

**JYRSINNÄN 3D-KONEOHJAUS: AUTOMAATTISEN TOTEUMAMALLIN LUONTI
NCC INDUSTRY OY**

DIGIPILOTTIRAPORTTI



Tekijä: Marko Olli
6.12.2017

Sisällys

1	JOHDANTO	3
2	HANKKEEN TAVOITTEET JA VAIKUTTAVUUS	4
3	AIKATAULU	4
4	LAITTEISTO.....	5
	4.1 Laitteiston mittaustarkkuus.....	6
5	PILOTTIKOHDE JA MITTAUSTEN SUORITTAMINEN	7
6	TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI	9
7	YHTEENVETO JA JATKOKEHITYS	12

1 JOHDANTO

Vanhan päällysteen kylmäjyrsintä on työmenetelmä, jota käytetään Suomessa laajasti päällystystöitä edeltävänä työvaiheena, kun tien tai kadun korkotasoa ei voida nostaa uudelleenpäällystyksen seurauksena. Jyrsintää käytetään myös tienpinnan epätasaisuuksia korjaavassa tasausjyrsinnässä. Menetelmässä vanhaa päällystettä poistetaan asfaltinjyrsimellä suunnitelmien mukainen määrä. Laadun kannalta keskeistä on, että jyrsintäsyvyys on tilatun mukainen ja että jyrsityn pohjan kaltevuus vastaa mahdollisimman hyvin uuden päällysteen pinnalta edellytettyä kaltevuutta. Jyrsintäsyvyyttä ja kaltevuutta säädetään perinteisesti jyrsimen operaattoreiden toimesta sekä hyödyntämällä koneen kallistusautomaatiikkaa. Nämä ohjaustavat eivät kuitenkaan ole riittävän tarkkoja mm sivukaltevuuden muutoskohdissa tai tienpinnan epätasaisuuksia poistavassa tasausjyrsinnässä. Alalla onkin otettu yhä suuremmissa määrin käyttöön tietomallipohjaista koneohjaustekniikkaa, jonka avulla päästään perinteisiä menetelmiä suurempaan työtarkkuuteen.

Päällystysurakoiden aikataulut ovat nykyisin hyvin tiiviit ja peräkkäisten työvaiheiden välit lyhyet, mikä edellyttää edeltäviltä työvaiheilta mahdollisimman virheetöntä suoritusta. NCC Industryn työmailla onkin nähty tarvetta kehittää jyrsintätyön laatua ilmaisevaa tekniikkaa, jotta voitaisiin varmistua päällystepohjan oikeasta korkotasosta ja kaltevuudesta. Tavoitteena on ollut helppokäyttöisen laitteiston kehittäminen, jota voidaan käyttää kaiken tyyppisissä jyrsintäkohteissa, työn ohjaustavasta riippumatta. Järjestelmän lähtökohtana on pidetty, että työn toteumatiedot saadaan raportoitua suoraan koneen tuotaman mittaustiedon perusteella, ilman erillisenä työvaiheena toteutettuja tarkemittauksia.

Liikenneviraston käynnistämä Digitalisaatiohanke mahdollisti edellä kuvatun mittaus- ja raportointilaitteiston kehittämisen ja sen koekäytön kesällä 2017. Tässä raportissa esitellään NCC Industry Oy:n ELY-keskuksen Tienpäällystysurakassa toteuttaman päällystystyön digitalisaatiota edistävän hankkeen "Jyrsinnän 3D-koneohjaus: Automaattisen toteutumamallin luonti" toteutus ja tulokset pilottikohteen perusteella.

2 HANKKEEN TAVOITTEET JA VAIKUTTAVUUS

Hankkeella on kaksi päätavoitetta:

1. Tehostaa jyrshintäprosessia tuottamalla valmiin pinnan toteumamalli ilman erillisiä tarkemittauksia.
2. Tuottaa jyrshintäkohteen toteumamallista dokumentti asiakkaalle IM4- formaatissa.

Jyrsimeen asennettavilla antureilla kerätään jatkuvatoimisesti tietoa työkoneen ajasta ja paikasta sekä toteutuneesta jyrshintäsyvyydestä jyrshimen molemmilta reunoilta. Tavoitteena on raportoida jatkuvatoimisesti jyrshintäsyvyydet eli vanhan tienpinnan ja jyrshityn pinnan välinen korkoero (Δz) kaikista jyrshintälinjoista. Tämän tiedon perusteella tavoitteena on muodostaa työn toteumamalli IM4 formaatissa, sekä verrata sitä pilottikohteella käytettävään koneohjausmalliin (suunnitelmamalli).

Laitteiston avulla pyritään varmistumaan, että jyrshityt pinnat toteutuvat suunnitelmien mukaisesti. Jyrshintä- ja päällystysprosessissa voidaan saavuttaa merkittäviä aika- ja kustannussäästöjä, mikäli toteumatieto pystytään tuottamaan ilman erillistä tarkemittauksia takymetrillä tai laserkeilaimella. Laitteistosta saatava laatudokumentti on luonteeltaan jatkuvaan mittaukseen perustuva, ei pistemäinen kuten takymetrillä toteutettavissa tarkemittauksessa.

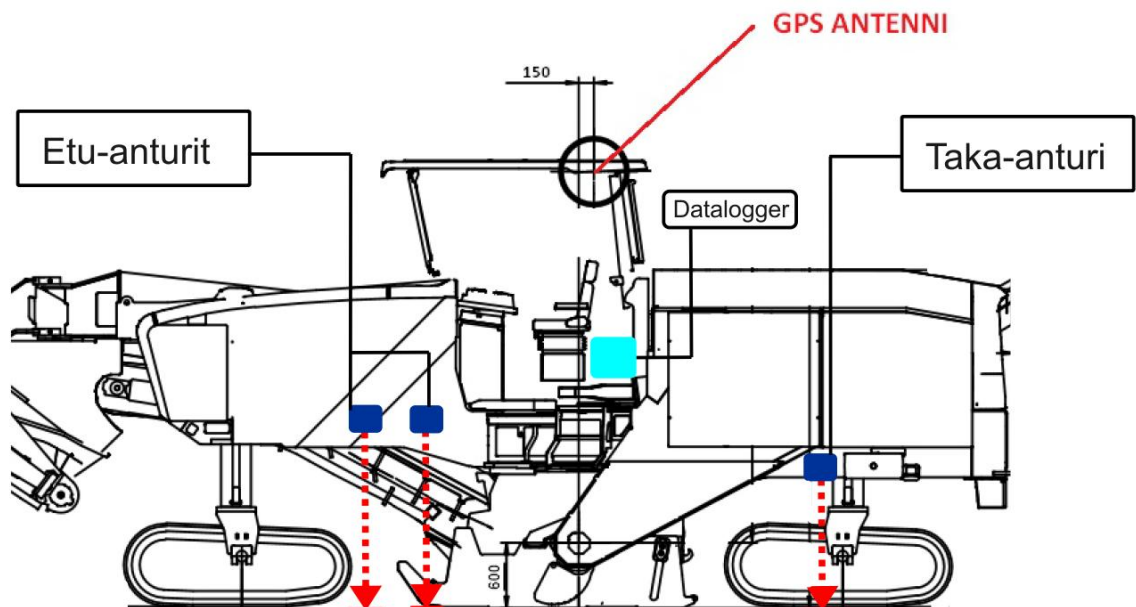
3 AIKATAULU

Digipilottiprojektia aloitettiin valmistelemaan keväällä 2017. Ensimmäisenä haasteena oli löytää sopiva yhteistyökumppani hankkeen edellyttämän tekniikan tuottamiseen. Valitun alihankkijan kanssa laadittiin yhteinen projektisuunnitelma ja tilattiin tarvittavat laitteistot alkukesän aikana. Laitteistoasennukset jyrsimeen ja järjestelmän testaukset suoritettiin heinä- ja elokuun aikana NCC:n työkohteilla. Järjestelmän virallinen pilotointi toteutettiin Tienpäällystysurakan ELY Etelä 2 2017 kohteella Vt25 Mustio-Virkkala. Kohteelta kerättiin mittausdataa viikon ajan välillä 28.8. – 1.9.2017.

4 LAITTEISTO

Kylmäjyrsimeen asennetaan kuusi etäisyyttä mittaavaa laseranturia ja dataloggeri gps-paikannuksella (kuva 1). Anturit asennetaan jyrsimen runkoon kiinni asennusraudoilla. Anturit sijoitetaan siten (kuva 2 ja kuva 3), että ennen rumpua on kummallakin puolella neljä anturia ja rumpun jälkeen kummallakin puolella kaksi anturia.

Antureilta kerätty tieto muutetaan mittausjärjestelmässä jyrshintäsyvyydeksi, kun etuantureilta mitatusta tiedosta vähennetään taka-anturin mittaustulos. Toiset etuanturit ovat kulmakorjausta varten, jonka tarkoituksena on eliminoida jyrsinkoneen mahdollisesti kaltevasta työasennosta aiheutuva mittavirhe Δz -arvoon. Jyrshintäsyvyydet lasketaan reaaliaikaisesti ja ohjelmallisesti suoraan tiedostoon etu- ja taka-anturien etäisyyksistä pintaan nähden. Dataloggeri sisältää sisäisen gps-paikannuslaitteen sekä antennin signaalin vahvistusta varten. Työmaalla on käytössä tablettitietokone (kuva 5), josta työryhmä pystyy seuraamaan reaaliaikaisesti jyrshinnän tietoja. Tietoja pystyy myös seuraamaan nettisivuston kautta toimistolta.



Kuva 1. Antureiden sijoittuminen jyrsimessä



Kuva 2. Etuantureiden sijainti jyrsimessä



Kuva 3. Taka-anturin sijoittuminen jyrsimessä

4.1 Laitteiston mittaustarkkuus

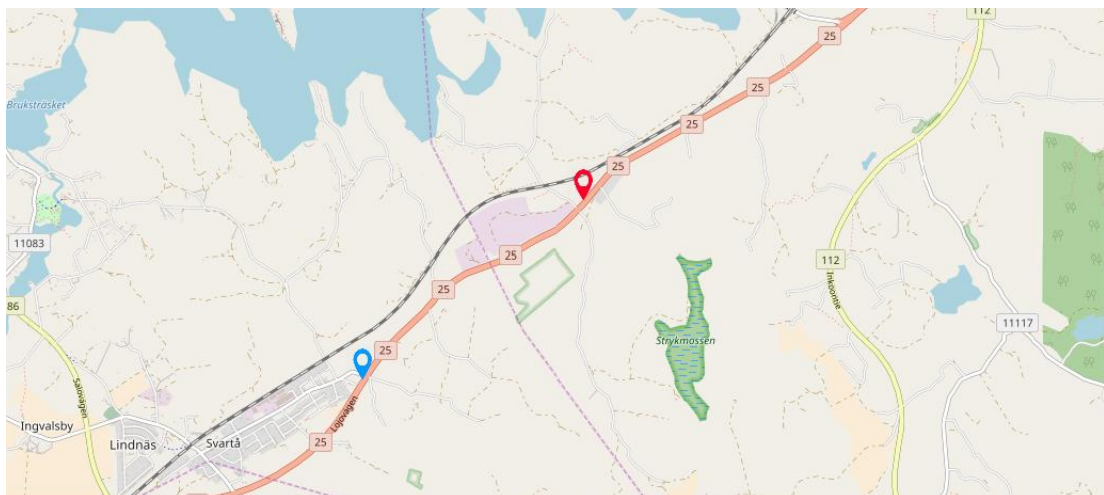
Etäisyyttä mittaavien laser-antureiden mittaustarkkuus käytetyllä mittausetäisyydellä on valmistajan mukaan n. 7 mm. Epävarmuutta mittauksiin aiheuttaa lisäksi jyrityn pinnan epätasainen tekstuuri ja pinnan päällä mahdollisesti oleva jyrinrouhe. Lisäksi pientareen puolella oleva kasvillisuus voi haitata mittausta, koska anturit on sijoitettu jyrinkoneen ulkoreunan tasolle.

GPS-paikannuksen (NEO 6-gps moduuli) horisontaalinen tarkkuus on valmistajan mukaan $< 2,5\text{m}$. Paikannuksen tarkkuuteen luovat epävarmuutta katvealueet mm tien vierellä kasvavan puuston johdosta.

Jyrsintäsyvyyden tulosten mittaustarkkuus on antureiden valmistajan mukaan n. 7 mm. Pilottikohteen koneohjausmalli (suunnitelma) perustuu laserkeilauksella tehtyyn mittaukseen, jonka tarkkuutta tässä nimenomaisessa kohteessa emme pystyneet selvittämään luotettavasti. Laserkeilaimien valmistajien mukaan laitteiden mittaustarkkuus kohteen mukaisella mittausetäisyydellä vaihtelee välillä 2-10 mm, laitteesta ja olosuhteista riippuen. Voidaankin todeta että koneohjausmallin ja jyrsimestä saadun toteumatiedon mittaustarkkuus on samaa suuruusluokkaa.

5 PILOTTIKOHDE JA MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Pilottikohde kuului Tienpäällystysurakkaan ELY Etelä 2 2017 ja sijaitsi valtatiellä 25 välillä Mustio-Virkkala (kuva 4.). Kohteella suoritettiin jyrsintää ja asfaltinlevitystä koneohjausmallin pohjalta. Työkohdesuunnitelman mukaisesti vanhan päällysteen sivukaltevuutta korjattiin n. 30 eri kohdassa 9,1 km matkalla. Jyrsintäsyvyys vaihteli 0-15 cm välillä.



Kuva 4. Kohde kartalla

Mittauksia aloitettaessa huomattiin, ettei jyrsimen valmistajan ilmoittama virtapaikka toiminut automaattista start-stop-systeemiä varten, jolla mittaukset olisivat käynnistyneet ja loppuneet automaattisesti jyrsimen toiminnan alkaessa ja loppuessa. Siksi datan keräys

suoritettiin manuaalisella mittauksen aloituksella ja lopetuksella jyrsimen kuljettajan toimesta. Uusi virtapaikka saatiin pilotin ajankohdan jälkeen ja on tarkoitus ottaa käyttöön seuraavissa jyrshintäkohteissa. Ilman auto start-stop -järjestelmää mittausarvoja kertyy koko ajan koneen ollessa käynnissä ja kun dataloggerin kytkin on on-asennossa. Tällöin datan määrä kasvaa merkittävästi ja se vaikeuttaa automaattisen toteutumamallin luontia.

Laitteisto on helposti asennettavissa kaikkiin jyrsimiin riippumatta niiden valmistajasta tai vuosimallista. Tietojen keräystä pystyttiin seuraamaan tabletin näytöltä suoraan työmaalla (kuva 5.) sekä toimistolta nettisivuston kautta. Tiedot kerättiin reaaliaikaisesti alihankkijan pilvipalveluun.



Kuva 5. Tablettisovellus työmaalla

6 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Mittauslaite keräsi jyrsimen paikkatiedon lisäksi vanhan tienpinnan ja jyrситyn pinnan välistä korkoeroa (Δz) yhden sekunnin välein. Tällöin noin 9 km:n kohteelta syntyi satoja tuhansia rivejä dataa.

Aika	Long	Lat	DeltaZ vasen	DeltaZ Oikea
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	28	81
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	30	80
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	32	78
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	32	79
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	32	78
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	34	80
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	36	81
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	33	81
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	33	79
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	35	79
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	33	79
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	34	78
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	31	80
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	34	79
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	29	78
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	30	77
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	27	76
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	29	75
29.8.2017 15:47	60.1606	23.9311	27	75
29.8.2017 15:47	60.1605	23.9311	26	75

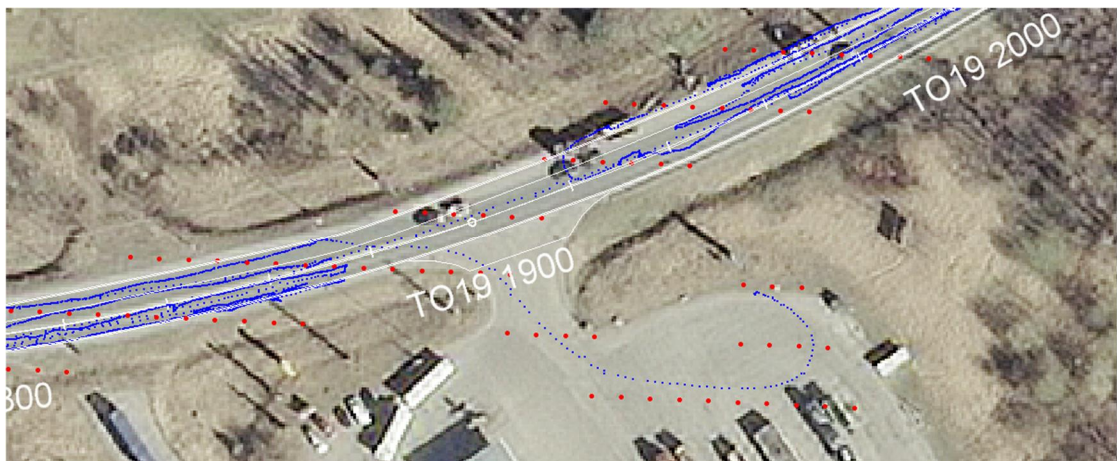
Kuva 6. Esimerkkikuva datasta

Yllä olevassa kuvassa (kuva 6.) on esimerkki kerätystä datasta. Data sisältää vasemman puoleisesta sarakkeesta alkaen seuraavat tiedot: päivämäärä, kellonaika, paikkatieto globaalissa koordinaatistossa (leveysaste ja pituusaste), jyrситäsyvyys [mm] vasen puoli ja jyrситäsyvyys oikea puoli.

Jyrситäsyvydet (Δz) laskettiin reaaliaikaisesti ja ohjelmallisesti suoraan tiedostoon etu- ja taka-anturien välisistä etäisyyksistä pintaan nähden. Positiivinen Δz - arvo kertoo, että jyrсинrummun takana olevan anturin mittaama etäisyys tien pintaan on suurempi kuin etuanturin. Tällöin jyrсинrumpu jyrсii pois vanhaa päällystettä Δz :n paksuudelta. Jos Δz - arvo on negatiivinen, on kyseisellä kohdalla painuma, jolloin jyrсинrummun ao. reuna kulkee ilmassa eikä poista lainkaan vanhaa päällystettä.

Automaattisen start-stop-systeemin puuttuessa dataloggeri keräsi paljon ylimääräistä dataa, koska jyrsimen kuljettaja ei muistanut käynnistää/sammuttaa mittausta työn aikana tehollisen työsuorituksen mukaisesti. Tämä vaikeutti suuresti tietojen käsittelyä ja tulkintaa. Suuresta tulosaineistosta voitiin kuitenkin paikallistaa teholliset jyrshintäosuudet, joiden osalta mittaustulokset näyttivät järkevilä. Tuloksista näkyi selkeästi tasausjyrsinälle ominaiset syvyyden vaihtelut vanhan pinnan koron vaihdellessa. Δz -arvon erimun eri reunoilta mitattuna vaihteli nollan molemmin puolin, pääosin välillä ± 50 mm. Voidaankin todeta, että Δz -arvon määrittäminen onnistui hankkeen tavoitteiden mukaisesti.

Kerätyn datan avulla kohteesta pyrittiin muodostamaan 3D-toteumamalli. Tämän mallin avulla toteumaa oli tarkoitus verrata koneohjausmalliin (suunnitelmamalli). Toteumamallia ei kuitenkaan pystytty luomaan pilotin puitteissa laitteiston paikkatiedon epätarkkuuksista johtuen. Epätarkkuus johtui laitteiston gps-paikannuksen (NEO 6-gps-moduuli) riittämättömyydestä sekä ohjelmiston koordinaattien liiallisesta pyörityksestä datan siirron yhteydessä. Mittaustulosten epätarkkuus johti siihen, ettei jyrsinlinjojen sijaintia pystytty luotettavasti todentamaan (Kuva 7). Tämän vuoksi suunnitelman ja toteumatiedon vertailua ei pystytty tekemään luotettavalla tavalla.

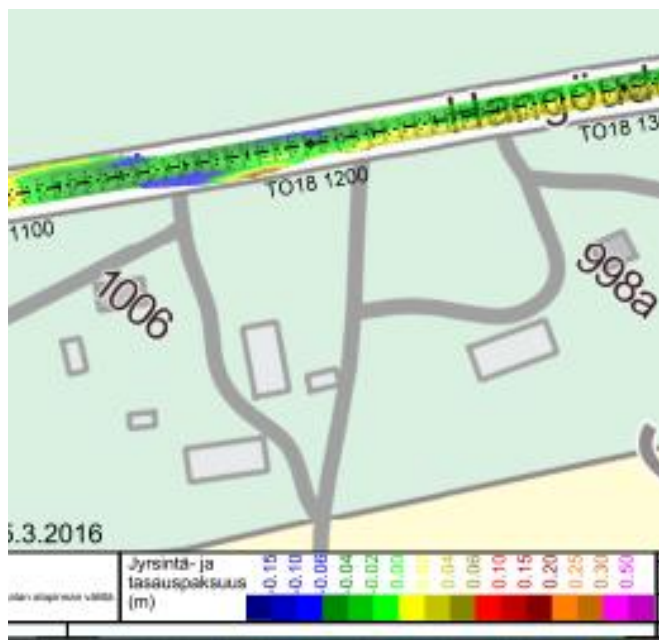


Kuva 7. Esimerkkikuva datan sijaintitiedon epätarkkuudesta

Yllä olevassa kuvassa (kuva 7.) on esitetty epätarkkuudesta johtuva ongelma. Siniset viivat ovat gps-laitteen raaka-arvoja, joita on jouduttu käsin korjaamaan, jotta ne osuisivat tielinjalle ja niistä pystyisi tulkitsemaan jyrshintälinjat. Punaiset pisteet ovat datan ke-

räysohjelman desimaalipyöristyksen jälkeisiä koordinaatteja, joiden perusteella varsinainen toteumamalli olisi pitänyt tuottaa. Kuvasta on helposti tulkittavissa, että virheellisen desimaalipyöristyksen seurauksena ei ole mahdollista tuottaa toteumamallia.

Mikäli työkonteen paikannus olisi ollut riittävän tarkka, olisi mitattujen jyrskintälinjojen ja niistä saatujen syvyystulosten avulla voitu laatia IM4-formaatin mukainen toteumamalli. Toteumamallia olisi sitten voitu verrata suunnitelmamalliin, esimerkiksi esittämällä tulokset kuvan 8 mukaisena värierokarttana. Onnistunut lopputulos olisi näkynyt kartassa tasaisen vihreänä värinä sillä oletuksella, että tarvittavat massatasaukset olisi tehty ennen jyrskintää.



Kuva 8. Esimerkki tasaussuunnitelmasta värierokarttana.

7 YHTEENVETO JA JATKOKEHITYS

Pilottikohteen dataa analysoidessa huomattiin, etteivät kerätyn datan sijaintitiedot olleet riittävän tarkkoja toteumamallin luomista varten. Tasausjyrsintäkohteilla tai muissa vaativissa kohteissa tulisi pyrkiä parantamaan paikannustarkkuutta alle 0,5m tasoon. Tämä edellyttää kehittyneemmän paikannustekniikan käyttöä, mikä nostaa jyrsintälaitteiston kustannuksia useita kymmeniä tuhansia euroja.

Jatkossa on myös syytä pohtia, mikä on riittävä datankeräysväli. Saattaisi olla riittävää, jos dataa kerättäisiin esimerkiksi 5-10 sekunnin välein nykyisen 1 sekunnin sijasta, mikä vähentäisi merkittävästi kerättävän ja käsiteltävän datan määrää. Toisaalta, suuri raakadamäärä mahdollistaa tarkan mallinnuksen, ja ohjelmallisesti voidaan suodattaa ylimääräistä dataa pois tietojen analysointivaiheessa. Jyrsintäsyvyyttä mittaavien anturien sijoittelu tulee suunnitella jatkossa paremmin, jotta vältetään tien reunapalteen ja kasvillisuuden aiheuttamat häiriöt. Anturit kannattaa sijoittaa mahdollisuuksien mukaan 10-20 cm lähemmäs jyrsinkoneen keskiosaa, tai hankkia lisää antureita jyrsinrummun matkalle.

Pilottikohteen kokemusten perusteella järjestelmästä pystytään tuottamaan luotettavasti jyrsinnän syvyystieto Δz jyrsinrummun molemmista reunoista, paikkatietoon sidottuna numeraalisessa muodossa. Toteumamallin tuottaminen IM4-formaatissa ei onnistunut paikannuksen epätarkkuudesta johtuen. Paikkatiedon sekä jyrsintäsyvyyden nykyinen tarkkuus on jo riittävän hyvä jyrsintätyön laadun osoittamiseen sellaisilla kohteilla joissa suunnitelmien mukainen jyrsintäsyvyys ei juurikaan vaihtelee, esim laatikkojyrsintäkohteet. Voidaankin suositella, että järjestelmän käyttövaatimuksia edellä mainitulla kevenetyllä tavalla lisättäisiin ylläpidon urakoissa tulevaisuudessa, jotta saataisiin enemmän kokemuksia tekniikan antamista mahdollisuuksista laadun osoittamisessa.