



Dronen muuntokertoimen määrittäminen kuitupuvaraston inventointiin

Stora Enso Heinola fluting

Satu Ylisjoki

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Metsätalouden tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden tutkinto-ohjelma

YLISJOKI, SATU:

Dronen muuntokertoimen määrittäminen kuitupuubaraston inventointiin
Stora Enso Heinola fluting

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2024

Tässä opinnäytetyössä tarkennettiin Stora Enson Heinolan flutingtehtaalla koivukuidun dronella tehtävässä inventoinnissa käytettävää muuntokerrointa, jolla muutetaan kuitupuun kehystilavuus kiintotilavuudeksi. Droneinventointia käytetään tehtaan kuukausi-inventoinnissa. Inventointiin käytetty dronemalli vaihtui, joten päätettiin määrittää uusi, tarkempi muuntokerroin.

Stora Enson Heinolan flutingtehdas sijaitsee Etelä-Suomessa. Tehdas sijoitettiin Heinolaan, koska alueelta löytyi tehtaalle tärkeitä elementtejä, kuten vettä, koivuvaltaisia metsiä sekä rautatieyhteys Etelä-Suomen satamiin. Nykyisin tehtaaseen kuuluu integroitu sellu- ja kartonkitehdas sekä voimalaitos. Tehtaan pääasiallinen tuote on puolikemiallinen fluting-kartonki, jota käytetään aaltopahviteollisuudessa. Tehdas käyttää pääsääntöisesti raaka-aineenaan koivukuitua.

Kuitupuubarastojen inventointi toteutetaan kuvaamalla terminaaliavarastossa olevat pinot dronen avulla, minkä jälkeen dronekuvat prosessoidaan Stora Enson kehittämällä Drone platform -ohjelmistolla. Pinoista tehdään 3D-mallinnus, jolla määritetään pinojen kehystilavuudet. Kehystilavuus muunnetaan muuntokertoimella kiintotilavuudeksi. Opinnäytetyössä käytettiin t-jakauman ja pienimmän neliösumman menetelmää muuntokertoimien ja niiden luottamusvälien laskemiseen.

Tehtaalle kuljetetaan raaka-aineena käytettävää koivukuitua kahdella eri toimitustavalla, puutavara-autoilla ja rautatiekuljetuksella. Opinnäytetyössä tutkittiin myös, onko autoilla ja junilla kuljetettujen puupinojen välillä eroavaisuuksia muuntokertoimissa.

Lopputuloksena havaittiin eroa autoilla ja junilla kuljetettujen erien välillä, mikä vaikutti muuntokertoimiin. Myös Drone platformilla tehtyä kiintotilavuuden laskentaa testattiin kuvaamalla samoja pinoja neljänä eri päivänä. Tulokset vaihtelivat eri mittauksen välillä, mikä osoittaa tarpeen tarkentaa Drone platformin laskentaprosessia.

Asiasanat: drone, metsätalous, mittaus, fotogrammetria

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Forestry

YLISJOKI, SATU:

Determining a Drone Conversion Factor for Pulpwood Stock Inventory
Stora Enso Heinola Fluting

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 5 pages
May 2024

At Stora Enso's Heinola fluting factory, a drone is used for the monthly inventory of the terminal warehouse. The drone used for inventory changed and it was decided to determine a new, more suitable conversion factor.

The purpose of the study was to determine a new conversion factor for calculating the solid volume of birch fiber. Birch fiber is transported to the factory in two different ways, by wooden trucks and by trains, and this study also investigated whether there are differences in the conversion factors of wood piles transported by these transportation methods.

At the factory, 18 piles of wood were first measured by weight sampling, after which the piles were photographed and measured using a drone. The drone images were transferred to Stora Enso's Drone platform, where the frame volume was created using 3D modeling. With the help of frame volumes and weight sampling measurements, the data of the study was formed. The data was analysed using the t-distribution and the ordinary least squares method to calculate the conversion factors and their confidence intervals.

As a result, a difference was observed between the stacks transported by cars and by trains, which affected the conversion factors. The solid volume calculation made on the Drone platform was also tested by photographing the same stacks on four different days and differences were noticed. A new conversion factor was determined, but the study concluded that the Drone Platform's calculation process needs to be refined.

Key words: drone, forestry, measurement, photogrammetry

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PUUTAVARAN MITTAUS.....	7
	2.1 Tehdasvastaanotto.....	7
	2.2 Kuitupuun pinomittaus.....	8
	2.2.1 Pinon korkeus.....	8
	2.2.2 Pinon pituus.....	10
	2.2.3 Pinon leveys	10
	2.2.4 Pinotiheystekijät.....	11
	2.3 Paino-otantamittaus	11
	2.3.1 Punnitus	12
	2.3.2 Upotusmittaus.....	13
	2.3.3 Tuoretiheyden määrittäminen	14
3	DRONEMITTAUS	15
	3.1 Drone	15
	3.2 Dronelentojen säädökset ja rajoitukset	15
	3.3 Dronemittaus Heinolan tehtaalla	16
	3.3.1 Mittaukseen käytettävä drone.....	16
	3.3.2 Lentoon käytettävä ohjelmisto	17
	3.3.3 Stora Enso Droneplatform	18
	3.4 Fotogrammetria.....	18
4	TOTEUTUS - PUUVARASTOJEN INVENTOINTI	19
	4.1 Tutkimusmenetelmä.....	19
	4.2 Luottamusväli ja keskivirhe	19
	4.3 T-jakauma	20
	4.4 Regressio ja pienimmän neliösumman menetelmä.....	20
	4.5 Koejärjestelyt ja -suunnitelma	21
	4.6 Dronelennon suunnittelu ja lentoon vaikuttavat tekijät	23
5	TULOKSET JA ANALYYSI	24
	5.1 Dronemittausten suorittaminen ja kerätyn datan käsittely	24
	5.2 Kehystilavuuden laskeminen Drone platformilla.....	25
	5.3 Tulosten analysointi ja tarkkuuden arviointi.....	27
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	30
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	34
	Liite 1. Metsätehon ohjeistus pinotiheystekijöiden määrittämiseen	34

Liite 2. Kuvat mitatuista auto- ja junapuupinoista	38
--	----

1 JOHDANTO

Stora Enson Heinolan flutingtehtaalla käytetään sisäisessä kuukausi-inventoinnissa dronemittausta määrittämään tehtaan terminaalivarastossa olevien puupinojen kiintotilavuus. Aiemmin tehtaalla on inventoitu terminaalivarastot pinomittauksella, mutta dronemittaus on syrjäyttänyt vanhan menetelmän olemalla huomattavasti nopeampi ja kustannustehokkaampi tapa.

Puupinojen mittauksiin käytettävä drone vaihtui tehtaalla vuonna 2023. Uusi drone on eri merkinen ja ominaisuuksiltaan, kuten kameraltaan, erilainen. Myös kuvaamiseen käytetty ohjelmisto on vaihtunut. Koska uusi drone ja sen ohjelmisto ovat erilaiset kuin vanhassa, koettiin tarpeelliseksi määritellä sille uusi, oma muuntokertoimensa. Tehtaalla käytetään raaka-aineena pääasiassa koivukuitua, joten muuntokertoimen määrittely tehtiin sille.

Dronen avulla pinoista otetaan ilmakuvia, joiden avulla muodostetaan Stora Enson omalla ohjelmistolla Drone platformilla 3D-mallinnuksen avulla puupinoista kehystilavuus. Kehystilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi muuntokertoimella.

Puita kuljetetaan Heinolan tehtaalle sekä auto- että rautatiekuljetuksilla. Puiden laatu on vaihtelevaa, sillä niiden hakkuuajankohta, kosteus, paksuus ja varastointiaika vaihtelevat. Varsinkin rautatietoimituksissa koivukuitupuun laatu vaihtelee paljon. Puupinojen tilavuuteen vaikuttavat monet eri asiat, kuten pinojen alustan tasaisuus, puiden pinoaminen, puiden läpimitta, oksaisuus ja tilavuus, puiden kosteus ja puiden koko.

2 PUUTAVARAN MITTAUS

Puuraaka-aineen mittauksen tarkoituksena on määrittää hinnoittelu- ja maksuperusteet puutavaraerälle. Mittauksen avulla erät voidaan myös jakaa eri puutavaralajeihin puutavaran jalostusta varten. Puutavaran mittauksessa noudatetaan puutavaranmittauslakia ja -asetusta. Puuraaka-aineen määrää kuvataan yleensä kuorellisella tai kuorettomalla tilavuudella, joka mitataan kiintokuutiometreinä (m³) tai irtokuutiometreinä (i-m³). Lisäksi määrää voidaan kuvata myös massana kilogrammoina (kg) tai tonneina (tn). (Sipi 2009, 12.)

2.1 Tehdasvastaanotto

Puutavaran tehdasmittaus alkoi yleistyä 1990-luvun alkupuolella ja se alkoi syrjäyttää vähitellen tienvarsimittausta. Yleistymiseen vaikuttivat erityisesti puutavaranmittauslakiin tehdyt muutokset vuonna 1997 ja mittausmenetelmien kehittyminen. Vuonna 2007 tehdasmittauksen osuus puutavaran luovutusmittauksessa oli 22 %. Tehdasmittauksen valvonta on helpompaa kuin tienvarsimittauksessa ja kehittyneet mittalaitteet mahdollistavat tarkemmat mittaustulokset. Mittauksen valvonta tehtaalla on helpommin järjestettävissä kuin tienvarsimittauksissa, mikä tekee tehtaalla tapahtuvasta mittauksesta luotettavampaa. (Sipi 2009, 73.)

Tehdasvastaanotossa raaka-aine siirtyy puun toimitusorganisaatiolta laitokselle, joka käyttää puuraaka-aineen. Tehdasvastaanotto valvoo tehtaalle toimitetun raaka-aineen määrää sekä laatua. Saapuneen kuitupuun määrää mitataan erilaisilla mittausmenetelmillä, joista yleisin Suomessa on paino-otantamittaus. (Uusitalo 2023, 98.)

2.2 Kuitupuun pinomittaus

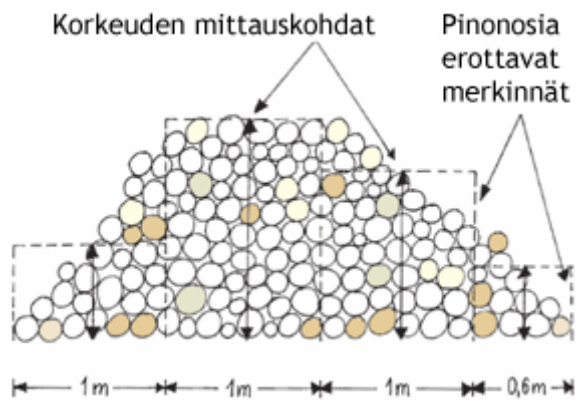
Kuitupuun pinomittaus on yksi yleisimmistä kuitupuun mittaamismenetelmistä. Tämä menetelmä perustuu pinon kehystilavuuden mittaamiseen, keskijäreyden arviointiin ja eri pinotiheystekijöiden laskemiseen. Näiden tietojen avulla voidaan määrittää muuntokerroin, jolla kehystilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi. (Puuhuolto, 2018.)

Pinomittauksessa mitataan liki- tai määräpituista puuta, jonka enimmäispituus on 6 metriä. Mittauksessa tarkastellaan kuitupuupinon kehystilavuutta, josta saadaan selville puun kuorellinen kiintotilavuus. Tätä varten käytetään kiintotilavuusprosenttia, joka muuntaa kehystilavuuden kiintotilavuudeksi. Pinon korkeus saa olla enintään 3 metriä ja sivujen korkeusero tulee olla enintään 60 cm. Mikäli pinoissa on merkittäviä poikkeamia, kuten järeitä pölkkyjä, ne mitataan omina pinoinaan. (Puuhuolto, 2018.)

Kuitupuupinon kehystilavuus lasketaan mittaamalla pinon pituus, leveys ja korkeus ja kertomalla nämä arvot keskenään. Saatu tulos ilmoitetaan kuutiometrin sadasosan tarkkuudella ($0,01 \text{ m}^3$). Sen jälkeen pinosta määritetään neljä pinotiheystekijää; keskiläpimitta, oksaisuus ja karsinta, mutkaisuus ja ladonta. Pinon kiintotilavuusprosentti määräytyy näiden pinotiheysluokkien ja keskimääräisen kiintotilavuusprosentin perusteella. Pinon kiintotilavuus saadaan, kun mitattavan pinon kehystilavuus kerrotaan kiintotilavuusprosentilla. Saatu tulos ilmoitetaan kuutiometrin kymmenesosan ($0,1 \text{ m}^3$) tarkkuudella. (Sipi 2009, 71.)

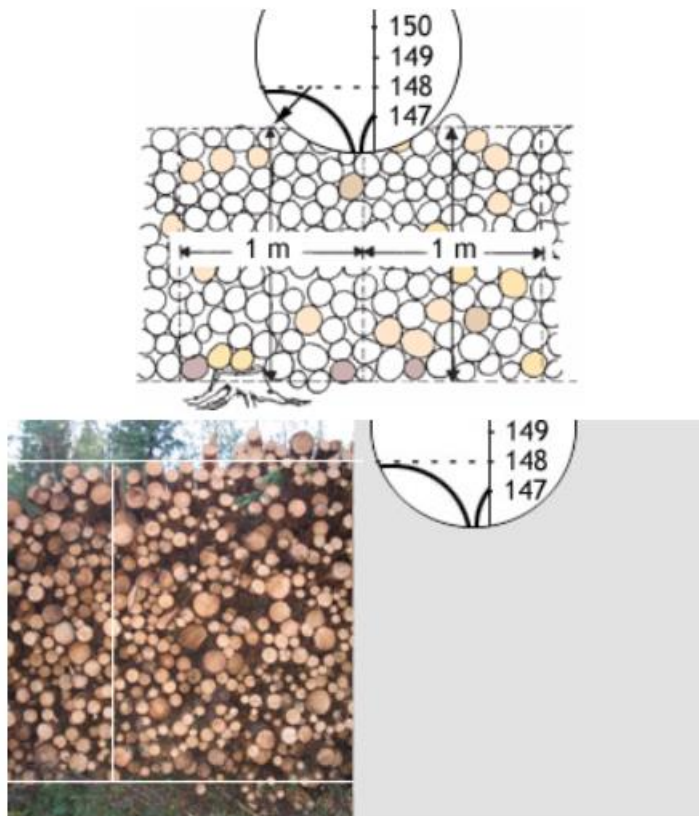
2.2.1 Pinon korkeus

Puupino jaetaan korkeuden mittaamista varten 1 metrin pituisiin osiin, kuten on havainnollistettu kuvassa 1. Mikäli pino on yli 10 metriä pitkä, voidaan se jakaa myös 2 metrin pituisiin osiin. Pinon viimeisen osan pituuden mittauksessa käytetään tasaavaa 1 desimetrin luokitusta ja pinon osiin jakaminen tehdään siltä puolelta pinoa, joka on lyhyempi. (Puuhuolto, 2018.)



KUVA 1. Pinon korkeuden mittaus. (Puuhuolto, 2018).

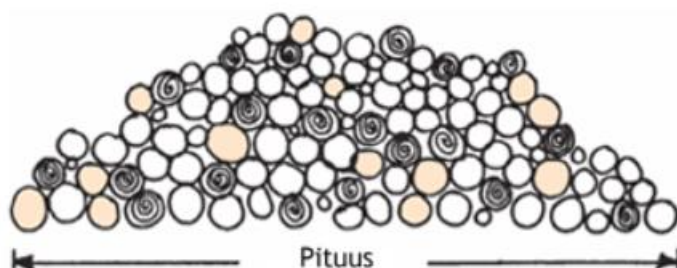
Pinon osat mitataan pinon molemmilta puolilta 1 senttimetrin tarkkuudella. Jokaisen osan pituuden puolivälistä mitataan pituus kohtisuoraan niin, että alin pölkkyrivi tasoitetaan silmämääräisesti ja mitataan siitä kohdasta pölkkyrivin yläreunaan, joka on myös tasoitettu silmämääräisesti (kuva 2). Pinon alla olevat kivet tai kannot voivat ilman tasoitusta vaikuttaa mittaustulokseen. (Puuhuolto, 2018.)



KUVA 2. Pinon osien alaosan ja yläosan tasoitus. (Puuhuolto, 2018).

2.2.2 Pinon pituus

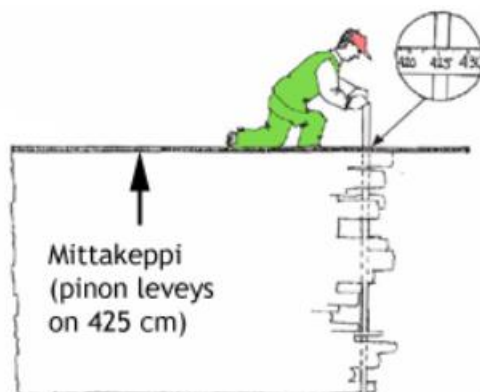
Pinon pituus määritellään mittaamalla pinon äärimmäisten pölkkyrivien ulkoreunojen välimatka kuvan 3 mukaisesti. Pituus mitataan puupinon molemmilta puolilta. (Puuhuolto, 2018.)



KUVA 3. Puupinon leveys. (Puuhuolto, 2018).

2.2.3 Pinon leveys

Pinon leveyttä mitataan eri tavalla riippuen katkonnasta. Jos kuitupuu on määräpituista, käytetään pölkyn pituutta koko pinon leveytenä. Jos pinossa on vapaasti katkottua kuitupuuta, mitataan pinon leveys pinonosittain. Silloin pinon etu- ja takasivut arvioidaan ja tasoitetaan silmämääräisesti ja tasoituskohtien välimatka mitataan käyttämällä 5 cm:n tasaavaa luokitusta (kuva 4). Pinon leveydestä lasketaan keskiarvo, joka ilmoitetaan 1 cm:n tarkkuudella. (Puuhuolto, 2018.)



KUVA 4. Vapaasti katkotun kuitupuun pinon leveyden arviointi. (Puuhuolto, 2018).

2.2.4 Pinotiheystekijät

Kiintotilavuuden määrittämiseksi tarvitaan pinon kiintotilavuusprosentti, joka on pinon kiintotilavuuden ja kehystilavuuden suhde. Kiintotilavuusprosentin määrittämiseksi arvioidaan pölkystä neljää eri toisistaan riippumatonta pinotiheystekijää:

- järeys eli keskiläpimitta
- karsinta ja oksaisuus
- mutkaisuus
- ladonta.

Pinotiheystekijöiden määrittämiseksi tarkastellaan pinoa molemmilta sivuilta. Mikäli pinossa on selkeästi eri osia, jotka erottuvat selvästi pinotiheystekijöiltään, pino voidaan jakaa erojen mukaan eri osiin. Pinotiheystekijöiden määrittämisessä ei oteta huomioon lumen tai jään aiheuttamaa vaikutusta pinoon. (Puuhuolto, 2018.)

Metsätehon ohjeessa Kuitupuun pinomittaus on kerrottu pinotiheystekijöiden määrittämisestä tarkemmin (liite 1).

2.3 Paino-otantamittaus

Paino-otantamittaus on pääasiallinen mittausmenetelmä kuitupuun tehdasmittausmenetelmistä ja yleinen erityisesti niissä tehtaissa, joissa puumäärät ovat suuria. Puuauto punnitaan ensin kuormattuna ja sitten tyhjänä, jonka jälkeen kuorman massa muunnetaan tilavuudeksi tuoretiheyskerroimella (kg/m^3). Tuoretiheyskerroin on liukuva ja se saadaan määritettyä näyte-erien otantamittauksella, jossa osa puumäärästä on punnittu ja tilavuus määritetty joko upotusmittauksella tai osaupotusmittauksella. (Uusitalo 2023, 98.)

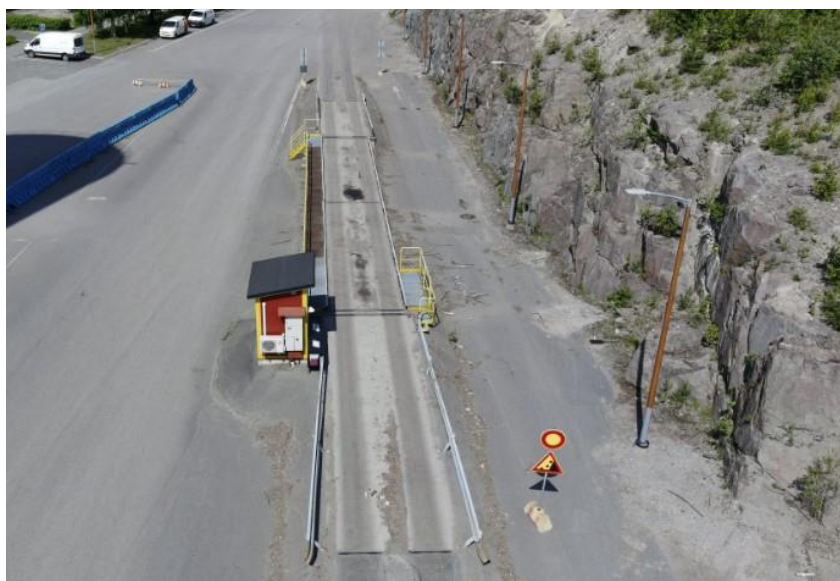
Jotta tuoretiheys voidaan määrittellä, valitaan mittauserästä näyte-erä. Näyte-erät pyritään mittaamaan mahdollisimman pian. Tuoretiheyden vaihtelu on usein suurta, ja siihen vaikuttavat esimerkiksi hakattujen erien erilaiset

kasvupaikat, sekä kuivan puutavaran määrä tuoreen puutavaran joukossa. Muita tuoretiheyteen vaikuttavia tekijöitä ovat puutavaran varastointiajat sekä mittauserän joukossa mahdollisesti olevat vieraat aineet, kuten lumi. Erien massa punnitaan ja niiden tilavuus määritetään mittausohjeen tai upotusmittausohjeen avulla. Tuoretiheys, jota mitataan kilogrammoina kuutiometriä kohti (kg/m^3), lasketaan jakamalla puutavaran massa sen tilavuudella. Tuoretiheys ilmoitetaan 1 kg/m^3 :n tarkkuudella. (Sipi 2009, 81.)

Mittauserän keskimääräinen tuoretiheys lasketaan ottamalla eri näyte-eristä mitattujen tuoretiheyksien aritmeettinen keskiarvo. Koko mittauserän tilavuus voidaan laskea jakamalla sen massa kilogrammoina keskimääräisellä tuoretiheydellä kilogrammaa kuutiometriä kohti (kg/m^3). Saatu tulos ilmoitetaan yleensä $0,1 \text{ m}^3$:n tarkkuudella. (Sipi 2009, 81.)

2.3.1 Punnitus

Kun puutavara-auto ajaa tehtaalle, se punnitaan ajoneuvovaa'alla (kuva 5). Tiedot autosta rekisteröidään tehtaan vastaanottojärjestelmään ja puutavara puretaan auton kyydistä. Kun auto on tyhjä, punnitaan se vielä lähtiessä samalla vaa'alla uudelleen. Punnitusten tulosten erotuksesta saadaan selville puutavara-auton kuljettaman puutavaran tuoremassa. (Puuhuolto, 2018.)

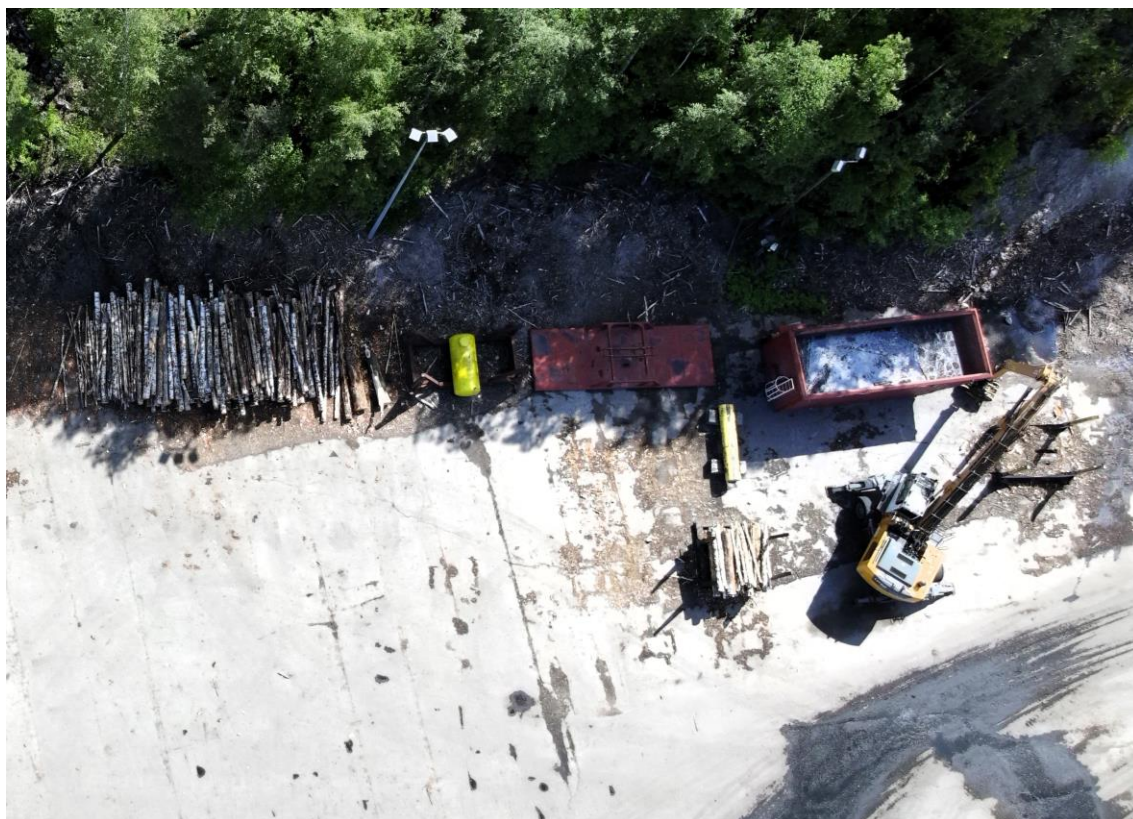


KUVA 5. Siltavaaka, jolla mitataan koko ajoneuvo (Satu Ylisjoki, 2023).

2.3.2 Upotusmittaus

Kuitupuun upotusmittaus on Arkhimedeen lakiin perustuva menetelmä, jolla mitataan puutavaran tilavuus. Upotettavaan kappaleeseen vaikuttaa upotuksessa noste, jonka suuruus vastaa kappaleen syrjäyttämän nestemäärän massaa. Kun nesteen tiheys ja noste tiedetään, tiedetään näin myös kappaleen tilavuus. (Sipi 2009, 28, 78.)

Upotusmittauksessa puutavaranippu punnitaan ensin ilmassa yleensä kurottajatrukin avulla ja sen jälkeen se siirretään kurottajalla upotusaltaaseen (kuva 6) ja upotetaan kokonaan. Näiden tuloksien erotuksesta saadaan laskettua kyseisen puutavaranipun tilavuus. Kun nipusta otetaan osa ja upotetaan vain se, kutsutaan sitä osaupotusmittaukseksi. (Puuhuolto, 2018.)



KUVA 6. Otantanippujen upotusmittauspaikka tehtaan vastaanotossa (Satu Ylisjoki, 2023).

2.3.3 Tuoretiheyden määrittäminen

Kun otantaniput on mitattu, lasketaan niiden avulla keskimääräinen tuoretiheys. Tuoretiheys lasketaan yleensä 5–10 viimeisimmän otantaerän keskiarvona, jolloin se vastaa parhaiten puutavaralajin senhetkistä, keskimääräistä tuoretiheyttä. Tuoretiheyden laskennassa voidaan käyttää myös 7/5- tai 14/10-otantaa, jolloin suurin ja pienin, tai kaksi suurinta ja kaksi pienintä, mittaustulosta jätetään keskiarvon laskennasta pois. (Puuhuolto, 2018.)

3 DRONEMITTAUS

3.1 Drone

Drone on miehittämätön ilma-alus tai ilma-alusjärjestelmä, jota voidaan ohjata joko automaattisesti, itsenäisesti tai kauko-ohjaajan toimesta. Droneja on erikokoisia ja niiden paino vaihtelee muutamasta grammasta jopa tuhansiin kilogrammoihin. Droneja on myös erityyppisiä. Moniroottorinen tai multikopteri on yleisin miehittämättömässä ilmailussa ja toimii helikopterin tavoin. Tällaista dronea käytetään usein valo- ja videokuvaukseen. Kiinteäsiipiset dronet ovat lentokoneiden kaltaisia ja niitä käytetään yleisesti laajempien alueiden seuraamiseen, kuten mittaukseen ja kartoitukseen. (Droneinfo, n.d.)

3.2 Dronelentojen säädökset ja rajoitukset

Suomessa dronen lennättämisessä on noudatettava erilaisia ilmailun säädöksiä ja määräyksiä. Euroopan komissio ja Euroopan lentoturvallisuusvirasto (EASA) ovat luoneet asetuksia dronejen lentämiseen, jotka koskevat kaikkia toimijoita EU:n alueella. Suomessa on myös kansallisia säädöksiä, kuten ilmailulaki ja Traficom:n antamat ilmailumääräykset, jotka täydentävät Euroopan komission ja EASA:n asetuksia. Niiden tarkoituksena on varmistaa turvallinen ja vastuullinen dronejen käyttö Suomessa. (Droneinfo, n.d.)

31.12.2020 voimaan astunut dronelennättämisen yhtenäistävä asetus edellyttää, että kaikkien yli 250 g painavien tai kamerallisten dronejen käyttäjien on rekisteröidyttävä ja suoritettava koe. Rekisteröityminen tapahtuu Traficom:n ylläpitämässä rekisterissä ja kokeen tarkoituksena on varmistaa dronekäyttäjien tietämys ja ymmärrys lennättämiseen liittyvistä turvallisuusnäkökohdista. Rekisteröitymisvaatimus ei koske niitä käyttäjiä, jotka lennättävät alle 250 g painavaa dronea, jossa ei ole kameraa tai muuta henkilötietojen tallennukseen kykenevää laitetta. Suurin sallittu lennätyskorkeus droneille on 120 metriä maan tai veden pinnasta. Ihmisjoukkojen yläpuolella dronea ei saa lennättää, ja drone

on pidettävä turvallisen välimatkan päässä ihmisistä. Lennätystoiminnassa on huomioitava myös ilmailun kielto-, rajoitus- ja vaara-alueet sekä UAS-ilmatilavyöhykkeet, joilla miehittämättömien ilma-alusten toiminta on kielletty tai rajoitettu. (Droneinfo, n.d.)

Dronea on ohjeistuksen mukaisesti lennettävä aina siten, että siihen säilytetään suora näköyhteys, eli VLOS, Visual Line Of Sight. Mikäli näköyhteyttä ei ole, kutsutaan tällaista lentoa nimityksellä Beyond Visual Line of Sight, eli BVLOS. (Droneinfo, n.d.)

3.3 Dronemittaus Heinolan tehtaalla

Stora Enson Heinolan tehtaalla mitataan kuitupuuvarannoja dronen avulla sisäistä inventaariota varten kuukausittain. Dronemittausten pääasiallinen tarkoitus on tehdasterminaalien puuvarastojen määrän hallinta ja raportointi. Dronemittaus on nopeampaa kuin perinteinen pinomittaus ja sitä pyritään kehittämään mahdollisimman sujuvaksi ja tarkaksi. Dronen muutokertoimena on käytetty tähän mennessä koivukuidulle tehtaalla 0,56. Parrot Anafi Ai -drone on otettu Heinolassa käyttöön vuonna 2023. Sitä ennen tehtaalla on ollut käytössä eri valmistajan drone, jonka tekniset ominaisuudet ovat olleet erilaisia.

3.3.1 Mittaukseen käytettävä drone

Parrot Group on ranskalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1994. Se on nykyisin johtava eurooppalainen konserni nopeasti kasvavalla dronealalla. Yrityksen dronet valmistetaan pääasiassa Ranskassa ja Sveitsissä. Parrot Anafi Ai -drone (kuva 7) julkaistiin kesällä 2021. Sen hyvä ominaisuus on 4G-yhteys, joka mahdollistaa pitkän kantomatkan ja näin myös BVLOS-lentoja. Drone sisältää myös 48 megapikselin pääkameran, jonka kuvanvakain varmistaa kuvien terävyyden jopa 12,7 m/s sivutuulella. (Parrot, 2021.)

Laitteessa on myös esteentunnistusjärjestelmä, joka havaitsee esteet kaikista suunnista kameroiden avulla ja välttää esteitä automaattisesti. Kehittynyt tekoäly, autonomiset lennot ja fotogrammetrian tarkkuus tekevät siitä tehokkaan työkalun. (Parrot, 2021.)



KUVA 7. Parrot Anafi Ai. (Parrot.com, 2023).

3.3.2 Lentoon käytettävä ohjelmisto

FreeFlight 7 on Parrotin oma ohjelmisto, jolla Parrot Anafi Ai -dronea voi ohjata, päivittää, kalibroida ja tehdä esimerkiksi lentosuunnitelmia. Ohjelmalla voidaan seurata muun muassa lennon etenemistä, dronen tilaa ja etäisyyttä sekä akkujen kestoa. Kun tehdään lentosuunnitelmaa tehdasvarastojen inventointia varten, määritetään ohjelmaan lentoparametrit. Näitä ovat lennon tyyppi, lentokorkeus, kuvien päällekkäisyys, kuvauskulma, kuvan laatu, lentonopeus, esteentunnistusjärjestelmän käyttö ja kotiinpaluutoiminnon käyttö. (Parrot, 2023.)

3.3.3 Stora Enso Droneplatform

Stora Ensolla on oma selainpohjainen ohjelmisto, Drone platform, jonne ilmakuvat ladataan ja se käsittelee ilmakuvat Agisoft Metashape -ohjelmiston avulla 3D-malliksi. Stora Ensolla on tehty dronen lentoparametrien määrittämiseksi tutkimusta, joka pohjautuu aiheesta julkaistuihin artikkeleihin sekä omiin lentoparametrien testauksiin Zdirecin tehtaalla Tšekissä. (Havlickova, 2023.)

Kuvat ladataan ohjelmistoon, jonka jälkeen siihen syötetään mitattavien pinojen puiden keskipituus ja merkitään haluttu mitattava pino viivoituksella. Tämän jälkeen ohjelma laskee jokaiselle merkitylle pinolle kehystilavuuden.

3.4 Fotogrammetria

Fotogrammetria muodostuu kreikankielisistä sanoista phot, gramma ja metrein, jotka ovat suomeksi käännettyinä valo, piirros ja mittaus (Coulombe, A. 2016). Sillä tarkoitetaan menetelmiä, joilla voidaan kuvia mittaamalla määrittää kohteen sijainti, muoto ja koko. Mittauksessa hyödynnetään kuvan ja kohteen geometrian vastaavuuksia. (Salmenperä, 2004.)

Fotogrammetrian kehitys on ollut nopeaa 1900-luvun loppupuolelta lähtien tekniikan nopean kehityksen vuoksi. Fotogrammetria on erittäin tarkka ja tehokas menetelmä muun muassa karttojen kokoamiseen ja topografisten tietojen tuottamiseen. Siitä onkin tullut erittäin tärkeä osa paikkatietojärjestelmien alalla. Paikkatietojärjestelmien fotogrammetriaa hyödyntäviä yleisiä tuotteita ovat esimerkiksi erilaiset topografiset kartat, korkeusmallit ja ortokuvat. (Wolf, 2014.)

4 TOTEUTUS - PUUVARASTOJEN INVENTOINTI

4.1 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyössä käytettiin empiiristä eli havainnoivaa tutkimusta. Se on menetelmä, jossa tutkimustulokset saadaan tekemällä konkreettisia havaintoja tutkimuskohteesta analysoimalla ja mittaamalla. Tutkimuksen avulla voidaan löytää ratkaisuja jonkin asian toteuttamiseen. Se, että tutkimus onnistuu, vaatii oikean tutkimusmenetelmän valinnan. (Heikkilä 2008, 13.)

Määrällisen eli kvantitatiivisen tutkimuksen avulla voidaan selvittää kysymyksiä, jotka liittyvät lukumääriin ja prosentiosuuksiin. Se edellyttää edustavaa ja riittävän suurta otosmäärää ja asioita kuvataan numeeristen suureiden avulla. Tuloksia esitellään taulukoin tai kuvioin ja usein selvitetään myös asioiden välisiä riippuvuuksia. (Heikkilä 2008, 16.)

4.2 Luottamusväli ja keskivirhe

Kun jostakin perusjoukosta halutaan tehdä johtopäätöksiä, voidaan perusjoukosta ottaa pienempiä otoksia ja näiden otosten perusteella tehdä johtopäätöksiä koko joukosta. Koska otokset vastaavat vain osaa perusjoukosta, ovat otoksista lasketut arvot vain arvioita, joihin liittyy tietty epävarmuus. Mitä suurempi otos on, sitä tarkempi otosten tarkkuus on. Luottamusvälillä voidaan ilmaista se väli, jolla perusjoukon suure jollakin todennäköisyydellä sijaitsee otosten perusteella. (Heikkilä 2008, 106–107.)

4.3 T-jakauma

Kun lasketaan keskiarvon keskivirhettä, täytyisi se laskea koko perusjoukosta. Yleensä koko perusjoukkoa ei kuitenkaan tunneta ja keskivirhe lasketaan otosten keskihajonnan avulla. Jos otoskoko on pieni, voivat tulokset olla epätarkkoja, mutta tätä voidaan korjata jonkin verran käyttämällä Studentin t-jakaumaa. (Heikkilä 2008, 106–107.)

T-jakauma on tilastollinen jakauma, joka ottaa huomioon pienten otoskokojen epätarkkuuden ja auttaa hypoteesien testauksessa. T-jakauman muoto riippuu vapausasteesta, joka lasketaan otoskoon ja tutkittavan havainnon perusteella. Mitä suurempi otoskoko on, sitä enemmän t-jakauman muoto lähestyy normaalijakaumaa. (Heikkilä 2008, 106.)

4.4 Regressio ja pienimmän neliösumman menetelmä

Regressioanalyysi on tilastollinen menetelmä, jota käytetään selvittämään yhteyksiä muuttujien välillä. Sen avulla voidaan tutkia esimerkiksi sitä, miten yksi tai useampi muuttuja vaikuttaa toiseen muuttujaan. (Holopainen & Pulkkinen 2008, 259.)

Yleisin regressioanalyysin muoto on lineaarinen malli, eli pienimmän neliösumman menetelmä. Jos kahden muuttujan välillä havaitaan selvää lineaarista riippuvuutta ja toisen muuttujan käyttäytymistä voidaan selittää toisen muuttujan avulla, voidaan niiden riippuvuutta kuvata regressiosuoran avulla. Menetelmällä pyritään löytämään suora tai tasainen käyrä, jolla kuvataan muuttujien välistä yhteyttä. Menetelmässä minimoidaan havaintopisteiden suorasta laskettujen etäisyyksien neliöiden summaa kaavalla:

$$y = a + bx$$

Kaavassa y on selitettävä muuttuja ja x selittävä muuttuja. Selitettävän muuttujan kerroin b , eli regressiokerroin, ilmaisee, kuinka paljon y -muuttuja keskimäärin muuttuu, kun x kasvaa yhden yksikön verran. Vakio a ilmaisee suoran ja y -akselin leikkauspisteen. (Heikkilä 2008, 92–93 & 237–238.)

Tässä työssä laskettiin dronelle muuntokertoimet luottamusväleineen käyttäen t -jakauman ja pienimmän neliösumman menetelmää.

4.5 Koejärjestelyt ja -suunnitelma

Mittaukset suoritettiin Stora Enso Heinola flutingtehtaalla ensin paino-otantamittauksella, jonka jälkeen puupinot kuvattiin ja mitattiin dronen avulla. Mittauksia varten puukuormat ohjattiin omiin pinoihinsa niin, että tiedettiin jokaisessa pinossa olevat puumäärät ja niiden tositenumerot. Näistä pinoista tehtiin otantoja, jotka upotettiin upotusaltaaseen. Kun pinot olivat valmiita ja paino-otantamittaukset olivat tehty, kuvattiin pinot Parrot Anafi Ai dronen avulla. Otetut kuvat siirrettiin Stora Enson Drone Platformille, jossa niistä muodostettiin 3D-mallinnuksen avulla kehystilavuus. Kehystilavuuksien ja paino-otantamittauksien avulla muodostettiin tämän opinnäytetyön tutkimuksen aineisto.

Ajankohdaksi sovittiin viikko 26 vuonna 2023, kesäkuun viimeinen viikko. Tehdas oli tällöin suljettu, mutta puukuormat tulivat normaalisti terminaaliin. Tehtaalla oli kaksi työntekijää, jotka vastasivat otannoista ja puutavaran pinoamisesta. Puutavara-autotoimitukset ja rautateitse toimitettavat puut pinottiin omiin pinoihinsa ja näin saatiin verrattua myös sitä, tarvitsevatko rautatietoimitukset ja puutavara-autotoimitukset omat muuntokertoimensa.

Tavoitteena oli saada sekä auto- että junapuutoimituksista noin 5000 m³:n verran koe-eriä. Jokaiseen pinoon koitettiin saada noin 500 m³ koivukuitua, eli pinoja suunniteltiin kasattavaksi yhteensä noin 20 kappaletta. Näistä pyrittiin upottamalla määrittämään tiheyskerroimet jokaiselle pinolle niin, että upotusmäärä olisi noin 15 %.

Jotta puupinot olivat tutkimuskelpoisia, täytyi niiden sijainti suunnitella ennakkoon. Pinojen kasaaminen vaati yhteistyötä puuautonkuljettajien sekä tehtaan henkilökunnan välillä, jotta otannat ja pinot saatiin oikeisiin paikkoihin, eikä kuormia viety vahingossa väärin pinoihin. Pinot nimettiin järjestyksessä niin, että puuautoilla kuljetetut puupinot nimettiin A-kirjaimella ja junilla kuljetetut puut J-kirjaimella. Kuvassa 8 on juna- ja autopinoja ja liitteessä 2 on kaksi kuvaa lopuista mitatuista pinoista.

Kuvauksia päätettiin tehdä vielä lisää viikolla 35, koska alkuperäisistä autopuupinoista jouduttiin hylkäämään kaksi. Autopinoja muodostettiin tuolloin vielä kaksi lisää.



KUVA 8. Ilmakuva mitatuista pinoista. (Satu Ylisjoki, 2023)

4.6 Dronelennon suunnittelu ja lentoon vaikuttavat tekijät

Dronen lennättäjän tulee tehdä lennettävälle alueelle lentosuunnitelma ennen lennon toteutumista. Lentosuunnitelma luodaan lento-ohjelmalla ja Stora Ensolla käytetään Parrot Anafi Ai -dronelle ohjelmaa FreeFlight 7. Lentosuunnitelmaan määritetään lennettävä ja kuvattava alue sekä lentoparametrit. Tässä tutkimuksessa käytettiin Stora Enson määrittämiä lentoparametreja, joissa lentokorkeus oli 80 metriä ja kuvien päällekkäisyys 80 %.

Koejärjestelyyn vaikuttaa olennaisesti sää. Mikäli sää on sateinen tai erittäin tuulinen, ei dronea voi lennättää, sillä tällöin on mahdollisuus laitteen rikkoutumiseen tai lentoreitiltä poikkeamiseen. Liian aurinkoinen sää voi vaikuttaa myös dronekuvien laatuun.

Koska mitattavat puupinot kasattiin eri henkilöiden toimesta eri vuorokauden aikoihin, oli kuvattavien pinojen kasauksessa myös inhimillisen virheen mahdollisuus. Pinot, niiden sisältämät puukuormat ja niiden otannat on oltava oikein ja tarkasti kirjattuna ylös, jotta lopputuloksesta voidaan olla varmoja. Jos kasoissa on puita, joita ei siellä tiedetä kirjanpidon mukaan olevan, ei muuntokertoimen määrittely kyseiselle pinolle onnistu. Tämän vuoksi kuvauslennot lennettiin heti pinojen valmistuttua.

5 TULOKSET JA ANALYYSI

5.1 Dronemittausten suorittaminen ja kerätyn datan käsittely

Viikolla 26 saatiin muodostettua ja mitattua autopuupinoja 13 kappaletta, joista 2 hylättiin ja junapuupinoja 7 kappaletta. Kaksi pinoa, A3 ja A6, hylättiin ja jätettiin tämän tutkimuksen ulkopuolelle, koska pinoihin oli päässyt puuautokuormia, joiden tositteita ei tiedetty, joten näiden kuormien kokoa ja painoa ei ollut tiedossa. Viikolla 35 saatiin muodostettua ja mitattua autopuupinoja 2 kappaletta.

Jokainen puutavara-auto punnittiin sen saapuessa tehtaalle ja sen poistuessa tehtaalta. Näin saatiin jokaisen puutavarakuorman paino kilogrammoina. Näistä puutavarakuormista tehtiin osaputusmittauksia, jotta pystyttiin määrittämään jokaiselle puutavarakuormalle tuoretiheys. Mittauserän kiintotilavuus määritettiin jakamalla massa tuoretiheydellä.

Tämän jälkeen pinot kuvattiin dronella ja kuvamateriaali siirrettiin Drone Platformille analysointia varten. Ohjelmistolla määritettiin kunkin pinon kehystilavuus. Tällä kehystilavuudella jaettiin mittauserän kiintotilavuus ja tuloksena saatiin muuntokerroin. Jokaiselle kuitupuupinolle määritettiin oma muuntokertoimensa.

Taulukossa 1 on kuvattu drone- ja paino-otantamittausten tulokset ja muuntokertoimet. Taulukossa on ensin pinon tunnus, jossa A-kirjain tarkoittaa autopinoa ja J-kirjain junapinoa. Dronella mitattu kehystilavuus on Droneplatformin avulla dronella kuvatuista kuvista muodostettu kehystilavuus. Otannoilta saatu kiintotilavuus on kunkin pinon oma kiintotilavuus, joka on määritelty upotusmittaamalla osa pinon puista. Saatu muuntokerroin on laskettu jakamalla tarkka kiintotilavuus dronella mitatulla kehystilavuudella. Keskiarvosarakkeessa on autopinojen ja junapinojen muuntokerrointen laskettu keskiarvo.

TAULUKKO 1. Drone- ja paino-otantamittausten tulokset.

Pino	Dronella mitattu kehystilavuus m ³	Otannoilla saatu kiintotilavuus m ³	Saatu muuntokerroin	Keskiarvo	
A1	913,3	581,7	0,637	0,577	
A2	786,5	543,5	0,691		
A4	772,4	420,6	0,545		
A5	850,3	507,2	0,596		
A7	482,0	277,6	0,576		
A8	525,5	271,9	0,517		
A9	404,0	246,7	0,611		
A10	853,9	440,7	0,516		
A11	715,7	433,2	0,605		
A12	1191,5	611,0	0,513		
A13	1108,3	600,4	0,542		
J1	913,8	489,5	0,536		0,475
J2	963,4	444,2	0,461		
J3	666,6	270,3	0,405		
J4	1115,9	592,9	0,531		
J5	822,3	415,1	0,505		
J6	739,3	353,1	0,478		
J7	1101,9	453,0	0,411		

5.2 Kehystilavuuden laskeminen Drone platformilla

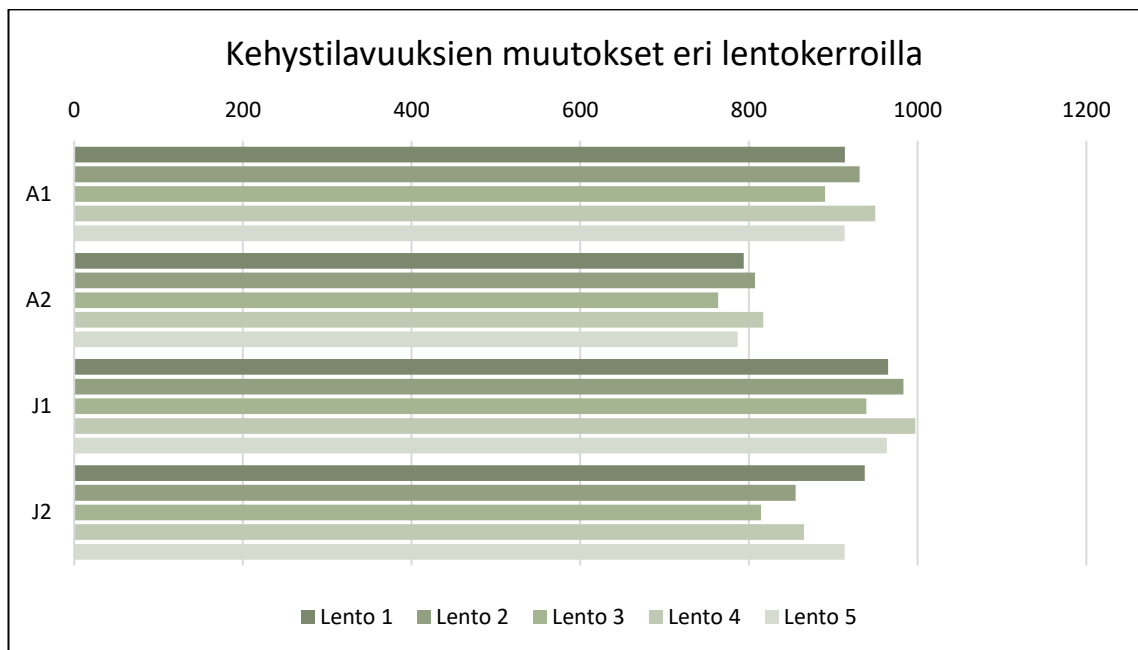
Drone platformin kehystilavuuden laskeminen perustuu ilmakuviin, jotka ohjelmisto prosessoi 3D-mallinnukseksi. Ohjelmaan syötetään pinojen puutavaran pituus, joka Heinolan tehtaalla koivukuidulla on aina 3 metriä. Tämän jälkeen mitattava pino merkitään viivoituksella ja ohjelmisto laskee sen jälkeen kehystilavuuden.

Ohjelman muodostamaa kehystilavuutta ja sen luotettavuutta testattiin niin, että ohjelmistoon syötettiin kahdesta autopinosta ja kahdesta junapinosta eri kuvia. Pinot kuvattiin viidesti samoilla lentoparametreilla, neljänä eri päivänä. Sää oli kaikkina kuvauspäivinä aurinkoinen, mutta tuulenopeus vaihteli. Tulokset ovat esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Saadut kehystilavuudet puupinoista eri lennoilta.

Pino	Lentopvm 26.6. 1/2	Lentopvm 26.6. 2/2	Lentopvm 27.6.	Lentopvm 29.6.	Lentopvm 30.6.	Keskiarvo
A1	913,7	931,3	890,1	949,6	913,3	919,6
A2	794,0	807,2	763,4	817,0	786,5	793,6
J1	965,1	983,0	939,1	997,3	963,4	969,6
J2	937,4	855,3	814,3	865,1	913,3	877,1

Kuten kuviosta 9 nähdään, eri lentojen tulokset poikkesivat kaikki toisistaan. Pinon A1 pienin tulos oli 890,1 m³ ja suurin tulos 949,6 m³. Eroa pienimmän ja suurimman tuloksen välillä oli 59,5 m³, 6,3 %. Pinon A2 pienin tulos oli 763,4 m³ ja suurin tulos 817,0 m³, eroa tulosten välillä oli 53,6 m³, 6,6 %. Pinon J1 pienin tulos oli 939,1 m³ ja suurin tulos 997,3 m³, eroa tulosten välillä oli 58,2 m³, 5,8 %. Pinon J2 pienin tulos oli 814,3 m³ ja suurin tulos 937,4 m³, eroa tulosten välillä oli 123,1 m³, 13,1 %.



KUVIO 9. Kehystilavuuksien muutokset eri lentokerroilla.

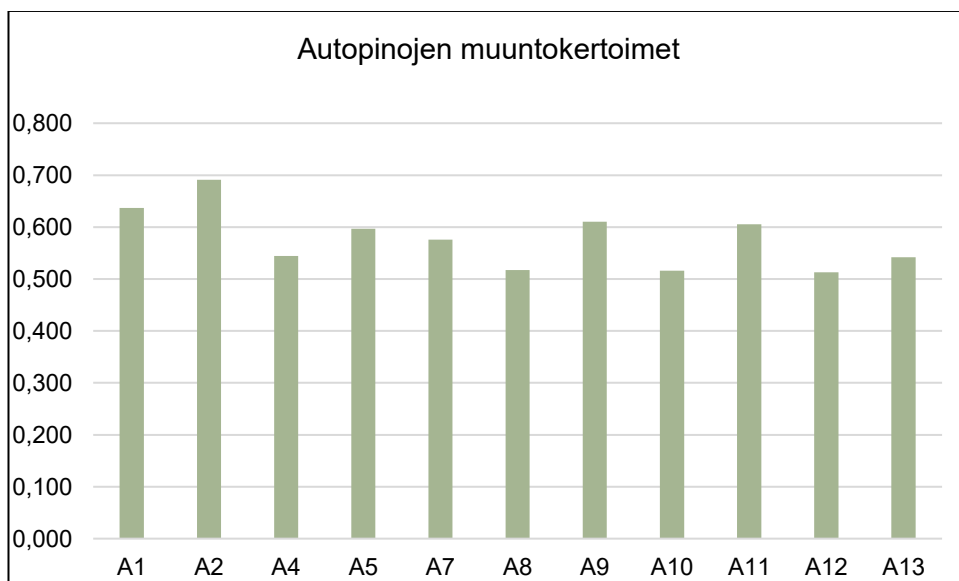
5.3 Tulosten analysointi ja tarkkuuden arviointi

Tulosten analysointia varten laskettiin mittaustulosten keskiarvolle 95 % luottamusväli. Taulukossa 3 on esitetty auto- ja junapinojen keskihajonta, merkitsevyystaso, otoksen koko, luottamusväli, keskiarvo, sekä luottamusvälin ala- ja yläraja.

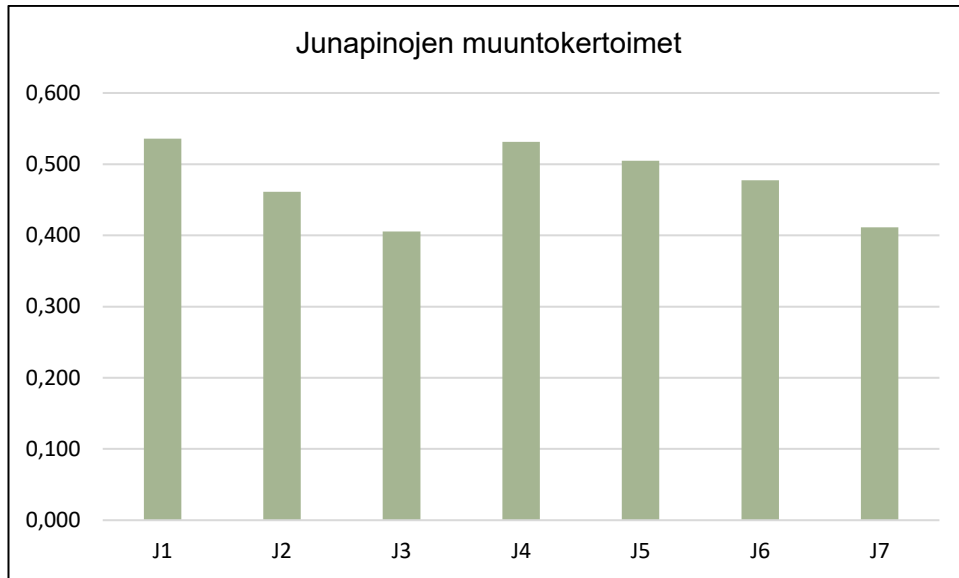
TAULUKKO 3. Auto- ja junapinojen tunnusluvut t-jakaumaan perustuen.

	Autopinot A1-A2, A4-A5, A7-A13	Junapinot J1-J7
Keskihajonta	0,057	0,053
Merkitsevyystaso	0,05	0,05
Otoksen koko	11	7
Virhemarginaali	0,038	0,049
Keskiarvo	0,577	0,475
Luottamusväli 95 %	0,539–0,615	0,426–0,524

Kuviossa 10 on esitetty autopinojen saadut muuntokertoimet ja kuviossa 11 junapuupinojen muuntokertoimet. Kuvioista nähdään muuntokerrointen vaihtelu.

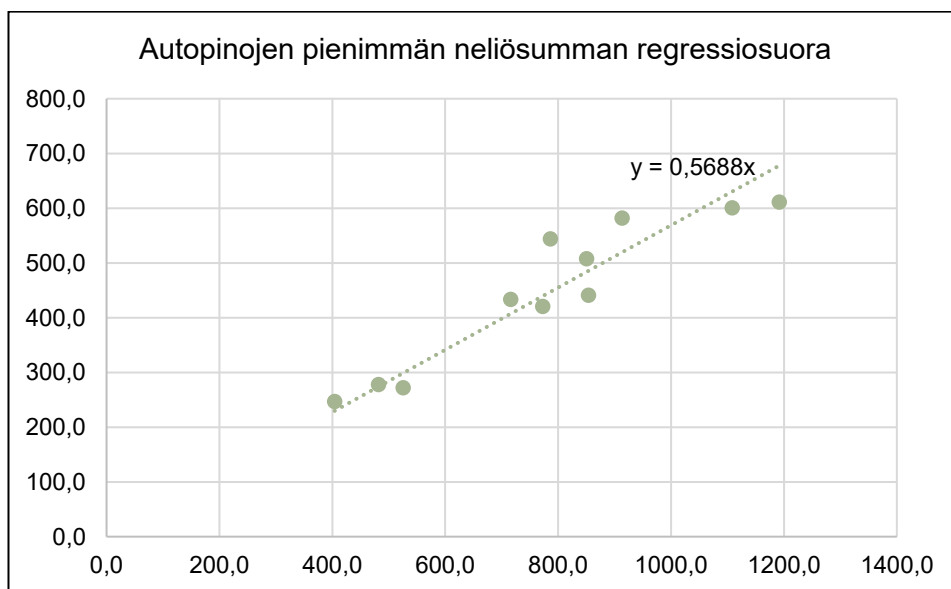


KUVIO 10. Autopinojen muuntokertoimet.



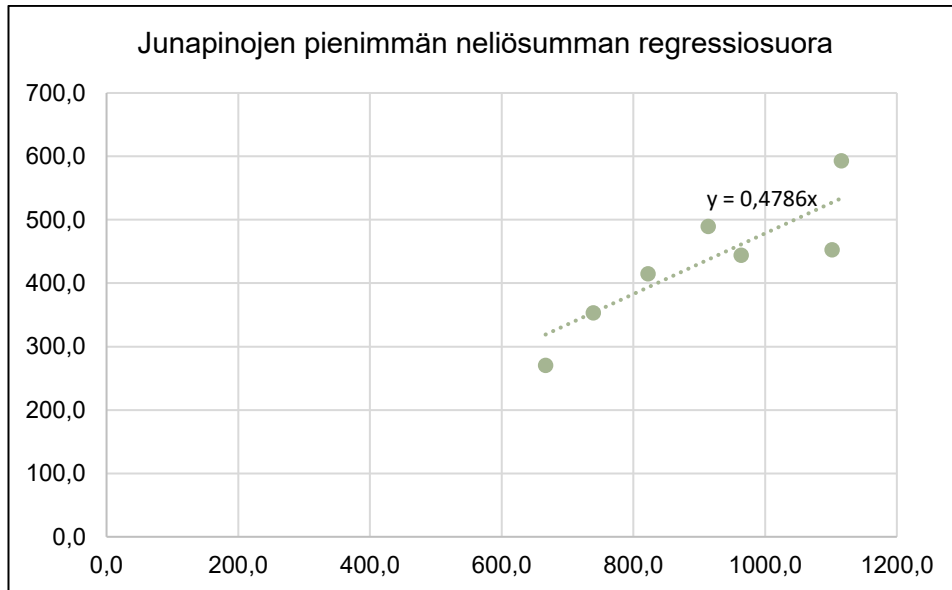
KUVIO 11. Junapinojen muuntokertoimet.

Junapinojen ja autopinojen muuntokertoimet luottamusväleineen laskettiin myös pienimmän neliösumman menetelmällä käyttäen Excel-ohjelmaa. Autopinojen (kuvio 12) muuntokertoimeksi tuli tämän mallin mukaan 0,569.



KUVIO 12. Autopinojen pienimmän neliösumman regressiosuora.

Junapinojen muuntokertoimeksi saatiin regressiosuoran avulla 0,479, joka on esitetty kuviossa 13.



KUVIO 13. Junapinojen pienimmän neliösumman regressiosuora.

Taulukossa 4 on esitetty t-jakaumalla ja pienimmän neliösumman menetelmällä saadut luottamusvälit auto- ja junapuupinoille. Luottamusvälit ovat lähellä toisiaan.

TAULUKKO 4. T-jakaumalla ja pienimmän neliösumman menetelmällä saadut luottamusvälit.

	t-jakauma	PNS
autopinot	0,539–0,616	0,529–0,608
junapinot	0,426–0,524	0,428–0,529

Autopinoista ja junapinoista saadut muuntokertoimet olivat selvästi erilaiset, 0,569 ja 0,479. Tuloksissa on kuitenkin useampi virhemahdollisuus. Kun pinotiheyskertoimet on saatu osaputuksella, ei tulos ole 100 % varma. Uputuksessa on aina inhimillisen erehdyksen riski, sillä kurottajankuljettajan on muistettava, mistä pinosta otos on ja mihin se palautetaan.

Iso virhetekijä on myös ohjelmisto, Drone platform. Sillä saadut kiintotilavuudet vaihtelevat paljon, vaikka ohjelmistoon ladatuissa kuvissa pinot ovat muuttumattomat ja kuvauslentojen olosuhteet ja lentoparametrit olisivat samat.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää Heinolan flutingtehtaalle tarkempi muuntokerroin koivukuidun inventointiin dronella. Tutkimuksessa saatiin selville, että junalla tuoduissa ja autoilla tuoduissa puupinoissa oli eroa ja niille saatiin erilaiset muuntokertoimet.

Autopinoilla ja junapinoilla oli selvästi erilaiset keskiarvolliset muuntokertoimet, 0,57 ja 0,48. Tästä voidaan päätellä, että autopinot ovat siis junapinoja tiiviimpiä, kun muuntokerroin on korkeampi. Junapinot saattavat olla väljempinä siksi, että ne on purettu ja lastattu useammin kuin autopinot. Puu kuljetetaan ensin metsästä varastopaikalle, varastopaikasta rautatieterminaaliin, sieltä junan kyytiin ja junasta tehtaan varastopaikalle. Autopinot kuljetetaan metsästä varastopaikalle ja sieltä tehtaan varastopaikalle. Junalla kuljetetut puut voivat olla peräisin myös useasta eri maantieteellisestä sijainnista ja niiden varastointiaika on voinut olla pidempi kuin autolla kuljetettavilla puilla, jolloin niiden tuoretiheys voi olla pienempi.

Kehystilavuuden laskentaa Drone platformilla testattiin kuvaamalla ja mittaamalla kaksi autopinoa ja kaksi junapinoa neljänä eri päivänä yhteensä viisi kertaa. Koska pinot oli kuvattu samoilla lentoparametreilla samoista pinoista ja kehystilavuus vaihteli, voidaan päätellä, että Drone platformin laskema kehystilavuus vaihtelee prosessointivaiheen vuoksi. Pinossa J2 oli suurin eroavaisuus eri mittaustulosten välillä, peräti $123,1 \text{ m}^3$. Drone Platformin kehystilavuuden laskenta tulisi olla tarkempi ja tasaisempi. Myös erilaisten lentoparametrien, kuten lentokorkeuden, merkitystä kehystilavuuden määrittämiseen Drone platformilla voisi tutkia tarkemmin.

Koska junalla ja puutavara-autoilla kuljetettuja puutavaraeriä ei ole käytännössä mahdollista pitää erillään terminaalissa, täytyy tehtaalla käyttää pinojen mittaamiseen dronella vain yhtä muuntokerrointa.

Käytännössä junapuita ja autopuita on vaikeaa pinota omiin pinoihinsa. Tämän vuoksi kahden eri muuntokertoimen käyttäminen on haastavaa. Koska puita tuodaan puutavara-autoilla vuodessa keskimäärin $2/3$ ja junilla $1/3$, on käytännössä helpointa käyttää kerrointa, joka on muodostettu $2/3$ autojen muuntokertoimesta ja $1/3$ junien muuntokertoimesta. Tällä tavalla muodostettuna muuntokerroin olisi 0,54.

Koska droneinventointia käytetään tehtaan omaan kuukausi-inventointiin, on määritelty muuntokerroin siihen tarkoitukseen sopiva. Muuntokertoimessa on virheen mahdollisuus, koska se muodostetaan kahdesta eri kertoimesta ja niiden välinen suhde voi vaihdella kuukausittain.

LÄHTEET

Coulombe, A. 16.3.2016. Geography word of the week: photogrammetry. Canadian Geographic. Verkkosivu. Viitattu 9.6.2023.
<https://canadiangeographic.ca/articles/geography-word-of-the-week-photogrammetry/>

Droneinfo. n.d. Drone ja sen toiminnot – miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien yleistuntemus. Verkkosivu. Viitattu 5.7.2023.
<https://www.droneinfo.fi/fi/koulutusmateriaali/drone-ja-sen-toiminnot-miehittamattomien-ilma-alusjarjestelmien-yleistuntemus?toggle=Mik%C3%A4%20on%20drone%3F>

Havlickova, T. Experienced Data Scientist, Stora Enso. 2023. Bachelor's thesis - Heinola Fluting Mill. Sähköpostiviesti 10.8.2023.

Heikkilä, T. 2008. Tilastollinen tutkimus. 7. uud. p. Helsinki: Edita.

Holopainen, M. & Pulkkinen, P. (2008). Tilastolliset menetelmät. 5. uud. p. Porvoo: WSOY Oppimateriaalit.

Luonnonvarakeskus. N.d. Puutavaranmittaus: tehdasmittauksen valvonta, virallinen mittaus, muuntoluvut ja neuvonta. Viitattu 1.6.2023.
<https://www.luke.fi/fi/palvelut/puutavaranmittaus-tehdasmittauksen-valvonta-virallinen-mittaus-muuntoluvut-ja-neuvonta>

Metsäteho. 2003. Kuitupuun pinomittaus ohje. Helsinki: Tukiprint Oy. Luettu 1.10.2023. https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Kuitupuun_pinomittaus_ohje_uusi.pdf

Salmenperä, H. 2004. Fotogrammetria. Uus. ja täyd. p. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Stora Enso. n.d. Heinolan flutingtehdas. Viitattu 10.8.2023.
<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/stora-enso-locations/heinola-fluting-mill>

Stora Enso. 7.1.2020. Heinolan Flutingtehdas on noussut 60 vuodessa yhdeksi maailman johtavista aallotuskartongin valmistajista. Viitattu 10.8.2023.
<https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/press-releases/2021/1/heinolan-flutingtehdas-on-noussut-60-vuodessa-yhdeksi-maailman-johtavista-aallotuskartongin-valmistajista>

Parrot. Lehdistötiedote. 30.06.2021. Parrot unveils ANAFI Ai: The first 4G connected robotic UAV.

Parrot. n.f. ANAFI Ai – Photogrammetry. Videotutoriaali. Viitattu 13.10.2023.
<https://www.parrot.com/us/support/documentation/anafi-ai>

Puuhuolto. Mittaus ja laatu – opas. 8.5.2018. Luettu 1.6.2023.
<https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu>

Sipi, M. 2009. Puuraaka-aineen mittaus: mittausmenetelmät ja niiden perusteet. Helsinki: Metsävarojen käytön laitos.

Uusitalo, J. & Kivinen, V.-P. 2023. Metsäteknologian perusteet. Uudistettu painos. Helsinki: Tapio.

Wolf, P. R. et al. 2014. Elements of Photogrammetry with Application in GIS. Fourth edition. New York, N.Y: McGraw-Hill Education.

LIITTEET

Liite 1. Metsätehon ohjeistus pinotiheystekijöiden määrittämiseen

1 (4)

4.1. Pinotiheystekijöiden määrittäminen

Pinotiheystekijät arvioidaan toisistaan riippumatta. Niitä määritettäessä tehdään havaintoja pinon kummaltakin sivulta ja päältä. Jos pinossa ilmenee pinotiheystekijöiden kannalta selvästi toisistaan eroavia osia, pino jaetaan mittausta varten näiden erojen mukaisiin osiin. Pinotiheystekijöiden vaikutusarvojen perusteella määritetään kyseisen pinon kiintotilavuusprosentti.

Lumen, jään tai muun vieraan aineen aiheuttamaa pinon harvuutta ei oteta luokitusvaiheessa huomioon.

4.2. Luokitukset

4.2.1. Keskiläpimitta

Keskiläpimitan luokituksessa käytetään tasaavaa 2 cm:n luokitusta (parittomat cm:t). Keskiläpimitta määritetään pölkkyjen päiden kuorellisten läpimittojen aritmeettisena keskiarvona. Läpimittaluokan määrittämisessä ei tehdä eroa pölkyn tyvi- ja latvapäiden välillä.

Luokka määritetään joko

- mittaamalla pölkkyjen päiden läpimittoja pinon kyljestä ja laskemalla niiden keskiarvo tai
- määrittämällä silmävaraisesti keskiarvoa edustavan pölkyn pää ja mittaamalla sen läpimitta.

4.2.2. Karsinta ja oksaisuus

Karsinta- ja oksaisuusluokkaa määritettäessä otetaan huomioon pölkyissä mittaushetkellä olevien oksantynkien ja oksakymmyjen määrä. Tähän vaikuttavat sekä runkojen oksaisuus että karsinnan laatu.

Luokka I	Ei oksantynkiä eikä oksakymmyjä.
Luokka II	Joitakin lyhyitä oksantynkiä ja vähäisiä oksakymmyjä.
Luokka III	Oksantynkiä ja oksakymmyjä siellä täällä.
Luokka IV	Runsaasti oksantynkiä ja oksakymmyjä.

4.2.3. Mutkaisuus

Mutkaisuusluokkaa määritettäessä on vertailuperusteena puulajin luontainen mutkaisuus. Havupuulla yleensä ja lehtipuulla Etelä-Suomessa esiintyy vain luokkia I, II ja III.

Luokka I	Pölkkyt ovat suoria.
Luokka II	Pölkkyt edustavat puulajin keskimääräistä luontaista mutkaisuutta.
Luokka III	Pölkkyt ovat mutkaisia. Pinossa on pölkkyjen mutkaisuudesta aiheutuvaa reikäisyyttä.
Luokka IV	Pölkkyt ovat suurimmaksi osaksi erittäin mutkaisia. (Voi esiintyä vain lehtipuulla ennen kaikkea Pohjois-Suomessa).
Luokka V	Käytännöllisesti katsoen kaikki pölkkyt ovat erittäin mutkaisia (Voi esiintyä aivan poikkeuksellisesti vain lehtipuulla Pohjois-Suomessa).

4.2.4. Ladonta

Ladontaluokka määritetään silmävaraisen tarkastelun perusteella.

Luokka I	Pölkkyt ovat tiiviisti lomittain.
Luokka II	Pölkkyjä on jonkin verran ristikkäin, ja niiden välissä on ladonnasta aiheutuneita rakoja.
Luokka III	Monet pölkkyt ovat ristikkäin, ja pölkkyjen välissä on isoja, ladonnasta aiheutuneita rakoja.
Luokka IV	Pölkkyjä on erittäin runsaasti ristikkäin. Pinossa on isoja, ladonnasta aiheutuneita aukkoja.

4.3. Kiintotilavuusprosentin määrittäminen

Pinon kiintotilavuusprosentti määritetään laskemalla pinotiheystekijöiden vaikutusarvot yhteen ja lisäämällä tulos mitattavan kuitupuulajin keskimääräiseen kiintotilavuusprosenttiin. Seuraavassa on esitetty keskimääräiset kiintotilavuusprosentit ja pinotiheystekijöiden vaikutusarvot.

3 (4)

4.3.1. Keskimääräiset kiintotilavuusprosentit

Puutavaran pituus, m Määrä- ja likipituinen	Havupuu, %	Lehtipuu, %
2,00 – 2,50	66	57
2,51– 3,50	63	54
3,51– 4,50	61	52
4,51 - 5,50	60	50
5,51 – 6,00	59	49

4.3.2. Pinotihyestekijöiden vaikutus kiintotilavuusprosenttiin prosenttiyksikköinä

Keskiläpimitta, cm	Havupuu, %	Lehtipuu, %
9	- 3	- 3
11	0	0
13	+ 2	+ 2
15	+ 3	+ 4
17	+ 4	+ 6
19	+ 4	+ 7
21	+ 5	+ 8
23	+ 5	+ 8
25 ja yli	+ 6	+ 9

Karsinta ja oksaisuus	Havupuu, %	Lehtipuu, %
I	+ 2	+ 1
II	0	0
III	- 2	- 1
IV	- 4	- 2

Mutkaisuus	Havupuu, %	Lehtipuu, %
I	+ 1	+ 2
II	0	0
III	- 1	- 2
IV	- 2	- 4
V		- 6

Ladonta	Havupuu, %	Lehtipuu, %
I	+ 2	+ 1
II	0	0
III	- 2	- 1
IV	- 4	- 3

Esimerkki pinon kiintotilavuusprosentin määrittämisestä (jatkuu sivulta 8):

Likipituinen kuusikuitupuu, pituus noin 4 m.

Tekijä	Luokka	Vaikutus
Keskimääräinen kiintotilavuus-%		61
Keskiläpimittaluokka	13 cm	+2
Karsinta- ja oksaisuusluokka	I	+2
Mutkaisuusluokka	II	0
Ladontaluokka	III	-2
Yhteensä		63

Mittaustuloksen laskenta

Pinon kiintotilavuus, m³, saadaan kertomalla kehystilavuus kiintotilavuusprosentilla. Kiintotilavuus ilmoitetaan 0,1 m³:n tarkkuudella.

Pinon kiintotilavuus $22,11 \times 63 / 100 = 13,9 \text{ m}^3$

Liite 2. Kuvat mitatuista auto- ja junapuupinoista



KUVA 9. Ilmakuva mitatuista pinoista. (Satu Ylisjoki, 2023)



KUVA 10. Ilmakuva mitatusta pinosta. (Satu Ylisjoki, 2023)