä-pohjoissuunnassa mittanauhan avulla. Tämän jälkeen mitattiin alku- ja loppupisteiden välinen etäisyys siihen tarkoitetulla ohjelmalla ”GPS distance meter”. Mittaus toistettiin kymmenen kertaa vaihtaen mittaussuuntaa jokaisen kerran jälkeen. Koe toistettiin myös itä-länsisuunnassa, mahdollisen liikesuunnan vaikutuksen eliminoimiseksi. Tulokset ovat taulukossa 2 (s. 7).

Taulukko 2. Testin tulokset

lukema [m]	suunta						keskiarvo	keskihajonta
etelä-pohjoinen	etelästä	17	20,1	19	20,1	20,2	19,28	1,22
	pohjoisesta	19,2	19,2	19,1	20,7	22,6	20,16	1,36
itä-länsi	lännestä	20,3	19,9	21,9	20,9	21,5	20,9	0,74
	idästä	19,1	20,4	21,4	22,6	21,8	21,06	1,21
					kaikille		20,35	1,35

Mittaukset suoritettiin iltapäivällä, 27 satelliitin ollessa horisontissa. Näistä 20 oli käytössä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että sekä GPS-, että GLONASS-satelliitteja käytettiin paikannukseen, sillä yhden järjestelmän satelliitteja ei ole näkyvillä vastaavaa määrää yhtäaikaisesti. Puhelimen ohjelmiston ilmoittama paikannustarkkuus oli 3 m ja maasto oli melko esteetön, tyypillinen omakotitalon puutarha. Otos on pieni, mutta testituloksista voidaan nähdä ainakin se, että keskimäärin etäisyys voidaan mitata tarkemmin kuin ilmoitettu paikannuksen tarkkuus. On kuitenkin lähes mahdotonta tietää, milloin mittaus osuu riittävän lähelle totuutta. Lisäksi testiympäristö oli signaalin kannalta hyvä. Näin ei useinkaan todellisessa mittausympäristössä, metsässä ole.

Käytännössä siis puhelimilla päästään jo monissa tapauksissa samoihin tarkkuuksiin pienten kädessä pidettävien GPS-vastaanottimien kanssa. Nämä laitteet ovat aiemmin olleet mm. metsäammattilaisten käytössä, mutta puhelimet ovat osin syrjäyttäneet ne (puhelin on joka tapauksessa aina mukana); ne sisältävät nykyisin jopa paremman näytön kartan tarkastelua varten. Tässä mielessä puhelinta voidaan pitää soveltuvana laitteena satelliittipaikannuksen avulla tehtäviin mittauksiin, kuten erityisesti pinta-alan, mutta myös etäisyyksien määritykseen. On kuitenkin pidettävä mielessä kaikkia satelliittipaikannuslaitteita koskevat seikat, etenkin tarkkuuteen suoraan vaikuttavat häiriölähteet. Yksi keino varmistua tarkkuudesta, ainakin jollain tasolla, on asentaa puhelimeen GPS-signaalia ja paikannuksen laatua valvova ja visualisoiva ohjelma. Toinen huomionarvoinen seikka on valittavat mittausohjelmat. Esimerkiksi pinta-alamittausten tarkkuus riippuu suuresti siitä, miten usein ohjelma mittaa ja tallentaa reittipisteen, eli ottaa näytteen. Tämä on seikka, jota hyväkään vastaanotin ei korvaa. Kuva 2 (s. 8) havainnollistaa näytteenoton vaikutusta tarkkuuteen.



Kuva 2. Saman alueen mittaus viidellä (A) ja kymmenellä reittipisteellä (B)

3 MITTAAMISEN VÄLINEET

Tässä työssä rajoitutaan Android-käyttöjärjestelmää hyödyntäviin älypuhelimiin sekä niille saatavilla oleviin ohjelmistoihin. Tämä siksi, että kyseinen käyttöjärjestelmä on ylivoimaisesti yleisin ja sille kehitettyjä ohjelmia on tarjolla lukumääräisesti eniten. Tätä tukee myös (ilmaisten) ohjelmiston kehitystyökalujen hyvä saatavuus sekä kehittäjien (harrastajat) suuri määrä. Sinänsä eri käyttöjärjestelmillä toimivat älypuhelimet eivät kuitenkaan ratkaisevasti eroa tekniikaltaan, joten ainakin teoreettiset mahdollisuudet niiden hyödyntämiseen ovat yhtenevät.

3.1 Saatavilla olevat mittausohjelmistot ja niiden ominaisuudet

Kuten edellä todettiin, puuston määrittämiseksi tarvitaan relaskoppisovellus, korkeuden mittaamissovellus, etäisyyden mittaussovellus sekä pinta-alan mittaussovellus. Android-käyttöjärjestelmällä toimivia sovelluksia voi ladata älypuhelimeen Googlen Play-palvelusta. Play-palvelua voi käyttää joko selaimella tai Play-kauppa -applikaatiolla, joka useimmissa Android-puhelimissa on esiladattuna.

3.1.1 Relaskooppisovellukset

Play-palvelussa on saatavilla kirjoitushetkellä kaksi ilmaista relaskooppisovellusta – Bitterlich relascope sekä suomalainen VTT:n kehittämä Relasphone.

Relasphonea käytettäessä luodaan ensiksi metsikkökuviot, joille annetaan perustiedoiksi pinta-ala ja kehitysluokka, joiden lisäksi ohjelmassa on kenttä vapaille muistiinpanoille. Pinta-ala ja kehitysluokka asetetaan liukupalkin avulla. Ideana on tallentaa mittaukset kuviokohtaisesti. Niihin voidaan liittää myös valokuvia, joiden ottamiseen ohjelmassa on myös mahdollisuus. Relaskooppinäkymässä on painikkeet männylle, kuuselle ja koivulle sekä puolituspainike, jonka avulla voidaan lisätä pohjapinta-alaa puolikas kerrallaan. Ohjelma laskee kertyneiden puulajikohtaisten pohjapinta-alojen perusteella myös metsikön tilavuuden, kun siihen syötetään pituustieto. Myös tilavuus ilmoitetaan puulajeittain ja mittausaika ja paikka (koordinaatit) tallentuvat. Kirjoitushetken ohjelmaversion (1.5) ominaisuuksissa mainitaan myös relaskoopin kalibrointimahdollisuus sekä puun hintatietojen asettelu – nämä eivät kuitenkaan toimi odotetusti. Lisäksi sinänsä toimivat tilavuuslaskennat eivät ole käyttäjälle avattuja, eli laskennan perusteet eivät ole näkyvissä eivätkä muuteltavissa.

Bitterlich on jossain määrin karsitumpi sovellus – puhdas relaskooppi. Sen kalibrointi on helppoa ja toisin kuin relasphonea, sitä voi käyttää kun puhelin on joko pysty- tai vaaka-asennossa. Ohjelmassa on asetukset tiheälle, normaalille ja harvalle metsälle, jolloin relaskooppihahlon täyttävä puu lasketaan eri kertoimella mukaan pohjapinta-alaan. Tarkoitus on helpottaa mittauksia erilaisissa olosuhteissa. Eri puulajeille ei ole omaa laskuripainikettaan, vaan ainoastaan ykkösen tai puolikkaan lisäävät painikkeet. Lisäksi näkymää voidaan zoomata ja muokata erilaisilla efekteillä, joiden tarkoitus on ilmeisesti parantaa erottelukykyä esimerkiksi hankalissa valaistusolosuhteissa. Ohjelma hyödyntää puhelimen asentoanturia tunnistamalla kulman, jossa puhelinta pidetään. Tämä auttaa käyttäjää pitämään mittavälinettä suorassa vähentäen virheitä. Näytössä näkyvän kulmalukeman lisäksi puhelimen asento vaikuttaa relaskooppihahlon kokoon automaattisesti.

Näistä sovelluksista parhaalta relaskoopilta vaikuttaa Bitterlich, englanninkielisyydestään huolimatta. Sen toimiva kalibrointimahdollisuus mahdollistaa relaskoopin säätämisen toimivaksi erilaisilla puhelimilla ja erilaisilla optiikoilla. Puuttumaan jää ainoastaan puulajikohtainen laskuri.

3.1.2 Korkeudenmittaussovellukset

Puun tai muun kohteen korkeuden mittaamiseen soveltuvia sovelluksia on saatavilla useita. Erityisesti puun pituuden mittaamiseen tarkoitettuja ilmaissovelluksia ovat ainakin Measure height ja Tree height measurement -sovellukset. Sinänsä muutkin korkeuden mittaamiseen tarkoitetut ohjelmat käyvät metsän arviointiin aivan yhtä hyvin.

Mittaus perustuu kaikissa sovelluksissa käytännössä puhelimen kiihtyvyysantureihin, joiden avulla voidaan myös mitata kulmaa perustuen maan vetovoiman aiheuttamaan kiihtyvyyteen. Voidaan siis mitata melko luotettavasti havaintokulman puun tyveen ja latvaan. Ongelmaksi muodostuu yleensä vaadittava tarkka etäisyystieto havaintopaikasta puuhun. Osa sovelluksista yrittää eri tavoin arvioida etäisyyttä, mutta mitään näistä metodeista ei voitane pitää riittävän tarkkana. Etäisyyden mittaus on siis ratkaistava muulla tavoin.

Kun etäisyys on tiedossa, voidaan käyttää korkeuden mittaukseen vaikkapa Measure height -sovellusta, johon syötetään korkeus, jolla puhelinta pidellään sekä mitatessa etäisyys puuhun. Tämän jälkeen osoitetaan tyveä näytön tähtäinristikolla ja kosketaan näyttöä vahvistukseksi mittauksesta. Sama toistetaan osoittaen latvaa. Kulmien perusteella ohjelma antaa mittaustiedon melko luotettavasti ollen yhtäpitävä hypsometrimittauksen kanssa.

Toinen tapa pituuden mittaamiseen on käyttää ainoastaan kulman mittaamiseen tarkoitettua ohjelmaa, kuten Bubble level, jonka on toteuttanut NixGame. Tällöin mitataan havaintokulma puun latvaan ja tyveen tietyltä etäisyydeltä, tai vaihtoehtoisesti puun latvaan ja tyveen kahdesta eri mittauspisteestä, joiden etäisyys toisistaan tunnetaan. Mittapisteiden ja mitattavan puun on oltava samalla suoralla. Etäisyys voi olla periaatteessa mikä tahansa, ja kohtuullisen tarkkoihin tuloksiin päästään, kun käyttäjä osaa arvioida tai tuntee askelpituutensa ja mittaa etäisyyden siirtymällä vaikkapa viisi askelta eteenpäin kulmia mitatessaan. Tämä metodi on toteutukseen valittu mittaustapa, ja se on tarkemmin kuvattu luvussa 4. Jotta päästään samanlaiseen tarkkuuteen kuin perinteisellä hypsometrillä, jota voitaneen tässä pitää jonkinlaisena referenssinä, on syytä kuitenkin käyttää apuvälineenä esimerkiksi 3,99 m vapaa, joka kuuluu runkoluvun arvioinnin perusvälineistöön. Sen avulla voidaan vakioida mittapisteiden välinen siirtymä. Lisäksi, jotta kulmamittauksen virheitä voitaisiin vähentää (luku 2.1), on syytä pitää mittauskulmat maltillisina, mielellään alle 40°. Tämä tarkoittaa riittävää etäisyyttä mitattavasta puusta.

3.1.3 Etäisyydenmittaussovellukset

Etäisyyden mittaamiseen tavallisimmilla älypuhelimilla on teoreettisesti kaksi mahdollisuutta: joko satelliittipaikannuksen (GPS ja/tai GLONASS) avulla tai sitten kiihtyvyysanturien avulla havaittua liikettä laskemalla. Jälkimmäinen tapa ei ole yleisesti käytössä, joten satelliittipaikannus lienee ainoa realistinen vaihtoehto tällä hetkellä.

Käyttötarkoitusta parhaiten palvelee sovellus, jonka käyttö on mahdollisimman yksinkertaista: painetaan nappia alkupisteessä, liikutaan loppupisteeseen, jossa jälleen painetaan nappia. Tällä tavoin toimivia sovelluksia on saatavilla useita: Distance calculator, GPS distance meter ja GPS tape measure edustavat tyypillisiä saatavilla olevia ohjelmia.

3.1.4 Pinta-alanmittaussovellukset

Pinta-alan mittaamiseen soveltuvia ohjelmia on runsaasti, ja ne kaikki perustuvat käytännössä satelliittipaikannukseen. Eroja toki syntyy ominaisuuksissa, käytettävyydessä ja tietenkin mainosten määrässä, kuten on muidenkin ohjelmien kohdalla. Toimivia ohjelmia ovat muun muassa GPS fields area measure ja Distance and area measurement. Ensimmäisestä on saatavilla myös maksullinen ja mainokseton versio.

GPS- ja GLONASS-sovellusten kanssa on huomioitava erityisesti paikannuksen tarkkuus. Jos puhelimen satelliittipaikannus käynnistetään vain hieman ennen kuin sovellusta aletaan käyttää, saattaa paikannuksen tarkkuus olla vaatimaton. Yleensä vastaanotto on oltava päällä hetken aikaa ennen kuin saadaan signaali riittävän monelta satelliitilta. Ohjelman valinnassa kannattaakin ottaa huomioon se, miten siinä ilmaistaan paikannuksen laatu – asia, joka koskee myös etäisyyden mittausta. Lisäksi mittausfrekvenssin, eli käytännössä reittipisteiden mittaustiheyden, on oltava riittävän suuri mitattaessa pinta-alaa. Venäläinen GLONASS on käytännössä lisännyt puhelinten paikannustarkkuutta, joten puhelinta valitessa kannattaa myös eri paikannusjärjestelmien tuki ottaa huomioon.

3.2 Puustotiedon laskenta

Puuston laskentaan ja arviointiin on kehitetty useampiakin erilaisia mobiilisovelluksia. Niiden käyttöä tämän työn perspektiivissä rajoittavat kuitenkin useat eri tekijät: maksullisuus, vieraskielisyys, laskennan soveltumattomuus kotimaiselle puustolle tai se, ettei laskennan perusteita tai teoriaa ole avattu käyttäjälle. Tämän työn yhtenä tavoitteena on kuitenkin luoda metodi, jossa käyttäjä pystyy muokkaamaan laskentaa vastaamaan todellisuutta. Ei voida voi olettaa, edes Suomen valtion rajojen sisäpuolella, metsien olevan niin homogeenisiä, että arvioinnista selvitään yhdellä ainoalla jäykällä laskentamallilla. Toisaalta esimerkiksi metsäammattilainen voi haluta mukauttaa vaikkapa harvennusvoimakkuutta haluamaansa suuntaan, jos tuntee koneketjun työjäljen. Lisäksi tarvitaan ohjelman, joka toimii myös ilman dataverkkoyhteyttä. Usein nimittäin on niin, että yhteys on huono jopa eteläisen Suomen metsissä, eikä toisaalta haluta verkon häiriöiden keskeyttävän puuston arviointia.

Käytännössä toimivin vaihtoehto toteuttaa laskenta halutulla tavalla, ilman korkeamman tason sovelluskehitystä, on luoda Excel-taulukko, joka on käyttäjän muokattavissa. Excel-taulukoita avaavia ohjelmia on saatavilla eri kehittäjien tekeminä, mutta toisaalta alkuperäiset Microsoftin tuotteet ovat se varmin vaihtoehto varsinkin, kun yhtiön Office- ja Excel-sovellukset Androidille ovat ilmaisia.

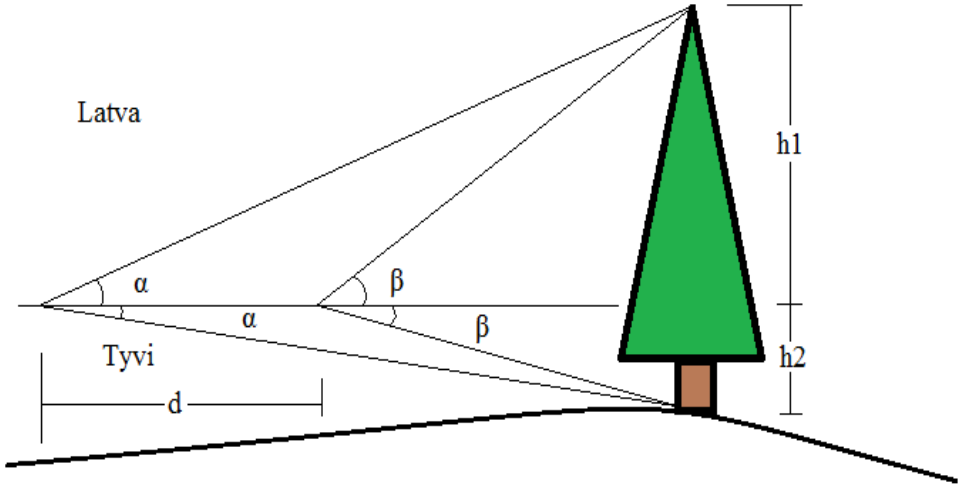
Mobiilikäyttö kuitenkin asettaa ehtonsa ja rajoitteensa toteutettavalle taulukkolaskennalle. Ensinnäkin on otettava huomioon käyttöliittymän rajoitteet: näytön koko ja fyysisen näppäimistön puute sanelevat toteutuksen raamit. Lisäksi mobiili-Excel ei tue kaikkia ominaisuuksia, joita windows-toteutuksessa on: kaikki funktiot eivät toimi, makrot eivät ole sallittuja jne.

Lähtökohtana puuston arvioinnille ja harvennusmalleille käytetään metsäalalla yhä yleisesti referenssinä toimivia Tapion hyvän metsänhoidon suositusten taulukoita ja käyriä. Ne pyritään esittämään yhtälömuodossa ja kuitenkin niin, että käyttäjä voi halutessaan muokata niitä riittävän helposti – samalla säilyttäen niiden havainnollisuus. Toisaalta toteutuksen on oltava sellainen, että se palvelee myös sellaista käyttäjää, joka ei halua sekaantua laskentaan, vaan odottaa yksinkertaista, helppoa ja informatiivista käyttöliittymää.

4 EXCEL-TOTEUTUS

Seuraavassa käydään läpi Excel-puustolaskurin toiminta ja toteutus pääpiirteissään. Tarkkoihin yksityiskohtiin funktiotasolla ei mennä, sillä toteutustapoja on yhtä monta kuin tekijöitäkin. Laskennan perusteet ja käyttäjän mahdollisuudet laskurin muokkaamiseen ovat kuitenkin oleellinen osa laskurin käyttöä, joten ne on käyty läpi. Microsoft Excel on kirjoitushetkellä saatavissa Play-kaupasta maksutta ja sen pidempiaikainen käyttö vaatii ainoastaan rekisteröinnin. Lisäksi kannattaa asentaa Dropbox-sovellus, joka on pilvipalvelu ja sovellus tiedostojen tallentamiseen, jakamiseen sekä synkronointiin eri laitteiden välillä. Mobiili-Excel osaa käyttää suoraan Dropboxia, jolloin puustolaskuri voidaan siirtää esimerkiksi muokkauksen jälkeen PC-tietokoneelta pilvipalveluun, josta se on aina ladattavissa puhelimeen ja Excelillä suoraan avattavissa. Tämä on kätevä työkalu esimerkiksi päivitettäessä laskuria.

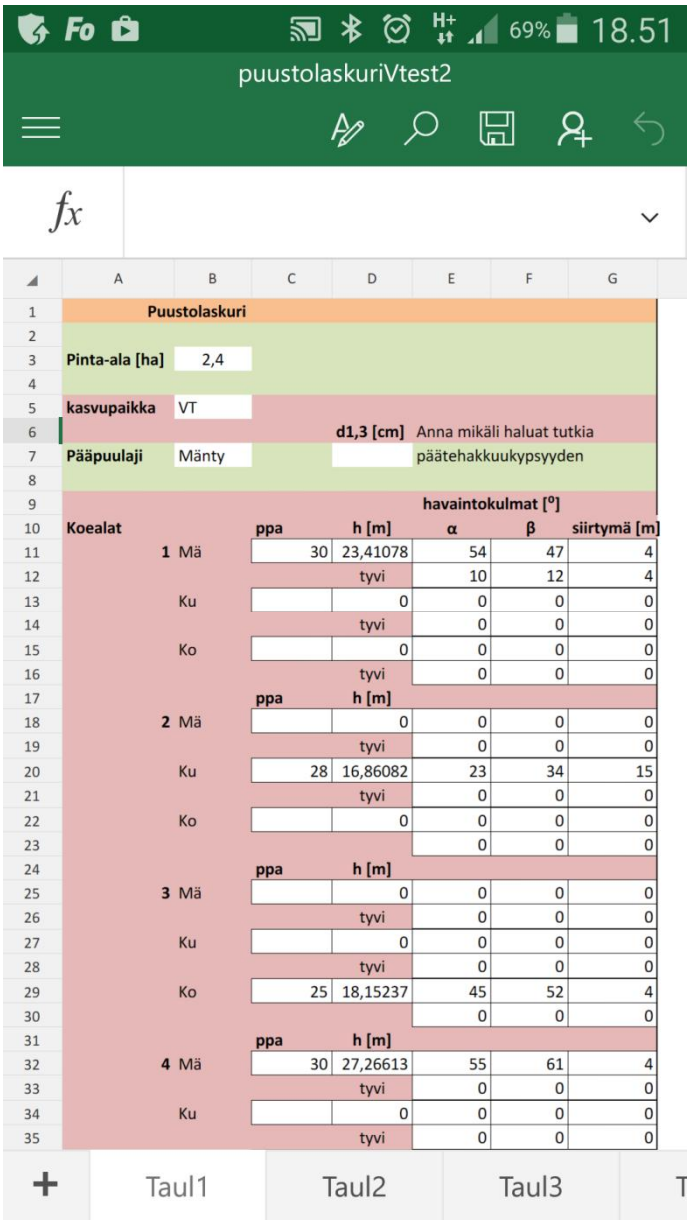
Esitellyssä Excel-toteutuksessa puun pituus määritetään mittaamalla havaintokulmat latvaan ja tyveen kahdelta eri etäisyydeltä (kuva 3, s. 13). Kun kulmat ja mittauspisteiden etäisyys d toisistaan ovat tunnettuja, voidaan määrittää osapituudet h1 ja h2 ilman, että tunnetaan etäisyyttä puuhun. Tämä menetelmä on valittu siksi, että se on käytössä osoittautunut luotettavammaksi kuin pituuden määritys käyttäen GPS:lla mitattua etäisyyttä puusta ja erillistä korkeudenmittausohjelmaa. Lisäksi menetelmä on joustavampi mittauspaikan valinnan suhteen. Excel-toteutus perinteisempää mittaustapaa käyttävälle on kuitenkin myös tehty tämän työn puitteissa – siinä pituuden voi antaa suoraan metreinä.



Kuva 3. Pituuden määrityksen menetelmä

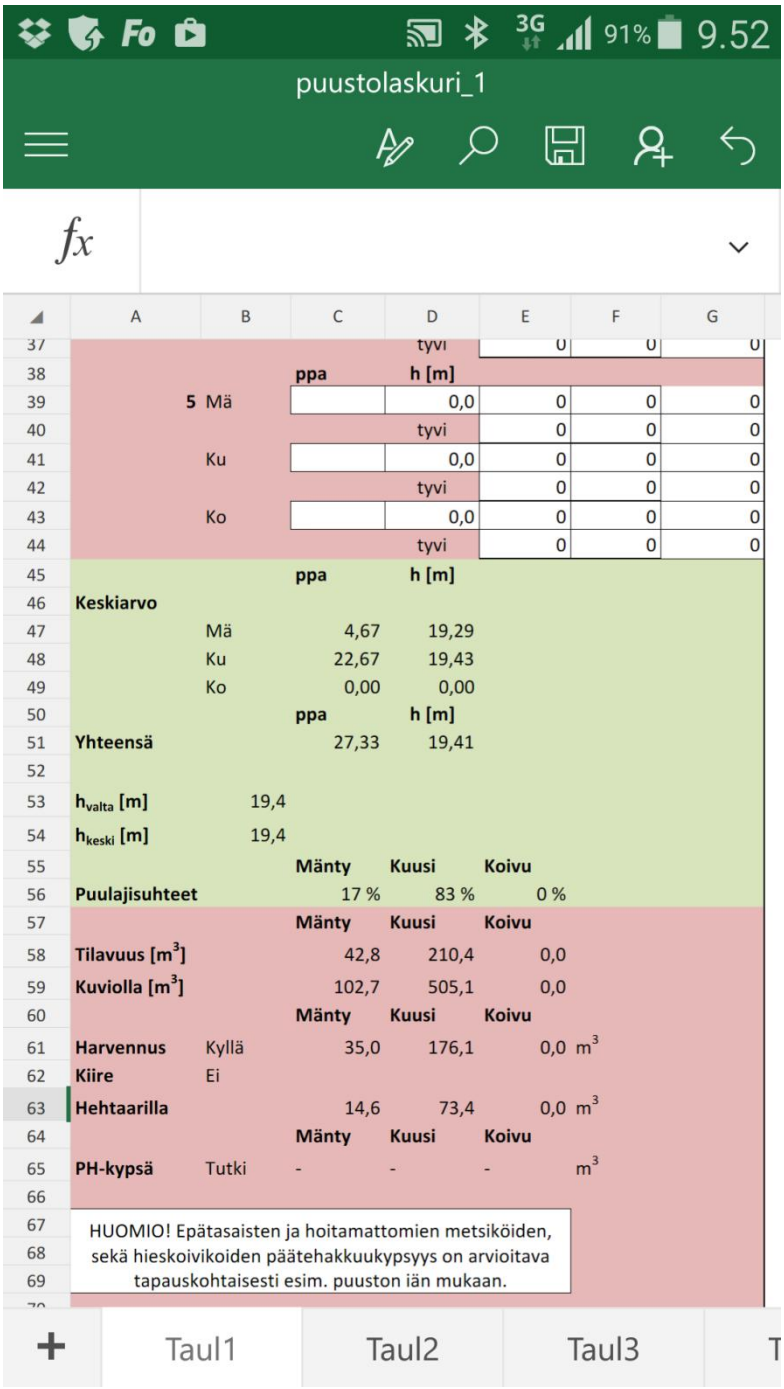
4.1 Leimikon tiedot

Puustolaskurin ensimmäiselle sivulle (kuva 4, s. 14) syötetään leimikon perustiedot: pinta-ala, kasvupaikka sekä pääpuulaji. Näiden jälkeen annetaan koealatiedot enintään viideltä koealalta. Myös rinnankorkeusläpimitalle on oma solunsa, mutta se ei ole oleellinen tieto puuston arvioinnissa, sillä Tapion taulukoista saadaan tilavuus- ja harvennustieto ilman tätä. Sen avulla kuitenkin käyttäjä voi saada tietoa uudistuskypsyydestä. Koealatiedot annetaan puulajeittain (mänty, kuusi, koivu). Tietoina annetaan vähintään pohjapinta-ala, havaintokulmat kahdesta pisteestä sekä pisteiden välinen etäisyys. Puun pituus lasketaan annettujen arvojen perusteella. Samalla sivulla näkyy myös tiivistettynä oleellinen tieto puustosta: koealojen keskiarvot, valtapituus ja keskiarvopituus, puulajisuhteet, tilavuudet puulajeittain kuviolla ja hehtaaria kohden, harvennuksen tarpeellisuus ja kiireellisyys, mahdollinen päätehakkuukypsyys sekä hakkuun kertymä kuviolla ja hehtaaria kohti siinä tapauksessa, että hakkuu on ajankohtainen. Laskennan tulokset ovat kuvassa 5 (s. 15).



Kuva 4. Leimikon perustiedot sekä koealatiedot

Laskennassa käytetään apuna puustolaskurin muita välilehtiä, joilla sijaitsevat niin harvennusmallit, kuin tilavuustaulukotkin. Muilla välilehdillä on myös laskettu erilaisia väli- ja aputuloksia sekä tulkittu päätehakkuukypsyyttä.



	A	B	C	D	E	F	G
37				tyvi	0	0	0
38			ppa	h [m]			
39	5 Mä			0,0	0	0	0
40				tyvi	0	0	0
41		Ku		0,0	0	0	0
42				tyvi	0	0	0
43		Ko		0,0	0	0	0
44				tyvi	0	0	0
45			ppa	h [m]			
46	**Keskiarvo**						
47		Mä	4,67	19,29			
48		Ku	22,67	19,43			
49		Ko	0,00	0,00			
50			ppa	h [m]			
51	**Yhteensä**		27,33	19,41			
52							
53	**h_{valta} [m]**	19,4					
54	**h_{keski} [m]**	19,4					
55			**Mänty**	**Kuusi**	**Koivu**		
56	**Puulajisuhteet**		17 %	83 %	0 %		
57			**Mänty**	**Kuusi**	**Koivu**		
58	**Tilavuus [m^3]**		42,8	210,4	0,0		
59	**Kuviolla [m^3]**		102,7	505,1	0,0		
60			**Mänty**	**Kuusi**	**Koivu**		
61	**Harvennus**	Kyllä	35,0	176,1	0,0	m^3	
62	**Kiire**	Ei					
63	**Hehtaarilla**		14,6	73,4	0,0	m^3	
64			**Mänty**	**Kuusi**	**Koivu**		
65	**PH-kypsä**	Tutki	-	-	-	m^3	
66							
67	HUOMIO! Epätasaisten ja hoitamattomien metsiköiden,						
68	sekä hieskoivikoiden päätehakkuukypsyys on arvioitava						
69	tapauskohtaisesti esim. puuston iän mukaan.						

Kuva 5. Lasketut puustotiedot

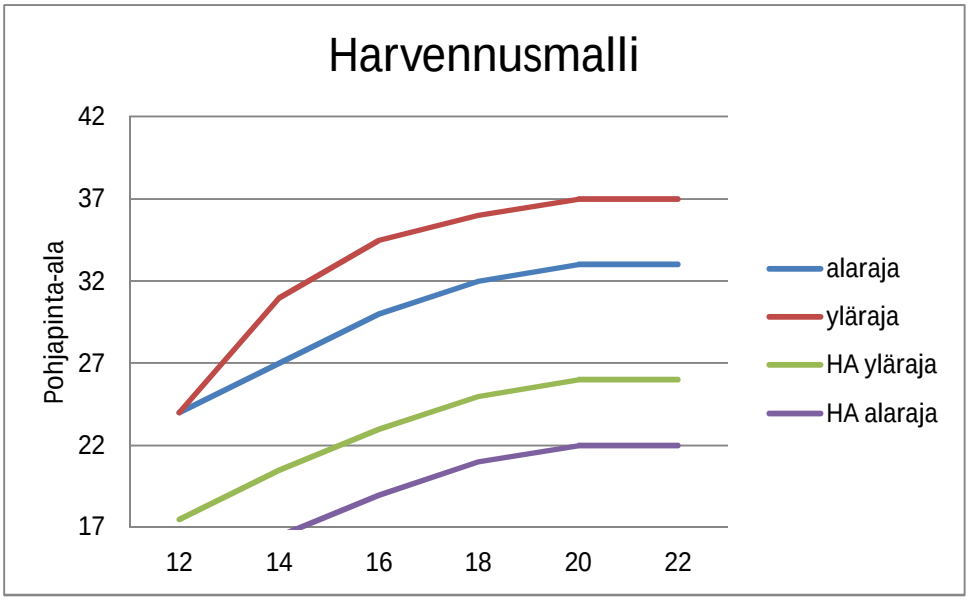
4.2 Harvennusmallit

Välilehdiltä 2–6 löytyvät harvennusmallit (kuva 6, s. 16) niiltä osin kuin ne on yleisesti esitelty Tapion hyvän metsänhoidon oppaassakin (Äijälä, ym. 2014). Mallit vastaavat eteläisen Suomen malleja, mutta käyttäjä voi halutessaan muuttaa ne vastaamaan muitakin alueita ainoastaan muuttamalla käyrät määrittäviä pistepareja.

Jokaiselle yleisemmälle puulaji-kasvupaikkayhdistelmälle on pyhitetty oma välilehtensä, jolla on annettu käytännössä neljä käyrää: valtapituuden

muuttujana on annettu pohjapinta-alat jokaiselle käyrälle. Käyriä ovat (ylhäältä alas)

- harvennuksen kiireellisyysraja
- harvennuksen tarpeellisuusraja
- harvennetun tavoiteyläraja
- harvennetun tavoitealaraja.



Kuva 6. Esimerkki harvennusmallin käyristä

Harvennuksen kiireellisyysrajalla tarkoitetaan tämän laskurin toteutuksessa sitä rajaa, jonka ylittävä pohjapinta-ala on jo niin suuri, että harvennus on myöhässä. Harvennuksen tarpeellisuusrajalla taas tarkoitetaan rajaa, jonka ylittävä pohjapinta-ala on kypsä harvennukselle. Harvennuksen tavoiterajojen tarkoitus on ilmaista, mille välille harvennuksen pohjapinta-alatavoite tulisi asettua.

Nämä neljä käyrää on ilmaistu muutaman pisteparin avulla, jotka ovat myös käyttäjän muutettavissa. Pisteille sovitetaan automaattisesti käyrä, joka on muodoltaan toisen asteen yhtälö (taulukko 3, s. 17). Tätä yhtälöä käytetään varsinaisessa laskennassa, koska leimikon mitattu pohjapinta-ala sekä valtapituus voivat olla periaatteessa mitä tahansa lukuja tietyltä väliltä.

Taulukko 3. Ote laskurin välilehdeltä, jossa määritetään kuvan 3. harvennuksen tarpeellisuusraja ja sitä kuvaavan yhtälön kertoimet

OMT kuusikko			
Harvennusraja			
	Hvalta	PPA	
	12	24	
	14	27	
	16	30	
	18	32	
	20	33	
	22	33	
	a	b	c
	-0,10268	4,419643	-14,4286
	y=ax^2+bx+c		

Kuvaajat on lisätty jokaiselle harvennusmallille (ja siten välilehdelle) auttamaan visualisoinnissa ja tukemaan mahdollisesti tehtäviä muutoksia. Harvennusmallivälilehdellä lasketaan myös piste (PPA) jokaiselta käyrältä etusivun valtapituuden mukaan. Näin saatuja tuloksia voidaan verrata mitattuun pohjapinta-alaan ja nähdä harvennuksen tarpeellisuus sekä mahdollisen harvennuksen tavoitepohjapinta-ala, joka myös on laskettu erikseen. Tavoite on tässä alempien käyrien puolivälissä.

Se, minkä välilehden (eli kasvupaikkatyypin) tuloksia lopullisessa laskennassa käytetään, määräytyy etusivun kasvupaikkavalinnalla.

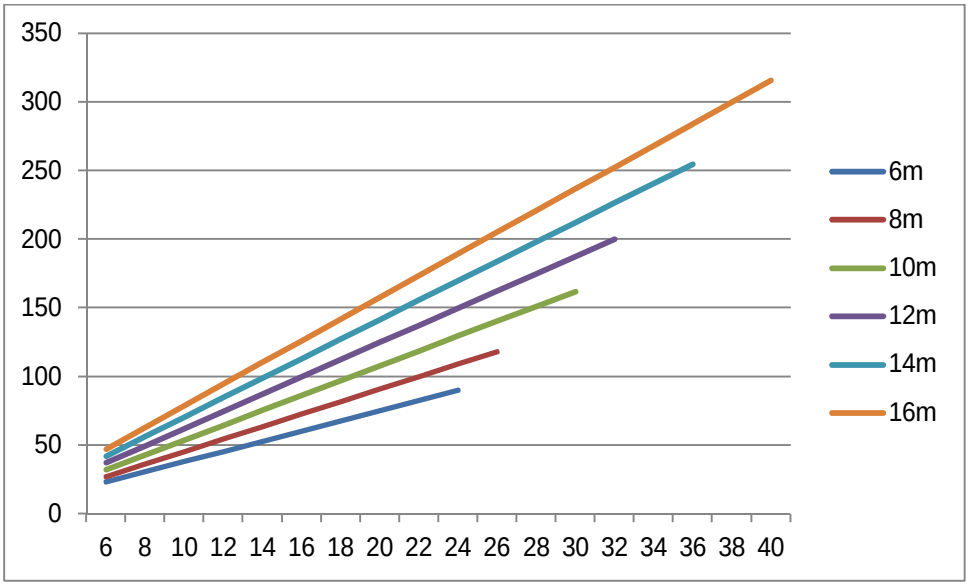
4.3 Tilavuusmallit

Välilehdellä 7 ovat käytännön tilavuusmallit, eli puuston kuutiomäärät taulukoituna valtapituuden ja pohjapinta-alan muuttujana (taulukko 4, s. 18). Koska tarve on laskea myös tuloksia näiden taulukkoarvojen välistä, on näillekin malleille laskettu yhtälövastineet. Huomionarvoista on, että tilavuus käyttäytyy melko lineaarisesti niin pituuden, kuin pohjapinta-alankin funktiona, joten malli on mahdollista toteuttaa varsin hyvällä tarkkuudella lineaarisena yhtälönä. Taulukot onkin jaettu kahteen eri pituusluokkaan: 6–16 m ja 18–28 m. Tämä siksi että yhtälömuoto saadaan paremmin vastaamaan tilavuusmallia – malli ei käyttäydy aivan lineaarisesti pituuden kasvaessa, vaan taittuu hieman tultaessa kookkaampaan puustoon. Kun taulukot jaetaan kahteen osaan, saadaan molemmille laskettua lineaariset mallit, jotka ovat hyvin lähellä alkuperäisiä arvoja: käytännössä tasalukuihin pyöristetyt arvot pätevät kuution tarkkuudella. Lisäksi saavutetaan etu myös muokkaamisen kannalta. Lineaariset mallit ovat helpommin hallittavissa ja hahmotettavissa, mikäli puuston tilavuuslaskuria halutaan muuttaa.

Taulukko 4. Tilavuusmalli 6-16 m pituiselle männikölle

		Männikkö					
		Valtapituus [m]					
Pohjapinta-ala		6	8	10	12	14	16
	6	23	27	32	37	42	47
	8	30	36	43	50	56	63
	10	38	45	54	62	70	79
	12	45	54	65	75	85	94
	14	53	63	75	87	99	110
	16	60	73	86	100	113	126
	18	68	82	97	112	127	142
	20	75	91	108	125	141	158
	22	83	100	119	137	156	174
	24	90	109	130	150	170	189
	26		118	140	162	184	205
	28			151	175	198	221
	30			162	187	212	237
	32				200	227	253
	34					241	269
	36					255	284
	38						300
	40						316
	50						

Tilavuustaulukot on laadittu siten, että käyttäjä voi muokata arvoja muuttamalla ääriarvoja (merkitty punaisella) jokaisen pituusluokan kohdalla erikseen. Näiden arvojen avulla lasketaan muut väliarvot. Lisäksi tällekin välilehdelle on toteutettu kuvaajat visualisoimaan tilavuuden muutosta pohjapinta-alan funktiona eri pituusluokissa (kuva 7). Nämä helpottavat hahmottamaan mahdollisia muutoksia.



Kuva 7. Tilavuuden muutoksen visualisointi

Välilehdellä 7 lasketaan myös harvennustilavuudet, siis poistuman tilavuus puulajeittain jokaiselle kasvupaikkatyypille (samoin rajoittein kuin

Tapion taulukoissa – kasvupaikoille sopimattomia puulajeja ei ole huomioitu). Riippuen etusivun puulaji- ja kasvupaikkavalinnasta, noudetaan tulos oikeasta ruudusta.

4.4 Päätehakkuukypsyys ja harvennusrajat

Viimeiselle välilehdelle on koottu päätehakkuukypsyydet raja-arvot (rinnankorkeusläpimitat) sekä aiemmilla välilehdillä lasketut harvennusrajat (ks. 3.2.). Näitä käytetään apuna koostettaessa etusivun tietoa. Päätehakkuukypsyydelle on annettu myös eräänlainen totuustaulu, jonka avulla päätehakkuukypsyys ilmoitetaan arvoilla ”kyllä”, ”ei” tai ”tutki”. Jos kyseessä on kasvupaikalle sopimaton puulaji, annetaan arvoksi ”tutki”, sillä silloin on arvioitava tapauskohtaisesti, mitä metsikölle halutaan tehdä. Päätehakkuukypsyyden tutkimiseksi käyttäjän on annettava etusivulla keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta.

5 LEIMIKON ARVIOINTI

Leimikon arviointia toimenpiteenä ei tässä työssä erikseen selosteta, vaan sen katsotaan kuuluvan metsäammattilaisen perusosaamiseen. Tässä esitellään perinteiset mittavälineet korvaavat älypuhelinsovellukset, ja metodi niiden hyödyntämiseksi. Ratkaisu ei ole ainoa mahdollinen, mutta se antaa kuvan siitä, mihin tällä hetkellä pystytään.

5.1 Lähtökohdat

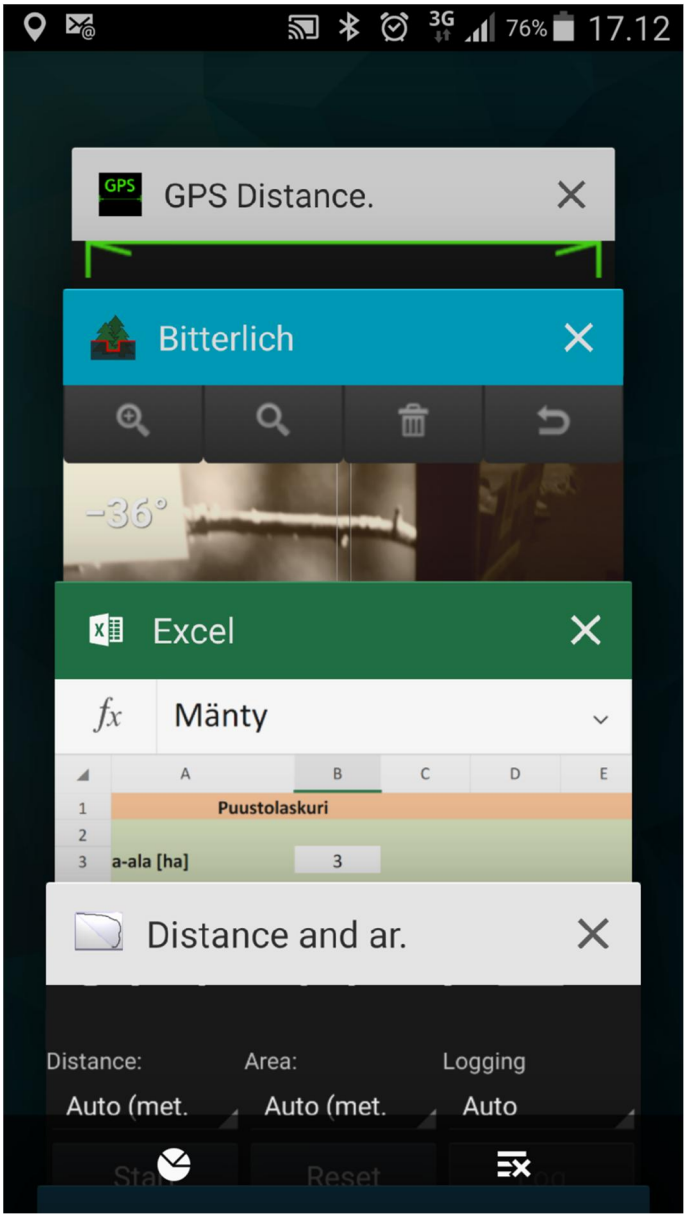
Välineet leimikon arviointiin pelkkää älypuhelinta käyttämällä ovat olemassa. Ensin on valittava ja asennettava ne ohjelmistot, joita haluaa apunaan käyttää. Tässä tapauksessa käyttöön valittiin seuraavat ohjelmat

- Bitterlich relascope
- Bubble level (NixGame)
- Distance and area measurement
- Microsoft Excel ja puustolaskuri-taulukkolaskenta.

Nämä ladataan ja asennetaan puhelimeen Googlen Play-kaupasta, joka onnistuu helpoiten jo käytännössä jokaisessa Android-puhelimessa esiasennettuna olevalla Play-kauppasovelluksella. Jos kyseinen sovellus puuttuu, voidaan Play-kauppaa käyttää myös selaimella.

Kun tarvittavat sovellukset on asennettu, voidaan leimikon arviointi aloittaa. Kaikki tarvittavat sovellukset on syytä pitää käynnissä koko toimituksen ajan. Android-käyttöjärjestelmä, kuten muutkin modernit älypuhelinten käyttöjärjestelmät, antaa mahdollisuuden useiden ohjelmien samanaikaiseen käyttöön. Kulloinkin käytettävä sovellus voidaan vaihtaa aktiiviseksi tarvittaessa, muiden pysyessä taustalla käynnissä (kuva 8, s. 20). Va-

linta ohjelmien välillä riippuu hieman puhelimen mallista ja käyttöjärjestelmän versiosta. Yleisenä ohjeena kuitenkin voidaan antaa se, että normaalisti Android-puhelimissa on kolme valikkonäppäintä, jotka voivat olla fyysisiä painonappeja tai virtuaalisia/kosketusnäppäimiä. Jotain näistä painamalla yleensä saadaan näkyville päällä olevat ohjelmat jolloin voidaan valita haluttu ohjelma koskettamalla. Sanomattakin on selvää, että ylimääräiset ohjelmat kannattaa työskentelyn selkeyttämiseksi sammuttaa – tämä käy päällä olevien ohjelmien valikossa esimerkiksi pyyhkäisemällä sivuun sammutettavat ohjelmat.



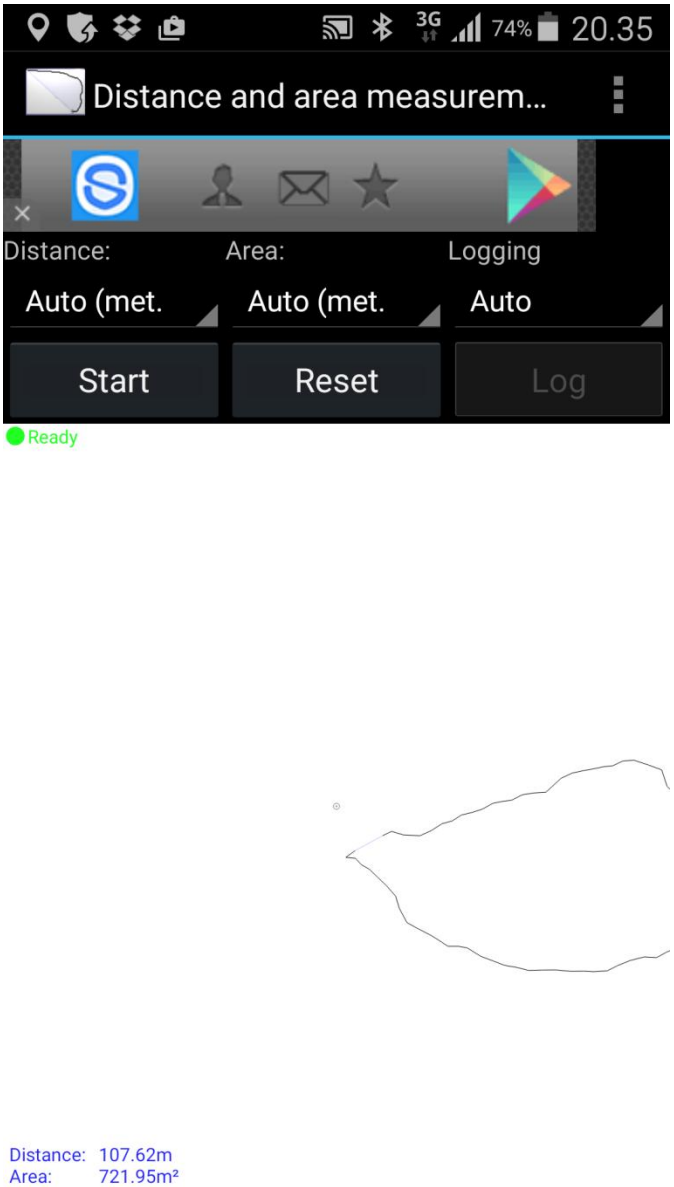
Kuva 8. Päällä olevien ohjelmien näkymä

5.2 Pinta-alan mittaus

Leimikon arviointi kannattaa aloittaa pinta-alan mittaamisesta. Käytännön mittaus tapahtuu yksinkertaisesti siten, että leimikko kierretään sen rajoja pitkin alkaen jostain pisteestä sen laidalla ja päätyen lopulta samaan pis-

teeseen, samaan aikaan mitaten pinta-alanmittaussovelluksen avulla kuljettua jälkeä ja pinta-alaa. Distance and area measure -ohjelmassa painetaan start-painiketta, kun halutaan aloittaa mittaus, ja lopetus tapahtuu vastaavasti stop-painikkeella (kuva 9). Ohjelma näyttää jatkuvasti kuljettua matkaa ja laskennallista pinta-alaa, joka jää kuljetun reitin sisään. Mikäli alkupiste ja loppupiste eivät täsmää, oletetaan niiden välille suora viiva määritettäessä pinta-alaa.

Huomionarvoista on, että näytössä tulisi lukea vihreällä teksti ”ready”. Tämä merkitsee GPS-signaalin olevan saatavilla ja kelvollinen mittaukseen.

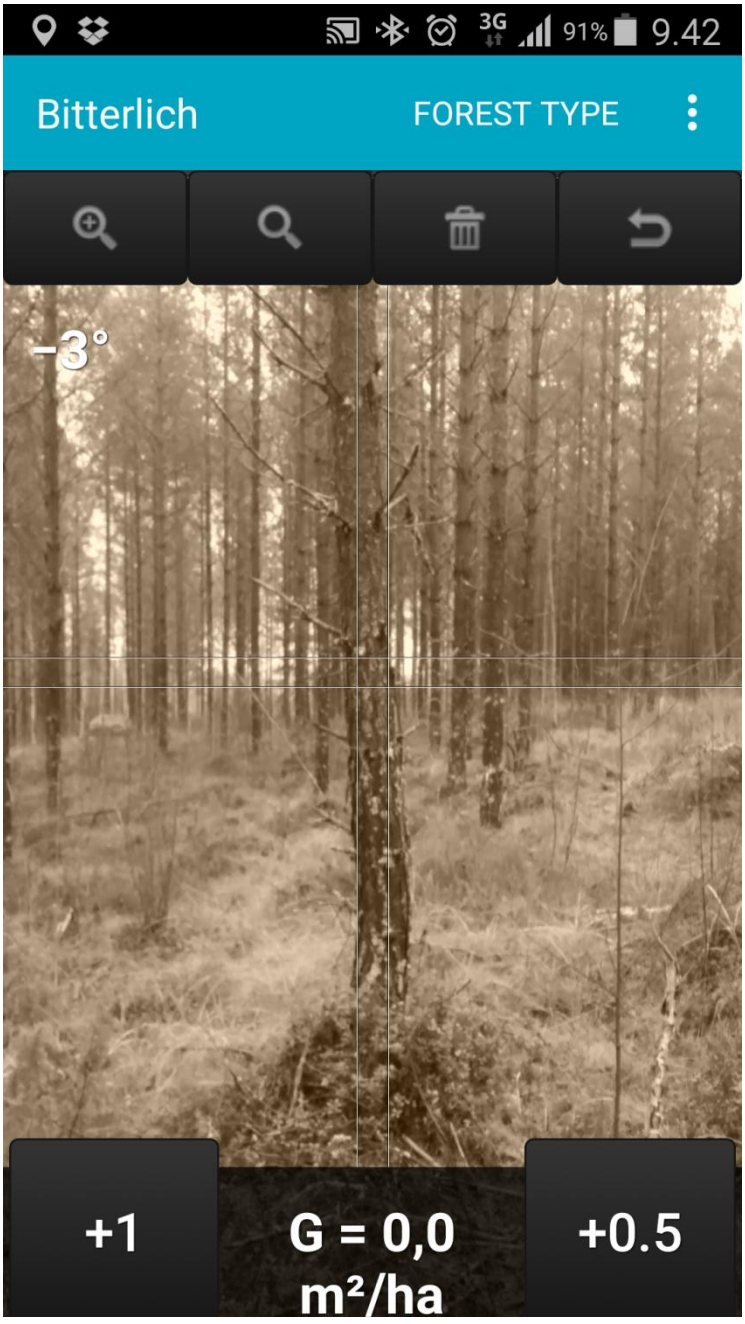


Kuva 9. Pinta-alan mittaus

Kun kuvion pinta-ala on mitattu, aktivoidaan Excel ja kirjoitetaan tulos pinta-alan kenttään.

5.3 Pohjapinta-alan määritys koealoilta

Aktivoidaan Bitterlich relascope (kuva 10), ja aivan ensimmäisellä käyttökerralla, kalibroidaan ohjelma. Tämä täytyy tehdä siksi, että eri puhelimien kamerat eroavat toisistaan mm. optisilta ominaisuuksiltaan. Relaskoopin hahlo täytyy siis sovittaa oikean kokoiseksi tapauskohtaisesti. Kalibrointi tapahtuu painamalla perusnäkymässä valikkopainiketta (kolme päällekkäistä palloa oikeassa yläkulmassa), ja valitsemalla ”calibrate” (kuva 11, s. 24).

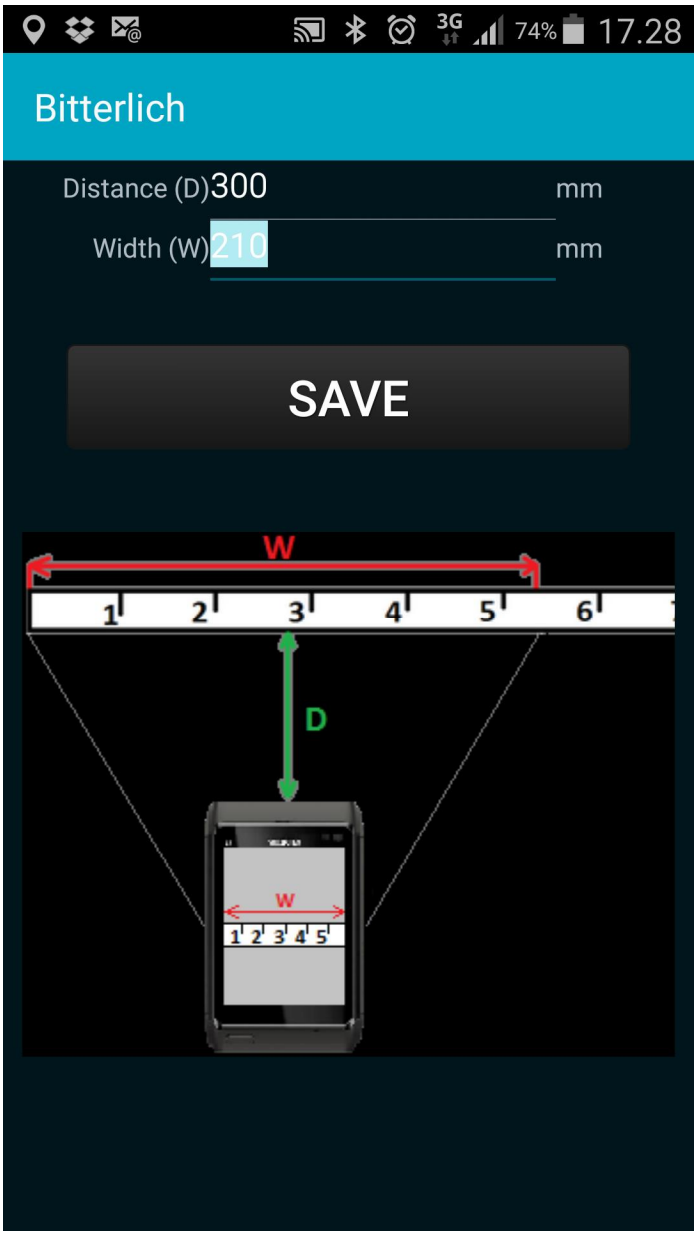


Kuva 10. Relaskoopin perusnäkymä

Kalibrointinäkymässä katsotaan laitteen kautta esimerkiksi poikittain olevaa mittanauhaa tai viivoitinta, josta voidaan todeta näkymän leveyden. Puhelimen etäisyys mittaan asetetaan ylemmälle riville (kosketa riviä ja

numeronäppäimistö ilmestyy) ja mitan näkyvä leveys alemmalle riville. Mitat annetaan millimetreinä. Lopuksi painetaan ”SAVE”.

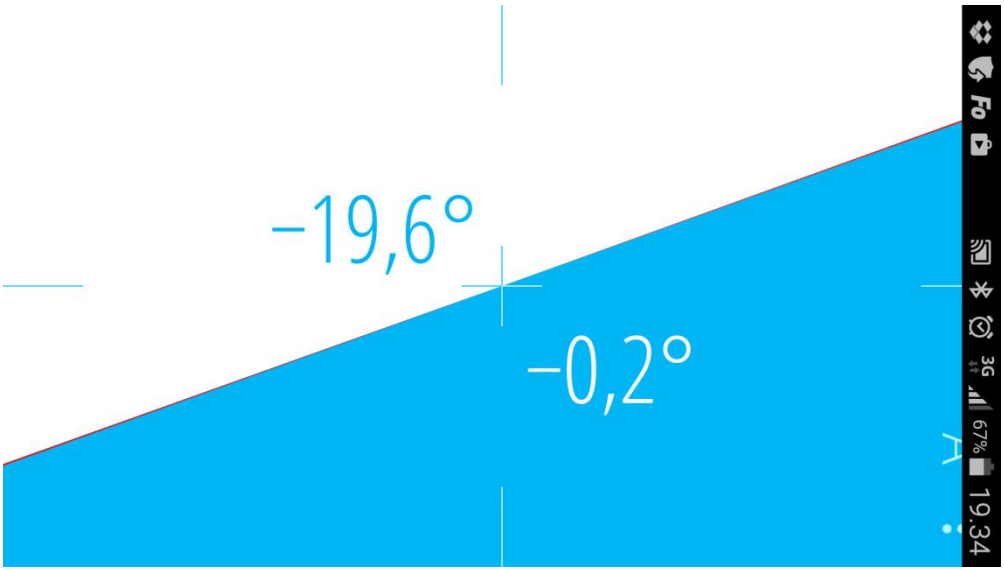
Pohjapinta-alaa määritettäessä havaitsija pyörähtää pystyakselinsa ympäri kuten normaalistikin relaskooppikoealaa mitattaessa. Samalla katsotaan puhelimen näytöllä olevaa pystyhahloa (kaksi vierekkäistä pystyviivaa). Aina kun jokin puu täyttää hahlon, painetaan alalaidan +1 -painiketta. Kun puu täyttää hahlon vain juuri ja juuri, painetaan +0,5. Käyttäjä voi mittausta helpottaakseen muuttaa ylälaidan ”forest type” asetukseksi tiheän (dense forest), normaalin (normal forest) tai harvan (sparse forest) metsän. Asetus muuttaa havaintohahlon leveyttä (tiheämpi metsä -> leveämpi hahlo) sekä painikkeiden laskuria kasvattavaa vaikutusta. Kun mittaaja on pyörähtänyt ympäri kokonaisen kierroksen, nähdään kokonaistulos, eli pohjapinta-ala alalaidassa (G, m^2/ha). Siirretään saatu tulos Exceliin koalatietoihin oikeaan sarakkeeseen ja tyhjennetään laskuri, mikäli vielä mitataan uusia koealoja (roskakori-symboli). Kannattaa huomioida näytöllä näkyvä astelukema, joka kertoo missä kulmassa puhelinta pidellään. Lukeman ollessa nolla, puhelin on pystysuorassa, joka tuloksen kannalta lienee paras asento – aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä hahlon keskiosa tulisi tähdätä 1,3 m korkeudelle puuta ja maasto voi olla mäkinen.



Kuva 11. Kalibrointinäkymä

5.4 Pituuden määritys

Käynnistetään Bubble level -sovellus (kuva 12, s. 25). Katsotaan puhelimen sivua pitkin, tähdäten puun latvaan, ja kun puhelimen sivu ja latva ovat samassa linjassa, kosketetaan näyttöä sormella, jolloin astelukema lukittuu tarkasteltavaksi. Toistetaan kulman mittaus tyveen, siirrytään tunnettu etäisyys puuta kohti ja suoritetaan kulman mittaus jälleen latvaan ja tyveen. Astelukemat tallennetaan puustolaskuri-Exceliin etäisyystiedon ohella.



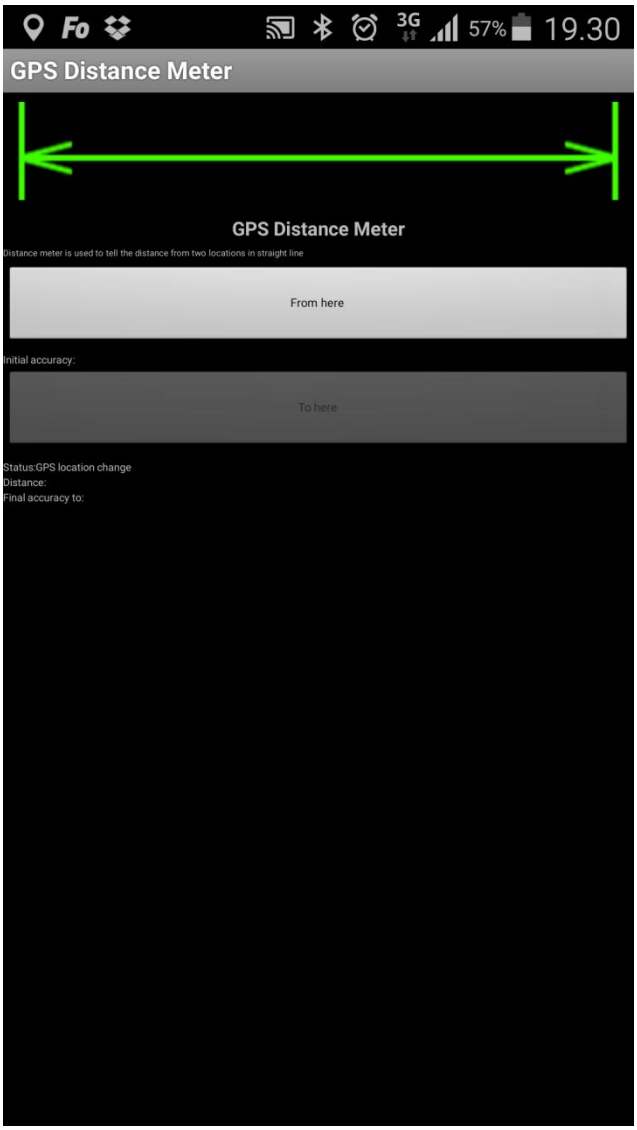
Kuva 12. Kulman mittaustulos

Seuraava on vaihtoehtoinen metodi puun pituuden määritykseen.

Asennetaan seuraavat ohjelmat:
- GPS distance meter
- Measure Height.

Pituuden määrittämisessä on kaksi vaihetta. Ensin mitataan etäisyys puusta. Sen jälkeen puun pituus voidaan määrittää latvan havaintokulman avulla, kun etäisyys puuhun, ja korkeus, jolla puhelinta pidellään, ovat tunnettuja. Tämä metodi toimii kuitenkin vain, jos mittaus tapahtuu samalla tasolla puun suhteen, eli ala- tai ylämäkeen mittaus ei onnistu. Lisäksi on huomioitava se tosiseikka, ettei metodin tarkkuudesta saada indikaatiota, vaan hyvissäkin olosuhteissa (esteetön satelliittiyhteys) etäisyyden mittaus puusta voi olla useita metrejä virheellinen.

Aktivoidaan ensiksi GPS distance meter (kuva 13, s. 26). Ohjelman toiminta on hyvin yksinkertaista: etäisyyden mittaamiseksi painetaan alkupisteessä ”from here” -painiketta, liikutaan loppupisteeseen ja painetaan ”to here” -painiketta. Mitattu etäisyys näiden pisteiden välillä (suora viiva) näkyy välittömästi. Kannattaa huomioida signaalin tarkkuus, lukemat riveillä initial accuracy ja final accuracy. Kun ohjelma aktivoidaan, kannattaa odotella pieni hetki, jotta signaali olisi mahdollisimman hyvä (mahdollisimman monta satelliittia näkyvillä). Myös alku- ja loppupisteessä on hyvä olla paikoillaan jonkin aikaa, ennen painikkeen painamista: näin paikannus ehtii asettua kohdalleen paremmin. Absoluuttinen paikannuksen tarkkuus ei toisaalta ole olennaista, vaan suhteellinen muutos mitattaessa kahden pisteen välistä etäisyyttä.



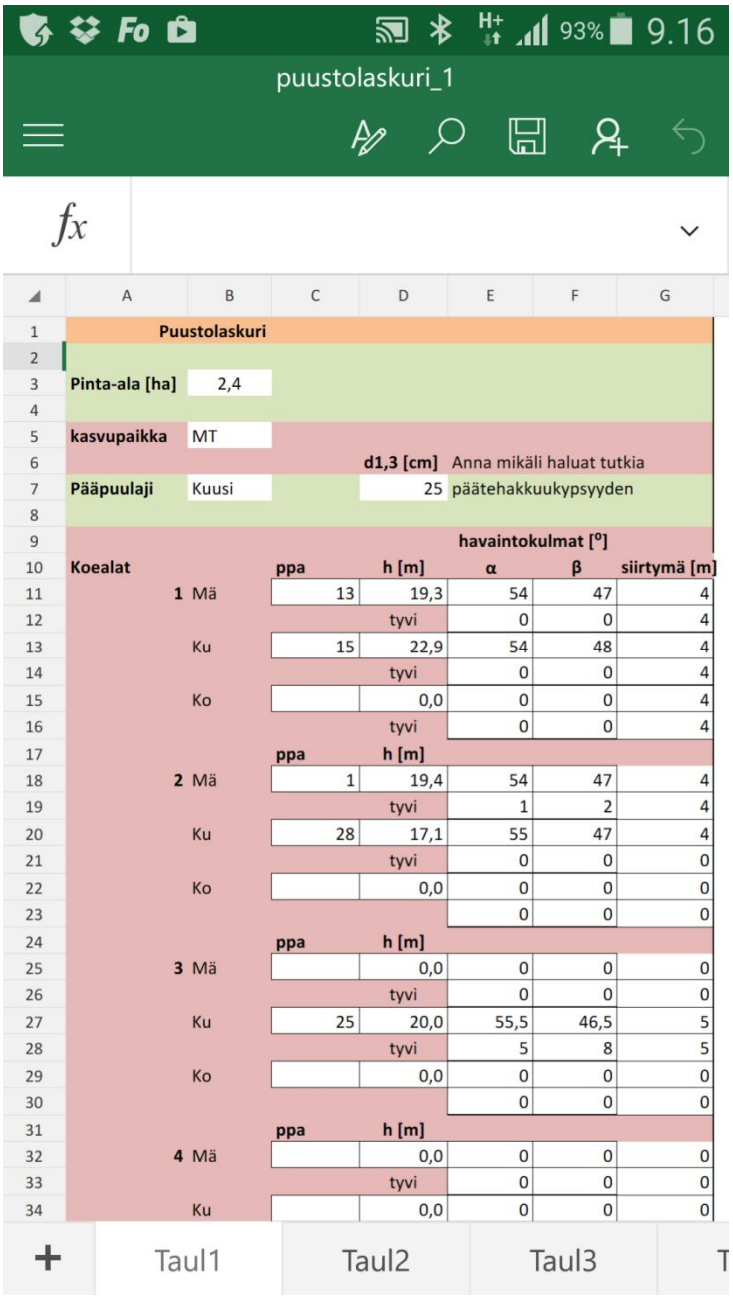
Kuva 13. GPS distance meter

Kun etäisyys mitattavasta puusta on määritetty, aktivoidaan Measure height sovellus (kuva 14, s. 27). Valitaan ”measure height only”. Tässä tilassa sovellus määrittää puun korkeuden annetun etäisyyden, mitatun kulman ja puhelimen korkeuden (maasta) perusteella. Ensimmäisellä käynnistyskerralla ohjelma pyytää syöttämään korkeuden, jolla puhelinta pidellään. Sen jälkeen sitä arvoa voi muuttaa asetuksista. Mitattaessa puun korkeutta, ohjelma pyytää aina ensin syöttämään mitatun etäisyyden. Tämän jälkeen ruudulla näkyvä ristikko tähdätään puun latvaan ja kosketetaan näyttöä. Ohjelma näyttää mitatun kulman, syötetyn etäisyyden ja laskennallisen korkeuden. Nyt korkeus voidaan kirjata puustolaskuriin.

Kuva 14. Korkeuden mittauksen näkymä

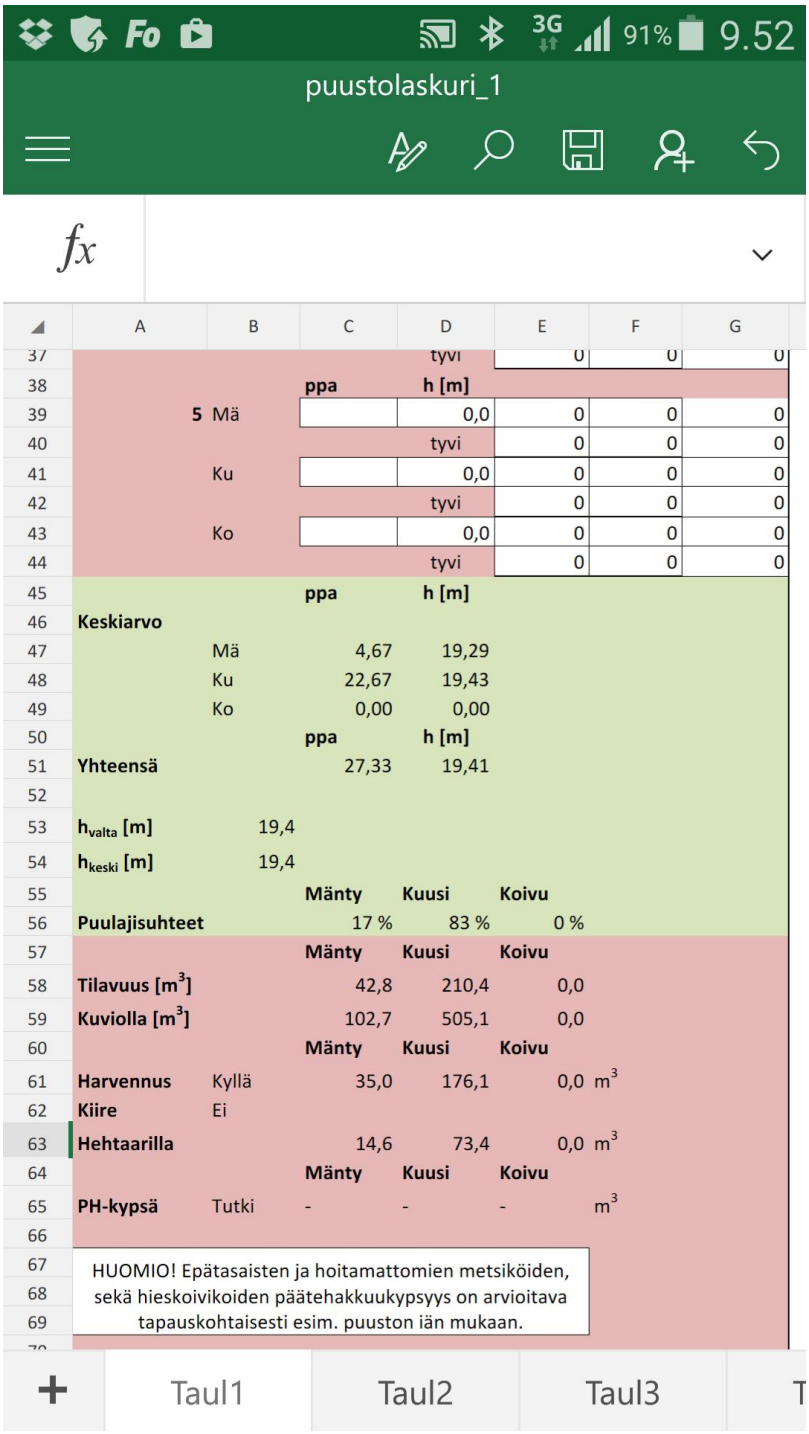
5.5 Puustolaskuri

Edellä luvuissa 5.1.–5.4. mitatut tiedot kirjataan muiden oleellisten tietojen ohella puustolaskuri-Excelin etusivulle, 1–5 koealalta (kuva 15, s. 28). Laskuri antaa leimikon tiedot, kuten puulajikohtaiset tilavuudet hehtaarilla ja kuviolla sekä kertoo harvennustarpeen ja keskimääräisen harvennuksen hakkuumäärät puulajeittain (kuva 16, s. 29).



Kuva 15. Koealojen tiedot

Mikäli myös rinnankorkeusläpimitta on annettu (keskimäärin koko leimikolle/metsikölle), antaa taulukko tiedon uudistuskypsyydestä. Mikäli uudistuskypsyyttä ei voida arvioida (puuttuva rinnankorkeustieto tai kasvupaikalle sopimaton puulaji), pyytää laskuri rinnankorkeustietoa tai ilmoittaa arvioinnin uudistuskypsyydestä olevan tapauskohtainen.



Kuva 16. Tulokset

5.6 Dropbox

Dropbox on tiedostojen synkronointisovellus, joka mahdollistaa tiedostojen jakamisen useiden erilaisten laitteiden välillä. Se on saatavilla useimmille eri alustoille, niin PC:lle kuin mobiililaitteillekin, josta syystä se on valittu käytettäväksi apuvälineenä tässä työssä.

Palvelu helpottaa erityisesti puustolaskurin jakoa mobiililaitteille sekä laskurin muokkaamista. Muokkaaminen on helpointa suorittaa PC:lla, jonka jälkeen laskuri voidaan siirtää Dropboxiin, josta se voidaan avata suoraan mobiili-Excelillä. PC:lle voidaan ladata dropbox-sovellus (saatavilla niin Windows- kuin Linux-versiot) tai käyttää palvelua selaimella (www.dropbox.com). Android-laitteelle (tai muullekin mobiililaitteelle) ladataan Dropbox-applikaatio.

6 METODIN TARKKUUS, HAASTEET JA POHDINTA

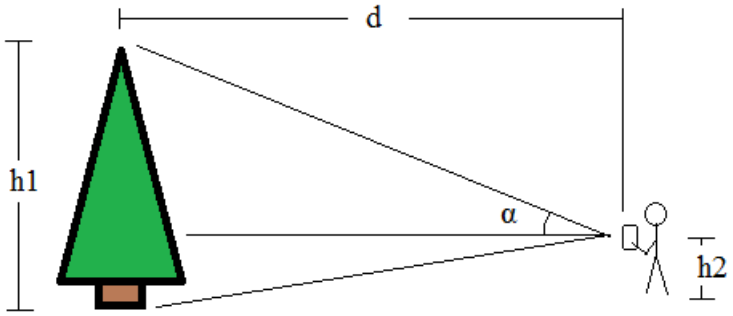
Tarkasteltaessa tässä esitellyn mittausmetodin ja välineiden (ohjelmien) tuottamia tuloksia suhteessa perinteisin välinein suoritettuun leimikon arviointiin, nousee suurimmaksi haasteeksi puun korkeuden mittaus – muut suureet voidaan mitata yhtä luotettavasti kuin perinteisilläkin välineillä. Kirjoitushetkellä ei ollut saatavilla puhelimia, joissa olisi etäisyydenmittausominaisuus toteutettuna jollain luotettavammalla tavalla, kuten laserin avulla.

Erityisesti etäisyyden mittaus on haasteellista, sillä käytännössä tällä hetkellä ainoa vaihtoehto on satelliittipaikannus. Tilannetta pelastaa se, ettei absoluuttista paikannustarkkuutta tarvita, vaan lähinnä suhteellista – eli siis tietoa siitä, mikä on kahden pisteen etäisyys eikä niinkään pisteiden tarkka sijainti. Käytännön kokeilujen perusteella etäisyys voidaan monissa tapauksissa mitata ±1 m:n tarkkuudella. Vaihtelua syntyy maaston ja puuston ominaisuuksien kuten myös käytetyn puhelinmallin mukaan. Erityisesti kuitenkin peitteinen tai muuten maastoltaan haasteellinen kohde voi heikentää tarkkuutta huomattavasti, josta syystä metodia ei voida pitää kovin tarkkana. Lisäksi mittaustuloksen tarkkuudesta on mahdoton saada indikaatiota.

Kun etäisyys (d) puuhun, puhelimen korkeus (h2) ja havaintokulma latvaan (α) tunnetaan, voidaan puun pituus laskea kaavalla (3) (kuva 17, s. 31).

$$h1 = h2 + (d * \tan(\alpha)) \quad (3)$$

Tästä voidaan helposti havaita tuloksen tarkkuuteen vaikuttavia seikkoja, joihin kannattaa kiinnittää huomiota. Etäisyyden kasvaessa suhteellinen mittavirhe pienenee, jos mittavirhe pysyy samana. Lisäksi etäisyyden kasvaessa myös kulman tangentin arvot pienenevät, mikä edelleen vähentää mittavirheen vaikutusta. Tästä voidaan päätellä se, että mittaustuloksen luotettavuutta voi parantaa pitämällä havaintoetäisyys d sopivan suurena, mielellään suhteuttaen se puun pituuteen. Lisäksi on huomattava tarkkuus, jolla puhelinta pidellään asetetulla korkeudella – tämä vaikuttaa erityisesti havaintokulmaan ja sitä kautta lopulliseen tulokseen.



Kuva 17. Pituuden määrityksen periaate

Mittavirhe vaikuttaa eri tavalla puustoltaan erikokoisissa metsiköissä: harvennusmetsikössä metrin pituusvirhe voi aiheuttaa 5 % virheen tilavuudessa, kun taas päätehakkuukypsässä metsikössä se voi olla 3 %. Pienemmässä puustossa virhe on siis suurempi. Virhe olisi hyväksyttävällä tasolla, jos kyettäisiin havaitsemaan, milloin mittavirhe kasvaa liian suureksi.

Yksi muistettava ja tarkkailtava asia käytettäessä satelliittipaikannusta on vastaanoton laatu. Ei ole pahitteeksi käyttää ohjelmia, jotka ilmaisevat näkyvien satelliittien määrän sekä signaalin laadun PDOP-arvolla (dilution of precision)(Langley 1999). Pienempi arvo tarkoittaa tarkempaa paikannusta. Myös ympäristöön kannattaa kiinnittää huomiota ja valita mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman esteetön (signaalin kannalta) mittauspaikka sekä muistaa, että kaikenlaiset häiriölähteet, katveet (myös sivusuunnassa, ei vain ylöspäin) ja heijastukset voivat myös vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen. Mäet ja kalliot voivat erityisesti aiheuttaa hankaluuksia, voimalinjoista puhumattakaan.

Jotta pituudenmittausmetodi olisi toistettavampi riippumatta olosuhteista, onkin tässä työssä päädytty käyttämään ensisijaisesti luvussa 4 kuvattua metodia puun pituuden määritykseen. Sen haasteina on lähinnä käyttäjän kyky arvioida mittapisteiden etäisyys toisistaan oikein. Mikäli tämä siirtymä kyetään mittaamaan kohtuullisella tarkkuudella, voidaan tuloksissa päästä riittäviin tarkkuuksiin. Hyödyntämällä esimerkiksi taimikoiden inventoinnissa käytettyä 3,99 m pituista vapaa, voidaan kahden mittapisteen väli mitata tarkasti. Tällöin haasteeksi jää enää kulmien riittävän tarkka mittaus, joka ainakin teoreettisesti on mahdollista puhelimen avulla. Taulukossa 5 (s. 32) on esitelty mittauskokeen tuloksia ja virhelaskelmia. Kokeessa mitattiin 25 m pituista puuta (mitattu hypsometrillä) eri suunnista edellä kuvatulla metodilla käyttäen apuna 4 m keppiä. Mittaus suoritettiin viisi kertaa eri suunnista ja etäisyyksiltä suhteessa puuhun. Taulukossa on esitetty havaintokulmat latvaan ja tyveen, näiden perusteella laskettu pituus ja tilavuus sekä niiden prosentuaaliset virheet suhteessa ”oikeaan”, hypsometrillä saatuun tulokseen. Tilavuuden laskennassa on käytetty puustolaskuri-Exceliä.

Taulukko 5. Virhe koemittauksessa

	Kulmat [º]		Pituus [m]	Virhe %	Tilavuus [m3 / ha] (pääte-hakkuu)	Virhe %
	α	β				
latva	34,2	37,6	23,8	-4,9	279,3	-4,4
tyvi	2,3	3				
latva	36,2	39,8	24,3	-2,7	285,1	-2,4
tyvi	1,6	2,6				
latva	43,3	48,5	23,3	-6,8	274,3	-6,1
tyvi	2,5	3,3				
latva	33,3	36,2	26,1	4,4	303,7	4,0
tyvi	1,5	1,9				
latva	36,4	40	25,1	0,4	293,1	0,3
tyvi	2,4	3				

Metodin virhe on keskimäärin alle 5 % käytetyllä välineistöllä. Käytännössä pituuden mittauksen virhe pysyy suhteellisena mitatun puuston pituuteen, johtuen mittausjärjestelystä ja sen geometriasta. Tilavuuden virhe taas käyttäytyy siten, että se on hieman suurempi suuremmalla puustolla. Taulukossa 6. on esitetty ±5 % pituusmittausvirheen vaikutus tilavuuden virheeseen erimittaisessa männikössä. Pohjapinta-ala ei juuri vaikuta suhteellisen virheen määrään.

Taulukko 6.

h	tilavuuden virhe %
10	±3,9
15	±4,2
20	±4,4
25	±4,5

Johtopäätöksenä koko työlle voidaan todeta leimikon arvioinnin onnistuvan käyttäen välineenä pelkästään älypuhelinta – haasteena on kuitenkin erityisesti lyhyehköjen etäisyyksien mittaus luotettavasti. Suhteellinen virhe kasvaa niissä yleensä liian suureksi heikentäen mittaustarkkuutta liikaa. Tätä ongelmaa ei nykyisillä laitteilla voida ratkaista tarpeeksi hyvin. Lisäksi kulman mittaamiseen liittyy haasteita elektroniikan suorituskyvyn ulkopuolelta. Puhelin ei ole suunniteltu puun latvaan tähtäämiseen, joten sen ergonomia tässä käytössä on kyseenalainen. Tätä voitaisiin parantaa esimerkiksi suunnittelemalla metsänmittauskäyttöön soveltuva puhelimen suojakuori. En kuitenkaan näe estettä sille, ettei jo nykyisellä älypuhelintekniikalla voitaisi oikeanlaisella ohjelmistolla ja mekaanisella, käyttötarkoitusta tukevalla suunnittelulla suorittaa leimikon arviointia kohtuullisella tarkkuudella.

LÄHTEET

Ganesh A. & Narayana R. 2006, GPS Principles and Applications.

Hannah B. M. 2001. Modelling and Simulation of GPS Multipath propagation, Thesis.

Ikäheimo J. 2015. Trestiman mediaanipuun mittaustarkkuuden testaus. Viitattu 5.12.2015.
http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201504204578

Invensense 2015. MPU-6500 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS Motion Tracking Devices. Viitattu 20.11.2015.
http://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/
http://43zrtwysvxb2gf29r5o0athu.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6500-Datasheet2.pdf

Kaplan E. & Hegart C. 2006. Understanding GPS: Principles and Applications, Second Edition.

Kopakka V-M. 2015. Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus. Viitattu 5.12.2015.
http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015052610282

Langley R. B. 1999. University of New Brunswick, Dilution of Precision. Artikkeli ’GPS World’ -lehdessä.

Luczak S. 2007. Advanced algorithm for measuring tilt with MEMS accelerometers. Institute of Micromechanics and Photonics.

Pan L., Cai C., Santerre R. & Zhu J. 2014. Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning with Fixed GPS Ambiguities.

Shaner J. 2013. Smartphones, Tablets and GPS accuracy. Blogi, ArcGIS resources. Viitattu 28.11.2015.
http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/15/smartphones-tablets-and-gps-accuracy/

Valkoinen Talo 2007. Valkoisen talon lehdistösihteerin lausunto 18. syyskuuta 2007. Viitattu 10.12.2015.
http://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2007/09/20070918-2.html

Äijälä O., Koistinen A., Sved J., Vanhatalo K. & Väisänen, P. (toim.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

Liite 1

Puustolaskuri.xls

Puustolaskuri Excel-toteutus tallennettuna levykkeelle