



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Metsätalousinsinööri (AMK)

# Korjuukelpoisuuskartan luotettavuus puunkorjuun suunnittelussa

Suvi Immonen

Opinnäytetyön raportti, joulukuu 2022

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2022**  
**Metsätalouden koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Suvi Immonen

**Nimeke**  
Korjuukelpoisuuskartan luotettavuus puunkorjuun suunnittelussa

**Toimeksiantaja**  
Metsänhoitoyhdistys Sotkamo ry

**Tiivistelmä**

Ilmastonmuutoksen takia puunkorjuuolosuhteiden voi olettaa huononevan tulevaisuudessa etenkin roudan aikaan korjattavien turvemaakohteiden osalta. Samalla paine korjata näitä kohteita kasvaa, kun puuntarve lisääntyy. Tämän vuoksi leimikon suunnittelun ja sitä helpottavien paikkatietoaineistojen merkitys tulee kasvamaan. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa korjuukelpoisuuskartan luotettavuudesta ja hyödynnettävyydestä puunkorjuun suunnittelussa Sotkamon kunnan alueelta. Keskeisiä tutkimuskysymyksiä olivat, kuinka paljon urapainumia tulee, kun ajo- tai kokoojaura sijaitsee kantamattomalla maalla verrattuna kantavaan maahan ja kuinka luotettava apuväline korjuukelpoisuuskartta on puunkorjuun suunnitteluun. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Metsänhoitoyhdistys Sotkamo ry.

Opinnäytetyössä tutkittiin mitattujen urapainumien määrien ja sijaintien avulla korjuukelpoisuuskartan toimivuutta ja luotettavuutta. Aineisto on kerätty harvennushakkuutyömailta mittaamalla työmaiden urapainumien pituudet ja syvyydet. Mittausten lisäksi urapainumilta havaittu maalaji ja korjuukelpoisuuskartan ilmoittama korjuukelpoisuusluokka kirjattiin ylös, jotta aineistoa olisi mahdollista luokitella analyysiä varten. Analyysimenetelminä on käytetty ristiintaulukointia ja khiin neliö -testiä.

Korjuukelpoisuuskartta on toimiva ja luotettava apuväline puunkorjuun suunnittelun tueksi. Se ei kuitenkaan korvaa suunnittelun aikana tehtäviä maastokäyntejä, tai hakkuukoneenkuljettajan oman harkinnan käyttöä työmaan uraverkostoa muodostettaessa, sillä korjuukelpoisuuskartta ei ole täysin virheetön.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 60  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 3

**Asiasanat**  
puunkorjuu, paikkatietojärjestelmät, kantavuus, Sotkamo



**THESIS**  
**December 2022**  
**Degree Programme in Forestry**

Tikkarinne 9  
FI 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. +350 13 260 600

Author  
Suvi Immonen

Title  
Reliability of the Static Forest Trafficability Map in Harvest Planning

Commissioned by  
Forest Management Association Sotkamo

#### Abstract

Due to the climate change, presumably the conditions for harvesting will deteriorate in the future, especially for peatland sites that usually are harvested during ground frost. Meanwhile the need of harvesting these sites increases as the demand of timber increases. Consequently, the importance of working site planning and the geographic information systems that facilitate it, will increase. The aim of this study was to provide information about reliability and usability of the Static Forest Trafficability Map in harvest planning around the municipality of Sotkamo. Research questions were how much soil damage occurs when a carriage or gathering road is located on non-bearing ground compared to bearing ground and how reliable tool the Static Forest Trafficability Map is for planning timber harvesting. This thesis was commissioned by Forest Management Association Sotkamo.

This study was implemented by using the measured amounts and locations of soil damages. The data was collected from thinning sites by measuring the lengths and depths of the soil failures on the sites. In addition to the measurements, the type of the soil was observed in the soil damages and the bearing class indicated by the Static Forest Trafficability Map was recorded, so it would be possible to classify the material for analysis. The analysis methods in this thesis were cross tabulation and chi-square test.

The Static Forest Trafficability Map is a functional and reliable tool to support the planning of harvesting. However, it does not replace field visits during planning or logging machine operator's own judgment when creating the site's road network because the Static Forest Trafficability Map is not completely error-free.

Language  
Finnish

Pages 60  
Appendices 1  
Pages of Appendices 3

Keywords  
timber harvesting, geographic information systems, bearing capacity, Sotkamo

## Sisältö

1	Johdanto .....	3
2	Puunkorjuu.....	4
2.1	Kasvatushakkuu .....	4
2.2	Harvennusmallit ja poistettavien puiden valinta .....	4
2.3	Harvennushakkuumenetelmät .....	6
2.4	Avohakkuu .....	8
2.5	Jaksollinen ja jatkuva kasvatus.....	9
3	Korjuujälki ja ajourat.....	10
3.1	Korjuujälki ja sen mittaaminen .....	10
3.2	Ajourat .....	14
3.2.1	Ajourapainuma.....	15
3.2.2	Ajourien suunnittelu ja sijoittelu.....	17
3.2.3	Perinteinen ajourasuunnittelun malli ja ”rätt metod” .....	19
3.3	Korjuukaluston ja korjuuajankohdan vaikutus korjuujälkeen .....	19
4	Maan kantavuustieto ja kantavuuteen vaikuttavat tekijät .....	21
4.1	Korjuukelpoisuuskartta ja sitä käsittelevien aiempien tutkimusten johtopäätökset .....	21
4.2	Muita maan kantavuusaineistoja.....	23
4.3	Kausivaihtelu .....	24
4.4	Ilmastonmuutos .....	25
4.5	Ilmastonmuutoksen ja sen torjunnan vaikutukset Suomen metsiin....	25
5	Tutkimuksen tavoite ja toimeksiantaja .....	26
6	Aineisto ja menetelmät.....	27
6.1	Tutkimusaineisto .....	27
6.2	Tutkimusaineiston hankinta .....	28
6.3	Tutkimusaineiston analysoinnissa käytetyt menetelmät .....	30
7	Tutkimuksen tulokset .....	31
7.1	Tulokset .....	31
7.1.1	Urapainumat kesäkorjuukohteilla .....	35
7.1.2	Urapainumat talvikorjuukohteilla .....	37
7.2	Korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokka ja urapainuman maalaji ....	40
7.2.1	Kantavuusluokka ja urapainuman maalaji kesäkorjuukohteilla .....	42
7.2.2	Kantavuusluokka ja urapainuman maalaji talvikorjuukohteilla .....	43
7.3	Maalajin riippuvuus korjuukelpoisuuskartan ilmoittamaan korjuukelpoisuusluokkaan.....	44
7.4	Urapainumien keskisyvyyyksiä .....	47
8	Pohdinta.....	48
8.1	Tulosten tarkastelu .....	48
8.2	Tutkimuksen luotettavuus .....	59
8.3	Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	60
	Lähteet.....	61

### Liitteet

Liite 1      Mitatut urapainumat

# 1 Johdanto

Tuottavan metsän aikaansaamiseksi metsää on hoidettava. Kasvatusvaiheessa metsiä hoidetaan tyypillisesti harventamalla. Suomessa metsien kasvu on vuosittain suurempi kuin hakkuissa ja luonnonpoistuman takia poistuva puumäärä. Luonnonvarakeskuksen mukaan Suomen metsistä hakattiin runkokuuta kaikkiaan 76 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2021. Luonnonpoistuma huomioiden puuston poistuma vuonna 2021 oli yhteensä 92 milj. m<sup>3</sup>. Elävää runkokuuta Suomen metsissä on 2 500 milj. m<sup>3</sup> ja metsien vuotuinen kasvu on 103 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. (Luonnonvarakeskus 2022b.)

Lähes kaikki Suomessa toteutettavat hakkuut suoritetaan koneellisesti tavaralajimenetelmällä. Koneellisessa puunkorjuussa hakkuu- ja ajokoneen muodostama hakkuuketju korjaa puut metsästä. Hakkuukone kaataa, karsii, katkoo ja mittaa puutavaran. Ajokone kerää ja kuljettaa puutavaran metsästä varastopaikalle. Tavaralajimenetelmällä tarkoitetaan puunkorjuuta, jossa puiden rungot katkotaan puutavaraa jalostavan tahon määrittämiin mittoihin jo kaadon ja karsinnan yhteydessä. (forest.fi 2022.)

Harvennushakkuissa tavoitellaan mahdollisimman optimaalista jäävää puustoa ja samalla saadaan hakkuutuloja. Puuston kasvun maksimoimiseksi on pyrittävä mahdollisimman hyvään korjuujälkeen. Tässä tutkimuksessa selvitettiin korjuukelpoisuuskartan luotettavuutta puunkorjuun suunnittelussa. Tutkimuksessa mitattiin, kuinka paljon urapainumia tuli, jos urat sijaitsevat kantamattomalla maalla verrattuna kantavaan maahan. Samalla huomioitiin kunkin urapainuman sijainti korjuukelpoisuuskartan määrittämien korjuukelpoisuusluokkien suhteen ja huomioitiin urapainuman maalaji. Tutkimus toteutettiin Metsänhoitoyhdistys Sotkamo ry:n toimeksiannosta kyseisen organisaation toimialueella.

Tämä tutkimus on ajankohtainen, sillä ilmastonmuutoksen takia korjuuolosuhteet huononevat erityisesti heikosti kantavilla turvemilla, joiden korjuu on yleensä mahdollista maan ollessa jäässä. Samalla puuntarpeen kasvaessa paine korjata puuta näiltä kohteilta kasvaa. Tämän vuoksi leimikon suunnittelun ja

sitä helpottavien paikkatietoaineistojen merkityksen voi olettaa kasvavan. Tämä tutkimus tuottaa tietoa korjuukelpoisuuskartan luotettavuudesta ja hyödynnettävyydestä Sotkamon kunnan alueelta. Tämän tutkimuksen tuottamaa tietoa voitaisiin jatkossa käyttää vertailutietona samaa aihetta käsittelevissä tutkimuksissa, ja jotka sijoittuvat samalle maantieteelliselle alueelle.

## **2 Puunkorjuu**

### **2.1 Kasvatushakkuu**

Kasvatushakkuulla tai harvennushakkuulla tarkoitetaan yleensä metsänkäsittelytoimenpidettä, jossa metsiköstä poistetaan valtapuustoon verrattuna pieniä ja huonolaatuisia puuyksilöitä. Tällöin puhutaan ala- tai laatuharvennuksesta.

Kasvatushakkuu voi olla myös ylispuiden poistoa tai väljennyshakkuu, jolla tarkoitetaan lähes uudistamiskypsän metsikön harventamista, jotta puusto järeytyisi lisää vielä ennen uudistamista. (Ovaskainen 2012a.)

Tasaikäismetsätaloudessa harvennushakkuilla tavoitellaan mahdollisimman suurta ja laadukasta hakkuusaantoa uudistushakkuussa. Samalla harvennuksesta saadaan myös hakkuutuloja. Tyypillisesti harvennuksia tehdään yhdestä kolmeen kertaan ennen uudistushakkuuta kasvupaikan mukaan. (Ovaskainen 2012a.)

### **2.2 Harvennusmallit ja poistettavien puiden valinta**

Harvennusten tavoitteena on nopeuttaa metsikön järeytymistä puuston kasvutilaa lisäämällä. Sopivan harvennusvoimakkuuden määrittämiseen on olemassa puulaji- ja kasvupaikkakohtaisia harvennusmalleja, jotka perustuvat puuston valtapituuteen ja pohjapinta-alaan. Harvennusmallit eivät anna absoluuttisia harvennuksen jälkeisiä tiheyksiä, vaan niitä tulee soveltaa kunkin metsikön ominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi tiheässä leimikossa puuston tiheys tulisi

harvennuksen jälkeen olla harvennusmallin mukaan ylärajoilla, jotta vältetään esimerkiksi myrskytuhoilta. Hakkuun aikana puuston tiheyden kehitystä seurataan runkoluvun ja pohjapinta-alan mittausten avulla. (Metsäteho Oy 2006, 3.)

Metsälain 5. §:ssä säädetään, että metsikköön on jäätävä harvennuksen jälkeen tarpeeksi ja tasaisesti jakautuneesti kasvatuskelpoista puustoa. Mikäli näin ei ole, syntyy metsikköön uudistamisvelvoite. (Metsälaki 1093/1996, 5 §.) Harvennusmalleista löytyy optimaalisen harvennustiheyden lisäksi nämä metsälain mukaiset lakirajat eri puulajeille ja kasvupaikkatyypeille.

Harvennuksissa poistetaan yleensä pieniä ja huonolaatuisia puuyksilöitä suurempien ja laadukkaampien kasvun tieltä. Näin puiden kasvu keskitetään kaikista potentiaalisimpiin puuyksilöihin. Huonolaatuisuutta kuvaa esimerkiksi kaksiahaaraisuus tai ulkoapäin havaittava metsätuho tai muu vioittuma. Poistamalla heikkoja ja sairaita puuyksilöitä ei ainoastaan lisätä metsikön tuottavuutta, vaan myös metsikön terveydentilaa ja ehkäistään samalla muita mahdollisia metsätuhoja. (Metsäteho Oy 2006, 1–2.)

Edellä mainittujen tekijöiden ohella harvennushakkuilla vaikutetaan metsikön puulajisuhteisiin poistamalla huonommin tuottavien puulajien edustajia, esimerkiksi hieskoivun poistaminen karulla kasvupaikalla kasvavasta havupuumetsiköstä. Viljavammalla kasvupaikalla havupuiden joukkoon voi jättää lehtipuita, ja se on jopa suositeltavaa monimuotoisuuden edistämiseksi. (Metsäteho Oy 2006, 1–2.) Esimerkiksi FSC-sertifiointi edellyttää metsikössä vähintään 10 %:n lehtipuuosuutta (Forest Stewardship Council 2011, 29).

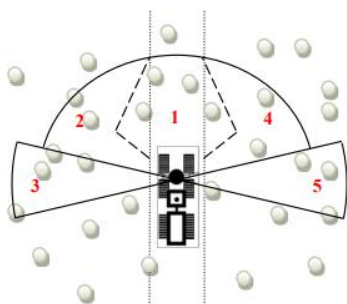
Sekametsän eli metsän, jossa kasvaa useita puulajeja, suosiminen auttaa myös ehkäisemään metsätuhojen syntymistä. Monet bioottiset eli elolliset tuhonaiheuttajat, kuten sienet ja hyönteiset, iskevät tyypillisesti pahiten yhteen puulajiin. Kun metsikössä on useaa puulajia, ei koko puusto ole vaarassa tuhon satuessa kohdalle. (Hynynen, Valkonen & Rantala 2005, 80.)

### 2.3 Harvennushakkuumenetelmät

Heikki Ovaskaisen tutkimuksessa ”Työmallit koneellisessa puunkorjuussa” (2012) vertaillaan erilaisia hakkuumenetelmiä niin harvennuksilla, kuin päätehakkuillakin. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli löytää yhtenäisiä tapoja puunkorjuuseen ja metsäkoneopetukseen. Näillä hakkuutavoilla on tarkoitus lisätä puunkorjuutyön järjestelmällisyyttä ja metsäkoneen kuljettajien opetuksen yhtenäistämistä. Harvennushakkuilla vertailtiin kolmea erilaista mallia, jotka olivat sektori-, sovellettu sektori-, ja sivullepäin kaato -työmalli. Sivullepäin kaato -työmalli on myös avohakkuussa käytettävä työmalli. (Ovaskainen 2012b, 6.)

Sektorityömalli on perustyömalli harvennushakkuille. Se soveltuu hyvin ensiharvennuksille sekä runsaspuustoisille ja tilajärjestykseltään tasaisille leimikoille. Hakkuutyöpiste jaetaan viiteen sektoriin, jotka muodostavat hakkuukoneen eteen 220° työskentelyalueen. (Ovaskainen 2012b, 9.)

1. ajoura ja uran varsi
2. vasen etusektori
3. vasen sivusektori
4. oikea etusektori
5. oikea sivusektori



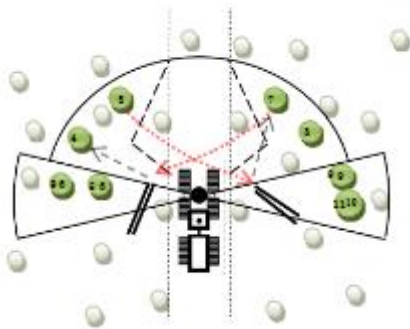
Kuva 1. Sektorityömalli (Ovaskainen 2012b, 9).

Työskentely aloitetaan kaatamalla puut eteenpäin suunnattuna ajouralta ja käsittelemällä uran reunat. Hakkuutähteet jäävät puun prosessoinnissa, eli karsinnassa ja katkonnassa uralle. Seuraavaksi käsitellään jommankumman puoleinen etusektori, jossa puu prosessoidaan puomin alla ja hakkutähteet jäävät sektorille, mikäli poistettavia puita on yli kuuden metrin etäisyydellä vähintään kaksi. Tarvittaessa huonosti kantavalla maalla ajouran reunapuut myös etusek-

torilla voidaan käsitellä tuomalla ne uran yli, jotta niiden havut jäävät ajouralle lisäämään sen kantavuutta. (Ovaskainen 2012b, 10.)

Etusektorin jälkeen käsitellään saman puolen sivusektori. Sivusektorilla työskennellään hakkuukoneen koko puomin ulottumalla kaatamalla puut kohtisuoraan ajouraa vasten. Varsinainen puun prosessointi suoritetaan uran toisella puolella, kun kaadettavan puun etäisyys ajouraan on alle 6 metriä. Kun toinen puoli on kokonaan käsitelty, siirrytään toiselle puolelle aloittamalla työskentely samaan tapaan jälleen etusektorilta ja sitten siirrytään saman puolen sivusektorille. (Ovaskainen 2012b, 11–12.)

Sovellettu sektorityömalli on sopiva menetelmä tiheillä leimikoilla, sillä on nopeampaa siirtää puu suoraan uran yli ja prosessoida se, kuin prosessoida puu puomin alla. Ajoura ja sen varsi käsitellään kuten tavanomaisessa sektorityömallissa. Etu- ja sivusektorit käsitellään sektorityömallista poiketen siirtämällä kaikki rungot uran yli. Seuraava poistettava puu kaadetaan sovelletussa sektorityömallissa aina samalta puolelta kuin millä edellinen puu on prosessoitu. Näin vältetään turhalta hakkuupään siirtelyltä uran toiselta puolelta toiselle. (Ovaskainen 2012b,12.)

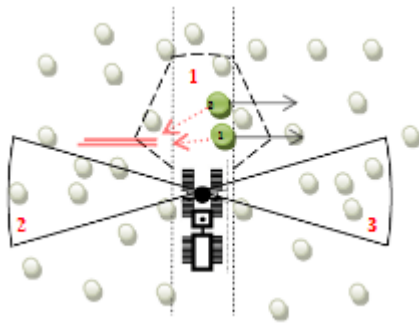


Kuva 2. Sovellettu sektorityömalli (Ovaskainen 2012b, 13).

Sivullepäin kaato -työmalli soveltuu avohakkuiden lisäksi huonosti kantaville harvennusleimikoille, sillä siinä suurin osa hakkuutähteistä jää ajouralle. Työskentely tapahtuu sektoreittain, kuten sektorityömallissa, mutta työskentely keskittyy koneen sivuille ja kaikki puut kaadetaan kohtisuoraan ajouraa vasten vasemmalle tai oikealle puolelle. Tässä työmallissa puita poistetaan noin 6 m:n

eturintamalta (1. sektori kuvassa 3), minkä vuoksi työpisteiden väliset etäisyydet ovat lyhyempiä ja niiden välisiä siirtymiä on enemmän. (Ovaskainen 2012b, 13.)

Sivusektoreilla hyödynnetään hakkuukoneen puomin koko ulottumaa. Alle 6 m:n päässä urasta sijaitsevat puut prosessoidaan uran toiselle puolelle niin, että havut jäävät uralle. Kauempana kuin 6 m:n etäisyydellä kasvavat puut prosessoidaan puomin alle, minkä jälkeen seuraava puu kaadetaan suoraan samalta puolelta. (Ovaskainen 2012b, 14.)



Kuva 3. Sivullepäin kaato -työmalli (Ovaskainen 2012b, 13).

## 2.4 Avohakkuu

Avohakkuulla tarkoitetaan metsän uudistustoimenpidettä, jossa metsiköstä korjataan lähes kaikki puuyksilöt. Säästöpuita jätetään työmaalle monimuotoisuutta turvaamaan. (MetsäForest 2022.) PEFC-sertifikaatti määrää jättämään hakkuisessa vähintään 10 säästöpuuta hehtaarille (PEFC Suomi 2014, 22).

Avohakkuun tavoitteena on korjata metsikön tuottama puutavara talteen, kun metsikön kasvattaminen ei ole enää taloudellisesti järkevää. Samalla avohakkuu on ensimmäinen askel kohti uuden puusukupolven syntyä. Avohakkuu on tasaikäismetsätaloudessa käytettävä metsän uudistustoimenpide, ja siitä syntyy metsälain mukainen uudistamisvelvoite.

## 2.5 Jaksollinen ja jatkuva kasvatus

Jaksollisessa kasvatuksessa, eli tasarakenteisessa kasvatuksessa puusto jaotellaan tasaikäisiin ja -rakenteisiin metsikkökuvioihin. Ominaista on, että puustonkehityksessä voidaan selkeästi havaita puuston kasvatus- ja uudistusvaihe. (Metsäkeskus 2022.)

Kasvatusvaiheessa metsikköä hoidetaan aluksi taimikonhoidolla ja myöhemmässä vaiheessa harvennushakkuin. Lopuksi metsikkö uudistetaan uudistushakkuulla, usein avohakkuulla. Uudistusvaiheessa huolehditaan, että vanhan ja korjatun puuston tilalle syntyy metsälain uudistamisvelvoitteen mukaisesti uusi taimikko joko luontaisesti tai viljelemällä. (Metsäkeskus 2022.) Luontaista uudistumista voidaan toteuttaa esimerkiksi tekemällä uudistusvaiheessa avohakkuun sijasta siemenpuuhakkuu, jolloin metsikköön jätetään terveitä ja laadukkaita puuyksilöitä männikössä 50–100 kpl/hehtaari (Metsäinen 2022).

Jatkuvassa kasvatuksessa metsä pysyy jatkuvasti peitteisenä, eikä esimerkiksi avohakkuuta tehdä lainkaan. Jatkuvassa kasvatuksessa metsään voidaan hakata tosin pienaukkoja, jotka saavat olla pinta-alaltaan suurimmillaan 0,3 ha:n kokoisia. Näin toteutetuilla aukkohakkuilla metsään ei synny metsälain uudistamisvelvoitetta ja uusi taimikko syntyy ympäröivästä metsiköstä luontaisesti. Pienaukkohakkuiden lisäksi eri-ikäisrakenteisessa metsässä voidaan suorittaa poimintahakkuuta, joissa poistetaan puustosta suurimpia yksilöitä ja luodaan kasvu- ja järeytymistilaa alikasvokselle. (Metsänhoidon suositukset 2022.)

Jatkuvassa kasvatuksessa ajourien sijoittelussa suositaan kohtia, joissa on runsaasti hakattavaa tukkipuuta. Kohdat, joissa puusto on nuorta ja joissa kasvaa kehityskelpoista alikasvosta, pyritään kiertämään, jotta kasvamaan jäävää puustoa ei vahingoitettaisi tai pienennettäisi alikasvoksen kehityksen edellytyksiä. Ajouraväli jatkuvan kasvatuksen poimintahakkuussa on yleensä vaihteleva ja suurempi, kuin jaksollisen kasvatuksen leimikoilla suosittava 20 m. Jatkuvan kasvatuksen leimikossa poimintahakkuu kohdistuu vahingoittuneisiin ja sairaisiin puihin, mutkaisiin, paksuoksaisiin ja suurimpiin tukkipuihin. Puuvalinta to-

teutetaan kuitenkin niin, että kasvamaan jää riittävästi puustoa. (Metsänhoidon suositukset 2022.)

### **3 Korjuujälki ja ajourat**

#### **3.1 Korjuujälki ja sen mittaaminen**

Korjuujäljellä tarkoitetaan puunkorjuun jälkeistä tilaa metsikössä. Tähän luetaan mukaan niin puuston kuin maaperänkin tila. Harvennushakkuussa korjuujälkeä arvioidaan harvennusvoimakkuuden, puustovaurioiden, puuvalinnan, ajouravälin, -leveyden ja -painumien perusteella. Työmailla pyritään saavuttamaan aina mahdollisimman hyvä korjuujälki, sillä se vaikuttaa jatkossa puuston kasvuun ja metsiköstä saataviin hakkuutuloihin. Korjuujälki on huomioitava jo leimikon suunnittelusta alkaen, jotta hakkuun laadukkaaseen lopputulokseen on mahdollista päästä hakkuukoneenkuljettajan tavanomaisella ammattitaidolla. (Iittiläinen ym. 2003, 4.)

Korjuujälkeä tarkkaillaan korjuun aikana sekä myöhemmin laajemmin aluetasolla otantatarkastuksin (Iittiläinen ym. 2003, 4). Huonosta korjuujäljestä seuraa puihin kasvu- ja laatutappioita puustovaurioista aiheutuvan koroutumisen ja lahoamisen takia. Se myös lisää tuuli-, lumi- ja hyönteistuhojen riskiä, sillä liian harvaksi harvennettu puusto ei kestä kovaa tuulta vaikkapa myrskyn sattuessa kohdalle. (Hynynen ym. 2005, 153.)

Suomen metsäkeskuksen toimesta korjuujäljen laatua seurataan sekä maasto- tarkastuksin että ns. hybriditarkastuksin. Hybriditarkastuksissa kohde kuvataan dronella ja maastossa mitataan vain korjuuvauriot ja puuston poistuma hakkuussa. Dronekuvauksella saatujen tietojen perusteella voidaan johtaa kohteen keskimääräiset puustotunnukset. (Leivo ym. 2022, 21.)

Metsäkeskuksen toteuttamia tasaikäisrakenteisten metsiköiden korjuujäljen laatumittauksia suoritetaan lähinnä kehitysluokaltaan nuorissa ja sitä vanhemmissa

kasvatusmetsissä. Mittaukset toteutetaan kohdistamalla mittaus harvennetulle metsikkökuviolle. Kuvion tulee olla pinta-alaltaan vähintään 1 ha:n kokoinen ja kuvion muodon tulisi mahdollistaa tavanomaisen ajouraverkoston muodostaminen hakkuun aikana. Metsälain edellyttämässä harvennushakkuun korjuujäljen laatumittauksissa kohteet valitaan määrävälisen satunnaisotannan perusteella. (Leivo ym. 2022, 22.)

Mitattavilta kohteilta kerätään hakkuun ja otannan yleistiedot. Niitä ovat mm., onko hakkuu toteutettu koneellisena korjuuna vai metsurityönä ja onko kohteella suoritettu ennakkoraivaus. Lisäksi ilmoitetaan hakkuun tila, kuljetusajankohta ja onko kohteella suoritettu juurikäävän torjuntaa. Eri-ikäisrakenteisessa metsässä suoritetusta harvennushakkuusta ilmoitetaan sen olleen hakkuutavaltaan eri-ikäishakkuu. (Leivo ym. 2022, 22.)

Kuviokohtaisia ilmoitettavia tietoja ovat kuvion pääryhmä, kasvupaikkatyyppi, kuivatustilanne, kehitysluokka tasaikäisrakenteisessa metsikössä ja pääpuulaji. Lisäksi tarkastellaan puulajien osuutta männyn, kuusen ja koivun osalta ja metsikön yleistä laatua. (Leivo ym. 2022, 22.)

Varsinaisia inventoitavilta kuvioilta mitattavia tunnuksia ovat puuston runkoluku hehtaaria kohti, pohjapinta-ala, joka yleensä lasketaan kuvion puuston läpimitan ja runkoluvun avulla, puuston poistuma hakkuussa, runko- ja juurivauriot, keskiläpimitta pohjapinta-alalla painotettuna ja puuston valtapituus. Ajourilta mitataan niiden leveys ja urien keskeisen välin pituus. Lisäksi mitataan urapainumien määrä. Turvemaille inventoinnissa huomioidaan myös ojalinjojen leveys. (Leivo ym. 2022, 22–23.)

Puustotunnuksia mitataan koealoittain. Koealat sijoitellaan systemaattisesti määrittämällä koealalinja mitattavan kuvion pisimmälle halkaisijalle. Linjan suuntauksessa käytetään apuna maastotallenninta. Koealalinja suunnataan kulkemaan pääosin ajouria vastaan. Turvemaille koealalinjan suuntaamisessa huomioidaan myös ojalinjat samoin kuten ajourat, eli koealalinja suunnataan kulkemaan ojalinjojen vastaisesti. (Leivo ym. 2022, 23.)

Koealojen ja erityistapauksissa koealalinjojen välinen etäisyys määräytyy mitattavan kuvion pinta-alan perusteella. Korjuujäljen inventoinnissa koealoja olisi hyvä olla vähintään 10 kpl. Koealoja voi myös erityistapauksissa joutua ottamaan enemmän, mikäli vaikuttaa, ettei ensimmäisen koealalinjan mukaiset koealat edusta kuvion tietoja oikein tai koealojen mittaustulokset vaihtelevat merkittävästi keskenään. Mittauksia tulee jatkaa myös siinä tapauksessa, mikäli metsälain tai metsänhoitosuosituksen mukaisten vaatimusten täyttymisestä on ensimmäisen koealalinjan mittausten perusteella epäselvyyttä. (Leivo ym. 2022, 12 ja 23.)

Kuvion koko, ha	Linja- ja koealaväli, m
<1,0	25
1,0–2,0	30
2,1–3,0	35
3,1–4,0	40
4,1–6,0	45
>6,0	50

Kuva 4. Koealojen ja koealalinjojen väliset etäisyydet kuvion koon mukaan. (Leivo ym. 2022, 12.)

Metsäkeskuksen korjuujäljen mittauksessa kuvion runkoluku mitataan kuviolta käyttämällä ympyräkoealaa, jonka säde on 5,64 m. Mittauksessa runkolukuun lasketaan mukaan 1,3 m korkeudelta, eli rinnankorkeudelta, vähintään 7 cm paksujen kasvatuskelpoisten ja myös hakkuussa mahdollisesti vaurioituneiden puiden lukumäärä. Näiden runkoluvun muodostavien puuyksilöiden tulee olla elinvoimaisia ja niiden pituus tulee olla vähintään puolet kuviolla vallitsevan jakson pituudesta. (Leivo ym. 2022, 23.)

Mitattavan kuvion poistuma saadaan laskemalla ympyräkoealalta aines- ja energiapuuksi korjattujen puiden kannot. Kantojen läpimitta kuoren päältä tulee olla ensiharvennuksissa vähintään 3 cm ja myöhemmissä harvennuksissa vähintään 10 cm. (Leivo ym. 2022, 24.)

Valtapiuus lasketaan mittaamalla ympyräkoealoilta paksuimman puun pituus ja mittausten lopuksi näistä mitatuista pituuksista lasketaan kuviolle keskiarvo. Keskiläpimitta lasketaan kaikkien koealalla sijaitsevien puiden läpimittojen perusteella, sillä kaikki koealan puiden läpimitat mitataan, jotta saadaan määritettyä pohjapinta-ala. Samalla seurataan puuston runkojen ja juuriston vaurioiden määrää. (Leivo ym. 2022, 24–25.)

Puuston vaurioprosentit runko- ja juurivaurioiden osalta selvitetään laskemalla vaurioituneiden puiden määrä ja suhteuttamalla se kaikkien runkoluvun muodostavien puiden määrään. Runkovauriot ovat vaurioita, jotka ovat syntyneet puun juurenniskan ja oletetun katkaisukohdan yläpuolelle. Juurivauriot ovat taas vastaavasti juurenniskan alapuolella sijaitsevia vaurioita. (Leivo ym. 2022, 25.)

Vaurioituneessa puussa puuaines on rikkoutunut tai sen latva on poikki. Lisäksi mikäli puun kuori on rikkoutunut nilakerrokseen asti rinnankorkeuden alapuolelta yhteensä 12 cm<sup>2</sup> alalta tai koko rungon osalta yhteensä 30 cm<sup>2</sup> pinta-alalta, lasketaan se vaurioituneeksi. Juurivauriot lasketaan maksimissaan 1 m:n etäisyydellä rungon keskipisteestä ja minimissään 2 cm paksuista juurista. Mikäli puussa on sekä runko että juurivaurioituneita lasketaan se pahemmin vaurioituneiden puiden luokkaan. (Leivo ym. 2022, 25.)

Ajouratunnuksia mitataan kuvioilta, joiden runkoluku on vähintään 600 runkoa hehtaarilla tai kuvioilta, joilla harvennusmallin mukaan runkoluvun tulisi olla vähintään 600 runkoa/ha. Tämän lisäksi kohteella, jolta ajouratunnuksia mitataan, tulisi ajouraverkoston olla joko osittain tai kokonaan uusi. Kuvion pinta-alan tulee olla vähintään hehtaari ja sen muodon tulee mahdollistaa normaalin ajouraverkoston muodostaminen. (Leivo ym. 2022, 25–26.)

Ajouraväli mitataan 1 m tarkkuudella siten, että mitataan lyhin mahdollinen ympyräkoealan keskipisteen kautta kulkeva suora, kahden koealan molemmin puolin sijaitsevan rinnakkaisen ajouran keskikohdan välille. Ajouraleveys mitataan 10 cm:n tarkkuudella siten, että ensin valitaan koealan keskipistettä lähinnä olevalta ajouralta raiteiden keskikohta, joka toimii lähtöpisteenä. Sitten mitataan 10 m:n matkalta uran oikealta ja vasemmalta puolelta lähimmän puun etäi-

syys raiteiden väliseen keskikohtaan ja lasketaan nämä kaksi mittaustulosta yhteen, josta muodostuu ajouran leveys. (Leivo ym. 2022, 27.)

Metsäkeskuksen tarkastusohjeen mukaan ajourapainumat mitataan valitsemalla koealaa lähinnä oleva ajoura, jolta valitaan koealan keskipistettä lähinnä oleva raiteiden keskikohta. Mahdolliset urapainumat mitataan 30 m:n matkalta 1 m:n tarkkuudella. (Leivo ym. 2022, 27.)

### **3.2 Ajourat**

Ajourilla tarkoitetaan metsäkoneiden korjuunaikaisia kulkureittejä työmaalla. Ajourien lisäksi työmailla voi olla hakkuu-uria, joita pitkin ainoastaan hakkuukone liikkuu. (Hynynen ym. 2005, 154.) Ajourien tulisi olla kivennäismaalla noin 4 m leveitä, mutta turvemailla ne voivat olla hieman leveämpiä. Ajourien välin tulisi olla 20 m. Ajourien lisäksi työmailla on kokoojauria, jotka kokoavat ajourat yhteen. Kokooja- eli pääajouria pitkin ajokone kuljettaa puutavaran välivarastolle. (Ovaskainen 2012a.)



Kuva 5. Ajoura kuusikon harvennuskuviolla.

### 3.2.1 Ajourapainuma

Ajourapainumaa käytetään yleisnimityksenä tilanteelle, jossa metsäkone on rikkonut maan pintakerrosta. Metsäkeskuksen maastotarkastusohjeessa varsinaiseksi ajourapainumaksi määritellään yli 10 cm syvä painuma, joka on pituudeltaan vähintään metrin (Leivo ym. 2022, 27). Valtioneuvoston asetuksessa metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä määritellään, ettei urapainumien osuus saa ylittää kivennäismailla 20 % ja turvemilla 25 % työmaan ajourien kokonaispituudesta (Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 1308/2013, 5 §).



Kuva 6. Ajourapainuma turvemaalla.

Ajourapainumien syntymistä on syytä estää jäävän puuston juuriston vaurioitumisriskin vuoksi. Juuristovauriot heikentävät itsessään puun ravinteidensaantia ja altistavat sen sekundäärisille metsätuhoille (Hynynen ym. 2005, 153.)

Sekundäärisillä metsätuhoilla tarkoitetaan tuhoja, joiden aiheuttaja on iskenyt jo valmiiksi primäärisen tuhon vaurioittamaan ja siten heikentyneeseen puuyksilöön. Primäärinen tuho voi olla esimerkiksi puunkorjuun yhteydessä syntynyt juuristovaurio eli korjuuvaurio tai myrsky, kuivuus ja vastaavasti veden pinnan nousu. (Uotila & Kankaanhuhta 1999, 37.)

Puuainesta lahottava, ja näin ollen puutavaran arvoa merkittävästi laskeva sienitauti juurikäpö, leviää herkästi myös juuristovaurioiden kautta (Piri, Selander, Hantula & Kuitunen 2019, 7). Suomessa juurikäpö aiheuttaa vuosittain noin 50 miljoonan euron tappiot (Luonnonvarakeskus 2022a).

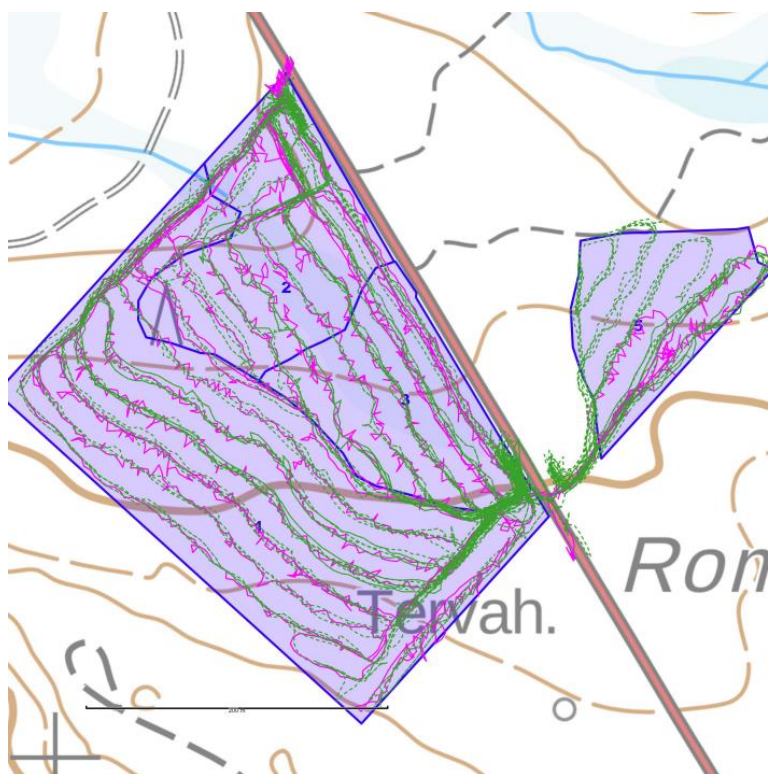
Lisäksi Päivisen ym. mukaan ajourapainumien runsas esiintyminen voi aiheuttaa ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumista leimikon läheisiin vesistöihin ja pohjavesiin. Ajourapainumat voivat myös pilata maisemaa erityisesti maisemakohteilla. (Päivinen ym. 2011, 107, 125.)

### **3.2.2 Ajourien suunnittelu ja sijoittelu**

Ajourat vievät jonkin verran puuston kasvutilaa ja urapainumat aiheuttavat juuristovaurioita. Lisäksi ajourien reunapuut ovat alttiita joutumaan metsäkoneen kolhaisemaksi. Suurin riski ajourien aiheuttamille kasvutappioille on nuorissa ensiharvennuskäsitellyissä metsissä. (Hynynen ym. 2005, 154.)

Ajourien sijoittelu tulee suorittaa tarkasti, jotta niiden aiheuttamat kasvutappiot voitaisiin ennaltaehkäistä. Samalla urien tulisi olla kuitenkin mahdollisimman suoria ja ajomatkojen lyhyitä, jotta korjuukustannukset eivät kasvaisi liikaa. (Ovaskainen 2012a.) Suorat urat vähentävät myös urapainumien riskiä, sillä mutkissa maanpinnan rikkoutuminen ajokoneen telojen maaperään leikkautumisen takia on todennäköisempää (Turunen & Ovaskainen 2018, 13).

Laura Järnstedtin opinnäytetyössä (2020) todettiin, että ajourasuunnittelun hyödyt korostuvat erityisesti suurilla leimikoilla, joilla on esimerkiksi soistumia, vaikeakulkuisia rinteitä ja muita erityispiirteitä. Pääajouran sijainnin määrittäminen nopeuttaa hakkuukoneenkuljettajan työtä, jolloin hänen ei tarvitse käyttää aikaa työn aloitussuunnan pohtimiseen. (Järnstedt 2020, 34.)



Kuva 7. Esimerkkikuva uraverkostosta harvennushakkuutyömaalla.

Leimikon suunnittelussa otetaan huomioon tapauskohtaisesti työmaan maastonmuodot, rajat ja mahdolliset vaaranpaikat kuten sähkölinjat tai luonto- ja muinaismuistokohteet. Näiden tietojen pohjalta voidaan alkaa etukäteen hahmottelemaan ajouraverkostoa kokoojaurien tasolla ja merkitä karttaan myös kulkureitit varastoille tai kahden toisistaan erillään sijaitsevan kuvion välillä. (Järnstedt 2020, 5.)

Leimikon suunnittelun lopputuloksena muodostetaan hakkuukoneenkuljettajalle korjuuohje, jonka mukaan hän tekee lopullisen ajourasuunnitelman, ja jonka mukaan leimikko hakataan. (Järnstedt 2020, 5.) Mikäli harvennus ei ole metsikön ensimmäinen harvennus, on siellä jo ajourat avattuna vanhan hakkuun seurauksena. Koneen kuljettajaa on opastamassa myös maan kantavuusaineisto, jonka avulla kuljettaja voi harkita, kuinka sijoittelee ajourat leimikolle.

### 3.2.3 Perinteinen ajourasuunnittelun malli ja ”rätt metod”

Perinteisessä ajourasuunnittelussa ajourat sijoitellaan niin, että leimikon reunoja kiertää pääajoura. Tämä leimikon reunoja pitkin kulkeva reitti yhdistetään ajourilla, jotka kulkevat leimikon halki. (Turunen & Ovaskainen 2013, 19.) Perinteisen ajourasuunnittelun ohelle on myös nostettu uusi ja päinvastainen malli ”rätt metod”.

”Rätt metod” on ruotsalainen ajourasuunnittelun malli, jonka tarkoituksena on vähentää maastovaurioita ja tasata kausivaihtelua, jotta puunkorjuuta voitaisiin toteuttaa vuodenajoista riippumatta. Tässä tavassa muodostaa ajouraverkosto ajourat suunnitellaan siten, että leimikon kantavimpaan kohtaan tehdään pääajoura, jota suojataan havutuksella. Pääajouran lisäksi työmaalle tehdään pistoja ja haamu-uria. Tavoitteena on, ettei ajokoneen tarvitse kuormittaa kaikkia ajouria, vaan maaston huonoimmin kantavilla kohdilla tehdään ainoastaan hakkuukoneen vaatima haamu-ura. Haamu-urilta hakkuukone tuo puutavaran pääajouran lähelle ajokoneen ulottuville. Pistoilla menetellään siten, että ajokone peruuttaa niille tyhjänä ja kerää kuormaa siirtyessään takaisin pääajouralle. (Kjellberg 2018.)

### 3.3 Korjuukaluston ja korjuuajankohdan vaikutus korjuujälkeen

Korjuun suunnittelussa ei pidä unohtaa korjuukaluston valinnan merkitystä lopputuloksen laatuun. Esimerkiksi kantavammilla teloilla ja kevyemmillä koneilla voidaan vähentää ajourapainumien määrää. Korjuun oikea-aikaisuus on myös erittäin tärkeä tekijä hyvään korjuujälkeen. (Iittiläinen ym. 2003, 4.)

Metsäkoneiden painot vaihtelevat paljon mallista riippuen. Kevyimmät hakkuukoneet ovat keskimäärin 16 500–17 900 kg painoisia. Keskipokoiset hakkuukoneet ovat painoltaan noin 19 400–20 500 kg ja kaikista painavimmat noin 21 600–23 200 kg. (John Deere 2022; Komatsu 2022; Ponsse 2022.)

Kevyimmät ajokoneet ovat omapainoltaan noin 15 200-17 100 kg. Keskikokoisten ajokoneiden painot vaihtelevat 16 800-18 900 kg välillä. Suurimmat ajokoneet taas ovat keskimäärin 19 500-25 500 kg painoisia. (John Deere 2022; Komatsu 2022; Ponsse 2022.)

Konevalmistajien ilmoittamat painot ovat koneiden minimipainoja, joten koneen paino voi olla suurempikin riippuen sen varustelusta. Lisäksi ajokoneiden oman painon lisäksi korjuun aikana ajokone painaa huomattavan paljon enemmän sen kuljettaessa täyttä puutavarakuormaa. Koneen kapasiteetista riippuen kuormaa voi olla jopa 20 000 kg (John Deere 2022).

Metsäkoneen kantavuusominaisuuksiin vaikuttaa omapainon lisäksi sen muut ominaisuudet, kuten akselien määrä, joka osaltaan myös vaikuttaa koneen kokonaispainoon, mutta myös koneessa käytetyillä renkailla ja teloilla on merkitystä. Metsäkoneen renkaiden ilmanpaineen alentamisella voidaan lisätä niiden kantopintaa ja joustavuutta, joka osaltaan vähentää maastovaurioita ja lisää pitoa (Airavaara, Ala-Ilomäki, Högnäs & Siren 2008, 14).

Airavaaran ym. (2008) tekemässä tutkimuksessa puunkorjuusta turvemaidilla todettiin, että 12 t:n painoisella kuormatraktorilla päästään superkantavaan suokelpoisuustasoon käyttämällä koneen edessä ja takana teloja apupyöräratkaisun kanssa. Käytettyjen telojen leveyden tulisi olla vähintään 700 mm. Superkantavalla suokelpoisuustasolla suurin pintapaine 8 t:n kuorman kanssa on enimmillään 30 kPa. 17 t:n painoisella kuormatraktorilla vastaavaan kantavuustasoon päästiin käyttämällä vähintään 820 mm leveitä teloja koneen edessä ja takana niin, että koneessa oli myös apupyöräratkaisu. (Airavaara ym. 2008, 17.)

Korjuun oikea-aikaisuutta määrittää leimikon ominaisuudet. Korjuukelpoisuuskartta on yksi tapa määritellä kullekin leimikolle oikea korjuuajankohta leimikon maapohja- ja puustotiedon perusteella. Leimikon ominaisuuksien lisäksi korjuukelpoisuutta määrittää sääolosuhteet, ja sitä silmällä pitäen on olemassa Harvester Seasons -palvelu, joka arvioi leimikon korjuukelpoisuutta 6 seuraavan kk:n sääolosuhteiden perusteella. (Ovaskainen & Schildt 2022a.)

Leimikon korjuuajankohtaa määrittää mm. leimikon maaperä, puuston määrä, turvemaidella pohjaveden syvyys ja turpeen paksuus. Leimikon keskeisten ominaisuuksien lisäksi sen korjuukelpoisuuteen vaikuttaa leimikon saavutettavuus teiden osalta. Tarvittaessa leimikolle vievää tiestöä voidaan vahvistaa esimerkiksi sorastamalla tai kunnostamalla reitillä olevia siltoja ja rumpuja. (Ovaskainen & Schildt 2022b.)

Mikäli leimikolle ei ole olemassa tietä ja sen rakentaminen ei ole kannattavaa vaikkapa suon ylityksen takia, voidaan käyttää talviteitä. Talvitiet ovat sulan maan aikana metsään avattuja ja kaivinkoneella pohjustettuja kulkureittejä, joiden kantavuuden mahdollistaa maan jäätyminen. Talvitien perustamisen tulee olla leimikon koko ja lähikuljetusmatka huomioiden riittävän kannattavaa. Saari-kohteilla voidaan käyttää jääteitä, mikäli korjuuseen vaadittavia koneita ei ole mahdollista tai kannattavaa kuljettaa proomuilla tai puutavaraa uittamalla vesistöä pitkin. (Ovaskainen & Schildt 2022b.)

## **4 Maan kantavuustieto ja kantavuuteen vaikuttavat tekijät**

### **4.1 Korjuukelpoisuuskartta ja sitä käsittelevien aiempien tutkimusten johtopäätökset**

Korjuukelpoisuuskartta kertoo kuinka kantavaa maa missäkin kohtaa on sen perusteella, mihin korjuukelpoisuusluokkaan alue sijoittuu. Korjuukelpoisuuskartta on Metsäkeskuksen julkaisema palvelu, jota voidaan käyttää puunkorjuun suunnittelun apuvälineenä. Siitä on apua myös hakkuukoneenkuljettajalle uraverkoston muodostamisessa, sillä laserkeilauksella tuotettu aineisto ohjaa hakkuukoneen kuljettajaa hakkuun edetessä, kuinka ajourat kannattaa sijoitella, jollei niitä jo metsikössä ole aiemman harvennuksen jäljiltä. Hakkuun aikana korjuukelpoisuuskartasta voi mm. paikallistaa haastekohtia, joiden kantavuus voi poiketa paljonkin ympäröivästä maaperästä. (Seppänen 2022, 3.)

Korjuukelpoisuuskartta sisältää tietoa korjuukohteen maaperästä, puuston määrästä, kosteusindeksin ja kuivatustilanteen turvemailla. Näiden tietojen avulla voidaan esittää kartalla, mm. onko kohde kesä- vai talvikorjuukelpoinen. (Poike-la 2019a, 5.)

Korjuukelpoisuus on tarkemmin jaettu kuuteen eri luokkaan ja lisäksi kartalla kuvataan vesistöt. Kantavaa maaperää ja kivennäismaata kuvaavat luokat 1 kelirikko, 2 normaali kesä, kivennäismaa ja 3 kuiva kesä, kivennäismaa. Huonommin kantavaa maata ja turvemaata kuvaavat korjuukelpoisuusluokat 4 normaali kesä, turvemaata, 5 kuiva kesä, turvemaata ja 6 talvi. Nämä korjuukelpoisuusluokat kuvataan kartalla värikoodein eri sävyillä vihreästä (kantava)-punaiseen (huonosti kantava) ja vesistöt vaalean sinisellä. (Seppänen 2022, 5.)

### Korjuukelpoisuus

Korjuukelpoisuuskartat



Kuva 8. Korjuukelpoisuuskartan korjuukelpoisuusluokat ja niiden värikoodit.

Korjuukelpoisuuskartasta on hyötyä jo leimikon suunnitteluvaiheessa ja kausivaihtelun vaikutusten hallinnassa. Käytännössä kausivaihtelun vaikutuksia hallitaan ajoittamalla korjuu oikein ja sen myötä tekemällä laadukasta korjuujälkeä (Seppänen 2022, 5).

Leimikoiden suunnitteluvaiheessa korjuukelpoisuuskarttaa voidaan hyödyntää leimikoiden lohkotuksessa ja ketjutuksessa leimikkovarannosta. Sen avulla voidaan esimerkiksi muodostaa suurempia hakkuukeskittymiä korjuukelpoisuuden mukaan ja vastaavasti tarkastella lohkotasolla korjuukelpoisuutta ja sen mahdollista vaihtelua. Pienemmillä lohkoilla korjuu tehdään heikoimman kohdan

ehdoilla ja suurempia keskittymiä voidaan lohkottaa uudelleen korjuukelpoisuuden mukaan. (Venäläinen, Alanne, Ovaskainen, Poikela & Strandström 2018, 18.)

Vilja Turpan ja Jani Viitalan opinnäytetyössä (2019) todettiin korjuukelpoisuuskartan olevan helppo ja nopea tapa tutustua maaston kantavuuteen ja korjuuseen vaikuttaviin tekijöihin ennakkoon leimikon suunnittelun yhteydessä. Kuitenkaan se ei korvaa täysin maastokäyntiä kaikkien yksityiskohtien huomioon ottamisen osalta. (Turppa & Viitala 2019, 30, 32.) Samankaltaisia tuloksia esiteltiin Kimmo Olkinuoran opinnäytetyössä (2018), jossa selvitettiin korjuukelpoisuuskartan hyödynnettävyyttä puunhankinnan operaatioiden työvälineenä (Olkinuora 2018, 53–54).

## 4.2 Muita maan kantavuusaineistoja

Korjuukelpoisuuskartan lisäksi on muitakin maankantavuusaineistoja. Esimerkiksi kosteusindeksikartta, jonka tietoja hyödynnetään korjuukelpoisuuskartan tausta-aineistona. Topografisella kosteusindeksillä kuvataan maaperän kosteutta siten, että oletetaan maan pinnanmuotojen ohjaavan veden liikkeitä ja virtausta maaperässä. Kosteusindeksin laskenta perustuu Maanmittauslaitoksen tuottamaan rasterimuotoiseen korkeusmalliin. Salmen, Räsänen ja Hämäläisen (2013) mukaan kosteusindeksin kasvaessa maastovaurioiden riskikin kasvaa. Siksi kosteusindeksikartta jo yksistään tuo lisää apua puunkorjuun suunnittelussa ja sen toteutuksen aikana maastovaurioiden välttelyssä. (Salmi, Räsänen & Hämäläinen 2013, 6, 30.)

Geologian tutkimuskeskuksen maaperäaineistot taas kuvaavat maaperän pintaosan primäärejä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia ja aineistoja. Fysikaalisia ominaisuuksia ovat maalaji, hydrauliset ominaisuudet ja maaperän kiviisyys. Kemiallisia kuvattavia ominaisuuksia ovat maaperän ravinteisuus ja happamat sulfaattimaat. Olosuhdetiedot kertovat maaperän vesipitoisuudesta, pohjaveden pinnan tasosta ja routatilanteesta. Maaperäaineistoja hyödynnetään metsäsektorilla mm. korjuukelpoisuuden määrittämiseen, kasvupaikkaluokitteluun

ja hiilivarastojen ja hiilensidontapotentiaalin määrittämisessä. (Middleton ym. 2022, 2–3.)

### 4.3 Kausivaihtelu

Kausivaihtelulla tarkoitetaan puunkorjuun ja puutavaran kuljetusten määrien vaihtelua. Kausivaihtelu johtuu ennen kaikkea vuodenaikojen vaihtelusta ja sääolojen muutoksista. Käytännössä kausivaihtelu aiheutuu tiestön kelirikosta ja kantavuusrajoitteista. Lisäksi leimikoiden korjuukelpoisuuden aiheuttamat rajoitteet ja tehtaiden puuntarpeen vaihtelu aiheuttavat kausivaihtelua. (Venäläinen ym. 2018, 2.)

Venäläisen ym. (2018) mukaan kausivaihtelusta aiheutuu suurin piirtein 70 milj. €:n lisäkustannus kotimaisen puun toimitusketjuun. Puunkorjuuseen liittyvän kausivaihtelun ongelma on hakkuu- ja ajokoneiden ylikapasiteetistä aiheutuva pääomakustannus, joka syntyy, kun puunkorjuun kiireisemmälle ajankohdalle varattu kalusto joutuu edellä mainittujen kausivaihtelua aiheuttavien tekijöiden takia hyödyttömäksi. Tämä on suurin kausivaihtelun lisäkustannusta kasvattava tekijä. (Venäläinen ym. 2018, 2, 5.)

Myös puutavaran laatumenetykset kasvattavat kausivaihtelun tuomaa lisäkustannusta, sillä kausivarastoinnin aikana puutavaran laatu heikkenee (Venäläinen ym. 2018, 5). Kausivarastoinnilla tarkoitetaan puutavaran varastointia tiettyinä aikoina säännöllisesti tai satunnaisesti ilmeneviä tarpeita varten. Esimerkiksi kelirikon aikana kausivarastoilla turvataan tuotantolaitosten puuraaka-aineensaanti, kun hakkuuta joudutaan vähentämään hakkuuolosuhteiden ollessa huonot (Venäläinen, Melkas, Ovaskainen & Strandström 2022).

Muita kausivaihtelun lisäkustannuksia aiheuttavia tekijöitä ovat teiden korjaukset ja auraukset ja niistä aiheutuva kulut. Lisäkustannuksia aiheuttaa myös puutavaran varastointi, jossa kustannukset syntyvät varastoalueiden muodostamisesta, kuljetuksista ja varastoon sitoutuneen pääoman korosta. (Venäläinen ym. 2018, 5.)

#### 4.4 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan maapallon säteilytasapainon muutoksesta johtuvaa lämpötilan nousua. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lämmön avaruuteen säteilyä estävien niin sanottujen kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä on noussut, jolloin lämpöä haihtuu maapalloilta vähemmän takaisin avaruuteen. Näitä kasvihuonekaasuja ovat mm. vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni. (Lehtonen, Venäläinen & Gregow 2020, 9.)

Ilman kasvihuoneilmiötä maapallon keskilämpötila olisi noin 30 °C alempi, eli itsessään kasvihuoneilmiö on tarpeellinen. Kuitenkin ihmisen toimien seurauksena kasvihuoneilmiö on voimistunut kasvihuonekaasupäästöjen kasvaessa ja näin ollen ilmasto on alkanut lämmetä. (Lehtonen, Venäläinen & Gregow 2020, 9.) Suomessa keskilämpötila on noussut 1800-luvun puolivälin jälkeen noin kaksi astetta. Muualla maailmassa samassa ajassa muutos on ollut noin yhden asteen verran. (Mikkonen ym. 2014, 8.)

#### 4.5 Ilmastonmuutoksen ja sen torjunnan vaikutukset Suomen metsiin

Ilmastonmuutoksen seurauksena kasvukausien odotetaan pitenevän ja lämpösummien nousevan. Muutos voi olla hyvinkin huomattava, mikäli kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä ei onnistuta vähentämään. (Ruosteenoja, Räisänen, Venäläinen, Kämäräinen & Pirinen 2016, 13.)

Osittain tämä voi kuulostaa metsän kasvatuksen kannalta hyvältä, mutta parempien kasvuolosuhteiden ohella on oletettavissa myös ongelmia. Ilmastonmuutoksen mukana odotetaan kuivuutta, joka on erityisen haitallista Etelä- ja Keski-Suomen kuusimetsille. Samalla kuivuus voi altistaa metsiä metsäpaloille. Erilaiset ja aiemmin Suomessa huonommin menestyneet metsien tuhohyönteiset, kuten kirjanpainajat, tulevat toimeen paremmin lämpimämmässä olosuhteissa. Lämpimämpien talvien yleistyessä roudan syntyminen tulee vähenemään

entisestään. Tämä vaikeuttaa puunkorjuuta, sillä talvikorjuukohteille pääsy on osittain riippuvaista roudasta, sillä muutoin nämä kohteet eivät välttämättä kestä koneellista puunkorjuuta. (Lehtonen, Venäläinen & Gregow 2020, 35.)

Ilmastonmuutosta pyritään kuitenkin hillitsemään päästöjä vähentämällä. Päästöjen vähentämisen ohella metsät sitovat yhteyttäessään hiilidioksidia biomassakseen. Vuosina 2002–2006 Suomessa metsät sitoivat 35,4 miljoonaa tonnia CO<sub>2</sub>-ekv (Ilmasto-opas.fi 2022). Tämän vuoksi elinvoimaisten metsien olemassaolo nyt ja jatkossa on hyvin tärkeää.

## 5 Tutkimuksen tavoite ja toimeksiantaja

Opinnäytetyön tutkimuksen tavoitteena oli selvittää maankantavuustiedon merkitystä ajo- ja kokoojaurien sijoittelussa, ja kuinka paljon urapainumia tulee, jos ura sijaitsee kantavuustiedon mukaan kantamattomalla maalla verrattuna kantavaan maahan. Tutkimus sijoittui Sotkamon kunnan alueelle ja tuotti sen alueen tietoa aiheesta. Tällä tutkimuksella määriteltiin myös korjuukelpoisuuskartan luotettavuutta leimikon suunnittelun apuvälineenä.

Tutkimuskysymykset:

- Kuinka paljon urapainumia on, kun ajo- tai kokoojaura sijaitsee kantamattomalla maalla verrattuna kantavaan maahan?
- Kuinka luotettava korjuukelpoisuuskartta on puunkorjuun suunnittelussa?

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Metsänhoitoyhdistys Sotkamo ry, jonka toimialue sijaitsee Sotkamon kunnan alueella. Metsänhoitoyhdistys Sotkamo tarjoaa toimialueellaan monipuolisesti metsäneuvontaa, metsänhoito- ja puunhankintapalveluja.

## 6 Aineisto ja menetelmät

### 6.1 Tutkimusaineisto

Opinnäytetyön tutkimusta varten valikoitui yksinkertaisella satunnaisotannalla 15 työmaata, joilta tutkimuksen havaintoyksiköt, eli urapainumien pituudet ja syvyydet mitattiin. Urapainumien pituudet mitattiin 10 cm:n tarkkuudella ja keskisyvyydet 1 cm:n tarkkuudella. Työmailta pyrittiin mittaamaan mahdollisimman monta painumaa, jotta otanta olisi mahdollisimman laaja. Tutkimusaineisto on tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 1).

Tutkimuksessa mukana olleet työmaat olivat jaksollisen kasvatustavan kasvatushakkuukohteita. Joillakin työmailla osa kuvioista oli avohakattu, mutta näitä kuvioita ei huomioitu muuten, kuin varastopaikalle vievien kulkureitien/kokoojaurien osalta. Kohteilla oli hyödynnetty havutusta lisäämään urien kantavuutta. Uraverkostot oli suunniteltu perinteisen menetelmän mukaan. ”Rätt metod” ei ollut käytössä lainkaan. Korjuussa käytetyn konekaluston painoa ei huomioitu tässä tutkimuksessa. Korjuukelpoisuuskartta ei vielä täysin kata Sotkamon kunnan aluetta, ja tämä rajoitti tutkimukseen valittujen työmaiden valintaa. Tutkimukseen ei otettu mukaan työmaita, joilla ei ollut lainkaan urapainumia ja jotka sijaitsivat korjuukelpoisuuskartan ulkopuolella.

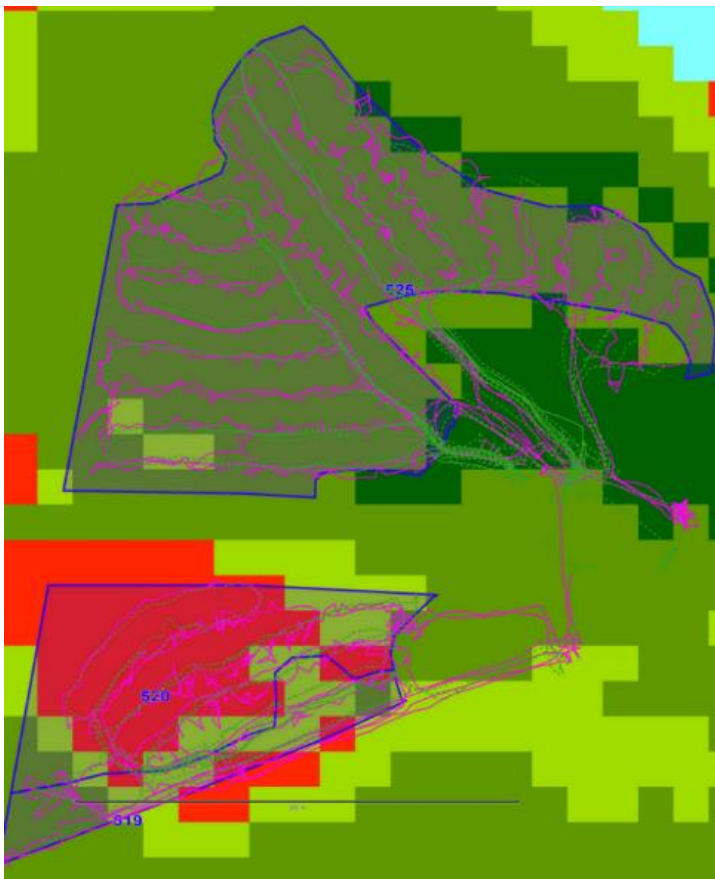
Puunkorjuu tutkimuksessa mukana olleilla työmailla oli tapahtunut vuoden sisällä ennen maastomittauksia, jotka suoritettiin touko-kesäkuussa 2022. Tutkimus on siis poikittaistutkimus, jossa tutkittiin korjuukelpoisuuskartan luotettavuutta erilaisilta hakkuutyömailta mitattujen urapainumien avulla tietyinä ajankohtana. Poikittaistutkimus tutkimusstrategiana mahdollistaa runsaasti erilaisia näkökulmia ja poikittaistutkimusaineistoja voidaan tarkastella monipuolisesti erilaisia analyysimenetelmiä hyödyntäen (Koppa Jyväskylän yliopisto 2022).

Työmaista 8 kpl oli kesäkorjuukohteita, eli puunkorjuu oli näillä työmailla suoritettu sulan maan aikaan. Kesäkorjuukohteiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 84,8 ha. Talvikorjuukohteita, eli roudan aikaan korjattuja kohteita oli 7 kpl. Talvikor-

juukohteiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 54,2 ha. Työmaiden koot vaihtelivat 2,64 ha:sta 35,8 ha:iin. Keskimääräinen työmaan pinta-ala oli n. 9,3 ha.

## 6.2 Tutkimusaineiston hankinta

Ennen työmaiden maastomittauksia selvitettiin organisaation tietojärjestelmästä, oliko työmaa kesä- vai talvileimikko ja mikä sen kehitysluokka ja pääpuulaji on. Sen jälkeen työmaata tarkasteltiin karttojen avulla, esim. sijaitsiko työmaa suolla, vaaran rinteessä tai minkälaiset sen maastonmuodot olivat ylipäänsä maastokartan perusteella. Sen jälkeen työmaata tarkasteltiin korjuukelpoisuuskartan avulla, eli mikä työmaan yleinen korjuukelpoisuus on ja kuinka korjuukelpoisuus jakautuu yksittäisien ajourien tasolla.



Kuva 9. Esimerkkikuva ajouraverkostosta korjuukelpoisuuskartalla.

Maastossa työmaat kuljettiin läpi urapainumien varalta. Mahdollisista painumisista mitattiin lankamitalla pituus ja rullamitalla syvyys (kuvat 10 ja 11). Syvyys muodostui pitkin urapainumaa otettujen syvyysmittojen keskiarvoista. Painuma laskettiin mukaan aineistoon, mikäli se oli vähintään 1 m pitkä ja 10 cm syvä.



Kuva 10. Urapainumien pituuksien mittaamiseen käytetty lankamitta.



Kuva 11. Urapainumien syvyyksien mittaukseen käytetty rullamitta.

Mittauksen jälkeen urapainuma merkittiin karttaan ja lisäksi merkittiin muistiin, oliko se korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavalla maalla vai ei, oliko painuma kokooja- vai ajouralla ja sijaitsiko se kivennäis- vai turvemaalla. Jokaisen painuman sijainti merkittiin erikseen paperiselle korjuukelpoisuuskartasta otetulle tulosteelle, jossa näkyi myös työmaan ajouraverkosto.

### 6.3 Tutkimusaineiston analysoinnissa käytetyt menetelmät

Maastomittausten jälkeen kerätty data kirjattiin ylös Excel-taulukkoon. Taulukosta dataa alettiin luokitella urapainumista kerättyjen tietojen, eli taustamuuttujien perusteella kantavan ja kantamattoman maan välillä. Lisäksi tutkittiin, kuinka painumien määrä jakautui kokooja- ja ajourien välillä. Korjuukelpoisuuskartan luotettavuuden määrittämiseksi aineisto luokiteltiin myös kantavuuden ja urapainuman maastossa havaitun maalajin mukaan. Myös urapainumien syvyyksiä luokiteltiin ja vertailtiin.

Tutkimuksen varsinaisia tuloksia tuotettiin ristiintaulukoinnin ja khiin neliö -testauksen avulla. Ristiintaulukoinnissa tuloksia vertailtiin eri taustamuuttujien avulla ja muodostettiin tutkimusyksiköistä luokkia, joiden avulla muodostettua dataa tulkittiin.

Ristiintaulukointi valittiin tässä tutkimuksessa menetelmäksi, koska sillä pystytään tutkimaan muuttujien jakautumista ja niiden välillä mahdollisesti esiintyviä riippuvuuksia. Muuttujien riippuvuutta tai riippumattomuutta tarkasteltaessa tutkittiin, oliko tarkasteltavassa aineistossa selitettävän muuttujan jakauma erilainen selittävän muuttujan eri luokissa. Ristiintaulukoinnissa on tarpeellista käyttää suhteellista jakaumaa, eli laskea prosenttiosuudet, sillä selitettävän muuttujan arvot eivät tavallisesti jakaudu tasaisesti selittävän muuttujan luokkiin.

(KvantiMOTV 2022.)

Ristiintaulukoitua aineistoa voitiin tulkita khiin neliö, eli  $\chi^2$ -testin avulla, joka on tilastollisen merkitsevyyden testausmenetelmä. Khiin neliö -testi on riippumattomuustesti ja sen lähtökohtainen oletus on, että muuttujien välillä ei ole havait-

tavissa riippuvuutta. Tällöin khiin neliö -testissä nollahypoteesina oli muuttujien välinen tilastollinen riippumattomuus ja vastahypoteesina muuttujien välinen tilastollinen riippuvuus. (KvantiMOTV 2022.)

## 7 Tutkimuksen tulokset

### 7.1 Tulokset

Tutkimuksen havaintoyksiköitä olivat mitatut urapainumien pituudet ja keskimääräiset syvyudet. Näiden havaintoyksiköiden taustamuuttujia oli mm. työmaan, jolta painuma on mitattu, korjuuajankohta, eli oliko kyseessä sulan maan vai roudan aikaan korjattu työmaa. Korjuuajankohdan määrityksellä on merkitystä siksi, että kesällä maan kantavuus on heikompi, kuin talvella roudan aikaan, jolloin esimerkiksi heikommin kantavien turvemaakohteiden korjaaminen on mahdollista.

Toinen tutkimusaineiston taustamuuttuja oli urapainuman sijainti suhteessa maan kantavuuteen korjuukelpoisuuskartan mukaan. Korjuukelpoisuuskartta määrittelee kuusi eri korjuukelpoisuusluokkaa, joiden perusteella muodostettiin kolme eri kantavuusluokkaa tätä tutkimusta varten. Nämä muodostamani kantavuusluokat olivat kantava, keskikantava ja ei-kantava.

Kantavalla maalla sijainneet urapainumat ovat sijainneet korjuukelpoisuuskartan kahden kantavimman kantavuusluokan 1 ja 2 alueella, jotka korjuukelpoisuuskartta määrittelee kivennäismaaksi. Keskikantavalla maalla sijainneet urapainumat ovat sijainneet korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokkien 3 ja 4 alueella, joista luokka 3 ilmentää kivennäismaata ja luokka 4 turvemaata. Ei-kantavalla maalla sijainneet urapainumat ovat vastaavasti sijainneet korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokkien 5 ja 6 alueella, jotka molemmat ilmentävät turvemaata.

Kolmas taustamuuttuja oli urapainuman sijainti uratyypin mukaan, eli sijaitsiko urapainuma ajo- vai kokoojauralla. Ajo- ja kokoojaurien erottelu tässä tutkimuksessa oli tarpeellista siksi, että kokoojaurat joutuvat huomattavasti suuremman

kuormituksen kohteeksi kuin ajourat, sillä niitä pitkin metsätraktori kulkee täyden puutavarakuorman kanssa enemmän kuin ajouria pitkin. Näin oli mahdollista tarkastella näiden kahden uratyypin välistä eroa urapainumien määrässä.

Neljäs taustamuuttuja oli urapainuman kohdalla maastossa havaittu maalaji. Se on määritelty joko kivennäismaaksi tai turvemaaksi. Maalajin määrityksellä oli väliä, jotta oli mahdollista tarkastella korjuukelpoisuuskartan paikkansa pitävyyttä maalajin ilmentämisen osalta.

Kivennäismaalla tarkoitetaan maalajia, jossa pintakerros on kangashumusta ja sen alla on podsolimaannos (Metsänhoidon suositukset 2022). Maan rakenne muodostuu rakeisuudesta, muruista ja huokosista. Kivennäismaan kiintoainek- sessa on hiukkasia ja muruja, jotka ovat suurimmaksi osaksi kivennäisainesta ja loput eloperäistä ainesta. Hiukkasten ja murujen välissä ja sisällä on huokosia, jotka sisältävät vettä ja kaasua. (Alakukku 2013, 3.)

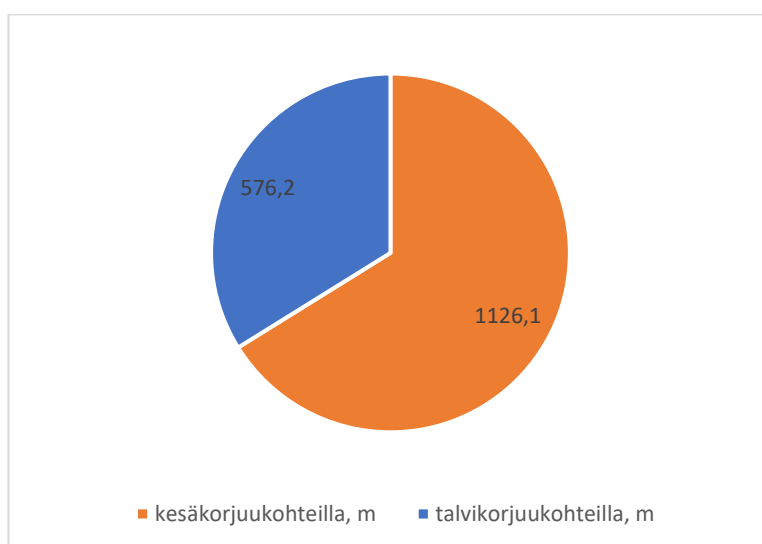
Kivennäismaa voidaan edelleen jakaa lajittuneisiin ja lajittumattomiin maalajeihin eli moreenimaalajeihin. Lajittuneita maalajeja ovat mm. sora, hieno hieta ja hiesu. Moreenimaalajeja ovat soramoreeni, hiekkamoreeni ja silttimoreeni. Moreenimaalajeissa maalajin raekoko vaihtelee suuresti hienoista lajitteista jopa lohkaraisiin, kun taas lajittuneissa maalajeissa kullakin on suunnilleen sama raekoko, ja ne koostuvat pääasiallisesti yhdestä tai kahdesta päälajitteesta. Moreenimaalajit ovat syntyneet jääkauden aikana mannerjäätikön alla olleesta ki- viaineksesta jään liikkeiden seurauksena. Lajittuneet maalajit ovat muodostu- neet yleisimmin huuhtoutuessaan ja kerrostuessaan liikkuvan veden mukana. (Korhonen, Gardemeister & Tamminne 1974, 9–11.)

Maalajin vedenläpäisykyky riippuu sen raekoosta. Mitä pienempiä maalajin ra- keet ovat, sitä enemmän se voi sitoa vettä, sillä pienirakeisessa maalajissa on enemmän vettä sitovaa raepintaa. Vastaavasti mitä suurempi maalajin raekoko on, sitä vähemmän se sitoo vettä. Tämä tarkoittaa sitä, että suurempirakeiset maalajit läpäisevät paremmin vettä ja ovat siten kuivempia, koska ne sisältävät vähemmän vettä kuin hienorakenteisemmat maalajit. (Leppäranta, Virta & Hut- tula 2017, 144.)

Turve on eloperäinen maalaji. Eloperäisellä maalajilla tarkoitetaan maalajia, joka on muodostunut yli 20 paino-%:n verran eloperäisestä aineksesta. Turve muodostuu maatumisasteiltaan vaihtelevista kasvien osista. (Korhonen, Gardemeister & Tamminne 1974, 9 ja 11.)

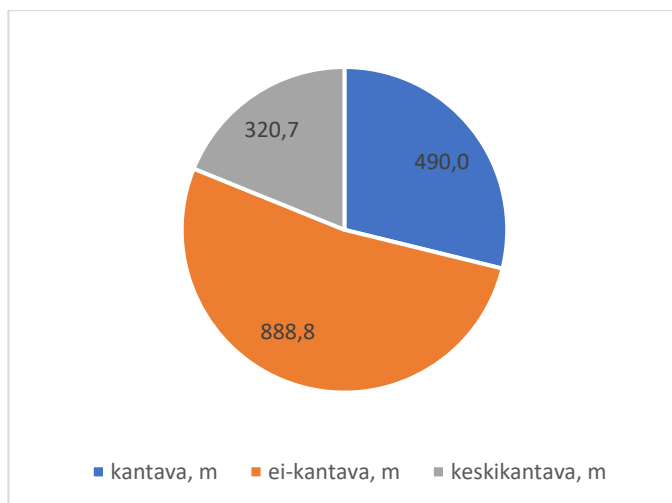
Urapainumien pituuksien lisäksi toinen havaintoyksikkö tässä tutkimuksessa oli urapainumien syvyydet senttimetreinä. Syvyyksiä tarkasteltaessa taustamuuttujina toimivat samat kuten urapainumien määrä käsiteltäessä. Ne olivat korjuujankohda, maankantavuus kolmella määrittelemälläni kantavuusluokalla, uran tyyppi ja maastossa havaittu maalaji urapainuman kohdalla. Urapainumien syvyydet eivät olleet yhtä merkittävän tarkastelun kohteena kuin niiden pituudet.

Urapainumia mitattiin yhteensä 1 702 m, joista kesäkorjuukohteilla oli 1 126 m ja talvikorjuukohteilla 576 m. Kesäkorjuukohteilla urapainumia oli havaittavissa enemmän eli 66 % kaikista painumista. Toki kesäkorjuukohteita oli myös hieman enemmän kuin talvikorjuukohteita, sillä mitattujen kesäkorjuukohteiden pinta-ala oli 84,8 ha. Pinta-alaan suhteutettuna kesäkorjuukohteilla painumia oli 13,3 m/ha. Talvikorjuukohteiden yhteen laskettu pinta-ala oli 54,2 ha ja pinta-alaan suhteutettuna painumia oli talvikorjuukohteilla 10,6 m/ha, eli vähemmän kuin kesäkorjuukohteilla.



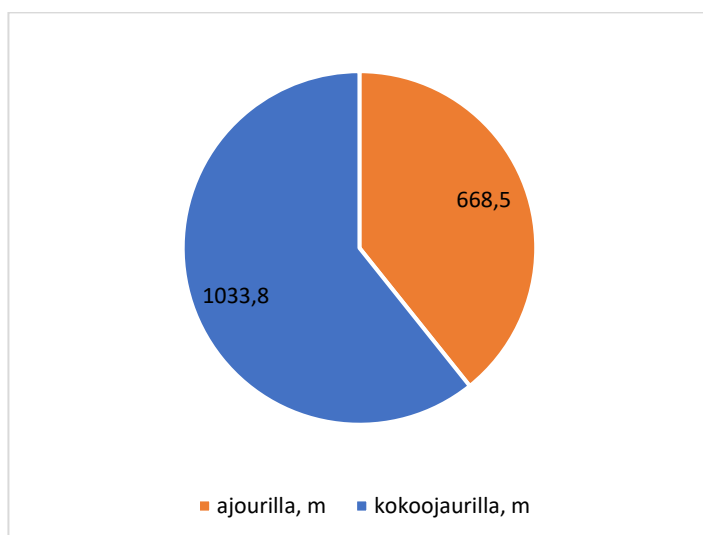
Kuvio 1. Urapainumien määrän jakautuminen kesä- ja talvikohteiden välillä.

Kantavalla maalla näistä kaikista mitatuista urapainumista sijaitsi 490 m, joka oli 29 % kaikkien mitattujen urapainumien määrästä. Ei-kantavalla maalla sijaitsi 52 % kaikista urapainumista, eli 889 m. Keskikantavalla maalla sijaitsi 321 m urapainumia, joka oli 19 % kaikista mitatuista painumista. Urapainumia oli siis kaiken kaikkiaan eniten ei-kantavalla maalla.



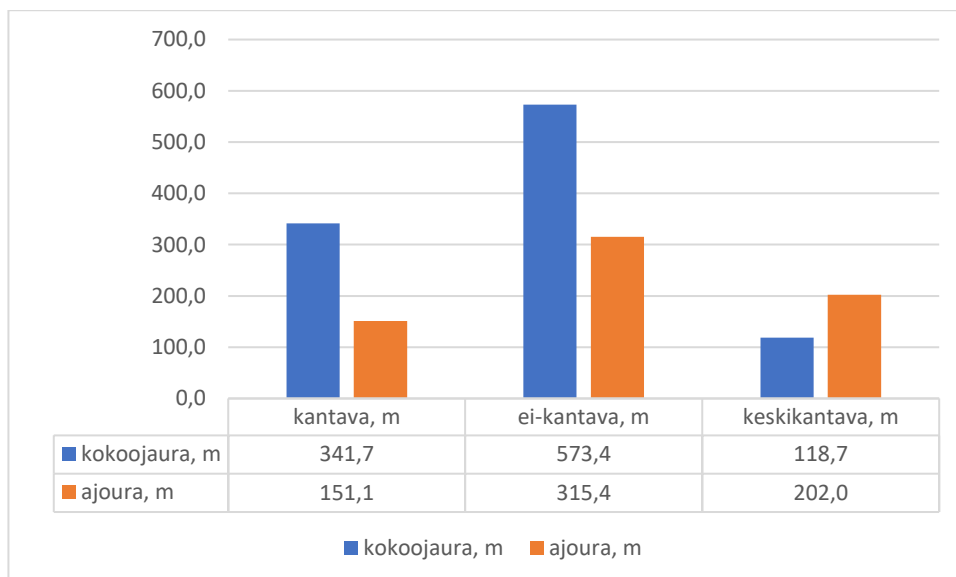
Kuvio 2. Urapainumien määrän jakautuminen kantavuuden mukaan.

Kaikista mitatuista painumista kokoojaurilla sijaitsi 1 034 m urapainumia, joka on 61 % kaikkien mitattujen urapainumien määrästä. Loput 39 % kaikista urapainumista, eli 669 m sijaitsi ajourilla.



Kuvio 3. Urapainumien määrän jakautuminen kokooja- ja ajourien välillä.

Kokoojaurilla sijainneista painumista kantavalle maalle osui 342 m, joka oli 20 % kaikista mitatuista painumista. Kokoojauralla ja ei-kantavalla maalla sijaitsi 573 m painumia, joka oli 34 % kaikista painumista. Keskikantavalle maalle osui 119 m kokoojaurilla olleita painumia, joka oli 7 % kaikkien mitattujen painumien määrästä.



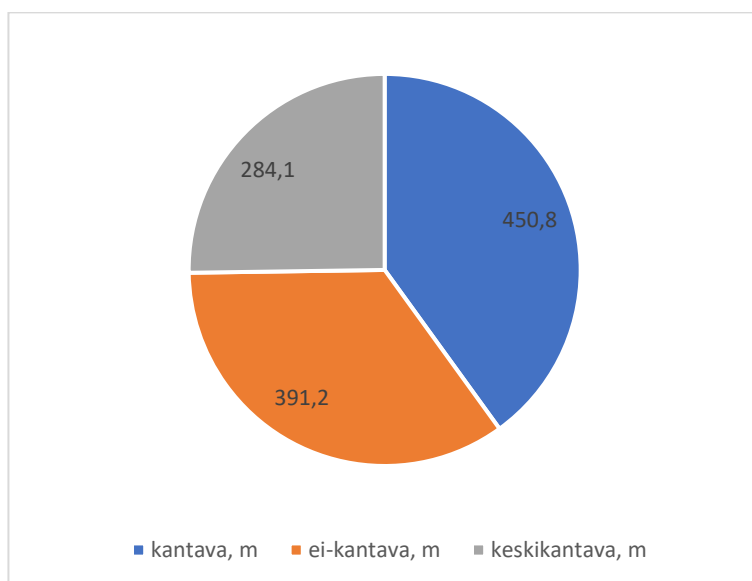
Kuvio 4. Urापainumien määrän jakautuminen kaikilla tutkimuksessa mukana olleilla työmailla kantavuuden ja uratyyppin mukaan.

Ajourilla sijainneista painumista kantavalla maalla sijaitsi 151 m, joka oli 9 % kaikista mitatuista painumista. Ei-kantavalla maalla ja ajouralla sijainneita painumia oli 315 m, joka oli 19 % kaikkien mitattujen urापainumien määrästä. Keskikantavan maan ajourapainumia mitattiin 202 m, joka oli 12 % kaikista painumista.

### 7.1.1 Urापainumat kesäkorjuukohteilla

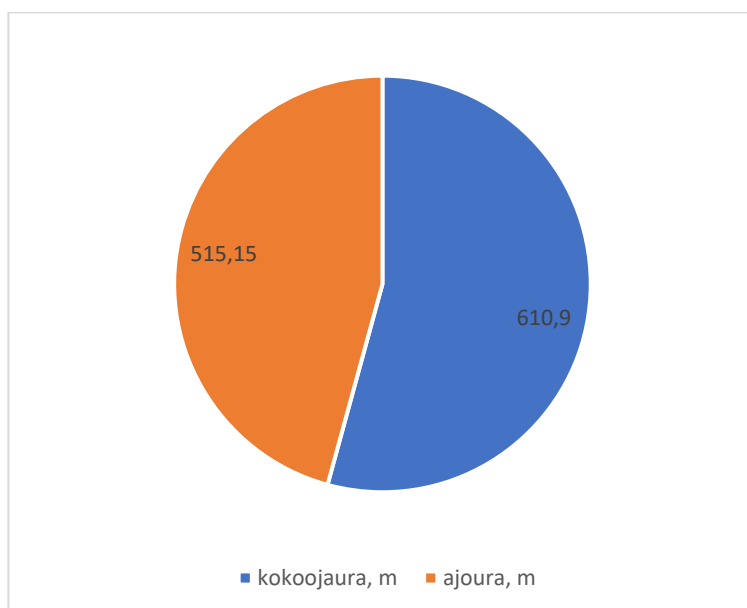
Kesäkorjuukohteilta mitatuista 1 126 m:stä urापainumia kantavalla maalla sijaitsi 451 m, joka oli 40 % kaikilta sulan maan aikaan korjatuilta työmailta mitatuista painumista. Ei-kantavalla maalla urापainumia oli 391 m:n verran, joka oli 35 %

kesäkohteiden urapainumista. Keskikantavalla maalla urapainumia oli 284 m, eli 25 % kaikista kesäkorjuukohteiden urapainumista.



Kuvio 5. Urapainumien määrän jakautuminen kantavuuden mukaan kesäkorjuukohteilla.

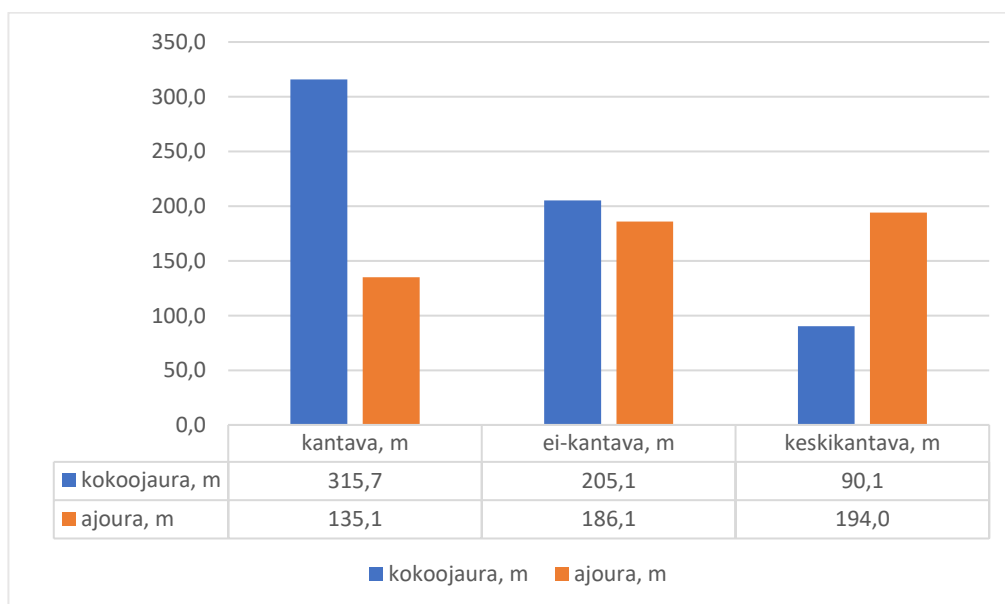
Kesäkorjuukohteilla kokoojaurilla sijaitsi 611 m urapainumia. Tämä oli 54 % kaikista kesäkorjuukohteiden painumista. Loput 46 % eli 515 m sijaitsi vastaavasti ajourilla.



Kuvio 6. Urapainumien määrän jakautuminen ajo- ja kokoojaurien välillä kesäkorjuukohteilla.

Kesäkorjuukohteilla kokoojaurilla sijainneista urapainumista 316 m sijaitsi korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavalla maalla. Tämä oli 28 % kaikista kesäkorjuukohteilta mitatuista urapainumista. Vastaavasti ei-kantavalla maalla sijaitsi 205 m kokoojaurapainumia, joka oli 18 % kaikista kesäkorjuukohteiden urapainumamäärästä. Keskikantavalla maalla kokoojauria oli painunut 90 m:n verran, joka oli 8 % kesäkorjuukohteiden painumista.

Kesäkorjuukohteilla ajourapainumia kantavalla maalla oli 135 m, joka oli 12 % kaikista kesäkorjuukohteiden painumista. Ei-kantavalla maalla ajourapainumia oli 186 m, eli 16,5 % kesäkorjuukohteiden painumien määrästä. Keskikantavalla maalla ajourapainumia mitattiin 194 m, joka oli 17 % sulan maan aikaan korjatuilta työmailta mitattujen painumien määrästä.

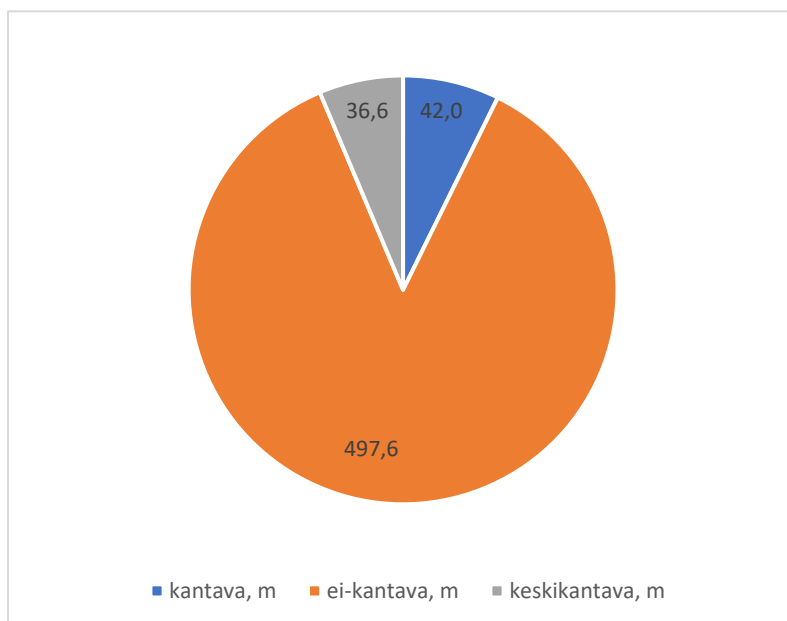


Kuvio 7. Urapainumien määrän jakautuminen kesäkorjuukohteilla kantavuuden ja uratyyppin mukaan.

### 7.1.2 Urapainumat talvikorjuukohteilla

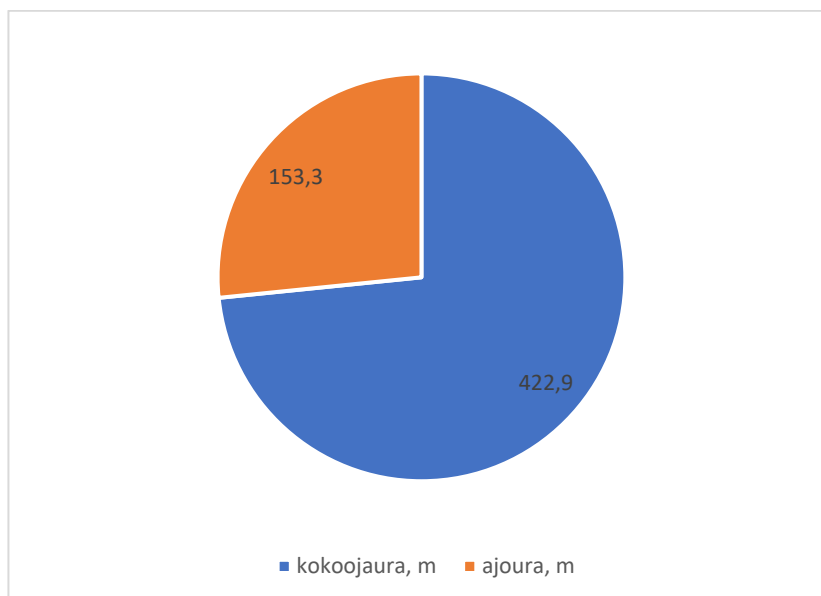
Talvikorjuukohteilla urapainumia mitattiin yhteensä 576 m. Näistä kaikista painumista 42 m sijaitsi kantavalla maalla, joka oli 5 % kaikista talvella korjattujen

työmaiden mitatuista painumista. Ei-kantavalla maalla sijaitsevia urapainumia, joka oli 86 % kaikista talvikorjuukohteiden painumista. Keskikantavalla maalla painumia mitattiin 37 m, eli 6 % talvikorjuukohteiden painumista.



Kuvio 8. Urapainumien määrän jakautuminen kantavuuden mukaan talvikorjuukohteilla.

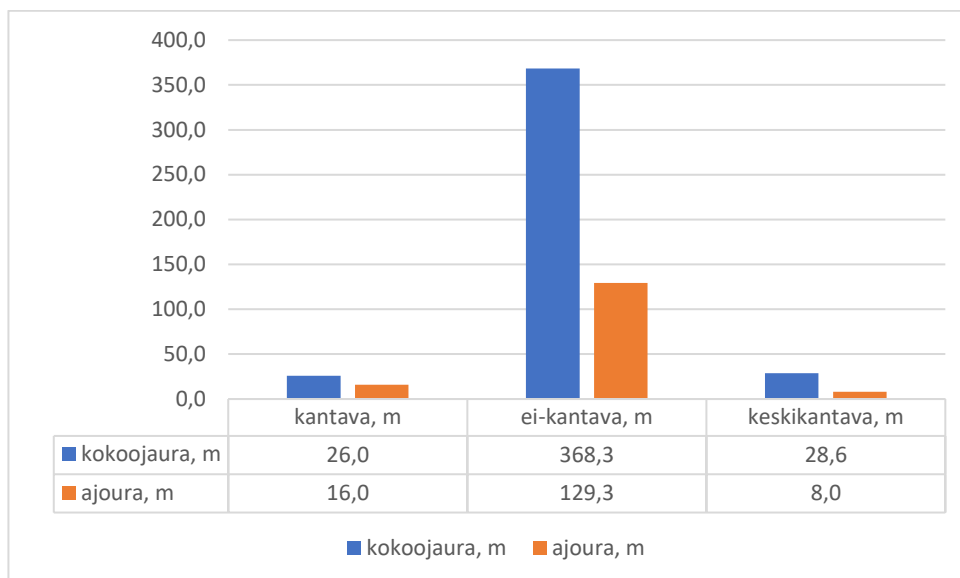
Talvikorjuukohteilla kokoojaurilta urapainumia mitattiin yhteensä 423 m, joka oli 69 % kaikista talvikohteiden urapainumista. Vastaavasti ajourilta painumia mitattiin 153 m, eli 31 % talvikorjuukohteiden painumien määrästä.



Kuvio 9. Urapainumien määrän jakautuminen kokooja- ja ajourien välillä talvikorjuukohteilla.

Talvikorjuukohteilta mitatuista kokoojaurilla olleista painumista kantavalla maalla sijaitsi 26 m, joka oli 5 % kaikista talvikorjuukohteiden painumista. Eikantavalla maalla kokoojaurapainumia oli 368 m, eli 64 % kaikista talvikorjuukohteiden painumista. Keskikantavalla maalla kokoojaurille kohdistuneita urapainumia oli 29 m, eli 5 % roudan aikaan korjattujen työmaiden urapainumien määrästä.

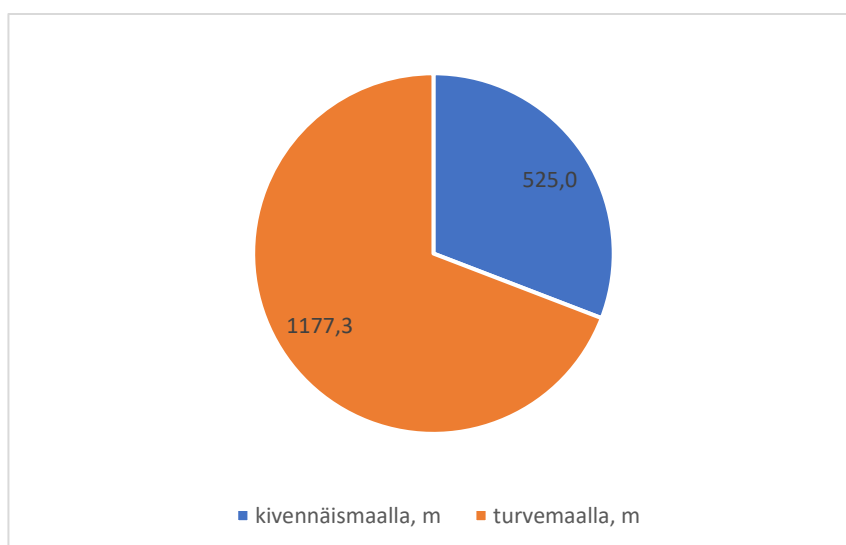
Talvikorjuukohteiden ajourapainumia kantavalla maalla oli 16 m, joka oli 3 % kaikista talvisaikaan korjattujen työmaiden mitatuista urapainumista. Eikantavalla maalla ajourilla olleita urapainumia mitattiin 129 m:n verran, eli 22 % kaikista talvikorjuukohteiden painumista. Korjuukelpoisuuskartan mukaan keskikantavalla maalla sijainneita ajourapainumia talvikohteilla oli 8 m, eli 1 % kaikista roudan aikaan korjattujen työmaiden urapainumista.



Kuvio 10. Urapainumien määrän jakautuminen talvikorjuukohteilla kantavuuden ja uratyyppin mukaan.

## 7.2 Korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokka ja urapainuman maalaji

Yhteensä kivennäismaalta mitattuja painumia oli 525 m, joka oli 31 % kaikista mitatuista urapainumista. Vastaavasti turvemaalta mitattujen urapainumien määrä oli yhteensä 1 177 m, eli 69 % mitatuista urapainumista.

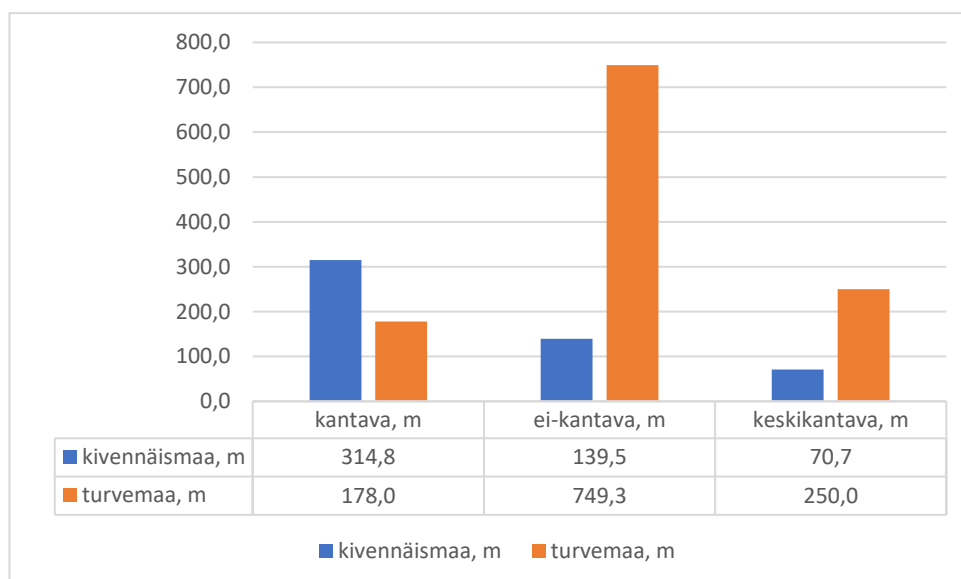


Kuvio 11. Urapainumien määrän jakautuminen maalajin mukaan kaikilla mitatuilla painumilla.

Kaikista mitatuista urapainumista korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavalla maalla sijaitsi 493 m. Näistä kantavalla maalla sijainneista urapainumista 315 m, eli 64 % sijaitsi kivennäismaalla. Loput 178 m, eli 36 % sijaitsi turvemaalla.

Ei-kantavalla maalla sijainneista 889 m:stä urapainumia 140 m sijaitsi kivennäismaalla. Tämä oli 16 % kaikista ei-kantavalta maalta mitatuista urapainumista. Vastaavasti turvemaalla olleita urapainumia mitattiin korjuukelpoisuuskartan mukaan ei-kantavalta maalta 749 m, eli 84 % ei-kantavalla maalla olleista urapainumista.

Keskikantavalla maalla olleista 321 m:stä urapainumia 71 m sijaitsi maastossa kivennäismaalla. Kivennäismaalla sijainneiden keskikantavan maan urapainumien osuus kaikista kyseisen kantavuusluokan painumista oli 22 %. Keskikantavan maan turvemaalla olleiden painumien määrä oli 250 m, eli 78 % kaikista tämän kantavuusluokan painumista.



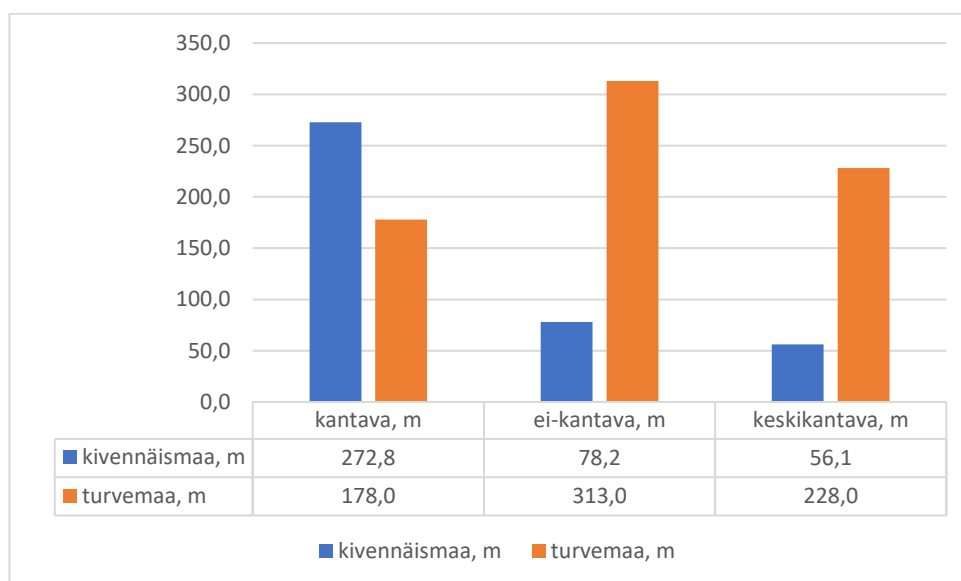
Kuvio 12. Korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokan ja maastossa havaitun maalajin vertaaminen kaikilla mitatuilla painumilla.

### 7.2.1 Kantavuusluokka ja urapainuman maalaji kesäkorjuukohteilla

Kesäkorjuukohteilta mitatuista urapainumista korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavalla maalla sijaitsi yhteensä 451 m. Näistä kantavalla maalla sijainneista painumista 273 m eli 61 % sijaitsi kivennäismaalla ja loput 39 % eli 178 m turvemaalla.

Ei-kantavalta maalta kesäkorjuukohteilta mitattiin urapainumia yhteensä 391 m. Tästä mitatusta määrästä urapainumia ei-kantavalla maalla 78 m eli 20 % sijaitsi kivennäismaalla. Vastaavasti ei-kantavalta maalta ja turvemaalta mitattiin 313 m urapainumia, joka oli 80 % kaikista ei-kantavan maan urapainumien määrästä kesäkorjuukohteilla.

Keskikantavalta maalta urapainumia mitattiin kesäkorjuukohteilta yhteensä 284 m:n verran. Näistä 56 m sijaitsi kivennäismaalla ja 228 m turvemaalla. Keski-kantavalla maalla kivennäismaan ja turvemaan osuudet suhteessa toisiinsa olivat samat, kuin ei-kantavalta maalta mitattujen painumien kesken eli kivennäismaalla 20 % ja turvemaalla 80 %.



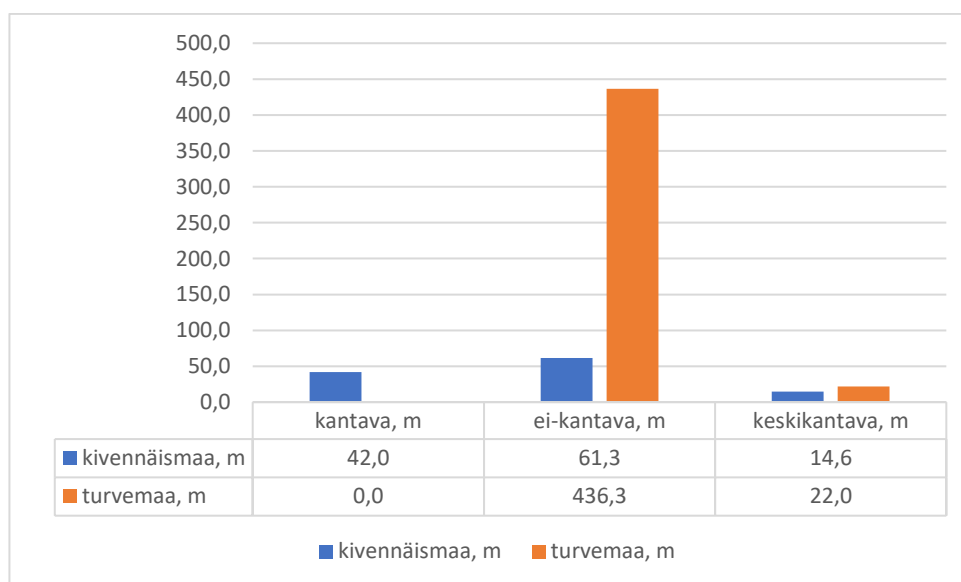
Kuvio 13. Korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokan ja maastossa havaitun maalajin vertaaminen kesäkorjuukohteilta mitatuilla painumilla.

## 7.2.2 Kantavuusluokka ja urapainuman maalaji talvikorjuukohteilla

Talvikorjuukohteilta korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavalta maalta mitattiin yhteensä 42 m urapainumia. Näistä kaikki sijaitsivat kivennäismaalla.

Ei-kantavalta maalta mitattuja painumia talvikorjuukohteilta oli yhteensä 498 m. Niistä 61 m eli 12 % sijaitsi kivennäismaalla. Vastaavasti turvemaalla sijaitsi 436 m eli 88 % kaikista talvikorjuukohteiden ei-kantavalta maalta mitatuista painumista.

Keskikantavalla maalla urapainumia mitattiin talvikorjuukohteilta yhteensä 37 m. Tästä määrästä kivennäismaalla sijaitsi 40 % eli 15 m. Loput 60 % eli 22 m sijaitsivat turvemaalla. Jakauma on kaikista tasaisin keskikantavan maan urapainumista talvikorjuukohteilla.



Kuvio 14. Korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokan ja maastossa havaitun maalajin vertaaminen talvikorjuukohteilta mitatuilla painumilla.

### 7.3 Maalajin riippuvuus korjuukelpoisuuskartan ilmoittamaan korjuukelpoisuusluokkaan

Tutkimusaineistoa analysoitiin khiin neliö -testin avulla, jolla oli tarkoitus selvittää maastossa havaitun maalajin ja korjuukelpoisuuskartan ilmoittaman korjuukelpoisuusluokan välistä riippuvuutta. Testin nollahypoteesina oli, että maastossa havaitun maalajin ja korjuukelpoisuuskartan ilmoittaman kantavuusluokan välillä ei ollut riippuvuutta. Vastahypoteesina taas oli, että maalajin ja korjuukelpoisuuskartan ilmoittaman kantavuusluokan välillä oli riippuvuus.

Testin tarkoituksena oli analysoida korjuukelpoisuuskartan paikkansa pitävyyttä maalajin avulla tarkasteltuna. Testin taustana on oletus, että kun korjuukelpoisuuskartta ilmentää kantavaa maata, on maastossa kyseisessä kohdassa havaittavissa kivennäismaata ja vastaavasti ei-kantavaa maata ilmentävillä alueilla on havaittavissa turvemaata.

Korjuukelpoisuuskartan kantavuusluokan ja maastossa havaitun maalajin välillä havaittiin riippuvuus käytettäessä khiin neliö -testiä tutkimusaineistoon. Testissä ei otettu huomioon keskikantavaa kantavuusluokkaa, sillä se voi korjuukelpoisuuskartan mukaan ilmentää sekä kivennäis- että turvemaata, eikä täten toimi testatessa muuttujien välistä riippuvuutta.

Kaikilta työmailta mitattujen urapainumien kesken suoritettussa testissä vapausasteluku oli 1. Khiin neliö oli 333,58 ja testauksen p-arvo oli  $1,59^{-74}$ , eli alle 0,00, jolloin nollahypoteesi hylättiin ja vastahypoteesi astui voimaan.

## Havaitut lukumäärät kaikilla työmailla

	<b>Korj.k.kartan mu- kaan kantava, m</b>	<b>Korj.k.kartan mu- kaan ei-kantava, m</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Kivennäismaa, m</b>	314,8	139,5	454,3
<b>Turvemaa, m</b>	178,0	749,3	927,3
<b>Yhteensä</b>	492,8	888,8	1381,6

## Odotetut lukumäärät kaikilla työmailla

	<b>Korj.k.kartan mu- kaan kantava, m</b>	<b>Korj.k.kartan mu- kaan ei-kantava, m</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Kivennäismaa, m</b>	162,0	292,2	454,3
<b>Turvemaa, m</b>	330,8	596,5	927,3
<b>Yhteensä</b>	492,8	888,8	1381,6

Taulukko 1. Tutkimuksessa havaitut urapainumien lukumäärät ja khiin neliö - testissä odotetut lukumäärät, kun testattiin maalajin ja korjuukelpoisuusluokan välistä riippuvuutta kaikilla mitatuilla urapainumilla.

Kesä- ja talvikorjuukohteilla toteutettuna testi osoitti saman tuloksen, eli nollahypoteesi hylättiin ja vastahypoteesi, jonka mukaan maalajin ja korjuukelpoisuskartan ilmoittaman korjuukelpoisuusluokan välillä on havaittavissa tilastollinen riippuvuus, astui voimaan. Kesäkorjuukohteilta mitattujen urapainumien testissä vapausasteluku oli 1. Khiin neliö oli 141,56 ja p-arvo  $1,21^{-32}$ , eli alle 0,00, jolloin nollahypoteesi voitiin hylätä.

## Havaitut lukumäärät kesäkorjuukohteilla

	<b>Korj.k.kartan mukaan kantava, m</b>	<b>Korj.k.kartan mukaan ei-kantava, m</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Kivennäismaa, m</b>	272,8	78,2	351,0
<b>Turvemaa, m</b>	178,0	313,0	491,0
<b>Yhteensä</b>	450,8	391,2	842,0

## Odotetut lukumäärät kesäkorjuukohteilla

	<b>Korj.k.kartan mukaan kantava, m</b>	<b>Korj.k.kartan mukaan ei-kantava, m</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Kivennäismaa, m</b>	187,9	163,0	351,0
<b>Turvemaa, m</b>	262,9	228,1	491,0
<b>Yhteensä</b>	450,8	391,2	842,0

Taulukko 2. Tutkimuksessa havaitut urapainumien lukumäärät ja khiin neliö - testissä odotetut lukumäärät, kun testattiin maalajin ja korjuukelpoisuusluokan välistä riippuvuutta kesäkorjuukohteilta mitatuilla urapainumilla.

Talvikorjuukohteilla testauksessa vapausasteluku oli 1. Khiin neliö oli 192,36 ja p-arvo oli  $9,69^{-44}$ , eli alle 0,00, jolloin nollahypoteesi hylättiin ja vastahypoteesi astui voimaan.

## Havaitut lukumäärät talvikorjuukohteilla

	<b>Korj.k.kartan mukaan kantava, m</b>	<b>Korj.k.kartan mukaan ei-kantava, m</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Kivennäismaa, m</b>	42,0	61,3	103,3
<b>Turvemaa, m</b>	0,0	436,3	436,3
<b>Yhteensä</b>	42,0	497,6	539,6

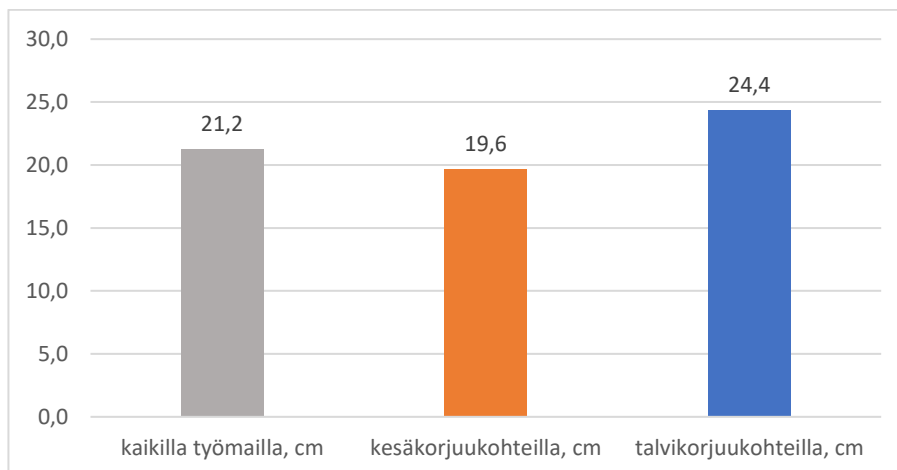
## Odotetut lukumäärät talvikorjuukohteilla

	<b>Korj.k.kartan mukaan kantava, m</b>	<b>Korj.k.kartan mukaan ei-kantava, m</b>	<b>Yhteensä</b>
<b>Kivennäismaa, m</b>	8,0	95,3	103,3
<b>Turvemaa, m</b>	34,0	402,3	436,3
<b>Yhteensä</b>	42,0	497,6	539,6

Taulukko 3. Tutkimuksessa havaitut urapainumien lukumäärät ja khiin neliö - testissä odotetut lukumäärät, kun testattiin maalajin ja korjuukelpoisuusluokan välistä riippuvuutta talvikorjuukohteilta mitatuilla urapainumilla.

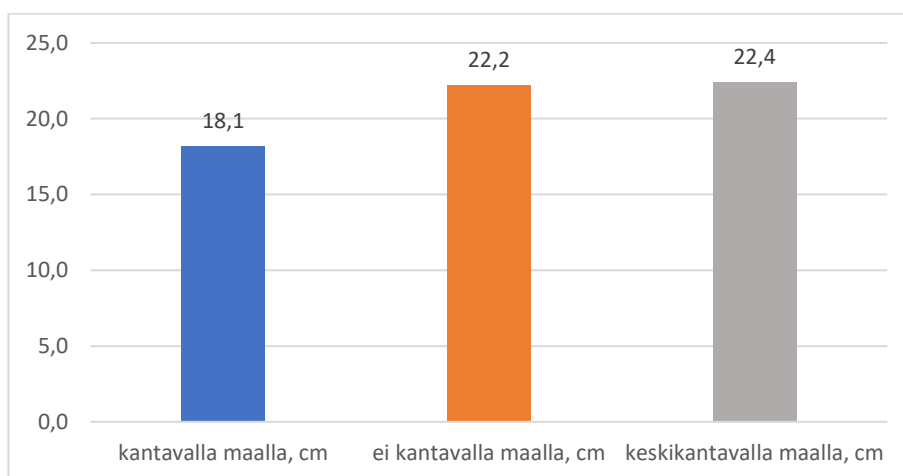
## 7.4 Urapainumien keskisyvyyksiä

Kaikkien mitattujen painumien keskisyvyys oli 21 cm. Kesäkorjuukohteilla keskisyvyys oli 20 cm ja talvikorjuukohteilla 24 cm.



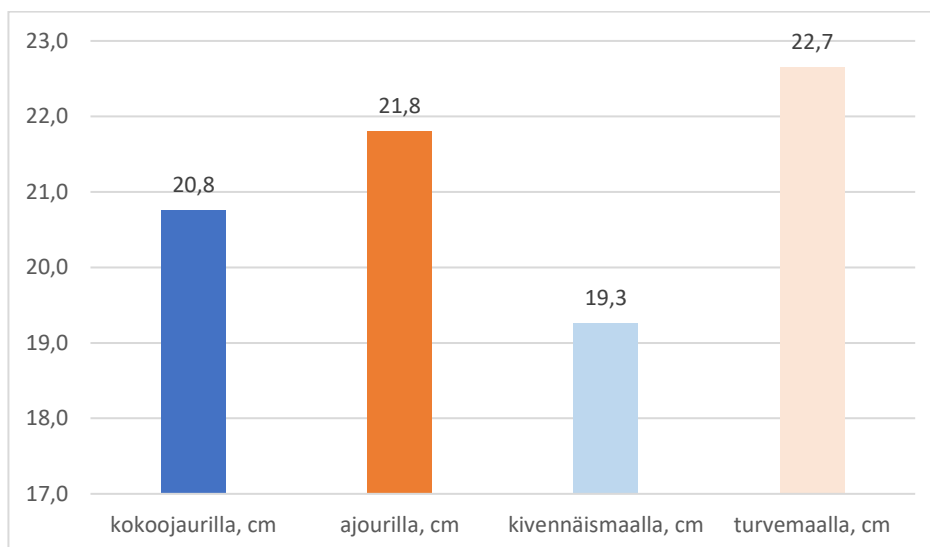
Kuvio 15. Urapainumien keskisyvyydet kaikilla työmailla ja kesä- ja talvikorjuukohteilla erikseen.

Korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavalla maalla urapainumien keskisyvyys oli 18 cm. Ei-kantavalla maalla painumat olivat keskimäärin 22,2 cm syviä. Keski-kantavan maan painumien syvyys oli 22,4 cm.



Kuvio 16. Urapainumien keskisyvyys korjuukelpoisuuskartan ilmoittaman kantavuuden mukaan.

Kokoojaurilta mitattujen painumien keskisyvyys oli 21 cm ja ajourilta mitattujen 22 cm. Kivennäismaalta mitattujen urapainumien keskisyvyys oli 19 cm ja turvemaalta mitattujen 23 cm.



Kuvio 17. Urapainumien keskisyvyyksiä uratyyppin ja maastossa havaitun maalajin mukaan.

## 8 Pohdinta

### 8.1 Tulosten tarkastelu

Urapainumia mitattiin eniten kesäkorjuukohteilta (kuvio 1), mutta toisaalta kesäkorjuukohteita oli mittauksissa pinta-alallisesti ja lukumäärällisestikin enemmän. Pinta-alaan suhteutettuna urapainumia oli kuitenkin hieman enemmän kesäkorjuukohteilla kuin talvikorjuukohteilla.

Kaikista eniten urapainumia oli kaikkia tutkimuksessa mukana olleita työmaita tarkasteltaessa 2. kuviossa ei-kantavalla maalla. Kokooja- ja ajouria verrattaessa kuviossa 3 havaitaan, että kokoojaurilla oli huomattavasti enemmän urapainumia, sillä 61 % kaikista mitatuista urapainumista sijaitsi kokoojaurilla. Kun ottaa huomioon, että työmaiden ajouraverkostosta suurin osa on ajouria, voidaan todeta kokoojaurien olevan huomattavasti ajouria alttiimpia urapainumille.

Kokoojaurilla sijainneista painumista suurin osa sijaitti korjuukelpoisuuskartan mukaan ei-kantavalla maalla, kuten kuviosta 4 havaitaan. Kokoojaurapainumien jakauma kantavuuden suhteen oli epätasaisempaa kuin ajourien vastaava jakauma.

Ajourille kohdistuneiden painumien jakauma kantavuuden suhteen oli kokoojauria tasaisempi (kuvio 4), mutta kuten kokoojauriakin tarkasteltaessa, niitä oli kaikista eniten ei-kantavalla maalla. Keskikantavalla maalla urapainumia oli kuitenkin enemmän ajourilla kuin kokoojaurilla, mikä on mielenkiintoinen poikkeama verrattuna kahteen muuhun kantavuusluokkaan, joissa painumia oli enemmän kokoojaurilla. Keskikantavalla maalla painumia oli tosin kaikista vähiten, joten se voi vääristää tulosta. Tätä tulosta voi osaltaan selittää se, että keskikantavaa maata kuvaavat korjuukelpoisuusluokat ovat kantavuutensa suhteen tavallaan rajatapauksia ja siksi arvaamattomampia kantavuudeltaan.

Kesäkorjuukohteilla urapainumat olivat jakautuneet kantavuusluokkien välillä melko tasaisesti ja niitä oli eniten kantavalla maalla, kuten kuviosta 5 voidaan havaita. Tämä johtune osittain siitä, että kesäkorjuukohteiksi valikoituu enemmän korjuukelpoisuuskartan mukaan kantavan maan leimikoita, joiden teoriassa tulisi kantaa paremmin, mutta esimerkiksi runsaat sateet voivat paikallisesti heikentää maan kantavuutta.

Urapainumia ei myöskään voi koskaan täysin välttää, joten siinäkin mielessä tulos on looginen, kun tiedetään, että näitä kantavan maan alueita hakataan kesäaikaan enemmän kuin heikommin kantavan maan alueita. Toisaalta tätä tulosta voi selittää yksinkertaisesti väärin määritetty korjuukelpoisuusluokka, eli virhe korjuukelpoisuuskartta-aineistossa, jolloin kartan mukaan kantava maa ei ole ollut oikeasti kantavaksi luokiteltavaa.

Kesäkorjuukohteilla urapainumat jakautuivat melko tasaisesti ajo- ja kokoojaurien välille, kuten kuviosta 6 havaitaan. Kuitenkin kokoojaurilla urapainumia oli enemmän. Kuviosta 7 on selvästi havaittavissa, että kesäkorjuukohteilla eniten painumia oli kantavan maan kokoojaurilla. Tätä tulosta selittänee se, että kokoojaurat keskitetään leimikon kantavimpiin osiin ja koska kokoojaurat ovat

ajouria suuremman kuormituksen kohteena, urapainumia kohdistuu niille enemmän. Tätä tulosta voi selittää myös virhe korjuukelpoisuuskartta-aineistossa.

Kesäkorjuukohteilla ajourapainumia oli eniten keskikantavalla maalla. Eikantavalla maalla ajourapainumia oli lähes yhtä paljon. Kesäkorjuukohteilla ajourien välinen jakauma kantavuuden mukaan vertailtuna oli huomattavasti tasaisempi kuin kokoojaurilla. Tämä johtunee siitä, että ajourat ovat huomattavasti pienemmällä kuormituksella ja siksi niitä ei välttämättä keskitetä työmaan kaikista kantavimmille kohdille. Tällöin ajourien kantavuuden välillä on enemmän vaihtelua, mutta urapainumia ei kuitenkaan tule yhtä herkästi kuin kantavalle maalle keskitetyille kokoojaurille, koska ajourat eivät joudu yhtä suuren kuormituksen kohteeksi kuin kokoojaurat.

Talvikorjuukohteilta mitatut painumat keskittyivät hyvin selvästi eikantavalle maalle, kuten kuviota 8 tarkasteltaessa on mahdollista huomata. Tätä selittänee se, että talvella hakataan enemmän leimikoita, joilla kantavuus on heikompaa. Toisaalta talvella muutenkin kantavaksi luokiteltu maa on roudan takia entistä kantavampaa, jolloin painumien esiintyminen näillä alueilla on epätodennäköisempää.

Talvikorjuukohteilla urapainumia oli selvästi enemmän kokoojaurilla kuin ajourilla kuten kuviosta 9 on nähtävissä. Tästä voi päätellä, että talvikorjuukohteilla kokoojaurat ovat ajouria vieläkin alttiimpia urapainumille verrattuna kesäkorjuukohteiden kokoojauriin, sillä kesäkorjuukohteilla jakauma oli huomattavasti tasaisempi näiden kahden uratyypin välillä.

Kuviossa 10 uratyyppejä ja korjuukelpoisuuskartan ilmoittamaa kantavuutta vertailtaessa talvikorjuukohteilla huomataan erittäin selvästi eikantavan maan kokoojaurien olleen kaikista alttiimpia urapainumille. Myös ajourien osalta tarkasteltuna huomataan, että ajourat jakautuivat talvikorjuukohteilla kesäkorjuukohteita selkeämmin siten, että eikantavalla maalla ajourapainumia oli kaikista eniten.

Suurimmaksi osaksi mitatut urapainumat sijaitsivat maastotarkastelun perusteella turvemaalla (kuvio 11). Kuviossa 12 tarkasteltaessa korjuukelpoisuuskartan ilmoittamaa kantavuusluokkaa ja maastossa havaittua maalajia kaikilla tutkimuksessa mukana olleilla työmailla huomataan, että kantavalla maalla olleet painumat ovat olleet suurimmaksi osaksi kivennäismaalla. Tämä oli myös lähtöoletus, sillä kantavan maan tulisi korjuukelpoisuusluokittelun mukaan ilmaista maastossa vain kivennäismaata ja ei-kantavan maan turvemaata. Suurimmaksi osaksi korjuukelpoisuuskartta siis piti paikkansa.

Ei-kantavalla maalla sijainneiden painumien maalajien välinen ero on selkeämpi kuin kantavalla maalla ja ei-kantavalla maalla suurin osa urapainumista on ollut turvemaalla. Tästä voidaan päätellä korjuukelpoisuuskartan pitävän paremmin paikkansa heikommin kantavaa maata ilmentäessään. Painumia on myös ollut enemmän ei-kantavalla maalla, joka osaltaan puoltaa tätä päätelmää.

Keskikantavalla maalla suurin osa painumista oli turvemaalla. Keskikantavan maan voidessa olla sekä kivennäis- että turvemaata, voi sen tuloksesta päätellä, että turvemaata on kivennäismaata heikommin kantavaa. On mielenkiintoista, että keskikantavalla maalla sijainneiden urapainumien havaittujen maalajien välillä on noinkin suuri ero, sillä keskikantava maa voi olla sekä kivennäis- että turvemaata. Toisaalta keskikantavalla maalla painumia oli vähemmän, joten se voi vääristää tulosta. Ei voi myöskään olettaa, että vaikka keskikantava maa tässä tutkimuksessa voi tarkoittaa sekä kivennäis- että turvemaata, että niiden osuudet tutkimusaineistossa olisivat jakautuneet tasan kantavuusluokan sisällä.

Kuviossa 13 suhde kesäkorjuukohteilla kantavalla maalla sijainneiden painumien maalajien välillä on lähes sama, kuin kaikilla mitatuilla painumilla, eli suurin osa kantavan maan painumista sijaitsi todellisuudessa kivennäismaalla. Ero on kuitenkin hieman pienempi, kuin kaikkia tutkimuksessa mukana olleita urapainumia vertaillaessa. Tästä voidaan todeta, että korjuukelpoisuuskartan korjuukelpoisuusluokitus ei pitänyt täysin paikkansa.

Ei-kantavalla maalla ja kesäkorjuukohteilla sijainneista painumista suurin osa oli turvemaalla sijainneita painumia. Ero on huomattavasti kantavaa maata selke-

ämpi, eli periaatteessa ei-kantavalla maalla korjuukelpoisuuskartta on tutkimusaineiston mukaan pitänyt paremmin paikkansa. Kesäkorjuukohteilla keskikantavalla maalla sijainneiden urapainumien välinen jakauma on lähes sama, kuin kaikkia mitattuja urapainumia tarkasteltaessa.

Kuviossa 14 tarkasteltaessa korjuukelpoisuuskartan ilmoittamaa korjuukelpoisuusluokkaa ja maastossa havaittua maalajia talvikorjuukohteilla huomataan, että kantavalla maalla sijainneet painumat ovat olleet kaikki kivennäismaalla. Tämä tarkoittaa sitä, että korjuukelpoisuuskartta on ilmoittanut korjuukelpoisuusluokituksen talvikorjuukohteilla kantavan maan osalta täysin oikein mitattujen urapainumien avulla tulkittuna. Tähän tulokseen ei kuitenkaan voi luottaa liikaa, sillä talvikorjuukohteiden kantavan maan urapainumien määrä on vain 42 metriä, mikä on melko vähän, jolloin tulos ei ole mielestäni kovin hyvin yleistettävissä.

Talvikorjuukohteilta mitatut ei-kantavalla maalla sijainneet urapainumat olivat suurimmaksi osaksi turvemaalla sijainneita painumia. Pientä määrää kivennäismaalla sijainneita urapainumia lukuun ottamatta, korjuukelpoisuuskartta piti hyvin paikkaansa talvikorjuukohteiden ei-kantavan maan luokituksen osalta urapainumien määrien avulla tulkittuna. Näiden havaintojen perusteella talvikorjuukohteilla korjuukelpoisuuskartta piti paremmin paikkansa kuin kesäkorjuukohteilla. Talvikorjuukohteilta mitattujen keskikantavalla maalla sijainneiden urapainumien maalajien välinen jakauma on kesäkorjuukohteilta ja keskikantavalta maalta mitattuja urapainumia tasaisempi.

Maalajin riippuvuus korjuukelpoisuuskartan ilmoittamaan kantavuusluokkaan on havaittavissa, kun aineiston taustamuuttujien riippuvuutta analysoidaan khiin neliö -testillä. Tämä havainto tutkimusaineistosta puoltaa korjuukelpoisuuskartan paikkansapitävyyttä, kun ajatellaan että kantava maa tarkoittaa kivennäismaata ja ei-kantava maa turvemaata. Toki tämä on melko karkea jako, mutta mielestäni se tuo hyvää näkökulmaa arvioitaessa korjuukelpoisuuskartan luotettavuutta.

Urapainumien syvyyksiä vertailtaessa kuviossa 15 on huomattavissa, että talvikorjuukohteilla urapainumat olivat kesäkorjuukohteiden painumiin verrattuna syvempiä. Tästä voidaan päätellä, että urapainumia oli hieman vähemmän talvikorjuun aikana, mutta jos niitä oli, olivat ne syvempiä kuin kesäkorjuukohteilla.

Urapainumien syvyyksien osalta kantavuuden perusteella vertailtuna oli jo ennalta oletettavissa, että ei-kantavalla maalla urapainumien keskisyvyys on suurempi kuin kantavalla maalla, kuten kuviota 16 tarkasteltaessa on mahdollista havaita. Yllättävää taas oli se, että syvimät painumat sijaitsivat keskikantavalla maalla. Tätä tulosta voisi selittää se, että keskikantavan maan alueet voivat olla hakkuiden aikaan vaikeammin arvioitavia, jolloin virhearvioiden riski maan kantavuuden suhteen kasvaa. Toisaalta ero ei-kantavaan kantavuusluokkaan on vain 0,2 cm, joten ero ei ole merkittävän suuri ja siitä voi päätellä keskikantavan maan olevan kantavuudeltaan tosielämässä samaa luokkaa ei-kantavan luokituksen alueiden kanssa.

Tarkasteltaessa uratyypin mukaan painumien syvyyksiä kuviossa 17, on mielenkiintoista, että kokoojaurilla sijaitsevien painumien syvyys oli pienempi kuin ajourilla sijaitsevien painumien, vaikka urapainumien määrä oli suurempi kokoojaurilla. Ehkä tässä lienee sama ilmiö kuin tarkasteltaessa urapainumien syvyyksiä kesä- ja talvikorjuukohteiden välillä, eli talvikorjuukohteilla painumia oli määrällisesti vähemmän, mutta ne olivat syvempiä kuin kesäkorjuukohteilta mitatut painumat. Tästä voisi päätellä, että ajourilla painumia ei esiinny yhtä paljon määrällisesti, mutta ne ovat kuitenkin syvyydeltään suurempia, kun niitä on. Toisaalta ero on vain 1 cm:n verran, joten se ei ole kovin suuri ero, ja se voi johtua virheestä, joka on seurausta aineiston pienuudesta.

Kuviossa 17 tarkastellaan myös maalajin mukaan urapainumien syvyyksiä ja siinä on selvästi havaittavissa ero kivennäis- ja turvemaan välillä. Kuten ennaltakin pystyi olettamaan, olivat urapainumat huomattavasti syvempiä turvemailla. Tämä kuvaa hyvin turvemaan heikompa kantavuutta verrattuna kivennäismaahan.

Keskeisimpiä havaintoja tutkimusaineiston analysoinnissa oli, että urapainumia oli enemmän kesäkorjuukohteilla, kuin talvikorjuukohteilla, kokoojaurat olivat urapainumille alttiimpia ja että useimmiten korjuukelpoisuuskartan korjuukelpoisuusluokitus maalajin avulla tarkasteltuna piti paikkansa.

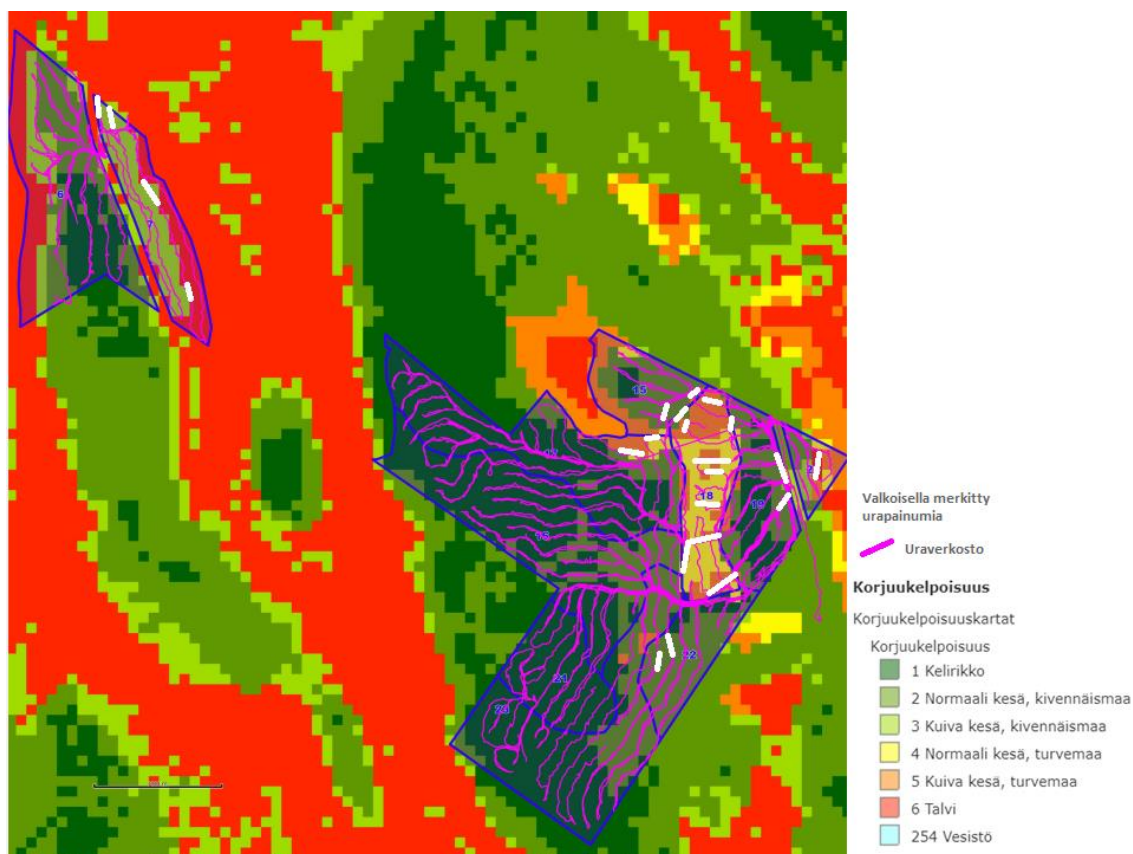
Kesäkorjuukohteilla urapainumia oli enemmän kantavalla maalla, ja sitä selittää osaltaan kesäkorjuukohteiden ollessa suurimmaksi osaksi kantavan maan leimikoita. Toisaalta tämä tulos voi johtua yksinkertaisesti väärästä korjuukelpoisuusluokituksesta, eli virheestä korjuukelpoisuuskartta-aineistossa. Vastavasti talvikorjuukohteilla urapainumat keskittyivät hyvin selvästi ei-kantavalle maalle, jota taas selittää se, että talvikorjuukohteet ovat yleensä lähtökohtaisesti heikommin kantavia kuin kesäkorjuukohteet ja roudan aikaan esimerkiksi keli-rikkokelpoiseksi määritelty kantava maa on vielä kantavampaa, kuin kesällä maan ollessa sula.

Tutkimuksessa ensimmäinen tutkimuskysymys oli: ”Kuinka paljon urapainumia tulee, kun ajo- tai kokoojaura sijaitsee kantamattomalla maalla verrattuna kantavaan maahan?”. Vastaus tähän tutkimuskysymykseen oli, että 52 % kaikista tutkimuksessa mitatuista urapainumista sijaitsi ei-kantavalla maalla ja 29 % kantavalla maalla. Keskikantavalla maalla urapainumia oli 19 % kaikista painumista. Oli siis selvästi havaittavissa, että eniten urapainumia oli kaiken kaikkiaan ei-kantavalla ja keskikantavalla maalla yhteensä. Vertaillessa ajo- ja kokoojaurien välistä eroa (kuvio 3) huomattiin, että kokoojaurilla painumia oli enemmän (61 %) kuin ajourilla (39 %).

Kimmo Olkinuoran opinnäytetyön (2018, 37) tutkimuksessa urapainumia oli eniten kuivan kesän, turvemaa ja talvi -korjuukelpoisuusluokissa, jotka vastaavat tässä tutkimuksessa käytetyn kantavuusluokituksen mukaista ei-kantava -luokkaa. Tulos on yhtenevä tämän tutkimuksen kanssa, sillä tässäkin tutkimuksessa kantavuuden mukaan luokiteltuna eniten urapainumia oli ei-kantavassa kantavuusluokassa. Samoin myös Turpan ja Viitalan opinnäytetyön (2019, 22) tutkimuksessa mitatuista urapainumista suurin osa sijaitsi tämän tutkimuksen mukaisen kantavuusluokituksen ei-kantavalla korjuukelpoisuusluokituksella.

Korjuujälki tutkimuksessa mukana olleilla työmailla oli yleisesti ottaen hyvä. Tutkimukseen valittiin ainoastaan työmaita, joilla oli urapainumia. Joillakin kohteilla painumia oli huomattavasti enemmän kuin toisilla, mutta tällöin ne olivat tyypillisesti alueellisesti keskittyneet tietylle kohdalle ja näissä kohdissa, joissa painumia oli, oli maan kantavuus heikompaa, tai urapainuman lähellä oli heikommin kantavaa maata. Tämä osoittaa hyvin korjuukelpoisuuskartan pitävän useimmiten paikkansa. Lisäksi mikäli urapainumia oli paljon jossain kohdassa, oli se tyypillisesti maalajiltaan turvemaata.

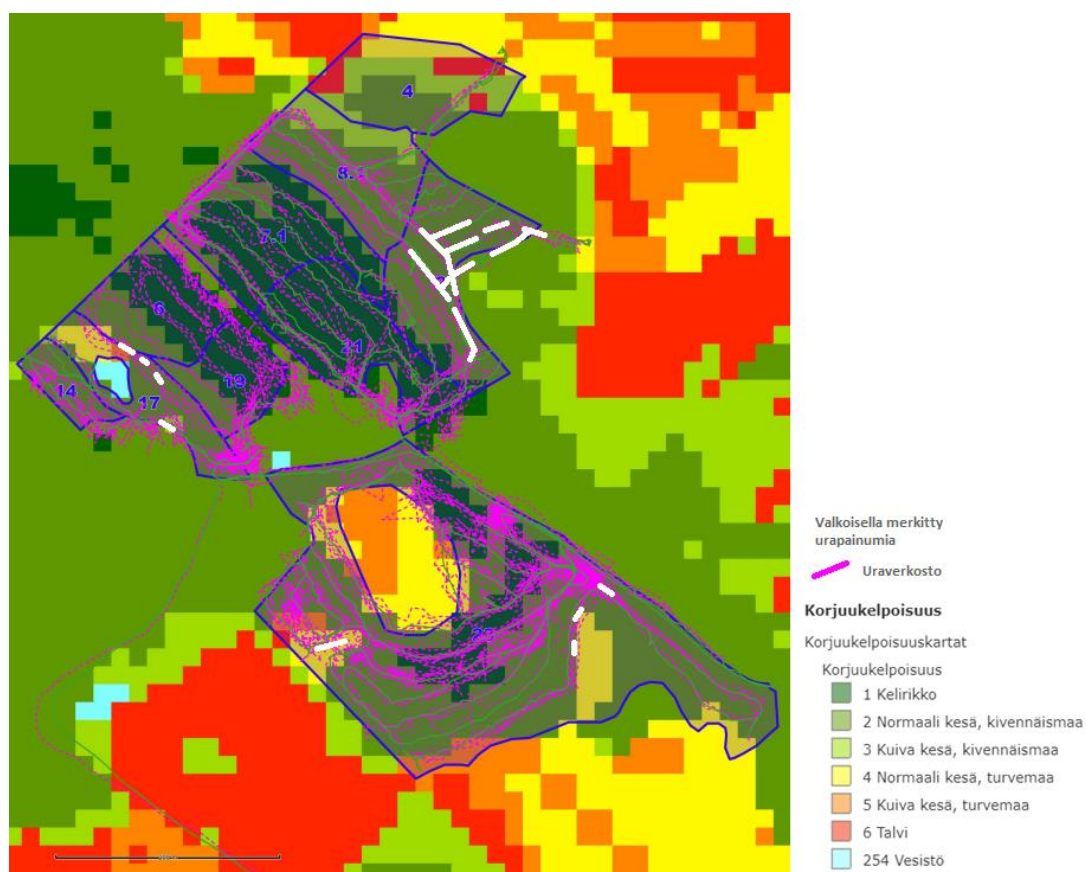
Eetu Myllylän opinnäytetyössä (2019) tutkittiin korjuukelpoisuuskartan luotettavuutta pienessä mittakaavassa tapaustutkimuksen avulla. Tutkimuksen tulos oli, että korjuukelpoisuuskartta toimii hyvin määriteltäessä leimikon korjuukelpoisuutta karkealla tasolla, mutta tarkempaan määrittelyyn se ei Myllylän tutkimuksen mukaan vielä yltänyt. (Myllylä 2019, 34.)



Kuva 12. Esimerkkikuva korjuukelpoisuuskartasta, jossa näkyy työmaan kuviorajat ja ajouraverkosto.

Kuvassa 12 ajouraverkoston on merkitty valkoisella urapainumien sijainti. Kartasta näkee selvästi urapainumien keskittyvän erityisesti metsikkökuviolle nro 18, jolla kantavuus on ympäröiviä kuvioita heikompaa. Myös muualla tällä työmaalla sijainneet urapainumat ovat joko heikosti kantavalla maalla tai sellaisen alueen läheisyydessä, jossa kantavuus on heikompaa. Useimmiten muillakin tutkimuksessa mukana olleilla työmailla urapainumat jakautuvat kuten kuvassa 12.

Eräällä tutkimuksessa mukana olleella työmaalla korjuukelpoisuuskartta kuvasi normaalin kesän kivennäismaan luokitusta, mutta todellisuudessa alueella olikin turvemaata ja kyseiseltä alueelta löytyi suhteellisen runsaasti urapainumia verrattuna ympärillä olevaan alueeseen, joka oli pääosin kivennäismaata. Näin ollen tässä nimenomaisessa kohdassa korjuukelpoisuuskartta ilmensi virheellistä korjuukelpoisuusluokkaa, ja tämä onkin hyvä esimerkki siitä, että korjuukelpoisuuskartta ei ole täysin virheetön.



Kuva 13. Kohde, jolla korjuukelpoisuuskartta näytti väärää korjuukelpoisuusluokitusta.

Kuvassa 13 urapainumia (valkoiset merkinnät) on keskittynyt runsaasti kohtaan, jossa korjuukelpoisuuskartta oli määritellyt kivennäismaan korjuukelpoisuusluokan, mutta todellisuudessa alueella olikin turvemaata. Muualla tällä työmaalla olleet urapainumat sijaitsivat keskikantavan korjuukelpoisuusluokituksen alueella tai sen lähellä.

Yleisesti ottaen tämän tutkimuksen tulosten perusteella korjuukelpoisuuskartan voi todeta toimivan hyvänä ja luotettavana apuvälineenä puunkorjuun suunnittelussa ja korjuuajankohdan valinnassa. Puunkorjuun suunnittelussa leimikon korjuukelpoisuutta määrittää kuitenkin myös leimikon saavutettavuus teiden osalta, joten senkään takia pelkkään korjuukelpoisuuskartan antamaan tietoon ei voi nojata. Maastossa havaittujen urapainumien maalajin ja korjuukelpoisuuskartan ilmoittaman kantavuusluokan välillä oli havaittavissa tilastollinen yhteys analysoitaessa aineistoa khiin neliö -testillä, joka puoltaa korjuukelpoisuuskartan luotettavuutta.

Myös maastomittausten aikana oli selvää, että korjuukelpoisuuskartta pitää maalajin ja korjuukelpoisuusluokituksen osalta hyvin usein paikkansa. Maastossa pystyi useamman mittauskohteen jälkeen jo ennalta oletamaan, mistä painumia mahdollisesti löytyisi. Toki kaikki työmaat käytiin silti läpi yhtä tarkasti, vaikka tällaisia ennako-oletuksia oli mahdollista tehdä.

Täysin korjuukelpoisuuskartan antamaan tietoon kohteen maalajista ja korjuukelpoisuusluokituksesta ei kuitenkaan voi luottaa, kuten on havaittu myös Turpan ja Viitalan opinnäytetyössä (2019, 31), jossa korjuukelpoisuuskartan todettiin pääosin pitävän hyvin paikkansa muutamia virheitä lukuun ottamatta. Sama virheiden mahdollisuus oli huomattu myös Kimmo Olkinuoran opinnäytetyössä (2018, 49), jossa korjuukelpoisuuskartan luokitus piti paikkansa 76 prosenttisesti tarkastelluilla korjuulohkoilla.

Metsätehon tuloskalvosarjassa (2019), jossa käsiteltiin korjuukelpoisuuskarttojen hyödynnettävyyttä puunkorjuun suunnittelussa, todettiin että korjuukelpoisuuskartta soveltuu parhaiten suuremman leimikkojoukon keskinäiseen priorisointiin. Lisäksi korjuukelpoisuuskartta toimii myös leimikoiden yksittäisten riski-

kohtien tunnistamiseen. Korjuukelpoisuuskartan tarkkuuden ei havaittu olevan riittävä yksityiskohtaisen ajourasuunnittelun tarpeisiin, mutta siitä voi olla apua esimerkiksi varastopaikkojen sijoittelussa tai vaihtoehtoisten kulkuyhteyksien muodostamisessa. (Poikela 2019b, 23.)

Tämän tutkimuksen perusteella voi esittää yllä olevan kaltaisia käytännön päätelmiä korjuukelpoisuuskartan hyödyntämisestä puunkorjuun suunnittelussa. Erityisesti tämän tutkimuksen tulokset korostavat kokoojaurien sijoittelun merkitystä niiden ollessa ajouria huomattavasti alttiimpia urapainumille. Maastokäynnin ja korjuukelpoisuuskartan avulla olisi hyvä hahmotella mahdollisia sijainteja kokoojaurille ja varastopaikalle vieville reiteille.

Luonnonvarakeskuksen, Metsäteho Oy:n, Arbonaut Oy:n, Helsingin yliopiston, Itä-Suomen yliopiston ja Geologian tutkimuskeskuksen toteuttamassa tutkimuksessa (2019) korjuukelpoisuuskarttojen korjuukelpoisuusluokituksen todettiin olevan luotettava. Tutkimuksessa korjuukelpoisuuskartan luokituksen luotettavuutta arvioitiin maastossa suoritettujen korjuuvauriomittausten avulla. Tutkimuksen analyysissä oli mukana 67 harvennushakkuukuviota kolmelta eri tutkimusalueelta. Kuvioilta mitattiin 225 kpl 30 m:n pituista hakkuukoneuraa. Urapainumamittaukset oli sijoiteltu urille niin, että yksittäisellä uralla oli vain yksi korjuukelpoisuusluokka ja kultakin uralta mitattiin kaikkien yli 1 m:n pituisten painumien kokonaispituus, kun painuma oli yli 10 cm syvä kivennäismailla ja yli 20 cm syvä turvemailla. (Luonnonvarakeskus ym. 2019, 5.)

Korjuukelpoisuusluokitus oli tämän tutkimuksen mukaan kuitenkin hieman konservatiivinen. Tämä johtui siitä, että valtaosa tutkimuksessa olleista hakkuukuviosta (93,8 %) harvennettiin ilman Metsälain määrittämiä rajoja ylittäviä vaurioita, jos kuvion hakkuuajankohta vastasi korjuukelpoisuuskartan korjuukelpoisuusluokkaa. (Luonnonvarakeskus ym. 2019, 5–6.)

Pääosin maan kantavuustieto tässä tutkimuksessa hankittiin korjuukelpoisuuskartasta. Kuitenkin joillakin kohteilla tarkasteltiin vertailun vuoksi myös GTK:n maaperäaineistoa ja kosteusindeksikartan aineistoa.

Havainnot GTK:n maaperäaineistoista olivat, että ne eivät yksistään olleet riittävän tarkkoja ja kuvaavia vaan kattoivat suuria alueita. Koska yhden työmaan sisällä vaihtelu maan kantavuuden suhteen saattoi olla hyvinkin suurta, ei tämä aineisto yksistään tuonut juurikaan apua maan kantavuuden arviointiin. Maaperäkartta luokittelee kuitenkin maalajin tarkemmin kuin korjuukelpoisuuskartta, joka tunnistaa ainoastaan kivennäis- ja turvemaan, jolloin yhdessä korjuukelpoisuuskartan kanssa maaperäaineisto tuo lisähyötyä maan kantavuuden arviointiin.

Kosteusindeksikarttaa taas oli vaikea käyttää tässä tutkimuksessa, sillä siihen oli hankalaa kohdistaa työmaita. Tämän takia kartan antamaa informaatiota oli vaikeaa hyödyntää käytännössä. Korjuukelpoisuuskarttaan verrattuna kosteusindeksikartta sopineekin yksittäisten kohtien kuten, purojen norojen ja lähteiden yms. kosteampien ja huonosti kantavien kohtien, paikantamiseen paremmin kuin kokonaisten työmaiden kantavuuden arviointiin ja ajouraverkoston muodostamiseen. Toki kosteusindeksikartta toimii yksittäisenä apuvälineenä siihenkin. Aura Salmivaaran webinaarissa (2020, 7) käsiteltiin kosteusindeksikarttaa vesiensuojelun työkaluna ja esiteltiin samankaltaisia käyttöehdotuksia kuin tämänkin tutkimuksen yhteydessä tehdyssä pohdinnassa.

## 8.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen analyysia varten saatiin kerättyä laaja joukko havaintoyksiköitä, eli urapainumia. Työmaat, joilta urapainumat mitattiin, sijaitsivat suhteellisen laajalla alueella, joskin korjuukelpoisuuskartan alueellinen kattavuus rajoitti kohteiden valintaa, sillä Sotkamon kohdalla korjuukelpoisuuskartta on vielä osittain kesken. Kartan täydentymisen jälkeen havaintoyksiköiden hankinta laajemmalla alueelta olisi mahdollista suorittaa tätä tutkimusta tasaisemmin ja tulokset olisivat mielestäni tällöin entistä luotettavampia ja siten paremmin yleistettävissä.

Urapainumia saatiin mitattua niin kivennäis- kuin turvemaaltakin. Kausivaihtelu huomioitiin tässä tutkimuksessa, sillä työmaat, joilta painumat mitattiin, olivat sekä kesä- että talvikorjuukohteita. Kesäkorjuukohteita oli kaikkien tutkimus-

sa mukana olleiden työmaiden pinta-aloihin suhteutettuna 61 % ja talvikorjuukohteita 39 %. Tämä kesäkorjuukohteiden suurempi määrä saattaa hieman vaikuttaa tuloksiin vääristäen niitä.

Analyysimenetelminä käytetyt ristiintaulukointi ja khiin neliö -testi antoivat mielestäni kuvaavaa ja luotettavaa tietoa tutkimuksen tuloksiksi, sillä tutkimusryhmä oli laaja. Toki tilasto ei kerro kaikkea ja virheiden mahdollisuus on aina olemassa. Kaiken kaikkiaan tulokset kuitenkin vähintään antavat suuntaa korjuukelpoisuuskartan hyödynnettävyydestä harvennushakkuiden suunnittelun apuna kertomalla varsinkin vieraammista kohteista ennakkotietoa ennen varsinaista maastohavainnointia, jota korjuukelpoisuuskartta ei kuitenkaan korvaa.

### **8.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet**

Vastaava tutkimus voitaisiin toistaa myöhemmin uudelleen aineistojen täydentymisten jälkeen, eli kunhan korjuukelpoisuuskartta kattaa koko Sotkamon kunnan alueen. Tämän opinnäytetyön tuottamia tietoja voisi hyödyntää vastaavissa tutkimuksissa vertailutietona. Lisäksi korjuukaluston painon vaikutuksia voisi arvioida vastaavissa tutkimuksissa, sillä se toisi lisää näkökulmaa ja tietoa korjuukelpoisuuskartan käytännön toimivuudesta erilaisissa toimintaympäristöissä.

Jatkossa tähän opinnäytetyöhön liittyen voitaisiin myös tutkia, kuinka paljon leudot talvet ja runsaat sateet vaikuttavat edelleen korjuujälkeen ja leimikon suunnittelun merkitykseen Kainuun alueella. Siten voitaisiin tuottaa vertailutietoa myös ilmastonmuutoksen vaikutusten seuraamisen tueksi. Tämän aiheen ympärillä voitaisiin edelleen tutkia maankantavuutta ja korjuukelpoisuutta ilmenevien paikkatietoaineistojen luotettavuutta ja muuttuvatko ne ilmastonmuutoksen edetessä.

## Lähteet

- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, J. & Siren, M. 2008. Nykykalustolla turvemaisten puunkorjuuseen. Metlan työraportteja. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Alakukku, L. 2013. Maan rakenne -tärkeä osa viljelyä ja ympäristön hoitoa. Koh-  
taavatko maatalouden taloudellisuus ja ympäristöystävällisyys? Bal-  
ticDeal-, Ravi- ja Peltonen -hankkeet ja WWF Suomi seminaari. Hel-  
singin yliopisto.
- Puunkorjuu. 2022. Puunkorjuu. Suomen Metsäyhdistys.  
<https://forest.fi/fi/sanasto/puunkorjuu-harvesting/>. 17.2.2022.
- Forest Stewardship Council. 2011. Suomen FSC-standardi.
- Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. 2005. Tuottava metsänkasvatus. Hel-  
sinki: Metsäkustannus Oy.
- Ittiläinen, P., Hyppölä, A., Kariniemi, A., Nieminen, T., Poikela, A., Ranta, A.,  
Roininen, K., Rumpunen, H., Tolonen, H. & Äijälä, O. 2003. Korjuu-  
jälki harvennushakkuussa -opas. Helsinki: Metsäteho Oy.
- John Deere. 2022. Metsäkoneet. <https://www.deere.fi/fi/metsakoneet/>.  
15.10.2022.
- Järnstedt, L. 2020. Opinnäytetyö. Ajourasuunnittelun hyödyntäminen puunkor-  
juussa. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Kjellberg, L. 2018. Korjuuapua pehmeille maille. Metsälehti.  
[https://www.metsalehti.fi/artikkelit/korjuuapua-pehmeille-  
maille/#227b1eee](https://www.metsalehti.fi/artikkelit/korjuuapua-pehmeille-maille/#227b1eee). 20.3.2022.
- Komatsu. 2022. Komatsu-metsäkoneet. [https://www.komatsuforest.fi/komatsu-  
mets%C3%A4koneet](https://www.komatsuforest.fi/komatsu-mets%C3%A4koneet). 15.10.2022.
- Koppa (Jyväskylän yliopisto). 2022. Menetelmäpolkuja humanisteille. Menetel-  
mäpolku. Poikittaistutkimus.  
[https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/t  
utkimusstrategiat/poikittaistutkimus](https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/poikittaistutkimus). 15.11.2022.
- Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maa-  
luokitus. Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 14. Otaniemi: Valtion  
teknillinen tutkimuskeskus.
- KvantiMOTV. 2022. Ristiintaulukointi.  
[https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/ristiintaulukointi/ristiintauluko  
inti.html](https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/ristiintaulukointi/ristiintaulukointi.html). 3.11.2022.
- Lehtonen, I., Venäläinen, A. & Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutuk-  
set Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Helsinki: Ilmatieteen lai-  
tos.
- Leivo, J., Partanen, J., Hytönen, H., Haataja, L., Pirkkonen, J., Partamies, M.,  
Santapukki, R. & Nousiainen, M. 2022. Tarkastusohje. Suomen met-  
säkeskus.
- Leppäranta, M., Virta, J. & Huttula, T. 2017. Hydrologian perusteet. Helsinki:  
Helsingin yliopisto.  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/241220/Hydrologian%  
20perusteet.pdf?sequence=12&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/241220/Hydrologian%20perusteet.pdf?sequence=12&isAllowed=y).
- Luonnonvarakeskus. 2022a. Metsätuhot. [https://www.luke.fi/tietoa-  
luonnonvaroista/metsa/metsatuhot/](https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsatuhot/). 20.3.2022.

- Luonnonvarakeskus. 2022b. Hakkuukertymä ja puuston poistuma alueittain 2021. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-alueittain-2021>. 24.8.2022.
- Luonnonvarakeskus, Metsäteho Oy, Arbonaut Oy, Helsingin yliopisto, Itä-Suomen yliopisto & Geologian tutkimuskeskus. 2019. Metsäoperaatioiden tehostaminen ja laadun parantaminen olosuhdetiedon hyödyntämisen avulla -MEOLO. Maa- ja metsätalousministeriö. <https://urly.fi/2SEi>.
- MetsäForest. 2022. Uudistushakkuusta kertyvät suurimmat tulot. <https://www.metsaforest.com/fi/Metsanhoito/Pages/Uudistushakkuu.a.spx>. 19.3.2022.
- Metsäinen. 2022. Siemenpuuhakkuu. <http://www.xn--metsinen-3za.fi/tasaikaisrakenteisen-metsanhoito/uudistushakkuu/siemenpuuhakkuu/>. 19.3.2022.
- Metsäkeskus. 2022. Metsänkasvatus ja kasvatushakkuut. <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsanhoito-ja-hakkuut/metsankasvatus-ja-kasvatushakkuut>. 19.3.2022.
- Metsälaki 1093/1996.
- Metsänhoidon suositukset. 2022. Metsän uudistaminen ja kasvatus jatkuvassa kasvatuksessa. Tapio. <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/metsan-uudistuminen-ja-kasvatus-jatkuvassa-kasvatuksessa>. 4.4.2022.
- Metsänhoidon suositukset. 2022. Kasvupaikkatyypin tunnistaminen. Tapio. <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/kasvupaikkatyypin-tunnistaminen>. 15.11.2022.
- Metsäteho Oy. 2006. Kasvatettavan puuston määräitys koneellisessa harvennuksessa. Helsinki: Metsäteho Oy.
- Middleton, M., Hyvönen, E., Sutinen, R., Palmu, J.-P., Harju, A., Auri, J. & Markkovaara-Koivisto, M. 2022. Maaperätiedon hyödyntäminen metsänhoidossa. GTK.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H. M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. 2014. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013.
- Myllylä, E. 2019. Opinnäytetyö. Pehmeiden maiden kesäaikaiset harvennushälytykset. Rovaniemi: Lapin ammattikorkeakoulu.
- Olkinuora, K. 2018. Opinnäytetyö. Korjuukelpoisuuskartta puunhankinnan operaatioiden työvälineenä. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Ovaskainen, H. 2012a. Puuhuolto. Koneellinen puunkorjuu -opas. Metsäteho Oy. <https://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/>.
- Ovaskainen, H. 2012b. Työmallit koneellisessa puunkorjuussa. Helsinki: Metsäteho Oy.
- Ovaskainen, H. & Schildt, V. 2022a. Korjuun suunnittelu. Korjuuajankohdan valinta. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/leimikon-suunnittelu/korjuuajankohdan-valinta/>. 15.11.2022.
- Ovaskainen, H. & Schildt, V. 2022b. Korjuun suunnittelu. Varastopaikat ja tiet. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/leimikon-suunnittelu/varastopaikat-ja-tiet/>. 15.11.2022.
- PEFC Suomi. 2014. PEFC-metsäsertifiointin kriteerit. Helsinki.

- Piri, T., Selander, A., Hantula, J. & Kuitunen, P. 2019. Juurikäpätuhojen tunnistaminen ja torjunta. Suomen metsäkeskus.
- Poikela, A. 2019a. Sulan maan aikaisen puunkorjuun edellytykset turvemailla. Metsäteho Oy. <https://www.slideshare.net/Metsakeskus/sulan-maan-aikaisen-puunkorjuun-edellytykset-turvemailla>.
- Poikela, A. 2019b. Korjuukelpoisuuskartat suunnittelun tukena. Metsätehon tulosalvosarja 15/2019. Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja\\_2019\\_15\\_Korjuukelpoisuuskartat\\_suunnittelun\\_tukena.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2019_15_Korjuukelpoisuuskartat_suunnittelun_tukena.pdf).
- Ponsse. 2022. <https://www.ponsse.com/fi/etusivu#/>. 15.10.2022.
- Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K.-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H., & Tolonen, A. 2011. Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 67.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. Helsinki: Ilmatieteen laitos.
- Salmi, M., Räisänen, T. & Hämäläinen, J. 2013. Kosteusindeksi puunkorjuun olosuhteiden ennakkoinnissa. Kosteusindeksin laskennan kuvaus ja pilottitutkimuksen tulokset. Metsäteho Oy.
- Salmivaara, A. 2020. Miten käytät kosteusindeksikarttoja puunkorjuun suunnitteluun ja suojavyöhykkeiden rajaukseen. Luonnonvarakeskus. [https://www.metsa.fi/wp-content/uploads/2020/09/22092020\\_2-Aura-Salmivaara.pdf](https://www.metsa.fi/wp-content/uploads/2020/09/22092020_2-Aura-Salmivaara.pdf).
- Seppänen, M. 2022. Korjuukelpoisuuskarttojen hyödyntämismahdollisuudet, käyttäjänäkökulma. Metsämaa ja kestävä metsänhoito -webinaari 18.2.2022. Metsänhoitoyhdistys Etelä-Savo.
- Turppa, V. & Viitala, J. 2019. Opinnäytetyö. Paikkatietoaineistojen hyödyntäminen korjuun suunnittelussa ja toteutuksessa. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Turunen, J. & Ovaskainen, H. 2018. Hiljainen tieto lähikuljetuksen ajourasuunnittelussa. Metsätehon tulosalvosarja 10/2018. Metsäteho Oy. [https://www.researchgate.net/publication/328345592\\_Hiljainen\\_tieto\\_lahikuljetuksen\\_ajourasuunnittelussa\\_Tacit\\_knowledge\\_of\\_extraction\\_road\\_planning\\_in\\_forwarding](https://www.researchgate.net/publication/328345592_Hiljainen_tieto_lahikuljetuksen_ajourasuunnittelussa_Tacit_knowledge_of_extraction_road_planning_in_forwarding).
- Uotila, A. & Kankaanhuhta, V. 1999. Metsätuhojen tunnistus ja torjunta. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.
- Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä 1308/2013.
- Venäläinen, P., Alanne, H., Ovaskainen, H., Poikela, A. & Strandström, M. 2018. Kausivaihtelun kustannukset ja vähentämiskeinot puun toimitusketjussa. Metsäteho Oy. [https://www.researchgate.net/publication/322951940\\_Kausivaihtelun\\_kustannukset\\_ja\\_vahentamiskeinot\\_puun\\_toimitusketjussa](https://www.researchgate.net/publication/322951940_Kausivaihtelun_kustannukset_ja_vahentamiskeinot_puun_toimitusketjussa).
- Venäläinen, P., Melkas, T., Ovaskainen, H. & Strandström, M. 2022. Puuhuolto. Varastointiopas. Metsäteho Oy. <https://puuhuolto.fi/varastointiopas/johdanto/terminologia/>. 20.2.2022.

## Mitatut urapainumat

maalaji	kantavalla?	kokooja?	pituus, m	syvyys, cm
tm	ei	ei	4,0	25,0
tm	ei	ei	6,5	15,0
km	kyllä	kyllä	10,5	12,0
km	kyllä	kyllä	10,5	12,0
km	kyllä	kyllä	3,5	15,0
tm	ei	ei	5,5	20,0
tm	ei	ei	27,0	30,0
tm	keskikantava	ei	23,5	35,0
tm	keskikantava	ei	20,5	30,0
tm	keskikantava	ei	6,0	30,0
tm	keskikantava	ei	8,0	20,0
tm	keskikantava	kyllä	60,0	25,0
tm	ei	ei	14,0	15,0
tm	ei	kyllä	64,0	25,0
km	kyllä	ei	15,5	20,0
km	kyllä	ei	3,0	15,0
tm	keskikantava	ei	15,0	20,0
tm	ei	ei	8,0	15,0
tm	ei	ei	50,0	25,0
tm	ei	ei	8,0	20,0
tm	ei	kyllä	27,0	20,0
km	ei	ei	4,8	17,0
km	ei	ei	3,0	15,0
km	ei	ei	1,8	20,0
km	keskikantava	kyllä	3,0	12,0
km	keskikantava	kyllä	1,0	15,0
km	kyllä	kyllä	5,2	30,0
km	keskikantava	kyllä	12,0	35,0
tm	ei	kyllä	30,0	15,0
km	kyllä	kyllä	100,0	25,0
tm	ei	kyllä	55,0	15,0
km	kyllä	kyllä	5,0	25,0
km	kyllä	kyllä	63,0	24,0
tm	kyllä	kyllä	19,0	17,5
tm	kyllä	ei	65,0	20,0
tm	kyllä	ei	3,0	15,0
tm	kyllä	ei	4,0	15,0
tm	kyllä	kyllä	68,0	27,5

tm	kyllä	ei	8,0	10,0
tm	kyllä	ei	11,0	15,0
tm	keskikantava	ei	55,0	20,0
km	keskikantava	ei	25,0	23,0
km	kyllä	ei	11,5	30,0
km	kyllä	ei	4,0	20,0
km	ei	ei	7,0	17,0
km	keskikantava	kyllä	7,0	15,0
km	kyllä	kyllä	6,0	10,0
km	kyllä	kyllä	7,5	15,0
km	kyllä	kyllä	3,5	15,0
tm	keskikantava	ei	40,0	25,0
km	ei	ei	2,0	15,0
km	keskikantava	kyllä	7,1	12,5
km	kyllä	kyllä	7,0	15,0
km	kyllä	ei	10,1	25,0
tm	ei	kyllä	8,5	15,0
km	ei	kyllä	4,0	15,0
tm	ei	kyllä	5,5	15,0
km	kyllä	kyllä	7,0	12,0
km	ei	ei	5,0	50,0
km	ei	ei	2,0	15,0
km	ei	ei	2,5	15,0
km	ei	kyllä	4,9	20,0
km	ei	ei	22,0	25,0
km	ei	ei	13,0	15,0
km	ei	kyllä	6,2	15,0
km	keskikantava	ei	1,0	15,0
			<b>1126,1</b>	<b>19,6</b>

maalaji	kantavalla?	kokooja?	pituus, m	syvyys, cm
tm	ei	kyllä	2,5	15,0
tm	ei	kyllä	7,5	30,0
tm	ei	kyllä	30,0	30,0
tm	ei	kyllä	10,5	20,0
tm	ei	kyllä	21,5	25,0
tm	ei	kyllä	5,5	25,0
tm	ei	kyllä	4,0	15,0
km	kyllä	ei	14,0	15,0
km	kyllä	kyllä	26,0	20,0
tm	ei	ei	17,0	17,0
tm	ei	ei	12,0	25,0
tm	ei	kyllä	2,5	25,0
tm	ei	kyllä	4,2	30,0

tm	ei	kyllä	27,6	35,0
tm	ei	kyllä	15,0	20,0
tm	ei	kyllä	29,9	30,0
tm	ei	kyllä	25,0	30,0
km	keskikantava	kyllä	14,6	25,0
km	ei	ei	24,3	25,0
tm	ei	kyllä	10,9	20,0
tm	ei	kyllä	15,2	10,0
tm	ei	kyllä	22,5	35,0
km	ei	kyllä	10,0	20,0
tm	ei	kyllä	7,0	15,0
tm	ei	ei	27,0	37,5
tm	ei	ei	16,0	25,0
tm	ei	ei	7,5	35,0
tm	ei	ei	7,0	35,0
km	ei	ei	18,5	30,0
tm	ei	kyllä	43,0	30,0
tm	ei	kyllä	7,5	15,0
tm	keskikantava	ei	8,0	15,0
tm	keskikantava	kyllä	3,0	20,0
km	kyllä	ei	2,0	15,0
tm	ei	kyllä	5,0	25,0
km	ei	kyllä	8,5	15,0
tm	keskikantava	kyllä	7,0	30,0
tm	keskikantava	kyllä	4,0	25,0
tm	ei	kyllä	15,0	25,0
tm	ei	kyllä	15,0	15,0
tm	ei	kyllä	23,0	25,0
			<b>576,2</b>	<b>24,4</b>

Maalaji on määritelty joko kivennäismaaksi "km" tai turvemaaksi "tm". Taulukon tulkintaa helpottamaan on turvemaalla sijainneiden painumien rivit merkitty punaisella korostusvärillä.

Painuman kantavuus on määritelty kolmen tutkimuksessa vertailun kantavuusluokan mukaan joko kantavaksi "kyllä", keskikantavaksi tai ei-kantavaksi "ei". Uratyypit on määritelty joko kokoojauraksi "kyllä" tai ajouraksi "ei".

Kunkin mitatun painuman pituus on ilmoitettu metreinä ja keskimääräinen syvyys senttimetreinä. Taulukoiden lopussa on ilmoitettu urapainumien yhteenlasketut pituudet ja keskisyyvytykset kesä- ja talvikorjuukohteilla erikseen.