

**AUTOMAATTISEN 3D-KONEOHJATUN KYLMÄJYRSINNÄN
EDELITYKSET**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK
syksy, 2022
Juuso Norri

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Tiivistelmä

Tekijä Juuso Norri

Vuosi 2022

Työn nimi Automaattisen 3D-koneohjatun kylmäjyrsinnän edellytykset

Ohjaaja Hannu Elväs, Niina Kovanen

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda työohje automaattiselle 3D-koneohjatulle kylmäjyrsinnälle ja käydä läpi edellytykset sen onnistuneelle toteutukselle.

Hyvä tieprofiili on liikenteen käyttäjän turvallisuutta lisäävä ja tien ylläpidon kannalta tärkeä tekijä. Teiden 3D-mallintamisella ja toteuttamalla niiden päällystysten korjaus koneohjauksella saavutetaan suunniteltu tien geometria tarkasti. Tiekannan kunto on vuosien ja korjausvelan kasvamisen johdosta ajautunut uhkaavaan tilaan, josta liikenteenkäyttäjät kärsivät eniten. Automaattinen koneohjaus on osa tiekannan digitalisaatiota.

Työ sisältää automaattisen koneohjatun kylmäjyrsinnän työvaiheet koneohjausmallin luomisesta eteenpäin. Työssä käydään läpi keskeisimmät huomioon otettavat kohdat, jotta automaattinen koneohjaus onnistuu tavoitteiden mukaisesti.

Opinnäytetyöstä saatavan tuloksen on tarkoitus olla automaattisen koneohjauksen oppaana ja muistilistana. Työn lähteinä on käytetty alan julkaisuja aiheesta ja koneohjattujen kylmäjyrsintäkohteiden johtamisesta syntyneitä omakohtaisia kokemuksia ja huomioita.

Automaattisella 3D-koneohjatulla kylmäjyrsinnällä ei vielä pystytä toteuttamaan kunnostuskohteita asetetuissa raameissa. Mittatarkkuus työljäljessä ei vielä ole halutulla tasolla, ja koneohjaukseen liittyy työhön vaikuttavia muuttujia liikaa. Koneohjausta voidaan käyttää opastettuna, jossa muuttujat eivät vaikuta lopputulokseen olennaisesti, jotta saavutetaan 3D-mallin mukainen tieprofiili, mutta työmäärä tälle on suurempi.

Avainsanat 3-D mallinnus, koneohjaus, kylmäjyrsintä, asfaltti

Sivut 21 sivua

Degree Programme in Construction Engineering

Abstract

Author Juuso Norri

Year 2022

Subject Requirements for automated 3D-guided cold milling

Supervisors Hannu Elväs, Niina Kovanen

The goal of this Bachelor's thesis is to make guidelines for automated 3D-guided cold milling and to determine the requirements for a successful implementation of it.

A good geometry for a road improves the safety for the user of the road and it is a key factor for the maintenance of the road. The planned geometry of the road can be achieved with 3D-guided milling very precisely. The conditions of roads in Finland have deteriorated over time because of lack of funding leading to the roads to be in a state that can have a negative effect on the average road user. Automated 3D-guided milling is a part of the program to digitalize the roads in Finland.

In this thesis the processes and key factors of the work site are examined to ensure that the goal is reached.

The results of the thesis should work as a set of instructions and a checklist for automated 3D-guided cold milling. The sources used in this thesis are from publications of the subject and personal experiences and notes from managing cold milling projects done with the help of 3D-guiding.

The state of automated 3D-guided cold milling at the start of 2020s is not yet at the level where we can safely be operating in the set parameters. The measurement precision of 3D-guided milling is not precise enough and there are too many factors affecting it. 3D-guiding can still be used as instructions for the milling to obtain the wanted profile of the road, but the workload is much larger for it.

Keywords 3D modeling, machine control, cold milling, asphalt

Pages 21 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Kylmäjyrsintä	2
2.1	Kylmäjyrsintä	2
2.1.1	Laatikkojyrsintä	2
2.1.2	Tasausjyrsintä	2
2.1.3	Hienojyrsintä	3
2.1.4	Reuna- ja tartuntareunajyrsintä	3
2.1.5	Tietomallinnettu/koneohjattu tasausjyrsintä	3
3	Välineistö	4
3.1	Wirtgen W220 -kylmäjyrsin	4
3.2	Trimble PCS900	5
4	Työvaiheet	7
4.1	Alustavat työvaiheet	7
4.1.1	Koneohjausmalli ja jyrsintäsuunnitelma	7
4.1.2	Koneasemien paikkojen suunnittelu	7
4.1.3	Kylmäjyrsinnän suunnittelu	9
4.1.4	Jyrsintäkohteen erityisalueet	11
4.2	Automaattinen koneohjaus	12
4.3	Laadunvarmistus	12
5	Käyttökohteet	13
6	Yhteenveto	15
7	Pohdinta	17
	Lähteet	21

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee automaattisen 3D-koneohjatun kylmäjyrsinnän edellytyksiä urakoitsijan näkökulmasta, kun urakoitsijalle on annettu valmiiksi hankkeen lähtötietoina suunnitellut mallit. Tarkoitus on luoda ohje ja tuoda esille erityistarkkuutta vaativat kohdat automaattisen koneohjatun kylmäjyrsinnän toteutuksessa työmaalla.

Rapistuva tiekanta aiheuttaa lukuisia ongelmia, joita ei pystytä ratkaisemaan ilman käytäntöjä, jotka tähtäävät prosessien tehostamiseen. Kasvava korjausvelka huonontaa tiekanta entisestään, kun korjauskohteiden päällystykseen varattua budjettia joudutaan karsimaan. Budjettien kutistuessa käytettävät varat joudutaan kohdistamaan vilkkaammin liikennöidyille tieväylille. Vähemmän liikennöidyt väylät jäävät taka-alalle ja tien ylläpidolliset päällystystoimet siirtyvät eteenpäin tai niitä vaihdetaan kevyempiin korjausratkaisuihin ja tien rakenteeseen kohdistuva rasitus pahenee huonontuneesta rakenteesta. Tästä seuraa vain tulevaisuudessa suurempien korjaustarpeiden kasvaminen, joihin tieprofiilin ja tien geometrian muutokset lukeutuvat.

3D-koneohjatulla kylmäjyrsinnällä päästään suunnitelmassa asetettuihin tavoitteisiin, kun korjataan tieprofiilia. 3D-mallintaminen on käytössä jo monella infra-alalla ja sen puuttuminen päällystysalalta johtuu pääosin käyttökokemuksen ja laitteiston puutteista. Aiheesta on vielä paljon opittavaa ja uusien käytäntöjen kehittämistä, jotta saataisiin kurottua korjausvelkaa kiinni parantamalla huonokuntoisten teiden rakennetta ja tieprofiilia. Profiililla on suuri merkitys tien rakenteen ylläpidossa ja liikenteen käyttäjien turvallisuudessa. Olemassa olevan nykytilamallin luominen ja tiekannan digitalisaatio luo pohjan, missä tieto teiden kunnosta ja korjaustarpeista on heti käytettävissä. Väylävirastolla on ollut hankkeita tätä varten käynnissä, jotta mallit teistä ovat käytettävissä korjaushankkeita varten. Tällä pystytään kohdentamaan vielä tarkemmin varoja korjauksiin ja saadaan mallinnettua tien nykyinen geometria, jotta se voidaan ottaa luotettavasti pohjaksi koneohjausmallien tekoa varten. Tämä vähentää hankkeiden kustannuksia, kun vältytään ylimääräisiltä mittaus- ja selvitystöiltä.

Työn aihe oli oma esitykseni, joka syntyi omasta mielenkiinnostani aiheita kohtaan ja saatujen kokemusten ja huomioiden aiheen parissa työskennelleiden henkilöiden takia. Alalle ei ole koettu murrosta uusiin teknologioihin ja työtapoihin sitten asfaltin koneellisen levityksen jälkeen, ja minusta tämä on seuraava askel.

Työ on rajattu koskemaan vain automaattista 3D-koneohjattua kylmäjyrsintää ja sen vaatimia menetelmiä työmaan toimesta.

2 Kylmäjyrsintä

2.1 Kylmäjyrsintä

Kylmäjyrsintä on asfaltin peruskorjausmenetelmä, jossa työstettävä asfaltin pinta jyrsitään toivottuun tasoon. Kylmäjyrsintä tapahtuu siihen erikseen suunnitelluilla työkoneilla, joita löytyy erikokoisina. Erilaisia työmenetelmiä käytetään asfalttipinnan kunnostustarpeen mukaan. Jyrsinnän jälkeen yleensä aina levitetään uusi kerros asfalttia päälle, mutta jyrsitty pinta on lähes poikkeuksetta heti liikennöitävissä jyrsinnän jälkeen. (NCC, n.d.) (YIT, n.d.)

2.1.1 Laatikkojyrsintä

Laatikkojyrsinnällä tarkoitetaan kylmäjyrsintää, jossa kulunut asfaltti pinta poistetaan 4–5 cm syvyydeltä eli kulutuskerroksen verran, jotta urautumat, kuopat ja purkautuneet kohdat saadaan poistettua mahdollisimman hyvin ja jäljestä saadaan tasainen ja tasalaatuinen ja korkotaso ei muuttuisi uutta kulutuskerrosta varten. Laatikkojyrsintää käytetään erityisesti teillä, jotka on rajattu reunakivillä molemmin puolin, ja silloilla, jotta sillan kantavuuden kanssa ei tule ongelmia. (NCC, n.d.) (YIT, n.d.)

2.1.2 Tasausjyrsintä

Tasausjyrsintää käytetään nimensä mukaisesti tasaamaan tienpintaa. Tasausjyrsinnässä tie jyrsitään kauttaaltaan liikenteen synnyttämien urien pohjan tasoon ja tien sivukaltevuuden mukaisesti. Menetelmää käytetään erityisesti maanteillä ja teillä, missä tien reunat ovat esteettömät. Jyrsintäsyvyys vaihtelee 1–4 cm välillä. Uusi kulutuskerros levitetään jyrsityn pinnan päälle. Tasausjyrsinnällä saadaan myös tarvittaessa tie profiloitua nopeasti uudelleen. (NCC, n.d.) (YIT, n.d.)

2.1.3 Hienojyrsintä

Hienojyrsintä on tasausjyrsintää, mutta tietä ei päällystetä uudelleen jyrinnän jälkeen, vaan se jää jyritylle pinnalle. Hienojyrsinnässä jyrityään yleensä urien pohjaa myöden noin 1–2 cm syvyydeltä. Hienojyrsinnälle käytetään yleensä omanlaista jyrityrumpua, missä teräpiikkejä on useampia ja ne ovat lähempänä toisiaan, jotta saadaan aikaan tasaisempi jälki. Työtahti on myös hitaampi, jotta jäljestä saadaan tasalaatuinen ja normaalia tienpintaa vastaava. (NCC, n.d.) (YIT, n.d.)

2.1.4 Reuna- ja tartuntareunajyrsintä

Reunajyrsintä on nimensä mukaisesti jyrityä, mikä toteutetaan siten, että työstettävän alueen, yleensä kaistan toinen reuna jyrityään syvemmälle kuin toinen. Näin saadaan muutettua sivukaltevuuksia ja tien profiilia. Tartuntareunajyrsintää käytetään, kun halutaan liittää uusi massapintauksella tehty päällyste vanhaan jouhevasti. Olemassa olevasta päällysteestä jyrityään suunnitellun päällystyskerroksen verran pois ja nostatetaan jyrityrumpua koko ajan ylöspäin kohti uudelleen päällystettyä pintaa, jotta uusi pinta kohtaa vanhan samassa korossa. (NCC, n.d.) (YIT, n.d.)

2.1.5 Tietomallinnettu/koneohjattu tasausjyrsintä

Tietomallinnettu tasausjyrsintä toteutetaan jyritymällä ennakkoon tehdyn koneohjausmallin mukaisesti. Koneohjausmalli tai tietomalli on mallinnettu työkohteesta digitaaliseen muotoon, joka syötetään kylmäjyrityseen ja takymetreihin, jotka ohjaavat jyritymen rummun työskentelykorkoa. Koneohjattua tasausjyrityä on kahdenlaista: opastettua ja automaattista. Opastetussa koneohjausjyritynnässä ohjausnäyttöön tulee ilmoituksia jyritynnän halutusta korkotasosta ja jyritymies säätää itse konetta tämän mukaisesti. Automaattisessa koneohjausjyritynnässä koneohjauslaitteisto kylmäjyritymessä säätää itse jyritymenrumpua suunniteltuun korkotasoon mallin mukaisesti takymetrien sen sijaintia seuratessa. Jyritysmiesten tulee vain ohjata konetta eteenpäin työkohteella ja seurata, että jyrityn tekee haluttua työjälkeä. Tietomallintaminen jyritynnässä säästää aikaa ja kustannuksia levitykseltä, kun kone itse jyrity suoraaan haluttuun korkotasoon ja asfalttimassaa saadaan levitettyä tasan suunnitellun menekin verran. Koneohjattua jyrityä käytetään erityisesti silloin, kun vaaditaan erityistä tarkkuutta

työssä tai tien poikittais- ja pitkittäiskaltevuuksissa on merkittäviä vaihteluita, jotka tulee korjata. (NCC, n.d.) (YIT, n.d.)

3 Välineistö

3.1 Wirtgen W220 -kylmäjyrsin

Kylmäjyrsin Wirtgen W220 on Wirtgenin toiseksi suurin jyrsin, mutta isoin mitä voidaan tehokkaasti käyttää Suomessa, johtuen sen painosta. Kuvassa 2 on esitetty, miltä kyseinen laite näyttää. Suurempaa mallia on hankala siirtää paikasta toiseen, sillä se vaatii erikoisjärjestelyjä. Koneeseen saa erilaisia jyrsintärumpuja erilaisin piikkimäärin ja -kuvioin riippuen käyttötarkoituksesta. NCC:n jyrsimessä on 2,5:n metrin perusrumpu, millä onnistuu suurin osa jyrsintätöistä. Jyrsimen rumpuun löytyy myös eri piikkivaihtoehtoja: metallisia ja teollisuustimantilla vahvistettuja. Eroja piikkimateriaaleissa on se, että metalliset ovat halvempia, kestävät hieman enemmän sivuttaisvääntöä ja niillä voidaan jyrsiä jopa 350 mm syvyyteen. Timantilla vahvistetut piikit kestävät normaalia kulutusta paremmin, niillä jyrssi noin 700 000 m² - 1000 000 m², kun taas metallisilla jyrssi noin 8 000 m² - 12 000 m². Timanttipiikeillä jyrssittäessä yli 10 cm syvemmältä, alkaa vääntörasitus olla niin suuri, että ne eivät kestä sitä ja alkavat katkeilemaan. Timanttien kustannusero on noin 40-kertaa suurempi. Teoreettinen jyrsintäteho on koneella noin 3 500 m²/h olettaen, että kone kulkee suoraa linjaa maksimijyrsintänopeutta, mikä on noin 25 m/min, normaalilla neljän senttimetrin laatikkojyrsintäkohteella. Todellinen teho on noin 1 000 m² - 2 500 m² tasaus- ja laatikkojyrsintäkohteilla valta- ja kantateilla ja 500 m² - 1500 m² kaupunkikohteissa. Koneohjatussa jyrssinnässä tehot pienenevät hieman ja riippuen kohteesta pyörivät samoissa luvuissa kaupunkikohteiden kanssa. Edellä mainitussa tehoa pienentää jyrsimen ja takymetrien keskustelu toistensa kanssa. Jos ajetaan liian kovaa vauhtia, virheet ja koneen liikkeet korostuvat huomattavasti. Esimerkiksi, jos tulee katve koneen ja takymetrin välille tai jyrsintämalli muuttuu merkittävästi tai mallissa on virheitä, sen huomaa heti jyrsintäjäljessä pykälinä, kuoppina tai kumpuina, jos kone on tehnyt jotakin väärin. Tästä syystä vauhtia on syytä pudottaa, jotta koneen käyttäjät ehtivät reagoimaan kyseisissä tilanteissa, jotta välttyään virheiltä, sanktioilta ja reklamaatioilta tai jopa uudelleen tekemiseltä. (Wirtgen, n.d.)

KUVA 1. Wirtgen W220 (Wirtgen n.d.)

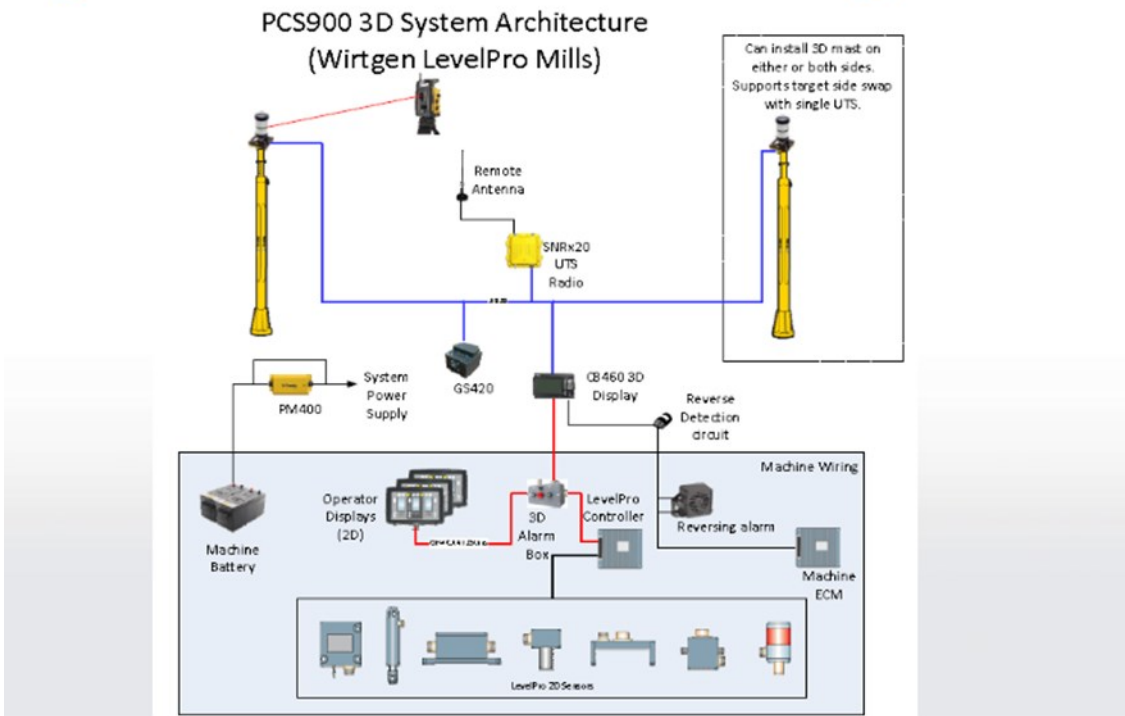


3.2 Trimble PCS900

Trimble PCS900 on 3D asemointijärjestelmä kylmäjyrsimille. Tärkeimmät komponentit tässä järjestelmässä koostuvat ohjauslaitteesta CB460, mikä on esitetty kuvassa 3. CB460 keskustelee jyrsimen oman korkeuden säätöjärjestelmän kanssa ja josta koneen käyttäjä saa säädettyä järjestelmää haluamallaan tavalla. SNR2420 radio, joka keskustelee ohjausrobotitakymetrin kanssa ja lähettää sille koordinaatteja ja MT900 prismasta, johon takymetri suunnataan, jotta se tietää koneen sijainnin koordinaatistossa (Trimble, n.d.) (Paitsola, 2019). Kuvassa 2 on esitetty, miten järjestelmä kommunikoi laitteiden välillä.

KUVA 2. Trimble PCS900 3D-paikannusjärjestelmän rakenne (Trimble n.d.).

System Architecture - Wirtgen



KUVA 3. Trimble CB460, 3D-ohjattua jysintää Elimäntieltä, Kouvolasta (Norri, 2019).



4 Työvaiheet

4.1 Alustavat työvaiheet

Urakoitsijan vastuulla ovat koneohjauskohteessa tuottaa saadusta tietomallista/suunnitelmasta koneohjausmalli, suunnitella koneasemien eli takymetrien paikat sekä suunnitella kylmäjyrsinnän toteutus ja suorittaa maastomerkitöjä. Urakoitsijan tulee myös suorittaa laadunvarmistusta kohteella. Tilaaja toimittaa yleensä myös värierokuvat, joista on hyvä ennakkoon suunnitella ja huomioida erityiskäsittelyjä vaativat kohdat. (Marttinen, 2018)

4.1.1 Koneohjausmalli ja jysintäsuunnitelma

Suunnitelma-aineisto tulee tuottaa sellaiseen muotoon, jonka koneohjausjärjestelmä osaa prosessoida. Suunnittelija muuntaa kohteen tietomallin yleensä Inframodel 3 tai LandXML-muotoon koneohjausta varten. Koneohjausmalli saadaan siirrettyä helposti koneeseen esimerkiksi USB-muistitikkuä käyttämällä. Tiedoston siirtyminen ohjauslaitteeseen riippuu pitkälti tiedoston koosta, mutta se ei vie kauaa. Tiedosto pystytään tietyin edellytyksin siirtämään myös internetin välityksellä. Koneohjausmalli saadaan näkyviin myös ohjauslaitteeseen ja siitä näkee koneen sijainnin mallissa, kun kone on yhteydessä takymetreihin. (Marttinen & Pienimäki, 2015)

Koneohjausmallin on tärkeää olla tehtynä riittävän leveäksi, jotta iso kylmäjyrsinkone ei ajaudu mallin ulkopuolelle. Tietomallista on hyvä selvittää etukäteen, että onko siihen suunniteltu myös usein mallin alueelle sijoittuvat liittymät ja risteykset sekä linja-autopysäkit. Nämä edellä mainitut saattavat usein olla mallin ulkopuolella, jolloin on sovittava niiden toteutustavasta erikseen.

4.1.2 Koneasemien paikkojen suunnittelu

Työstettävä kohde sanelee suurimmilta osin koneasemien paikat. Ohjaustakymetrit asemoidaan kohteelle luotuihin signaalointipisteisiin tai esimerkiksi maanmittauslaitoksen määrittämiin tunnettuihin pisteisiin. Tilaaja mittaa ja lisää kohteelle signaalointipisteet. Urakoitsija vastaa niiden tarkastamisesta ennen toteutusta ja huolehtii, että niitä on riittävästi toteutusta varten. Signaalointipisteitä tulee olla riittävästi, jotta takymetrin pystyy asemoimaan tarvittaessa suunnittelemaan paikkaan. Mikäli signaalointipisteitä on riittämätön määrä, tulee asiasta ilmoittaa ja tehdä tarvittaessa suunnitelma lisäkäyttöpisteiden määrittämisestä.

Signalointipisteistä koneasema eli takymetri tietää oman sijaintinsa kohteelle luodussa xyz-koordinaatistossa ja näin ollen pystyy sijoittamaan kylmäjyrsimen toimintojensa avulla koordinaatistoon. (Marttinen, 2018)

Signalointipisteet tulisi olla sijoitettuna kiinteisiin paikkoihin, joita ovat esimerkiksi sähköpylväät ja valopylväät tai talojen seinät, jotta pisteet säilyisivät kohteen suunnitteluhetkestä toteutukseen, koska suunnitteluhetkestä toteutukseen voi olla vierähtänyt jopa muutama vuosi. Urakoitsijan tulee suorittaa maastokäyntejä kohteelle, jotta huomattaisiin tämänkaltaiset ongelmat heti tarvittaessa, jolloin pystytään luomaan uusia pisteitä tai korjaamaan vanhoja. Tällöin kohde pystytään saattamaan haluttuun lopputulokseen. Signalointipisteitä tarkasteltaessa on hyvä miettiä myös kolmannen takymetrin kannalta asiaa, jonka tarkoitus on suorittaa laadunvarmistusta, että tämä takymetri pystytään myös asemoimaan useampaan paikkaan, koska sen sijainti poikkeaa koneasemien sijainnista ja sitä yleensä joudutaan siirtämään useampaan kertaan kohteella. (Marttinen & Pienimäki, 2015)

Tiekohteen mutkaisuus vaikuttaa myös suuresti koneaseman sijaintiin. Koneasema vaatii suoran näköyhteyden jyrsimen prismaan, jotta koneohjaus onnistuu. Lyhyet katkot näköyhteydessä (10 sekuntia maksimissaan) eivät aiheuta ongelmia työskentelyssä, esimerkiksi jos rekka ajaa koneen ohitse ja peittää samalla näköyhteyden. Tien mutkia ja kaarteita pystytään tarkastelemaan kartoilta, mutta suurimman haitan kohteilla tuottaa yleensä kasvillisuus, puusto ja tien läheiset rakenteet, jotka osuvat mutkissa ja kaarteissa koneaseman ja jyrsimen välille. Tästä syystä maastokäynnit kohteelle ovat elintärkeitä, jotta pystytään huomaamaan nämä ongelmakohdat etukäteen ennen toteutusta. Maastokäynnit ennen toteutusta vähentävät ylimääräisiä keskeytyksiä ja viivästyksiä, jotka aiheutuvat takymetriä uudelleen sijoituksista ja kohdistamisista.

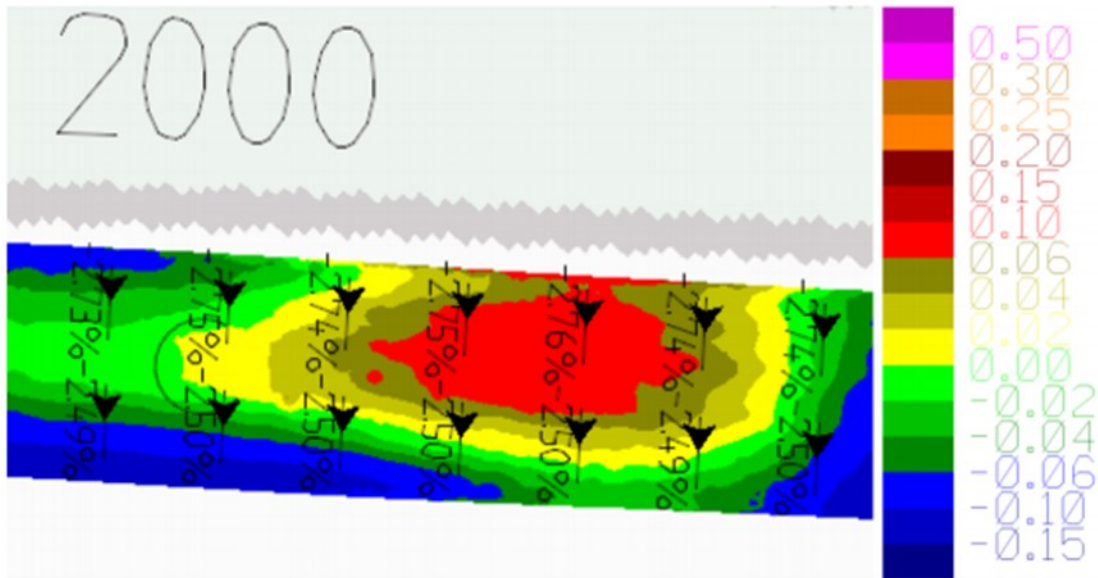
Etäisyys koneaseman ja jyrsimen välillä vaikuttaa myös sijaintiin ja koneasemien määrään kohteella. Maksimietäisyys, jolla pystytään työskentelemään riittävällä tarkkuudella, on 200 metriä, jonka jälkeen todetaan mittaheittoa jyrsintäsyvytydessä. Turvalliseksi maksimietäisyydeksi voidaan määrittää 150 metriä koneasemasta, jolloin etäisyys sallii esimerkiksi kohteen aloituspaalua aikaisemman kohdistamisen ja koneen sijainnin mallilta löytämisen. Hyväksi todettu määrä ohjaavia koneasemia on kaksi ja yksi koneasema mittamiesten laadunvarmistukseen. Tämä järjestely mahdollistaa katkeamattoman työskentelyn, lukuun ottamatta toisen koneaseman valitsemista ohjauslaitteessa koneessa, näiden kahden koneaseman välillä ja samalla

laadunvarmistuksen välittömästi työn suorituksesta. Tämä menetelmä mahdollistaa 600 metrin mittaisen yhtenäisen työskentelyvälin. Hyvänä nyrkkisääntönä on pitää, että yhdellä koneasemalla pystytään jyrsimään 300 metrin tieosuus, ja mikäli työkohde sattuu olemaan alle neljä sataa metriä pitkä, on hyvä miettiä vaihtoehtoa suorittaa se vain yhdellä ohjauskoneasemalla. Vastaavasti, jos kohde on huomattavasti pidempi kuin 600 metriä, on vaihtoehtona useamman aseman perustaminen tai jatkuva asemien siirtely. Jälkimmäisessä on otettava huomioon aika, jonka aseman perustaminen vaatii. Asema täytyy uudelleen kohdistaa uudelle paikalleen, jotta sitä voidaan käyttää koneohjauksessa. Kunnostuskohteen koko määrittää käytettävien asemien määrän ja työmenetelmien käytön. Suunniteltaessa jyrsintää suuremmilla kohteilla on mietittävä, onko järkevämpää jyrsiä pelkästään ohjauskoneasemien väli ja tämän jälkeen siirtää asemat uudelle paikalle, vai onko koneasemien jatkuvaan siirtämiseen tarvittavia resursseja. Asemien siirtämiseen tarvitaan toinen mittamies, jotta laadunvarmistus ei kärsi tai kylmäjyrsin ei seiso paikallaan toimeettomana asemien siirtoajan. (Marttinen, 2018)

4.1.3 Kylmäjyrsinnän suunnittelu

Koneohjatun kylmäjyrsinnän toteutuksen suunnittelu ei eroa paljoa normaalista kylmäjyrsinnästä. Jyrsinrouheen määrä pystytään laskemaan melko tarkasti lähtöaineistosta, esimerkiksi värierokuvista tai kohteelle tehdyistä erotustaulukoista, jolloin jyrsinrouheen kuljetuksen suunnittelu helpottuu. Kuvissa 4 ja 5 havainnollistetaan, miten kohteen jyrsinrouhe määrä saadaan määriteltyä tarkasti.

KUVA 4. Erokuva, josta selviää sivukaltevuudet, jyrskintäsyvyys ja mahdolliset massatasaustarpeet (Marttinen & Pienimäki, 2015).



KUVA 5. Taulukko kohteelta, paalukohtaisesti määritelty tasauksen tarve valmiiseen pintaan. Negatiiviset luvut tarkoittavat jyrskintää (Norri, 2019)

HUOM! Paalu on suunnitelmakuvan paalu - oikeaan tierekisteriin nähden n. 20m virhe					
Paalu	jyrskimen opastava koneohjaus, ohjaustiedot				
	vasen		keskilinja	oikea	
	tasaus (cm)	sivukaltevuus	tasaus (cm)	sivukaltevuus	tasaus (cm)
TO6 5410	-3	-3,2 %	-3	1,1 %	-3
TO6 5415	-3	-3,3 %	-3	1,5 %	-1
TO6 5420	-3	-3,5 %	-2	2,0 %	
TO6 5425	-2	-3,6 %	-3	2,0 %	
TO6 5430	-2	-3,7 %	-2	2,0 %	
TO6 5435	-3	-3,8 %	-3	2,0 %	-1
TO6 5440	-3	-3,9 %	-3	2,0 %	0
TO6 5445	-2	-4,0 %	-3	2,0 %	
TO6 5450		-4,1 %	-1	2,0 %	
TO6 5455					
TO6 5460					
TO6 5465					
TO6 5470					
TO6 5475		-5,2 %	-1	2,0 %	
TO6 5480	0	-5,7 %	-1	2,0 %	
TO6 5485	-1	-6,0 %	-2	2,0 %	0
TO6 5490	-1	-6,0 %	-3	2,0 %	
TO6 5495		-6,0 %	-2	2,0 %	

Jyrskintäkohteen sijainti vaikuttaa myös kuljetuskapasiteettiin ja laatuun. Etäisyyden kasvaessa jyrskintäkohteen vastaanottoaika, kuljetusajoneuvojen määrä kasvaa ja mahdollisesti myös

niiden koko, jotta pystytään työskentelemään mahdollisimman tehokkaasti välttämättä turhia pysähdyksiä kuljetusvälineiden, esimerkiksi kuorma-autojen riittämättömyyden takia. Jyrsintänopeus on hieman normaalia hitaampaa, joten kuorma-auton lava täyttyy myös hitaammin, mikäli jyrsintäsyvyys pysyy maltillisena.

Liikenteenohjaussuunnitelma määräytyy työkohteen mukaisesti. Eroa normaaliin kylmäjyrsintään ei ole merkittävästi. Ainoa ero on varmistaa, että takymetrit eivät ole vaarassa vaurioitua ohi ajavasta liikenteestä tai että liikenne tulee haittaamaan näköyhteyttä esimerkiksi liikenteenohjaajan tai ohjausaidan pysäyttämän ajoneuvon johdosta.

4.1.4 Jyrsintäkohteen erityisalueet

Toteutusta suunniteltaessa on otettava huomioon myös erityisalueet, kuten sillat, alikulut ja linja-autopysäkit. Silloille on laskettu maksimikantavuus, jonka rakenne kestää, joten sillalle ei voida lisätä enempää asfalttimassaa kuin sillalta otetaan pois, eikä sillalta myöskään voida poistaa liikaa vanhaa asfalttimassaa, jotta sen rakenteiden koostumus tai kestävyys ei vahingoitu.

Normaalikäytäntö siltojen kylmäjyrsinnässä on laatikkojyrsintä eli silta jyrsitään kauttaaltaan neljän sentin syvyyteen nykyisestä pinnasta, jotta sille voidaan levittää uusi kulutuskerros normaalipaksuisena. Alikuluissa on olemassa oleva vapaa korkeus, jota ei muuteta mielellään ainakaan pienempään suuntaan, joten alikulut jyrsitään myös laatikkojyrsintänä, jotta olosuhteet pysyisivät muuttumattomana alkuperäiseen korkeuteen. Linja-autopysäkit yleensä jäävät suunnittelematta tietomalliin, joten ne tulee jyrsiä manuaalisesti sovittaen ne jouheasti mukaan tehtävään tieosuuteen. Tämä saattaa aiheuttaa vaikeuksia tien kuivatuksen takia tai kohdalle on suunniteltu profiilinkorjausta. Esimerkiksi sisäkaarretta jyrsittäessä, jolloin pysäkin kohdalta asfalttimassaa saattaa lähteä huomattavasti, jonka myötä pysäkin ja jyrsittävän kaistan välille muodostuu pykälä, joka tulee jyrsiä pois. Pykälän poistaminen ei aiheuta vielä ongelmia, mutta tien kaltevuuden säilyttämisen kuivatuksen kannalta tulee pysäkki myös jyrsiä kaltevuuteen veden poisjohdattamisen takia. Pysäkin pientareen puoleinen reuna joudutaan jyrsimään syvemmältä kuin normaalisti, mikä saattaa aiheuttaa tien päällysterakenteen puhki jyrsimisen, koska linja-autopysäkit ovat usein jälkikäteen rakennettuja ja niissä on näin ollen erilainen päällystekerros kuin ajoradoilla. Puhki jyrsiminen saattaa aiheuttaa pysäkin kantavuuden muutoksia, jolloin pientareella on vaarana pettää. (Marttinen, 2018)

Puhki jyrsiminen ei ole ainoastaan linja-autopysäkeillä tavattava ongelma. Mikäli kohteella on suuria korjattavia kohtia tien geometriassa, vaarana on jyrsiä läpi päällystyskerroksista varsinkin tien reunoissa pientareilla. Puhki jyrsiminen muuttaa suunniteltua päällystekerroksen paksuutta, jolloin tierakenteen kantavuus ja stabiliteetti muuttuu, mikä saattaa aiheuttaa tulevia ongelmia painumien ja uuden päällysteen halkeilun muodossa, kun maa alkaa elää uudenlaisen rasituksen alla. Suunnitelmista ja maastokäynneistä tulisi huomioida tällaiset kohdat ja ilmoittaa asiasta ennen toteutusta, jotta mahdolliset muutokset tietomalleihin pystytään suorittamaan. Mahdollisia korjausvaihtoehtoja kyseisille kohdille ovat tasauksen nostaminen, eli jyrshintäsyvyyden pienentäminen tai kaltevuuden muutokset. Vaarana on myös veden aiheuttamat vauriot tierakenteelle, mikäli jyrsinän ja päällystykseen väli on suuri tai yksinkertaisesti tulee paljon sateita. Vesi vie hienoaineksen päällystekerroksen alaisesta maakerroksesta mukanaan, jolloin maakerrokseen syntyy kuoppa. Vesi jatkaa kaivertamista, mikäli se pääsee virtaamaan vapaana pitkään. Pienet puhjenneet paikat voidaan paikata heti esimerkiksi kylmämassalla eli öljysoralla, joka asettuu paikalleen ja estää vettä tekemästä tuhojaan. Kylmämassa on nimensä mukaisesti kylmää asfalttimassaa. (Marttinen, 2018)

4.2 Automaattinen koneohjaus

Automaattisella koneohjauksella suoritettava jyrshintä ei eroa tavallisesta kylmäjyrshintästä merkittävästi. Perinteisessä jyrshintässä jyrshintämies tekee tarvittavia syvyysäättöjä, kun taas automaattisessa koneohjauksessa jyrshintässä syvyysäädöt tapahtuvat koneohjausmallin mukaisesti koneen ohjauslaitteiston säätämänä. Jyrshintämiehen tehtävänä on seurata, että kone suorittaa suunnitelmien mukaista työtä. Tästä syystä on tärkeää, että henkilöstö on perehtynyt myös laitteistoon, koneohjausmalliin sekä jyrshintäsuunnitelmaan, jotta mahdollisiin ongelmiin pystytään puuttumaan.

4.3 Laadunvarmistus

Laadunvarmistus alkaa jo ennen töiden tekoa. Kylmäjyrshintä koneohjausjärjestelmän tulee olla tarkistettuna käyttökelpoiseksi ja sen on oltava kalibroitu laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti, jotta koneohjausta pystytään suorittamaan suunnitelmien mukaisesti. Hyvissä ajoin ennen työn toteutusta urakoitsijan on varmistettava työmaan signalointipisteiden tarkistusmittauksista ja varmistaa, että niitä on riittävä määrä työn toteuttamiseksi. (Marttinen, 2018)

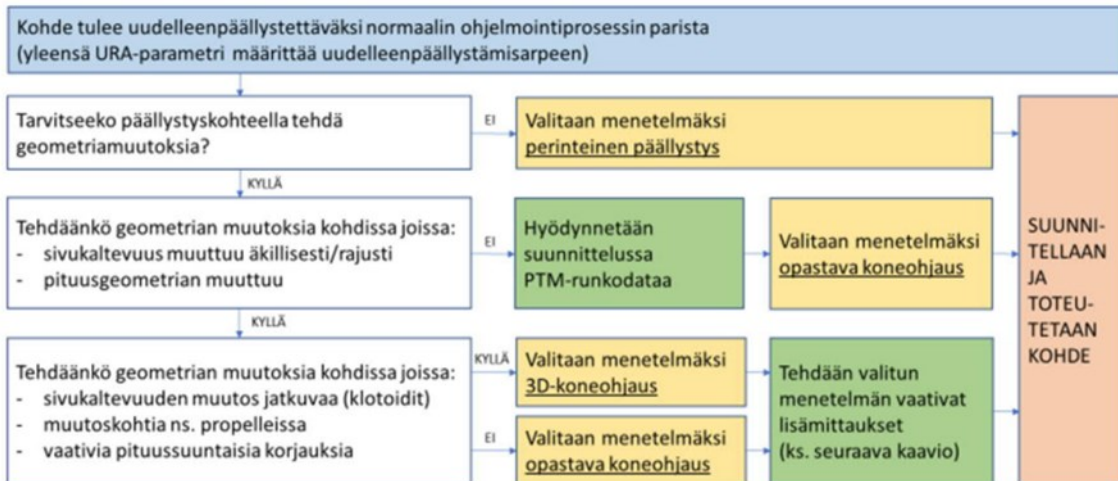
Urakoitsija vastaa työn aikana suoritettavasta laadunhallinnasta. Laadunvarmistuksen kannalta, kolmas takymetri mittamiesten käytössä on ehdoton työmaalla. Tällä kolmannella takymetrillä varmistetaan reealiaikaisesti jyrsinän suunnitelmien mukainen toteutuminen. Mittaukset ovat välttämättömiä työn aikana, koska jälkikäteen huomatuista jyrshintäpuutteista koituu ylimääräisiä kustannuksia, pahimmillaan kohde joudutaan uudelleen jyrsimään. Mittamiesten on hyvä ottaa 5–20 metrin välein korkeusasematarkkeet tien keskilinjalta ja tarkistaa suunnitelman mukainen sivukaltevuus. Tilaaja asettaa tarkemmat vaatimukset mittatiheydelle. Jyrsinmiesten on hyvä myös suorittaa perinteisempiä tarkkuusmittauksia, kuten jyrsinnyvyyden mittaaminen rullamitalla nykyisestä pinnasta jyrsinnyyn pintaan ja tarkistaa sivukaltevuutta koneen omalta näytöltä sekä tarvittaessa oikolaudalla ja vesivaa’alla. Toteutuneet jyrsinny neliot mitataan työn ohella mittapyörällä. Mikäli kohde on erittäin vaativa ja on epäily jyrsinän vastaavuudesta suunniteltuun malliin, tulisi kohde jyrsinän valmistuttua mobiililaserkeilata, jotta varmistetaan toteuma. Kohteella on valmiiksi jo signaalointipisteet, joten uuden keilauksen pistepilvi saadaan kohdistettua suoraan olemassa olevaan koordinaatistoon. (Väätäinen, 2018)

Toteutunutta jyrshintämäärää voidaan tarkkailla myös rouhetonnien kautta. Nykytila- ja koneohjausmalleista saadaan laskettua suunniteltu jyrshintävä rouhemäärä ja kun tuo rouhe ajetaan asemalle vaa’alle, saadaan selville toteutuneet määrät. Monen jyrsinmen laitteistossa on myös ominaisuus, mikä laskee jyrshintyä rouhemäärää karkeasti, mutta varmin keino laskea jyrsinny tonnimäärät ovat punnita ne vaa’an kautta. Jos eroa laskettuihin määriin on paljon, syyt saattavat löytyä joko jyrshintävirheestä tai nykytila- ja koneohjausmalleista löytyy virhe. Rouheen määrän mittauksesta on hyötyä myös tapauksessa, jossa kohteelta jyrshintä rouhe aiotaan käyttää kohteen uudelleen päällystämässä. (Marttinen, 2018)

5 Käyttökohteet

Automaattista koneohjattua kylmäjyrshintää käytetään erityisesti vaativia korjaustoimenpiteitä tarvitsevilla kohteilla. Vaativia korjausta tarvitsevia ongelmakohtia tiessä ovat jatkuvat sivukaltevuuden ja tien pituussuuntaiset muutokset. Tavoitteena koneohjatulla jyrsinnyllä on tehdä tiestä turvallisempi ajaa, kohentaa tien kuntoa sekä sen ylläpitoa (Marttinen & Pienimäki, 2015). Kuvassa 6 havainnollistetaan työkohteelle valittavaan korjausmenetelmään vaikuttavia tekijöitä.

KUVA 6. Päälystyskohteen korjausmenetelmän valinta (Marttinen, 2018)



Automaattista koneohjattua kylmäjyrsintää käytetään erityisesti vaativia korjaustoimenpiteitä tarvitsevilla kohteilla. Vaativia korjausta tarvitsevia ongelmakohtia tiessä ovat jatkuvat sivukaltevuuden ja tien pituussuuntaiset muutokset. Tavoitteena koneohjatulla jyrsinnällä on tehdä tiestä turvallisempi ajaa, kohentaa tien kuntoa sekä sen ylläpitoa. (Marttinen & Pienimäki, 2015)

Haitallinen tien sivukaltevuus aiheuttaa monenlaisia ongelmia. Ajoneuvot tarvitsevat kaarteissa kitkaa, jotta ajoneuvo pysyy hallinnassa kaarteeseen ajettaessa. Oikea sivukaltevuus määräytyy kaarteeseen pääosin ajonopeudesta ja kaarteiden jyrkkyydestä. Talviolosuhteissa tielle kertyvä jää ja lumi huonontavat kitkan määrää, jota varten sivukaltevuus on määräävä tekijä ajoneuvon tiellä pysymiseksi. Nopeat sivukaltevuuden muutokset haittaavat erityisesti raskaita ajoneuvoja ja ajoneuvoyhdistelmiä. Heitot tiessä saattavat johtaa jopa ulosajoihin. Sivukaltevuus on tärkeää tien kuivatuksen kannalta, jotta vesi ei jäisi tielle seisomaan ja aiheuttamaan haittoja tien rungolle ja tienkäyttäjille. Tien puutteellinen kuivatus pitää tien rakenteen märkänä, mikä nopeuttaa sen eroosiota. Puutteellinen kuivatus lisää tien routavaurioiden määrää. (Virtala & Hurtig, 2012)

Suuria korjaustoimenpiteitä tien pituussuuntaisille vaurioille ei pystytä päälystämällä korjaamaan. Mikäli ongelma painumissa ja kohoumissa on rakenteellinen, ainoa korjausvaihtoehto on tehdä tien rakenne uudelleen tarvittavilla toimenpiteillä. Pienemmät painumat ja heitot saadaan tasattua hyvin mallinnuksella.

Kohteissa, joissa edellä mainittuja ongelmia tavataan, koneohjatulla kylmäjyrsinnällä saadaan laadukkaampi ja tarkempi lopputulos perinteisempiin päälysteen korjausmenetelmiin verrattuna.

Koneohjauksella vähennetään jyrshintävirheitä, jotka saattavat johtua inhimillisistä virheistä. Mallipohjaisella päällystystyöllä saadaan myös tarkennettua kohteeseen varattuja korjausvaroja. Ongelmakohdat tiessä voidaan ottaa ainoastaan käsittelykohteiksi, jolloin muu osuus voidaan tehdä esimerkiksi perinteisellä tasausjyrsinällä. Kohteen mallinnus mahdollistaa myös kohteen resurssien optimoinnin. Jyrshintämäärien etukäteen tarkastelu vertaamalla tasaus- ja päällystysmassoja, saadaan koneohjausmalli tarkennettua sopivalle tasolle, jolla saadaan aikaan kustannussäästöjä. (Marttinen, 2018)

6 Yhteenveto

Toimiva automaattinen koneohjattu kylmäjyrshintä koostuu muutamasta tärkeästä asiasta. Urakoitsijan tehtävänä toteutukselle on luoda koneohjausmalli. On hyvä varmistaa, että koneohjausjärjestelmä osaa sitä lukea. Koneohjausmalli on automaattisen koneohjatun kylmäjyrshintän runko.

Kylmäjyrshintä ja käytettävä koneohjausjärjestelmä tulee kalibroida hyvissä ajoin ennen työn aloittamista. Kalibrointi tulee suorittaa laitevalmistajien ohjeiden mukaisesti. Kalibrointi yleisesti vaatii laajuudesta riippuen vähintään työpäivän verran aikaa ja se tulee suorittaa kontrolloidussa ympäristössä, jotta kalibrointi saadaan varmasti oikein.

Signalointipisteet tulee tarkistaa ennen töiden aloitusta. Tarkistus tulee tehdä hyvissä ajoin, jotta mahdollisille korjaustoimenpiteille on varattu aikaa. Signalointipisteiden määrä tulee myös tarkistaa. Takymetriä sijoitusta tulee miettiä pisteiden määrän kannalta. Jos pisteitä on riittämätön määrä toteutukselle, urakoitsija tekee suunnitelman tarvittavien lisäpisteiden muodostamisesta ja käyttämisestä. Signalointipisteet, jotka ovat asfaltin pintaan tehty, yleensä katoavat jyrshintän myötä, kun vanha asfaltti jyrshintään pois. Tämä on myös hyvä ottaa huomioon tarkasteltaessa signalointipisteiden sijaintia.

Automaattinen koneohjattu kylmäjyrshintä vaatii näköyhteyden takymetriin. Takymetri asemoidaan kohteelle käyttäen kohteella olemassa olevia kiintopisteitä tai runko- ja kolmioverkkopisteistä. Kun takymetri on asemoitu pisteisiin, laite tietää sijaintinsa kohteelle luodussa koordinaatistossa ja pystyy näin ollen siirtämään sijaintitiedot jyrshintimen vastaanottimeen, jotta jyrshintä saa myös tietoonsa oman sijaintinsa ohjausmallissa. Jyrshintimen sijainnin tietäminen mallissa on ehto

onnistuneelle jyrinnälle. Käytettävien takymetriä määrä riippuu kohteen koosta ja tien kaarevuudesta. Trimblen PCS900 järjestelmää käytettäessä hyväksi havaittu määrä on kolme, jolloin kaksi takymetriä ohjaa konetta ja yksi on käytettävissä mittamiehelle laadunvarmistukseen. Yhden koneen maksimi etäisyys jyrimestä on 150 metriä, jolloin varmistetaan riittävä mittatarkkuus.

Automaattisen koneohjatun kylmäjyrinimen työpäälkeä tulee seurata koko työskentelyn ajan, jolloin varmistetaan suunnitelmien mukainen toteutus. Jyrinmies seuraa jyrityä syvyyttä ja kaltevuutta rullamitalla ja oikolaudalla ja mittamies seuraa prismasauvalla koneen perässä tarkistaen korkoaseman sopivin välimatkoin. Tällä tavalla pystytään reagoimaan mahdollisiin ongelmiin heti, pysäyttämään työ ja etsimään vika ja miettimään mahdolliset ratkaisut. Esimerkiksi ongelmia voi aiheuttaa risteys- ja liittymäkohdissa koneohjausmalli, joka syystä tai toisesta ei ulotu tarvittavan leveälle ja liittymän tai risteuksen kohtaan tulee suuri pykälä, joka saattaa estää sen yliajon tai vaarana on liikenteen käyttäjien ajoneuvojen vaurioituminen. Ongelma on myös risteuksen tai liittymän kohdalla, jos tietä joudutaan nostamaan niin suuresti, että tartunta risteukseen tai liittymään joudutaan viemään huomattavan pitkälle. Tämä lisää kohteen laskettua massamenekkiä ja samalla kustannuksia, mikäli tätä ei ole jo ennen toteutusta huomattu.

Edellisessä mainitut risteys- ja liittymäalueet ovat niin sanotusti erityisalueita, jotka tulisi huomioida jo ennen työn aloittamista. Erityisalueita ovat myös linja-autopysäkit, sillat ja alikulut. Erityisalueiden sisältyminen tietomalliin tulee selvittää, jotta niiden toteutus pystytään suorittamaan yhtenäisesti tielinjan uuden profiilin kanssa. Näiden alueiden toteutustavasta on hyvä sopia etukäteen, koska niiden mallintaminen saattaa tuottaa vaikeuksia. Tällöin perinteinen tasausjyrinä niille saattaa olla oikea toimenpide.

Automaattinen koneohjattu kylmäjyrinä sopii erityisesti vaativia tiegeometrian muutoksia vaativille tiekohteille, joissa tarvitsee korjata jatkuvia sivukaltevuuden heittoja, painumia ja patteja. Jos painumat mitä korjataan ovat vuodesta toiseen toistuvia, pelkästään päällysteen uusiminen ei korjaa pystygeometrian muutoksia aiheuttavia ongelmia.

7 Pohdinta

Automaattinen koneohjattu kylmäjyrsintä on tehokas ja toimiva vaihtoehto tiekohteille, jotka tarvitsevat uudelleen profilointia. Tiekohteen mallintamisella saadaan esille korjausta vaativat kohdat ja sen muuntaminen koneohjausmalliin mahdollistaa sen toteuttamisen halutulla tavalla. Tietomallintaminen on ollut läsnä jo tovin infrarakentamisessa, mutta sitä ei ole vielä paljoa käytetty hyväksi päällystämässä. Maanrakennustöissä tämä on arkipäivää, esimerkiksi kaivuutöissä käytettävät 3D-laitteet mahdollistavat luotettavan kaivuun tavoitetason saavuttamisen. Kaivanto saavutetaan heti tarvittavaan tasoon, jolla säästytään ylimääräisiltä töiltä. Samalla säästetään polttoainetta, työvoimaa sekä kone- ja materiaalikustannuksia. Tämä samanlaisessa mittakaavassa toimiva 3D-järjestelmän käyttö ei ole vielä yleistä asfalttialalla. Koneohjauskohteita toteutetaan parhaimmillaan muutamia vuodessa.

3D-koneohjatun kylmäjyrsinnän käyttöönottoa vastaan asettuvat hieman alan asenteet. Jyrsin- ja asfalttihenkilöt ovat monesti vanhan liiton miehiä ja ala ei ole uudistunut merkittävästi vuosien saatossa. Asfaltin levittämisen ja sen kylmäjyrsimisen perusmenetelmät eivät ole muuttuneet. Perinteisten työmenetelmien huonona puolena on tällaisilla vaativia korjausmenetelmiä tarvitsevilla kohteilla se, että yleensä tasausjyrsinnät ja levitettävät massat eivät ole riittäviä ja tien profiilin ongelmat siirretään seuraavaan päällystyskertaan tai profiilia jopa huononnetaan jo aiemmasta. Esimerkiksi moneen kertaan tasausjyrsitty tien pinta muuttaa tien sivukaltevuutta, kun tien keskilinjalta otetaan syvyys, jolla saadaan tielle liikenteestä syntyneet urat poistettua. Samalla saatetaan muuttaa tien sivukaltevuutta pienemmäksi ja ongelmat alkavat kasaantumaan. 3-d koneohjatulla jyrsinnällä saadaan tielle alun perin suunniteltu tai uudelleen määritelty kaltevuus vastaamaan suunniteltua.

Asenteiden lisäksi asfalttialan 3D-digitalisaatiota hidastaa kustannukset. Suomen tieverkostosta ei ole olemassa riittävä dataa, jotta kohteita pystyttäisiin tilaamaan kustannustehokkaasti. Jos teitä aletaan erikseen tilaajapolven puolesta mobiililaserkeilaamaan tai mittaamaan muulla tavalla, aiheuttaa se suuret kustannukset. Väylävirastolla oli käynnissä kokeiluhanke, jolla oli tarkoitus tuottaa dataa teiden nykykunnosta ja saada käynnissä olevilta valtion teiltä toteumamalli, jota voitaisiin käyttää hyväksi tulevaisuuden kunnostuskohteissa. Toteumamalli saadaan jyrsimiin asennetuilla mittalaitteilla, jotka mittaavat nykyistä tien pintaa ja jyrsintä syvyyttä. Tällaiset hankkeet luovat kokonaiskuvan tieverkon kunnosta ja auttavat tieverkon ylläpidossa ja näitä

mielestäni tulisi tällä hetkellä korjausvelan kasvaessa puskea lisää. Kun tieverkosta saadaan aikaan nykymalli, helpottaa se teiden korjausbudjetin kohdistamista pahimpiin paikkoihin. Nykymallin luomisen myötä samaa dataa pystytään käyttämään myös korjaushankkeisiin tekemällä sen pohjalta korjaussuunnitelmat. Koneohjattu kylmäjyrsintä on juuri puutteellisen datan ja laitteiston käyttökokemusten puutteesta kustannuksiltaan huomattavasti kalliimpaa ja enemmän aikaa vievää perinteiseen tasausjyrsintään verrattuna.

Koneohjaustyömailta tekemieni huomioiden perusteella lisäkustannuksia tulee huomattavasti useista eri asioista. Ylimääräiset mittaukset ennen kohteen toteutusta ovat kalliita. Toteutuksen aikana tarvitaan mittamiehiä mittaamaan toteumaa ja siirtämään ja asemoimaan koneasemia, jolla varmistetaan työn toteutuminen suunnitelmien mukaisesti. Työtahti on huomattavasti hitaampaa. Yli puolet hitaampi työtahti määräytyy laitteiston asettamien rajoitusten takia. Jyrsin tuottaa tärinää työskenneltäessä, mikä vaikuttaa koneeseen asennettuun prismaan. Liian nopea työskentelyvauhti muuttaa prisman sijaintia kasvavan nopeuden myötä lisääntyvän tärinän takia. Tämä aiheuttaa jyrsintäjälkeen pientä aaltoilua, mikä siirtyy suoraan päällystettävään asfalttiin. Näköyhteyden katkokset, joko koneaseman vaihdon liikenteen tai sääolosuhteiden takia saattavat aiheuttaa työmaan pysähtymisen, kunnes takymetri löytää jyrsimen.

3D-mallintaminen on nykypäivää. Automaattinen 3D-ohjattu kylmäjyrsintä ja levitys ovat seuraava askel alan uudistamiseksi. Koneohjaus ja 3D-mallinnus ovat keskeisessä osassa, kun Suomen teitä aletaan peruskorjaamaan kasvaneen korjausvelan myötä syntyneestä kriisistä. Kun aletaan kirmään korjausvelkaa kiinni, mielestäni tärkeää olisi saattaa tällaisia toimenpiteitä vaativat kohteet etunenässä toteutukseen. Tien uudelleen profilointi lisää tien käyttöikä ja helpottaa sen kunnon ylläpitoa, mikä edesauttaa tiekannan pysymistä hyvänä ja vähentää tielle vaadittavia toimenpiteitä jatkoa ajatellen, mikä sen myötä vähentää korjauskustannuksia ja korjausvelkaa. Kohteita pitäisi myös toteuttaa enemmän tulevaisuudessa, jotta saataisiin lisää käyttökokemuksia asiasta ja saataisiin tehostettua prosesseja, jolloin kustannukset näiden toteuttamisesta vakiintuisivat. Lisäksi mitä enemmän koneohjausta toteutetaan, sitä paremmin pystytään kehittämään laitteistoa vastaamaan tarpeita ja kun laitteet toimivat halutulla tavalla, vähennetään työvirheitä ja saadaan toteutettua suunniteltu kohde pilkun tarkasti.

Tärkein kehityskohde mielestäni on saada parannettua takymetriä ja koneen vastaanottimen yhteistyötä, jotta saataisiin yhteys koneen sijaintiin pidettyä jatkuvana ja työtehoa saataisiin

nostettua. Kehityskohteena on myös vastaanottimen sijoitus koneessa ja vastaanottimen prisman värinän vaimennuksen varmistaminen. Vaikka kone laskee vektorilaskennalla pois pienimmät värinät, saatujen kokemusten mukaan se ei ole vielä tasolla, jossa se ei näkyisi työnjäljessä. Kun nämä kyseiset värinät ja yhteyden säilyttämiset saadaan korjattua, työsaavutusta saadaan lisättyä jyrksintänopeuden myötä, koska jyrksimessä on vielä paljon tehoa mikä ei ole käytössä.

Työsaavutuksen myötä vähennetään työtunteja mitä kohteessa tullaan käyttämään ja saavutetaan säästöjä kustannuksista. Kun maailmantila tästä rauhoittuu ja normalisoituu, toivoisinkin tälle kehitystyölle lisää painoarvoa, mutta todennäköistä on, että tämä on pitkä prosessi ja koneohjaus ja mallintaminen päällystyksen korjaushankkeissa rutinoituu vasta lähempänä seuraavaa vuosikymmentä. Nämä ovat vasta ensiaskelia parempaan huomiseen.

Mielestäni paras vaihtoehto tällä hetkellä toteuttaa koneohjausta ja tien päällystyksen uudelleen profiloiteja mallintamalla, on opastava koneohjaus. Opastava koneohjaus eroaa hieman automaattisesta koneohjauksesta. Opastavassa koneohjauksessa koneeseen ei syötetä suoraan mallia, vaan se maalataan ja merkitään maastoon korkomerkein mittamiehen toimesta, joita koneen käyttäjät seuraavat ja säätävät tasauskorkeutta näiden nuottien mukaisesti. Hyväksi havaittu käytäntö on maalata tien keskilinjalle tarvittava tasauskorkeus ja sivukaltevuus viiden metrin välein. Näin saadaan perinteisen tasausjyrksinnän työteho ja tien uudelleen profiloinnin mahdollistava koneohjausmalli tuotua työmaalle ja päästään haluttuun tulokseen. Huono puoli tällä toteutustavalla on se, että se on erittäin aikaa vievää maalata ja merkitä maastoon ohjausta varten merkit, ja se ei siltikään saata poistaa virheellistä työntulosta. Tässä työtavassa mukana on suuremmin inhimilliset virheet, niin mittausten ja maalausten aikana kuin jyrksittäessäkin.

Tavoite työlläni oli avata lisää päällystyksen ja erityisesti kylmäjyrksintää johtavan työnjohtajan valmiuksia lähteä toteuttamaan tällaisia urakoita. Tavoite oli luoda työohje tärkeimmistä seikoista, mitä ottaa huomioon, jotta saavutetaan mahdollisimman hyvä lopputulos olosuhteiden puitteissa. Mielestäni tähän päästiin ja edellytykset onnistuneelle koneohjaukselle löytyvät tästä opinnäytetyöstä. Opinnäytetyön aihe oli rajattu automaattiseen 3D-koneohjattuun kylmäjyrksintään, jotta työn laajuus saatiin pidettyä aisoissa. Koneohjauksen suunnitteluun liittyy erittäin paljon erilaisia vaiheita mittauksista mallinnoihin, jotka jätettiin pois tästä työstä. Lähteitä asiasta ei ole paljoa. Niiden löytämisessä auttoi hieman työlle alkuperäiseksi ohjaajaksi nimetty henkilö, joka on ollut mukana tuomassa koneohjauksen käyttöä päällystysalalle, sekä on tehnyt

asiasta julkaisuja. Tässä opinnäytetyössä pyrin tuomaan esille kokemusten kautta, miten koneohjausta toteutetaan työmaan näkökulmasta.

Opinnäytetyössäni olisin voinut paneutua enemmän koko prosessiin, mutta työ olisi paisunut kohtuuttoman suureksi. Tulevaisuuden kehitys- ja tutkimuskohteita olisi nimenomaan tieverkon digitalisaatio, jotta tieverkon nykytila olisi nopeammin selvillä ja aina saatavilla. Tieverkon digitalisaatio luo sen parissa toimijoiden kesken yhteiset raamit.

Lähteet

- Marttinen, M. (2018). Yleiset inframallivaatimukset YIV 2018, osa 11.2. Inframallinnus korjausrakentamisessa. Haettu 4.6.2019 osoitteesta https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV2018_Mallinnusohjeet_OSA11.2_Mallipohjaisen-p%C3%A4%C3%A4llystekorjaushankkeen-kulku-181031-MMa-1.pdf
- Marttinen, M. (2019). Yleiset inframallivaatimukset. Sähköpostiviesti tekijälle 11.7.2019.
- Marttinen, M. Pienimäki, M. (2015). Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015, osa 11.1. Inframallinnus korjausrakentamisessa. Haettu 4.6.2019 osoitteesta https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2015/11/YIV2015-Mallinnusohjeet_OSA11_1_Inframallinnus_paaellysteiden_korjaamisessa_V_1_0.pdf
- NCC. (n.d.). Jyrsinnät ja stabiloinnit. Haettu 31.8.2018 osoitteesta <https://www.ncc.fi/tarjontamme/asfaltti/palvelut-ja-menetelmat/jyrsinnat-ja-stabiloinnit/>
- Paitsola, J. (2019). Trimble-laitteisto. Sähköpostiviesti tekijälle 9.12.2019.
- Virtala, P. Hurtig E. (2012). Tien haitallisten sivukaltevuusmuutosten tunnistaminen. Haettu 31.5.2022 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2012-35_tien_haitallisten_web.pdf
- Väätäinen, N. (2018). *Koneohjaus tasausjyrsinnöissä*. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Haettu 20.9.2018 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/143391>
- YIT. (n.d.). Asfaltin ja betonin jyrsintä. Haettu 31.8.2018 osoitteesta <https://www.yit.fi/asfaltti/palvelut/asfaltin-ja-betonin-jyrsinta>
- Wirtgen. (n.d.). Wirtgen W220. Haettu 20.9.2018 osoitteesta <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-fi/wirtgen/w-220-109-p/>
- Trimble. (n.d.). Trimble PCS900 for Milling Machines. Powerpoint-esitys.