

**ETÄHINNOITTELUMENETELMÄ  
PIHAPUIDEN KAATOPALVELUJA  
TUOTTAVALLE YRITYKSELLE**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, metsätalous

Kevät 2020

Jarmo Järvelin

Metsätalous  
Evo

---

<b>Tekijä</b>	Jarmo Järvelin	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Etähinnoittelumenetelmä pihapuiden kaatopalveluita tuottavalle yritykselle	
<b>Työn ohjaaja</b>	Jeppe Raitio	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää puunkaatopalveluita tuottavalle Extreme Lumberjack Oy:lle luotettava ja kustannustehokas etähinnoittelumenetelmä. Etähinnoittelumenetelmän kehittämisen perustana oli oletus siitä, että metsien inventoinnissa ja metsänarvioinnissa nykyisin käytettävät menetelmät olisivat sovellettavissa myös yksittäisen pihapuun kaatamisen hinnoitteluun.

Hinnoittelumenetelmän kehittämisvaiheen aikana avoimista lähteistä ja asiakkaalta saatua tietoa käytettiin QGIS-, LAsTools- ja Microsoft Excel -ohjelmistoissa. Prosessin tuloksena oli mahdollista saada tarvittavat piirteet yksittäisen puun hintaluokituksen tekemiselle euklidiseen etäisyysmetriikkaan perustuvaa k:n lähimmän naapurin menetelmää käyttäen.

Tällä etähinnoittelumenetelmällä hintaluokka saatiin arvioitua tarpeeksi luotettavasti. Menetelmän suhteellinen RMSE oli 12,57 prosenttia ja suhteellinen BIAS oli 3,55 prosenttia. Lisäksi kustannusvertailu osoitti, että etähinnoittelumenetelmän keskimääräiset kustannukset olivat vain 27 prosenttia työkohteella tapahtuvan hinnoittelun kustannuksista. Näin ollen hinnoittelumenetelmä otettiin yrityksen päivittäiseen käyttöön.

Kehitetty etähinnoittelumenetelmä on prototyyppi, jonka kehitystyö jatkuu edelleen. Tavoitteena on saada siitä vielä luotettavampi ja tarkempi työkalu yrityksen palveluiden hinnoitteluun. Havaitut muutostarpeet tullaan toteuttamaan lähitulevaisuudessa.

**Avainsanat** laserkeilaus, k:n lähimmän naapurin menetelmä, metsänarviointi

**Sivut** 34 sivua

Forestry  
Evo

---

<b>Author</b>	Jarmo Järvelin	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	Remote Pricing Method for a Tree Service Company	
<b>Supervisor</b>	Jeppe Raitio	

---

ABSTRACT

The aim of this thesis was to develop a reliable and cost-effective remote pricing method for the company Extreme Lumberjack Oy which produces tree felling services. The development of the remote pricing method was based on a hypothesis that the current methods used in forest inventory and forest mensuration are applicable for estimation of the price for felling the single backyard tree.

During the development phase of the pricing method data from open sources and from the customers was used in QGIS, LAStools and Microsoft Excel software. As a result of the process, it was possible to get the required features for the price classification of the single tree using k nearest neighbor method based on Euclidean distance metrics.

The price class could be estimated reliable enough by the developed remote pricing method. The relative RMSE of the method was 12,57 % and the relative BIAS was 3,55 %. In addition, a cost comparison showed that average costs of the remote pricing method were just 27 % of the costs of pricing done in the work sites. So, the pricing method was taken for daily use in the company.

The development of the remote pricing method continues. The aim is to build a more reliable and accurate tool for pricing of the services of the company. In near future the observed needs for the development will be implemented.

**Keywords** lidar, k nearest neighbor method, forest mensuration

**Pages** 34 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TIETEELLINEN PERUSTA .....	3
2.1	Laserkeilaus .....	3
2.2	Puun tilavuuden laskeminen.....	4
2.3	Puun pituuskasvun laskeminen.....	5
2.4	K-NN-menetelmä.....	5
3	ETÄHINNOITTELUMENETELMÄN RAKENNE .....	7
3.1	Käytetyt ohjelmistot.....	7
3.1.1	QGIS .....	8
3.1.2	LAStools .....	8
3.1.3	Microsoft Excel .....	10
3.2	Käytetyt tietoaineistot .....	10
3.2.1	Laserkeilausaineisto .....	10
3.2.2	Asiakkaalta saatava aineisto.....	12
3.2.3	Lisäaineisto .....	13
3.2.4	Referenssiaineisto .....	13
4	HINNOITTELUPROSESSI .....	14
4.1	Pituusmallin luominen (CHM) .....	14
4.2	K-NN-estimointi.....	17
4.3	Visuaalinen arviointi.....	19
4.4	Lopullinen hinta-arvio .....	19
5	ETÄHINNOITTELUMENETELMÄN TESTAAMINEN JA LUOTETTAVUUS .....	20
5.1	Alkuvaiheen testaaminen.....	20
5.2	Luotettavuusarviointi .....	22
6	HINNOITTELUMENETELMIEN KUSTANNUSVERTAILU .....	23
6.1	Työkohteella tapahtuvan hinnoittelun kustannukset.....	23
6.2	Etähinnoittelun kustannukset.....	24
6.3	Kustannusvertailu.....	24
7	ETÄHINNOITTELUMENETELMÄN TULEVAISUUS .....	25
7.1	Tilavuusmallien kehitys .....	25
7.2	Uusi kansallinen laserkeilausohjelma .....	26
7.3	Ohjelmistot.....	27
7.4	Tulevaisuuden mahdollisuudet .....	28
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	29
	LÄHTEET.....	32



## 1 JOHDANTO

Olen työskennellyt vuodesta 2011 lähtien Köysikopla Oy:ssä, joka tuottaa kiinteistö- ja rakennuspalveluiden ohessa myös pihapuiden kaatopalveluja. Vuonna 2019 perustin metsäpalveluyrityksen nimeltään Extreme Lumberjack Oy, joka on keskittynyt metsänhoitopalveluihin ja pihapuiden kaatamisiin oheispalveluineen.

Pihapuiden kaatamista tarjoavat yritykset Suomessa ovat perinteisesti hinnoitelleet työnsä puu- tai työmaakohtaisesti. Hinta-arviointi on edellyttänyt yleensä työntekijän fyysistä läsnäoloa työkohteella. Vaikka asiakkaille pääsääntöisesti kerrotaan hinta-arvion olevan ilmainen, niin todellisudessa työn hinnan arviointi paikan päällä aiheuttaa yritykselle kustannuksia, jotka on huomioitu työpalvelujen lopullisissa hinnoissa. Näin ollen hinta-arvio on ilmainen vain sellaiselle asiakkaalle, joka ei lopulta työtä tilaa. Toisaalta työn tilaavat asiakkaat maksavat osittain myös niiden työkohteiden hinta-arvioinneista, joita yritys tai yrittäjä eivät omiksi työkohteiksi saa hävitessään tarjouskilpailun tai asiakkaan muuten perueissa työpalvelun tilaamisen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Extreme Lumberjack Oy:n käyttöön pihapuiden kaatamisen hinnoittelumenetelmä, joka ei vaadi työkohteen hinnantarviointia fyysisesti työkohteella. Tavoitteena on, että luotettava hinta-arviointi olisi mahdollista tehdä etätoimintana tietokoneen avulla. Uuden hinnoittelumenetelmän tarkoituksena on vähentää pihapuiden kaatamista tarjoavan yrityksen kustannuksia ja näin ollen parantaa yrityksen kilpailukykyä.

Ajatus pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmän kehittämisestä syntyi keväällä 2019 Hämeen ammattikorkeakoulun kurssilla ”Paikkatiedon hyödyntäminen”. Avoimen paikkatiedon, avoimien ohjelmistojen sekä asiakkaalta saatavien lisätietojen avulla olisi kenties mahdollista tehdä kustannustehokas ja luotettava työkohteen hinta-arvio ilman työkohteella fyysisesti läsnä ollen tehtävää visuaalista arviointia.

Työkohteella tehtävä pihapuun kaatamisen hinta-arvio perustui Köysikopla Oy:ssä silmämääräiseen puulajin, puun koon, oksaisuuden sekä haaraisuuden arviointiin, työtä vaikeuttavien esteiden vaikutusten arviointiin sekä vapaan kaatotilan arviointiin. Näiden tekijöiden perusteella arvioitiin työn suorittamiseen kuluva aika. Aika-arviosta laskettiin lopullinen hinta-arvio kiipeilytyön ja ”alamiehen” tuntikustannusten kautta. Yleensä hinnoittelussa pyrittiin ottamamaan huomioon myös oma kokemus pihapuiden kaatamisen markkinahinnoista pääkaupunkiseudulla.

Jo vakiintuneen arviointitavan perusteella otaksuin, että hinnoitteluun tarvittavat tiedot olisi mahdollista esittää numeerisessa muodossa eli

erilaisina piirteinä. Tällöin hinta-arvion pystyisi tekemään k-NN-estimoinnin avulla. Ajattelin paikkatietokurssilta saamieni kokemusten perusteella, että laserkeilausaineistosta saadut piirteet eivät mahdollista yksittäisen pihapuun koon ja lähellä olevien esteiden arviointia riittäväällä tarkkuudella luotettavan hinta-arvion tekemiseksi. Näin ollen asiakkaalta oli saatava numeerisia lisätietoja ja näiden tietojen mittaaminen sekä toimittaminen yritykselleni tuli olla niin helppoa, että asiakas on valmis tekemään nämä toimet työtarjousta tilatessaan.

Arvelin, että jos saan asiakkaalta tiedot puulajista, puun sijainnista, puunhaarojen määrästä, puun ympärysmittasta, puun kunnosta (laho) sekä etäisyyden lähimpänä runkoa olevaan esteeseen ja etäisyyden esteeseen siinä suunnassa, jossa näyttää olevan eniten vapaata kaatotilaa, pystyn arvioimaan hinnan saatujen piirteiden avulla, mikäli minulla on näihin piirteisiin perustuva referenssiaineisto käytössäni.

Tarkoitus oli käyttää QGIS- ja LAsTools-ohjelmistoja avoimen laserkeilausaineiston analysointiin puun sijainnin, latvuksen koon ja puun pituuden arvioimiseksi. Asiakkaalta saadusta ympärysmittasta ja laserkeilausaineistosta saadusta puun pituudesta oli mahdollista laskea puun tilavuus puunmittauksessa käytettyjä vakiintuneita laskukaavoja käyttämällä. Saadut piirteet siirrettiisiin Microsoft Excel -ohjelmistoon, jossa niitä olisi mahdollista verrata referenssiaineistoon k-NN-menetelmän avulla.

Tämä oli ajatusmallini, jonka oletin toimivan. Menetelmä oli kuitenkin rakennettava ja kokeiltava käytännössä, jotta saisin selville, pystyykö sen avulla arvioimaan hinnan tarpeeksi luotettavasti ja onko menetelmä yritykselle kustannustehokkaampi kuin työkohteella tapahtuva hinta-arviointi.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ensin etähinnoittelumenetelmän teollista perustaa. Tämän jälkeen perehdytään etähinnoittelumenetelmän rakenteeseen käytettyjen ohjelmistojen ja tietoaineistojen kautta. Käytännön hinnoitteluprosessi kuvataan omassa luvussaan, jonka jälkeen käsitellään menetelmän testausta sen alkukehitysvaiheessa sekä luotettavuusarviointia. Sitten verrataan etähinnoittelumenetelmän käyttämisen kustannuksia työkohteella tapahtuvan hinnoittelun kustannuksiin. Lopuksi suunnataan katse tulevaisuuteen pohtimalla menetelmän uusia, mahdollisuuksia ja kaupallisuutta nopeasti muuttuvassa maailmassa sekä käsitellään kehittämisen aikana kohdattuja haasteita ja etähinnoittelumenetelmän lähiajan kehityskohteita.

## 2 TIETEELLINEN PERUSTA

Pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmä perustuu metsien inventointiin ja metsänmittaukseen kehitettyjen teknologioiden ja laskentamallien soveltamiseen uudella tavalla. Tässä luvussa esitellään etähinnoittelumenetelmän kehittämisen tieteelliset taustat.

### 2.1 Laserkeilaus

Lentolaserkeilaus tarkoittaa kaukokartoitustekniikkaa, jonka avulla voi mallintaa maan pinnan erilaisia muotoja. Laserkeilain tuottaa kohteesta kolmiulotteista tietoa. Kohteen ja laserin välinen etäisyys mitataan laserpulssin kulkuajan perusteella. Kun laserkeilaimen asento ja paikka ovat tarkasti tunnetut, saadaan selville myös keilatun kohteen tarkka sijainti. Samalla mitattu etäisyys kohteeseen voidaan muuttaa korkeustiedoksi. Toisin sanoen jokainen yksittäisen laserpulssin paluukaikua vastaava etäisyys voidaan muuntaa x- y- ja z-koordinaateiksi. Laserkeilauksen tuloksena syntyy korkeuspistetiedosto keilatusta pinnasta. (Holopainen, Hyyppä & Vastaranta, 2013, ss. 11–12)

Tästä korkeuspistetiedostosta voidaan muodostaa erilaisia pintamalleja. Yleisesti käytössä olevia pintamalleja ovat muun muassa maan pinnan maastomalli DTM (Digital Terrain Model), korkeimmista kohteista johdettu pintamalli DSM (Digital Surface Model) ja puuston korkeutta kuvaava pituusmalli CHM (Canopy Height Model). CHM muodostuu DSM:n ja DTM:n erotuksesta. (Holopainen ym., 2013, s. 13) Nimestään huolimatta Canopy Height Model käsittää kaikkien maanpintaa korkeammalla olevien objektien etäisyyden maan pinnasta, ei vain puiden (Earth Lab, 2020).

Lentolaserkeilauksen tuottamasta korkeuspistetiedostosta on kaksi tapaa tuottaa metsän puustotietoja. Nämä menetelmät ovat yksinpuintulkinta ja aluepohjainen menetelmä. Puustotiedot tuotetaan suoraan korkeuspistetiedostosta puiden fysikaalisia ominaisuuksia mittaamalla tai hyödyntämällä ennustettavien tunnusten ja korkeuspistetiedosta laskettujen piirteiden tilastollisia riippuvuussuhteita. (Holopainen 2013, 21)

Aluepohjaista tulkintaa voidaan tehdä harvapulssisesta laserkeilausaineistosta, jonka pulssitiheys on 0,5–2 pulssia/m<sup>2</sup>. Metsäsuunnittelussa on siirrytty puustoinventoinnin osalta harvapulssiseen laserkeilaukseen, aluepohjaiseen piirteiden irrotukseen ja ei parametriseen k-NN-menetelmään perustuvaan inventointiin. K-NN-menetelmän lähtökohtana on, että kukin otosyksikkö liitetään lähimpiin maastossa mitattuihin koeloihin. Jokaiselle tulkittavalle otosyksikölle saadaan liitettyä mitattu koelatieto. Aluepohjainen menetelmä vaatii tuekseen suuren määrän koeloihin ja niiltä huolellisesti mitattuja puustotietoja. (Holopainen ym., 2013, ss. 21–22)



Yksinpuintulkinta vaatii tiheämpipulssista aineistoa, jonka pulssitiheys on yli 2 pulssia/m<sup>2</sup>. Useat tutkijat 2000-luvun alussa esittelivät perustan laserpohjaiselle yksinpuintulkinnalle. Tässä menetelmässä yksittäisen puun sijainti, puun pituus, latvuksen halkaisija ja puulaji tulkitaan laserin ja mahdollisten ilmakuvien avulla. Puiden läpimitta, pohjapinta-ala ja tilavuus johdetaan mitattujen suureiden avulla. Yksittäisen puun tärkein tunnus on rinnankorkeusläpimitta, josta puun tilavuus sekä tukki ja kuitupuun määrä ennustetaan. Lentolaserkeilauksen aineistosta saadaan tietoa puun pituudesta ja latvuksen läpimitasta yksinpuintulkinnan avuksi. Näiden tietojen avulla ennustetaan puun läpimittaa. Koska pituuden ja läpimitan välinen suhde on verrattain heikko, niin läpimitan ennustamisen tarkkuudessa on huomattavaa epävarmuutta. (Holopainen ym., 2013, s. 21, 28)

Aluepohjainen menetelmä ei sovellu yksittäisen puun tilavuuden ja muodon arvioimiseen. Yksinpuintulkinta vaatii tiheäpulssisen aineiston ja siltikin puun tilavuuden ennustamisessa on huomattavia epävarmuustekijöitä. Pihapuiden kaatamisen hinnoittelumenetelmää kehitettäessä arvioitiin, että pelkästä laserkeilausaineistosta johdettujen puun koon, muodon ja esteiden vaikutusta hintaan ei saada selvitettyä riittävällä tarkkuudella luotettavan hinta-arvion tekemiseksi. Näin ollen avoimista lähteistä saatua laserkeilausaineistoa käytettiin pituusmallin (CHM) tekemiseen, josta selvisi puun sijainti, pituus ja latvuksen muoto. Näitä tietoja käytettiin asiakkaalta saatujen tietojen ohella hinta-arvion laskemiseen.

## 2.2 Puun tilavuuden laskeminen

Puun tilavuuden laskemiseen on monia eri tapoja. Suomessa puun tilavuuden laskemiseen käytetään yleensä regressioanalyysin avulla laadittuja yhtälöitä. Jouko Laasasenaho (1982) on luonut erilliset regressiomallit kuuselle, männylle ja koivulle. Mallien avulla tilavuus voidaan laskea kolmea eri mittausyhdistelmää käyttäen. Mittausyhdistelmät ovat puun rinnankorkeusläpimitta, puun rinnankorkeusläpimitta ja puun korkeus sekä puun rinnankorkeusläpimitta, puun korkeus ja puun läpimitta 6 metrin korkeudelta. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo, 2003, ss. 45–46)

Tarkimmat tulokset saadaan kohdan kolme mittausyhdistelmällä, kun taas pelkkään rinnankorkeusläpimittaan perustuvan tilavuuslaskennan keskivirhe on puulajin mukaan 17,2–18,8 %. Pelkkään läpimittaan perustuvan mallin keskivirhe on selkeästi suurempi kuin kahdella muulla tilavuusmallilla. (Kangas ym., 2003, ss. 45–46)

Pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmässä tilavuuden laskentaan ei käytetty kahteen läpimittaan ja korkeuteen perustuvaa mallia, vaikka se onkin Laasasenahon tilavuusmalleista tarkin. Kuuden metrin korkeudelta mitattava läpimittaa olisi ollut kohtuutonta pyytää asiakkaalta, joka ei ole metsäalan ammattilainen ja jolla ei ole käytössään tarvittavaa mittausvälineistöä. Pelkkään läpimittaan perustuvan mallin keskivirhettä pidettiin liian suurena ja sen ajateltiin vaikeuttavan luotettavan hinta-

arvion tekemistä. Laserkeilausaineistosta oli saatavissa tarpeeksi luotettava tieto arvioitavan puun korkeudesta. Näin ollen hinnoittelumenetelmässä käytettäväksi tilavuusmalleiksi valittiin seuraavat puun rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvat Jouko Laasasenahon kehittämät laskukaavat:

$$\text{Mänty: } v = 0,036089 d^{2,01395} (0,99676)^d h^{2,07025} (h - 1,3)^{-1,07209} \quad (1)$$

$$\text{Kuusi: } v = 0,022927 d^{1,91505} (0,99146)^d h^{2,82541} (h - 1,3)^{-1,53547} \quad (2)$$

$$\text{Koivu: } v = 0,011197 d^{2,10253} (0,98600)^d h^{3,98519} (h - 1,3)^{-2,65900} \quad (3)$$

$v = \text{tilavuus}$

$d = \text{rinnankorkeusläpimitta}$

$h = \text{puun korkeus}$

(Kangas ym., 2003, s. 46)

### 2.3 Puun pituuskasvun laskeminen

Yleisesti puun pituuskasvu mitataan oksakiehkuroista erilaisilla pituuden mittaamiseen käytetyillä laitteilla. Yleinen tapa on mitata viiden vuoden pituuskasvu, jolloin saadaan tarkempi tulos kuin pelkästään yhden vuoden pituuskasvun mittauksessa. (Ärölä, 2018, s. 259)

Yrjö Ilvessalo (1969) on laatinut taulukot puiden muotokorkeuden kasvuprosentin määrittämiseen. Muotokorkeus kuvaa samanaikaisesti puun pituuden ja muodon muutosta. (Ärölä, 2018, s. 264)

Ilvessalon taulukot julkaistiin ensimmäisen kerran jo vuonna 1948 Keskusmetsäseura Tapion kustantamana. Taulukoiden laatimisen perustana oli noin 12 000 kaadettua ja tarkoin mitattua koepuuta. Taulukoita ei ole tarkoitettu yksittäisen puun kasvun laskemiseen, vaan ne ovat perustana suuremman puujoukon likimääräisen muotokasvun määrittämiselle. Taulukoiden käyttö perustuu tiedettyyn puulajiin, puuston ikään ja puuston tiheysluokkaan. (Ilvessalo, 1981, ss. 5–16)

Pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmässä Ilvessalon taulukoista saatuja muotokorkeuden kasvuprosentteja käytettiin puun nykyisen pituuden likimääräiseen arvioimiseen silloin, kun käytettävissä oleva laserkeilausaineisto oli yli kolme vuotta vanhaa.

### 2.4 K-NN-menetelmä

K:n lähimmän naapurin algoritmi (k-NN) on ei-parametrinen menetelmä, jota käytetään luokitteluun ja regressioon. Molemmissa tapauksissa syöte koostuu ominaisuusavaruudessa olevista k:sta lähimmästä

vertailuotoksesta. Lopputulos riippuu siitä, käytetäänkö k-NN-menetelmää luokitteluun vai regressioon. (Wikipedia, n.d.a)

K-NN-luokittelussa lopputulos on tietyn luokan jäsenyys. Kohde luokitellaan siihen luokkaan, joka on yleisin k:n lähimmän naapurin keskuudessa. K on yleensä pieni kokonaisluku. Jos k on 1, niin kohde yksinkertaisesti luokitellaan yksittäisen lähimmän naapurin luokkaan. Jos k on 5, niin kohde luokitellaan siihen luokkaan, joka on yleisin viidellä lähimmällä naapurilla. K-NN-regressiossa lopputulos on kohteen ominaisuusarvo. Tämä arvo on K:n lähimmän naapurin arvojen keskiarvo. (Wikipedia, n.d.a)

K-NN-menetelmä perustuu kohteiden välisen etäisyyden laskemiseen. Kohteiden välisen etäisyyden laskemiseen on monia eri tapoja. Euklidiseen metriikkaan perustuva etäisyyden laskenta on yksi yleisimmistä laskentatavoista. Muita vähemmän käytettyjä etäisyydmetriikoita ovat Manhattan- ja Mahalanobiksen etäisyys. (Özsakabaşı, 2008, s. 8)

Euklidinen etäisyys tarkoittaa kahden pisteen (x, y) välistä etäisyyttä moniulotteisessa tilassa. Euklidinen etäisyys voidaan esittää laskukaavalla:

$$d(x, y) = d(y, x) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \quad (4)$$

tai lyhyemmin:

$$d(x, y) = d(y, x) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (5)$$

(Wikipedia, n.d.b)

Kaava voidaan ajatella siten, että X on kohde, jonka luokka tai arvo ei ole tiedossa. Y on kohde, jonka luokka tai arvo on tiedetty. Kohteilla X ja Y on joukko ominaisuuksia eli piirteitä  $(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$ .

Tällöin kohde on toisen kohteen naapuri, jos niiden välinen etäisyys on etukäteen määritellyn raja-arvon sisäpuolella. X:n lähin naapuri on se kohde otosjoukosta, jonka etäisyys X:ään on kaikkein lyhyin. (Özsakabaşı, 2008, s. 5)

Käytännössä k-NN -algoritmi toimii seuraavasti:

1. Ihminen luokittelee joukon kohteita tai määrittelee arvon joukolle kohteita manuaalisesti. Tästä joukosta muodostuu referenssiaineisto, jonka piirteet sekä luokat tai arvot tiedetään.
2. Tietokone lukee vertailuaineiston.
3. Uusi kohde, jonka luokka tai arvo ei ole tiedossa toimii syötteenä tietokoneelle:
  - a. Naapurit otetaan referenssiaineistosta
  - b. Tietokone laskee uuden kohteen etäisyyden referenssiaineiston kohteisiin euklidisen metriikan tai muun etäisyydmetriikan avulla.

- c. Tietokone määrittelee uuden kohteen luokan tai arvon ennalta määritellyn  $k$ :n mukaisesti, joko yleisimpänä luokkana  $k$ :n lähimmän naapurin joukossa tai  $k$ :n lähimmän naapurin keskiarvona. (Özsakabaşı, 2008, s. 6)

Luokitteluvirheitä voi tapahtua, mikäli referenssiaineistossa on muihin luokkaotoksiin verrattuna suuri määrä kohteita, jotka on luokiteltu yhteen tiettyyn luokkaan. Tällöin laskennan tuloksena tämän luokan kohteet nousevat korostetusti esille uuden kohteen lähimpinä naapureina. Yhden luokan korostumista voi estää siten, että referenssiaineiston kohteille annetaan sitä suurempi painoarvo mitä lähempänä ne ovat luokiteltavaa kohdetta. Näin lähimpien kohteiden luokat ovat saavat suuremman painotuksen luokan enemmistöäänestyksessä. K-NN-menetelmän tarkkuus kärsii myös siitä, jos laskennassa on mukana luokituksen tai arvottamisen kannalta merkityksettömiä piirteitä. (Özsakabaşı, 2008, ss. 6–7)

Metsän inventoinnissa k-NN-menetelmällä kaikki puustotunnukset on mahdollista ennustaa yhtä aikaa. Tarkasteltavan hilaruudun laserpisteiden piirteitä verrataan maastokoealojen vastaaviin piirteisiin. Puustotiedot kopioidaan tarkasteltavalle hilaruudulle niiltä maastokoealoilta, joiden piirteet vastaavat eniten hilaruudun piirteitä (Ärölä, 2018, s. 292)

Pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmässä käytettiin euklidiseen metriikkaan perustuvaa k-NN-menetelmää, jossa puut luokiteltiin tiettyyn hintaluokkaan. Tietokone ei tehnyt luokitteluja automaattisesti algoritmin avulla, vaan luokittelu suoritettiin manuaalisesti Microsoft Excel -ohjelmistossa k-NN-algoritmin periaatteita noudattaen. Euklidisen etäisyyden laskemiseen käytetyt kohteen piirteet saatiin laserkeilausaineistosta ja asiakkaan toimittamista tiedoista.

### 3 ETÄHINNOITTELUMENETELMÄN RAKENNE

Pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmä rakentuu kolmesta ohjelmistosta, joihin syötetään avoimista lähteistä ja asiakkaalta saatua tietoa. Tiedot prosessoidaan ja lopputuloksena syntyy annettuihin tietoihin perustuva pihapuun kaatamisen hinta-arvio, jota vielä tarkennetaan tarvittaessa kuva-aineiston visuaalisella tarkastelulla.

#### 3.1 Käytetyt ohjelmistot

Hinnoitteluprosessissa käytettiin kolmea ohjelmistoa. Paikkatiedon prosessointiin ja hallintaan käytettiin QGIS 3.6 -ohjelmistoa. Laserkeilausaineiston käsittelyyn käytettiin LAsTools-ohjelmistoa. Hinnan arviointiin tarvittavat tilastoinnit ja laskelmat tehtiin Microsoft Excel -ohjelmistossa.

### 3.1.1 QGIS

QGIS on avoimeen lähdekoodiin perustuva paikkatietojärjestelmä. QGIS projekti aloitettiin vuonna 2002. Projektin tarkoituksena on ollut käyttökelpoisen ja elinvoimaisen paikkatietojärjestelmän luominen kaikkien tietokoneen käyttäjien saataville. Muut tarjolla olevat paikkatietojärjestelmät ovat olleet perinteisesti kalliita kaupallisia sovelluksia. Käytetyn ohjelmointitavan ansiosta QGIS tuntuu näppärältä. Sillä on miellyttävä ja käyttäjäystävällinen graafinen käyttöliittymä. QGIS pyrkii tarjoamaan käyttöön paikkatieto-ohjelmistojen yleiset toiminnot ja ominaisuudet. QGIS on saavuttanut kehityshistoriassaan tason, jossa sitä käytetään laajalti päivittäisiin paikkatietodatan visualisointitarpeisiin. QGIS tukee lukuisia erilaisia vektori- ja rasteriaineistojen tiedostotyyppejä. (QGIS Project, 2020, s. 3)

Lähes kaikki uudet ohjelmistot ovat automaattisesti tekijänoikeuden suojaamia. Tekijänoikeuslaki kieltää ohjelmistojen kopioinnin ja muokkaamisen ilman tekijän lupaa. Jotta kehitettyä ohjelmistoa oli mahdollista käyttää vapaasti, on sen tekijänoikeuden haltijan annettava käyttöön yleinen lupa eli lisenssi. Eräs laajalti käytössä oleva vapaaohjelmallisenssi on GNU-projektin General Public License eli GPL-lisenssi. (Kaijanaho, 2003)

QGIS on julkaistu kyseisen GPL-lisenssin alle. Lisenssin alaisuudessa tapahtuva QGIS-ohjelmiston kehittäminen tarkoittaa käyttäjälle sitä, että QGIS-ohjelmiston lähdekoodia saa tutkia ja muokata vapaasti. Lisenssi takaa ohjelmiston vapaan ja ilmaisen käytön sekä ohjelmiston muokkaamisen käyttäjän tarpeiden mukaiseksi. (QGIS Project, 2020, s. 3)

QGIS on suunniteltu siten, että ohjelmistoon pystytään kytkemään uusia ominaisuuksia ja toimintoja sisältäviä lisäosia. QGIS:n lisäosat luokitellaan ydinlisäosiksi ja ulkoisiksi lisäosiksi. Ydinlisäosat ovat automaattisesti mukana ohjelmiston eri versioissa ohjelmiston kehittäjien päivittäminä. QGIS-ohjelmiston omassa varastossa tai ohjelmiston ulkopuolisessa digitaalisessa varastossa säilytettävät ulkoiset lisäosat on helppo lisätä ohjelmistoon käyttäjän tarpeiden mukaan. (QGIS Project, 2020, s. 561)

Lyhyesti sanottuna QGIS on vapaasti käytettävissä oleva avoimeen lähdekoodiin perustuva paikkatieto-ohjelmisto, jonka avulla voi luoda, muokata, analysoida, visualisoida ja julkaista paikkaan sidottua tietoa. (QGIS, n.d.)

### 3.1.2 LAsTools

LAsTools on tohtori Martin Isenburgin kehittämä ohjelmisto (Emison, 2019). LAsTools-ohjelmisto käsittää joukon työkaluja, joiden avulla laserkeilausaineistoa voi käsitellä, analysoida ja visualisoida. LAsToolsin työkalut ovat käytettävissä QGIS-ohjelmiston kautta, samoin kuin muutaman muunkin yleisesti käytetyn paikkatieto-ohjelmiston kautta. LAsTools-ohjelmisto on ladattavissa Martin Isenburgin hallinnoimalla ja ylläpitämällä

internetsivustolla <https://rapidlasso.com>\_ LAsToolsissa on kaikille vapaasti käytettävissä oleva avoin puoli sekä erillisen lisenssin kautta käytettävissä oleva suljettu puoli. Avoin puoli on ilmainen, mutta työkalujen käytössä on rajoituksia. Lisensoitu puoli on maksullinen, mutta tällöin työkalujen käytössä ei ole rajoituksia tai käyttäjä voi maksaa vain tarvitsemiensa työkalujen käyttämisestä. (rapidlasso GmbH, n.d.a; rapidlasso GmbH, n.d.b; rapidlasso GmbH, n.d.c)

Lisensoitu puoli LAsToolsista on maksullinen kaikille kaupallisille toimijoille, julkisille hallinnoille sekä tuotannollisille toimijoille (rapidlasso GmbH, n.d.b) Eräässä haastattelussa Isenburg kertoo kuitenkin, että ohjelmistoa voi käyttää ilmaiseksi, jos sillä ei tee paljon rahaa (Emison, 2019). Lisensoitu puoli on ilmainen ei-kaupallisille henkilöille, opetus- ja koulutuskäyttöön (pois lukien sotilaallinen koulutus) sekä voittoa tavoittelemattomiin humanitaarisiin tarkoituksiin. Kaupallisen toiminnan lisenssi koko ohjelmistolle maksaa 4 000 euroa vuodessa. Yksittäisen työkalun lisenssihintana on 1 500 euroa vuodessa. (rapidlasso GmbH, n.d.b; rapidlasso GmbH, n.d.c)

Lisensoitujen työkalujen käyttöä ilmaiseksi ei ole estetty teknisesti, mutta tällöin työkalujen käytössä on rajoituksia käsiteltävälle laserpistemäärälle. Jos käyttäjä käsittelee liian isoa laserpistemäärää, niin ohjelmisto ei suorita annettua komentoa ja ilmoittaa pisterajan ylityksestä. (rapidlasso GmbH, n.d.c)

Käytäntö on osoittanut, että suurin käsiteltävä pistemäärä ilman lisenssiä on 1,5 miljoonaa pistettä. Lisäksi havaittiin, että ilman lisenssiä tehtyihin rasteritiedostoihin muodostui 5 kappaletta vinosti käsittelyalueen ylittäviä pikselittömiä "juovia", kuten kuvassa 1. Tämä ominaisuus rajoittaa jonkin verran ilman lisenssiä tehtävien lopputuotteiden käytettävyyttä.



Kuva 1. Lisensittömällä LAsTools-ohjelmistolla luotu CHM, jossa on havaittavissa pikselitön juova.

### 3.1.3 Microsoft Excel

Bill Gates ja Paul Allen perustivat tietokoneiden ohjelmistoja kehittävän ja myyvän yrityksen nimeltä Micro-soft vuonna 1975. Myöhemmin yrityksen nimeksi vaihtui Microsoft Corporation. Nykyään Microsoft on yksi maailman suurimmista yrityksistä. (Wikipedia, n.d.c)

Microsoft Office on Microsoftin valmistama toimisto-ohjelmistopaketti. Microsoft Officen kehittäminen aloitettiin jo vuonna 1983 Applen Macintosh-tietokoneille. Vuonna 1993 Microsoft kehitti Office-ohjelmistopaketista version Windows-käyttöjärjestelmälle. Windowsille kehitetty ohjelmistopaketti sisälsi Microsoft Word, Microsoft Excel sekä Microsoft PowerPoint ohjelmistosovellukset. (Wikipedia, n.d.d)

Microsoft Office on kaupallinen ja maksullinen ohjelma, jonka hinta vaihtelee käyttötarkoituksen ja paketin laajuuden mukaan. Tällä hetkellä uusien Microsoftin tarjoama Office-ohjelmisto on nimeltään Microsoft Office 365. (Microsoft, 2020)

Office-ohjelmistopakettiin kuuluva Microsoft Excel on normaalissa toimistotyössä maailman yleisimmin käytetty taulukkolaskentaohjelma. Sillä pystyy tekemään kaikki toimistotyössä tarvittavat tehtävät, jotka vaativat laskemista ja tilastointia. (Salonen, 2019)

## 3.2 Käytetyt tietoaineistot

Osa pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenelmässä käytetyistä tietoaineistoista saatiin avoimista lähteistä, osa asiakkaan toimittamana ja osa luotiin itse. Avoin laserkeilausaineisto ladattiin internetin karttapalveluista. Asiakas toimitti yritykseen omat mittaustuloksensa ja kohteen sijainnin. Hinta-arviointia tukevaa lisäaineistoa saatiin avoimista lähteistä ja k-NN-menetelmän vaatima vertailuaineisto luotiin itse omien mittausten perusteella.

### 3.2.1 Laserkeilausaineisto

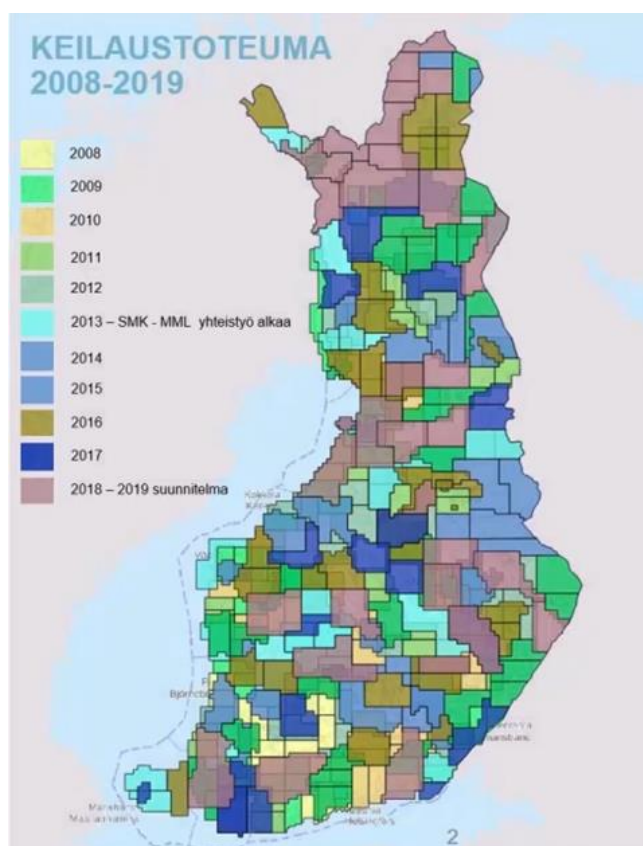
Menetelmässä käytetyt laserkeilausaineistot hankittiin pääosin Maanmittauslaitoksen aineistosta. Hinnoitteluun soveltuvaa laserkeilausaineistoa etsittiin myös muista avoimista lähteistä, kuten kaupunkien ja kuntien karttapalveluista. Yrityksen pääasialliselta toiminta-alueelta (Uusimaa, Päijät-Häme, Kanta-Häme) oli niukasti tarjolla muuta kuin Maanmittauslaitoksen aineistoa. Vain Helsingin kaupungin karttapalvelusta oli saatavilla kaupungin alueen kattava laserkeilausaineisto.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on avointa aineistoa ja se on saatavilla Maanmittauslaitoksen ylläpitämästä avoimien aineistojen tiedostopalvelusta osoitteessa <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi->

verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu. Laserkeilausaineisto on saatavilla automaattisesti maanpintaluokiteltuna. Osa aineistosta on tarjolla myös stereomallivusteisesti käsiteltynä aineistona. Tällä hetkellä aineisto kattaa maantieteellisesti koko Suomen. Aineiston laserpistetiheys on vähintään 0,5 pistettä/m<sup>2</sup>. Näin ollen pisteiden etäisyys toisistaan on keskimäärin enintään noin 1,4 m. (Maanmittauslaitos, n.d.b)

Maanmittauslaitoksen aineistot ovat saatavilla 3 x 3 kilometrin kokoisen alueen kattavina LAZ-tiedostoina ETRS TM35FIN-koordinaatistossa (Maanmittauslaitos, n.d.a). Aineiston lataaminen vaatii toimivaa sähköpostiosoitetta, johon aineisto ensin tilataan. Itse aineiston lataus suoritetaan sähköpostiin saapuneen erillisen linkin kautta.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistot on tehty vuosien 2008 ja 2019 välillä. Keilauksia on tehty eri alueilla eri vuosina. Uudenmaan ja Hämeen alueilla – jotka ovat Extreme Lumberjack Oy:n pääasialliset toiminta-alueet – Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on pääosin yli 10 vuotta vanhaa, kuten kuvasta 2 voidaan havaita. Koko Suomen osalta viimeiset keilaamattomat alueet on laserkeilattu vuosien 2018 ja 2019 aikana. (KMTK, n.d.)



Kuva 2. Maanmittauslaitoksen suorittamien laserkeilausten toteumat ja -ajat. (KMTK, n.d.)

Helsingin kaupungin laserkeilausaineistoja on tuotettu vuodesta 1999 lähtien. Aineistot ovat avoimia ja ne ovat ladattavissa Helsingin karttapalvelun



verkkosivuilla <https://kartta.hel.fi>. Uusin laserkeilausaineisto on vuodelta 2017. Kaikki pisteet käsittävä aineisto ladataan tietokoneelle 0,5 x 0,5 kilometrin kokoisen alueen kattavina LAZ-tiedostoina. Pelkät maanpintapisteet ovat tarjolla 2 x 2 km kokoisina LAZ-tiedostoina. Vuoden 2017 laserkeilausaineiston pistetiheys nadiirissa on 21 pistettä/m<sup>2</sup>. Aineisto on ETRS-GK25-koordinaatistossa. Helsingin kaupungin laserkeilausaineiston ylläpito on jatkuvaa. Joka vuosi kuvataan osa kaupungista tietyn kuvausohjelman mukaisesti. (Helsingin karttapalvelu, n.d.)

Helsingin karttapalvelun LAZ-tiedostot latautuivat tietokoneelle suoraan sivustolta. Tämän vuoksi Helsingin kaupungin aineisto oli hieman nopeammin käytettävissä kuin Maanmittauslaitoksen aineisto. Lisäksi Helsingin kaupungin avoin laserkeilausaineisto on huomattavasti tarkempaa ja uudempaa kuin Maanmittauslaitoksen aineisto. Tämän vuoksi pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmässä käytettiin Helsingin kaupungin alueella olevien kohteiden arviointiin kaupungin omaa laserkeilausaineistoa.

### 3.2.2 Asiakkaalta saatava aineisto

Asiakkaan vastuulle jäävän tietoaineiston mittaamiseksi ja toimittamiseksi laadittiin ohjeistus yrityksen Facebook-sivuille. Useimmissa tapauksissa asiakas jouduttiin kuitenkin opastamaan tietojen keräämiseen ja lähettämiseen puhelimitse siinä vaiheessa, kun hän otti ensi kertaa yhteyttä yritykseen ja pyysi tarjousta puun kaadosta. Asiakasta pyydettiin selvittämään ja toimittamaan seuraavat tiedot:

- puulaji
- puun ympärysmitta mittanauhalla mitattuna rinnankorkeudelta eli n. 1,3 metrin korkeudelta
- askelmitalla otettu etäisyys metreinä lähimpään sellaiseen esteeseen, joka ei saanut mennä rikki työn aikana (esim. aita, seinä, terassi, muu piharakenne)
- askelmitalla otettu etäisyys metreinä lähimpään esteeseen siinä suunnassa, jonne näytti olevan eniten tilaa kaataa puu
- puun tarkkan sijainti
- puun haarojen lukumäärä
- valokuva puusta ympäristöineen
- silmämääräinen arvio puun kunnosta/lahosta.

Yleensä tiedot puulajista, haarojen määrästä, puun kunnosta ja puun sijainnista saatiin jo ensimmäisen puhelinkeskustelun yhteydessä. Sijainnin merkitsemistä Google Maps -sovelluksella ei tarvittu kertaakaan, vaan puun tarkka sijainti pystyttiin selvittämään keskustelun yhteydessä osoitetietojen ja tarkemman sanallisen kuvailun kautta. Yksikään asiakas ei kieläytynyt tietojen toimittamisesta niitä puhelimitse pyydettyä.

### 3.2.3 Lisäaineisto

Hinta-arvioinnin tueksi oli saatavissa lisämateriaalia avoimista lähteistä internetistä. Tietoa oli tarjolla yllättävän hyvin kaupunkialueilla olevista työkohteista. Varsinkin niistä työkohteista, joissa kaadettava puu oli kadun puolella asuinkiinteistöä, saatiin hyviä kuvanäkymiä Google Maps Street View:n kautta. Näistä kuvista oli helppo tehdä visuaalista arviota asiakkaan lähettämän kuvan tai kuvien ohella. Hyvät Street View -kuvat usein korvasivat asiakkaan lähettämät heikkolaatuiset kuvat, joskin arvioinnissa täytyi huomioida Googlen kuvien päiväys. Street View -kuvat olivat välillä yllättävänkin vanhoja, jopa yli 10 vuotta sitten otettuja.

Ilmakuvia alueista oli saatavilla Maanmittauslaitoksen avoimista aineistoista sekä kaupunkien ja kuntien omista karttapalveluista. Yleisesti ottaen ilmakuvien tarkastelulla ei koettu saatavan sellaista lisähyötyä hinta-arvion tekemiseen, että niitä käyttämällä olisi saatu parempi lopputulos kuin Googlen satelliittikarttaa ja Street View -kuvia tarkastelemalla.

### 3.2.4 Referenssiaineisto

K-NN-menetelmän käyttäminen vaatii referenssiaineistoa. Referenssiaineistoa kerättiin 1.5.2019 alkaen kaikilta yrityksen arvioimilta ja tehdyiltä työkohteilta. Pihapuun kaatamisen hinta arvioitiin paikan päällä samalla tavalla kuin aiemminkin. Lisäksi mitattiin puun ympärystymitta ja etäisyys esteisiin sekä laskettiin puun haarat. Paikalla arvioitu hintatieto yhdistettiin työkohteessa mitattuihin tietoihin. Näin saatiin referenssiaineisto, jossa numeeriset piirteet yhdistyivät k-NN-menetelmällä estimoitavaan arvoon eli tässä tapauksessa hintaan.

Koska yritystoiminta oli sivutoimista, niin pelkästään työkohteilta saatavan tiedon määrää ei pidetty riittävänä, jotta hinnoittelumenetelmä ja tämä opinnäytetyö olisi saatu valmistumaan halutussa aikataulussa. Tämän vuoksi työkohteilta saatua referenssiaineistoa täydennettiin arvioimalla puita erilaisissa kohteissa ilman, että paikoista olisi tullut työtilaus.

Tehdyissä työkohteissa arvioitiin etukäteen tehdyn hinta-arvion onnistumista työn todellisen ajanmenekin ja vaikeusasteen perusteella. Tarvittaessa hintaa muutettiin referenssiaineistoon joko suuremmaksi tai pienemmäksi, jotta aineiston luotettavuus paranisi. Työkohteen etukäteen arvioitu hinta ei ole absoluuttinen totuus, vaan työhön käytettävä aika ja vaikeusaste varmentuvat vasta työtä tehtäessä. Suurimmassa osassa tehtyjä työkohteita hinnantarkistuksiin ei kuitenkaan ollut tarvetta.

Hinnan tarkastamista ja mahdollista korjausta ei luonnollisestikaan saatu tehtyä niissä kohteissa, jotka oli arvioitu, mutta eivät lopulta tulleet yrityksen työkohteiksi. Tehtyjen työkohteiden tarkastetut hinnat merkittiin referenssiaineistoon siten, että hintaa estimoitaessa ne oli helppo erottaa

aineistosta luotettavampana tietona kuin pelkkään arviointiin perustuva hintatieto.

Referenssiaineistoon perustuvan hinnoittelumenetelmän luotettavuus paranee aineiston laajentuessa. Varsinkin tehdyiltä työkohteilta saadut tiedot ja työn jälkeen tarkastettu hintatieto ovat tärkeitä hinnoittelumenetelmän luotettavuuden parantamiseksi. Aineiston luotettavuuden parantaminen vaatii luonnollisesti työkohteissa käytetyn ajan ja kohteiden vaativuuden jatkuvaa mittaamista, arviointia ja tulosten tarkkaa tilastointia.

## 4 HINNOITTELUPROSESSI

Etähinnoitteluprosessia varten yrityksen tietokoneelle ladattiin QGIS 3.6 -ohjelmisto. Ohjelmistoon asennettiin LAsToolsin työkalut sisältävä lisäosa. QGIS-ohjelmistossa hinnoittelua varten aloitettiin oma projektinsa, jonka taustakartoiksi asetettiin Open Street Map (OSM Standard), Google Maps sekä Google Satellite. Osoitehakua varten ladattiin tietokoneelle OSM Place Search QGIS:n lisäosavarastosta verkko-osoitteesta <https://plugins.qgis.org/plugins/nominatim/>. Lisäksi asennettiin Google Street View -lisäosa, jonka avulla QGIS:n kartan tietystä pisteestä pystyi siirtymään suoraan vastaavan paikan Google Street View -näkömään. Myöhemmin havaittiin, että tämä suoratoiminto Street View -kuviin toimii QGIS-ohjelmistossa vain ajoittain.

Tietokoneelle ladattiin myös LAsTools-ohjelmisto. Sen eri toiminnoille luotiin kansiorakenne, joka mahdollisti LAsTools-työkalujen tehokkaan käytön QGIS-ohjelmistossa. Lisäksi luotiin kansiorakenne alkuperäisen laserkeilausaineiston ja QGIS:n avulla luotavien pituusmallien (CHM) hallinnointiin ja säilyttämiseen.

Microsoft Excel -ohjelmistoon luotiin taulukko referenssiaineistolle. Ilvesalon muotokasvutaulukoiden pohjalta tehtiin puulajeittain laskentataulukko puun pituuden arvioimiseksi vanhentuneesta laserkeilausaineistosta. Lisäksi tehtiin taulukot valmiine kaavoineen puun ympärysmittan muuttamiseksi rinnankorkeusläpimitaksi, puun tilavuuden laskemiseksi ja referenssiaineiston euklidisen etäisyyden laskemiseksi. Näiden lisäksi luotiin taulukko toteutuneista työkohteista ajankäyttöineen. Tämä seuranta-työkalu mahdollistaa pitkän aikavälin seurannan hinta–työaika-suhteelle ja helpottaa päätöksentekoa mahdollisen yleisen hintatason muuttamisen osalta markkinatilanteen tai kustannuksien muuttuessa tulevaisuudessa.

### 4.1 Pituusmallin luominen (CHM)

Puiden pituusmallin luominen aloitettiin lataamalla tietokoneelle. Maanmittauslaitoksen avoimista aineistoista työkohteen sijainnin mukainen

stereoluokiteltu laserkeilausaineisto. Helsingin kaupungin osalta käytettiin Helsingin karttapalvelusta saatavaa laserkeilausaineistoa, joka on tarkempaa ja uudempaa kuin Maanmittauslaitoksen avoimista aineistoista tällä hetkellä saatava laserkeilaisaineisto.

Tietokoneelle ladattu LAZ-tiedosto tallennettiin LAsToolsille luodun kansiorakenteen alakansioon, jotta tiedosto olisi ohjelmiston käytettävissä. Tämän jälkeen tiedostosta luotiin rasterimuotoinen puiden pituusmalli QGIS-ohjelmistossa. LAsTools-ohjelmistoa käytettiin QGIS:lle asennettujen LAsTools-työkalujen kautta. CHM:n luomiseen on monta erilaista LAsTools-työkalua. Erilaisten tapojen ja työkalujen kokeilujen jälkeen nopeimmaksi ja yksinkertaisimmaksi työkaluksi miellettiin flightlinesToMerged-CHM\_FirstReturn -niminen työkalu, joka loi valmiin rasterimuotoisen pituusmallin työkaluun syötetystä yhdestä tai useammasta LAZ-tiedostosta. Työkalu käyttää automaattisesti lastile-, lasground-, lasheight-, las2dem- ja lasgrid-työkaluja. Näin ollen käyttäjän ei tarvitse käyttää yksitellen näitä CHM:n luomiseksi tarvittavia työkaluja, vaan yksi työkalu ja yhden alkuasetukset riittävät pituusmallin luomiseksi. Työkalun tehokas ja virheetön käyttäminen vaatii tarkkuutta ja huolellisuutta parametrien syöttämisessä ja LAsToolsille luotujen kansioiden hallinnassa.

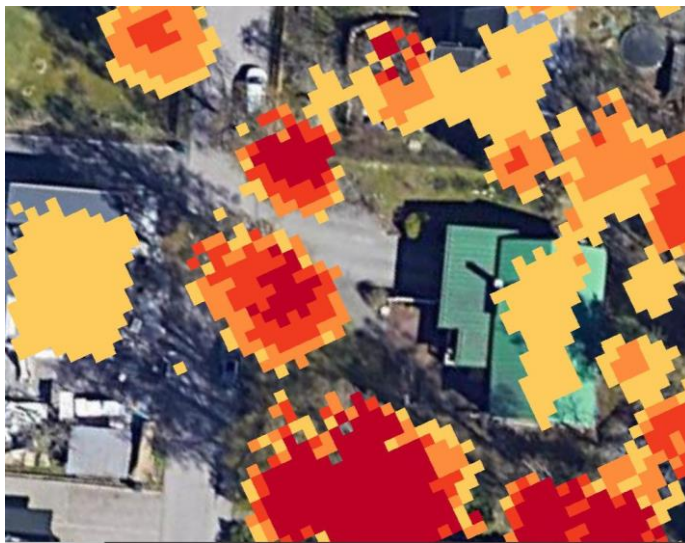
LAsTools-ohjelmiston työkalujen kuvausten mukaan

- Lastile-työkalu luo yhden tai useamman tiedoston laserpisteistä halutun kokoiset ja ilman päällekkäisyyttä olevat neliön muotoiset LAS- tai LAZ-tiedostot. Työkalussa on mahdollista käyttää myös puskuritointia, jolloin uusiin tiedostoihin saa halutun kokoisen päällekkäisyyden reuna-alueille. (rapidlasso GmbH, n.d.d)
- Lasground-työkalu luokittelee tiedoston laserpisteet maapisteisiin ja muihin pisteisiin (non-ground). Työkalu toimii parhaiten rakentamattomassa ympäristössä, mutta sen saa säädettyä toimivaksi myös kaupunkiympäristön pisteiden luokitteluun. (rapidlasso GmbH, n.d.e)
- Lasheight-työkalu laskee LAS-, LAZ- tai ASCII-tiedostosta jokaisen maanpinnan yläpuolella olevan laserpisteen korkeuden. Työkalun käyttö edellyttää sitä, että maapisteet on jo luokiteltu. Työkalu tunnistaa maapisteet ja muodostaa niistä kolmioimalla jatkuvan korkeuspinnan (TIN). (rapidlasso GmbH, n.d.f)
- Las2dem-työkalu lukee LAS-, LAZ- tai ASCII-tiedostosta laserpisteet, kolmioi ne väliaikaisesti TIN-muotoon ja muuttaa sitten TIN-korkeuspinnan rasterimuotoon. Lopputuloksena syntyy BIL-, ASC-, IMG-, FLT-, XYZ-, DTM-, TIF-, PNG- tai JPG-formaatissa oleva tiedosto. (rapidlasso GmbH, n.d.g)
- Lasgrid-työkalu lukee LAS-, LAZ- tai ASCII-tiedostosta laserpisteet ja ruuduttaa ne halutun kokoiselta alueelta yhdeksi rasterimuotoiseksi

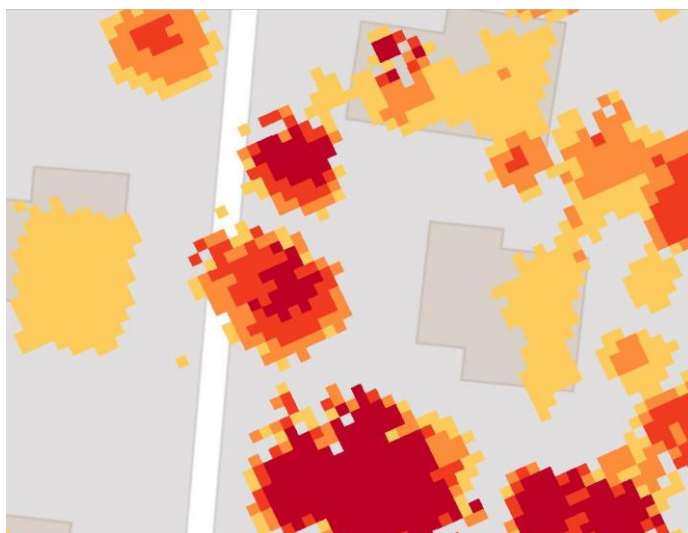
tiedostoksi. Lopputuloksena syntyy BIL-, ASC-, IMG-, TIF-, PNG-, JPG-, XYZ-, CSV- tai DTM- formaatissa oleva tiedosto. (rapidlasso GmbH, n.d.h)

QGIS-ohjelmiston FlightlinesToMergedCHM\_FirstReturn -työkalulla tehty rasterimuotoinen pituusmalli (CHM) muokattiin hinnoitteluun paremmin sopivaksi luomalla viisi eri väreillä esitettyä korkeusluokkaa. Alle kuuden metrin korkeusluokka jätettiin ilman värejä. Muut luokat olivat 6–10 m, 10–15 m, 15–20 m ja yli 20 m. Korkeusluokkamalli tallennettiin QGIS-ohjelmistossa omaksi tyylikseen ja sitä käytettiin jokaiseen uuteen pituusmalliin. Tallennetun tyylin käyttäminen nopeutti ja yhdenmukaisti uusien pituusmallien visualisointia. Eri väriset korkeusluokat helpottivat oikean paikan, oikean puun ja latvuksen laajuuden arviointia rasteritasolta. Visualisoidusta pituusmallista oli helppo löytää puun latva ja sitä vastaava puun pituustieto, kuten kuvista 3 ja 4 (s.17) voi havaita.

Mikäli järjestelmässä oli jo valmis pituusmalli uuden arvioitavan työkohteen alueelta, niin CHM:n luomista ko. alueelle ei ollut enää tarve tehdä. Tällöin puun pituustieto saatiin suoraan osoitteen perusteella ja oli heti käytettävissä Microsoft Excel -ohjelmassa.



Kuva 3. Luotu CHM Google Satellite -karttapohjalla.



Kuva 4. CHM kuvan 3 paikasta Open Street Map -karttapohjalla.

## 4.2 K-NN-estimointi

Pituusmallista tarkastettiin kaadettavan puun pituus. Vanhimmat Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistot olivat vuodelta 2008. Näitä vanhoja aineistoja käytettäessä arvioitavien puiden nykypituus laskettiin Ilvessalon muotokasvuprosenttiin perustuvalla laskentataulukolla. Ensin arvioitiin puun summittainen ikä laserkeilaushetkellä nykyisen läpimitan perusteella. Iän ja laserkeilaushetken pituuden perusteella laskettiin nykyinen pituus iän mukaisella muotokasvuprosentilla koronkorkoa käyttäen. Tulos on viitteellinen, mutta kuitenkin parempi kuin arvaus nykyisestä puun pituudesta. Kuva 5 havainnollistaa korkeuskorjaukseen käytettyä laskentataulukkoa. Helsingin kaupungin vuoden 2017 laserkeilausaineistosta tehdyille pituusmallille ei arvioitavien puiden pituuksien korjauksia tehty.

=F6\*1,013^12

D	E	F	G	H
	<b>Kuusi</b>			
	<b>ikä</b>	<b>pituus v. 2008</b>	<b>Pituus nyt</b>	
	20		0	
	30	0	0	
	40	0	0	
	50	15	17,51478	
	60	0	0	
	70	0	0	

Kuva 5. Kuvakaappaus Ilvessalon muotokorkeusprosentin perustalta tehdystä laskentataulukosta.

Asiakkaalta saadusta puun ympärysmittasta laskettiin puun läpimitta rinnankorkeudelta. Puun läpimitta ja pituus siirrettiin Microsoft Excel -taulukon piirteiksi euklidisen etäisyyden mittaamista varten. Asiakkaalta

saadut mitat lähimpiin esteisiin sekä puun haarojen määrä lisättiin niin ikään piirteinä etäisyyden laskutaulukkoon. Näiden mittojen oikeellisuutta arvioitiin vertaamalla niitä asiakkaalta ja avoimista lähteistä saatuihin kuviin sekä pituusmallista saatuihin tietoihin puun etäisyydestä karttatasoilla näkyviin rakenteisiin ja esteisiin. Myös puun haaraisuutta pyrittiin varmistamaan käytettävissä olleista kuvista.

Läpimitta- ja pituustiedoilla laskettiin puun tilavuus Laasasenahon kahden mittausyhdistelmän tilavuuskaavalla. Asiakkaan toimittamasta tai avoimista lähteistä saadusta kuvasta varmistettiin puulaji oikean tilavuuden laskukaavan valitsemiseksi. Koivulle tehtyä tilavuusmallia käytettiin myös muihin lehtipuihin, samoin kuin kuusen tilavuusmallia kaikille kuusilajeille. Etähinnoittelumenetelmän testivaiheessa tilavuutta käytettiin yhtenä piirteenä euklidisen etäisyyden laskemisessa. Testausten lopputuloksena tilavuustieto poistettiin laskettavista piirteistä.

Microsoft Excel -ohjelmisto laski automaattisesti referenssiaineistossa olevien hintaluokiteltujen puiden euklidisen etäisyyden uuteen arvioitavaan puuhun. Mitä pienempi euklidinen etäisyys oli, sitä paremmin referenssiaineiston hintaluokiteltu puu vastasi piirteiltään arvioitavaa puuta. Tulokset suodatettiin puulajeittain sekä euklidisen etäisyyden osalta pienimmästä isoimpaan. Tällöin saatiin uuden arvioitavan puun lähimmät saman puulajin naapurit esille referenssiaineistosta. Hintaluokittelussa ei käytetty tarkkaa etukäteen päätettyä k-arvoa, kuten normaalisti k-NN-estimoinnissa tehdään. Hinta-arvio tehtiin joustavin k-arvoin siitä joukosta, jonka euklidiset etäisyydet olivat alle 10. Tämän havaittiin antavan luotettavamman lopputuloksen kuin jäykkään k-arvoon perustuva hintaluokittelu. Joustavan k-arvon käyttö katsottiin tarkoituksenmukaiseksi lähinnä käytettävissä olleen referenssiaineiston pienuuden vuoksi. Samasta syystä hintaluokka arvioitiin välillä laskemalla keskiarvo ja määrittelemällä arvioitava puu lähimpään vastaavaan hintaluokkaan. Laskentataulukossa olevien euklidisen etäisyyden arvojen visualisoimiseksi käytettiin eri värejä. Alle 10 etäisyydellä vihreä, 10–20 keltainen ja yli 20 etäisyyksillä punainen. Kuva 6 havainnollistaa käytetyn laskentataulukon rakennetta.

fx =NELIÖJUURI((C2-\$M\$2)^2+(D2-\$N\$2)^2+(F2-\$O\$2)^2+(G2-\$P\$2)^2+(H2-\$Q\$2)^2)										
B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Puulaji	LPM	Pit.	Til.	Este 1	Este 2	Haara	Hinta	Laho	Euklidinen etäisyys	
Koivu	39	18	806	6	5	1	#####	ei	5,567764363	
Koivu	41	21	1038	5	5	1	#####	ei	5,196152423	
Koivu	37	19	790	4	6	1	#####	ei	5,196152423	
Koivu	41	19	926	1	10	1	#####	ei	4,242640687	
Kuusi	46	20	1248	3	6	1	#####	ei	7,483314774	

Kuva 6. Osa alkuperäisestä referenssiaineistosta muokattua laskentataulukkoa.

### 4.3 Visuaalinen arviointi

Ennen lopullista hinta-arviota tarkastettiin asiakkaan lähettämistä kuvista sekä avoimista tietolähteistä saaduista kuvista vielä kerran se, että saadut piirteet vaikuttivat vastaavan kuvan puuta ja ympäristöä ja että arvioitu hintaluokka täsmäsi oman kokemuksen perusteella kuvan antamaan vaikutelmaan. Käytännössä tosin havaittiin, että mitatut piirteet ja siitä laskettu hinta-arvio olivat luotettavampi tapa arvioida kohdetta kuin kuvasta saatu mielikuva puun koosta, sijainnista ja työtä vaikeuttavista esteistä. Osaltaan tämä johtui siitä, että asiakkailta saatujen kuvien laadussa oli suuria asiakaskohtaisia eroja.

Myöhemmin työkohteissa tehdyissä tarkastusmittauksissa ei havaittu selaista eroa asiakkaan aiemmin mittaamiin ja toimittamiin tietoihin, jotka olisivat vaatineet etätoimintana tehdyn hinta-arvion muuttamista. Yrityksen ja asiakkaan välillä oli satunnaisesti eroja puun haarojen määrän tulkittamisesta. Asiakas tulkitsi helposti selkeän puun haaran oksaksi, jota ei ennakkotiedoissa ilmoittanut. Lisäksi osalla asiakkaista oli vaikeuksia tunnistaa oikea puulaji. Näin ollen kuvien tulkinta ennen lopullista hinta-arviota oli edellytys sille, että virheellisiä hinta-arvioita tuli mahdollisimman vähän.



Kuva 7. Kuvien 3 ja 4 paikka Googlen Street View -näkömänä.

### 4.4 Lopullinen hinta-arvio

Referenssiaineiston lähimpien naapurien hintojen perusteella lopullinen hinta-arvio oli helppo tehdä, eikä sitä yleensä ollut tarvetta muuttaa kuvien visuaalisen arvioinnin perusteella. Tässä vaiheessa arvioitiin myös asiakkaalta saadun puun kunto- ja lahotiedon vaikusta hinta-arvioon. Referenssiaineistoon luokitellut hinnat koskivat tilannetta, jossa asiakas tarvitsee vain yhden pihapuun kaatamisen. Näin ollen hinnat sisälsivät muun muassa matkakustannusten huomioimisen. Jos asiakas halusi useamman pihapuun kaatamisen samalta tontilta, niin kokonaistarjouksessa



huomioitiin kustannusten pieneneminen yhtä puuta kohti. Tiukoissa tarjouskilpailuissa kustannusten tarkka huomioiminen oli usein tarpeellista kilpailukykyisen tarjouksen antamiseksi.

Usein asiakas halusi myös muita lisäpalveluita, kuten runkojen sahaamisen halkomittaan, oksien pois viemisen tai kannon jyrsinän. Näiden lisäpalveluiden hinnoittelun tukena oli toteutuneiden työkohteiden seurantataulukko. Lisäpalveluiden hinta voitiin laskea tiedetyn läpimitan tai tilavuuden perusteella työajan seurantataulukkoa hyödyntäen. Näin ollen lisäpalveluiden kustannusten arviointia varten ei ollut tarve käydä työkohteessa ennalta. Pihapuun kaatamisen etähinnoitteluun tarvittavat tiedot olivat riittävät myös tarvittavien lisäpalveluiden hinnoitteluun etänä.

## 5 ETÄHINNOITTELUMENETELMÄN TESTAAMINEN JA LUOTETTAVUUS

Etähinnoittelumenetelmän käytettävyyttä testattiin kehittämisen alkuvaiheessa ehkä liiankin suunnittelemattomasti. Varsinkin tarkka luotettavuusarviointi jäi alkuvaiheessa vähäiseksi. Toisaalta siihen olikin ehkä parempi perehtyä vasta siinä vaiheessa, kun menetelmän käyttäminen oli jatkunut muutamia kuukausia ja referenssiaineisto oli kattavampaa.

### 5.1 Alkuvaiheen testaaminen

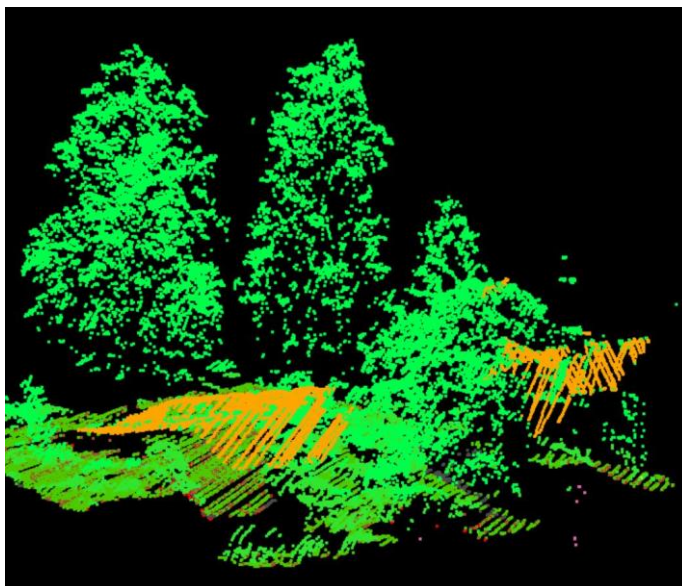
Etähinnoittelumenetelmän toimivuutta testattiin kevään ja kesän 2019 aikana ennen todellista käyttöönottoa. Hinta-arvioinnit tehtiin työkohteella kuten aiemminkin eli yrityksen edustaja arvioi puun kaatamisen hinnan paikan päällä. Samalla mitattiin etähinnoittelumenetelmän tarvitsemat tiedot ja ne välitettiin puhelimitse tai viestisovelluksella kotitoimistossa etähinnoittelua tekeväälle työntekijälle, joka hinnoitteli kyseisen puun etätoimintana.

Tämän jälkeen työkohteella tehtyä ja tietokoneella tehtyä hinta-arviota verrattiin toisiinsa. Tässä vaiheessa etähinnoittelua testattiin kahdella eri piirreyhdistelmällä. Toisessa oli mukana halkaisijan, pituuden, esteiden ja haaraisuuden lisäksi myös puun tilavuus yhtenä piirteenä. Tilavuustiedon käyttäminen yhtenä piirteenä aiheutti isompaa hajontaa k:n lähimpiin hintaluokkiin kuin ilman tilavuustietoa laskettuna. Testivaiheen vertailujen perusteella ilman tilavuustietoa tapahtuvaa estimointia pidettiin luotettavampana vaihtoehtona.

Testivaiheessa pohdittiin myös tarkoituksenmukaisen etäisyysmetriikan valintaa. Etähinnoittelumenetelmässä käytetään euklidiseen etäisyyteen perustuvaa laskentamallia. Aluksi pohdittiin myös Mahalanobiksen etäisyyteen perustuvan metriikan käyttöä. Mahalanobiksen etäisyyttä käytetään yleensä aineistoissa, joissa piirteillä on jonkinlainen riippuvuus

toisiinsa (Özsakabaşı, 2008, s. 8). Matematiikkaan kovin syvällisesti perehtymättömälle kiireiselle yrittäjälle Mahalanobiksen etäisyyden käyttäminen kovarianssimatriiseineen vaikutti verrattain vaikeaselkoiselta. Lisäksi arvioitiin, että hinnoittelumenetelmässä käytetyillä piirteillä ei ole sellaista korrelaatiota, joka tekisi Mahalanobiksen etäisyydellä ennustetun hintaluokan tarkemmaksi ja varmemmaksi kuin euklidiseen metriikkaan perustuva luokittelu.

Yhtenä vaihtoehtona valokuvien visualiselle tarkastelulle pidettiin laserkeilausaineiston tarkastelua kolmiulotteisesti LAsToolsin Lasview-työkalulla. Havaittiin, että Maanmittauslaitoksen harvapulssisen laserkeilausaineisto ei sovellu kyseiseen tarkasteluun epätarkkuutensa vuoksi. Helsingin kaupungin tuottama tiheä laserkeilausaineisto soveltui sen sijaan paremmin hinnoittelun tueksi tehtävään tarkasteluun. Tiheän pisteaineiston avulla kohdepuun muotoa pystyi tarkastelemaan yllättävän hyvin, kuten kuvasta 8 voidaan havaita. Yksittäisen työkohteen ja yksittäisen puun löytäminen suoraan laserkeilausaineistosta lisäsi kuitenkin arviointiin käytettyä aikaa. Vaikka työkohdetta pystyi tarkastelemaan kolmiulotteisesti, niin sen ei katsottu tuovan juurikaan lisäarvoa työkohteen piirteisiin ja valokuvien tarkasteluun perustuvaan menetelmään. Työkohteen kolmiulotteinen tarkastelu saattaisi onnistua Fusion-ohjelmistolla nopeammin kuin LAsToolsilla, mutta vielä yhden uuden ohjelmiston mukaan ottamista etähinnoittelumenetelmään ei koettu mielekkääksi. Menetelmän rakenne haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja näin ollen laserkeilausaineiston kolmiulotteisesta tarkastelusta luovuttiin.



Kuva 8. Kuvien 3, 4 ja 7 paikka tiheäpulssisesta laserkeilausaineistosta lasview-työkalulla tarkasteltuna. Suunta on talolta kadulle.

Kesän 2019 aikana muutaman yritykselle tulleen tarjouspyynnön työkohte hinnoiteltiin pelkästään etämenetelmän avulla, koska vallitsevan työtilanteen ja resurssien vuoksi työkohteella tapahtuva arviointi ei tullut

kyseeseen. Vaikka referenssiaineistoa oli tässä vaiheessa kertynyt vasta vähän, niin pääosin hinnoittelu onnistui. Eräällä useamman puun työkohteella hinnoittelu epäonnistui yhden kaadettavan puun osalta, joka tuli selkeästi alihinnoiteltua. Tämä johtui osittain siitä, että puussa olevasta isosta haarasta ei ollut etukäteistietoa, osittain referenssiaineiston pienuudesta ja osittain siitä, että visuaaliselle kuva-arvioinnille laitettiin liian suuri paino lopullista hintaa ja tarjouksen sisältöä päätettäessä. Joka tapauksessa tällä yksittäisellä kohteella olisi kannattanut luottaa numeeristen piirteiden antamaan hintaluokitukseen, vaikka se olisikin tarkoittanut tiukasti kilpailutetun työkohteen päätymistä jollekin toiselle yritykselle.

Syksyn 2019 aikana yhä useampi työkohteet hinnoiteltiin etämenetelmän avulla. Työkohteet arvioitiin paikan päällä vain, mikäli se oli järkevää ja mahdollista työkohteen etäisyyden ja yrityksen aikataulujen suhteen.

Vaikka referenssiaineistoa oli varsinkin alkuvaiheessa vähän, niin työkohteilla tehtyjen ja etätoimintana tehtyjen hinta-arvioiden havaittiin vastaavan yllättävän hyvin toisiaan. Tarkkoja tilastoja eroavaisuuksista ei tällöin tehty. Jos eroavaisuuksia ilmeni, ne olivat yhden hintaluokan verran joko ylös tai alaspäin.

## 5.2 Luotettavuusarviointi

Kevään 2020 aikana etämenetelmän luotettavuutta analysoitiin tarkemmin. Luotettavuusanalyysia varten 35 kappaleelle puita tehtiin hinta-arviointi sekä paikan päällä että etätoimintana. Etätoiminnan hinta arvioitiin pelkästään piirteiden avulla ilman visuaalista tarkastelua. Kohteella tehtyjen visuaalisten havaintojen arveltiin vaikuttavan etähinnoittelun visuaaliseen arviointiin siten, että lopputulos olisi taipuvainen muotoutumaan paikan päällä tehdyn arvioinnin kaltaiseksi. Tämän välttämiseksi etähinnoittelun visuaalisesta tarkastelusta luovuttiin. Otosjoukosta laskettiin absoluuttinen ja suhteellinen RMSE (root mean square error eli keskineliövirheen neliöjuuri) sekä absoluuttinen ja suhteellinen BIAS (harha) seuraavien kaavojen avulla:

$$\text{Absoluuttinen RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(\text{etäarviointitulokset} - \text{lähiarviointitulokset})^2}{\text{arvoitujen puiden lukumäärä}}} \quad (6)$$

$$\text{Suhteellinen RMSE} = \frac{\text{Absoluuttinen RMSE}}{\text{lähiarviointitulosten keskiarvo}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{Absoluuttinen BIAS} = \frac{\sum \text{etäarviointitulokset} - \text{lähiarviointitulokset}}{\text{arvoitujen puiden lukumäärä}} \quad (8)$$

$$\text{Suhteellinen BIAS} = \frac{\text{Absoluuttinen BIAS}}{\text{etäarviointitulosten keskiarvo}} \times 100\% \quad (9)$$

Laskelmien perusteella etähinnoittelumenetelmän absoluuttinen RMSE oli 29,28 € ja suhteellinen RMSE oli 12,57 %. Etähinnoittelumenetelmän

antamien tulosten poikkeama työkohteella tehtävän hinnoittelun arvoihin nähden oli niin pieni sekä absoluuttisesti että suhteellisesti, että etähinnoittelumenetelmän katsottiin soveltuvan yrityksen käyttöön luotettavuutensa puolesta. Työajassa mitattuna 30 euron poikkeama tarkoittaa kipeijä-alamies-työparin osalta alle tunnin työpanosta.

Absoluuttiseksi ja suhteelliseksi harhaksi (BIAS) saatiin 8,57 € ja 3,55 %. Tämä tarkoittaa sitä, että etähinnoittelumenetelmällä arvioitiin kohteet keskimäärin 8,57 euroa ja 3,55 % kalliimmaksi kuin työkohteella tehtävällä hinnoittelulla. Harha on yllättävän pieni ja yrityksen kannattavuuden kannalta oikean suuntainen. Näin ollen etähinnoittelumenetelmä soveltuu yrityksen käyttöön myös harhan osalta.

## 6 HINNOITTELUMENETELMIEN KUSTANNUSVERTAILU

Kannattavuusvertailussa käytettiin seuraavia kustannustietoja:

- palkkakustannus: 35 €/h (ALV 0%), joka on keskimääräinen työpalveluiden tuntilaskutushinta tavanomaisista töistä
- matkakustannus autolla 0,25 €/km, joka on verotuksessa vuonna 2019 hyväksytty matkakuluvähennys. Tämän ajateltiin antavan paremman kuvan todellisista matkakustannuksista kuin suurin hyväksytty veroton kilometrikorvaus (0,43 €/km).

### 6.1 Työkohteella tapahtuvan hinnoittelun kustannukset

Mahdollisella työkohteella tapahtuvan arvioinnin kustannuksia ei ollut aiemmin määritetty sellaisella tarkkuudella, että olisi ollut mahdollista verrata etähinnoittelun kustannuksia suoraan kustannusaineistoon. Aiemman tilastoinnin puuttuessa keskimääräiset matka- ja palkkakustannukset laskettiin 1.5.2019 jälkeen tehtyjen työkohteiden sijaintien ja arvioidun ajankäytön perusteella. Laskelmissa huomioitiin se, että osa puista olisi voitu arvioida yhden ja saman arviointimatkan aikana.

Google Maps -reittitoiminnolla laskettu keskimääräinen arviointimatka oli 95 kilometriä. Kohtuullisen pitkät etäisyydet johtuvat siitä, että yrityksen toimipaikka on Mäntsälässä, mutta suurin osa vuoden 2019 työkohteista on sijainnut pääkaupunkiseudulla. Yhdellä arviointimatalla oli arvioitavissa 1–6 puuta työkohteen mukaan, joten työkohteista lasketuksi keskimääräiseksi matkaksi yhtä arvioitua puuta kohti saatiin 39 kilometriä.

Työkohteessa tapahtuvat hinnoittelun keskimääräiset matkakustannukset olivat 9,75 € yhtä puuta kohti.

Laskukaava:  $0,25 \text{ €/km} \times 39 \text{ km} = 9,75 \text{ €}$

Työkohteella tapahtuvaan hinta-arviointiin käytetyn ajan arvioitiin olevan 5 minuuttia yhtä puuta kohti, jonka koettiin olevan verrattain maltillinen aika-arvio. Tilastoiduista tiedoista Google Maps -reittitoiminnolla selvitetty keskimääräinen matka-aika yhtä puuta kohti oli 30 minuuttia, joten työkohteella tapahtuvaan hinta-arvioon käytetty kokonaisaika oli 35 minuuttia yhtä puuta kohti. Työkohteella tapahtuvan hinnoittelun palkkakustannukset olivat näin ollen 20,43 € yhtä puuta kohti.

Laskukaava:  $35 \text{ €/h} \times (35 \text{ min}/60 \text{ min}) = 20,43 \text{ €}$

Vuoden 2019 tilastoiduista työkohteista lasketut työkohteella tapahtuvan hinnoittelun keskimääräiset kokonaiskustannukset olivat 30,18 €/puu.

Laskukaava:  $9,75 \text{ €} + 20,43 \text{ €} = 30,18 \text{ €}$

## 6.2 Etähinnoittelun kustannukset

Ajanmenekki laserkeilausaineiston lataamisesta Maanmittauslaitoksen internetsivuilta siihen pisteeseen, kun valmis muotoiltu CHM oli käytettävissä QGIS-ohjelmistoissa, oli optimaalisesti noin 10 minuuttia. Piirteiden siirtämiseen Microsoft Excel -ohjelmistoon, visuaaliseen tarkastukseen ja lopullisen hinnan määrittämiseen kului aikaa myös noin 10 minuuttia yhtä puuta kohti. Keskimääräinen yhtä puuta kohti käytetty aika ja kustannus laskettiin samoista tilastoiduista työkohteista, joita käytettiin työkohteella tapahtuvan hinnoittelun kustannuksia laskettaessa. Tällä otettiin huomioon se, että yhdellä luodulla pituusmallilla pystyttiin arvioimaan saman työkohteen useat eri puut ja lopputulos oli näin verrannollinen työkohteella tapahtuvan hinta-arvioinnin kustannuslaskelmiin. Tällä laskutavalla keskimääräiseksi etähinnoitteluun käytetyksi kokonaisajaksi yhtä puuta kohti saatiin 14 minuuttia. Matkakustannuksia etähinnoittelussa ei synny. Näin ollen etähinnoittelun keskimääräiset kokonaiskustannukset olivat 8,17 €/puu.

Laskukaava:  $35 \text{ €/h} \times (14 \text{ min}/60 \text{ min}) = 8,17 \text{ €}$

## 6.3 Kustannusvertailu

Etähinnoittelumenetelmällä tehtävän hinta-arvion keskimääräiset kustannukset olivat vain 27 prosenttia työkohteella tehtävän hinta-arvion keskimääräisistä kustannuksista. Kustannuksia laskettaessa havaittiin, että työkohteella tehtävään hinnoitteluun verrattuna etähinnoittelun kannattavuus kasvaa voimakkaasti työkohteen etäisyyden kasvaessa. Työkohteella tehty hinta-arviointi on kannattavaa ainoastaan lyhyillä etäisyyksillä.

Käytetyn tilaston mukaan suurin laskennallinen työkohteella tehtävän hinnoittelun kustannus yksittäisellä kohteella oli jopa 102 euroa arvioitua

puuta kohti. Tällaisella työkohteella etätoimintana tehdyn hinta-arvion virhemarginaali alaspäin saa olla jopa 50 prosenttia ja silti etäarviointi on kustannustehokkaampi arviointitapa kuin työkohteella tapahtuva arviointi.

Laskettujen kustannusten perusteella laadittiin karkea taulukko niistä maksimietäisyyksistä, joilla työkohteella tehtävä hinta-arviointi on perusteltua kustannusten kannalta. Taulukosta 1 voidaan havaita, että jo 10 kilometrin arviointimatkoilla on kannattavampaa käyttää etähinnoittelua.

Taulukko 1. Työkohteella tehtävien hinta-arviointien kannattavat maksimimatkat

Arvioitavat puut, kpl	Arviointitapa	kartanteko/matka-aika min	Arviointiaika min	Kokonaisaika min	Lähiarvioinnin kannattava kokonaismatka max.
1	etä	10	10	20	10 km
	lähi	15	5	20	
2	etä	10	20	30	15 km
	lähi	20	10	30	
3	etä	10	30	40	20 km
	lähi	25	15	40	
4	etä	10	40	50	25 km
	lähi	30	20	50	
5	etä	10	50	60	30 km
	lähi	35	25	60	

## 7 ETÄHINNOITTELUMENETELMÄN TULEVAISUUS

Teknologinen kehitys ja tulevaisuuden erilaiset hankkeet luovat sekä uhkia että mahdollisuuksia avoimiin ohjelmistoihin ja avoimeen paikkatietoon perustuvalla pihapuun kaatamisen etähinnoittelumenetelmälle ja sen kehittämiseksi.

### 7.1 Tilavuusmallien kehitys

Puun tilavuuden laskemiseen käytetään Suomessa Jouko Laasasenahon tilavuusmalleja, jotka perustuvat vuosina 1968–1971 kerättyyn aineistoon. Valtakunnan metsien inventoinnin mittausaineistoista on havaittu, että puiden runkomuoto on muuttunut viimeisten kymmenien vuosien aikana. Nykyisin puut kapenevat nopeammin kuin 50 vuotta sitten mitatut puut. Luonnonvarakeskus aloitti vuonna 2017 hankkeen, jonka tavoitteena oli mitata vuoden 2018 loppuun mennessä noin 500 koealaa eri puolilta Suomea. Lopullisena Luonnonvarakeskuksen tavoitteena on kehittää uudet tilavuusmallit, jotka antavat luotettavamman tuloksen puun tilavuutta laskettaessa. Minimitavoite on laskea vanhoihin Laasasenahon malleihin uudet kertoimet, jotka perustuvat uuteen mitattuun aineistoon.

Pyrkimyksenä on kuitenkin kehittää sellainen malli, jolla tilavuus pystytään ennustamaan pelkän puun pituuden avulla, koska metsien inventointi perustuu yhä enemmän laserkeilauksella tehtävään kaukokartoitukseen. (Luonnonvarakeskus, 2017)

Uudet tilavuusmallit eivät ole vielä saatavilla. Mikäli mallien kehittäminen onnistuu ja ne tulevat yleiseen käyttöön, niin niiden avulla on mahdollista saada tarkemmat puiden tilavuustiedot kahden mittausyhdistelmän tilavuusmallia käyttäen. Toivon mukaan pelkkään pituuteen perustuva tilavuuden ennustaminen saadaan kehitettyä niin luotettavalle tasolle, että yksittäisen puun tilavuuden mallintaminen onnistuu riittävällä tarkkuudella. Tämä saattaisi mahdollistaa etähinnoittelumenetelmän kehittämisen sellaiseksi, että asiakkaalta ei olisi tarve pyytää puun ympärysmittaan mittaamista. Pientä referenssiaineistoa käytettäessä tilavuus yhtenä piirteenä aiheutti ongelmia luotettavan hintaluokittelun tekemiselle. Aineiston kasvaessa ja tilavuusmallien kehittyessä tilavuuden käyttämisestä erilaisissa piirreyhdistelmissä olisi syytä tutkia uudelleen. Hinnoittelun tukena tulisi tällöin olla myös riittävän uusi, tarkka ja avoimesti saatavilla oleva laserkeilausaineisto.

## 7.2 Uusi kansallinen laserkeilausohjelma

Vuodesta 2020 lähtien Suomessa on noudatettu uutta kansallista laserkeilausohjelmaa. Ohjelmaa edeltänyt Laser2020-käyttöönottoprojekti käynnistyi helmikuussa 2019 ja se päättyi 28.2.2020. Projektin tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa uuden kansalliseen laserkeilausohjelman käyttöönotto. (KMTK, n.d.)

Kansallisen laserkeilausohjelman rahoitukseen ja hallintaan perustettiin 25.9.2019 yhteistyöelin KALLIO. Sen toimintaan osallistuvat Maanmittauslaitos, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, puolustusministeriö, Suomen metsäkeskus, Metsähallitus, Ruokavirasto ja Suomen ympäristökeskus. (Maanmittauslaitos, 2019)

Uuden keilausohjelman mukaan vuodesta 2020 lähtien laserkeilaukset tehdään pistetiheydellä 5 laserpistettä/m<sup>2</sup>, kun aiemmin pistetiheys oli 0,5 laserpistettä/m<sup>2</sup>. Pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta kaikki alueet on tarkoitus keilata kuuden vuoden välein. (Maanmittauslaitos, 2019)

Laadukkaampi laserkeilaus parantaa laserkeilausaineistojen hyödynnettävyyttä. Muun muassa metsävaratiedon tarkkuus paranee. Aineistoa voidaan hyödyntää myös aivan uusiin tarkoituksiin, sillä Maanmittauslaitos tulee tuottamaan aineistosta yhtenä uutena tuotteena kolmiulotteiset rakennustiedot koko maasta. (Maanmittauslaitos, 2019)

Laser2020-käyttöönottoprojektin päällikkö Juha Kareinen kertoo kuitenkin uutta hanketta esittelevässä videossa, että uusi tiheä laserkeilausaineisto ei tule olemaan avointa tietoa. Kareisen mukaan aineiston käyttäminen

vaatii perustelun käytölle ja vahvan tunnistautumisen. Aineisto tulee olemaan vapaasti saatavilla vain viranomaisille. (KMTK, n.d.)

Uuden kansallisen laserkeilausohjelman tuottama uudempi, tarkempi ja tiheäsyklisempi laserkeilausaineisto parantaisi pihapuiden etähinnoittelumenetelmän tarkkuutta ja luotettavuutta. Nähtäväksi jää kuitenkin se, kuinka helposti aineisto on tulevaisuudessa saatavilla pienen metsäpalveluyrityksen toiminnan tueksi.

Metsäkeskuksen asiakasneuvoja Jari Toivoniemi kirjoitti 17.1.2020 lähettämässään sähköpostiviestissä, että Metsäkeskukselta on tulossa uuden keilausohjelman tuottamaan aineistoon perustuva korkeusmalli avoimesti saataville. Sen tarkasta aikataulusta ja teknisistä yksityiskohdista ei ole vielä tehty päätöksiä. (Toivoniemi, 2020) Ainakaan nykyiset Metsäkeskuksen tarjoamat avoimet aineistot eivät ole tarpeeksi tarkkoja soveltuakseen pihapuun kaatamisen hinnoittelun tueksi.

### 7.3 Ohjelmistot

Pienellä liikevaihdolla toimivalle yritykselle menetelmän kannattavuus perustuu suurelta osin siihen, että paikkatiedon ja laserkeilausaineiston käsittelyyn on käytettävissä ilmaisohjelmia. Mikäli LAStoolsista pitäisi maksaa kaupallisille toimijoille tarkoitettu 4 000 euron vuosittainen lisenssihintaa, niin etähinnoittelumenetelmän mahdollistamat kustannussäästöt alenisivat. Yksittäisiä työkaluja LAStoolsilta ei myöskään kannattaisi lisensoida, koska pituusmallin luominen vaatii vähintään kolmen eri työkalun käyttämistä.

Kun keskimääräiset työkohteella tapahtuvan hinnoittelun kokonaiskustannukset ovat 30,18 €/arvioitava puu, niin 4 000 euron lisenssimaksulla etähinnoittelumenetelmä muuttuu tätä kannattavamaksi 133:n arvioidun puun jälkeen.

Laskukaava:  $4\ 000\ \text{€} / 30,18\ \text{€} = 132,5$

Kokopäivätoimiselle pihapuun kaatamiseen keskittyneelle yrittäjälle tai yritykselle LAStoolsin käyttäminen maksullisena olisi edelleen kannattava sijoitus, koska vuositasolla arvioitavien puiden määrä on isompi kuin 133 puuta. Sivutoimiselle yrittäjälle tai muiden palveluiden ohessa puun kaatamista tarjoavalle yritykselle LAStoolsin lisenssimaksun maksamisen kannattavuus tulisi laskea tarkemmin palveluiden kysynnän mukaan.

Tällä hetkellä ei ole näköpiirissä, että LAStools muuttuisi maksulliseksi. Ohjelmistoa hallinnoi Martin Isenburg, joten toivoa sopii, että kohtuullisen vapaassa käytössä olevaa ohjelmistoa käytetään hänen toiveidensa ja ohjeidensa mukaan. Näin ollen tarvetta ja houkutusta ohjelmiston käytön muutoksille ja rajoituksille ei pitäisi tulla tulevaisuudessakaan.



QGIS-paikkatieto-ohjelmisto puolestaan on jo pitkäikäinen ja avoin projekti. Se on luotu alusta alkaen vapaan lisenssin pohjalle. Näin ollen on oletettavaa, että ohjelmisto pysyy myös tulevaisuudessa ilmaisena ja vapaasti kaikille saatavissa olevana.

#### 7.4 Tulevaisuuden mahdollisuudet

Referenssiaineiston kasvaessa on mahdollista laskea tarkemmin erilaisten piirteiden korrelaatiota hintaluokkiin. Todennäköisesti riittävän laajaa referenssiaineistoa tutkimalla on mahdollista pudottaa pois sellaisten piirteiden käyttäminen, joilla ei ole vaikutusta arvioitavaan hintaluokkaan tai että vaikutus on niin minimaalinen, että piirretietojen kysymiseen asiakkaalta ei ole käytännön tarvetta. Etähinnoittelumenetelmän yksinkertaisempi rakenne olisi eduksi, niin yrittäjälle kuin asiakkaallekin. Tämänhetkellä referenssiaineiston kasvunopeudella korrelaatioiden laskeminen tullee ajankohtaiseksi vasta 1–2 vuoden kuluessa.

Tässä kehitysvaiheessaan etähinnoittelumenetelmällä ei todennäköisesti ole kaupallisia edellytyksiä. Tässä opinnäytetyössä on todettu, että menetelmä tuo kilpailuetua työkohteella tehtävää hinta-arviointia tekeviin yrityksiin nähden. Periaatteessa etähinnoittelujärjestelmän pystyy luomaan tämän opinnäytetyön perusteella kuka tahansa, koska menetelmä vaatii vain avoimesti saatavilla olevia ohjelmistoja ja tietoaaineistoja sekä tietoja asiakkaalta. Etähinnoittelumenetelmän luominen ja käyttäminen vaatii kuitenkin sellaista tietämystä tarvittavien ohjelmistojen ja tietoaaineistojen käyttämisestä ja prosessoinnista, jota harvoin löytyy keskimääräiseltä pihapuiden kaatopalveluita tuottavalta yrittäjältä.

Yhtenä kaupallisena mahdollisuutena voisi olla usean eri yrityksen referenssiaineiston hallinta ja hinta-arvioiden tekeminen korvausta vastaan tai hinta-arvion tekemisen mahdollistavan internetsovelluksen luominen. Tällaisessa toiminnassa ongelmaksi saattaa muodostua referenssiaineistojen luominen, joka jäisi suurelta osin pihapuun kaatopalveluita tuottavan yrityksen tai yrittäjän vastuulle. Todennäköisesti alan yritykset suhtautuvat kielteisesti myös siihen, että joutuisivat luovuttamaan yrityksen ulkopuolelle tietoja omista hinnoittelu- ja tuottavuustiedoistaan.

Kun omalle yritykselleni tekemääni etähinnoittelumenetelmää on saatu kehitettyä vieläkin paremmaksi ja se on osoittautunut luotettavaksi pitkällä aikavälillä, niin kyseeseen saattaa tulla menetelmän tarjoaminen sellaisille alan toimijoille, jotka eivät suoraan kilpaile samalla markkina-alueella. Menetelmän käytöstä on hyötyä erityisesti sellaisille yrittäjille, joiden toiminta-alue on laaja ja etäisyydet työkohteisiin ovat suuret. Esimerkiksi pääkaupunkiseudun lyhyillä etäisyyksillä toimiville yrityksille etähinnoittelumenetelmän käyttäminen ei tuo niin selkeää kustannusetua, kuin haja-asutusalueilla ja maaseudulla toimiville yrittäjille.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää pihapuun kaatamisen hinnoittelumenetelmä, joka ei vaadi työkohteen hinnanarviointia fyysisesti työkohteella, vaan arviointi olisi mahdollista tehdä etätoimintana tietokoneen avulla. Tämä tavoite saavutettiin. Havaittiin, että avoimien laserkeilaus- ja kuva-aineistojen, avoimien ohjelmistojen (pois lukien Microsoft Excel) ja asiakkaalta saatujen tietojen avulla riittävän tarkka hinta-arvio oli mahdollista tehdä ilman työkohteella tapahtuvaa visuaalista arviointia. Etähinnoittelumenetelmän RMSE ja BIAS olivat yllättävän pienet. Tarkistettun referenssiaineiston karttuessa mitattuihin parametreihin perustuva etähinnoittelumenetelmä tuntui antavan luotettavampia hinnoittelutuloksia kuin paikan päällä tehtävä silmämääräinen hinnoittelu, joka on altis erilaisille häiriötekijöille.

Toisena tavoitteena oli luoda sellainen etähinnoittelumenetelmä, joka vähentää yrityksen kustannuksia perinteiseen työkohteella tapahtuvaan hinta-arviointiin verrattuna. Myös tämä tavoite saavutettiin. Vuoden 2019 työkohteiden tiedoilla tehdyn kustannusvertailun lopputuloksena oli, että etähinnoittelun aiheuttamat keskimääräiset kustannukset ovat vain 27 prosenttia työkohteella tapahtuvan hinta-arvion kustannuksista.

Etähinnoittelumenetelmän kehitys- ja testausvaiheessa kohdattiin monenlaisia vaihtoehtoja, haasteita ja ongelmia. Suurimmat ja tärkeimmät eteen tulleet ongelmat saatiin ratkaistua, mutta kehittämiskohteita pihapuiden kaatamisen etähinnoittelumenetelmästä löytyy edelleen.

Etähinnoittelumenetelmän kehittämisprojektin alkuvaiheessa oli tarkoitus ottaa yhdeksi k-NN-estimoinnissa käytettäväksi piirteeksi puun läpimitta- ja pituustiedoista laskettu tilavuus. Tilavuus oli tilastoitu litramäärinä. Kun estimoinnin toimivuutta testattiin referenssiaineiston tiedoilla, havaittiin tämän piirteen käyttämisen aiheuttavan yllättävän paljon hajontaa lähimpien naapurien hintaluokissa. Tämän havainnon jälkeen estimointia testattiin piirrejoukolla, johon ei sisältynyt puun tilavuustietoa. Tällöin lähimpien naapurien hintaluokissa oli paljon vähemmän vaihtelua ja menetelmä vaikutti antavan luotettavampia hinta-arvioita. Koska tilavuus oli laskettu jo piirteinä käytettävistä läpimitasta ja pituudesta ja koska tilavuuden käyttäminen näytti vaikuttavan negatiivisesti menetelmän luotettavuuteen, niin tilavuus päätettiin poistaa käytetystä piirrejoukosta. Puun tilavuustieto oli kuitenkin hyvä perusta arvioitaessa erilaisten lisäpalveluiden hintaa lopulliseen asiakkaalle annettavaan tarjoukseen.

Etätoimintana tehty hinta-arvio oli useimmissa tapauksissa täysin verrannollinen työkohteella tehtävän arvioinnin luotettavuuteen. Itse asiassa se oli usein jopa luotettavampi. Varsinkin yksirunkoisilla männyillä ja kuusilla eli niin sanotuilla normaalikohteilla menetelmän ennustavuus ja luotettavuus oli erittäin hyvä. Suurien lehtipuiden arvioinnissa oli kuitenkin aika

ajoin haasteita. Tämä johtui suurelta osin siitä, että asiakkaalta saatu tieto puun haarojen määrästä ei vastannut todellista tilannetta. Käytännön kokemusten perusteella piirteenä käytetty puun haarojen lukumäärä on vaikeaselitteinen termi. Asiakkailta jäi toistuvasti ilmoittamatta sellaisia puun haaroja, jotka olisivat vaikuttaneet hintaluokitteluun. Jopa yrityksen työntekijän oli joskus vaikea päätellä, mikä on sellainen puun haara, joka täytyisi ottaa huomioon piirteenä ja mikä taas ei.

Olemassa olevan etähinnoittelumenetelmän ensimmäinen kehityskohde tulee olemaan puun haarojen lukumäärän poistaminen laskettavista piirteistä. Tämä piirre korvataan joko pituusmallista saatavalla puun latvuksen leveystiedolla tai vaihtoehtoisesti latvuksen pinta-alalla. Latvuksen pinta-alan käyttäminen vaatii yhtä uutta laskutoimintoa työkaluun. Tämän vuoksi todennäköisin vaihtoehto on pelkän leveystiedon (esim. kahden suunnan keskiarvo) käyttäminen piirteenä. Joka tapauksessa muutos vaatii vertailevia laskutoimituksia ja referenssiaineiston muokkaamisen ainakin tehtyjen työkohteiden osalta siten, että referenssiaineiston puunhaaratiedot korvataan pituusmallista saadulla latvuksen leveystiedolla. Aineiston kasvaessa on tarkoituksenmukaista pyrkiä poistamaan referenssiaineistosta kaikki ne kohteet, joita ei ole oikeasti tehty. Vain tehtyjä, työn jälkeen arvioituja ja tarkasti tilastoituja kohteita käyttämällä referenssiaineistosta saadaan mahdollisimman luotettava.

Toinen lähiaikojen muutos tulee koskemaan pituusmallien visualisoituja korkeusluokkia. Luokitustyyli valittiin ensimmäisenä käsitellyn laserkeilaustiedoston yhteydessä. Erilaisten kokeilujen jälkeen tälle 3 x 3 kilometrin kokoiselle alueelle korkeusluokitus tuntui sopivan parhaiten. Myöhemmin havaittiin, että 20 metrin alaraja korkeimmassa väriluokassa vaikeuttaa pisimmän latvan hakemista pituusmallista, jossa on runsaasti laaja-latvuksisia yli 20 metriä korkeita puita. Tällaisia puita ja puuryhmiä löytyi runsaasti pituusmalleista esimerkiksi Helsingin kaupungin alueelta.

Korkeuden luokitustyyli tullaan muuttamaan todennäköisesti siten, että korkeimmaksi luokaksi lisätään luokka, jonka alaraja on 23 metriä. Yli 25 metriä pitkiä puita aineistoissa on niin vähän, että viiden metrin jaotuksella olevan korkeusluokan lisääminen ei ole perusteltua, eikä se helpota puun latvan löytämistä aineistosta, jossa pääosa puista on 20–25 metriä pitkiä.

Pituusmallien luomisessa QGIS- ja LAsTools-ohjelmistojen avulla havaittiin ajoittaisia ongelmia. FlightlinestomergedCHM\_FirstReturn -työkalulla pystyi luomaan virheettömän pituusmallin varmemmin, mikäli pituusmalli tehtiin vain yhdestä LAZ-tiedostosta kerrallaan. Työkalu mahdollisti useamman samassa kansiossa olevan LAZ-tiedoston käyttämisen syöteenä. Tällöin lopputuloksena saadussa pituusmallissa havaittiin useammin virheellisyyksiä kuin vain yhtä LAZ-tiedostoa kerrallaan käsiteltäessä. Virhe ilmeni pikseleiden korkeusarvojen eroavaisuutena. Korkeusarvot ovat oleellisia puun pituutta määriteltäessä. Virheellisten pituusmallien uudelleen tekeminen kasvatti luonnollisesti etähinnoitteluun käytettävää

aikaa. Epäselväksi jäi, oliko kyseessä käyttäjäperäinen ongelma vai ohjelmistojen aiheuttama ongelma. Tarpeettoman ajankäytön karsimiseksi piti tuusmallit tehtiin vain niiltä alueilta, joista yritykselle tuli työtarjouksia.

Etähinnoittelumenetelmän luotettavuus on suuresti riippuvainen järjestelmään syötetyn tiedon oikeellisuudesta. Työkohteissa tehtiin joka kerta tarkistusmittaukset, joilla varmistettiin asiakkaan antamien tietojen oikeellisuus. Tarkistusmittauksissa ei havaittu, että asiakkaat olisivat antaneet etukäteen todellista pienempiä mittausarvoja, paremminkin päinvastoin. Suurin selittävä tekijä sille, että etähinnoittelumenetelmällä arvioitu työkohteiden osoittautui heikosti kannattavaksi, oli tiukassa kilpailutilanteessa annettu alennus tai liian suuri painoarvo kuvien visuaaliselle tulkinnalle. Kuvien perusteella kaadettavat puut näyttivät lähes poikkeuksetta helpommilta työkohteilta kuin ne todellisuudessa olivat. Hinnoittelumenetelmän numeerinen osa-alue vaikutti näin ollen paljon luotettavammalta kuin inhimilliseen arvioon perustuva kuvien tulkinta. Tämän havainnon perusteella tulevaisuudessa referenssiaineiston karttuessa visuaalisesta kuva-arvioinnista osana etähinnoittelumenetelmää voisi luopua kokonaan tai ainakin sen painoarvoa on syytä vähentää minimiin, käyttäen sitä vain asiakkaan antamien tietojen oikeellisuuden arviointiin eikä sinänsä osana hinnoittelumenetelmän muodostamisessa.

Uuden tuotteen tai menetelmän kehittäminen ei ole koskaan helppoa. Ei ollut tälläkään kertaa, vaikka tukena oli jo aiemmin kehitetyt tieteelliset laskentamallit ja tietojen muokkaamisen mahdollistavat ohjelmistot. Kun ensimmäisen version luulee saaneensa valmiiksi, niin huomaakin jo uusia kehitystarpeita paremman lopputuloksen saamiseksi. Taustaoletuksesta lähteneen etähinnoittelumenetelmän kehittämiseen käytettiin runsaasti aikaa. Kehittämiseen käytettyä aikaa lisäsi käytettävien ohjelmistojen opettelu. Esimerkiksi QGIS-ohjelmiston käyttämisestä tekijällä ei ollut minäkäänlaista kokemusta ennen tätä projektia, eikä LAsToolsin työkalujen tehokas käyttäminen QGIS:n kautta olisi onnistunut ilman Martin Isenburgin luentojen katsomista Youtubesta.

Pihapuun kaatamisen etähinnoittelumenetelmän kehittämisprojekti palveli paitsi yritykseni tavoitteita, myös omaa kehittymistäni yrittäjänä ja paikkatietojärjestelmien käyttäjänä. Matkan varrella virisi uusia ajatuksia erilaisista tutkimuskohteista, kuten pihapuiden kasvunopeus ja leimikoiden hinnoittelu laserkeilausaineiston piirteiden avulla. Pystyin kuitenkin välttämään pääpiirteittäin opinnäytetyön liiallisen laajenemisen, vaikkakin halua tiettyjen osa-alueiden syvempään käsittelyyn olisin. Toisaalta työtunteja tähänkin lopputulokseen pääsemiseksi on käytetty mittavasti. Vaikka etähinnoittelumenetelmällä arvioidun työkohteiden lukumäärä on vielä verrattain pieni, niin jo nyt on havaittavissa, että kehittämiseen käytetty panostus on ollut kannattavaa niin itseni kuin yritykseni osalta.

## LÄHTEET

Earth Lab. (2020). Lesson 3: Canopy Height Models, Digital Surface Models & Digital Elevation Models - Work With LiDAR Data in Python. Haettu 1.2.2020 osoitteesta <https://www.earthdatascience.org/courses/earth-analytics-python/lidar-raster-data/lidar-chm-dem-dsm/>

Emison, B. (2019). Lidar in 2019 & Beyond: an Interview with Martin Isenburg. Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://www.lidarmap.org/lidar-in-2019-beyond-a-interview-with-martin-isenburg/>

Helsingin karttapalvelu. (n.d). Laseraineisto, kaikki pisteet. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://kartta.hel.fi>

Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. (2013). *Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa*. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja, nro 5, Helsinki.

Ilvessalo, Y. (1981). *Pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukot*. 2.–5. painos. Kirjayhtymä. Helsinki: Kirjayhtymä.

Kaijanaho, A. (2003). Lisensseistä. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <http://users.jyu.fi/~antkaij/vapaa/lisenssit>

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M. & Maltamo, M. (2003). *Metsän mittaus ja kartoitus*. Joensuu: Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta.

KMTK. (n.d). Laser2020. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <http://kmtk.paikka-tietoalusta.fi/projektit-ja-tyopaketit/laser2020>

Luonnonvarakeskus. (2017). Puiden tilavuuden laskentaan tarvitaan uudet mallit. Haettu 30.1.2020 osoitteesta <https://www.luke.fi/uutinen/puiden-tilavuuden-laskentaan-tarvitaan-uudet-mallit/>

Maanmittauslaitos. (n.d.a). Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>

Maanmittauslaitos. (n.d.b). Laserkeilausaineisto. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>

Maanmittauslaitos. (2019). Laserkeilausaineistoja ja ilmakuvia päivitetään jatkossa tiheämmin. Haettu 14.2.2020 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/laserkeilausaineistoja-ja-ilmakuvia-paivitetaan-jatkossa-tiheammin>

Microsoft. (2020). Hanki paras hyöty Officesta Office 365:n avulla. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://products.office.com/fi-fi/compare-all-microsoft-office-products?&activetab=tab:primaryr1>

QGIS. (n.d.). Vapaa avoimen lähdekoodin paikkatieto-ohjelmisto. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://www.qgis.org/fi/site/>

QGIS Project. (2020). QGIS User Guide. Release 3.4. Haettu 10.2.2020 osoitteesta <https://docs.qgis.org/3.4/pdf/en/QGIS-3.4-UserGuide-en.pdf>

rapidlasso GmbH. (n.d.a). LAStools. Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://rapidlasso.com/lastools/>

rapidlasso GmbH. (n.d.b). License Agreement. Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://lastools.github.io/LICENSE.txt>

rapidlasso GmbH. (n.d.c). Pricing. Haettu 9.2.2020 osoitteesta <https://rapidlasso.com/pricing/>

rapidlasso GmbH. (n.d.d). lastile. Haettu 9.2.2020 osoitteesta [http://lastools.org/download/lastile\\_README.txt](http://lastools.org/download/lastile_README.txt)

rapidlasso GmbH. (n.d.e). laground. Haettu 9.2.2020 osoitteesta [http://lastools.org/download/lasground\\_README.txt](http://lastools.org/download/lasground_README.txt)

rapidlasso GmbH. (n.d.f). lasheight. Haettu 9.2.2020 osoitteesta [http://lastools.org/download/lasheight\\_README.txt](http://lastools.org/download/lasheight_README.txt)

rapidlasso GmbH. (n.d.g). las2dem. Haettu 9.2.2020 osoitteesta [http://lastools.org/download/las2dem\\_README.txt](http://lastools.org/download/las2dem_README.txt)

rapidlasso GmbH. (n.d.h). lasgrid. Haettu 9.2.2020 osoitteesta [http://lastools.org/download/lasgrid\\_README.txt](http://lastools.org/download/lasgrid_README.txt)

Salonen, R. (2019). Microsoft Excel – taulukkolaskentaa ja sisällöntuotantoa. Haettu 11.2.2020 osoitteesta <https://oppiva.omnia.fi/excel/>

Toivoniemi, J. (2020). Auki jääneitä asioita. Sähköpostiviesti tekijälle 17.1.2020.

Wikipedia. (n.d.a). k-nearest neighbors algorithm. Haettu 12.2.2020 osoitteesta [https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest\\_neighbors\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm)

Wikipedia. (n.d.b). Euclidean distance. Haettu 13.2.2020 osoitteesta [https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean\\_distance](https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_distance)

Wikipedia. (n.d.c). Microsoft. Haettu 1.3.2020 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft>

Wikipedia. (n.d.d). Microsoft Office. Haettu 1.3.2020 osoitteesta [https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft Office](https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Office). Viitattu 1.3.2020.

Ärölä, E. (2018). Metsävarojen mittaus ja arviointi. Teoksessa S, Rantala (toim.) *Tapion Taskukirja*. 26. painos. Helsinki: Metsäkustannus Oy, ss. 248–293.

Özsakabaşı, F. (2008). *Classification of Forest Areas by K Nearest Neighbor Method: Case Study, Antalya*. Thesis. Geodetic and Geographic Information Technologies. Middle East Technical University. Haettu 12.2.2020 osoitteesta <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12609548/index.pdf>